

Planiranje prijevoza ukapljenih plinova morem

Tomac, Oliver

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:688872>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

OLIVER TOMAC

**PLANIRANJE PRIJEVOZA UKAPLJENIH PLINOVA
MOREM
ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**PLANIRANJE PRIJEVOZA UKAPLJENIH PLINOVA
MOREM
PLANNING THE TRANSPORTATION OF LIQUEFIED
GASES BY SEA**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Rukovanje teretom 2

Mentor: prof. dr. sc. Renato Ivče

Komentor: Antonio Blažina, mag. ing.

Student: Oliver Tomac

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112086324

Rijeka, rujan 2024.

Student: Oliver Tomac

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

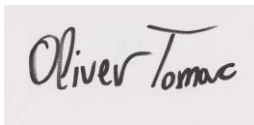
JMBAG: 0112086324

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom *Planiranje prijevoza ukapljenih plinova morem* izradio samostalno pod mentorstvom *prof. dr. sc. Renato Ivče* te komentorstvom *Antonia Blažine, mag. ing. Nautike*.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink that reads "Oliver Tomac".

Oliver Tomac

Student: Oliver Tomac

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa


JMBAG: 0112086324

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima Creative Commons licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student– autor

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink that reads "Oliver Tomac".

Oliver Tomac

SAŽETAK

Brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina (LNG) morskim putem igraju vrlo bitnu ulogu u svjetskoj distribuciji plina. Rad se fokusira na specifične procedure rukovanja teretom koje su ključne za siguran i učinkovit prijevoz. Te procedure, između ostalog, uključuju inertiranje, sušenje tankova, hlađenje, punjenje plinom te operacije tijekom i nakon remonta brodova. Opisuju se vrste brodova, uključujući standardne, velike, male i specijalizirane brodove, te različiti sustavi skladištenja, kao što su samonosivi i membranski tankovi. Povijest razvoja LNG brodova prati evoluciju od prvih plovila sredinom 20. stoljeća do suvremene flote koja uključuje stotine brodova. Rad također analizira međunarodno i nacionalno tržište LNG-a, s naglaskom na rastuću potražnju i geopolitičke čimbenike koji utječu na trgovinu. Sigurnosne mjere i propisi te opasnosti povezane s LNG-om također su pokrivena. Zaključno, rad naglašava važnost preciznog planiranja i praćenja svih faza prijevoza kako bi se osigurala maksimalna sigurnost i učinkovitost operacija.

Ključne riječi: LNG brodovi, rukovanje teretom, sustavi skladištenja, tržište LNG-a, sigurnosne mjere.

SUMMARY

Liquefied Natural Gas (LNG) transport ships play a crucial role in the global distribution of gas. This paper focuses on specific cargo handling procedures that are essential for safe and efficient transport. These procedures include, among others, inerting, tank drying, cooling, gas loading, and operations during and after ship maintenance. It describes different types of ships, including standard, large, small, and specialized ships, as well as various storage systems, such as self-supporting and membrane tanks. The history of LNG ship development traces the evolution from the first vessels in the mid-20th century to the modern fleet that includes hundreds of ships. The paper also analyzes the international and national LNG markets, emphasizing the growing demand and geopolitical factors affecting trade. Safety measures and regulations, as well as risks associated with LNG, are also covered. In conclusion, the paper highlights the importance of precise planning and monitoring of all transport stages to ensure maximum safety and operational efficiency.

Keywords: LNG ships, cargo handling, storage systems, LNG market, safety measures.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	II
SADRŽAJ	III
1. UVOD.....	1
2. PRIRODNI PLIN	2
2.1. OPĆE.....	2
2.2. POVIJEST TRGOVANJA	3
2.2.1. TRŽIŠTE DANAS.....	5
3. PRIJEVOZ LNG-A	7
3.1. VRSTE BRODOVA	7
3.2. VRSTE PROPULZIJE	8
3.3. NAČINI SKLADIŠTENJA	10
3.3.1. SAMONOSIVI TANKOVI.....	10
3.3.2. MEMBRANSKI TANKOVI	12
3.4. FLOTA	14
4. PROCEDURE TIJEKOM PRIJEVOZA LNG-A	18
4.1. OPERACIJE NAKON REMONTA.....	18
4.1.1. INERTIRANJE I SUŠENJE IZOLACIJSKIH PROSTORA TE SUŠENJE TANKOVA	19
4.1.2. INERTIRANJE TANKOVA.....	19
4.1.3. GASSING UP I HLAĐENJE	21
4.2. OPERACIJE TIJEKOM RADA	21
4.2.1. OPERACIJE UKRCAJA.....	21
4.2.2. PLOVIDBA.....	23
4.2.3. OPERACIJE ISKRCAJA	24
4.2.4. BALASTNO PUTOVANJE	25
4.3. OPERACIJE PRIJE REMONTA.....	26

4.3.1. ZAGRIJAVANJE SPREMNIKA ZA TERET	26
4.3.2. INERTIRANJE TANKOVA	27
4.3.3. PROZRAČIVANJE.....	27
5. SIGURNOST I PROPISI.....	28
5.1 MEĐUNARODNI PROPISI	28
5.2 NACIONALNI PROPISI	28
5.3 STANDARDI I PRAKSE	29
5.4 OPASNOSTI	29
6. ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA	32
POPIS TABLICA.....	34
POPIS GRAFIKONA	34
POPIS SLIKA	34

1. UVOD

Transport ukapljenih plinova morem ključan je za iskorištavanje plinova, što je vitalno za razne industrije poput zdravstva, prehrambene industrije i građevinarstva. Ovaj rad istražuje sve aspekte planiranja prijevoza ukapljenih plinova morem. U drugom poglavlju, objašnjava se prirodni plin kao visoko zapaljivi, bezbojni plinoviti ugljikovodik. Detaljno se opisuje povijest trgovanja prirodnim plinom, njegov rani razvoj i trenutna globalna tržišta. Treće poglavlje posvećeno je prijevozu ukapljenog prirodnog plina. Razmatra se nekoliko vrsta brodova, uključujući standardne, velike, male i specijalizirane brodove. Također se detaljno opisuje vrsta propulzije koja se koristi za ove brodove, kao i različiti načini skladištenja ukapljenog prirodnog plina (LNG) na brodovima, kao što su samonosivi i membranski tankovi. Četvrto poglavlje analizira procedure koje se provode tijekom prijevoza LNG-a. Posebna pažnja posvećena je operacijama nakon remonta, tijekom rada i prije remonta. Detaljno se opisuju procesi poput inertiranja i sušenja izolacijskih prostora i tankova, operacije ukrcaja, plovidbe, iskrcaja i balastnog putovanja. Peto poglavlje bavi se sigurnosnim aspektima i propisima koji reguliraju prijevoz LNG-a. Ovdje se razmatraju međunarodni i nacionalni propisi, standardi i prakse te opasnosti povezane s LNG-om. U posljednjem poglavlju, sažimaju se ključni nalazi rada, ističu se važnosti pravilnog provođenja sigurnosnih procedura za efikasan i siguran prijevoz ukapljenih plinova morem.

2. PRIRODNI PLIN

Prirodni plin je vrlo bitan izvor energije u današnjem vremenu, ima visoku energetska gustoću i povoljne ekološke karakteristike kada se uspoređuje sa drugim fosilnim gorivima. Ovo poglavlje pokriva bitna svojstva prirodnog plina, njegovu kemijsku strukturu, tehnike izdvajanja te značajnu ulogu koju ima unutar globalnog energetskog sektora. Osim toga, analizira se povijesni razvoj korištenja prirodnog plina i razvoj njegovog tržišta.

2.1. OPĆE

Prirodni plin je visoko zapaljivi, bezbojni plinoviti ugljikovodik. Često se nalazi u ležištima nafte pod visokim tlakom te može postojati kao plinski sloj iznad nafte. U mnogim slučajevima pritisak prirodnog plina na ležište nafte omogućuje njezino izbijanje na površinu. Prirodni plin, kao fosilno gorivo, nastaje raspadanjem organske tvari, poput ostataka biljaka i životinja, tijekom milijuna godina. Prirodni plin je kemijski građen uglavnom od metana (CH_4), ali uključuje i druge plinovite ugljikovodike kao što su etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) i butan (C_4H_{10}). Uz ugljikovodike, prirodni plin sadrži i ne-ugljikovodike kao što su helij, dušik, ugljični dioksid, vodik i vodikov sulfid. Ekstrakcija prirodnog plina se radi na različite načine, najznačajnije metode su konvencionalno bušenje i hidrauličko frakturiranje. Konvencionalno bušenje koristi rotacijske bušilice koje prodiru unutar plinskih ležišta u stijenskim formacijama. Nakon bušenja postavlja se cijev koja stabilizira bušotinu i omogućuje vađenje plina na površinu. Sa druge strane, hidrauličko frakturiranje koristi tekućinu pod visokim tlakom za stvaranje pukotina u stijenama što olakšava oslobađanje plina. Prirodni plin se obrađuje koristeći nekoliko metoda. Metodom apsorpcije se koristi ulje za izdvajanje tekućih ugljikovodika iz plina. Kriogeni ekspanzijski proces koristi turboekspander za smanjenje temperature plina na -85°C što omogućava odvajanje određenih komponenti poput etana i propana. Membranski procesi koriste visokopropusne membrane koje služe selektivnom propuštanju ugljikovodika. Ugljikovodici se zatim kondenziraju i prikupljaju u tekućem obliku. Sve spomenute metode obrade prirodnog plina osiguravaju njegovu čistoću i spremnost za komercijalnu uporabu tako što povećavaju njegovu sigurnost i iskoristivost u primjeni. Zbog svoje učinkovitosti i ekoloških prednosti, primjena prirodnog plina je vrlo široka. U industriji koristi se za pokret kotlova, proizvodnih procesa i za generiranje električne energije, dok se u domaćinstvima koristi za grijanje i kuhanje. Osim toga, prirodni plin je korisna sirovina za proizvodnju raznih kemikalija kao što su boje, plastika, gnojiva i lijekovi. U transportu se, u obliku komprimiranog i ukapljenog prirodnog plina, koristi kao gorivo za vozila. Jedna od velikih prednosti prirodnog plina nad ostalim fosilnim gorivima je njegova ekološka

prihvatljivost. Njegovo sagorijevanje rezultira mnogo manjim emisijama štetnih tvari u odnosu na ugljen i naftu. Emitira manje ugljičnog dioksida (CO₂), sumporovog dioksida (SO₂) i dušikovih oksida (NO_x), dok pepela i čestica gotovo i nema. Ove karakteristike rezultiraju smanjenjem oštećenja ozonskog sloja, kiselih kiša i emisija stakleničkih plinova koji doprinose globalnom zatopljenju. Zbog ovih ekoloških karakteristika, prirodni se plin smatra ekološki prihvatljivijom i održivijom alternativom u odnosu na druga fosilna goriva.

Tablica 1: Sastav prirodnog plina

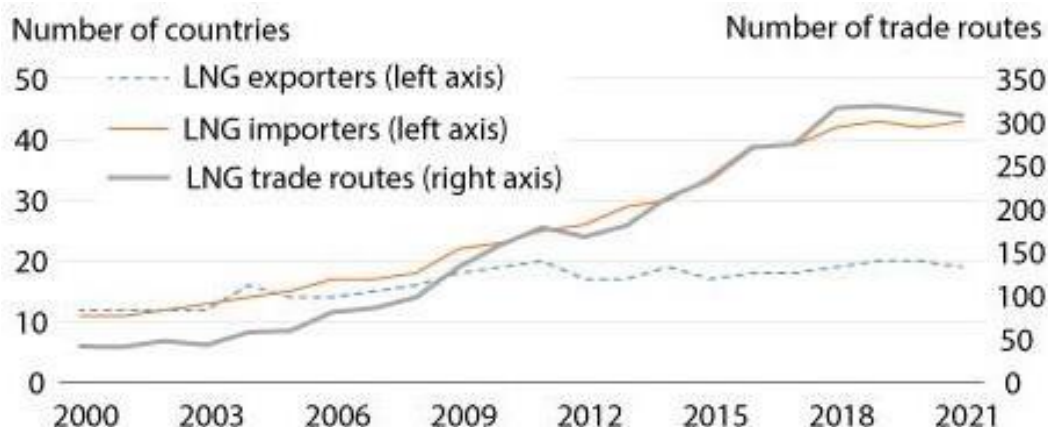
Gas	Composition	Range
Methane	CH ₄	70–90%
Ethane	C ₂ H ₆	
Propane	C ₃ H ₈	0–20%
Butane	C ₄ H ₁₀	
Pentane and higher hydrocarbons	C ₅ H ₁₂	0–10%
Carbon dioxide	CO ₂	0–8%
Oxygen	O ₂	0–0.2%
Nitrogen	N ₂	0–5%
Hydrogen sulfide, carbonyl sulfide	H ₂ S, COS	0–5%
Rare gases: Argon, Helium, Neon, Xenon	A, He, Ne, Xe	trace

Izvor: Speight, J.: „Natural gas”, Gulf Publishing Company, Houston, 2007. (str. 62.)

2.2. POVIJEST TRGOVANJA

Prirodni plin je poznat još od starog vijeka, ali je njegova komercijalna uporaba novijeg doba. Približno 1000. godina prije Krista, na planini Parnas u staroj Grčkoj izgrađeno je proročište na mjestu gdje je prirodni plin izlazio iz zemlje u obliku plamena. Oko 500. godina prije Krista, Kinezi su koristili prirodni plin za prokuhavanje morske vode kako bi dobili pitku vodu. Za transport plina koji je izbijao na površinu su koristili primitivne bambusove "cijevi". Prirodni plin je bitna roba moderne ekonomije. Problem je činjenica da ne posjeduju sve zemlje izvore prirodnog plina, što znači da se moraju oslanjati na međunarodnu trgovinu da zadovolje svoje potrebe. Povijesno gledano, međunarodna trgovina je bila ograničena na korištenje transnacionalnih plinovoda. To je zahtijevalo velike investicije i ograničavalo je izbor dobavljača na geografski bliske zemlje. Od svoga početka, trgovina prirodnim plinom se značajno povećala zahvaljujući tehnološkim naprecima koji su omogućili njegovu pretvorbu u

tekući oblik (LNG) što je omogućilo transport preko većih udaljenosti. Prijevoz LNG-a morem je krenuo krajem 1950-ih te se krenuo razvijati kao jedan od najefektivnijih načina međunarodnog prijevoza prirodnog plina. Krajem 1960-ih i početkom 1970-ih maleni operativni terminali LNG-a su postojali u Španjolskoj, Italiji i Francuskoj. Međutim, europsko tržište su zamjenile jeftinije opskrbe putem plinovoda iz Sjeverne Europe i kasnije iz Sovjetskog Saveza – to je dovelo do rasta azijskih tržišta. Japan je 1969. godine počeo uvoziti LNG iz Aljaske. 1973. godine, Japan je proširio svoje LNG kapacitete novim terminalima te je ugovarao opskrbu iz raznih zemalja uključujući Australiju, Indoneziju, Katar, Malaziju, Ujedinjene Arapske Emirate itd. Koreja i Tajvan, 1980-ih i 1990-ih, se pridružuju Japanu kao veliki Azijski uvoznici, što Aziju dovodi do dominacije u svjetskoj potrošnji LNG-a. 1980-ih, Europske zemlje koje su bile udaljenije od ruskih plinskih polja ponovno su se zainteresirale za LNG te sredinom 1990-ih postaju veliki potrošači. Početkom 2000-ih, ponovo je došlo do rasta potražnje za LNG-om zbog rastućih cijena plina i smatranjem da tradicionalni izvori opskrbe prirodnim plinom opadaju. Sa tim rastom potražnje Brazil, Argentina, Indija, Kina i Meksiko postaju veliki uvoznici te se kapaciteti za uvoz LNG-a proširuju diljem Europe i SAD-a. U ovome vremenskom periodu dolazi do promjene od tradicionalne prakse dugoročnih ugovora između proizvođača i potrošača na novi način trgovanja – LNG spot market. LNG spot market je tržište na kojemu se ukapljeni prirodni plin prodaje za vrlo brzu ili trenutnu isporuku. Razlikuje se od dugoročnih ugovora gdje se plin prodaje i isporučuje tijekom mnogo godina. LNG spot market omogućuje varijaciju cijene LNG-a te njegovu povezanost sa trenutnim cijenama nafte ili plina. Nakon uvođenja novog načina trgovanja, cijene LNG-a su u nekim trenucima padale ispod cijene plina iz plinovoda u Europi i SAD-u što je dovelo do veće potražnje za uvozom. Kasnije tijekom desetljeća cijene LNG-a naglo rastu zajedno sa cijenama nafte što dovodi do potrošnje LNG-a samo na mjestima gdje nije bilo alternative. U ovom periodu potražnja u Aziji postaje visoka te su mnogi LNG tereti tamo preusmjereni. Tijekom 2010-ih trgovina nastavlja brzo rasti. Isporuke u Aziji nastavljaju rasti, Europa ovisi o uvozu LNG-a te neke Europske zemlje koje su primale samo plin iz plinovoda otvaraju terminale za uvoz LNG-a. Uvoz u Južnu Ameriku je također nastavio rasti. U ovome desetljeću na strani izvoznika SAD, Australia, Katar i Rusija su povećano proširili izvoz LNG-a. U približno 20. godina broj zemalja koje sudjeluju u LNG trgovini se povećao. Broj izvoznika je porastao sa 12 u 2000. godini na približno 20 u 2021. godini, a broj uvoznika je porastao sa 11 na 43. Globalna trgovina LNG-a porasla je sa 102,6 milijuna metričkih tona u 2000. godini na 380,2 milijuna metričkih tona u 2021. godini, dok se udio LNG-a u trgovini prirodnim plinom digao sa 26% na 42%.



Grafikon 1: Broj izvoznika, uvoznika i trgovačkih ruta LNG-a, 2000-2021

Izvor: <https://research.stlouisfed.org/publications/economic-synopses/2022/12/15/the-increased-tradability-of-natural-gas>



Grafikon 2: Obujam trgovine LNG-om, 2000-2021

Izvor: <https://research.stlouisfed.org/publications/economic-synopses/2022/12/15/the-increased-tradability-of-natural-gas>

2.2.1. TRŽIŠTE DANAS

Globalna trgovina ukapljenim prirodnim plinom (LNG) zabilježila je rast od 6,8% između 2021. i 2022. godine, dosegnuvši približno 401,5 milijuna tona. Sukob između Rusije i Ukrajine uzrokovao je poremećaje u opskrbi plinovodima, što je dovelo do povećane potražnje za LNG-om u Europi, porasta cijena i preusmjerenja tereta iz Azije u Europu. U 2023. godini, tržišta prirodnog plina su se postupno stabilizirala. Smanjena potražnja u Europi i Aziji ublažila je posljedice opskrbnog šoka iz 2022. godine. Kao rezultat toga, cijene su znatno pale u 2023.,

iako su ostale iznad povijesnih prosjeka u Aziji i Europi. Porast uvoza LNG-a u 2022. godini ponajviše je pokretala Europa, koja je zabilježila godišnji porast od 50,4 milijuna tona, što predstavlja povećanje od 66% u usporedbi s 2021. godinom. Europa je te godine uvezla 126,6 milijuna tona LNG-a, čime je postala druga najveća regija za uvoz LNG-a na svijetu, nastojeći nadoknaditi smanjenje ruskog plina iz plinovoda. Geopolitičke nesigurnosti predstavljaju najveći rizik za globalna plinska tržišta u 2024. godini. Čimbenici poput ruske invazije na Ukrajinu, povećanih napetosti na Bliskom istoku i zabrinutosti zbog namjernih ometanja kritične infrastrukture mogli bi uzrokovati veću volatilnost na tržištima. Dok industrija prolazi kroz ove izazove, fokus je na ulaganjima u LNG, ugovornim aktivnostima i razvoju energetske tranzicije. S očekivanim rastom globalne potražnje za plinom u 2024. godini, industrija mora prevladati ograničenja u proizvodnji LNG-a kako bi zadovoljila rastuću potražnju.

3. PRIJEVOZ LNG-A

Prijevoz ukapljenog prirodnog plina morem vrlo je važan za globalnu energetska industriju. Specijalizirani brodovi i sustavi omogućuju prijevoz LNG-a uz održavanje sigurnosti i efikasnosti na velike udaljenosti. U poglavlju će biti obrađene vrste brodova koji se koriste za prijevoz LNG-a, načini njihove propulzije te sustavi skladištenja LNG-a na brodovima. Također, obraditi će se karakteristike flote LNG brodova te procedure koje se primjenjuju tijekom prijevoza.

3.1. VRSTE BRODOVA

LNG (ukapljeni prirodni plin) brodovi su specijalizirani za prijevoz LNG-a na velike udaljenosti na siguran i učinkovit način. Opremljeni su posebnim značajkama koje omogućuju transport LNG-a pri gotovo atmosferskom tlaku i vrlo niskim temperaturama (-169°C). Ovi brodovi variraju u veličini i tipu, prilagođeni različitim operativnim potrebama i zahtjevima odredišta. Možemo ih podijeliti na:

- Standardne LNG brodove
- Velike LNG brodove
- Male LNG brodove
- Specijalizirane LNG brodove

Povijesno, standardni LNG brodovi su imali kapacitet od oko 125.000 m³, s pet teretnih tankova, svaki kapaciteta oko 25.000 m³. Taj dizajn bio je široko prihvaćen zbog ravnoteže između kapaciteta i manevarskih sposobnosti. Suvremeni LNG brodovi sada obično imaju kapacitet između 138.000 i 173.000 m³. Ovi brodovi obično mjere 277 do 290 metara u duljinu, 26,0 do 26,5 metara u dubinu i 43,3 do 45,8 metara u širinu, nudeći poboljšanu učinkovitost i veće količine tereta bez značajnog kompromitiranja manevarskih sposobnosti. U grupu velikih brodova pripadaju Q-Flex i Q-Max brodovi. Q-Flex brodovi imaju kapacitet od oko 210.000 m³. Duljine su oko 315 metara, dubine 27 metara i širine 50 metara, s pet teretnih tankova. Dizajnirani su za optimizaciju dugotrajnog transporta i imaju ugrađene sustave za ponovno ukapljivanje „boil off“ plina (plina koji isparava tijekom transporta), što sprječava gubitke isparavanja tijekom dugih putovanja. Q-Max brodovi su najveći LNG brodovi i mogu nositi do 263.000 m³ LNG-a. Mjere približno 345 metara u duljinu, 27 metara u dubinu i 55 metara u širinu, s četiri teretna tanka. Oni predstavljaju vrhunac kapaciteta za LNG transport, nudeći značajne ekonomske prednosti za prijevoz velikih volumena LNG-a na dugim rutama. Kao i Q-Flex brodovi, također imaju sustave za ponovno ukapljivanje „boil off“ plina. Mali LNG

brodovi se koriste za kraće rute i opskrbu manjih LNG terminala koji ne mogu primiti veće brodove. Kapaciteti variraju od samo 1.000 m³, korištenih za obalnu distribuciju, do oko 19.000 m³. Ovi brodovi pružaju fleksibilnost u distribuciji LNG-a, opskrbljujući udaljena ili manje pristupačna područja bez izravnog pristupa plinovodima. Pod specijalizirane LNG brodove spadaju arktički LNG brodovi koji su izgrađeni za navigaciju kroz ledene vode, opremljeni su sa snažnim motorima te imaju pojačane trupove koji mogu izdržati otpornost leda. Često zahtijevaju dodatnu podršku od ledolomaca. Moraju se kretati kroz debele ledene ploče i ekstremnu hladnoću, što zahtjeva visoke operativne standarde.



Slika 1: Q-Max brod “Mozah”

Izvor: <https://gcaptain.com/q-max-lng-tankers/>

3.2. VRSTE PROPULZIJE

Propulzijski sustavi za LNG brodove povezani su sa BOG-om (boil-off gas – LNG koji isparava tijekom plovidbe). Sve izvedbe izlaze iz 4 glavne kategorije – parne turbine, plinske turbine, dizelski motori i dvogorivni motori. Iz tih kategorija radimo daljnju podjelu na 6 sustava propulzije.

- Parne turbine

- DFDE (Dual Fuel Diesel Electric, Dvojno gorivo dizelsko-električni pogon)
- Dvotaktni sporohodni dizelski motor s postrojenjem za ponovno ukapljivanje
- Sporohodni dvotaktni motori na dvojno gorivo
 - o ME-GI (M-Type Electronically Controlled Gas Injection, M-tip elektronički kontrolirano ubrizgavanje plina)
 - o X-DF (X-series Dual Fuel, X dvostruko gorivo)
 - o ME-GA (M-Type Electronically Controlled Gas Admission, M-tip elektronički kontrolirani ulaz plina)
- COGES (Combined Gas Turbine Electric and Steam System, Kombinirana plinska turbina, električna i parna)
- STaGE (Steam Turbine and Gas Engine, Parna turbina i plinski motor)

Parne turbine obično uključuju dva kotla na plin/teško gorivo (HFO) koji isporučuju paru visokog tlaka turbini koja pokreće propeler i turbo generatore za proizvodnju energije. Sustav može istovremeno spaljivati HFO i BOG. Negativni aspekti ove izvedbe su niska učinkovitost, visoki troškovi goriva, visoke emisije ugljikovog dioksida i malena prostorna učinkovitost. DFDE uključuje više povezanih motora iste vrste. Motori su povezani sa električnim generatorima koji daju energiju cijelom brodu, uključujući pogon sa elektromotorom. Pogonjeni su BOG-om, morskim dizelom (MDO) ili HFO-m te mogu mijenjati način rada iz plinskog u dizelski prema potrebi. DFDE sustav omogućava dobru učinkovitost, fleksibilnost i niske emisije. Dvotaktni sporohodni dizelski motor s postrojenjem za ponovno ukapljivanje koristi HFO i nema mogućnost sagorijevanja BOG-a, stoga se BOG mora ukapljivati i vraćati u tankove. Sporohodni dvotaktni motori na dvojno gorivo se dijeli u tri izvedbe (ME-GI, X-DF i ME-GA). ME-GI motori ubrizgavaju plin pod visokim pritiskom radeći na dizelskom ciklusu. Ovom se metodom smanjuje rizik od detonacije i povećava se energetska efikasnost. X-DF motori koriste ciklus sa predmiješanim gorivom i zrakom. Ubrizgavaju plin pod niskim pritiskom, te nude jeftiniji i jednostavniji sustav za opskrbu gorivom. ME-GA motor jenajnovija izvedba. Koristi niskotlačni sustav za opskrbu plinom te ima integrirani sustav recirkulacije ispušnih plinova koji smanjuje emisije metana i podiže učinkovitost. COGES propulzija koristi plinsku turbinu koja pokreće generator za električnu energiju koja se koristiza pogon. Ispušni plinovi se koriste za proizvodnju pare za povrat topline. Ova izvedba daje visoki omjer snage i težine zajedno sa niskim emisijama. Negativni aspekti su visoki kapitalnitroškovi. STaGE pogon kombinira ultra parne turbine i motore na dvojno gorivo (DFE) sa električnim pogonskim motorom. Sustav koristi toplinu iz motora na dvojno gorivo za

zagrijavanje vode koja ide prema ultra parnoj turbini što znatno poboljšava učinkovitost. Osim dobre učinkovitosti omogućava i smanjenje emisija ugljikovog dioksida.

3.3 NAČINI SKLADIŠTENJA

Glavna razlika između ostalih tankera i LNG tankera je sustav za skladištenje tereta. Postoji nekoliko glavnih sustava za skladištenje LNG-a. Dije se na dvije samonosive strukture i tri membranska tipa dizajna.

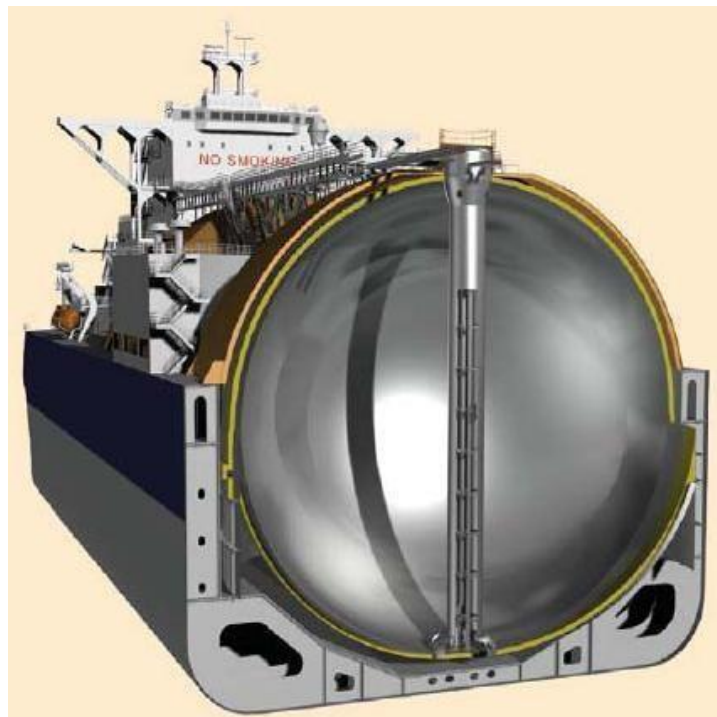
3.3.1. SAMONOSIVI TANKOVI

Kod prijevoza LNG-a, ova vrsta tankova je najčešće u sferičnom „Moss type“ obliku, razvijenom od strane kompanije Moss Maritime. Također može biti u prizmatičnom obliku, dizajnirano od strane Conch International Methane Ltd. Ovi su tankovi izgrađeni od aluminijske legure ili od čelika sa 9% nikla sa vanjskim slojevima izolacije. Kompletно su samo stojeći što znači da nisu sastavni dio brodske konstrukcije i ne sudjeluju u čvrstoći broskog trupa. Ovo smanjuje vjerojatnost da će oštećenje trupa biti preneseno na tank. Tankovi su pričvršćeni za cilindrične nosače ili su na neki drugi način povezani s nosačima koji su zavareni za konstrukciju broda. Prema IGC Kodeksu (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) postoje 3 vrste samonosivih tankova. Neovisni tankovi tipa A, B i C. Tip A i C se ne koriste kod prijevoza LNG-a, dok se tip B koristi i ima dva oblika:

- Sferični
- Prizmatični

Sferičnim tankovima oblik omogućuje predviđanje naprezanja tanka što povećava izdržljivost i uklanja potrebu za potpunom sekundarnom barijerom. Također, zbog svog oblika u tanku nema utjecaja učinka zapljuskivanja koji može uzrokovati dinamička opterećenja i utjecati na strukturu tanka. Tank posjeduje parcijalnu sekundarnu barijeru izvedenu kao posuda za skupljanje kapljica (drip tray). Ta je posuda napravljena od nehrđajućeg čelika i ima kapacitet da izdrži najveće količine istjecanja tereta te je termalno izolirana što sprječava štetu brodu uzrokovanu velikim hladnoćama. Izolacija može biti izvedena od polistirena u spirali ili pjenu fenola i poliuretana te dopušta maksimalno dnevno isparavanje tereta od 0,15%. Osim toga, drip tray je opremljen sensorima za mjerenje nivoa tekućine, temperaturu te detekciju

ugljikovodika. Stijenke „Moss type“ tankova su široke 28mm na polovima, do 160mm na ekvatoru. Na svom ekvatoru je tank zavaren za otvore na palubi broda. Neke od prednosti ove vrste tankova su malena osjetljivost na stresove, manjak limita kod parcijalnog krcanja te mogućnost iskrcaja tereta stavljajući tank pod povećani tlak (u slučaju neispravnosti pumpi za iskrcaj). Nedostaci ove izvedbe su neefikasno korištenje prostora, sporija rata pothlađivanja tereta, veća težina cijelog sustava i negativni utjecaj na maritimne sposobnosti broda zbog svoje veličine i visine.

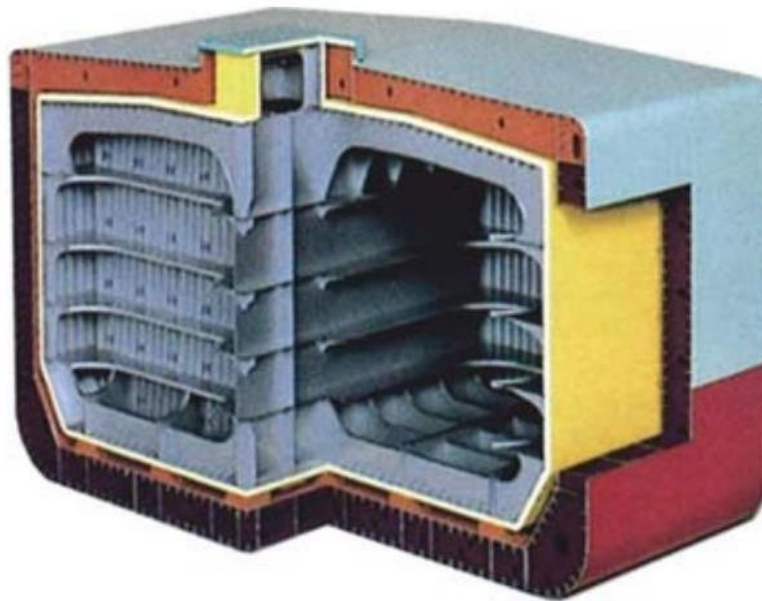


Slika 2: Presjek sferičnog tanka

Izvor: <http://www.liquefiedgascarrier.com/moss-rosenberg-containment-system.html>

Prizmatični tankovi imaju prednost nad sferičnim u volumetrijskoj efikasnosti zbog činjenice da se mogu u potpunosti smjestiti ispod glavne palube broda. Utjecaj učinka zapljuskivanja je izbjegnuto kod ove vrste tankova korištenjem uzdužnih i poprečnih pregrada. Isparavanje tereta se umanjuje korištenjem ploča izolacije od poliuretanske pjene zaljepljene na tank i pokrivene aluminijskom folijom, što smanjuje stopu isparavanja tereta na oko 0,08% dnevno. Ovu vrstu tankova koristi mali broj brodova zbog iznimno skupe gradnje i velike cjelokupne težine

uzrokovane izolacijskim pločama i znatnim količinama ojačanja. Prednost kod ovakve izvedbe tankova su ravna i široka paluba, jednostavna upotreba i manji troškovi održavanja.



Slika 3: Presjek prizmatičnog tanka

Izvor:

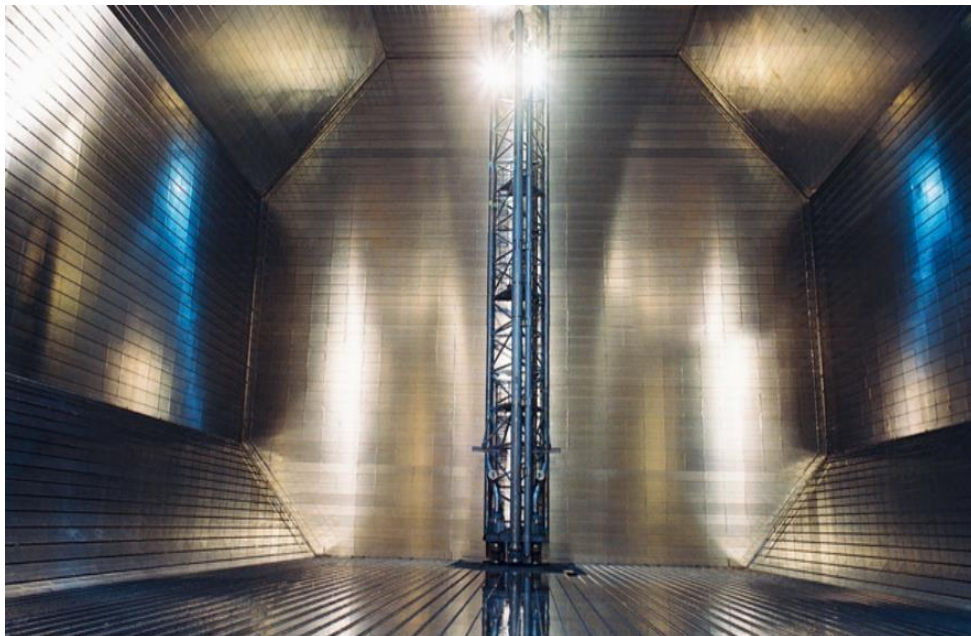
https://akerarctic.fi/app/uploads/2019/05/arctic_passion_news_2_2017_Different-cargo-containment-systems-for-LNG-Carriers.pdf

3.3.2. MEMBRANSKI TANKOVI

Membranski su tankovi potpuno okruženi brodskom strukturom. Sastoje se od tankog sloja metala (primarna barijera), izolacije, sekundarne membranske barijere i dodatne izolacije. Dizajn membrane je takav da se bilo kakvo širenje ili skupljanje, uzrokovano promjenom temperature, kompenzira bez pretjeranog naprezanja membrane. Kod membranskog dizajna, trup broda postaje vanjska oplata tanka. Izolacija se postavlja direktno na njega te se membrana postavlja iznutra. U određenom rasponu razine punjenja ovih tankova (obično između 10% i 70% tanka) dolazi do nepoželjenog efekta zapljuskivanja koji može prouzročiti strukturalna oštećenja. Postoje 3 glavne vrste membranskih tankova.

- GT No96: od kompanije Gaz Transport
- TG Mark III: od kompanije Technigaz
- GTT CS1: od kompanije GTT (spoj Gaz Transport-a i Technigaz-a)

GT No96 sustav ima dvije identične membrane i dva samostalna sustava izolacije. Membrane su napravljene od invara (36% niki-čelik) te su 0,7mm debljine. Primarna membrana dotiče teret, a zadatak sekundarne membrane je očuvanje strukture broda u slučaju oštećenja primarne membrane. Izolacija je napravljena od drvenih kutija koje su ispunjene ekspandiranim perlitom, staklenom vunom ili pjenastom izolacijom. Kroz svaku drvenu kutiju prolazi dušik, te se u ovim prostorima kontinuirano motri atmosfera kako bi se otkrile potencijalne pare ugljikovodika ukoliko dođe do popuštanja strukture tanka. Kod najnovije izvedbe, NO96 Super+, stopa isparavanja tereta je 0,085%. Mark III je sustav koji ima različitu primarnu i sekundarnu membranu. Primarna je membrana napravljena od 1.2mm debelog nehrđajućeg čelika, dok je sekundarna membrana napravljena od tri tanka sloja – aluminij omeđen staklenom vunom i slijepljen smolom. Taj se materijal naziva triplex. Tlak u sekundarnoj barijeri je veći kako bi se spriječilo ispuštanje plina. Izolacija je izgrađena od dva sloja drvenih panela koji su ispunjeni poliuretanskom pjenom te su kao i kod GT No96 sustava nadgledani putem detektora ugljikohidrata i punjeni dušikom. Model Mark III Flex+ ima stopu isparavanja tereta od 0,07%. CS1 je kombinacija GT No96 i Mark III sustava. Ova izvedba koristi ojačanu poliuretansku pjenu i dvije membrane. Prva membrana je debljine 0,7mm i napravljena je od invara (GT No96), druga je izrađena od triplex materijala (Mark III). Sustav je pojednostavljen za olakšano sastavljanje te je unaprijed izrađen, što omogućuje brzo montiranje na brod.



Slika 4: Unutrašnjost Mark III tanka

Izvor: <https://splash247.com/korea-to-develop-own-lng-containment-system/>

3.4. FLOTA

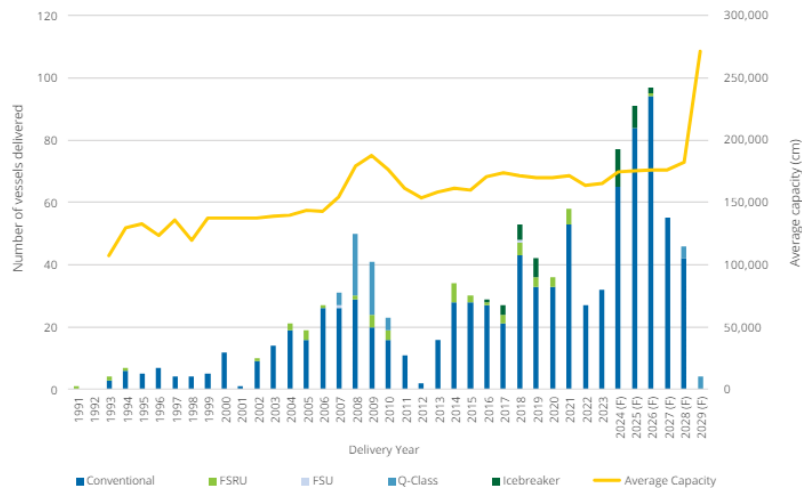
Prijevoz ukapljenog prirodnog plina morem je tijekom godina evoluirao raznim tehnološkim inovacijama i promjenama u industriji. Razvoj brodova za prijevoz LNG-a se može pratiti od sredine 20. stoljeća do današnje napredne LNG flote. MV Methane Pioneer je bio prvi brod koji je isporučio teret LNG-a ocenskim putem. Isplovio je 25. siječnja 1959. sa obale Louisiane prema Velikoj Britaniji. Brod je izravno bio teretni brod američke vlade, građen pri kraju Drugog svjetskog rata, te je 1958. preuređen za prijevoz LNG-a. Specifikacije MV Methane Pioneer-a:

- Duljina: 338.5 stopa \approx 103.2 m
- Širina: 50 stopa \approx 15.2 m
- Gaz: 18 stopa \approx 5.5 m
- Ukupna nosivost: 5034 t
- Kapacitet LNG tereta: 5000 m³

Zbog uspješnosti Methane Pioneera, multinacionalna energetska kompanija Shell je naručila dva namjenska, sestrinska LNG prijevoznika za izgradnju u Velikoj Britaniji. Ta dva broda su bili Methane Princess i Methane Progress te su oni prvi namjenski građeni brodovi za prijevoz LNG-a. Ušli su u alžirsku trgovinu LNG-a 1964. godine te su napravili preko 1,000 putovanja do sredine 1990-ih kada su rastavljeni. Specifikacije Methane Princess i Methane Progress-a:

- Duljina: 621 stopa \approx 189 m
- Širina: 82 stopa \approx 25 m
- Gaz: 18 stopa \approx 12 m
- Ukupna nosivost: 24608 t
- Kapacitet LNG tereta: 27,400 m³

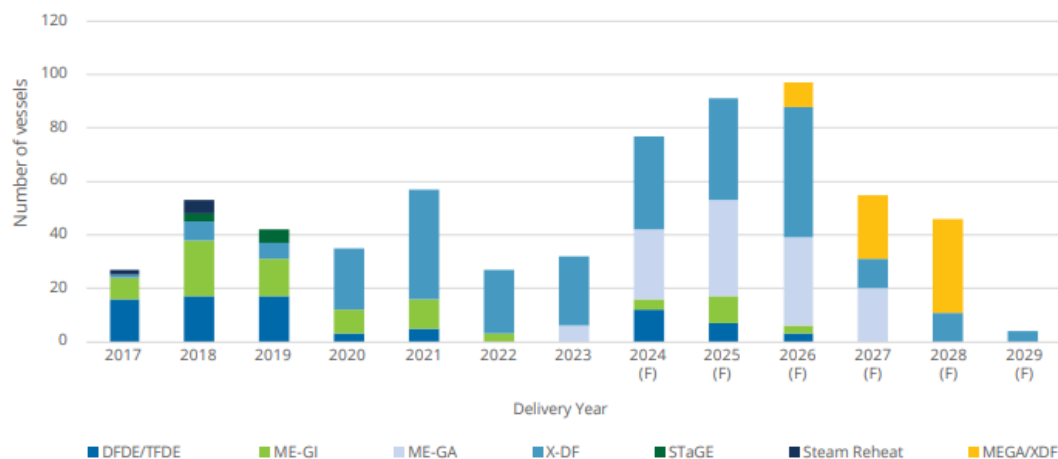
Nakon izgradnje prvih namjenskih brodova, flota LNG prijevoznika je krenula rasti na sve veći broj i sadržavati efektivnije i veće brodove.



Grafikon 3: Globalna aktivna LNG flota i knjiga narudžbi po godini isporuke i prosječnom kapacitetu, 1991 – 2029

Izvor: <https://www.igu.org/resources/2024-world-lng-report/>

Flota danas je u stanju velikog rasta. Globalna knjiga narudžbi LNG-a je imala 359 brodova u izgradnji na početku 2024, dok se u trenutnoj floti nalazi 701 aktivnih broda. To je povećanje od preko 51% trenutne flote što znači da LNG industrija prolazi kroz period velikog rasta. Taj rast se ponajviše događa zbog planiranih povećanja kapaciteta za ukapljivanje u svijetu, a posebno u SAD-u. U 2023. godini sveukupno je napravljeno 7004 LNG prijevozna putovanja. To je povećanje od 1,7% od 2022. godine. Azija, kao središte potražnje, ostaje dominantna te je odgovorna za 4376 putovanja. Europa je pokazala manji broj putovanja zbog slabijeg uvoza uzročeno blagom zimom 2022. godine, te su putovanja pala za 3,6%. Prema vrsti propulzije, U 2020. godini, zbog svoje poboljšane učinkovitosti goriva i niže emisije, isporučeno je najviše X-DF sustava. Za daljnje isporuke X-DF sustav ostaje jedan od glavnih odabira sa 141. sustavom u narudžbi. U 2023. godini brod koji koristi ME-GA motor je po prvi put isporučen. ME-GA će postati jedan od izbora u konkurenciji sa X-DF tehnologijom, sa 112 narudžbi koje će biti isporučene do 2027. godine. Za još 68 brodova tip pogona nije potvrđen, ali se pretpostavlja da će biti ili ME-GA ili X-DF. Osim ova dva sustava postoji i ME-GI sustav sa 16 brodova u izgradnji. Ova tri sustava predstavljaju unaprijeđenje u učinkovitosti, ekonomiji razmjera i zaštiti okoliša nad prethodnim generacijama (parne turbine, DFDE sustavi...)

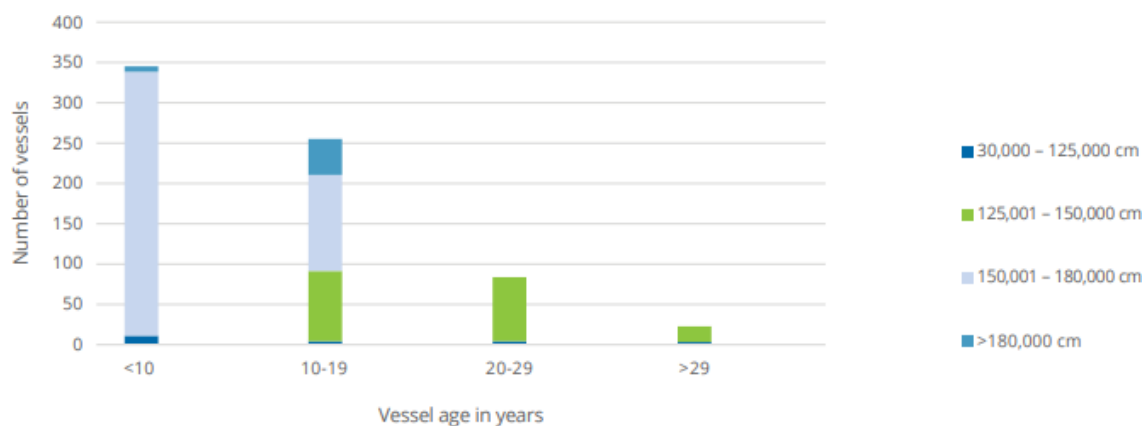


Grafikon 4: Trendovi isporuke plovila prema vrsti pogona, 2017.-2029

Izvor: <https://www.igu.org/resources/2024-world-lng-report/>

Flota LNG brodova je relativno mlada, čak 85.3% flote je mlađe od 20 godina te je najstariji brod građen 1977. godine. Smatra se da bi se životni vijek brodova mogao smanjiti zbog ubrzanog razvitka tehnologije i propisima o emisijama što će održavati mladost LNG flote.

U sredini 2000-ih godina brodovi su bili isključivo ispod 150,000 m³ jer je to bila veličina optimalna za propulziju parnom turbinom. Većina novogradnji ima veličinu između 150,000 i 180,000 m³ zbog novih sustava propulzije kao što su X-DF, ME-GI i ME-GA, koji na tim veličinama postižu najoptimalniju potrošnju goriva. Osim toga novu veličinu brodova podržavaju i nove dimenzije Panamskog kanala, nakon njegovog proširenja 2016. godine. Osim prije navedenih veličina brodova, knjiga narudžbi sadrži 22 broda kapaciteta od 200.000 do 271.000 m³ za isporuku od 2024. do 2029. godine. Ovi brodovi mogu postati preferirani izbor zbog svoje ekonomičnosti za duge isporuke.



Grafikon 5: Kapacitet flote prema starosti plovila, kraj veljače 2024.

Izvor: <https://www.igu.org/resources/2024-world-lng-report/>

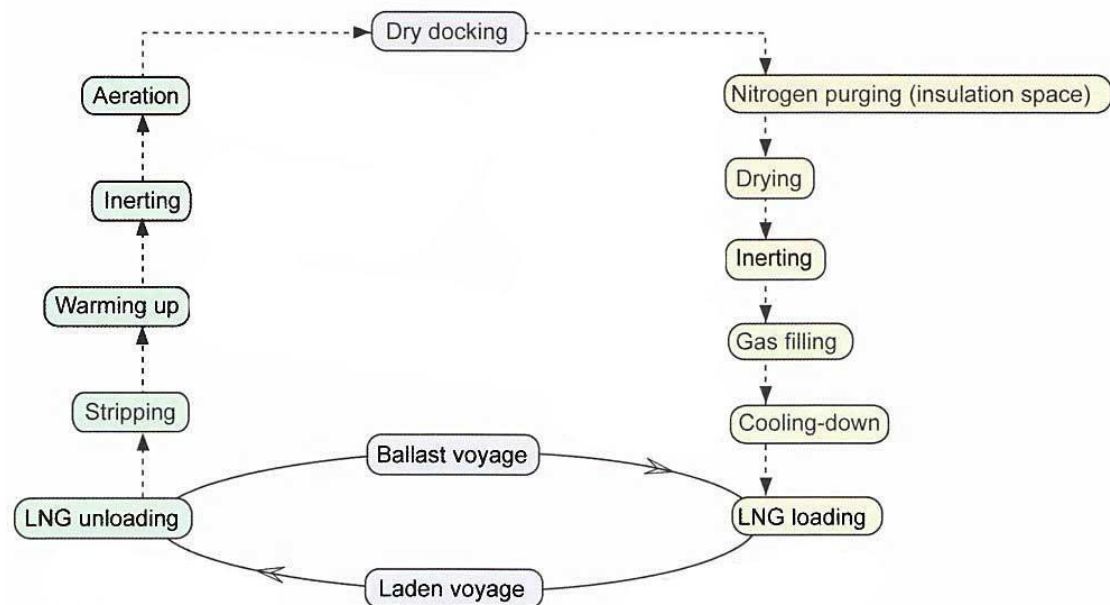
Prema načinu skladištenja, brodovi u modernom dobu su se skoro u potpunosti prebacili na korištenje membranskih tipova tankova. U sadašnjoj floti 577 brodova (82.3%) koristi membranske tankove, dok samo 124 broda (17.7%) koristi samo-nosive. Razlog ovoj velikoj razlici u postocima je stopa dnevnog isparavanja tereta (boil off stopa). Kod novih membranskih tankova boil off stopa je ispod 0,10% kapaciteta tanka na dan. Ovo je velika prednost nad samo-nosivim tankovima čija je boil off stopa oko 0,15%. Nova izvedba membranskih tankova kompanije Gaztransport & Technigaz (GTT) zvana Mark III Flex+ ima stopu od 0,07%. Osim toga membranski tankovi su postali popularni izbor kod LNG brodova zbog svog efikasnijeg korištenja prostora od samo-nosivih tankova.

4. PROCEDURE TIJEKOM PRIJEVOZA LNG-A

U pomorskoj industriji LNG-a, korektne i pažljivo obavljane operacije na brodovima su ključne za osiguranje učinkovitog i sigurnog prijevoza. Ove operacije uključuju rukovanje teretom, sigurnosne protokole, navigacijske strategije i rutine održavanja koje su bitne za uspješnu plovidbu LNG broda.

Sve bitne operacije za LNG brodove mogu se staviti u 3 kategorije:

- Operacije nakon remonta
- Operacije tijekom rada
- Operacije prije remonta



Slika 5: Tipični trgovački ciklus suvremenog LNG broda

Izvor: <https://sea-man.org/lng-operations.html>

4.1. OPERACIJE NAKON REMONTA

U operacije nakon remonta spadaju sve aktivnosti koje se moraju napraviti na brodu nakon odlaska iz suhog doka za vraćanje sustava za teret broda u stanje prikladno za prijevoz LNG-a. Te operacije uključuju inertiranje, sušenje i priprema izolacijskih prostora i teretnih tankova, održavanje tlakova, punjenje tankova plinom i hlađenje.

4.1.1. INERTIRANJE I SUŠENJE IZOLACIJSKIH PROSTORA TE SUŠENJE TANKOVA

Kod brodova sa membranskim načinom skladištenja prije stavljanja teretnog tanka u upotrebu vlažni zrak koji se nalazi u izolacijskom prostoru mora se zamijeniti suhim dušikom tako da ne dođe do stvaranja leda i korozije tijekom hlađenja tankova. To se može postići korištenjem vakuumskih pumpi za evakuaciju izolacijskih prostora te punjenje s dušikom. Ovaj se postupak ponavlja sve dok se sadržaj kisika ne smanji na ispod 2% i točku rosišta ispod 25°C. Evakuacija obično traje oko 8 sati, te je najčešće potrebno napraviti tri ciklusa. Brodovi sa GTT Mark III sustavom nemaju vakuumske pumpe, nego imaju by-pass ventile na ispuhu iz međuizolacijskih i izolacijskih prostora koji se otvaraju i omogućuju opskrbu dušikom. Najčešće se koristi tekući dušik dobiven sa obale koji se onda pretvara u plin. Za sušenje izolacijskih prostora samonosivih sferičnih tankova postoji drugačija metoda. Oko sferičnih tankova nalazi se izolacija koja uključuje prstenasti prostor. Taj se prstenasti prostor koristi kao dodatna barijera za zadržavanje potencijalnog curenja, te se mora osušiti i inertirati kako bi se spriječilo stvaranje leda i korozije. To se radi tako da se ispušni ventili otvaraju i uvodi se dušik koji postepeno smanjuje sadržaj kisika na ispod 2% te rosište ispod -20°C. Tijekom ove operacije vrlo je bitno održavati odgovarajući protok dušika tako da se osiguraju stalni uvjeti. Osim izolacijskih prostora ključno je osušiti i prostor u kojemu se skladišti teret. To se radi nakon dokovanja ili inspekcije kako bi se spriječilo stvaranje leda i korozije. To se radi uvođenjem suhog zraka, koji obično osigurava remontno brodogradilište ili brodski sustav za inertni plin, u prostore tanka. Suhi zrak istiskuje vlažni zrak sa vrha i ventilira ga kroz ispušni otvor. Ovaj proces traje oko 20 sati, te je nakon toga rosište smanjeno na manje od -25°C.

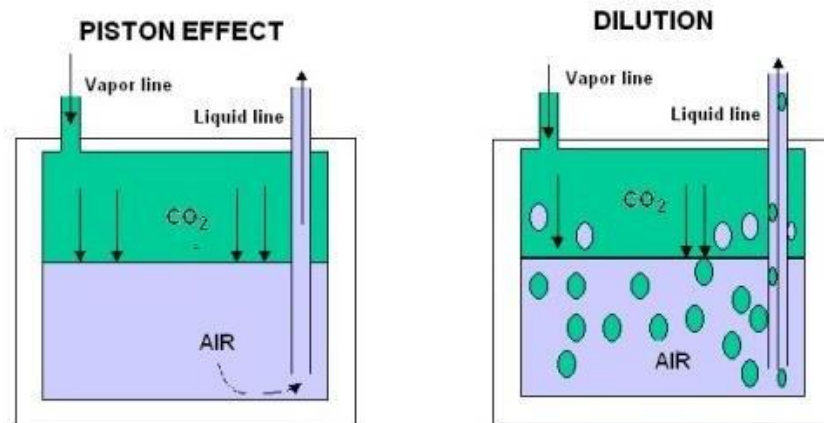
4.1.2. INERTIRANJE TANKOVA

Nakon sušenja teretnih tankova, oni se moraju inertirati. To se radi sa ciljem stvaranja nezapaljive atmosfere, kako ne bi došlo do požara tijekom bilo kakvih operacija te sa ciljem održavanja rosišta na -45°C ili niže. Inertni plin se uvodi te istiskuje zrak i stvara atmosferu sa manje od 2% kisika. Tijekom procesa inertiranja tankova moraju se redovito uzimati uzorci da se osigura željena razina kisika. Razlog zašto se koristi inertni plin je činjenica da se inertni plin i dušik proizvode na različite načine te je svaki sustav napravljen za svoju funkciju. Postrojenje za inertni plin na brodu je visokog kapaciteta i niskog tlaka te se koristi za inertiranje velikih prostora. Postrojenje za dušik je niskog kapaciteta i visokog tlaka te se koristi za održavanje inertnih uvjeta u manjim prostorima (izolacijska područja).

Procedura inertiranja:

- Priprema: Prvi korak je osiguravanje da je postrojenje za inertni plin funkcionalno sa korektnim sadržajem kisika i rosištem.
- Uvođenje inertnog plina: Pažljivo se mora kontrolirati tlak i protok inertnog plina za održavanje ujednačenih uvjeta.
- Ispiranje neiskorištenih dijelova: Inertnim plinom se moraju isprati svi cjevovodi, strojevi i povezana oprema, sa ciljem uklanjanja zraka ili plinova.
- Ispiranje korištenih dijelova: Ispiranje teretnih tankova, plinskih grijača, kompresora i drugih komponenti koje se koriste tijekom operacija.

Pravilno održavanje tlaka je bitno za održavanje integriteta sustava. Ovo je posebno bitno kod brodova s membranskim tankovima zbog zaštite membrane i izolacijskih sustava. Tlak se mora pratiti redovno i prilagođavati unutar dozvoljenih granica. U završnim fazama inertiranja mora se osigurati da je teretni sustav pun inerta, čvrst i bez propuštanja. Kada je inertiranje pravilno izvedeno, uspostavlja se klipni efekt (piston effect) pri kojem se zrak ili metan potiskuju u tanku uz minimalan broj promjena volumena tanka (zamjenu plinova unutar tanka). Kada inertiranje nije pravilno izvedeno i inertni plin se uvodi u tank prevelikim protokom, klipni efekt se ne uspostavlja i pojavljuje se razrjeđivanje (dilution) pri čemu se zrak ili metan potišće uz mnogo manju efektivnost i uz veliki broj promjena volumena tanka.



Slika 6: Pravilni i nepravilni način inertiranja tankova

Izvor: <https://sea-man.org/Ing-cargo-tanks.html#inerting>

4.1.3. GASSING UP I HLAĐENJE

Ovaj proces uključuje zamjenu inertnog plina sa LNG parom. Ovo se radi zbog toga što se inertni plin može zamrznuti na temperaturi kojom se hlade tankovi prilikom ukrcaja LNG-a. Ova se operacija izvodi uvođenjem tople LNG pare kojom se istiskuje inertni plin uz obavezno praćenje prelazi li sadržaj para LNG-a 88% volumena tanka prije završetka procesa. Ako je količina LNG para manja od 88%, atmosfera neće biti prikladna. Hlađenje se izvodi na način da tankovi budu što bliži temperaturi LNG-a prije njegovog ukrcaja. Radi se uvođenjem LNG-a tako što se pumpa kroz prskalicu, isparava i na taj način hladi tankove. Ključno je kontrolirati brzinu hlađenja da ne dođe do termičkog šoka i prekomjernog isparavanja. Hlađenje je dovršeno kada temperatura tanka dosegne -130 °C. Na tim se uvjetima može krcati LNG.

4.2. OPERACIJE TIJEKOM RADA

Operacije u radu LNG brodova uključuju niz koraka kako bi se osiguralo sigurno i učinkovito rukovanje teretom tijekom putovanja. Ove operacije pokrivaju procese od ukrcaja tereta do balastnog putovanja.

4.2.1. OPERACIJE UKRCAJA

Faza prije ukrcaja započinje čim je brod sigurno privezan. Glavni motor se postavlja na malene okretaje kako bi se izbjegla oštećenja. Za starije turbine, ovo je ključno jer i kratki periodi bez okretanja mogu uzrokovati probleme. Dežurni časnik (OOW, officer of the watch) pomaže pri spajanju ukrcajnih ruku i osigurava da su svi sigurnosni sustavi na mjestu.

Prije početka ukrcaja, provode se testovi kako bi se osiguralo da sustavi za hitno zaustavljanje (ESD, emergency shut down system) rade ispravno. Rukovanje plinom koji isparava iz LNG-a zbog zagrijavanja (boil-off gas) obavlja se ili isključivanjem određenih kompresora ili njihovim neprekinutim korištenjem za održavanje stabilnosti cijelog procesa. Svi alarmi razine tereta u spremnicima se postavljaju i provjeravaju kako bi se osiguralo da je sve spremno za siguran ukrcaj. OOW prisustvuje na manifoldu (priključak za ukrcaj i istovar LNG-a) kako bi pomogao i izvještavao o napretku testova. Uz dopuštenje terminala, otvaraju se ventili manifolda, resetira se brodska kontrolna stanica hitnog zaustavljanja (ESOS, emergency shut down operator station). Također se mora provesti test „Hot ESD“ koji osigurava funkcionalnost sustava za hitno zaustavljanje. Tijekom ukrcaja LNG se pumpa u tankove tereta. Maksimalna razina punjenja za ove spremnike obično je 98%, ali ponekad može biti malo viša uz posebno

odobrenje. Takva razina pomaže u upravljanju stopom boil-off plina. Kako LNG ulazi u tankove, važno je spriječiti da se bilo koji tank puni brže od drugih. Ova ravnomjerna raspodjela se upravlja podešavanjem ventila za ukrcaj. Istovremeno, de-balastiranje osigurava da brod ostane stabilan i uspravan dok se težina tereta povećava. Svakih sat vremena, u kontrolnoj sobi za teret (CCR, cargo control room) bilježe se detaljni zapisi, kao što su razine popunjenosti tankova, ukupne količine LNG-a na brodu, stope ukrcaja i tlakovi na manifoldu. Uvjeti vremena, brzina vjetra, stanje mora i napetost priveza neprestano se prate. Ovi zapisi osiguravaju sigurnost operacije i pružaju bitne podatke za operativnu učinkovitost. Parametri kompresora redovito se provjeravaju i vrše se prilagodbe kako bi se održao kontrolirani proces ukrcaja. Nadopunjavanje je završna faza ukrcaja, gdje se tankovi pune do maksimalnog kapaciteta. Časnici zaduženi za ovu operaciju, uključujući glavnog časnika, inženjera za teret i OOW, dolaze u kontrolnu sobu kako bi nadzirali ovaj proces. Stope ukrcaja se postupno smanjuju, a de-balastiranje je tempirano da završi neposredno prije završetka ukrcaja tereta. Kako se svaki spremnik približava svojoj maksimalnoj razini, potrebna je koordinacija za postupno smanjenje stope ukrcaja. Ovo pomaže izbjeći prelijevanje. Dežurni časnik osigurava ispravno funkcioniranje svakog ventila za ukrcaj, po potrebi ručno, zatim ponovno uključuje automatski način rada. Brod obavještava terminal pet minuta unaprijed prije svakog smanjenja stope ukrcaja. Kada se konačno tank približi ciljanoj razini, terminal se obavještava o zaustavljanju ukrcaja. Nakon potvrde, linije se prazne, a spoj s kopnom za plin se zatvara uz nadzor terminala. Nakon ukrcaja, moraju se ukloniti neželjeni ugljikovodici u linijama. To se postiže tlačenjem linija dušikom dok se sadržaj metana ne smanji na manje od 1%. Tada se ukrcajne ruke odspajaju prema sigurnosnim postupcima. Spojevi manifolda se osiguravaju za plovidbu te se sva oprema provjerava. Također se ESD sustavi sigurnosno odspajaju i ponovno pohranjuju. Kada se odvežu konopi, brod može doživjeti nagle promjene u položaju zbog promjena balansa te se zato radi lagani nagib prema obali koji osigurava da brod ostane stabilan i sprječava da se naglo nagne na suprotnu stranu. Ostale procedure za polazak broda (pretraživanje slijepih putnika, podešavanje balasta za uvjete na moru...) provode se istovremeno. Nakon što se osigura da je svo osoblje s kopna napustilo brod, uklanja se pristupna skala. Zapovjednik i prvi časnik dovršavaju i izdaju sve potrebne dokumente, osiguravajući da je brod spreman za polazak.



Slika 7: Posada u kontrolnoj sobi tereta prati proces ukrcanja/iskrcanja LNG-a

Izvor: <https://www.yokogawa.com/cz/library/resources/references/centum-cs-3000-supports-the-stable-transport-of-clean-energy-by-world-class-lng-carrier/>

4.2.2. PLOVIDBA

Tijekom plovidbe, kretanje broda i vanjska toplina uzrokuju stvaranje boil-off plina. Ovaj plin se vrlo često koristi kao gorivo za brodski pogonski sustav. Odgovornost posade je osigurati siguran transport tereta, maksimizirati količinu isporučenog LNG-a i pridržavati se svih sigurnosnih i ekoloških propisa. U normalnim uvjetima, boil-off plin se sagorijeva u brodskim kotlovima, osiguravajući stalni izvor energije. Međutim, ako je količina boil-off plina previsoka, dio se može ispustiti u atmosferu, iako se to radi samo kada je apsolutno neophodno. Inženjeri u CCR-u i kontrolnoj sobi stroja (ECR, engine control room) moraju nadzirati cijeli proces. Ponekad je potrebno povećati stopu sagorijevanja boil-off plina kako bi se upravljalo viškom pare. Prisilno sagorijevanje pomaže spriječiti nakupljanje tlaka u spremnicima tereta, što bi moglo ugroziti sigurnost. Proces se mora pažljivo pratiti kako bi se izbjegli sigurnosni rizici. Sigurnosna oprema redovito se provjerava i održava tijekom putovanja. To uključuje vatrogasnu opremu, sustave za otkrivanje plina i sustave za hitno zaustavljanje. Redovite provjere sigurnosne opreme su ključne za sprječavanje incidenata i osiguravanje spremnosti posade za bilo koju situaciju. Detaljno vođenje zapisa tijekom putovanja uključuje bilježenje razina spremnika, praćenje stopa boil-offa i bilježenje bilo kakvih promjena u vremenskim ili

operativnim uvjetima. Ovi zapisi su vrlo bitni za osiguranje sigurnog putovanja te pružaju vrijedne podatke za buduća putovanja. Pregledi unutarnjeg trupa, poznati kao hladne točke (cold spots), provode se kako bi se otkrila bilo koja područja trupa koja su neobično hladna. Ove hladne točke mogu ukazivati na probleme s izolacijom spremnika. Redovite inspekcije pomažu osigurati integritet sustava za držanje i spriječiti curenje tereta. Dva dana prije dolaska u luku za iskrcaj, ESD se temeljito testira kako bi se osiguralo da je potpuno operativan. Provjeravaju se ventili za teret i balastni ventili se kako bi se pripremili za dolazak. Gaz i trim broda se prilagođavaju za sigurno pristajanje. Ovi koraci osiguravaju siguran i učinkovit iskrcaj.

4.2.3 OPERACIJE ISKRCAJA

Operacija iskrcaja uključuje prijenos LNG-a s broda na prijemni terminal. Prije početka, ventili manifolda se postavljaju na ručni način rada kako bi se kontrolirao protok. Para se dobiva iz terminala ili generira na brodu kako bi se zamijenio volumen LNG-a koji se iskrcava, osiguravajući da spremnici ostanu na ispravnom tlaku. Glavni ventil pare se zatvara prije nego što se pristupna skala dovede na brod. Obično se koriste dvije do četiri iskrcajne ruke i jedna ruka za povrat pare. Svi koraci se bilježe u dnevniku kako bi se osiguralo praćenje operacija. Iskrcaj LNG-a varira ovisno o dizajnu broda. Stariji brodovi koriste glavne pumpe za teret, dok noviji mogu koristiti specijalizirane pumpe za pražnjenje ili raspršivanje. Tijekom cijelog procesa iskrcaja, fokus je na održavanju stope iskrcaja i osiguravanju da se svi spremnici isprazne prema planu. Potrebno je stalno praćenje i prilagodba ventila. Operatori moraju pažljivo pratiti pumpe za teret. Redovito bilježenje kritičnih parametara kao što su opterećenje pumpe, tlak pražnjenja i protok nužno je za identifikaciju i rješavanje bilo kakvih nepravilnosti što prije. Kako proces iskrcaja završava, terminal se obavještava sat vremena unaprijed prije zaustavljanja prve pumpe. OOW osigurava da je svaki spremnik pravilno zatvoren, što pomaže minimizirati turbulenciju oko pumpi i moguća oštećenja. Pražnjenje linija se provodi pažljivo kako bi se spriječile eventualne preostale količine LNG-a ili drugi problemi. Nakon iskrcaja, linije se ispuštaju od preostalog LNG-a i pročišćavaju s dušikom kako bi se uklonili svi ugljikovodici. Ovaj korak je ključan za sigurnost i priprema sustav za buduće operacije. Sva oprema se zatim pravilno osigurava i pohranjuje, pripremajući brod za povratno putovanje.



Slika 8: Prekrcajne ruke za LNG

Izvor: <https://fluorocarbon.co.uk/resources/blog/pctfe-cryogenic-seals-for-lng-loading-arms/>

4.2.4. BALASTNO PUTOVANJE

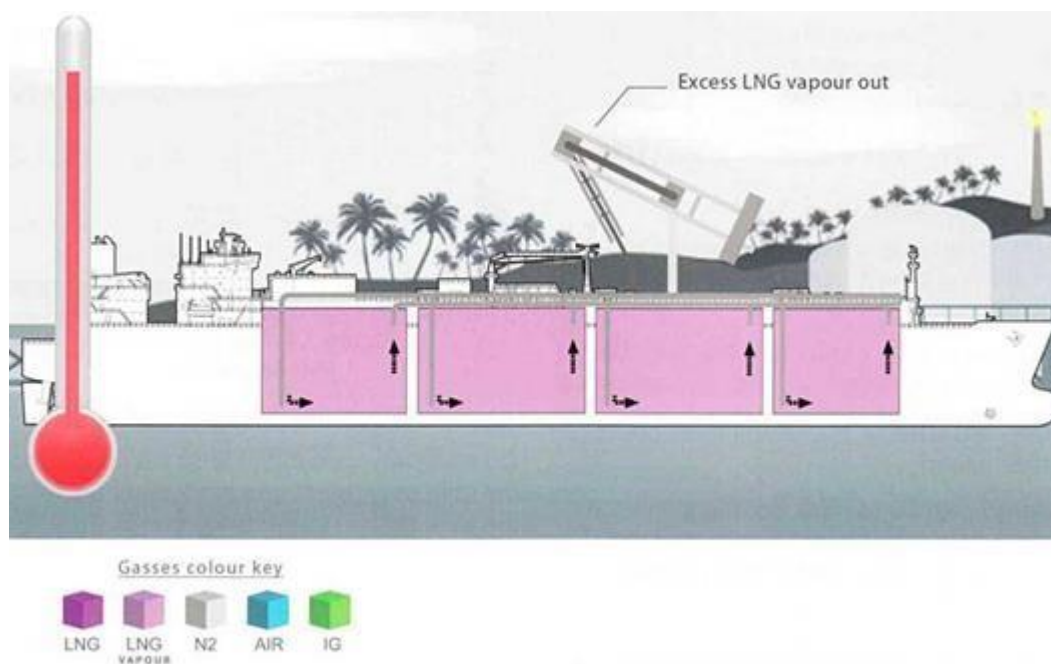
Balastno putovanje fokusira se na održavanje hladnog stanja broda i maksimiziranje uporabe boil-off plina kao goriva. Ova faza također uključuje dovršavanje bilo kakvih potrebnih održavanja koja nisu bila moguća tijekom putovanja s teretom. Priprema za balastno putovanje uključuje temeljite provjere sustava za hitno zaustavljanje, ventila za teret i inspekcije manifolda. Dva dana prije dolaska u luku za ukrcaj, ovi sustavi se testiraju kako bi se osiguralo da su potpuno operativni. Na dan dolaska, prilagodbe balasta se vrše, zatvaraju se palubni ispusti i čiste čistači vitla. Ovi postupci osiguravaju siguran i učinkovit ukrcaj. Tijekom balastnog putovanja, održavanje hladnog stanja spremnika za teret je vrlo bitno. To omogućava brodu da odmah započne ukrcaj po dolasku u terminal, smanjujući vrijeme boravka u luci i preokret. Ovisno o duljini balastnog putovanja, koriste se različite metode za održavanje hladnog stanja broda, kao što je zadržavanje LNG-a u jednom spremniku i povremeno raspršivanje LNG-a kako bi se prosječna temperatura unutar spremnika održavala unutar određenih granica.

4.3. OPERACIJE PRIJE REMONTA

Operacije prije remonta za LNG brodove uključuju korake za pripremu spremnika i sustava za inspekciju, održavanje i remont. Ovi koraci uključuju zagrijavanje spremnika za teret, operacije inertiranja i prozračivanja.

4.3.1. ZAGRIJAVANJE SPREMNIKA ZA TERET

Prvi korak u operacijama prije remonta je pražnjenje spremnika i pražnjenje linija. To uključuje trimovanje broda prema krmi kako bi se poboljšala učinkovitost pražnjenja. Tekućina koja ostaje u spremnicima nakon pražnjenja trebala bi biti mjerljiva, s minimalnom razinom od oko 50 mm. Proces koristi glavne pumpe za teret dok se ne zaustave zbog niskog opterećenja ili tlaka. Rano pokretanje raspršnih pumpi (pumpe dizajnirane za raspršivanje, tj. prskanje tekućeg prirodnog plina) pomaže izbjeći probleme s vrlo niskim razinama u spremnicima. Preostali LNG se ispušta natrag u naznačeni spremnik za pražnjenje, često uz pomoć dušika za čišćenje linija. Zagrijavanje spremnika je bitno prije inertiranja. Ovo se postiže cirkuliranjem zagrijanog LNG plina, u početku na 0°C, a zatim povećanjem na 75°C. Stariji brodovi mogu dozvoliti samo jednokratno zagrijavanje, ograničavajući temperaturu kako bi se izbjegla oštećenja. Zagrijavanje se izvršava uvođenjem toplog plina kroz linije za punjenje na dnu spremnika, isparavajući preostalu tekućinu. Višak plina se ispušta u atmosferu ili vraća na obalu. Ovaj proces traje oko 48 sati za membranske spremnike i 60 sati za sferične spremnike. Ako je potrebno zagrijati samo jedan spremnik, primjenjuje se ista metoda. Spremnik mora biti izoliran od ostalih sustava za teret. Treba paziti da se ne prekorači maksimalna temperaturna granica.



Slika 9: Zagrijavanje tankova na LNG brodu

Izvor: <https://sea-man.org/lng-operations.html>

4.3.2. INERTIRANJE TANKOVA

Nakon zagrijavanja, sljedeći korak je inertiranje, gdje se LNG plin zamjenjuje inertnim plinom. Ovaj plin ulazi kroz linije za punjenje LNG-a na dnu spremnika i potiskuje plin iz vrha. Inertiranje se provodi generatorom inertnog plina kako bi se spriječila opasna mješavina zraka i LNG plina. Generator radi dok se sadržaj ugljikovodika ne smanji ispod 1.5%, kisika ispod 2% te rosišta ispod -45°C . Svi povezani cjevovodi i strojevi moraju biti bez plina. Tlakovi u spremnicima se prate i prilagođavaju kako bi se održali ujednačeni. Za membranske brodove, tlak u spremnicima treba uvijek biti nešto viši od tlaka u izolacijskom prostoru. Uzorci s vrha spremnika se uzimaju svaki sat kako bi se testirao sadržaj ugljikovodika i osigurala učinkovitost inertiranja.

4.3.3. PROZRAČIVANJE

Prozračivanje slijedi inertiranje i uključuje uvođenje svježeg zraka u spremnike kako bi se stvorila sigurna atmosfera za ulazak. Svježi zrak istiskuje inertni plin, osiguravajući da atmosfera bude pogodna za inspekcije i održavanje. Ovo se postiže postavljanjem ventilacijskog sustava kako bi se ravnomjerno dovodio svježi zrak u spremnike. Atmosfera

unutar spremnika se prati kako bi se provjerile razine kisika i osiguralo da je inertni plin dovoljno istisnut.

5. SIGURNOST I PROPISI

Prijevoz i rukovanje ukapljenim prirodnim plinom uključuje strogi okvir međunarodnih i nacionalnih propisa, industrijskih standarda i tehničkih smjernica kako bi se osigurala sigurnost, zaštita okoliša i operativna učinkovitost. Nakon pregleda propisa i industrijskih praksi, važno je i razumjeti specifične opasnosti i rizike prisutne u LNG industriji.

5.1 MEĐUNARODNI PROPISI

IMO (International Maritime Organisation) postavlja globalne standarde za sigurnost i ekološku učinkovitost međunarodnog brodarstva putem različitih konvencija i kodeksa. SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) postavlja minimalne sigurnosne standarde za gradnju, opremu i rad brodova. Osigurava da LNG brodovi budu opremljeni prikladnim sigurnosnim mjerama, kao što je oprema za gašenje požara i spašavanje života. MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) cilja sprječavanju onečišćenja morskog okoliša od strane brodova. Prilog VI se posebno bavi zagađenjem zraka sa brodova ograničavanjem emisija sumporovih oksida i dušikovih oksida koje su postojeće na LNG brodovima, iako su manje od prosjeka industrije. IGC (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) pruža detaljne tehničke standarde za dizajn, izgradnju i rad LNG tankera. STCW (Standards of Training, Certification, and Watchkeeping) propisuje zahtjeve za obuku članova posade na LNG brodovima. To uključuje obuku u postupcima rukovanja LNG-om, odgovoru na hitne situacije i razumijevanju svojstava LNG-a.

5.2 NACIONALNI PROPISI

Postoje dva bitna propisa u Europi za prijevoz LNG-a. Prva je EU Direktiva o Plinu koja pruža regulatorni okvir za unutarnje tržište plina, uključujući LNG te osigurava sigurnu i pouzdanu opskrbu prirodnim plinom među državama članicama EU-a. Druga bitna regulativa je Europska Agencija za Pomorsku Sigurnost (EMSA) koja podržava provedbu zakonodavstva EU-a o pomorskoj sigurnosti, uključujući propise o prijevozu LNG-a te pruža tehničku pomoć i promovira najbolje prakse za pomorsku sigurnost. U SAD-u postoji nekoliko saveznih agencija koje reguliraju prijevoz LNG-a. Američka Obalna Straža (USCG) provodi zahtjeve IGC Kodeksa za LNG plovila i lučke objekte, provodeći redovite inspekcije i certificiranja.

Savezna Komisija za Energetiku (FERC) nadgleda lociranje i rad LNG terminala, osiguravajući usklađenost s ekološkim i sigurnosnim propisima. Ministarstvo Prometa (DOT) regulira prijevoz LNG-a cestom i željeznicom. U Hrvatskoj postoji više pravilnika koji reguliraju rukovanje i skladištenje opasnih tvari, uključujući LNG. Među ključnim propisima je "Pravilnik o skladištenju opasnih kemikalija koje djeluju u obliku plina", koji propisuje uvjete za sigurno skladištenje LNG-a. "Pravilnik o rukovanju opasnim tvarima, uvjetima i načinu obavljanja prijevoza u pomorskom prometu, ukrcavanja i iskrcavanja opasnih tvari, rasutog i ostalog tereta u lukama, te načinu sprječavanja širenja isteklih ulja" je također bitan pravilnik zbog toga što definira sigurnosne mjere za ukrcaj, prijevoz i iskrcaj LNG-a u lukama te propisuje mjere za zaštitu okoliša tijekom operacija s LNG-om.

5.3 STANDARDI I PRAKSE

Društvo Međunarodnih Operatora Plinskih Tankera i Terminala (SIGTTO) razvija industrijske standarde i najbolje prakse za prijevoz LNG-a i operacije na terminalima. Smjernice koje SIGTTO nalaže pokrivaju različite aspekte LNG operacija, uključujući dizajn broda, sustave upravljanja sigurnošću i postupke odgovora na hitne situacije. Međunarodni Forum za Naftne Kompanije (OCIMF) pruža smjernice i najbolje prakse za sigurnu operaciju tankera za naftu i plin, uključujući LNG tankere. Nudi sveobuhvatan okvir za inspekciju plovila i upravljanje rizicima, glavni cilj je sigurnost i zaštita okoliša. Međunarodna Organizacija za Standardizaciju (ISO) objavljuje međunarodne standarde za LNG industriju, pokrivajući aspekte kao što su kvaliteta LNG-a, mjerenje i sigurnost. ISO standardi osiguravaju pouzdanost u LNG operacijama, čime olakšavaju međunarodnu trgovinu.

5.4 OPASNOSTI

Prijevoz LNG-a nosi nekoliko rizika, prvenstveno požar i eksploziju, kriogene opekline, krtost metala i opasnosti od zatvorenih prostora. U slučaju prolijevanja, LNG brzo isparava, pogotovo na vodi, formirajući vidljiv bijeli oblak pare. Ovaj oblak pare, teži od zraka, može putovati znatne udaljenosti prije nego se razrijedi ispod zapaljivih granica. Izvori zapaljenja, iako svedeni na minimum u LNG postrojenjima, ne mogu se potpuno eliminirati. LNG pare, jednom zapaljene, mogu rezultirati različitim scenarijima požara:

- Vatra iz oblaka pare - Ograničena na zapaljivi dio oblaka pare.
- Mlazni požar - Nastaje iz tlačnih curenja.
- Požar bazena - Rezultat prolivenog LNG-a koji formira gorući bazen.

- Eksplozija oblaka pare - Tipično se događa u zatvorenim ili zagušenim područjima, što dovodi do deflagracije (proces brze oksidacije koji može dovesti do eksplozije)

Osim požara LNG može biti opasan ina druge načine. Kontakt s LNG-om može uzrokovati teške hladne opekline zvane kriogenim opeklinama. Preokretni efekt (Rollover) nastaje kada se slojevi LNG-a u spremniku iznenada pomiješaju što uzrokuje brzo isparavanje i prekomjerni tlak. Brzi Fazni Prijelaz (RPT, Rapid Phase Transition) je pojava gdje dolazi do gotovo trenutne promjene faze iz tekućine do pare, što stvara lokalizirani visoki tlak.



Slika 10: Bijeli oblak pare LNG-a

Izvor: <https://www.tradewindsnews.com/weekly/mol-outlines-lessons-learned-from-lng-ship-cargo-release/1-1-769623>

6. ZAKLJUČAK

Ovaj završni rad temeljito razmatra ključne aspekte planiranja prijevoza ukapljenih plinova morem, s posebnim fokusom na sigurnost, učinkovitost i tehnologiju. Na početku rada, istaknuta su glavna obilježja prirodnog plina, njegova važnost kao sirovina i načini na koje se njime trguje. Analiza povijesti trgovanja prirodnim plinom otkriva značajan razvoj trgovine od njenih početaka do današnjeg globalnog tržišta. Trgovina prirodnim plinom doživjela je značajan rast potražnje, te istodobno snažan utjecaj geopolitičkih čimbenika koji su oblikovali smjer razvoja industrije. Ovaj dio rada pruža uvid u kontekst u kojem se odvija prijevoz ukapljenih plinova te kolika je važnost razumijevanja tržišnih trendova. Nakon toga, detaljno su razmotrene vrste brodova koji se koriste za prijevoz LNG-a te njihova obilježja. Ovo je važno jer različite tehnologije skladištenja odgovaraju specifičnim potrebama i izazovima LNG transporta, omogućujući siguran i učinkovit prijevoz. Razrađene su i ključne operacije koje se provode tijekom prijevoza LNG-a. Detaljno su opisane operacije ukrcaja, plovidbe, iskrcaja i balastnog putovanja te se naglašava njihov značaj u sigurnosti i učinkovitosti transporta. Sigurnosne mjere i propisi koji reguliraju prijevoz LNG-a obuhvaćaju međunarodne i nacionalne propise, standarde i prakse. Ovaj dio rada naglašava nužnost pridržavanja visokih sigurnosnih standarda kako bi se minimizirali rizici povezani s prijevozom ukapljenih plinova. Zaključno, rad naglašava važnost pravilnog planiranja i provođenja svih faza prijevoza ukapljenih plinova morem kako bi se osigurala maksimalna sigurnost i učinkovitost. Kontinuirana edukacija i obuka osoblja, zajedno s unapređenjem tehnologija i procedura, ključni su za uspješan i siguran prijevoz ukapljenih plinova morem. Rad pruža sveobuhvatan pregled svih bitnih elemenata koji doprinose sigurnom i učinkovitom transportu LNG-a.

LITERATURA

KNJIGE:

- [1] Speight, J. G. 2007, *Natural Gas: A Basic Handbook*, Gulf Publishing Company, Houston.
- [2] Mokhatab, S., Mak, J., Valappil, J., & Wood, D.A. 2014, *Handbook of Liquefied Natural Gas*, Gulf Professional Publishing, an imprint of Elsevier, Oxford
- [3] Witherby Publishing Group, 2019, *LNG Operational Practice*, Witherbys Seamanship, Edinburgh

INTERNETSKI IZVORI:

- [1] Cryospain, 2024., *Methods for Gas Transportation*, Cryospain, <https://cryospain.com/methods-gas-transportation> (12.06.2024)
- [2] Britannica, 2024., *Natural Gas*, Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/natural-gas> (12.06.2024)
- [3] St. Louis Fed, 2022., *The Increased Tradability of Natural Gas, Economic Synopses*, Federal Reserve Bank of St. Louis, <https://research.stlouisfed.org/publications/economic-synopses/2022/12/15/the-increased-tradability-of-natural-gas> (12.06.2024)
- [4] APGA, 2024., *History of Natural Gas*, American Public Gas Association, <https://www.apga.org/apgamainsite/aboutus/facts/history-of-natural-gas> (16.06.2024)
- [5] Energy Knowledge Base, 2024., *LNG History*, Energy Knowledge Base, <https://energyknowledgebase.com/topics/lng-history.asp> (16.06.2024)
- [6] Natural Gas Intel, 2024., *What is the LNG Spot Market?*, Natural Gas Intelligence, <https://naturalgasintel.com/glossary/what-is-the-lng-spot-market/> (16.06.2024)
- [7] Offshore Technology, 2024., *Outlook for Global LNG Trade Amid Market Uncertainties*, Offshore Technology, <https://www.offshore-technology.com/features/outlook-global-lng-trade-amid-market-uncertainties/?cf-view&cf-closed> (16.06.2024)
- [8] IntechOpen, 2024., *LNG and its Future Prospects*, IntechOpen, <https://www.intechopen.com/chapters/64509> (20.06.2024)

- [9] MAN ES, 2024., *Two-Stroke Engines: ME-GA and ME-GI*, MAN Energy Solutions, <https://www.man-es.com/marine/products/two-stroke-engines/me-ga> (20.06.2024)
- [10] Rudan, I. 2019, *Tehnologija Prijevoza Tekućih Tereta*, PowerPoint prezentacija, Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka (22.06.2024)
- [11] Sumner, M. 2020, *Tehnologija Prijevoza Tekućih Tereta*, PowerPoint prezentacija, Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka (22.06.2024)
- [12] SNAME, 2024., *LNG Vessels and Propulsion Technology*, Society of Naval Architects and Marine Engineers, <https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/1dcd863-8881-4263-af8d-530101f64142/UploadedFiles/c3352777fcaa4cdaa8f125c0a7c03e9.pdf> (22.06.2024)
- [13] Baltic Shipping, 2024., *IMO 5412583*, Baltic Shipping, <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/5412583> (22.06.2024)
- [14] Safety4Sea, 2024., *IGU 2024 LNG Report*, Safety4Sea, https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2024/06/IGU-2024-LNG-Report_Final_LR_2024_06.pdf (22.06.2024)
- [15] Sea-Man.org, 2024., *LNG Regulations*, Sea-Man.org, <https://sea-man.org/lng-regulations.html> (25.06.2024)
- [16] Sea-Man.org, 2024., *LNG Safety*, Sea-Man.org, <https://sea-man.org/lng-safety.html> (25.06.2024)
- [17] Narodne novine, 2005., *Pravilnik o rukovanju opasnim tvarima, uvjetima i načinu obavljanja prijevoza u pomorskom prometu, ukrcavanja i iskrcavanja opasnih tvari, rasutog i ostalog tereta u lukama, te načinu sprječavanja širenja isteklih ulja*, Narodne novine, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_04_51_979.html (22.06.2024)
- [18] Narodne novine, 2013., *Pravilnik o skladištenju opasnih kemikalija koje djeluju u obliku plina*, Narodne novine, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_91_2060.html (22.06.2024)

POPIS TABLICA

Tablica 1. Sastav prirodnog plina.....	3
---	---

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Broj izvoznika, uvoznika i trgovačkih ruta LNG-a, 2000-2021	5
--	---

Grafikon 2. Obujam trgovine LNG-om, 2000-2021	5
--	---

Grafikon 3. Globalna aktivna LNG flota i knjiga narudžbi po godini isporuke i prosječnom kapacitetu, 1991 – 2029	15
---	----

Grafikon 4. Trendovi isporuke plovila prema vrsti pogona, 2017.-2029.....	16
--	----

Grafikon 5. Kapacitet flote prema starosti plovila, kraj veljače 2024.....	17
---	----

POPIS SLIKA

Slika 1. Q-Max brod “Mozah”.....	8
---	---

Slika 2. Presjek sferičnog tanka	11
---	----

Slika 3. Presjek prizmatičnog tanka	12
--	----

Slika 4. Unutrašnjost Mark III tanka.....	13
--	----

Slika 5: Tipični trgovački ciklus suvremenog LNG broda	18
---	----

Slika 6: Pravilni i nepravilni način inertiranja tankova.....	20
--	----

Slika 7: Posada u kontrolnoj sobi tereta prati proces ukrcaja/iskrcaja LNG-a.....	23
--	----

Slika 8: Prekrcajne ruke za LNG	25
--	----

Slika 9: Zagrijavanje tankova na LNG brodu.....	27
--	----

Slika 10: Bijeli oblak pare LNG-a	30
--	----