

# Analiza prometa LNG brodova u svijetu

---

**Balić, Antoni**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:163064>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-24**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**ANTONI BALIĆ**

**ANALIZA PROMETA LNG BRODOVA U  
SVIJETU**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: POMORSKA ZNANOST**

**ANALIZA PROMETA LNG BRODOVA U**  
**SVIJETU**

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:**

**izv. prof. dr. sc. Tina Perić**

**STUDENT:**

**Antoni Balić**

**(MB:0055470232)**

**SPLIT, 2024.**

## SAŽETAK

U radu se analizira globalni promet LNG brodova, s posebnim naglaskom na povijest pomorstva, tehnološke inovacije i njihov utjecaj na međunarodnu trgovinu. Glavni ciljevi rada su identificirati ključne trendove u globalnom prometu LNG brodova i procijeniti njihov doprinos gospodarskom razvoju. Analiza pokazuje značajan rast globalne LNG flote u razdoblju od 2018. do 2024., potaknut tehnološkim inovacijama koje su povećale sigurnost i učinkovitost transporta. Unatoč rastu flote, starija, manje učinkovita plovila postupno se povlače iz upotrebe, dok novi, tehnološki napredniji brodovi preuzimaju vodeću ulogu. Ovaj tehnološki napredak ključan je za osiguranje energetske sigurnosti u budućnosti jer LNG brodovi imaju značajan utjecaj na globalnu energetska infrastrukturu.

**Ključne riječi:** LNG brodovi, globalni promet, tehnološke inovacije, ukapljeni prirodni plin, flota.

## ABSTRACT

The paper analyses the global traffic of LNG ships, with special emphasis on maritime history, technological innovations and their impact on international trade. The main objectives of the paper are to identify key trends in the global traffic of LNG ships and to assess their contribution to economic development. The analysis shows significant growth in the global LNG fleet from 2018 to 2024, driven by technological innovations that have increased the safety and efficiency of transportation. Despite the fleet's growth, older, less efficient vessels are gradually being phased out, while new, more technologically advanced vessels are taking the lead. This technological advance is crucial for ensuring energy security in the future, as LNG ships have a significant impact on the global energy infrastructure.

**Keywords:** *LNG ships, global transport, technological innovation, liquefied natural gas, fleet.*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. PREDMET RADA I ISTRAŽIVANJA .....	1
1.2. RADNA HIPOTEZA .....	1
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	2
1.4. ZNANSTVENE METODE .....	2
1.5. STRUKTURA RADA .....	2
<b>2. POVIJEST POMORSTVA</b> .....	<b>4</b>
2.1. KAMENO DOBA .....	4
2.2. ŽELJEZNO DOBA.....	5
2.3. ANTIČKO DOBA.....	5
2.4. SREDNJI VIJEK .....	6
2.5. DOBA VELIKIH OTKRIĆA (OD 14. DO 17. STOLJEĆA) .....	7
2.6. RAZVOJ POMORSTVA U 18. I 19. STOLJEĆU .....	8
<b>3. RAZVOJ I KARAKTERISTIKE LNG BRODA</b> .....	<b>12</b>
3.1. PODJELA LNG BRODOVA PREMA VRSTI TANKA .....	14
3.1.1. PRIZMATSKI SPREMNICI.....	15
3.1.2. KUGLASTI MOSS TIP .....	16
3.1.3. MEMBRANSKI SPREMNICI .....	17
3.2. PODJELA PREMA VRSTI POGONA .....	20
3.3. PODJELA LNG BRODOVA PO KLASI.....	20
3.3.1. LNG BUNKER BRODOVI.....	21
3.3.2. KLASSE KONVENCIONALNIH BRODOVA .....	22
3.3.3. Q-FLEX .....	23
3.3.4. Q-MAX .....	24
3.3.5. ICE KLASA.....	25
3.3.6. FSRU .....	26
<b>4. LNG HRVATSKA</b> .....	<b>28</b>
<b>5. ANALIZA PROMETA LNG BRODOVA U SVIJETU</b> .....	<b>32</b>
5.1. KARAKTERISTIKE UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA .....	32
5.2. KARAKTERISTIKE PRIJEVOZA LNG BRODOVIMA .....	33
5.3. UTJECAJ LNG-A NA GOSPODARSKI RAZVOJ.....	34

<b>5.4. GLOBALNA BRODARSKA INDUSTRIJA LNG-A.....</b>	<b>35</b>
<b>5.4.1. NOVE NARUDŽBE LNG BRODOVA OD 2018.-2024.....</b>	<b>38</b>
<b>5.4.2. GLOBALNA FLOTA LNG BRODOVA PREMA KAPACITETU     SPREMNIKA .....</b>	<b>39</b>
<b>5.4.3. GLOBALNA FLOTA LNG BRODOVA PREMA TIPU POGONA .....</b>	<b>40</b>
<b>5.4.4. GLOBALNA LNG FLOTA PREMA STAROSTI .....</b>	<b>41</b>
<b>5.4.5. VODEĆI GLOBALNI PROIZVOĐAČI LNG BRODOVA.....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.6. CIJENE NAJMA LNG BRODOVA NA TRŽIŠTU .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.7. UDIO PLOVIDBI LNG BRODOVA .....</b>	<b>44</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>47</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>49</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>53</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>54</b>
<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>55</b>

# 1. UVOD

Ukapljeni prirodni plin (engl. *Liquefied Natural Gas* – LNG) je prirodni plin, pretežno sastavljen od metana, koji se pretvara u tekuće stanje hlađenjem na temperaturu od oko -162 °C. U ovom obliku, LNG zauzima otprilike 600 puta manje volumena nego u plinovitom stanju, što omogućava učinkovitiji transport i skladištenje. Ova svojstva čine LNG ključnim energentom za međunarodnu trgovinu, posebno u područjima gdje je plinovodni transport neizvediv ili preskup. LNG brodovi, specijalizirana plovila za prijevoz ukapljenog prirodnog plina, igraju ključnu ulogu u globalnom energetsom tržištu, osiguravajući isporuku prirodnog plina širom svijeta [1].

Rad se bavi analizom LNG brodova u svijetu s posebnim naglaskom na njihov razvoj, karakteristike, tržišne trendove i ulogu u globalnom pomorskom prometu. Kako bi se pružio širi kontekst, rad započinje pregledom povijesti pomorstva, od ranih civilizacija u kamenom i željeznom dobu, preko antičkog doba i srednjeg vijeka, sve do industrijske revolucije u 18. i 19. stoljeću, što omogućuje bolje razumijevanje tehnološkog napretka koji je doveo do pojave LNG brodova. Nakon povijesnog pregleda, naglasak se stavlja na tehničke karakteristike LNG brodova i njihovu evoluciju, te naposljetku, na analizu trenutnog stanja i trendova u prometu LNG brodova u svijetu.

## 1.1. PREDMET RADA I ISTRAŽIVANJA

Predmet rada je analiza trenutnog stanja i razvoja LNG brodova koji imaju ključnu ulogu u globalnoj energetici. Također, važnost LNG brodova ističe se zbog transporta ukapljenog prirodnog plina širom svijeta. Posebno se razmatraju različiti tipovi LNG brodova prema vrsti tankova i pogona, kao i podjela po klasama uključujući specijalizirane brodove kao što su LNG bunker brodovi. Poseban aspekt u radu stavlja se na flotu LNG brodova na svjetskoj razini pri čemu se analiziraju brodovi koji su u plovidbi te oni koji su naručeni za razdoblje od 2018.-2024. godine.

## 1.2. RADNA HIPOTEZA

Radna hipoteza ovog rada, a koja je u vezi s brojem LNG brodova u svijetu glasi:  
**H1:** Povećanje globalne potražnje za ukapljenim prirodnim plinom (LNG) dovelo je do

kontinuiranog rasta broja LNG brodova u svijetu, ali i potrebe za modernizacijom postojeće flote kako bi se zadovoljili rastući sigurnosni i ekološki standardi.

Ova postavljena hipoteza ukazuje kako rast potražnje za LNG-om ima izravan utjecaj na rast broja brodova, ali također ukazuje na izazove povezane s održavanjem i modernizacijom sve starije flote LNG brodova.

### **1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA**

Cilj rada je pružiti sveobuhvatan uvid u strukturu i dinamiku LNG brodova s naglaskom na starost i kapacitet flote te analizirati tržišne trendove koji oblikuju ovu industriju. Rad također istražuje poziciju Hrvatske u LNG industriji i analizira globalni promet LNG brodova pružajući cjelovitu sliku trenutnih izazova i prilika u ovom sektoru. U radu se daju odgovori na sljedeća pitanja:

- Kako se razvijalo pomorstvo?
- Kako je došlo do razvoja LNG brodova?
- Što su LNG brodovi i koje su njihove ključne karakteristike?
- Kakvi su trendovi u LNG brodarstvu?

Dakle, cilj rada je analizirati broj LNG brodova u globalnoj pomorskoj industriji s posebnim naglaskom na brodove koji su trenutno u plovidbi te broj brodova koji su naručeni.

### **1.4. ZNANSTVENE METODE**

Kroz korištenje različitih znanstvenih metoda, uključujući analitičku, deskriptivnu i komparativnu metodu, rad nastoji obuhvatiti kompleksnost i raznolikost LNG brodova te njihov utjecaj na globalnu pomorsku industriju i pomorski promet.

### **1.5. STRUKTURA RADA**

Struktura rada organizirana je tako da u prvom dijelu rada koji je uvod ističe predmet rada, ciljevi te struktura rada. Drugi dio rada pruža povijesni pregled pomorstva, od kamenog doba do 19. stoljeća, s posebnim naglaskom na značajne civilizacije. Nakon povijesnog pregleda, rad prelazi na detaljan opis razvoja LNG brodova, uključujući podjelu prema vrsti spremnika i pogona te klasifikaciju brodova. Nakon analize tehničkih aspekata, rad se



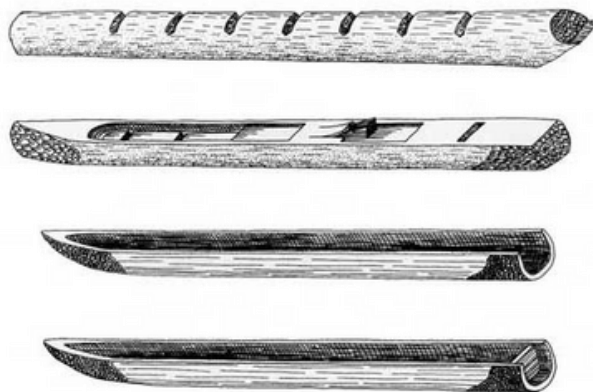
usmjerava na hrvatsko tržište LNG brodova te na kraju analizira globalni promet LNG brodova uključujući tržišne trendove, starost flote i kapacitete brodova. Rad završava zaključkom koji sažima ključne nalaze i pruža uvid u buduće smjerove razvoja LNG brodova.

## 2. POVIJEST POMORSTVA

U ovom poglavlju istražuje se povijest pomorstva, koja se proteže kroz različite epohe ljudske civilizacije, od kamenog doba do 19. stoljeća. Pomorstvo, kao ključni element trgovine, ratovanja i kulturne razmjene imalo je presudnu ulogu u oblikovanju današnjeg svijeta. Kroz različite povijesne faze i civilizacije poput Perzije, Egipta, Grčke i Rima razvijale su i usavršavale svoje pomorske vještine što je omogućilo širenje utjecaja i trgovinskih mreža. Od ranih pomorskih poduhvata u kamenom i željeznom dobu, preko velikih otkrića u 14. do 17. Stoljeću pa sve do inovacija i ekspanzije pomorstva u 18. i 19. stoljeću ovo poglavlje daje pregled ključnih trenutaka i civilizacija koje su oblikovale povijest pomorstva.

### 2.1. KAMENO DOBA

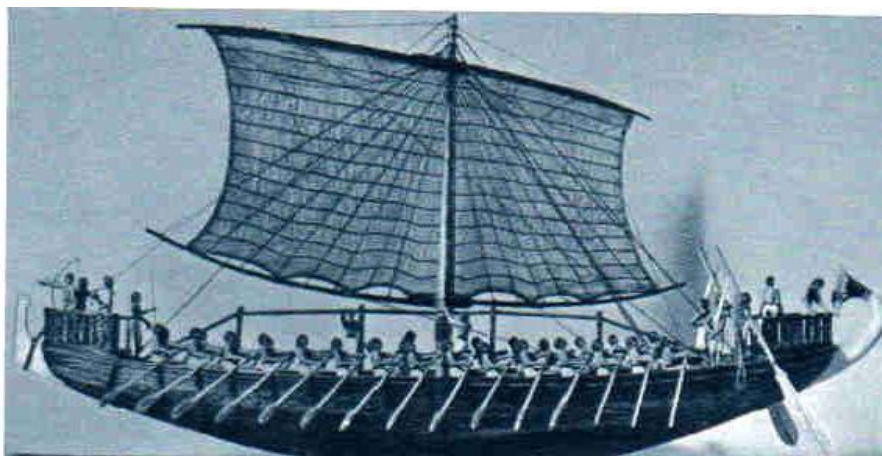
Kameno doba je prvo povijesno vrijeme u kojem čovjek počinje koristiti alate od kamena. Većinom su plovila bila debla vezana jedna za druga ili samo deblu. Prve migracije u tom vremenu dogodile su se na Pacifiku točnije u Polineziji gdje su ljudi koristili ta improvizirana plovila kako bi se selili s jednog otoka na drugi, pa su tako Polinežani naselili i Havaje. Prvi moreplovci u Europi su zapravo bili afrički narodi koji su preko Gibraltarskog tjesnaca dolazili na područje današnje Španjolske [1]. Slika 1 prikazuje primjere brodova iz kamenog doba.



Slika 1. Primjeri brodova iz kamenog doba [1]

## 2.2. ŽELJEZNO DOBA

Željezno doba se najviše pamti po osvajanjima Perzijanaca koji su osvojili sve od Babilona pa do grčkih gradova u Maloj Aziji. Egipćani su vrlo brzo razvili brodove s jarbolima i jedrima i visokim pramcem kao i veslom za kormilarenje. Prvi put se spoznaja o tome nalazi na crtežima koji su pronađeni a vremenom datiraju iz 5000 godine prije nove ere. Za vrijeme kraljice Hatšeput 1500 godina prije nove ere napravljeni su prvi brodovi koji su bili dugi do 18 metara i imali jedno središnje jedro, što je prikazano na slici 2 [2].



**Slika 2. Egipatski brod iz doba kraljice Hatšepust[2]**

Prvi veći podvig na otvorenom moru napravio je Feničani Hannu kojeg je faraon poslao da istraži otvoreno more i došao je do područja današnje Somalije oko 500. godine prije nove ere. Feničani su poznati kao jedan od najboljih pomorskih naroda jer im je za trgovinu bilo potrebno plovidba morem stoga su i jako brzo razvili jako dobre brodove. Kako bi lakše prenosili robu iz Egipta i Azije po Sredozemlju razvili su brodove s velikim jedrima i koji su uz jedra za pogon imali i veslače [2].

## 2.3. ANTIČKO DOBA

Prvi navigacijski udžbenik napisan je 600 godine prije naše ere koji je napisao Tales iz Mileta. Koristio je zvijezde za navigaciju. Grci nisu poznavali područje van sredozemnog mora odnosno svaki put kada su došli do Gibraltarskog tjesnaca osjetili bi jaku golfsku struju stoga su mislili da je Sredozemlje omeđeno kopnom dok je taj jedan slobodni dio rijeka Oceanus. Prvi put se tada javlja zanimanje „pilota broda“. To su bili učeni ljudi koji su koristili iskustvo putovanja i područja mora i obale i prenosili ga na svoje sinova i tako su

nastali peripli odnosno prvi priručnici za pomorce. Također korištenje vesala u dva ili tri reda uveli su Grci. Pomorstvo u Rimljana je bilo zaista zadivljujuće. Učeni od Feničana i Grka Rimljani su također koristili vesla i jedra kao glavni pogon no za razliku od prijašnjih Rimljani su gradili velike brodove koji su mogli prenositi i do 300 ljudi [1].

## 2.4. SREDNJI VIJEK

U početku srednjeg vijeka nije bilo tolikog razvoja brodova jer se trgovina uglavnom odvijala po Sredozemlju i najdalje do Britanije do razvoja pomorstva će doći tek u kasnom srednjem vijeku. Vikinški narod je naseljavao područja današnjeg baltičkog mora, te je zbog nepovoljne klime u potrazi za hranom morao razvijati brodove kako bi otkrivao nova područja. S obzirom da su Vikinzi bili barbarski narodi gradili su brodove koji su bili pogodni za plovidbu, ali i za nasukavanje na obalu kako bi lakše mogli iznenaditi potencijalne protivnike. Ti brodovi su bili plitki i s obje strane jednaki, ali vrlo čvrsti i nazivani su „zmijama“ zbog svog izgleda [3]. Slika 3 prikazuje vikinški brod.



**Slika 3. Prikaz vikinških brodova [3]**

Vikinški brodovi bili su izuzetno efikasni, omogućivši Vikinzima da doplove do područja današnje Sjeverne Amerike, prođu cijelo Sredozemlje te rijekama stignu na prostor današnje Ukrajine. Kinezi su izumili prvi magnetski kompas koristeći magnetsku iglu pričvršćenu na dva plovka, koja je plutala u posudi s vodom. Za plovidbu priobaljem, budući da se nisu upuštali u otvoreno more, Kinezi su koristili džunke. Ovi brodovi imali su visoki

pramac i krmu, zbog čega su bili sporiji od sredozemnih brodova, ali su mogli nositi do 800 tona tereta i veliku posadu [3].

## 2.5. DOBA VELIKIH OTKRIĆA (OD 14. DO 17. STOLJEĆA)

Usponom Venecije dolazi do razvoja jedrenjaka u Sredozemlju. Zasluge za prve velike jedrenjake tzv. karavele koje su bile duge od 50 do 150 metara pripada Portugalcima. Brod je imao visoke jarbole i mogao ponijeti veliku količinu tereta no nije bio brz. Karavele su bile izuzetno dobre za manevriranje, a Portugalci su već tada poznavali astrolab i imali karte s ucrtanim lukama i kopnom [4].

Prva škola za navigaciju otvorena je u Portugalu 1416. godine i otvorio je Henrik od Portugalka. Prvi globus koji je nastao 1492. godine pokazivao je da je Europa od Azije odvojena samo sa 126 stupnjeva geografske širine, stoga je Kristofor Kolumbo krenuo na putovanje misleći da će doći do zapadne Indije i time slučajno otkrio Ameriku. Isplovio je s tri broda: Santa Mariom te još dvije karavele Pintom i Ninom koje su imale po 18 članova posade. U početku su došli na bahamske otoke pa zatim na Jamajku i tek u 4. putovanju su došli do Amerike [4]. Sedam godina ploveći prema istoku bilo je dovoljno Fernandu Magellanu da stekne iskustvo za put oko svijeta koji je prikazan na slici 4.

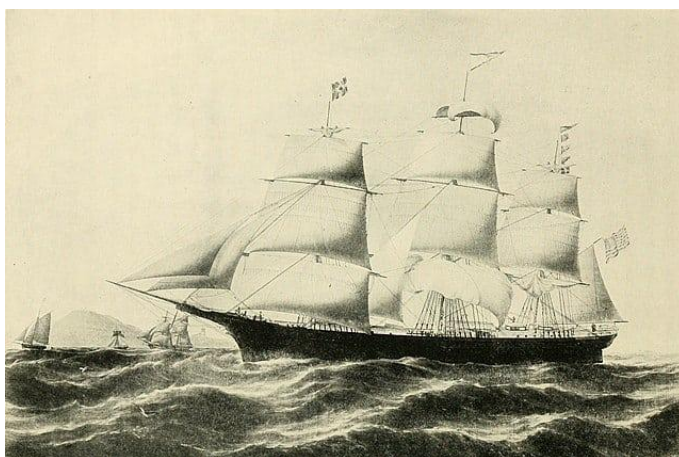


Slika 4. Magellanova ruta [4]

## 2.6. RAZVOJ POMORSTVA U 18. I 19. STOLJEĆU

U 18. stoljeću razvoj pomorstva je bio najveći u zemljama kao što su francuska španjolska Portugal i Engleska. Zbog potrebe da lakše vladaju svojim kolonijama i da lakše i brže dođu do robe iz kolonijalnih zemalja grade velike brodove s odličnim manevarskim sposobnostima i veliki jarbolima kako bi putovanja bila kraća i sigurnija [5].

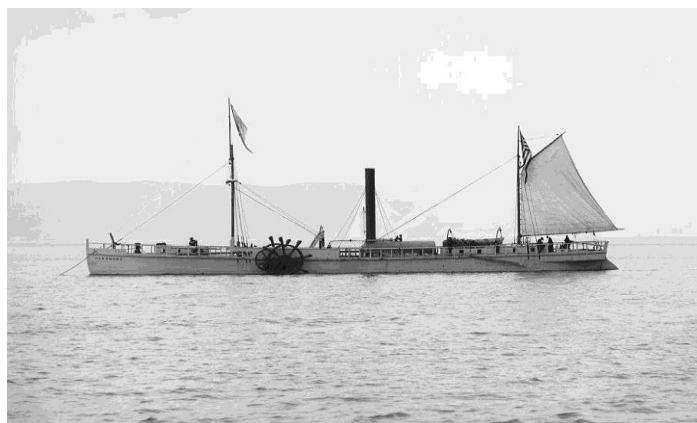
Početak 19. stoljeća došlo je do stagnacije razvoja brodova, većinom su građeni ratni brodovi zbog Napoleonovih ratova. Amerikanci počinju raditi veće brodove i mijenjati im konfiguraciju tako da su gradili četiri puta duže brodove u odnosu na njihovu širinu kako bi mogli staviti više jedara i time postići veću brzinu, također povećali su njihovu istisninu sa 500 na 1200 tona. Kulminacija tog razvoja je nastajanje brodova nazvanih kliper [5]. Kliperi (slika 5) su bili veliki drveni jedrenjaci koji su imali 3 ili više jarbola velike površine nagnutih prema krmi.



**Slika 5. Kliper [5]**

Razvojem industrijalizacije došlo je i do razvoja parnog stroja. Njegovu primjenu na brodu Clermont napravio je 1807. godine Robert Fulton, a plovio je rijekom Hudson [5]. Slika 6 prikazuje repliku parobroda North River (Clermont) iz 1909. na sidru.

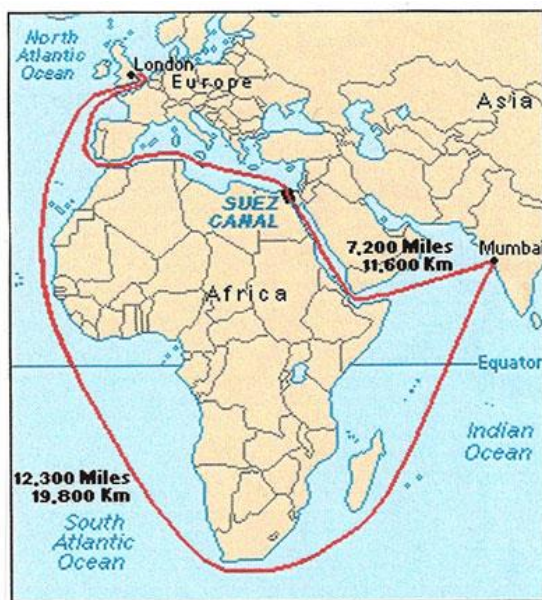




**Slika 6. Replika parobroda North River ( Clermont ) iz 1909. na sidru [6]**

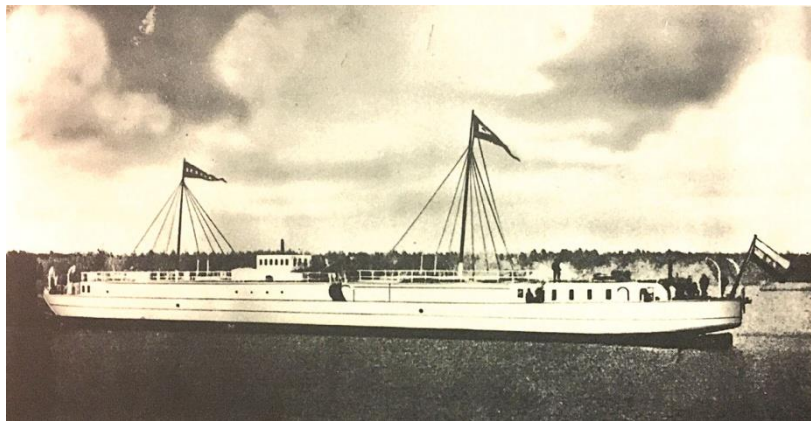
Zbog svojstva da ne ovisi o drugim izvorima energije (npr. vjetru) parni brodovi su bili idealni za riječne plovidbe jer je bilo lako upravljati njima i prilagođavati brzinu. Kasnije se na neke jedrenjake također ugrađuje parni stroj kao pomoćni izvor energije [5].

Za pomorstvo 19. stoljeća od velike važnosti je to što je tada iskopan Sueski kanal (slika 7) koji spaja Sredozemlje sa Crvenim morem. Tim kanalom skraćen je put od Sredozemlja do Indije i Dalekog istoka jer se više nije moralo putovati oko Afrike. Pri izgradnji tog kanala sudjelovalo 4000 Hrvata [6].



**Slika 7. Sueski kanal [5]**

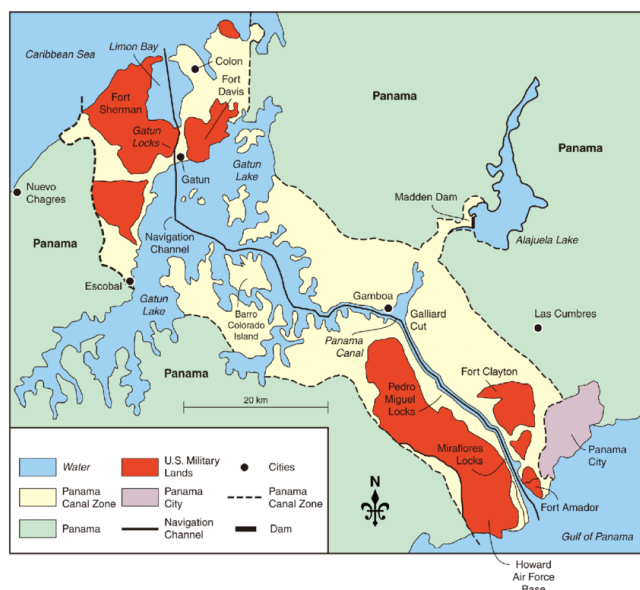
Sredinom 19. stoljeća dolazi do revolucionarnog otkrića brodskog vijka. Uz vjetar i paru dolazi do razvoja toga da mehanička energija počne pokretati brod. Izum brodskog vijka doveo je do ubrzanog razvoja brodova koji su pogonjeni motorima sa unutrašnjim izgaranjem. Prvi brod koji je koristio dizel motor kao pogon bio je ruski tanker po imenu „Vandal”. Ovaj tanker je bio dugačak 75 metara i imao je tri brodska vijka. Prvo putovanje ovog broda dogodilo se 1903. godine. Motori koji su se koristili na brodu bili su tro cilindarski Diesel motori isporučeni od strane Ludwig Nobel Machine Co., također iz Sankt Peterburga, u jesen 1902. godine. Ovi motori su razvijali snagu od 120 konjskih snaga pri brzini od 250 okretaja u minuti. Ovi motori omogućili su "Vandalu" da postigne brzinu od do 8 čvorova. Važno je napomenuti da ovi motori nisu bili reverzibilni pa su se koristili za pogon DC generatora snage 87 kW pri naponu od 500V. Generirana električna energija zatim je isporučivana elektromotorima, svaki snage 75 kW, koji su bili spojeni na propelerne osovine broda. Ovaj sustav pogona nazivao se Diesel-električni pogon [7]. Slika 8 prikazuje ruski riječni tanker Vandal prvi brod na Diesel motorni pogon.



**Slika 8. Ruski riječni tanker Vandal prvi brod na Diesel motorni pogon [8]**

Početak 20. stoljeća dolazi do Panamskog kanala, slika 9. Panamski kanal je umjetni morski prolaz koji povezuje Atlantski ocean (Karipsko more) s Tihim oceanom [8]. Kroz kanal mogu prolaziti brodovi duljine do 290 metara, širine do 32 metra i gaz do 12 metara, što se naziva razredom Panamax, s nosivostima do 65.000 dwt-a. Kanal omogućuje važnu povezanost između istočne obale SAD-a i Europe s zapadnom obalom SAD-a, istočnom Azijom i Australijom [9].





**Slika 9. Panamski kanal [10]**

Iz navedenog se može vidjeti kako je povijest pomorstva prikazana kroz različite epohe, od kamenog doba do 19. stoljeća, svjedoči o kontinuiranom razvoju brodova i navigacijskih tehnika koje su oblikovale današnju globalnu trgovinu i komunikaciju. Razvoj pomorstva nije bio samo tehnički napredak, već i kulturni i ekonomski pokretač koji je omogućio širenje utjecaja civilizacija, trgovinskih mreža i otkrivanje novih svjetova. Jedan od ključnih trenutaka u pomorskoj povijesti bio je razvoj parnog stroja, koji je omogućio neovisnost brodova o vremenskim uvjetima i značajno ubrzao pomorski promet. Izgradnja kanala poput Sueskog i Panamskog dodatno je skratila pomorske rute i omogućila brži protok robe i putnika između različitih dijelova svijeta. Razvoj brodskog vijka i primjena Diesel motora na brodovima početkom 20. stoljeća donijeli su još jednu revoluciju u pomorstvu, omogućivši brže, sigurnije i učinkovitije plovidbe.

U današnje vrijeme, LNG brodovi predstavljaju vrhunac modernog pomorstva, kombinirajući napredne tehnologije i stroge sigurnosne standarde. Ovi brodovi igraju ključnu ulogu u globalnoj energetskej infrastrukturi, omogućujući siguran i učinkovit transport ukapljenog prirodnog plina iz proizvodnih područja do potrošača diljem svijeta. S obzirom na rastuće potrebe za čistijom energijom, LNG brodovi postaju sve važniji u globalnom pomorskom prometu te donose nove izazove i prilike za razvoj pomorskih tehnologija i sigurnosnih standarda. Dakle, povijest pomorstva je bogata i dinamična, a napredak koji je postignut kroz stoljeća temelj je za današnje moderno pomorstvo, u kojem LNG brodovi imaju značajnu ulogu u oblikovanju energetske budućnosti svijeta.

### 3. RAZVOJ I KARAKTERISTIKE LNG BRODA

Prijevoz butana i propana morem počeo se ostvarivati 1930. godine na brodovima za opći teret koji su bili opremljeni bocama pod tlakom na palubi. Prvi ozbiljan pokušaj prijevoza plina specijaliziranim brodovima za tu svrhu dogodio se 1931. godine, kada je brodogradilište „Hawthorn Leslie Shipyard“ (sada poznato kao Swan Hunter) u Londonu dizajniralo i izgradilo brod nazvan „Agnita“ za „Anglo Saxon Petroleum Company“ (sada poznata kao „Shell International Trading and Shipping“). Ovaj brod imao je 12 vertikalnih tankova ugrađenih u brodske skladišta, što mu je omogućilo prijevoz butana pod tlakom i sumporne kiseline. Oko tih tankova se prevozila nafta. Kasnije, 1947. godine, brod za suhe terete po imenu „Natalie O. Warren“ prenamijenjen je za prijevoz propana. Opremljen je s 68 vertikalnih cilindričnih tankova s maksimalnim tlakom od  $17,6 \text{ kg/cm}^2$  i ukupnim kapacitetom od  $6,050 \text{ m}^3$ [11].

Tankovi su imali različite promjere od 2,4 do 4,0 metara i visine između 7,6 i 14,6 metara te su bili smješteni u 5 skladišta. Godinu kasnije, brod nazvan „Rio Novo“ također je prenamijenjen od strane istog brodogradilišta za "Oivind Lorentzen of Norway". Ovaj brod je bio opremljen s 29 vertikalnih i 2 horizontalna tanka ukupnog kapaciteta od  $3.000 \text{ m}^3$  i radnim tlakom od  $17,5 \text{ kg/cm}^2$ , a koristio se za prijevoz propana i butana. Smatra se prvim pravim brodom za prijevoz LPG-a. Tehnike prenamjene brodova za prijevoz plinova također su se primjenjivale za prijevoz plinova na kopnu. Krajem Drugog svjetskog rata, porasla je potražnja u Europi za prijevozom LPG-a između različitih obalnih regija. Brodogradilišta u Italiji, Švedskoj, Danskoj, Nizozemskoj i Francuskoj počela su izrađivati male specijalizirane brodove, uključujući i brodove za prijevoz plina pod tlakom – LPG [11].

Kvaliteta tehnike zavarivanja i kvaliteta materijala nisu bili dovoljno razvijeni kako bi se proizvodili tankovi većeg kapaciteta od  $600 \text{ m}^3$ . To znači da su brodovi morali biti opremljeni s više takvih tankova, povezanih složenom mrežom cjevovoda. Razvojem i većom dostupnošću nisko temperaturnog čelika te poboljšanjem tehnika zavarivanja i oblikovanja materijala, omogućeno je izgradnju hlađenih postrojenja koja su prikladna za ugradnju na brodove i daljnji napredak u razvoju ovih plovila. Nakon polu rashlađenih brodova, uslijedila je era potpuno rashlađenih brodova namijenjenih prijevozu istih proizvoda pod gotovo atmosferskim tlakom i izrazito niskim temperaturama. Ograničenje za

ove brodove bilo je maksimalni tlak od 0,7 bara, što je rezultiralo smanjenjem težine teretnih tankova i omogućilo izgradnju većih brodova. Prvi potpuno rashlađeni brod za prijevoz LPG-a izgrađen je 1961. godine u brodogradilištu „Mitsubishi Heavy Industries“ u Yokohami, Japan. Ovaj brod je imao četiri samostalna prizmatična tanka tipa A, ukupnog kapaciteta od 28,875 m<sup>3</sup> i sposobnost održavanja minimalne temperature od -45 °C [12].

Unutarnji dio trupa broda izgrađen je od čelika s udjelom nikla od 21,25 %, dok su tankovi bili izrađeni od čelika s udjelom nikla od 31 %. Izolacija tankova izvedena je pomoću staklenih vlakana koja su zalijepljena na površinu unutarnjeg trupa broda i zaštićena aluminijskom folijom. Ovaj dizajn uveo je inovativnu koncepciju sekundarne barijere koja je bila izrađena od čelika. Ova sekundarna barijera očuvala je mehanička svojstva kad bi došlo do kontakta s nisko temperaturnim teretom i služila kao zaštita brodske oplata od potencijalnih oštećenja uzrokovanih niskim temperaturama u slučaju curenja iz primarnih sustava za skladištenje tereta [12].

Značajan napredak u razvoju LPG brodova dogodio se tijekom 1960. godine. Daljnji unapređenja u kvaliteti čelika i tehnologijama zavarivanja omogućila su povećanje veličine potpuno rashlađenih tankera. Brodovi u ovoj kategoriji su počeli biti izrađivani s kapacitetom između 3.000 i 5.000 m<sup>3</sup>, a čak su dosegli impresivnih 10.000 m<sup>3</sup>. Moderni potpuno rashlađeni tankeri obično su opremljeni nekoliko sferičnih ili cilindričnih tankova s maksimalnim tlakom od 17 do 18 bara i minimalnom temperaturom od -5 °C. Neki od tih potpuno rashlađenih tankera su imali tankove za prijevoz tereta na izrazito niskim temperaturama, pa čak i do -25 °C [12].

Neki brodovi su bili sposobni prevoziti dva različita proizvoda potpuno odvojeno i koristili su kompresore i centrifugalne pumpe za iskrcavanje. Tankovi za teret na polu rashlađenim tankerima su bili sposobni prevoziti terete na temperaturama do -50 °C, a kasnije su izgrađeni i etilenski brodovi koji su podnosili temperature čak do -104 °C. Veličina polu rashlađenih tankera znatno je porasla, dosežući kapacitete od 20.000 m<sup>3</sup> ili čak 25.000 m<sup>3</sup>. Postali su izrazito fleksibilni, omogućavajući prijevoz različitih proizvoda, često nekoliko njih, potpuno odvojenih, istovremeno. Kroz poboljšanja u dizajnu brodova i druge razvoje, kapacitet potpuno rashlađenih tankera dalje je porastao, dosežući impresivne brojke poput 50.000, 70.000, 80.000 i čak 100.000 m<sup>3</sup> [13].

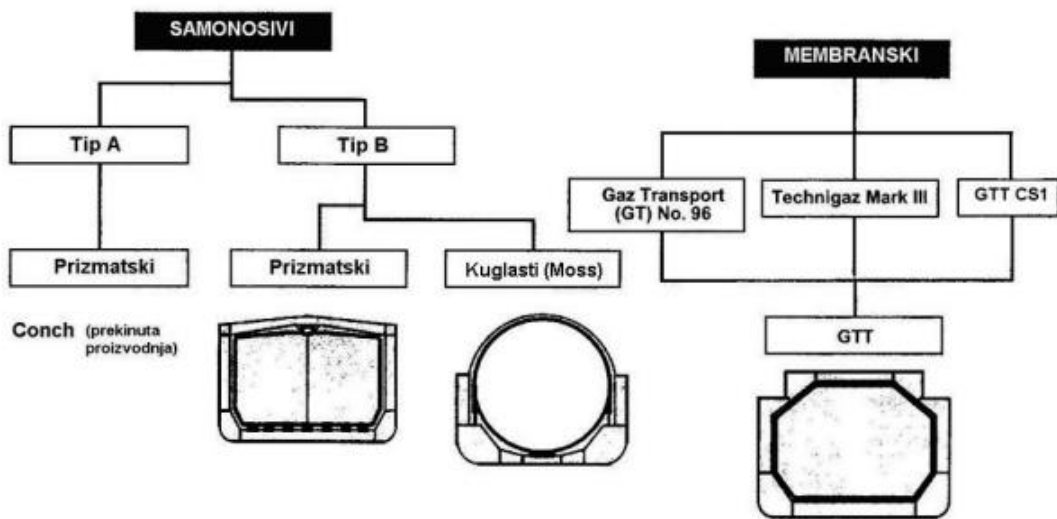
### 3.1. PODJELA LNG BRODOVA PREMA VRSTI TANKA

Tijekom razvoja tehnologije za prijevoz ukapljenog prirodnog plina, razvijene su različite eksperimentalne konstrukcije spremnika. Međutim, industrija je nakon toga usmjerila svoju pažnju na dva glavna tipa spremnika koji su se pokazali najpraktičnijima: samonosive neovisne spremnike i membranske spremnike [14]. Detaljna kategorizacija LNG brodova prikazana je u tablici 1.

**Tablica 1. Kategorizacija LNG brodova, prema [15]**

Vrsta kategorije	Podjela
Na temelju tlaka	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pod punim tlakom</li> <li>• Polutlačno i rashlađeno</li> <li>• Potpuno ohlađeno.</li> </ul>
Na temelju razine opasnosti materijala koji se prevozi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tip 1G - dizajniran za prijevoz najopasnijeg tereta</li> <li>• Tip 2G i 2PG - dizajnirani za prijevoz tereta s manjim stupnjem opasnosti</li> <li>• Tip 3G - dizajniran za prijevoz najmanje opasnog tereta.</li> </ul>
Na temelju vrste teretnih tankova (klasifikacija LNG brodova prema IMO-u)	<p><b>Neovisni spremnici</b> - gdje spremnik nije dio trupa broda i stoga nije presudan za čvrstoću trupa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tip A – radi pri tlaku manjem od 700 mbar i ima punu sekundarnu barijeru za zadržavanje curenja najmanje 15 dana</li> <li>• Tip B - sferični Moss-tankovi ili prizmatični IHI SPB spremnici koji rade na tlaku manjem od 700 mbar i imaju djelomičnu sekundarnu barijeru</li> <li>• Tip C – može raditi pri tlaku iznad 2000 mbara i nema sekundarnu barijeru. Senzori u skladišnom prostoru detektiraju curenje praćenjem promjena u sastavu plina.</li> </ul> <p><b>Integralni spremnici</b> – gdje spremnik čini strukturni dio trupa broda. Membranski spremnici su vrsta integralnog spremnika i mogu se podkategorizirati u:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• TGZ Mark III (ili GTT Mark III) – dizajnirao Technigaz, spremnik ima nekoliko slojeva, uključujući primarnu barijeru od nehrđajućeg čelika, primarnu izolaciju, sekundarnu barijeru od tripleks membrane, sekundarnu izolaciju i strukturu trupa</li> <li>• GT 96 (ili GTT 96) – ovaj spremnik iz Gaztransporta koristi nepromjenjivu leguru nikla i željeza zvanu Invar za svoje primarne i sekundarne membrane. Također ima izolaciju na bazi kutija od šperploče s perlitom, ispranih plinom dušikom.</li> </ul>

Podjela spremnika koji se koriste na LNG brodovima prikazana je na slici 10.



Slika 10. Podjela spremnika [16]

### 3.1.1. PRIZMATSKI SPREMNICI

Prizmatski spremnici tipa B su rijetki u svjetskoj floti brodova koji se koriste za prijevoz ukapljenog prirodnog plina. Spremnici tipa B izrađeni su od posebnih materijala kao što su legure aluminija ili nehrđajući čelik. Unutar tih spremnika postoje pregrade izrađene od čvrstih ploča koje pridonose većoj čvrstoći. Jedna od tih pregrada usklađena je s uzdužnom osi broda, dok je druga postavljena okomito na nju. Glavna svrha druge pregrade je smanjiti moguće zapljuskivanje ukapljenog plina tijekom plovidbe. Za ojačanje konstrukcije spremnika, na unutarnjoj strani stijenki su zavarena dodatna rebra [17]. Slika 11 prikazuje presjek prizmatskog spremnika tipa B.



Slika 11. Prizmatski tank [16]

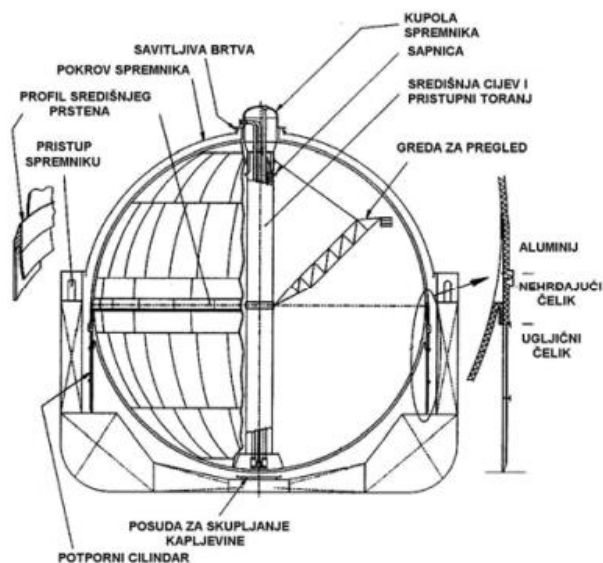
Spremnici su postavljeni na potpornje koja podupiru vertikalno opterećenje uzrokovano težinom spremnika. Također postoje bočni potpornji koji preuzimaju bočno opterećenje kad se brod naginje na stranu. Tijekom procesa utovara i istovara ukapljenog prirodnog plina, temperature spremnika se mijenjaju, a to je uzeto u obzir tijekom njihove konstrukcije kako bi se omogućilo termičko širenje i stezanje spremnika [16].

### **3.1.2. KUGLASTI MOSS TIP**

Kuglasti spremnici, poznati i kao Mossovi spremnici, predstavljaju tehnologiju koja je patentirana 1979. godine. Nakon toga, brodogradilište Kvaerner Masa iz Finske steklo je licencu za izgradnju brodova s ovim tipom spremnika, što je dovelo do nazivanja ovih spremnika i Kvaerner-Moss spremnicima [18]. Kuglasti spremnici imaju sferični oblik i, zbog toga, ne koriste potpuno prostor unutar trupa broda. Ovo može negativno utjecati na ekonomičnost prijevoza, iako olakšava vanjski pregled spremnika. Materijali od kojih su izrađeni kuglasti Mossovi spremnici uključuju ploče od legure aluminija i ploče od čelika s 9% nikla, koje imaju značajnu debljinu stijenke [19].

Ovi spremnici su samonosivi i imaju dvostruku stijenku. Središnji prsten unutar spremnika igra ključnu ulogu u održavanju integriteta spremnika. Taj prsten nosi bočno opterećenje, dok je na njega zavaren cilindar koji podupire vertikalno opterećenje. Gornji dio tog cilindra je napravljen od legure aluminija, dok je donji dio od čelika. Donji dio cilindra je čvrsto spojen s trupom broda eksplozivnom varom. Slika 12 prikazuje presjek kuglastog spremnika.

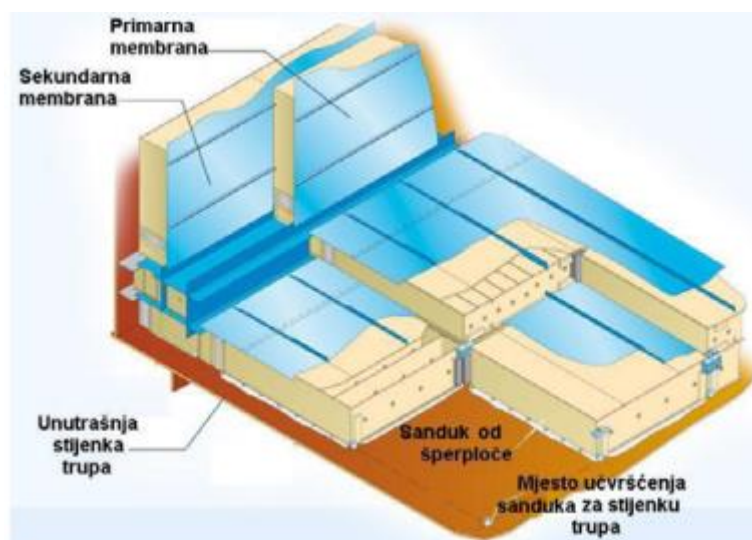
Toplinska izolacija spremnika sastoji se od slojeva izolacijskih ploča koje su pričvršćene na vanjsku stijenku zakovicama. Ove ploče su obično izrađene od pjenaste smole fenola i poliuretanske pjene, a vanjska strana izolacije prekrivena je tankim aluminijskim pločama [17].



Slika 12. Presjek kuglastog spremnika [16]

### 3.1.3. MEMBRANSKI SPREMNICI

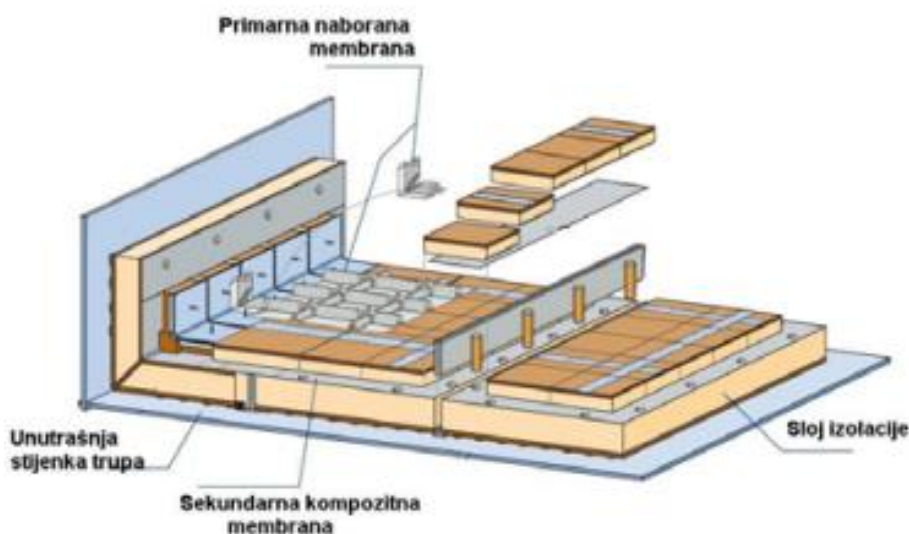
Tip spremnika GT No. 96 ima sljedeće komponente: dva sloja sanduka od šperploče koji služe kao spremište za toplinsku izolaciju, koja se sastoji od perlitnog materijala te dvije metalne membrane. Glavna svrha metalnih membrana je djelovati kao prva i druga barijera kako bi se spriječilo curenje ukapljenog plina [16]. Slika 13 prikazuje presjek spremnika.



Slika 13. Presjek spremnika [16]

Ovi slojevi metala i šperploče se izmjenjuju, pri čemu je primarna membrana u kontaktu s ukapljenim plinom, slijedi sloj šperploče, zatim sekundarna membrana, a na kraju drugi sloj šperploče koji je čvrsto pričvršćen za trup broda. Debljina metalnih membrana iznosi 0,7 mm, a izrađene su od Invara, legure koja sadrži 64 % željeza i 36 % nikla. Ova legura je odabrana zbog niskog koeficijenta termičkog rastezanja [16].

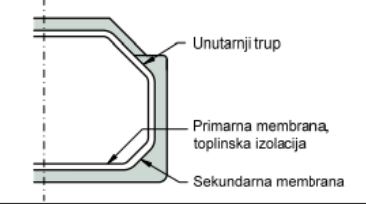
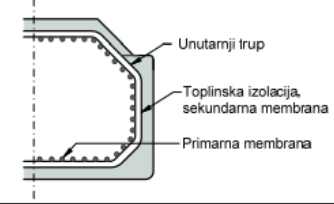
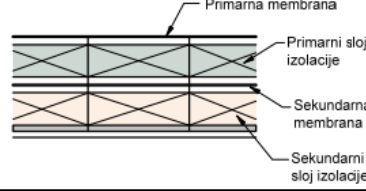
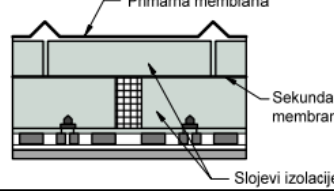
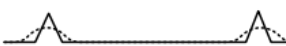
Spremnici tipa Technigaz Mark III imaju sličan dizajn, sastoje se od primarne i sekundarne membrane te slojeva toplinske izolacije. Raspored membrana i slojeva izolacije identičan je kao i kod tipa GT No. 96. Primarna membrana izrađena je od nehrđajućeg čelika i ima nabora kako bi se omogućilo širenje i skupljanje membrane tijekom promjena temperature. Debljina ove membrane iznosi 1,2 mm. Toplinska izolacija iza primarne membrane sastoji se od slojeva sanduka od šperploče unutar kojih se nalazi armirana poliuretanska pjena. Unutar izolacije nalazi se sekundarna membrana, koja je zapravo kompozitni materijal sastavljen od aluminijske folije i fiberglas vlakana [16]. Slika 14 prikazuje presjek spremnika Technigaz Mark III.



**Slika 14. Presjek spremnika Technigaz Mark III [16]**

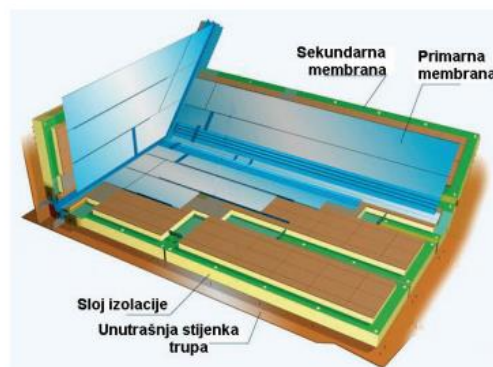
Razlike u karakteristikama između dvije osnovne vrste membranskih spremnika prikazane su na slici 15.



Membranski spremnici		
	Gaz Transport No.96	Technigaz Mark III
Oblik spremnika		
Struktura toplinske izolacije		
Materijal primarne membrane	Invar	Nehrđajući čelik
Mjere protiv toplinskog širenja i stezanja	Mjere nisu potrebne zbog malog koeficijenta termičkog rastezanja	Širenje i stezanje membrane 
Toplinska izolacija	Drveni sanduci punjeni perlitom	Drveni sanduci punjeni armiranom poliuretanskom pjenom
Debljina sloja izolacije (mm)	470–550	250–350
Materijal sekundarne membrane	Invar	Kompozit aluminijske folije i vlakana fiberglasa

Slika 15. Presjek karakteristika membranskih spremnika [16]


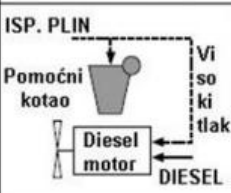
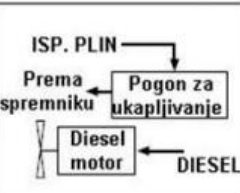

Tip spremnika GTT CS1 (engl. *Combined System I*), razvijen od strane tvrtke GTT, predstavlja integraciju značajki spremnika No. 96 i Mark III, nudeći tako kombinaciju tih dvaju sustava. Ključna karakteristika ovog spremnika leži u njegovoj sposobnosti da spoji prednosti bez donošenja revolucionarnih promjena u konstrukciji membranskih spremnika. Primarna membrana koja dolazi u kontakt s ukapljenim prirodnim plinom izrađena je od Invara debljine 0,7 mm. Izolacija se sastoji od dva sloja, a između njih se nalazi sekundarna membrana. Ova izolacija se temelji na drvenim sanducima ispunjenim poliuretanskom pjenom. Sekundarna membrana je kompozitni materijal koji se sastoji od dva sloja staklenih vlakana između kojih je postavljena aluminijska folija [16]. Slika 16. prikazuje presjek spremnika GTT CS1.



Slika 16. Presjek spremnika GTT CS1 [16]

### 3.2. PODJELA PREMA VRSTI POGONA

Konvencionalni pogon koji se često koristi u brodovima za prijevoz ukapljenog prirodnog plina temelji se na parnom stroju. Parni strojevi su dokazano pouzdani i imaju niske troškove održavanja. Ova vrsta pogona odabrana je zbog činjenice da se ukapljeni prirodni plin, koji tijekom prijevoza može ispariti zbog priljeva topline u spremniku, može koristiti kao gorivo za parni stroj [20]. Međutim, parni strojevi imaju nedostatak jer imaju relativno nisku učinkovitost. Danas se također koriste i dizelski motori za pogon brodova za ukapljeni prirodni plin. Ovi motori mogu koristiti isključivo dizelsko gorivo (u tom slučaju, treba ugraditi sustav za ponovno ukapljivanje isparenog plina) ili dizelsko gorivo u kombinaciji s isparenim plinom. Dizelski motori su učinkovitiji od parnih strojeva, a uz primjenu sustava za ponovno ukapljivanje goriva, omogućuju značajne uštede. Postoji i opcija korištenja plinskih turbina kao pogona za brodove, iako je to rijedak slučaj. Za to je potrebno iskoristiti otpadnu toplinu za stvaranje pare koja pokreće dodatnu turbinu, čime se povećava učinkovitost turbine [19]. Sve ove različite opcije pogonskih sustava brodova za ukapljeni prirodni plin mogu se vidjeti na slici 17.

Pogon	Parni stroj	Diesel + plin	Diesel s ukapljivanjem	Kombinirani ciklus
Shema sustava				
Prednosti	Vrlo pouzdan sustav, pogoni većinu brodova za transport UPP, izgara 100% isplinjenog plina	Veća učinkovitost, isp. plin se koristi kao gorivo	Veća učinkovitost, odvojenost spremnika i pogonskog sustava	Veća učinkovitost od parnog stroja
Nedostaci	Mala učinkovitost	Nužno korištenje diesel goriva	Visoka potrošnja diesel goriva, električna en. nužna za pokretanje pogona za ukapljivanje	Nemoguće korištenje više vrsta goriva

Slika 17. Vrste pogona [16]

### 3.3. PODJELA LNG BRODOVA PO KLASI

LNG brodovi su specijalizirani brodovi koji se koriste za transportiranje prirodnog plina u tekućem stanju. Ovi brodovi igraju ključnu ulogu u globalnom trgovinskom lancu za prirodni plin, jer omogućuju transport velikih količina prirodnog plina na siguran i ekonomičan način preko velikih udaljenosti.

LNG brodovi se dijele na:

- LNG bunker brodove
- Klasu konvencionalnih brodova 1 i 2
- Q – Flex
- Q – Max
- Ice klasu
- FSRU

### 3.3.1. LNG BUNKER BRODOVI

Bunker brodovi za LNG (slika 18) posebna su vrsta plovila koja se koristi za opskrbu drugih brodova i obalnih postrojenja s LNG-om kao gorivom ili energentom. Ovi brodovi igraju ključnu ulogu u rastućoj industriji koja se okreće prema čistijem i ekološki prihvatljivijem gorivu, poput LNG-a, kako bi smanjila emisije štetnih plinova i udovoljila strogim okolišnim regulativama [16].



**Slika 18. LNG bunker brod [21]**

LNG bunker brodovi prevoze tekući prirodni plin (LNG) na brodove koji koriste LNG kao gorivo ili su opremljeni sustavima za konverziju prirodnog plina u energiju. Ovi brodovi obično opskrbljuju LNG na lukama ili na moru, što omogućava brodovima da se opskrbljuju tijekom zaustavljanja ili čak dok plove. Brodovi dolaze u različitim veličinama i kapacitetima za skladištenje LNG-a, ovisno o potrebama i zahtjevima luke ili flote koju opskrbljuju. Mogu biti manji brodovi pogonjeni LNG-om ili veći brodovi sa znatno većim

kapacitetima skladištenja [16]. Ukratko, LNG bunker brodovi su vitalna komponenta tranzicije prema čistom i održivijem pomorskom prometu, omogućavajući brodovima i lukama da iskoriste prednosti tekućeg prirodnog plina kao goriva [16].

### **3.3.2. KLASSE KONVENCIONALNIH BRODOVA**

Prvi LNG brodovi ove kategorije konstruirani su tijekom 1970-ih godina. Ovi raniji modeli imali su spremnike s nešto manjim kapacitetom u usporedbi s današnjim standardima za LNG brodove. Spremnici tih brodova mogli su nositi između 125.000 i 135.000 kubičnih metara LNG-a, zbog čega su klasificirani kao konvencionalni brodovi tipa 1 [22]. Klasifikacija LNG brodova u "klasu 1" i "klasu 2" temelji se na sigurnosnim standardima i tehničkim specifikacijama koje postavlja Međunarodna pomorska organizacija (engl. *International Maritime Organization* - IMO).

LNG brodovi klase 1 dizajnirani su i konstruirani s najvišom razinom sigurnosti. To znači da su izgrađeni kako bi mogli izdržati različite ekstremne uvjete, uključujući oluje, sudare, požare i druge nepredviđene situacije, čime se osigurava siguran transport LNG-a. Ovi brodovi opremljeni su sustavima za samopomoć koji omogućuju brz oporavak u slučaju oštećenja ili problema s transportom, uključujući sustave za brtvljenje spremnika i druge sigurnosne mjere. U usporedbi s brodovima klase 2, brodovi klase 1 podliježu strožim sigurnosnim zahtjevima kako bi se osigurala maksimalna zaštita posade, okoliša i tereta (LNG).

LNG brodovi klase 2 također su dizajnirani za siguran prijevoz LNG-a, ali imaju nešto manje stroge specifikacije od brodova klase 1. To znači da su možda manje otporni na ekstremne uvjete ili imaju manje sofisticirane sustave za samopomoć. Iako brodovi klase 2 također mogu imati sustave za samopomoć, ti sustavi možda nisu jednako napredni ili učinkoviti kao kod brodova klase 1. Brodovi klase 2 obično imaju manji stupanj zaštite od brodova klase 1. To znači da se možda zahtijevaju stroži sigurnosni protokoli i mjere za rukovanje teretom [22].

### 3.3.3. Q-FLEX

Q-Flex LNG brodovi predstavljaju značajnu klasu LNG tankera, ali su po veličini i kapacitetu manji u usporedbi s Q-Max brodovima. Ovi brodovi imaju skladišni kapacitet za LNG koji se obično kreće između 210.000 i 217.000 kubičnih metara. Spremnici unutar Q-Flex brodova također su membranskog tipa, s fleksibilnim membranama koje održavaju tekući plin na niskim temperaturama i pod visokim tlakom. Q-Flex brodovi najčešće koriste diesel motore za pogon, što omogućuje učinkovito upravljanje i navigaciju. Na ovim brodovima instaliran je i sustav za ponovno ukapljivanje isparina, koji smanjuje emisije i omogućuje maksimalno iskorištavanje dostupnog LNG-a. Iako su Q-Flex brodovi važan dio globalne mreže LNG transporta, nisu ograničeni samo na katarske kompanije, već ih posjeduju ili njima upravljaju različite tvrtke širom svijeta. Zbog svoje prilagodljivosti, ovi brodovi igraju ključnu ulogu u lancu opskrbe LNG-om, omogućujući učinkovit i održiv transport prirodnog plina na različite destinacije.

Brodovi nove generacije iz klase Q-Flex (slika 19) s kapacitetom od 210.000 m<sup>3</sup>, posebno su dizajnirani za pristajanje u gotovo svim velikim lukama koje imaju terminale za ukapljeni prirodni plin. Njihova oznaka "Flex" dolazi od engleske riječi "flexible", što ukazuje na njihovu sposobnost prilagodbe različitim uvjetima i potrebama trgovine [23].



**Slika 19. Q-flex brod [24]**

Trenutačno je u svijetu aktivno 28 Q-flex brodova, a još jedan je planiran za izgradnju do 2012. godine prema informacijama na [www.shipbuildinghistory.com](http://www.shipbuildinghistory.com). Svi Q-flex brodovi su u vlasništvu katarskih tvrtki. Ovi brodovi pokreću diesel motori i opremljeni su sustavom za ponovno ukapljivanje isparina. Spremnici unutar Q-flex brodova su

membranske vrste, a njihova veličina skladišnog prostora kreće se između 209,000 i 217,000 kubičnih metara [24].

### 3.3.4. Q-MAX

Q-max LNG brodovi (slika 20) su vrlo veliki i posebno dizajnirani brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina (LNG). Ovi brodovi pripadaju vrhunskoj klasi LNG tankera i ističu se svojom izvanrednom veličinom i kapacitetom. Q-max brodovi su poznati po svojem ogromnom kapacitetu za skladištenje LNG-a. Njihov kapacitet skladišnog prostora obično se kreće između 255.000 i 266.000 m<sup>3</sup>, što ih čini nekim od najvećih LNG brodova na svijetu. Spremnici unutar Q-max brodova su membranske konstrukcije. Membranske spremnike karakterizira fleksibilna membrana koja zadržava tekući plin na niskoj temperaturi i visokom tlaku [25].



**Slika 20. Q-Max brod [25]**

Veličina Q-max brodova je ograničena veličinom luke Ras Laffan u Kataru, gdje se nalazi jedan od najvećih svjetskih LNG terminala. Ovi brodovi su specifično prilagođeni kako bi se uklopili u ovu luku. Kako bi se maksimalno iskoristila dostupna količina LNG-a i spriječila emisija isparenog plina u atmosferu, Q-max brodovi su opremljeni sustavima za ponovno ukapljivanje isparina. Svi ovi brodovi su u vlasništvu katarskih tvrtki, a Katar je zemlja s iznimno velikom proizvodnjom i izvozom LNG-a. Ovi brodovi predstavljaju

vrhunsku tehnologiju u industriji prijevoza LNG-a i ključni su čimbenik u svjetskoj trgovini ovim energentom [16].

Q-max brodovi za ukapljeni prirodni plin također su u posjedu katarskih kompanija, i do sada je izgrađeno devet takvih brodova. Dimenzije Q-max brodova su određene veličinom luke RasLaffan u Kataru. Postoji i narudžba za još pet Q-max brodova prema informacijama dostupnim na [www.shipbuildinghistory.com](http://www.shipbuildinghistory.com). Spremni prostor ovih brodova varira između 255,000 i 266,000 kubičnih metara. Spremnici u Q-max brodovima su membranske konstrukcije, a pogonjeni su diesel motorima. Također su opremljeni sustavom za ponovno ukapljivanje isparina [25].

### 3.3.5. ICE KLASA

ICE (engl. *Ice-Class*) LNG brodovi su dizajnirani i građeni za plovidbu u hladnim arktičkim ili ledolomnim područjima, gdje su prisutni ledolomni uvjeti, slika 21. Ovi brodovi moraju zadovoljiti posebne tehničke i sigurnosne zahtjeve kako bi se omogućila sigurna i pouzdana plovidba u takvim teškim uvjetima. ICE klasa brodova ima ojačane trupove kako bi se omogućila otpornost na udarce i pritisak leda. Ovaj ojačani trup omogućava brodu da se probija kroz led ili da se nosi s ledom bez oštećenja. Ovi brodovi često imaju posebne propulzijske sustave, kao što su jači motori i propelere, kako bi se osigurala dovoljna snaga za probijanje leda i plovidbu kroz ledene površine [26].



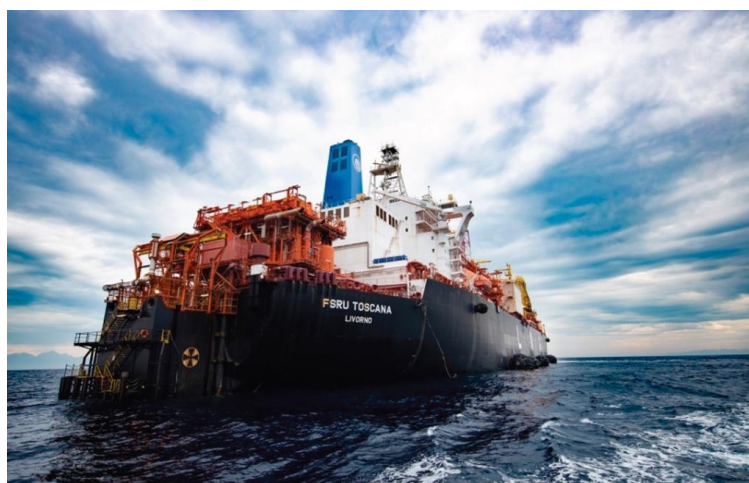
**Slika 21. ICE LNG brod [26]**



Kako bi se očuvala temperatura LNG-a, ICE klasa brodova može imati dodatne izolacijske slojeve kako bi se spriječilo zagrijavanje tereta. Brodovi s ICE klasom često su opremljeni posebnim uređajima za razbijanje i guranje leda kako bi otvarali put kroz ledene površine. ICE klasa LNG brodovi su od vitalnog značaja za opskrbu energijom u regijama gdje je LNG ključni izvor energije, a ledolomni uvjeti često ograničavaju tradicionalne brodove. Ovi brodovi omogućavaju transport plina i druge robe čak i kroz ledolomne vode, što je posebno važno za arktičke i hladne regije svijeta [26].

### 3.3.6. FSRU

FSRU (engl. *Floating Storage and Regasification Unit*) je plutajuća platforma koja se koristi za skladištenje i regasifikaciju (pretvaranje iz tekućeg stanja u plinovito stanje) ukapljenog prirodnog plina koji se prevozi morem, slika 22. FSRU-ovi igraju ključnu ulogu u procesu isporuke LNG-a izvedbama koje nemaju stalne terminalne infrastrukture za ukapljeni prirodni plin. Klasifikacija FSRU LNG brodova odnosi se na tehničke specifikacije i sigurnosne standarde tih plutajućih jedinica [28].



**Slika 22. FSRU Toscana [27]**

Klase FSRU LNG brodova obično se označavaju brojevima i slovima kako bi se identificirali njihovi kapaciteti i tehničke karakteristike:

- FSRU klase A: FSRU klase A obično su najnovije i najnaprednije jedinice koje udovoljavaju najstrožim sigurnosnim i ekološkim standardima. Ovi brodovi su opremljeni najnovijom tehnologijom i često imaju veći kapacitet za skladištenje i regasifikaciju LNG-a.



- FSRU klase B: FSRU klase B su nešto stariji modeli, ali i dalje pružaju sigurno skladištenje i regasifikaciju LNG-a. Mogu imati nešto manji kapacitet od FSRU klase A.
- FSRU klase C: FSRU klase C su stariji modeli koji možda ne zadovoljavaju najnovije sigurnosne i ekološke standarde. Ovi brodovi obično imaju manji kapacitet i tehnički su manje napredni [28].

Klasifikacija FSRU LNG brodova može se dodatno razlikovati prema specifičnim tehničkim karakteristikama i zahtjevima kupaca. Važno je napomenuti da su FSRU-ovi vitalni dio infrastrukture za opskrbu energijom u mnogim zemljama koje koriste LNG, jer omogućavaju fleksibilno i brzo uvođenje prirodnog plina bez potrebe za izgradnjom stalnih terminala za regasifikaciju [28].

Dakle, LNG brodovi dolaze u različitim veličinama, od malih do velikih brodova. Količina LNG-a koju brod može nositi ovisit će o veličini i kapacitetu tog plovila [28]:

- Mali prijevoznici imaju približni kapacitet tereta od 1.000 m<sup>3</sup> (35.300 ft<sup>3</sup>) do 40.000 m<sup>3</sup> (1,4 milijuna ft<sup>3</sup>)
- Prijevoznici srednje veličine imaju približni kapacitet tereta od 40 000 m<sup>3</sup> (1,4 milijuna ft<sup>3</sup>) do 80 000 m<sup>3</sup> (2,8 milijuna ft<sup>3</sup>)
- Veliki nosači (poznati i kao Q-max ili Q-flex brodovi) imaju približni kapacitet tereta od 120.000 m<sup>3</sup> (4,2 milijuna ft<sup>3</sup>) do preko 260.000 m<sup>3</sup> (9,2 milijuna ft<sup>3</sup>).

Navedene brojke su samo procjene. Stvarni kapacitet tereta LNG broda ovisit će o njegovim specifičnostima:

- Dizajn
- Tehnologija
- Svrha

Nadalje, očekuje se da će u nadolazećim godinama vidjeti brodove puno većeg kapaciteta kako tehnologija nosača LNG-a bude napredovala [27].

## 4. LNG HRVATSKA

U Republici Hrvatskoj LNG je postao ključna komponenta energetske strategije koja ima za cilj diversifikaciju opskrbe energijom, smanjenje ovisnosti o tradicionalnim izvorima energije i promicanje energetske sigurnosti. Prvi put se izgradnja LNG terminala na Krku spominje 1995. godine. Tek početkom 2000. počinju prve sigurnosne i tehničke provjere o mogućnosti građenja istog. Za izgradnju je izabrano mjesto Omišalj na Krku. 2010. nakon brojnih sigurnosnih i tehničkih regulativa posebice onih koje su vezane za okoliš LNG terminal je dobio građevinsku dozvolu. Izgradnja LNG terminala Krk je značajan projekt za Hrvatsku, koji je rezultat brojnih političkih i ekonomskih događanja. Terminal se sastoji od spremnika za ukapljeni plin kapaciteta 140 000 kubičnih metara, regasifikacijskih postrojenja i pristupnog pristana za prihvat LNG tankera. Otvoren je 2021. godine i predstavlja ključnu infrastrukturu za opskrbu Hrvatske i regije prirodnim plinom. LNG terminal Krk nalazi se u mjestu Omišalj što je prikazano na slici 23. [29].



**Slika 23. Položaj LNG terminala na Krku [29]**

LNG terminal Krk je tehnički iznimno složen objekt. Spremnik za ukapljeni plin, koji služi za skladištenje i pravilno rukovanje LNG-om, izgrađen je prema najnovijim standardima sigurnosti i tehnologije. Regasifikacijska postrojenja su visoko sofisticirana i omogućuju brzu i sigurnu pretvorbu ukapljenog plina u plinovito stanje. Pristupno pristanče je opremljeno za prihvat i siguran transport LNG tankera. LNG terminal sastoji se od FSRU broda i kopnenog dijela terminala [29]. Slika 24 prikazuje terminal u Omišlju.



**Slika 24. Terminal u Omišlju [31]**

Kopneni dio terminala uključuje opremu za mjerenje količine i kvalitete prirodnog plina. To je važno za praćenje i kontrolu opskrbe plinom te osiguravanje da plin odgovara standardima i zahtjevima kvalitete. Opremljen je nizom sigurnosnih sustava i protupožarnih mjera kako bi se osigurala sigurna operacija terminala. Ovi sustavi uključuju alarme, senzore za detekciju plinova i sustave za gašenje požara. Osim navedenih komponenata, kopneni dio terminala uključuje infrastrukturne objekte kao što su skladišni spremnici za plin, kontrolne sobe, komunikacijska oprema te objekti za upravljanje i održavanje. Kopneni dio LNG terminala igra ključnu ulogu u procesu opskrbe prirodnim plinom za potrebe industrije, komercijalnih korisnika i kućanstava u Hrvatskoj i šire. Ova infrastruktura pridonosi energetske sigurnosti zemlje, diversifikaciji izvora energije i smanjenju emisija stakleničkih plinova jer prirodni plin smatra se čistim fosilnim gorivom [30].

LNG terminal Krk ima dubok utjecaj na energetske politiku Hrvatske i šire regije. Neki od ključnih utjecaja uključuju:

- Diversifikacija izvora i rute opskrbe jer terminal omogućuje Hrvatskoj i drugim europskim zemljama pristup plinu iz različitih izvora, smanjujući ovisnost o jednom dobavljaču i povećavajući energetske sigurnost.
- Povećanje konkurencije gdje LNG terminal Krk povećava konkurenciju na tržištu prirodnog plina, što može dovesti do nižih cijena za potrošače.

- Prijelaz prema čistim energentima: LNG se smatra čistim fosilnim gorivom s nižim emisijama stakleničkih plinova u usporedbi s drugim fosilnim gorivima, što pridonosi naporima za smanjenje emisija CO<sub>2</sub>.

LNG terminal Krk također ima značajan ekonomski utjecaj:

- Stvaranje radnih mjesta jer izgradnja i upravljanje terminalom stvaraju nova radna mjesta u regiji, podržavajući ekonomski rast.
- Povećanje trgovine jer terminal promiče trgovinu LNG-om i povećava trgovinske prilike za Hrvatsku kao energetske igrač u Europi.

Jedan od najvažnijih aspekata LNG terminala Krk je poboljšanje energetske sigurnosti Hrvatske i regije. Diversifikacija opskrbe prirodnim plinom smanjuje ranjivost na prekide u opskrbi izazvane geopolitičkim ili tržišnim faktorima. Osim toga, terminal pruža mogućnost brze reakcije na neočekivane potrebe za energijom, kao što su ekstremni vremenski uvjeti ili tehnički problemi na drugim energetske postrojenjima. Unatoč svojoj korisnosti u diversifikaciji i poboljšanju energetske sigurnosti, LNG nije bez ekoloških izazova. Prilikom regasifikacije i transporta LNG-a, dolazi do emisija stakleničkih plinova, iako su te emisije obično niže u usporedbi s drugim fosilnim gorivima. Hrvatska i EU poduzimaju korake za smanjenje tih emisija i promicanje održivog korištenja LNG-a [30].

Budućnost LNG-a u Hrvatskoj obećava mnogo obećavajućih mogućnosti [30]:

- Povećanje kapaciteta jer postoji potencijal za širenje kapaciteta LNG terminala Krk kako bi se zadovoljile rastuće potrebe za prirodnim plinom u regiji i poticale trgovinske prilike.
- Razvoj tržišta jer LNG terminal Krk može postati ključni igrač na europskom tržištu prirodnog plina, pružajući energetske sigurnost i konkurenciju.

Iako LNG ima mnoge prednosti, postoje i izazovi i rizici povezani s njegovom upotrebom. To uključuje geopolitičke napetosti koje mogu utjecati na opskrbu LNG-om, ekološke brige i potrebu za kontinuiranim ulaganjima u infrastrukturu kako bi se osigurala sigurnost i funkcionalnost. LNG terminal Krk predstavlja ključnu investiciju za energetske sigurnost Hrvatske i regije. Diversifikacija izvora energije, poticanje ekonomske aktivnosti i smanjenje emisija stakleničkih plinova su samo neki od brojnih prednosti ovog projekta.

Dok Hrvatska nastavlja razvijati svoj energetske sektor, LNG će vjerojatno ostati važan element njezine energetske strategije i pridonijeti održivosti i konkurentnosti u budućnosti.

## 5. ANALIZA PROMETA LNG BRODOVA U SVIJETU

Zemlja posjeduje velike količine prirodnog plina, međutim on se mora transportirati iz plinskih polja do područja gdje je to potrebno. Kako bi se prirodni plin transportirao sigurno i učinkovito, prvo se mora pretvoriti u ukapljeni prirodni plin (LNG) u procesu koji se naziva ukapljivanje. Kada se prirodni plin ohladi na ekstremno niske temperature (oko -162°C), on prelazi iz plinovitog u tekuće stanje i smanjuje se na 1/600 svojeg izvornog volumena. Nakon što se kondenzira u tekućinu, LNG se može sigurno skladištiti i učinkovito transportirati, koristeći posebno dizajnirane LNG posude, kako bi se zadovoljile energetske potrebe zajednica koje se nalaze daleko od izvora plina.

### 5.1. KARAKTERISTIKE UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Ukapljeni prirodni plin (LNG) je prirodni plin (metan ili sa smjesom etana) koji je ohlađen i ukapljen radi lakšeg skladištenja ili transporta. Zauzima oko 1/600 volumena prirodnog plina u plinovitom stanju. Tablica 2 prikazuje svojstva LNG-a.

Tablica 2. Svojstva LNG-a, prema [33]

Sastojak	Ras Laffan	Das Islands	Standard
Metan	90,28 %	84,5 %	89,63 %
Etan	6,33 %	12,9 %	6,32 %
Propan	2,49 %	1,5 %	2,16 %
Butan	0,49 %	0,5 %	1,20 %
Izobutan	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Pentan	0,02 %	0,00 %	0,00 %
Izopentan	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Dušik	0,41 %	0,6 %	0,69 %
Prosječna mol. masa	17,88	18,56	18,12
Točka vrelišta pri atmosferskom tlaku (°C)	-160,8	-161,0	-160,9
Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	461,8	456,8	459,4
Viša specifična energija (kJ/kg)	54.414	54.031	54.090

Ukapljeni plin je tekući oblik tvari koji bi na sobnoj temperaturi i pri atmosferskom tlaku bio plin. Isti ukapljeni plin na istoj temperaturi, u zatvorenoj posudi, uvijek će imati

isti tlak. Stoga butan na istoj temperaturi ima identičan tlak. Svi su spremnici pod tlakom. Većina ukapljenih plinova su ugljikovodici, a ključno svojstvo koje ugljikovodike čini svjetskim primarnim izvorom energije je zapaljivošću, također ih čini inherentno opasnima. Budući da se tim plinovima rukuje u velikim količinama, nužno je poduzeti sve korake kako bi se propuštanje smanjilo na minimum i ograničili svi izvori paljenja [32].

Kada se prirodni plin ohladi ispod temperature vrenja (-161,6 °C pri tlaku od 1 bar), postaje bistra tekućina bez boje i mirisa. Postupak kondenzacije iz plinovitog stanja u tekuće reducira volumen prirodnog plina približno 600 puta pa postaje vrlo ekonomičan za transport diljem svijeta. LNG se održava u tekućem stanju s pomoću posebno patentiranog izolacijskog sustava koji okružuje spremnike [33].

## **5.2. KARAKTERISTIKE PRIJEVOZA LNG BRODOVIMA**

LNG brod posebno je dizajniran za prijevoz ukapljenog prirodnog plina u velikim količinama. Ovi brodovi obično su dugi oko 300 metara, široki 43 metra, s gazom od približno 12 metara. LNG brodovi razlikuju se od ostalih brodova za prijevoz rasutog tereta zbog svojih jedinstvenih značajki, poput izolacije i spremnika s kontroliranom temperaturom, koji omogućuju održavanje plina u tekućem stanju. Pogonski sustavi ovih brodova često se temelje na turbinskom pogonu koji koristi ispareni plin (engl. *Boil-Off Gas* – BOG) iz LNG-a, tekuća goriva poput nafte ili kombinaciju oba. Korištenjem prirodnog plina kao goriva, LNG brodovi proizvode manje emisija stakleničkih plinova u usporedbi s tradicionalnim brodovima [34].

Zbog sve veće uloge prirodnog plina u svjetskoj potrošnji energije, međunarodni pomorski promet ukapljenim prirodnim plinom kontinuirano raste s još većim očekivanjima u budućnosti. Većina svjetskih rezervi prirodnog plina nalazi se daleko od velikih potrošača. Međunarodna trgovina prirodnim plinom ovisno o udaljenosti odvija se putem cjevovoda i LNG brodova, dok se rijetko koristi željeznički ili cestovni prijevoz s posebnim toplinski izoliranim spremnicima. Zbog nižih investicijskih troškova, transport plina cjevovodima poželjan je do udaljenosti od oko 2000 km. Nakon toga, troškovi transporta znatno rastu dok troškovi transporta LNG-a u tekućem stanju postaju konkurentniji, s mogućnošću dodatnog smanjenja troškova ukoliko se postigne napredak u tehnologiji. LNG tržište nudi veću

fleksibilnost jer kapacitet jednog izvoznog terminala može zadovoljiti potrebe dvaju ili triju uvoznih terminala. Trenutna situacija na globalnom tržištu ukazuje na to da se LNG izvozi u regije s višim cijenama plina, poput Azije, SAD-a i Europe, dok transport cjevovodima nudi manju fleksibilnost. LNG kontinuirano povećava svoj tržišni udio u globalnoj trgovini plinom. Prema podacima Međunarodne energetske agencije (IEA), globalno LNG tržište pokriva oko 9 % potražnje za prirodnim plinom, što iznosi oko 299 milijardi kubičnih metara [34].

Ukapljeni prirodni plin (LNG) skladišti se i transportira u spremnicima kao kriogena tekućina, odnosno tekućina na temperaturi ispod točke vrenja. Kao i svaka druga tekućina, LNG isparava na temperaturama iznad točke vrenja, stvarajući tzv. ispareni plin. Isparavanje je uzrokovano ulaskom topline u LNG tijekom skladištenja, transporta i procesa utovara ili istovara. Količina BOG-a ovisi o dizajnu i radnim uvjetima LNG spremnika i brodova. Povećanje BOG-a povećava tlak u spremniku, pa je potrebno kontinuirano eliminirati BOG kako bi se tlak održao unutar sigurnih granica [34].

U lancu opskrbe LNG-om, BOG se može koristiti kao gorivo, ponovno ukapljivati ili spaljivati u jedinicama za rasplinjavanje. Nadalje, hlapljivije komponente poput dušika i metana isparavaju prve, što tijekom vremena mijenja sastav i kvalitetu LNG-a. Ovaj fenomen, poznat kao starenje LNG-a, posebno je važan u trgovini LNG-om, jer se LNG prodaje na temelju njegovog energetskog sadržaja. Specifikacije u luci iskrcaja određene su prema volumenu LNG-a koji se prevozi, njegovoj gustoći i toplinskoj vrijednosti [34].

### **5.3. UTJECAJ LNG-A NA GOSPODARSKI RAZVOJ**

Prijevoz ukapljenog prirodnog plina (LNG) brodovima ima ključnu ulogu u gospodarskom razvoju regija koje okružuju luke, pa čak i cijelih zemalja. LNG brodovi nude brojne prednosti, uključujući sigurnost, pouzdanost, ekološku prihvatljivost, isplativost, fleksibilnost i praktičnost [35]. U posljednjih nekoliko godina brodska industrija LNG-a doživjela je brz razvoj, a količine LNG-a koje se transportiraju brodovima i broj brodskih putovanja značajno su porasli diljem svijeta [36].

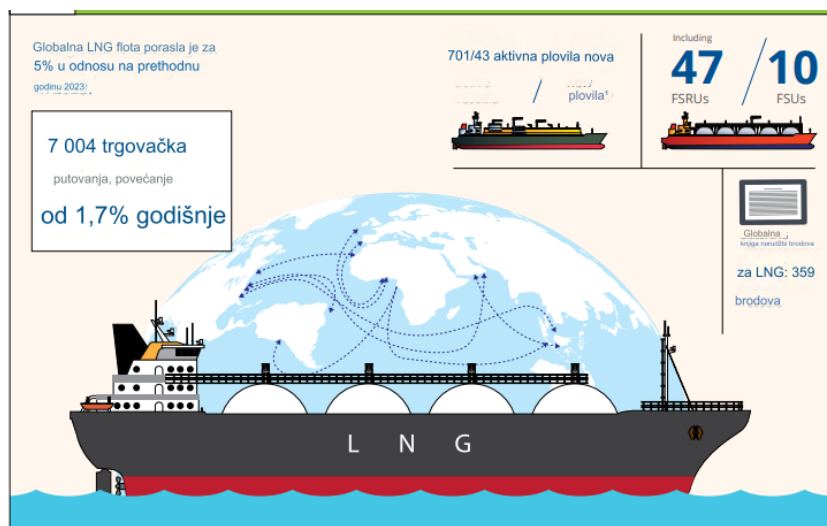


Kina je u tom kontekstu izgradila mnoge velike LNG terminale u lukama na istočnoj i južnoj obali. Neke od tih luka već su izgradile ili planiraju izgraditi dva ili više LNG vezova kako bi prihvatile veći broj LNG brodova. Također treba naglasiti kako LNG brodovi koji su obično veliki i prevoze velike količine opasnog plina, predstavljaju značajan rizik [37,38].

LNG brodovi mogu značajno utjecati na učinkovitost plovidbe drugih brodova u lučkim vodama, budući da često imaju prioritet, što može dovesti do dužeg čekanja za ostale brodove. Sigurnosne mjere koje se provode kako bi se osigurala sigurnost LNG brodova također imaju velik utjecaj na količine tereta koje se utovaruju i istovaruju, kao i na ukupnu učinkovitost rada luke. Ova proturječnost između potrebe za sigurnošću i zahtjeva za učinkovitošću prilikom uplovljavanja i isplovljavanja LNG brodova predstavlja značajan izazov. Stoga je važno istražiti na koji način LNG brodovi utječu na ukupnu učinkovitost prometa u lučkim plovnim putovima [39].

#### **5.4. GLOBALNA BRODARSKA INDUSTRIJA LNG-A**

Globalna brodarska industrija LNG-a doživjela je značajan rast i evoluciju tijekom posljednjih godina. Od 2024. u pogonu je otprilike 520 brodova na LNG, što je značajno povećanje u odnosu na 471 u 2023. i 354 u 2022. Knjiga narudžbi novih LNG brodova također se širi, sa 195 brodova naručenih u 2024., za koje se očekuje da će porasti na 348 do 2025. i dalje na 514 do 2028 [40]. Unatoč povećanju broja brodova koji koriste LNG gorivo, infrastruktura za podršku tim brodovima, posebno za LNG bunkeriranje, nije zadržala korak. Trenutno postoje 73 broda za LNG bunkere diljem svijeta, s koncentracijom u Europi i Aziji. Ova razlika između broja plovila i kapaciteta punjenja goriva mogla bi dovesti do ograničenja opskrbe, posebno budući da se očekuje rast potražnje za LNG-om kao brodskim gorivom zbog strožih ekoloških propisa [40]. Slika 26 prikazuje globalnu LNG flotu u brojevima.



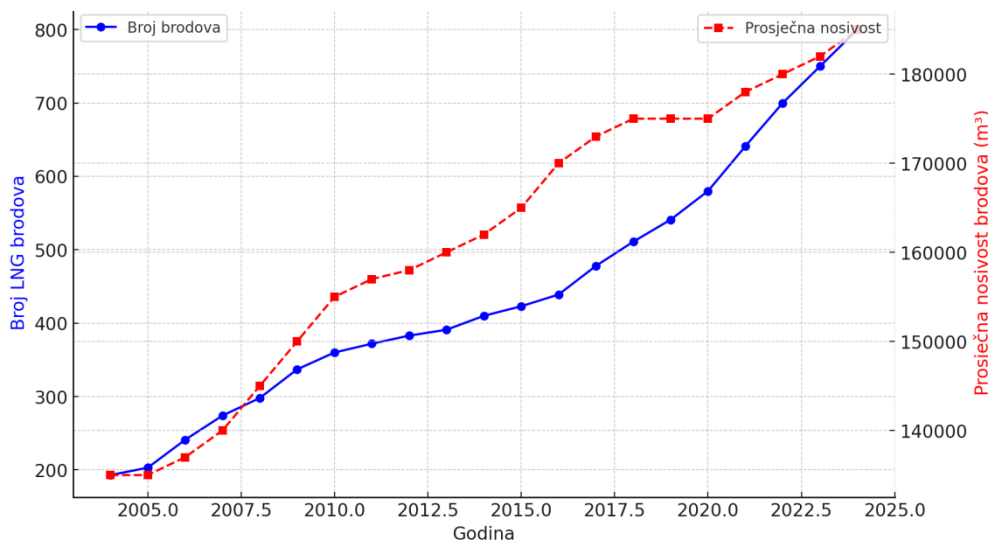
Slika 25. Globalna LNG flota [41]

U tablici 4 prikazan je broj LNG brodova na svjetsko tržištu posljednjih 20 godina kao i prosječna i ukupna nosivost.

Tablica 3. Rast LNG flote i nosivost

Godina	Broj brodova	Prosječna nosivost min (m <sup>3</sup> )	Prosječna nosivost max (m <sup>3</sup> )	Ukupna nosivost (mil m <sup>3</sup> )
2004	193	125.000	145.000	25
2005	203	125.000	145.000	26
2006	241	125.000	150.000	30
2007	274	130.000	155.000	35
2008	298	140.000	155.000	40
2009	337	140.000	155.000	45
2010	360	140.000	160.000	50
2011	372	140.000	160.000	52
2012	383	140.000	160.000	54
2013	391	145.000	160.000	56
2014	410	145.000	165.000	60
2015	423	155.000	175.000	62
2016	439	155.000	175.000	66
2017	478	160.000	175.000	75
2018	511	160.000	180.000	80
2019	541	165.000	180.000	90
2020	580	170.000	180.000	95
2021	641	170.000	180.000	110
2022	700	170.000	180.000	125
2023	750	170.000	180.000	130
2024	800	170.000	185.000	140

Slika 27 prikazuje trend rasta broja brodova i prosječne nosivosti LNG brodova. Kao što je vidljivo iz grafa, ne samo da raste broj brodova, već su novi brodovi sve većih nosivosti, što dodatno potvrđuje rast kapaciteta LNG transporta na globalnoj razini.



**Slika 26. Trend rasta broja LNG brodova i prosječne nosivosti 2004-2024.**

Općenito, tržište LNG-a prolazi kroz dinamično razdoblje sa značajnim povećanjem kapaciteta otpreme i potencijalom za buduće infrastrukturne izazove. Fokus industrije je na uravnoteženju rasta s potrebnom infrastrukturom za osiguranje održivog i učinkovitog poslovanja [41].

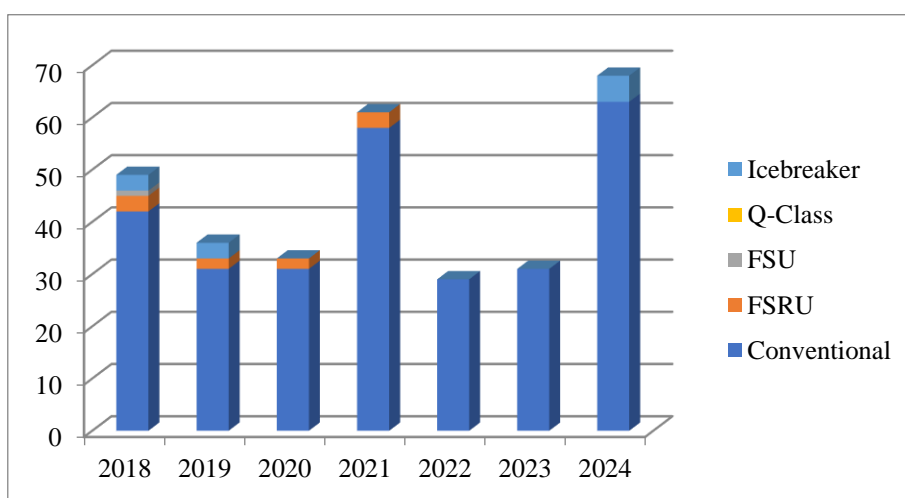
Od 2018. do 2024. globalna brodarska industrija LNG-a (ukapljeni prirodni plin) doživjela je značajne promjene u veličini flote, narudžbama plovila i operativnoj infrastrukturi. Globalna flota LNG brodova prošla je značajan rast tijekom posljednjih godina, odražavajući povećanu potražnju za ukapljenim prirodnim plinom (LNG) i rastuću važnost ove vrste prijevoza u globalnoj energetskej industriji. Godine 2018. flota je brojala oko 450 plovila, dok je već sljedeće godine taj broj narastao na približno 470 brodova. U 2020. godini zabilježen je značajan porast, čime je broj LNG brodova u pogonu dostigao otprilike 490 plovila. Ovaj rast se nastavio i u 2021. godini, kada je globalna flota narasla na oko 520 brodova, što je rezultat povećane potražnje i novih narudžbi. Međutim, 2022. godine, zabilježen je privremeni pad, te je flota smanjena na 354 plovila. Unatoč ovom padu, flota je ubrzo ponovno počela rasti, pa je 2023. godine broj LNG brodova dosegao 471. Do 2024. godine, flota je dostigla broj od 520 brodova, a uz to je zabilježeno čak 195 novih brodova u narudžbi, što pokazuje kontinuirani interes i ulaganja u ovu vrstu plovidbe. Ove

brojke jasno ukazuju na rastuću važnost LNG brodova u globalnoj trgovini energijom, kao i na stalnu potražnju za novim plovilima kako bi se zadovoljile globalne energetske potrebe.

#### 5.4.1. NOVE NARUDŽBE LNG BRODOVA OD 2018.-2024.

Knjiga narudžbi za nove LNG brodove kontinuirano se širi, prateći rast globalne potražnje za transportom ukapljenog prirodnog plina (LNG). Tijekom razdoblja od 2018. do 2020. godine bilježen je stabilan rast narudžbi, potaknut sve većom globalnom potražnjom za transportom LNG-a. Godina 2021. donijela je značajan porast novih narudžbi, što odražava sve veći interes za LNG kao ekološki prihvatljiviju alternativu. U 2022. godini taj se rast nastavio, a projekcije su pokazivale značajno povećanje u broju narudžbi u nadolazećim godinama. Tijekom 2023. i 2024. godine, broj naručenih LNG brodova dosegao je 195, s predviđanjima da će do 2025. godine taj broj porasti na 348, a do 2028. čak na 514 brodova. Ovi podaci ukazuju na rastući trend u industriji, potaknut sve većim zahtjevima za transportnim kapacitetima i prelaskom na čišće izvore energije poput LNG-a.

Uz isporuku 32 plovila 2023. godine i 11 plovila tijekom siječnja i veljače 2024. godine globalna flota LNG prijevoznika sastojala se od 701 aktivnog plovila od kraja veljače 2024., uključujući 47 operativnih FSRU i 10 FSU. To također predstavlja rast veličine flote od 5,0 % od 2022. do 2023. usporedivo s rastom od 1,7 % u broju putovanja LNG-om, što predstavlja zdravu opskrbu LNG brodovima u odnosu na rast trgovine LNG-om [41].



**Slika 27. Globalna aktivna LNG flota i knjiga narudžbi prema godini isporuke, prema [41]**

Slika 29 prikazuje broj različitih vrsta LNG brodova koji plove i onih koji su naručeni u razdoblju od 2018. do 2024. godine. Na grafikonu su prikazane ukupne vrijednosti za pet kategorija brodova: "Conventional" (konvencionalni), "FSRU" (Floating Storage Regasification Unit), "FSU" (Floating Storage Unit), "Q-Class", te "Icebreaker" (ledolomci). 2018. godine ukupni broj brodova iznosi nešto više od 50. Većina brodova pripada kategoriji konvencionalnih brodova, dok su manje zastupljeni FSRU, FSU i Q-Class brodovi. Tu su i neki brodovi tipa ledolomaca. 2019. godina ukupni broj brodova se smanjuje na nešto ispod 40, pri čemu konvencionalni brodovi i dalje čine većinu flote. Postoji i mala zastupljenost FSRU brodova, a broj Q-Class brodova je zanemariv. 2020. godine broj brodova ostaje stabilan s oko 30 brodova, s time da su konvencionalni brodovi i dalje najzastupljeniji. Zabilježen je manji broj FSRU brodova. 2021. godine značajan porast broja brodova, ukupno više od 60. Konvencionalni brodovi čine glavninu flote, dok su FSRU i FSU brodovi također prisutni. Q-Class brodovi i ledolomci imaju nešto veću zastupljenost nego prethodnih godina. 2022. i 2023. godine broj brodova se smanjuje na ispod 40, s time da su konvencionalni brodovi dominantni. Ostale kategorije su minimalno zastupljene ili nisu prisutne. 2024. godine ukupan broj brodova ponovno raste, dosegnuvši nešto više od 60. Konvencionalni brodovi čine najveći dio flote, s određenim brojem ledolomaca. Ostale kategorije su manje zastupljene. Grafikon pokazuje fluktuacije u broju LNG brodova u različitim kategorijama tijekom promatranog razdoblja. Najveći broj brodova je zabilježen u 2021. i 2024. godini, pri čemu dominiraju konvencionalni LNG brodovi. Također je vidljiv trend povremenog povećanja broja specijaliziranih brodova poput Q-Class brodova i ledolomaca [41].

#### **5.4.2. GLOBALNA FLOTA LNG BRODOVA PREMA KAPACITETU SPREMNIKA**

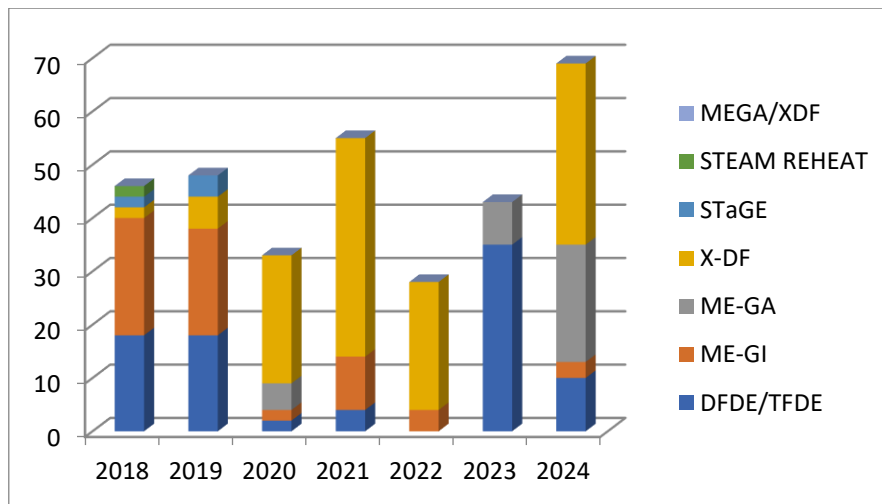
Od 32 novogradnje isporučene 2023., sve osim tri imaju kapacitet između 170.000 i 200.000 m<sup>3</sup>. Posude ove veličine ostaju unutar gornja granica kapaciteta Panamskog kanala nakon njegovog proširenja u 2016., dok još uvijek ima koristi od ekonomije razmjera, posebice kao dodatni LNG kapacitet razvijen je u američkoj obali Meksičkog zaljeva (USGC) za dostava na duge relacije u Aziju.

Qatar Energy ponovno je na čelu rastućih kapaciteta brodova, naručivši osam brodova od 271.000 m<sup>3</sup>. Hudong-Zhonghua za isporuku tijekom 2028.-29., nešto veći od

Isporučeno je 45 katarskih novogradnja Q-klase od preko 200.000 m<sup>3</sup> tijekom razdoblja 2007-2010. Međutim, brodovi od 200 000 m<sup>3</sup> ili veći mogli bi naći naklonost zbog svoje ekonomskih razmjera za duge plovidbe. Trenutna knjiga narudžbi sastoji se od 22 plovila, svaki s kapacitetom od 200.000 m<sup>3</sup> ili 271.000 m<sup>3</sup> za isporuku tijekom razdoblje 2024-2029 [41]. Prilikom puštanja u pogon novogradnje brodar određuje kapacitet plovila temeljen na individualnim potrebama, tekućim tržišnim trendovima, tehnologije dostupne u to vrijeme, i sve više, s ciljem budućih propisa o zaštiti okoliša i potražnja za LNG-om. Fleksibilnost od LNG broda dizajnira za implementaciju novih tehnologija ili rješenja također je ključno budući da brodovlasnici zahtijevaju ideje otporne na budućnost po potrebi naknadno ugraditi.

#### **5.4.3. GLOBALNA FLOTA LNG BRODOVA PREMA TIPU POGONA**

Tijekom 2020. godine, niskotlačni sporohodni dvogorivni dizelski motori *Winterthur Gas & Diesel (X-DF)* isporučeni su u većem broju nego bilo koja druga vrsta pogonskih sustava. Godina 2023. obilježila je isporuku prvog broda opremljenog motorom *Man B&W ME-GA* (motor s elektronički kontroliranim dovodom plina). Zahvaljujući poboljšanoj učinkovitosti goriva i nižim emisijama, X-DF sustavi će i dalje biti jedan od glavnih izbora, s najmanje 141 sustavom koji je naručen do kraja veljače 2024. godine. Nova generacija učinkovitih ME-GA sustava, koji koriste elektronički kontrolirani dovod plina, postavljena je da postane konkurentan izbor u odnosu na X-DF tehnologiju u novogradnjama, s najmanje 112 narudžbi planiranih za isporuku do 2027. godine. Na slici 30. prikazana je isporuka LNG brodova prema tipu pogona, iz čega je vidljivo da je najčešće korišten pogonski sustav upravo X-DF [41].



**Slika 28. Isporuca LNG brodova prema tipu pogona, prema [41]**

Prema analiziranom izvješću ostalo je još 68 plovila za koje pogonski tip još nije potvrđen, ali će vjerojatno biti ili MEGA ili X-DF. Trenutno je u izgradnji 16 brodova M-tipa, elektronički kontroliranih (ME-GI) sustava za ubrizgavanje pod pritiskom. Sustavi ME-GI, MEGA i X-DF predstavljaju veliki pomak u korist učinkovitosti, ekonomije razmjera i ekološki učinak od popularnih pogonski sustavi prethodne generacije na parnu turbinu, dvogorivni dizel-električni (DFDE) i trogorivni dizel električni (TFDE) [41].

#### **5.4.4. GLOBALNA LNG FLOTA PREMA STAROSTI**

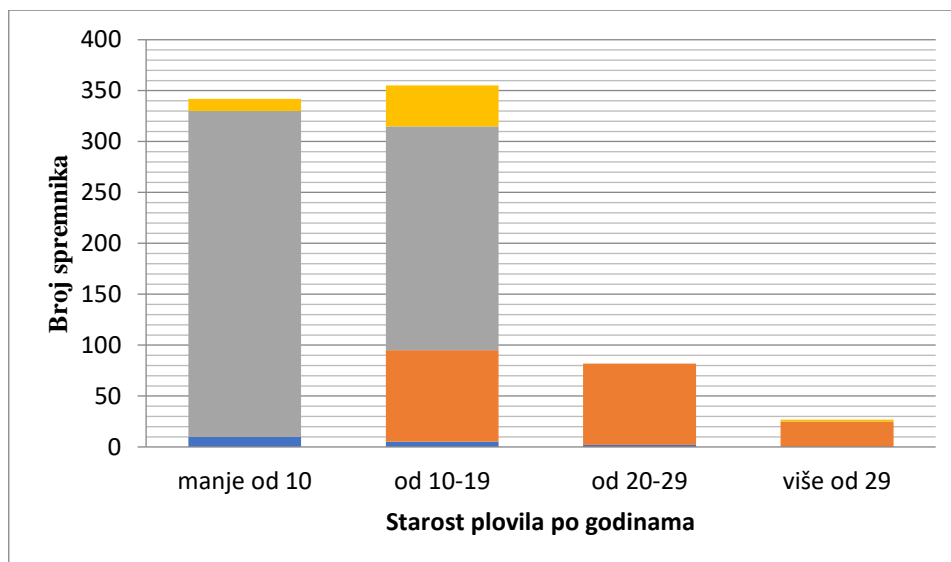
Globalna LNG flota relativno je mlada zbog brzog porasta trgovine LNG-om u posljednja dva desetljeća. Plovila mlađa od 20 godina čine 85,3 % aktivne flote. Novije posude su veće, više učinkovite i imaju bolju ekonomičnost projekta u odnosu na operativnu životni vijek. Samo 21 aktivno plovilo staro je 30 ili više godina, uključujući 8 takvih pretvoreni su u FSRU ili FSU [41]. Globalna knjiga narudžbi LNG-a imala je 359 novoizgrađenih brodova u izgradnji krajem veljače 2024., što je ekvivalentno preko 51 % trenutne aktivne flote. Ovo ilustrira očekivanja brodovlasnika da će trgovina LNG-om nastaviti rasti u skladu s planiranim povećanjem u kapacitetima za ukapljivanje, posebno iz SAD-a. Knjiga narudžbi uključuje 21 brod klase Ledolamac za Projekt Arctic LNG 2. Oni su vrlo inovativni i kapitalno intenzivni brodovi sa sposobnostima potrebnim za prelazak arktičkog područja. Zbog rusko-ukrajinskog sukoba, ova su se plovila suočila s rizikom odgođenih isporuka ili otkazivanja zbog međunarodnih sankcija o Rusiji koji imaju kompliciranu isporuku opreme i plaćanja [41].

Globalna flota LNG brodova sastoji se od plovila različite starosti što odražava različite faze ulaganja i tehnološkog napretka u ovoj industriji. Do 2024. godine, flota uključuje značajan broj starijih brodova, posebno onih s pogonskim sustavima parnih turbina, koji još uvijek čine približno 45% globalne flote. Ova starija plovila postupno se povlače iz upotrebe, a očekuje se da će mnogi od njih biti povučeni do 2045. godine zbog viših operativnih troškova i manje učinkovitosti u usporedbi s modernim plovilima [41].

Noviji LNG brodovi, posebno oni opremljeni učinkovitijim dvotaktnim motorima i trogorivnim dizel-električnim (TFDE) sustavima, uvedeni su u flotu od 2018. godine. Ovi moderni brodovi predstavljaju značajan pomak prema većoj energetskej učinkovitosti, s nižim stopama isparavanja plina i poboljšanom ekološkom učinkovitošću. Kao rezultat toga, stariji brodovi s parnim turbinama postupno se zamjenjuju ili moderniziraju kako bi zadovoljili suvremene standarde. Ukupni trend pokazuje da, iako se flota širi s novim, učinkovitijim plovilima, povlačenje starijih brodova iz upotrebe može dovesti do privremenog smanjenja ukupnog broja LNG brodova nakon 2024. godine, osim ako se ne izdaju nove narudžbe za nadoknadu ovog pada. Ova potencijalna redukcija dolazi u trenutku kada se očekuje daljnji rast globalne potražnje za LNG-om, što postavlja izazove za industriju u smislu kapaciteta flote i dostupnosti plovila [42].

Trenutna globalna LNG flota je relativno mlada, s obzirom na najstariji LNG transporter koji radi izgrađen je 1977. Oko 85,3 % od flota je mlađa od 20 godina, što je u skladu s brzim rastom kapacitet ukapljivanja od početka stoljeća. Osim toga, noviji brodovi su veći i učinkovitiji, s vrhunskom ekonomičnosti projekta tijekom njihovog radnog vijeka. Imajući na umu financijska i sigurnosna pitanja, brodovlasnici su radili plovilo 35-40 godina prije nego što se položi, iako izaziva od nadolazeći propisi o smanjenju emisija (osobito IMO-ov EEXI i CII) bi to moglo smanjiti ili potaknuti naknadne ugradnje ili konverzije. Duge brzom razvoju tehnologije i propisa o emisijama, životni vijek može postati kraći. Na kraju radnog vijeka može se donijeti odluka hoće li rashodovati nosač, pretvoriti ga u FSU/FSRU ili ga vratiti u rad ako se tržišni uvjeti materijalno poboljšaju [41]. Potrebe pojedinca brodovlasnici su također uvelike pod utjecajem tržišne potražnje, što znači kapaciteti novoizgrađenih plovila uglavnom su ostali unutar malog raspona oko prosjeka razdoblja, kao što je prikazano na slici 31.





**Slika 29. Kapacitet flote prema starosti broda, prema [41]**

Slika 31. prikazuje broj spremnika LNG brodova raspoređenih prema starosti plovila, grupiranih u četiri dobne kategorije: "manje od 10 godina", "od 10-19 godina", "od 20-29 godina", i "više od 29 godina". Na y-osi nalazi se broj spremnika, dok x-osa prikazuje starost plovila po godinama. Manje od 10 godina je kategorija koja prikazuje najveći broj spremnika. Glavni udio u ovoj kategoriji čine spremnici označeni sivom bojom, dok su prisutni i manji udjeli označeni žutom i plavom bojom. To sugerira da većina novijih plovila ima spremnike ovog tipa, ali postoji i određeni broj plovila s drugačijim karakteristikama spremnika. Od 10-19 godina također prikazuje veliki broj spremnika sličan onom u prethodnoj kategoriji. U ovoj kategoriji sivi i narančasti spremnici imaju značajan udio, dok je žuti udio također prisutan. Ova kategorija ima sličnu distribuciju kao i plovila mlađa od 10 godina, ali s nešto većim udjelom narančastih spremnika. Od 20-29 godina kategorija prikazuje znatno manji broj spremnika. Više od 29 godina je kategorija prikazuje najmanji broj spremnika. Grafikon pokazuje da većina LNG brodova ima spremnike starosti manje od 20 godina, s većim brojem spremnika u mlađim kategorijama (manje od 10 godina i od 10-19 godina). U starijim kategorijama (od 20-29 godina i više od 29 godina) broj spremnika znatno opada. Ovaj grafikon ukazuje na to da je većina LNG flote relativno nova, s brodovima koji imaju modernije i učinkovitije spremnike, dok stariji brodovi čine manji dio flote

#### **5.4.5. VODEĆI GLOBALNI PROIZVOĐAČI LNG BRODOVA**

Južnokorejski brodograditelji poput HHI Ship building Group, Samsung Heavy Industries i Hanwha Ocean, i dalje drže vodeću poziciju na tržištu LNG brodova iako je kinesko brodogradilište Hudong Zhonghua u posljednjih nekoliko godina steklo značajnu reputaciju. Osim toga, kineska brodogradilišta kao što su Jiangnan, Dalian Shipbuilding, Yangzijiang i China Merchants Heavy Industries također su ušla na ovo unosno tržište za izgradnju konvencionalnih LNG brodova. Njihov poslovni uspjeh temelji se na visokim cijenama novogradnji i ograničenim kapacitetima južnokorejskih brodogradilišta. Ova četiri kineska brodogradilišta trenutno imaju narudžbe za ukupno 29 plovila koja će biti isporučena do kraja 2028. godine [41]

#### **5.4.6. CIJENE NAJMA LNG BRODOVA NA TRŽIŠTU**

Cijene najma brodova na tržištu određene su ravnotežom između potražnje za prijevozom LNG-a i dostupne flote pri čemu su ključni faktori kapacitet ukapljivanja i isporuka novih LNG brodova. Troškovi najma brodova u 2023. godini vratili su se na razine prije sukoba između Rusije i Ukrajine, iznoseći približno 54.000 USD dnevno za brodove s parnim turbinama, 90.000 USD dnevno za TFDE brodove te 121.000 USD dnevno za brodove s dvotaktnim X-DF/ME-GI/MEGA motorima [41].

#### **5.4.7. UUDIO PLOVIDBI LNG BRODOVA**

U 2023. godini obavljeno je ukupno 7004 trgovačka putovanja LNG-om, što predstavlja porast od 1,7% u odnosu na 6888 putovanja zabilježenih u 2022. godini. Ovaj rast u skladu je s ograničenim povećanjem globalne proizvodnje LNG-a. Azija i dalje ostaje dominantno tržište s 4376 trgovačkih putovanja, dok je u Europi zabilježen blagi pad od 3,6 %, s 2059 putovanja, uslijed manjeg uvoza LNG-a zbog blage zime u 2022. godini [41].

Na kraju ovog poglavlja može se istaknuti kako je globalno tržište LNG-a prošlo kroz značajne promjene i rast tijekom proteklog desetljeća, potaknuto nizom čimbenika koji su preoblikovali industrijsku sliku. Jedan od primarnih pokretača ove transformacije je sve veća globalna potražnja za energijom, osobito na tržištima u razvoju. Zemlje poput Kine i Indije prednjače u ovom porastu uvoza LNG-a, potaknute svojim gospodarstvima koja se brzo šire i potrebom za čistim energetskim alternativama. Globalni napor prema

dekarbonizaciji dodatno je ubrzao usvajanje LNG-a, posebno u regijama poput Europe i Azije, gdje vlade provode strože ekološke propise. Međutim, ova rastuća potražnja razotkrila je značajna ograničenja ponude na tržištu. Industrija LNG-a radila je s ograničenim slobodnim kapacitetom, što je dovelo do nestabilnosti cijena. Ovo ograničenje opskrbe uvelike je posljedica kašnjenja u pokretanju novih LNG projekata i stavljanja izvan pogona starijih postrojenja. Osim toga, geopolitičke napetosti, posebno koje uključuju glavne LNG igrače kao što su Rusija i Bliski istok, dodatno su poremetile opskrbne lance, dodajući element neizvjesnosti [43].

Tehnološki napredak također je odigrao ključnu ulogu u evoluciji tržišta. Inovacije poput tehnologije plutajućeg LNG-a (FLNG) omogućile su iskorištavanje rezervi plina u moru koje su prije bile nedostupne, stvarajući nove prilike za proizvodnju LNG-a, posebno u regijama s ograničenom kopnenom infrastrukturom. Štoviše, porast LNG bunkeriranja, potaknut pomakom pomorske industrije prema čistim gorivima, povećao je potražnju za LNG infrastrukturom, iako ponuda bunkerskih objekata još uvijek treba dostići tu potražnju.

Promjenjivost cijena postala je glavna karakteristika LNG tržišta, pod utjecajem rastuće važnosti spot tržišta na kojem su kratkoročni ugovori i trgovanje češći. Ova promjena je dovela do većih fluktuacija cijena, potaknutih sezonskom potražnjom, poremećajima u opskrbi i geopolitičkim događajima. Širenje LNG tržišta također je obilježeno ulaskom novih igrača na strani ponude i potražnje [43].

Ekološki i regulatorni pritisci također oblikuju budućnost LNG tržišta. Stroži propisi o emisijama, posebno u pomorskoj industriji, povećali su potražnju za LNG-om kao brodskim gorivom. Propisi Međunarodne pomorske organizacije (IMO) o emisiji sumpora učinili su LNG atraktivnom opcijom za brodovlasnike koji žele ispuniti nove ekološke standarde. Osim toga, sve je veći naglasak na smanjenju ugljičnog otiska proizvodnje i transporta LNG-a, uz nastojanja da se uhvati i pohrani emisija ugljika iz LNG postrojenja i razviju zeleni LNG projekti koji koriste obnovljivu energiju u procesu ukapljivanja. Gledajući unaprijed, očekuje se da će LNG tržište nastaviti svoju putanju rasta, potaknuto globalnom tranzicijom na čistiju energiju i tekućim razvojem infrastrukture. Međutim, industrija će se morati nositi s izazovima povezanim s ograničenjima ponude, promjenjivošću cijena i ekološkim propisima kako bi održala svoj zamah. Inovacija i diversifikacija bit će ključni za održavanje ovog rasta, osobito u područjima kao što su

FLNG, LNG malog opsega i integracija obnovljive energije s operacijama LNG-a. Diverzifikacija izvora opskrbe i ruta također će biti ključna za ublažavanje rizika [43]. Ova se analiza temelji na podacima i uvidima iz izvora kao što su Svjetsko izvješće o LNG-u za 2024. Međunarodne plinske unije i S&P Global Commodity Insights, koji pružaju sveobuhvatan pregled trenutnog stanja i budućih izgleda tržišta LNG-a [43].

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je pružen pregled razvoja LNG brodova, tehničke karakteristike istih te uloga koju imaju u suvremenom globalnom pomorstvu. Kroz analizu povijesnog razvoja jasno je da su LNG brodovi postali ključni za transport ukapljenog prirodnog plina, što je od vitalnog značaja za globalnu energetska sigurnost. Tehnički napredak, osobito u dizajnu spremnika i pogonskih sustava, omogućio je povećanje kapaciteta i sigurnosti ovih brodova, čime se osigurava njihova učinkovitost i pouzdanost.

Jedan od ključnih aspekata rada je analiza starosti i kapaciteta LNG flote, koja ukazuje na postojanje velikog broja starijih brodova koji će uskoro biti povučeni iz upotrebe. To otvara prostor za daljnje inovacije i ulaganja u novu generaciju brodova s poboljšanim ekološkim i operativnim performansama. Tržišni trendovi također sugeriraju rastuću potražnju za LNG brodovima, potaknuti povećanom potražnjom za ukapljenim prirodnim plinom u Aziji i Europi.

Rad također naglašava potrebu za daljnjim istraživanjem i inovacijama kako bi se LNG brodovi prilagodili sve strožim ekološkim propisima i zahtjevima tržišta. Globalna pomorska industrija suočava se s izazovima održivosti, a LNG brodovi predstavljaju ključni element u tranziciji prema čistim energetska rješenjima. Dakle, LNG brodovi su neizostavan dio suvremenog pomorskog prometa, s velikim potencijalom za daljnji razvoj i inovacije koje će oblikovati budućnost globalne energetike i pomorstva. Hrvatska ima priliku iskoristiti ove trendove i postati značajan igrač u ovom rastućem sektoru.

Tijekom razdoblja od 2018. do 2024. godine LNG brodovi su doživjeli značajan tehnološki napredak, s fokusom na povećanje energetska učinkovitosti i smanjenje emisija. Iako se flota kontinuirano proširuje, primjetno je postupno povlačenje starijih brodova s pogonskim sustavima parnih turbina zbog njihove manje učinkovitosti i viših operativnih troškova. Noviji brodovi opremljeni su suvremenijim sustavima, koji omogućuju bolju ekološku učinkovitost i niže stope isparavanja plina.

Unatoč povremenom smanjenju ukupnog broja brodova zbog povlačenja starijih plovila, očekuje se da će globalna potražnja za LNG-om nastaviti rasti, postavljajući industriji izazov u pogledu kapaciteta flote i dostupnosti plovila. Sveukupno, razdoblje

obilježava značajan prijelaz prema modernizaciji i prilagodbi flote budućim energetskeim potrebama.

Hrvatska, kao pomorska zemlja, ima potencijal imati značajnu ulogu u ovom sektoru posebno s obzirom na svoju geografsku poziciju i pomorsku tradiciju. Razvoj LNG infrastrukture i flote mogao bi dodatno osnažiti njezinu poziciju na međunarodnom tržištu pomorskog transporta.

## LITERATURA

- [1] Nacionalni muzej Danske (2021) *Izdubljeni čamci iz kamenog doba* [.https://en.natmus.dk/historical-knowledge/denmark/prehistoric-period-until-1050-ad/the-mesolithic-period/the-dugout-boat-from-broksoe/the-dugout-boats-of-the-stone-age/](https://en.natmus.dk/historical-knowledge/denmark/prehistoric-period-until-1050-ad/the-mesolithic-period/the-dugout-boat-from-broksoe/the-dugout-boats-of-the-stone-age/) (Pristupljeno: 04. srpnja 2024.).
- [2] *Tivat: Istorija jahti.* (2022) Dostupno na: <https://docplayer.net/56188996-Tivat-istorija-jaht>(Pristupljeno: 01. kolovoza 2024.).
- [3] *Drakkar* (2020). <https://hr.wikipedia.org/wiki/Drakkar#/media/Datoteka:Gokstad-ship-model.jpg> (Pristupljeno: 12. srpnja 2024.).
- [4] BBC News (2006) *Vikinški brod vraća se na more* [.http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6170346.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6170346.stm) (Pristupljeno: 12. srpnja 2024.).
- [5] Encyclopedia Britannica (2022) *Brodarstvo u 19. stoljeću.*<https://www.britannica.com/technology/ship/Shipping-in-the-19th-centu> (Pristupljeno: 29. srpnja 2024.).
- [6] *North River Steamboat.* (2022).[https://en.wikipedia.org/wiki/North\\_River\\_Steamboat](https://en.wikipedia.org/wiki/North_River_Steamboat) (Pristupljeno: 30. srpnja 2024.)
- [7] Grljušić, M. (2011). Razvoj brodskih pogonskih strojeva, <https://gm-turbo.hr/brosure/projekt/Razvoj%20brodskih%20pogonskih%20strojeva%20-%20UPS%20Split%202011.pdf> (Pristupljeno: 01. kolovoza 2024.).
- [8] TheWaterways Journal (2019) *Vandal je bio prvi dizel-električni brod* . Dostupno na: <https://www.waterwaysjournal.net/2019/11/19> (Pristupljeno: 02. kolovoza 2024)
- [9] LZMK (2022) *Pomorstvo.* Dostupno na: <https://proleksis.lzmk.hr/40448/> (Pristupljeno: 10. kolovoza 2024.).
- [10] Karta zone Panamskog kanala. [https://www.researchgate.net/figure/Panama-Canal-Zone-map-showing-the-Panama-Canal-Lake-Gatun-military-bases-and-Panama\\_fig1\\_354409900](https://www.researchgate.net/figure/Panama-Canal-Zone-map-showing-the-Panama-Canal-Lake-Gatun-military-bases-and-Panama_fig1_354409900) (Pristupljeno: 15. srpnja 2024.).
- [11] MPT USA (2022) *STCW vodič.* [https://www.mptusa.com/pdf/STCW\\_gu](https://www.mptusa.com/pdf/STCW_gu) (Pristupljeno: 12. kolovoza 2024.).
- [12] IGC Code: International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Liquefied Gases in Bulk, 2016.

- [13] MPT USA (2021) *STCW Vodič* .[https://www.mptusa.com/pdf/STCW\\_guide](https://www.mptusa.com/pdf/STCW_guide) (Pristupljeno: 28. srpnja, 2024)
- [14] BSM LNG carriership management, <https://www.bs-shipmanagement.com/our-fleet/lng/>(Pristupljeno: 21. srpnja, 2024)
- [15] Clarksons, *Što je LNG brod?*, <https://www.clarksons.com/glossary/what-is-an-lng-ship/> (Pristupljeno: 02. kolovoza 2024).
- [16] Posavec, D., Simon, K., & Malnar, M. *Brodovi za ukapljeni prirodni plin*. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 22(1), 2010., str. 55-62.
- [17] Huang, S., Chiu, C., Elliot, D. *LNG: Basics of Liquefied Gas*. The University of Texas at Austin, Austin, 2007.
- [18] Tusiani, M. D., Shearer, G. *LNG: A Nontechnical Guide*. USA: PennWell Corporation, Tulsa, 2007.
- [19] Yuasa, K., Uwatoko, K., Ishimaru, J. *Key Technologies of Mitsubishi LNG Carriers – Present and Future*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Technical Review Vol. 38 No. 2, Tokyo, 2001.
- [20] Curt, B. *Marine Transportation of LNG, Intertank Conference*, RasLaffan, Qatar: Qatargas II Development, 2004.
- [21] <https://www.offshore-energy.biz/avenir-lng-takes-delivery-of-avenir-aspiration-lbv/>(Pristupljeno: 02. kolovoza 2024).
- [22] Klisurić, D. *Upravljanje rizicima pri transportu ukapljenog prirodnog plina (LNG) pomorskim putem*. Diplomski rad. Pomorski fakultet u Rijeci. 2020. Dostupno na: <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/object/pfri%3A2248/datastream/PDF/vi> (Pristupljeno: 02. kolovoza 2024).
- [23] Greer, M. N., Richardson, A. J., Sandström, R. E. *Large LNG Ships – The New Generation*, International Petroleum Technology Conference - IPTC 10703, Doha, 2005.
- [24] URL:[https://maritimeoptima.com/public/vessels/pages/imo:9431111/mmsi:538003350/AL\\_KHATTIYA.html](https://maritimeoptima.com/public/vessels/pages/imo:9431111/mmsi:538003350/AL_KHATTIYA.html) /(Pristupljeno: 02. kolovoza 2024).
- [25] URL:[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:712599/mmsi:538003301/imo:9388833/vessel:BU\\_SAMRA/](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:712599/mmsi:538003301/imo:9388833/vessel:BU_SAMRA/)(Pristupljeno: 03. kolovoza 2024).
- [26] Humpert M., *New Powerful Arc7 LNG Carriers Could Eliminate Need for Icebreakers on Northern Sea Route*, 2020. <https://www.highnorthnews.com/en/new-powerful-arc7-lng-carriers-could-eliminate-need-icebreakers-northern-sea-route> (Pristupljeno: 15.kolovoza 2024)



- [27] URL: <https://www.oltoffshore.it/en/press-releases/olts-allocated-capacity-increases-until-2033/>(Pristupljeno: 15.kolovoza 2024)
- [28] URL: <https://www.clarksons.com/glossary/what-is-an-lng-ship/>(Pristupljeno: 15.kolovoza 2024)
- [29] URL:<https://balkans.news/2021/07/09/the-lng-terminal-put-croatia-on-the-energy-map-of-europe/>(Pristupljeno: 15.kolovoza 2024)
- [30] Častek, M., Fugaš, I. Terminal za UPP na otoku Krku–FSRU “LNG Croatia”. *Nafta i plin*, 42(174.-175.), 2022., str. 62-66.
- [31] URL: <https://baustela.hr/odrziva-gradnja/lng-terminal-u-omislju-povecao-kapacitet-uplinjavanja-na-338-000-m3-sat/> (Pristupljeno: 21. kolovoza 2024)
- [32] LNG, Physical properties and composition of LNG. <http://www.liquefiedgascarrier.com/LNG.html>, (Pristupljeno: 21. kolovoza 2024.)
- [33] Banaszkiwicz, T.; I sur. *Liquefied Natural Gas in Mobile Applications Opportunities ad Challenges. Energies* 2020, 13, 5673. <https://doi.org/10.3390/en13215673>, (Pristupljeno: 21. kolovoza 2024)
- [34] Li, M.; Mou, J.M.; Xinsheng, Z.; Gong, S. The impact of LNG carrier transit on fairway capacity. *Sci. J. Marit. Univ. Szczec.* 2018, 56, str. 63–70.
- [35] Zhang, F.; Yu, H.; Li, H.; Peng, L.; Zhou, T. Safety or Efficiency in an ECSO Framework of Traffic Organization Optimization for LNG Carriers Entering and Leaving Port. *Math. Probl. Eng.* 2021,
- [36] Zhu, M.; Huang, L.; Huang, Z.; Shi, F.; Xie, C. Hazard Analysis by Leakage and Diffusion in Liquefied Natural Gas Ships during Emergency Transfer Operations on Coastal Waters. *Ocean Coast. Manag.* 2022,
- [37] Chen, L.J.; Yan, X.P.; Huang, L.W.; Yang, Z.L.; Wang, J. *A systematic simulation methodology for lng ship operations in port waters: A case study in meizhou bay.* *J. Mar. Eng. Technol.* 2018, 17, 12–23.
- [38] Gkonis, K.; Psaraftis, H. *Investment rules and competition patterns in LNG shipping: A Game Theory approach.* In *Proceedings of the IAME 2007 Annual Conference*, Athens, Greece, 4–6 June 2022.
- [39] Li Y, Tian W, Meng B, Zhang J, Zhou R. *A Simulation Model of the Influence of LNG Ships on Traffic Efficiency at Tianjin Port.* *Journal of Marine Science and Engineering.* 12(3), 2024., str. 405.
- [40] URL: <https://www.spglobal.com/en> (Pristupljeno: 11. kolovoza 2024)

- [41] World LNG Report, [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2024/06/IGU-2024-LNG-Report\\_Final\\_LR\\_2024\\_06.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2024/06/IGU-2024-LNG-Report_Final_LR_2024_06.pdf) (Pristupljeno: 15. srpnja 2024)
- [42] URL: <https://www.lngpulse.com/lng-headlines/lng-tanker-fleet-analysis-report-2024>. (Pristupljeno: 16. srpnja 2024)
- [43] 2024 World LNG Report <https://www.igu.org/resources/2024-world-lng-report/>(Pristupljeno: 18. srpnja 2024).

## POPIS SLIKA

Slika 1. Primjeri brodova iz kamenog doba [1].....	4
Slika 2. Egipatski brod iz doba kraljice Hatšepust[2] .....	5
Slika 3. Prikaz vikinških brodova [3] .....	6
Slika 4. Magellanova ruta [4] .....	7
Slika 5. Kliper [5] .....	8
Slika 6. Replika parobroda North River ( Clermont ) iz 1909. na sidru [6] .....	9
Slika 7. Sueski kanal [5] .....	9
Slika 8. Ruski riječni tanker Vandal prvi brod na Diesel motorni pogon [8].....	10
Slika 9. Panamski kanal [10] .....	11
Slika 10. Podjela spremnika [16].....	15
Slika 11. Prizmatski tank [16] .....	15
Slika 12. Presjek kuglastog spremnika [16] .....	17
Slika 13. Presjek spremnika [16].....	17
Slika 14. Presjek spremnika Technigaz Mark III [16].....	18
Slika 15. Presjek karakteristika membranskih spremnika [16] .....	19
Slika 16. Presjek spremnika GTT CS1 [16] .....	19
Slika 17. Vrste pogona [16] .....	20
Slika 18. LNG bunker brod [21].....	21
Slika 19. Q-flex brod [24].....	23
Slika 20. Q-Max brod [25] .....	24
Slika 21. ICE LNG brod [26] .....	25
Slika 22. Fsr Toscana [27] .....	26
Slika 23. Položaj LNG terminala na Krku [29] .....	28
Slika 24. Terminal u Omišlju [31].....	29
Slika 25. Globalna LNG flota [41] .....	36
Slika 26. Trend rasta broja LNG brodova i prosječne nosivosti 2004-2024. ....	37
Slika 27. Globalna aktivna LNG flota i knjiga narudžbi prema godini isporuke, prema [41] .....	38
Slika 28. Isporuca LNG brodova prema tipu pogona, prema [41] .....	41
Slika 29. Kapacitet flote prema starosti broda, prema [41] .....	43

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Kategorizacija LNG brodova, prema [15] .....	14
Tablica 2. Svojstva LNG-a, prema [33] .....	32
Tablica 3. Rast LNG flote i nosivost .....	36

## POPIS KRATICA

FSRU (engl. *Floating Storage and Regasification Unit*)

LNG (engl. *Liquefied Natural Gas*)

IMO (engl. *International Maritime Organization* )

BOG (engl. *Boil-off Gas*)

Plutajuća jedinica za skladištenje i regasifikaciju)

Ukapljeni prirodni plin

Međunarodna pomorska organizacija

Ispareni ukapljeni plin