

# Odobalni LNG terminali

---

**Dabo, Mateo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:193541>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-01**



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

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**MATEO DABO**

**ODOBALNI LNG TERMINALI**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**ODOBALNI LNG TERMINALI  
OFFSHORE LNG TERMINALS**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Tehnologija prijevoza tekućeg tereta

Mentor: prof. dr. sc. Igor Rudan

Student: Mateo Dabo

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082806

Rijeka, travanj 2024

Student: Mateo Dabo

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082806

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom Odobalni LNG terminali izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Igor Rudan.

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

Student:



Mateo Dabo

Student: Mateo Dabo

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082806

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

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

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

Student - autor



Mateo Dabo

## SAŽETAK

Završni rad ulazi u tematiku odobalnih LNG terminala koji predstavljaju ključnu komponentu globalne infrastrukture ukapljenog prirodnog plina, smještena su na moru kako bi olakšali uvoz, skladištenje, uplinjavanje i distribuciju LNG-a. Ovi terminali su strateški smješteni blizu centra potražnje, pružajući fleksibilnost u zadovoljavanju energetske potrebe. Odobalni LNG terminali obično uključuju plutajuće jedinice za skladištenje i uplinjavanje (FSRU) ili fiksne strukture opremljene za prihvatanje, skladištenje i uplinjavanje LNG-a.

Ključne riječi: Odobalni LNG terminali, ukapljeni prirodni plin, uplinjavanje

## **SUMMARY**

The paper explores the topic of offshore LNG terminals, which represent a key component of the global liquefied natural gas (LNG) infrastructure. These terminals are situated offshore to facilitate the import, storage, regasification, and distribution of LNG. They are strategically located near demand centers, providing flexibility in meeting energy needs. Offshore LNG terminals typically include floating storage and regasification units (FSRUs) or fixed structures equipped for LNG reception, storage, and regasification.

Keywords: Offshore LNG terminals, liquified natural gas, regasification

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK .....</b>	<b>II</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>III</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>IV</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PRIRODNI PLIN .....</b>	<b>2</b>
2.1. SASTAV I SVOJSTVA PRIRODNOG PLINA .....	2
2.2. UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA .....	3
<b>3. BRODOVI ZA PRIJEVOZ UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA 5</b>	
3.1. POVJESNI RAZVOJ .....	5
3.2. STANJE TRŽIŠTA LNG BRODOVA .....	8
3.3. KARAKTERISTIKE LNG BRODOVA.....	10
<b>4. VRSTE ODOBALNIH LNG TERMINALA .....</b>	<b>12</b>
4.1. STRUKTURE NA TEMELJU GRAVITACIJE (GRAVITY BASE STRUCURE –GBS).....	13
4.1.1. ADRIATIC LNG TERMINAL .....	14
4.1.2. SIGURNOSNE ZONE I ZONE OGRANIČENOG PODRUČJA .....	16
4.1.3. VREMENSKI UVJETI.....	16
4.1.4. PRILAZ VEZU .....	17
4.1.5. KRITERIJI PRIVEZA/ODVEZA .....	18
4.2.FSRU BRODOVI .....	19
4.2.1. POVJESNI RAZVOJ FSRU-A BRDOVA .....	20
4.2.2. STANJE TRŽIŠTA FRSU-A.....	21
4.3. FSRU TOSCANA.....	22
4.3.1. SIGURNOSNE ZONE I ZONE OGRANIČENOG PODRUČJA .....	23
4.3.2. PRILAZ VEZU .....	23
4.3.3. KRTERIJ PRIVEZA/ODVEZA .....	24
<b>5. SUSTAV ZA UPLINJAVANJE.....</b>	<b>25</b>
5.1.USISNI BUBANJ .....	25
5.2. VISOKOTLAČNE PUMPE.....	26
5.3. LNG ISPARIVAČ .....	26



5.3.1. OTVORENI USISNI ISPARIVAČ - OPEN RACK VAPORIZER.....	27
5.3.2. ISPARIVAČ SA POSREDNIČKOM TEKUĆINOM - INTERMEDIATE FLUID VAPORIZER.....	28
5.3.3. URONJENI ISPARIVAČ SA SAGORIJEVANJEM - SUBMERGED COMBUSTION VAPORIZER.....	29
5.4. REUKAPLJIVAČ.....	30
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>32</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>33</b>
<b>KAZALO KRATICA.....</b>	<b>34</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>34</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>34</b>

## 1. UVOD

U posljednjim desetljećima, interes za ukapljeni prirodni plin (LNG - Liquefied natural gas), kao ključni tranzitni energetska resurs kontinuirano raste, radi mnogobrojnih prednosti uključujući čistoću, fleksibilnost u transportu te manje emisije stakleničkih plinova u usporedbi s tradicionalnim fosilnim gorivima. Ova sve veća potražnja za LNG-om potaknula je razvoj infrastrukture za proizvodnju, transport i distribuciju LNG-a diljem svijeta, a odobalni LNG terminali postali su važni čvorišta u ovom globalnom lancu opskrbe. Odobalni LNG terminali predstavljaju ključnu kariku u lancu opskrbe LNG-om, omogućavajući uvoz, skladištenje, uplinjavanje i distribuciju LNG-a na obalnim lokacijama blizu glavnih potrošača. Njihova lokacija uz obalu pruža praktičnost u prihvatu LNG-a iz LNG tankera te olakšava daljnju distribuciju prirodnog plina kopnenim plinovodima ili drugim sredstvima prijenosa. Odobalni LNG terminali mogu se razlikovati prema svojoj konfiguraciji, pri čemu neki koriste fiksne strukture na dnu mora, dok drugi uključuju plutajuće jedinice za skladištenje i uplinjavanje (FSRU - Floating Storage and Regasification Units). FSRU-ovi su posebno zanimljivi jer omogućavaju mobilnost i fleksibilnost, što ih čini atraktivnim za privremene ili sezonske potrebe za opskrbom LNG-a. Osim što su ključni čimbenici u osiguravanju stabilnosti energetska sustava, odobalni LNG terminali igraju važnu ulogu u promicanju regionalne i globalne energetske sigurnosti. Ovi terminali pridonose diverzifikaciji izvora energije, smanjenju ovisnosti o tradicionalnim gorivima te podržavaju tranziciju prema čistijim energetska tehnologijama.

U završnom radu detaljno se obrađuju različiti aspekti odobalnih LNG terminala. Kroz završni rad steći će se bolje razumijevanje o prirodnom plinu te njegovom sastavu i svojstvima. Povijesni razvoj te stanje tržišta i karakteristike LNG brodova. Vrste i karakteristike odobalnih LNG terminala te sustav ukapljivanja prirodnog plina.

## 2. PRIRODNI PLIN

Prirodni plin je vrijedan izvor energije koji se nalazi u podzemnim nalazištima, a sastoji se uglavnom od plinovitih ugljikovodika, prevladavajućeg udjela metana (CH<sub>4</sub>). To je jednostavan, čist i efikasan energent koji se često koristi za proizvodnju električne energije, grijanje domova, kuhanje i razne industrijske procese. Prirodni plin se izvlači iz podzemnih nalazišta bušenjem bunara u slojevima stijena koje sadrže plin. Nakon izvlačenja, plin se čisti od nečistoća kao što su voda i teški ugljikovodici te se prevozi cjevovodima do distribucijskih centara ili obradnih postrojenja. Uz svoju važnost kao izvor energije, prirodni plin također ima značajnu ulogu u podržavanju tranzicije prema održivijim energetskim sustavima, pridonoseći smanjenju emisija stakleničkih plinova i diversifikaciji energetskih izvora.

### 2.1. SASTAV I SVOJSTVA PRIRODNOG PLINA

Prirodni plin je bezbojan, bez mirisa te nije otrovan, ali se dodaje aditiv obično tetrahidrotiofen kako bi se olakšalo otkrivanje eventualnih curenja plina. Osim metana, prirodni plin može sadržavati i manje količine drugih ugljikovodika poput etana, propana i butana, te nečistoća kao što su dušik, ugljični dioksid i vodikov sulfid. Metan je najvažnija komponenta prirodnog plina i čini većinu njegove mase.

**Tablica 1. Kemijski sastav prirodnog plina**

Compound	Symbol	Percent in Natural Gas
Methane	CH <sub>4</sub>	60-90
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0-20
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0-20
Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0-20
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	0-8
Oxygen	O <sub>2</sub>	0-0.2
Nitrogen	N <sub>2</sub>	0-5
Hydrogen Sulfide	H <sub>2</sub> S	0-5
Rare Gases	A, He	0-2

Izvor: Pripremio student prema [www.croftsystems.net](http://www.croftsystems.net)

## 2.2. UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

„IMO (Međunarodna pomorska organizacija) definira ukapljene plinove kao tekućine s apsolutnim tlakom pare iznad 2,8 bara pri temperaturi od 37,8 °C.“<sup>1</sup> Potreba za ukapljivanjem prirodnog plina proizlazi iz potrebe za efikasnijim transportom i skladištenjem ovog ključnog energenta. Prirodni plin se u plinovitom stanju teže transportira na velike udaljenosti zbog svoje velike zapremine u usporedbi s tekućinom. Kada se prirodni plin ukapljuje u oblik ukapljenog prirodnog plina, zauzima manje prostora zato što 1 metar kubični ukapljenog prirodnog plina iznosi približno 600 metara kubičnih u plinovitom stanju (ovisi o temperaturi i atmosferskom tlaku) i može se prevoziti LNG brodovima na udaljene lokacije, što olakšava globalnu trgovinu i opskrbu prirodnim plinom. Osim toga, ukapljivanje prirodnog plina omogućava skalabilnost u opskrbi. Proces ukapljivanja omogućava proizvodnju i skladištenje LNG-a u razdobljima kada je potražnja niska, a zatim se može ponovno pretvarati u plinoviti oblik kada je potražnja visoka. To pruža veću fleksibilnost i sigurnost u opskrbi prirodnim plinom, posebno u slučajevima kada su potrebe tržišta promjenjive ili kada su udaljeni potrošači.

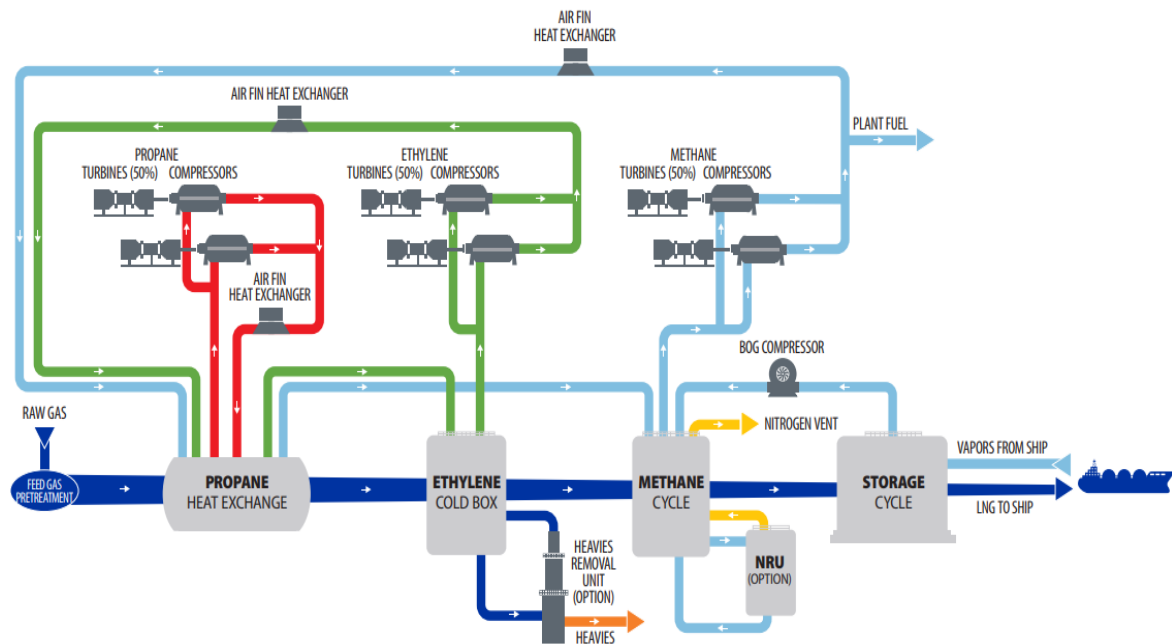
Postoji više načina i procesa ukapljivanja prirodnoga plina, ali neki od značajnijih bi bili:

- Kriogeni proces (Cryogenic Process) je jedna od češćih metoda za ukapljivanje prirodnog plina. Prirodni plin se hladi na vrlo niske temperature, obično koristeći proces kompresije i ekspanzije. Nakon hlađenja na temperaturu ispod -162 °C (kondenzacijska temperatura prirodnog plina), plin se kondenzira u tekući oblik. U ovom procesu se često koristi tekući dušik kao rashladni medij.
- Kaskadni proces s miješanim fluidima (Cascade Compression Technologies) koristi se u procesima ukapljivanja LNG-a radi postizanja niskih temperatura potrebnih za kondenzaciju plina u tekući oblik. Ovaj sustav uključuje seriju kompresora i rashladnika s različitim rashladnim medijima kako bi se postigla željena temperatura. Svaki kompresor/rashladnik radi na specifičnoj temperaturi, što omogućuje postupno snižavanje temperature plina do razine prikladne za ukapljivanje. Kaskadni sustav koristi višestruke faze kompresije i kondenzacije radi efikasnog hlađenja plina. Ova tehnologija omogućava učinkovito ukapljivanje prirodnog plina za transport i skladištenje na siguran i ekonomičan način.

---

<sup>1</sup> Sumner, M.: Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem, Rijeka, 2015

# The Optimized Cascade Process



**Slika 1. Kaskadni proces s miješanim fluidima**

Izvor: Pripremio student prema *ConocoPhillips Optimized Cascade process*

### 3. BRODOVI ZA PRIJEVOZ UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

LNG brodovi su specijalizirani teretni brodovi koji se koriste za prijevoz ukapljenog prirodnog plina na globalnoj razini. Ovi brodovi su posebno dizajnirani za siguran i efikasan transport tekućeg plina preko oceana i mora. Glavna karakteristika LNG brodova je njihova sposobnost održavanja vrlo niskih temperatura potrebnih za očuvanje LNG-a u tekućem stanju. To se postiže korištenjem visokokvalitetnih izolacijskih materijala i dvostrukih ovojnica koje štite teretni prostor od vanjskih utjecaja. Kako ovi brodovi prijevoze vrijedan i opasan teret moraju postojati propisi koji propisuju tehnološke karakteristike za izgradnju ovakvih brodova, a to je primjerice *International Gas Carrier Code (IGC Code)* te obveza koja je uvedena u poglavlju sedam SOLAS (Safety Of Life At Sea) konvencije. Cilj IGC koda je osigurati visoku razinu sigurnosti i zaštite okoliša prilikom prijevoza ukapljenih plinova kao tereta. Ovaj međunarodni standard primjenjuje se na brodove za prijevoz ukapljenog prirodnog plina i druge ukapljenih plinova kao što su tekući naftni plin (LPG) ili etilen. Primjena IGC koda pomaže u minimiziranju rizika od nesreća i incidenta tijekom operacija s ukapljenim plinovima na brodovima.

#### 3.1. POVJESNI RAZVOJ

Povijesni razvoj prirodnog plina kao važnog energetskeg resursa započeo je s povećanjem istraživanja i eksploatacije plinskih nalazišta tijekom 20. stoljeća. Proces komercijalizacije prirodnog plina ubrzao se s otkrićem velikih rezervi u različitim dijelovima svijeta, što je dovelo do potrebe za razvojem efikasnih načina transporta i distribucije. Prvi brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina razvijeni su krajem 1950-ih godina kako bi omogućili transport tekućeg prirodnog plina između proizvođača i potrošača na globalnoj razini. Prva upotreba LNG broda kreće iz Sjedinjenih Američkih Država te se može pratiti sve do kasnih 1950-ih kada je nekadašnji teretni brod za prijevoz suhog rasutog tereta prilagođen za korištenje kao LNG brod koji je imao pet samonosivih prizmatičnih tankova od aluminijske legure te nosivost od malo manje od 5.000 m<sup>3</sup>. Prvi LNG brod postavio je veliki prekretnicu u prirodi operacija prijevoza ukapljenog prirodnog plina kao teret na moru. Brod je originalno izgrađen 1945. godine za korištenje kao teretni brod tijekom Drugog svjetskog rata, ali u veljači 1959. godine brod je prenamijenjen i dobiva ime „Methane Pioneer“ te je prevezao prvi LNG teret Iz Louisiane u Sjedinjenim Američkim Državama do otoka Canvey u Velikoj Britaniji. Sigurnost koju je pružao LNG brod „Methane Pioneer“ u prijevozu LNG

goriva dovela je do početka nove ere u pomorskim operacijama s postavljanjem u pogon još nekoliko takvih brodova.



**Slika 2. Brod „Methane Pioneer“**

Izvor: [www.freightwaves.com](http://www.freightwaves.com)

British Gas Corporation uvodi u flotu još dva nova broda, „Methane Princess“ i „Methane Progress“ koji su imali zapremninu od 27.000 m<sup>3</sup> te devet prizmatičnih teretnih prostora izgrađenih od aluminijske izolacije napravljene od kombinacije staklo-plastike i drva te je dnevno isparavanje LNG-a u tankovima bilo 0,33%.<sup>2</sup> Pogon im je bio parnim turbinama mogli su razviti maksimalnu brzinu od 17 čvorova. Tijekom 1970-ih, primjetan je bio trend povećanja veličine i kapaciteta LNG brodova. Novi brodovi su dizajnirani za prijevoz većih količina LNG-a, što je podržalo rastuću potražnju za prirodnim plinom širom svijeta. Uvođenje naprednih tehnologija spremnika za LNG omogućilo je povećanje kapaciteta brodova i sigurniji transport tekućeg plina na dužim udaljenostima. Membranski spremnici postali su popularni zbog svoje pouzdanosti i učinkovitosti. Tijekom 1970-ih, primjetan je bio trend povećanja veličine i kapaciteta LNG brodova. Novi brodovi su dizajnirani za prijevoz većih količina LNG-a, što je podržalo rastuću potražnju za prirodnim plinom širom svijeta. U isto vrijeme, kontinuirano su se unaprjeđivali sigurnosni standardi i tehnologije kako bi se osigurala sigurnost tijekom svih faza rukovanja i transporta LNG-a.

---

<sup>2</sup> Vaudolon, A.: Liquefied Gases – Marine Transportation and Storage, London, 2000.



**Slika 3. Brodovi „Methane Princess“ i „Methane Progress“**

Izvor: [www.seapixonline.com](http://www.seapixonline.com)

Kroz 21. stoljeće obilježen je značajnim tehnološkim napretkom i evolucijom u industriji pomorskog transporta. U ovom razdoblju, LNG brodovi su prošli kroz značajne promjene i inovacije kako bi zadovoljili rastuću potražnju za prirodnim plinom i usklađivali se s zahtjevima održivosti i sigurnosti. Između 2000. i 2011. godine ostvaren prosječni godišnji porast od 7,5%. Razvoju je dodatno doprinijela kompanija Qatar Gas poznata u današnje vrijeme kao Nakilat koja je 2008. godine uvela najveći brod za prijevoza LNG-a u svoju flotu. Predstavnik klase Q-Max brodova je brod „Mozah“, koji je prvi od 14 brodova iz serije koji imaju kapacitet između 263.000 i 266.000 m<sup>3</sup>, sam naziv Q-max označava zemlju o kojoj se radi i maksimalnu veličinu tankera koji može pristati na LNG terminal u Kataru.



**Slika 4. Brod „Mozah“**

Izvor: [www.nakilat.com](http://www.nakilat.com)



### 3.2. STANJE TRŽIŠTA LNG BRODOVA

Globalna flota prijevoznika LNG-a zabilježila je porast brodova u 2023. s ukupno 701 aktivnim brodom do veljače 2024. Dodatno, postoji 47 operativnih FSRU-ova i 10 FSU-ova (Floating Storage Unit). Veličina flote porasla je za 5% od 2022. do 2023., što ukazuje na stabilnu opskrbu LNG brodova u odnosu na rast tržišta LNG-om. U svijetu postoji 49 plutajućih terminala i odobalnih terminala na moru, s ukupnim kapacitetom uplinjavanja od 200,9 MTPA (Million Tons Per Annum) od veljače 2024., što čini oko 20% globalnog kapaciteta uplinjavanja. U 2023. pušteno je u rad devet novih plutajućih projekata, čime je povećan kapacitet od 40,3 MTPA.

Globalna trgovina LNG-om zabilježila je rast od 2,1% između 2022. i 2023., dosegnuvši približno 401,42 milijuna tona, povezujući 20 izvoznih tržišta s 51 uvoznim tržištem. Unatoč nižim cijenama uzrokovanim blagom zimom na sjevernoj hemisferi 2022. i sporim oporavkom potražnje, rast trgovine LNG-om bio je ograničen nedostatkom povećanja ponude LNG-a. Tangguh LNG Train 3 u Indoneziji bio je jedino novo postrojenje koje je počelo s proizvodnjom prošle godine. Od kraja veljače 2024. trenutno je u izgradnji 17 plutajućih terminala te odobalnih terminala na moru, s ukupnim kapacitetom od 52,1 milijuna tona godišnje (MTPA). To uključuje 28 MTPA iz Azije i Pacifika, 9,8 MTPA iz Europe, 10,2 MTPA iz Latinske Amerike i 4,2 MTPA iz Afrike. Indija je vodeća u pogledu novih plutajućih projekata, s tri projekta od ukupno 16 MTPA za koje se očekuje da će biti u uporabi do 2025. ili 2026. Povećanje potražnje za FSRU-ovima u Europi od 2022. može dovesti do kašnjenja za projekte u Aziji u razvoju zbog ograničene dostupnosti FSRU-ova.

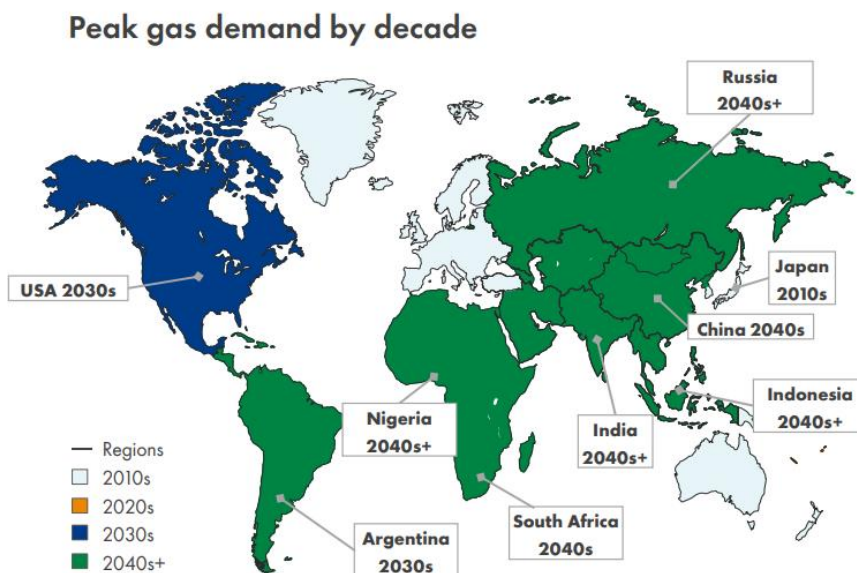
U 2023. Azijsko-pacifička regija zadržala je svoju poziciju najveće izvozne regije sa 134,80 MT, pokazujući blagi pad od 0,32 MT u usporedbi s prethodnom godinom. Bliski istok također je ostao značajan izvoznik, s 94,69 MT u 2023., što je smanjenje od 1,84 MT u odnosu na 2022. Sjeverna Amerika postala je treća najveća izvozna regija, s 84,53 MT, što je značajno povećanje od 8,90 MT u odnosu na prethodnu godinu. Ovaj rast prvenstveno je potaknut povratkom Freeport LNG-a i povećanjem proizvodnje u Calcasieu Passu u SAD-u. Osim toga, u veljači 2024. postrojenje Marine XII FLNG u Kongu počelo je izvoziti LNG.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> International Gas Union: 2024 World Lng Report, 26.06.2024. <https://www.igu.org/resources/2024-world-lng-report/>

Kako su se cijene približavale dugoročnim prosjecima, potražnja na južno azijskim tržištima pokazala je rast, pri čemu je nekoliko tržišta po prvi put uvezilo LNG. Kina, ključni pokretač nedavnog rasta potražnje za LNG-om, zabilježila je oporavak uvoza, iako na nižoj razini od vrhunca u 2021.

U 2023. tržišta LNG-a postupno su se vratila u ravnotežu. Platts JKM, koji služi kao referentna vrijednost za LNG u Aziji, iznosio je u prosjeku 13,86 USD za milijun britanskih toplinskih jedinica (mmBtu) za godinu, što je blizu desetogodišnjeg prosjeka od 12,01 USD/mmBtu. Iznenadujuće, u prvom tromjesečju 2024. cijena JKM-a pala je ispod dugoročnih ugovorenih cijena povezanih s naftom, suprotno predviđanjima mnogih analitičara. Stabilizacija tržišta prvenstveno je potaknuta promjenama u obrascima potrošnje, uključujući smanjenu sezonsku potražnju zbog vremenskih uvjeta, povećanu upotrebu nuklearne energije i obnovljivih izvora energije, provedbu mjera za uštedu energije, poboljšanja energetske učinkovitosti i smanjenu potražnju iz industrijskog sektora u Europi i OECD Aziji. U međuvremenu, opskrba LNG-om samo je neznatno poboljšana u usporedbi s prethodnom godinom. Tradicionalni uvoznici LNG-a u Sjevernoj Aziji, kao što su Japan, Južna Koreja i Kineski Taipei, smanjili su svoje kupnje iz godine u godinu, dok je europski uvoz ostao stabilan.<sup>4</sup>



Slika 5. Vrhunac potražnje plina po desetljećima

Izvor: Pripremio student prema Shell LNG Outlook 2024

<sup>4</sup> Shell LNG Outlook 2024, 02.2024 <https://www.shell.com/what-we-do/oil-and-natural-gas/liquefied-natural-gas-lng/lng-outlook-2024.html>

### 3.3. KARAKTERISTIKE LNG BRODOVA

Spremnici za LNG na ovim brodovima izrađeni su od posebnih materijala koji su otporni na ekstremne uvjete, uključujući niske temperature i visoki tlak. Sigurnosni sustavi na LNG brodovima su vrlo sofisticirani i uključuju sustave za detekciju curenja, sustave gašenja požara te procedure za postupanje s LNG-om u sigurnim uvjetima.

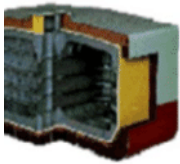

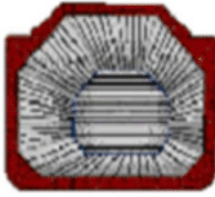
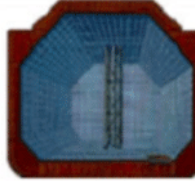
Najznačajnija karakteristika LNG brodova je njihova sposobnost zadržavanja prirodnog plina u tekućem stanju pri temperaturi od  $-161,5^{\circ}\text{C}$ . To omogućavaju sama tehnologija sustava zadržavanja tereta koja se može podijeliti na neovisne tankove, membranske tankove te prizmatične tankove, no njihov udio u suvremenim flotama je zanemariv s obzirom da ih posjeduju samo manji broj brodova.

Kada se promatra današnja flota, primjećuje se da membranski tankovi prevladavaju s udjelom od 82.3% sa 577 brodova u odnosu na nezavisne tankove koji imaju udio od 17.7% sa 124 broda. Dva prevladavajuća membranska stila su Mark III dizajniran od strane tvrtke Technigaz, i NO96, dizajniran od strane Gaztransport. Kasnije su se te dvije tvrtke spojile kako bi formirale Gaztransport & Technigaz odnosno GTT. Membranske sustave karakteriziraju primarne i sekundarne tanke membrane izrađene od metalnih ili kompozitnih materijala koji se minimalno skupljaju pri hlađenju. Mark III sustav ima dvije slojevite izolacije od pjene, dok NO96 koristi izolirane drvene kutije ispunjene dušikom i originalno ispunjene perlitom, zatim staklenom vunom, a nedavno i izolacijom od pjene. LNG brodovi s neovisnim tankova obično imaju četiri ili pet samonosivih aluminijskih sfernih spremnika, izoliranih poliuretanskim pjena ispunjenom dušikom. Sferni oblik omogućuje precizno predviđanje naprezanja i umora spremnika, povećavajući trajnost i eliminirajući potrebu za potpunom sekundarnom barijerom. Djelomična sekundarna barijera u obliku ladice pokriva dno spremnika kako bi uhvatila eventualno curenje LNG-a.

Obje tehnologije imaju svoje prednosti i nedostatke, no kao prednosti membranskog sustava ističu se neke specifične karakteristike: bolja iskoristivost broskog trupa i njegovog prostora, sustav zadržavanja tereta su tanji i lakši, veća ekonomičnost goriva te niža visina kormilarnice. Kod nedostataka neke od značajnijih se mogu izdvojiti: ograničenje te zabrana djelomičnog ukrcaja odnosno iskrcaja zbog velikih utjecaja slobodnih površina nastalih u tankovima, te manje robustan u lošim vremenskim uvjetima.

Što se tiče prednosti neovisnih tankova, oni su robustniji u lošim vremenskim uvjetima, imaju mogućnost djelomičnog ukrcaja i iskrcaja zbog samog dizajna i oblika sfere te ne

dolazi do utjecaja slobodnih površina, sama izgradnja ovakve vrste tankova je brža te se tankova kao takvi mogu izvaditi s broda i premjestiti se na drugi brod. Nedostaci ovih tankova su: dizajn sfernih spremnika je neefikasan u korištenju prostora, tankovi imaju nižu stopu hlađenja, te je sustavi zadržavanja terete deblji i teži. Kod oba sustava, tijekom plovidbe dolazi do prirodnog isparavanja male količine LNG-a. Ovaj proces isparavanja nastaje kao rezultat prijenosa topline iz atmosferskog okruženja, pokreta tekućine ili ljuljanja broda, hlađenja spremnika i depresurizacije spremnika. Kod novih membranskim brodovima, stopa isparavanja pod opterećenim uvjetima obično je manja od 0,10% kapaciteta spremnika dnevno, a ova stopa se dodatno smanjuje kroz parcijalne ili potpune sustave za ponovno ukapljivanje. Ovo se razlikuje od starijih samonosivih brodova koji imaju prosječnu stopu isparavanja od oko 0,15% kapaciteta spremnika dnevno.

Independent tank system		Membrane tank system	
IHI-SPB	MOSS	GTT NO 96	GTT Mark-III
			
Al alloy 5083 Max. 30mm	Al alloy 5083 50mm	Invar 0.7mm	SUS 304L 1.2mm
PUF 270mm	PUF 250mm	Plywood+Perlite 530mm	R-PUF 270mm

Slika 6. Nevisni i membranski tankovi

Izvor: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

## 4. VRSTE ODOBALNIH LNG TERMINALA

Vrste odobalnih LNG terminala mogu se klasificirati prema različitim kriterijima, ali najčešće se dijele na temelju njihove funkcionalnosti i strukture. Glavne vrste odobalnih LNG terminala uključuju:

- Plutajući skladišni i uplinjavajući uređaji (FSRU), FSRU su brodovi koji imaju kapacitet skladištenja i uplinjavanja ukapljenog prirodnog plina. Oni su fleksibilni, mogu se premještati po potrebi i mogu brzo početi s radom. FSRU terminali su popularni zbog njihove relativno niže cijene i brže instalacije u usporedbi s fiksnim terminalima.
- Plutajući proizvodni, skladišni i otpremni uređaji (FLNG - Floating Liquefied Natural Gas): FLNG su brodovi koji omogućuju proizvodnju, skladištenje i otpremu LNG-a direktno na moru. Ovi uređaji su kompleksni i skupi, ali omogućuju eksploataciju plinskih polja koja su daleko od obale, gdje je izgradnja kopnenih postrojenja neisplativa.
- Fiksni odobalni LNG terminali: To su trajne strukture izgrađene na morskom dnu ili na umjetnim otocima. Fiksni terminali uključuju pristaništa, skladišne rezervoare i uplinjavajuće jedinice. Oni su stabilniji i mogu prihvatiti veće količine LNG-a u usporedbi s plutajućim terminalima, ali njihova izgradnja je skuplja i dugotrajnija.
- Odobalne bočne platforme (Offshore Jetty Platforms): Ove platforme su jednostavnije strukture koje omogućuju istovar LNG-a s brodova na moru te njegov transport do kopnenih skladišta putem podmorskih cjevovoda. Koriste se kada je kopnena infrastruktura ograničena ili ne postoji.
- Strukture na temelju gravitacije (Gravity Base Structures - GBS) su fiksne morske platforme izrađene od armiranog betona ili čelika, koje stoje na morskom dnu zahvaljujući svojoj težini. Koriste se za naftne i plinske platforme, LNG terminale i *offshore* vjetroturbine, pružajući stabilnost i dugotrajnost. Njihova široka baza omogućuje izdržljivost u teškim uvjetima. Iako su skupe za izgradnju i instalaciju te ih je teško premjestiti, GBS nude sigurnu i pouzdanu osnovu za *offshore* operacije.

Odabir odgovarajućeg tipa terminala ovisi o specifičnim potrebama, geografskim uvjetima i ekonomskim faktorima određene regije ili projekta, stoga svaka od ovih vrsta odobalnih LNG terminala ima svoje prednosti i nedostatke.

#### **4.1. STRUKTURE NA TEMELJU GRAVITACIJE (GRAVITY BASE STRUCTURE – GBS)**

Strukture na temelju gravitacije odnosno *Gravity Base Structures* (GBS) su masivne odobalne strukture koje su dizajnirane da stoje na morskom dnu koristeći vlastitu težinu za stabilnost. Takve strukture su se počele koristiti sredinom 20. stoljeća, prvenstveno za naftne i plinske platforme. Razvoj tehnologije i materijala omogućio je izgradnju većih i složenijih struktura koje mogu izdržati ekstremne uvjete na moru. S vremenom su se GBS počele koristiti i za druge primjene poput LNG terminala i odobalnih vjetroelektrana. Obično su izrađene od armiranog betona, čelika ili kombinacije oba materijala. Konstrukcija se sastoji od masivne baze koja sjedi na morskom dnu i nadzemnog dijela koji podržava potrebnu opremu i infrastrukturu. Betonske GBS često imaju dodatne komore za balast koje se pune pijeskom, šljunkom ili vodom kako bi se povećala težina i stabilnost. Težina same strukture omogućuje stabilnost GBS-a na morskom dnu, čak i u teškim uvjetima poput jakih struja i visokih valova. Stabilnost se dodatno poboljšava projektiranjem baze koja se širi prema dnu, što povećava površinu kontakta s morskim dnom. Prilikom postavljanja, struktura se tegljenjem prevozi do odabranog mjesta na moru, gdje se potapa i postavlja na morsko dno.

Ove strukture pružaju brojne prednosti u odobalnoj industriji. Prvo, njihova dugotrajnost, GBS su izdržljive strukture koje mogu trajati nekoliko desetljeća uz minimalno održavanje, što ih čini ekonomično isplativima na duži rok. Stabilnost je također ključna prednost, jer velika težina i široka baza osiguravaju da GBS ostanu čvrsto postavljene na morskom dnu, ova karakteristika je od ključne važnosti za građevinske projekte na moru, gdje su izloženi jakim vjetrovima, strujama, visokim valovima i drugim prirodnim silama. Veći broj mogućih namjena, mogu se koristiti za različite svrhe, uključujući skladištenje i uplinjavanje LNG-a, proizvodnju i obradu nafte i plina, kao i podršku odobalnim vjetroelektranama. Ekološka prihvatljivost je još jedna značajna prednost; beton, koji se često koristi za izgradnju GBS-a, manje je štetan za morski okoliš u usporedbi s nekim drugim materijalima. Kod nedostataka jedan od najvećih i najznačajnijih su visoki troškovi za izgradnju i instalaciju GBS-a mogu biti skupi zbog velikih količina materijala i složenog procesa transporta i postavljanja te ograničena mobilnosti. Nakon postavljanja, GBS je teško

premjestiti, što može biti ograničavajuće u dinamičnim industrijama gdje su fleksibilnost i prilagodljivost važne.<sup>5</sup>



**Slika 7. GBS Adriatic LNG**

Izvor: [www.adriaticlng.it](http://www.adriaticlng.it)

#### 4.1.1. ADRIATIC LNG TERMINAL

Adriatic LNG, poznat i kao Terminale GNL Adriatico Srl je smješten približno 10 nautičkih milja sjeveroistočno od Porta Levante u Sjevernom Jadranu, udaljen od obale Italije. Platforma se nalazi na dubini od 29 metara, s ukupnom dužinom od 375 metara i širinom od 115 metara. Glavni most se nalazi na 18 metara iznad razine mora. Osnovan 2. svibnja 2005. godine, vlasnici tvrtke su Qatar Petroleum, ExxonMobil i Snam. Terminal Adriatic LNG sada predstavlja značajan dio talijanskog industrijskog tržišta, s više od 100 zaposlenika koji su raspoređeni na tri lokacije: Milanu, Rovigu i odobalnom terminalu. U uporabi je od druge polovice 2009. godine, terminal Adriatic LNG ima kapacitet

---

<sup>5</sup> A new gravitational concept LNG Industry 01.2020.  
[https://gtt.fr/sites/default/files/a\\_new\\_gravitational\\_concept\\_-\\_lng\\_industry-january2020.pdf](https://gtt.fr/sites/default/files/a_new_gravitational_concept_-_lng_industry-january2020.pdf)



uplinjavanja od 9 milijardi kubičnih metara godišnje, što predstavlja više od polovice nacionalnog kapaciteta uvoza LNG-a i može osigurati oko 14% nacionalne potrošnje. Postrojenje za uplinjavanje omogućuje Italiji povećanje izvora njezine energetske opskrbe, eliminirajući potrebu za izravnom cjevovodnom vezom s lokacijama proizvodnje.<sup>6</sup> Uvoz ukapljenog prirodnog plina, prije svega iz Katara, ali i iz drugih geografskih područja opremljenih postrojenjima za ukapljivanje plina, postaje moguć zahvaljujući ovom postrojenju.



**Slika 8. Tehničke karakteristike Adriatic LNG**

Izvor: [www.adriaticlng.it](http://www.adriaticlng.it)

GBS Adriatic LNG sadrži nekoliko glavnih karakteristika. Armirane betonske strukture koje su izgrađene s 90.000 kubičnih metara betona i 30.000 tona čelične armature. Sa svojom duljinom od 180 metara, širinom od 88 metara i visinom od 47 metara, sadrži dva spremnika za skladištenje i predstavlja glavni element terminala. Dva modularna spremnika za skladištenje LNG-a koji imaju kapacitet od 125.000 kubičnih metara svaki. Izrađeni su od čelika koji sadrži 9% nikla kako bi se oduprli niskim temperaturama potrebnim za skladištenje, a dizajnirani su s provjerom ExxonMobilove tehnologije te izgrađeni u jednom od najvećih brodogradilišta na svijetu, u Južnoj Koreji. Ugrađeni su unutar GBS-a, povezani su međusobno i s postrojenjem za uplinjavanje posebnim tehnikama zavarivanja. U spremnicima se LNG skladišti pod atmosferskim tlakom i na temperaturi od  $-162^{\circ}\text{C}$  kako bi

<sup>6</sup> Adriatic LNG Terminal, <https://www.adriaticlng.it/en/the-terminal/>



ostao u tekućem stanju. Privez te postrojenje za iskrcaja, privezišta, poznati i kao *Mooring Dolphins* su konstrukcije koje su izgrađene u brodogradilištu Arsenal u Veneciji. Njihova svrha je pružanje smještaja za LNG brodove različitih veličina. Svaka struktura, čija je težina približna 9.000 tona, sastoji se od baze odnosno paralelne cijevi od armiranog betona visine otprilike 7 metara na kojoj se nalaze dvije betonske kolone visine 28 metara, povezane čeličnim mostom dugačkim 63 metra i širokim 8,5 metara. *Mooring Dolphins* su smješteni na istočnoj i zapadnoj strani postrojenja za uplinjavanje, te su povezani s njim čeličnim prolazima. Koriste se posebne iskrcajne ruke za prijenos LNG-a s broda do terminala. Stambeni prostor i heliodrom može primiti do 60 osoba, 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu. Sastoji se od smještajnih prostora, ureda, potpuno opremljene kuhinje, ambulante, praonice rublja te prostora za rekreaciju i opuštanje. Kontrolna soba, opremljena najmodernijom tehnologijom, omogućuje operaterima praćenje svakog područja i održavanje stalne veze s plinovodom, mjernom stanicom za plin u Cavarzeru, obalom baze u Portu Viro, prolaznim brodovima i pomorskim vlastima. Sustavi za opće potrebe uključuje dodatnu opremu kao što su jedinica za proizvodnju električne energije s plinskim turbinama te električna i instrumentacijska podstanica. Postrojenje za uplinjavanje smješteno je na vrhu GBS-a te se sastoji se od: 4 LNG isparivača otvorenog tipa koji koriste toplinu prirodno prisutnu u morskoj vodi, 1 LNG isparivač s oporavkom topline koji ponovno koristi toplinu iz plinskih turbina, 2 kriogenska kompresora, 4 pumpe za prijenos LNG-a iz spremnika, 5 pumpe za slanje plina u isparivače te dalje u plinovod te 4 sustava za opće potrebe.

#### 4.1.2. SIGURNOSNE ZONE I ZONE OGRANIČENOG PODRUČJA

Postoji sigurnosna zona s radijusom od 2000 metara ili 1,1 nautičke milje oko terminala u kojoj su zabranjene plovidba i ribolovne aktivnosti. Pristup zabranjenim zonama dopušten je isključivo LNG brodovima koji pristaju u terminalu, plovilima za potporu pri vezu i servisnim plovilima, bilo da rade za ili su odobreni od strane ALNG-a i Pomorskih vlasti, kao i plovilima povezanim s agencijama za provedbu zakona. Također postoji zona izbjegavanja s radijusom od 1,5 nautičkih milja oko terminala u kojoj je zabranjeno sidrenje.

#### 4.1.3. VREMENSKI UVJETI

Terminal je pod utjecajem klime Sjevernog Jadranskog mora. Sezonske tropske ciklone uzrokuju promjene vremena koje dolaze u Europu s Atlantskog oceana, uglavnom u

blizini Normandije, Francuska, ili preko obale Portugala. Većina ovih sustava prati zajedničku putanju prema sjevernoj Italiji te izlazi iz sjevernog Jadrana prema sjeveroistoku, istoku ili jugoistoku. Drugi fenomen koji uzrokuje značajne varijacije u vremenu je nastanak niskotlačnog sustava u samoj regiji. Ovaj događaj je uobičajen tijekom siječnja, veljače i srpnja. U području se ističu dva glavna vjetra, poznata kao "Bura" i "Jugo". Bura je vjetar koji dolazi s sjeveroistoka, no njegov smjer može biti podložan promjenama zbog topografskih i migracijskih faktora. U području ispred Venecije, bura obično dolazi kao dotok kontinentalnog polarnog ili arktičkog zraka kroz Trst. Ponekad se kanalizira kroz istočnu obalu Jadrana, dolazeći iz sektora istočno-sjeveroistočnog. Vjetar s ovakvim specifičnim smjerom u Jadranu naziva se "levantera". Najvažnija karakteristika Bure je da ponekad naglo izlije iz planina, što rezultira naglim porastom brzine vjetra, stvarajući oluje i postižući brzine od 55 do 70 čvorova u roku nekoliko sati. Bura je najjača od listopada do svibnja i obično traje od pola dana do 2 dana. *Scirocco* odnosno "Jugo" dolazi s juga kao topli kontinentalni zrak koji je podigao vlagu s Mediteranskog mora. Kako se zrak kreće uzduž Jadrana, njegov se vjetar rotira tako da stiže u blizinu lokacije terminala iz istočnog smjera, obično uz vrlo oblačno vrijeme. Jugo puše najjače od siječnja do svibnja u ovom području i obično traje od 1 dan do 3 dana. Izvještaji o vremenu su dva puta na dan neprekidno dostupni.

#### 4.1.4. PRILAZ VEZU

Sva manevriranja LNG brodova koji pristupaju i kreću se unutar sigurnosni zone terminala moraju se provoditi s odgovarajućom pažnjom i oprezom, pri brzini i na način koji neće ugroziti sigurnost drugih plovila i terminala. Načelo pristajanja je manevriranje LNG broda u paralelni položaj s pristaništem. Nakon što se LNG brod zaustavi u tom položaju, tegljači guraju ili vuku LNG brod na pristanišne. LNG brodovi općenito pristaju s desnom stranom uz pristanište, osim ako prethodno nije dogovoreno i prihvaćeno od strane kapetana, upravitelja terminala i pilota. Terminal je opremljen sustavom za pomoć pri pristajanju i nadzorom napetosti užeta za vezivanje s indikatorima brzine pristupa postavljenim na terminalu. Tijekom pristajanja je dostupna prijenosna PC jedinica povezana s terminalom bežično. Ova jedinica, u načinu pristupa LNG broda, prikazuje dinamične grafičke podatke o brzini, udaljenosti i uzdužnom kutu LNG broda. Nakon pristajanja, ova

jedinica se može prebaciti u način rada u kojem prikazuje opterećenje napetosti priveznih užadi.

**Tablica 2. Upozorenja ograničenja pristajanja**

<b>Berthing Speed</b>	0-15cm/s	15-19cm/s	20cm/s and over
<b>Approach Angle:</b>	Green: 0-5deg	Yellow: 5-9deg	Red: 9 deg and over

Izvor: [www.adriaticlng.it](http://www.adriaticlng.it)

Kako bi se izbjegla oštećenja, posebno, ali ne ograničeno na sustave bokobrana, LNG brod se mora pravilno nasloniti na blatobrane s brzinom kontakta koja ne prelazi 15 cm/sekundi.

#### 4.1.5. KRITERIJI PRIVEZA/ODVEZA

Kriteriji za privez i odvez broda s odobalnog LNG terminala ključni su za osiguranje sigurnosti i efikasnosti operacija. Ti kriteriji obuhvaćaju niz tehničkih, operativnih i sigurnosnih aspekata, koji se moraju pažljivo pratiti kako bi se spriječile nesreće i oštećenja. Najvažniji kriterij su vremenski uvjeti koji igraju značajnu ulogu. Privez i odvez broda obično se ne obavljaju tijekom loših vremenskih uvjeta, poput jakih vjetrova, visokih valova ili loše vidljivosti.<sup>7</sup>

Ovi uvjeti mogu otežati manevriranje i povećati rizik od sudara ili drugih nesreća. Zato se redovito prate vremenske prognoze i uvjeti na moru prije nego što se brodu dopusti pristup ili napuštanje terminala. Stanje opreme za privez i odvez poput konopa i vitla moraju biti u besprijekornom stanju. Redoviti pregledi i održavanje su ključni za osiguranje da oprema može izdržati naprezanja tijekom manevra.

<sup>7</sup> Adriatic LNG Terminal Regulations and Information Booklet, [https://www.adriaticlng.it/wps/wcm/connect/0904b85a-7bae-41c2-a9ee-016506796fdc/Terminal+Regulations\\_v3+Marzo2017.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mAUD4eX](https://www.adriaticlng.it/wps/wcm/connect/0904b85a-7bae-41c2-a9ee-016506796fdc/Terminal+Regulations_v3+Marzo2017.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mAUD4eX)

**Tablica 3. Kriterij priveza/odveza Adriatic LNG**

<b>Activity</b>	<b>Direction of Wave</b>	<b>Significant wave height (m) Conventional LNGCs*</b>	<b>Significant wave height (m) Moss, Q-Flex and Larger conventional LNG'c**</b>
Berthing	From any direction	1.5 m	1.0 m
Stop Cargo Transfer and Disconnect Loading Arms	From 110-190 degrees (deg)	1.4 m	1.2 m
	From 300-60 and 190-240 deg	1.7 m	1.0 m
	From 60-110 and 240-300 deg	2.0 m	1.2 m
Unberthing	110-190 deg	1.7 m	1.2 m
	300-60 and 190-240 deg	2.0 m	1.0 m
	60-110 and 240-300 deg	2.5 m	1.2 m

<b>Activity</b>	<b>Time &amp; Direction of Wind</b>	<b>Wind speed Conventional LNGCs*</b>	<b>Wind Speed Moss, Q-Flex and Larger conventional LNG'c**</b>
Berthing	1 hour (hr.) from any direction	25 knots	15 knots
Stop Cargo Transfer and Disconnect Loading Arms	1 hr. from any direction	28 knots	25 knots
	30-second gust from any direction	34 knots	30 knots
Unberthing	1 hr. from any direction	30 knots	25 knots
	30-second gust from any direction	36 knots	30 knots

Izvor: [www.adriaticlng.it](http://www.adriaticlng.it)

Također, *mooring dolphins* su dizajnirani da izdrže velike sile koje djeluju tijekom priveza. Suradnja i koordinacija između posade broda, pilota i osoblja na terminalu su od presudne važnosti. Pilot, kapetan broda, te operateri na terminalu moraju imati jasno definirane komunikacijske protokole i planove za privez i odvez. Ovo uključuje precizne upute o brzini prilaza, kutu prilaza te točnom mjestu priveza. Također, koristi se napredna tehnologija poput sustava za nadzor napetosti priveznih užeta i indikatora brzine pristupa kako bi se osigurala točnost i sigurnost operacija.

#### **4.2.FSRU BRODOVI**

FSRU brodovi ili *Floating Storage and Regasification Units* (plutajuće jedinice za skladištenje i ponovno ukapljivanje), igraju ključnu ulogu u globalnom tržištu prirodnog plina. Ovi specijalizirani brodovi kombiniraju funkcije skladištenja tekućeg prirodnog plina i njegove mogućnosti uplinjavanja, omogućujući brzu i fleksibilnu isporuku plina tamo gdje

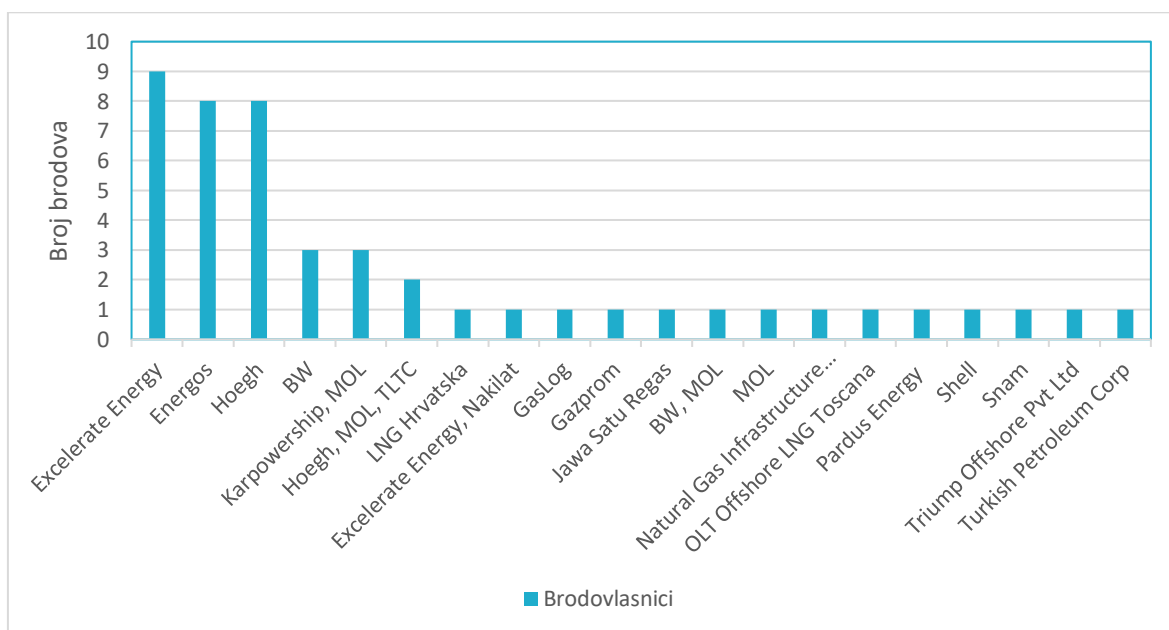
je to najpotrebnije. Jedna od najvećih prednosti FSRU brodova je njihova mobilnost. Za razliku od fiksnih LNG terminala, FSRU brodovi mogu brzo biti premješteni na nova mjesta prema potrebama tržišta. To omogućuje zemljama koje nemaju infrastrukturu za uvoz LNG-a da brzo uspostave opskrbu plinom. Osim što se brodovi koriste za skladištenja, brodovi su opremljeni postrojenjima za uplinjavanje koja pretvaraju LNG iz tekućeg u plinovito stanje prije isporuke u kopnene mreže. Da bi se omogućila konverzija LNG-a u plinovito stanje i slanje plina na obalu, brodovi moraju biti opremljeni visokotlačnim pumpama i isparivačima tereta. FSRU brodovi imaju nekoliko značajnih prednosti, a to su brza implementacija, izgradnja i instalacija kopnenih LNG terminala može trajati nekoliko godina i zahtijeva znatne investicije. Nasuprot tome, FSRU brodovi mogu biti implementirani za samo nekoliko mjeseci, što omogućuje brzi odgovor na tržišne promjene i energetske potrebe. Niži troškovi, FSRU brodovi često su povoljnija opcija u usporedbi s izgradnjom kopnenih terminala. Troškovi izgradnje, održavanja i operacija su manji, a mogućnost premještanja smanjuje rizike dugoročnih investicija.

#### 4.2.1. POVJESNI RAZVOJ FSRU-A BRDOVA

Rast tržišta FSRU jedinica bio je značajan tijekom proteklog desetljeća. Početak industrije može se pratiti od sredine 2001. godine, kada je El Paso sklopio ugovor s belgijskim vlasnikom brodova Exmar za ugradnju jedinica za uplinjavanje na tri postojeća novoizgrađena LNG broda i jedan novi LNG brod koji je bio u izgradnji u Korejskom brodogradilištu Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering. Prvi namjenski izgrađeni FSRU brod bio je Excelsior, koji je izgrađen 2005. godine. Za razliku od ranijih FSRU brodova koji su bili preuređeni LNG tankeri, Excelsior je bio prvi brod izgrađen s namjerom da bude *Floating Storage and Regasification Unit*. Kapacitet tankova mu iznosi 138.000 m<sup>3</sup>, dok je kapacitet uplinjavanja 690 MMscf/d (milijun standardnih kubičnih stopa po danu). Najveći FSRU brod na svijetu trenutno je Bauhinia Spirit, koji je isporučen u lipnju 2023. godine. Duljine 345 m i širine 55 m, a vlasništvo je kompanije MOL. Brod se nalazi u Hong Kongu, a kapacitet tankova mu iznosi 263.000 m<sup>3</sup>, dok je kapaciteta uplinjavanja 800 MMscf/d.

#### 4.2.2. STANJE TRŽIŠTA FRSU-A

Razvoj plutajućih FSRU terminala i odobalnih terminala bilježi stabilan rast, s značajnim pokretanjem terminala temeljenih na FSRU diljem svijeta, te s novim tržištima koja započinju uvoz LNG-a. Trenutno postoji 49 plutajućih FSRU-a i odobalnih terminala diljem svijeta, s ukupnim kapacitetom uplinjavanja od 200,9 MTPA. Oni čine oko 20% globalnog kapaciteta za uplinjavanje. FSRU terminali postali su poželjni na novim tržištima, iako obalni terminali i dalje dominiraju tržišnim udjelom. U izgradnji je 17 plutajućih FSRU-a i odobalnih projekata za uplinjavanje, s ukupnim kapacitetom od 52,1 MTPA. Većina se očekuje da će početi s radom u 2024. i 2025. godini. Od 2021. do 2023. godine, četiri nova tržišta započela su uvoz LNG-a nakon pokretanja terminala temeljenih na FSRU-u, uključujući Hrvatsku 2021., Salvador i Njemačku 2022. te Filipine 2023. godine. U 2023. godini pokrenuto je devet novih projekata temeljenih na plutajućim terminalima, s dodatkom kapaciteta od 40,3 MTPA.



**Grafikon 1. Prikaz cjelokupne flote FSRU brodova.**

Izvor: Pripremio student prema podacima sa IGU World LNG Report 2024<sup>8</sup>

S obzirom na to da su se masovni planovi za uplinjavanje u Europi postupno privodili kraju, regija je prošle godine svjedočila pokretanju šest plutajućih terminala s ukupnim

<sup>8</sup> International Gas Union: 2024 World Lng Report, 26.06.2024. <https://www.igu.org/resources/2024-world-lng-report/>

kapacitetom od 24,1 MTPA, kako bi se dodatno ojačao kapacitet uvoza LNG-a. U Aziji i Pacifiku, 2023. godine pokrenuta su tri nova plutajuća terminala, dva na Filipinima i jedan u Kini. Trenutno se globalno gradi 17 plutajućih i odobalnih terminala do kraja veljače 2024. godine, s ukupnim kapacitetom od 52,1 MTPA. To uključuje 28 MTPA iz Azije i Azije Pacifika, 9,8 MTPA iz Europe, 10,2 MTPA iz Latinske Amerike i 4,2 MTPA iz Afrike. Indija predvodi nove projekte bazirane na plutajućim terminalima, s tri projekta ili 16 MTPA koji će biti u uporabi do 2025.-2026. godine.

### **4.3. FSRU TOSCANA**

FSRU Toscana se nalazi otprilike 12 nautičkih milja udaljeno od Livorna u dubini od oko 112 metara. Terminal FSRU Toscana predstavlja jednu od ključnih infrastruktura od nacionalnog interesa za uvoz LNG-a, te doprinosi razvoju i neovisnosti talijanskog energetskeg sustava. FSRU Toscana stigla je u Livorno 30. srpnja 2013. godine. Toscana je trajno sidreno na morskom dnu putem naprednog sustava vezivanja, s jednom točkom rotacije na pramcu kako bi omogućila brodu da se kreće oko sidrenog tornja, te da se prilagodi različitim vremenskim uvjetima na moru. Kada se LNG ponovno vrati u plinovito stanje plin se šalje u Nacionalnu plinsku mrežu putem podmorskog cjevovoda dugog 36,5 km koji doseže tlo, a upravlja ga i održava Snam, od čega je otprilike 29,5 km na moru, 5 km u poplavnim područjima i preostalih 2 km na suhom kopnu. Terminal je dužine 306,49 metara, širine 48 metara, visine od 26,5 metara te ukupnog kapaciteta skladištenja od 137.100 m<sup>3</sup>. Trenutno FSRU Toscana je ovlašten za primanje oko 90% svjetske LNG flote, s maksimalnim kapacitetom tereta između 65.000 i 180.000 m<sup>3</sup> klasa New Panamax te maksimalne brzine protoka iznosi 12.000 m<sup>3</sup>/h, što terminalu omogućuje maksimalnu fleksibilnost prijema, zadržavajući nepromijenjeni maksimalni godišnji kapacitet uplinjavanja od 5 milijardi Sm<sup>3</sup> (standard cubic metre) prirodnog plina. Terminal za FSRU Toscana ostvaren je korištenjem sigurnih i dobro dokazanih tehnologija, koristeći podsustave i komponente koji se uglavnom koriste u različitim sektorima naftne i plinske industrije. LNG skladišten u spremnicima se šalje u modul za uplinjavanje, gdje se vraća u plinovito stanje putem razmjene topline s morskom vodom koristeći propan kao posrednički medij nakon čega se plin šalje na dubinu od 120 metara, kroz dvije cijevi za uspon, te se zatim ubrizgava u podmorski cjevovod koji je dio nacionalne mreže.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> FSRU Toscana Commercial Services, <https://www.oltoffshore.it/wp-content/uploads/2022/08/olt-commercial-services-brochure-aggiornamento-2022-final.pdf>

#### 4.3.1. SIGURNOSNE ZONE I ZONE OGRANIČENOG PODRUČJA

Postoji "Exclusion Zone" u radijusu od dvije nautičke milje oko terminala u kojoj je ribolov i onečišćenje kako je propisano MARPOL konvencijom i nacionalnim i lokalnim propisima zabranjen, a navigacija ograničena. Pristup "Exclusion Zone" je ograničen isključivo na LNG brodove koji pristaju na terminal, privezne i pomoćne brodove koji rade za ili su ovlašteni od strane terminala i pomorske vlasti, kao i brodove povezane s agencijama za provedbu zakona. Oko terminala nema određenog sidrišta te svaki LNG brod koji zahtijeva usidrenje mora prvo zatražiti odobrenje od Pomorskih vlasti.

#### 4.3.2. PRILAZ VEZU

Sva manevriranja LNG brodova koji ulaze i plove unutar "Exclusion Zone" moraju se obavljati s odgovarajućom pažnjom i oprezom, brzinom i na način koji neće ugroziti sigurnost drugih plovila ili terminala. Kada LNG brod uđe u "Exclusion Zone", tegljači moraju biti spojeni na prednji i stražnji kraj LNG broda što je više moguće na srednjoj liniji LNG broda. Načelo pristajanja je manevriranje LNG broda u položaj paralelan s pristaništem terminala na udaljenosti od otprilike 50 metara. Kada se LNG brod zaustavi u tom položaju, i uz pomoć uređaja za bacanje užeta, uspostaviti će se veza između terminala i LNG broda kako bi se konopi na pramcu i krmi (jedan bočni i jedan špring) mogli prenijeti s LNG broda i spojiti na vezne kuke terminala; zatim, povlačenjem ovih konopa i uz podršku tegljača, LNG brod će manevrirati uz pristanište terminala. LNG brodovi će pristaju s lijevom stranom uz pristanište terminala.

Terminal je opremljen uređajem za pomoć pri pristajanju i sustavima za praćenje napetosti konopa. Na raspolaganju imaju i prijenosno računalo, od terminalnog predstavnika do LNG broda, koja je povezana bežično s terminalom. Računalo prikazuje dinamičnu grafičku prezentaciju podataka o brzini, udaljenosti i uzdužnom kutu LNG broda u odnosu na terminal. Kako bi se izbjegla oštećenja sistema bokobrana terminala, LNG brod se treba nasloniti paralelno na bokobrane terminala s brzinom kontakta koja ne prelazi 10 cm/sekundi.

Kapetan LNG broda i terminalni menadžer će se složiti o konačnom položaju u skladu s rasporedom rukovanja teretom LNG broda i terminala (linija za pozicioniranje ruka za iskrcaj). Očekuje se da će LNG brod biti spreman započeti istovar odmah nakon završetka



privezivanja, te da će završiti istovar sigurno, učinkovito i brzo uzimajući u obzir trenutne i očekivane vremenske uvjete te relevantne operativne uvjete.

#### 4.3.3. KRTERIJ PRIVEZA/ODVEZA

Bočno privezivanje (ship to ship) i spajanje iskrcajnih ruku za iskrcaj tereta mora zadovoljavati ograničenje vremenskim uvjetima.

**Tablica 4. Propisana ograničenja vremenskih uvjeta**

<b>Average wind speed limit</b>	<b>Average sea state limit</b>		<b>Average surface current limit</b>
m/s	Hs(m)	TP(s)	m/s
7.50	1.50	7.50	0.50

Izvor: [www.oltoffshore.it](http://www.oltoffshore.it)

Kako ima ograničenja vremenskih uvjeta za spajanje iskrcajnih ruku tako postoje i granice odnosno ograničenja koje prisiljavaju na prekid iskrcaja tereta i odspajanje iskrcajnih ruku od LNG broda.

**Tablica 5. Ograničenja za prekid iskrcaja tereta**

<b>Average wind speed limit</b>	<b>Average sea state limit</b>		<b>Average surface current limit</b>
m/s	Hs(m)	TP(s)	m/s
15.00	2.50	8.50	0.50
15.00	2.00	8.00	0.50

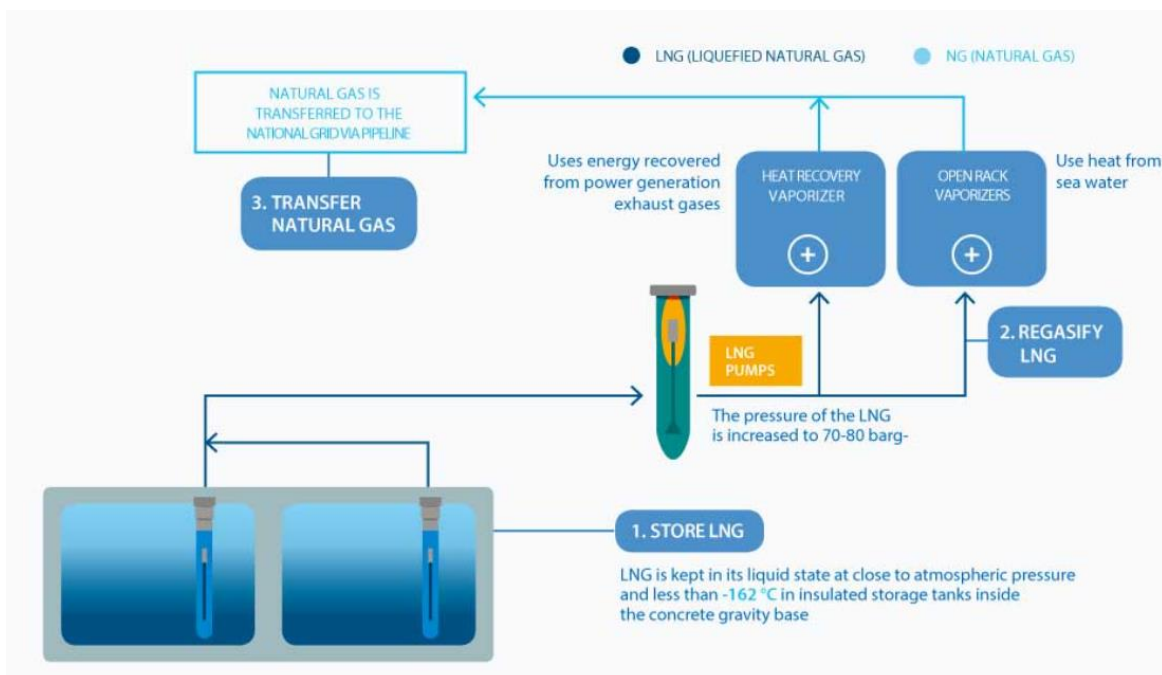
Izvor: [www.oltoffshore.it](http://www.oltoffshore.it)

Za određene brodove, ovisno o visini manifolda pri isplovljavanju to jest u balastu, meteoceanski uvjeti su smanjeni na valove od visine 2,0 m.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> FSRU Toscana, Terminal Regulations and Information Booklet, <https://www.oltoffshore.it/wp-content/uploads/2018/07/fsru-toscana-terminal-information-and-regulation-booklet-docx-rev18.pdf>

## 5. SUSTAV ZA UPLINJAVANJE

Sustav za uplinjavanje je ključna komponenta u procesu pretvorbe ukapljenog prirodnog plina natrag u plinovito stanje za distribuciju putem plinovoda. Ukapljeni prirodni plin koji se nalazi u tankovima tereta je na temperaturi od oko  $-162^{\circ}\text{C}$  i pri gotovo atmosferskom tlaku. Kako bi se ponovno pretvorio u plinovito stanje, LNG se iz tankova tereta dobavnim pumpama šalje u dobavni cjevovod te se zagrijava kroz proces vaporizacije. To je proces koji osigurava visoku energetske učinkovitost, zahvaljujući korištenju morske vode s tehnologijom "Open Rack Vaporization", te korištenju topline generirane plinskim turbinama koje se koriste za proizvodnju električne energije.



Slika 9. Proces uplinjavanja Adriatic LNG

Izvor: [www.adriaticlng.i](http://www.adriaticlng.i)

### 5.1. USISNI BUBANJ

Usisni bubanj, poznat i kao *Suction Drum*, je ključni dio sustava za uplinjavanje koji djeluje kao među spremnik. Njegova uloga je osigurati stabilnost procesa i osigurati neprekidnu opskrbu LNG-om u svakom trenutku prema postrojenju za uplinjavanje, odnosno visokotlačnim pumpama (HP Booster Pumps). Prije slanja LNG-a prema visokotlačnim pumpama potrebno je osigurati miješanje isparenog dijela tereta s ukapljenim

prirodnim plinom. Kako bi se postigao optimalniji rad visokotlačnih pumpi u usisnom bubnju se održava povišeni tlak radi održavanja temperature plina, u usporedbi s tlakom u samim tankovima ukapljenoga plina.

## **5.2. VISOKOTLAČNE PUMPE**

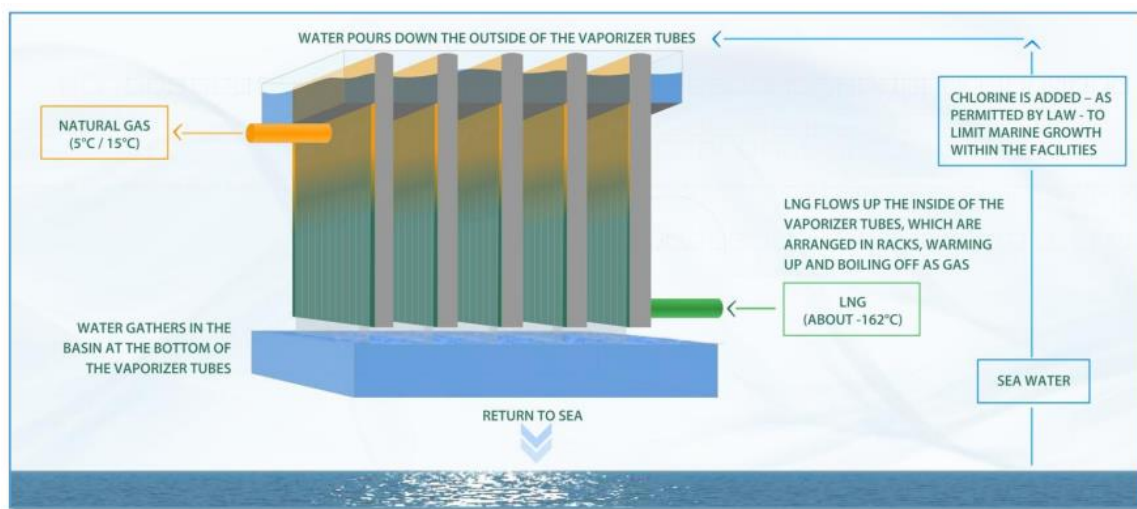
Visokotlačne pumpe su namijenjene povećanju tlaka tekućine na potrebne razine za daljnju distribuciju. Nakon što LNG pređe u plinovito stanje, potrebno je povećati tlak kako bi se osiguralo da plin može sigurno putovati kroz distribucijsku mrežu. Povećanjem tlaka, visokotlačne pumpe osiguravaju konzistentan i adekvatan protok plina kroz sustav. One pomažu u održavanju optimalnih radnih uvjeta, sprječavaju pad tlaka te osiguravaju da plin udovoljava potrebnim specifikacijama za isporuku potrošačima. Pumpe su koncipirane kao više stupanjske uronjene izvedbe, te su projektirane da ne mogu raditi kada prevelika ili premala količina tereta prolazi kroz njih. Zbog toga su opremljene kontrolnim sustavima i sensorima protoka koji, u slučaju prevelike ili nedovoljne količine tereta, isključuju pumpu kako bi je zaštitili od kvarova. Minimalno opterećenje pumpe potrebno za normalan rad iznosi približno 40% ukupnog dozvoljenog radnog opterećenja. Kao posljedica rada pumpe, stvara se određena količina topline, što rezultira isparavanjem manjeg dijela ukapljenog plina u plinovito stanje (boil-off gas) koji se zatim vraća u usisni bubanj putem sustava odušnih ventila.

## **5.3. LNG ISPARIVAČ**

Kada se LNG prevozi na niskim temperaturama, čuva se u tekućem stanju pod vrlo niskim tlakom. Prije nego što se može koristiti kao plin za daljnji prijenos ili upotrebu, mora se pretvoriti u svoje plinovito stanje. Glavna svrha LNG isparivača je upravo ta pretvorba tekućeg LNG-a u plinoviti prirodni plin. To se ostvaruje zagrijavanjem tekućeg plina ili razmjenom topline između medija koji se koristi za zagrijavanje plina, zbog čega se ovi uređaji nazivaju i toplinskim izmjenjivačima. Mediji mogu biti u direktnom kontaktu ili odvojeni pregradama, ovisno o vrsti medija koji se koristi za prijenos topline. Kada je riječ o izmjenjivačima topline za LNG, postoje tri osnovne vrste isparivača. ORV (Open Rack Vaporizer), IFV (Intermediate Fluid type Vaporizer) i SCV (Submerged Combustion Vaporizer).

### 5.3.1. OTVORENI USISNI ISPARIVAČ - *OPEN RACK VAPORIZER*

Otvoreni uspravni isparivač ili *Open Rack Vaporizer* (ORV) sastoji se od vertikalnih aluminijskih cijevi raspoređenih u stalke i koriste morsku vodu kao izvor topline za isparavanje LNG-a. Prednost korištenja topline iz morske vode je što nema emisija CO<sub>2</sub> iz isparivača. Morska voda, na svojoj ambijentalnoj temperaturi, uvlači se u terminal pomoću pumpi. Kako bi se spriječio rast morskih organizama unutar cijevi i opreme, u morsku vodu dodaje se niska razina klora. Morska voda ulazi na vrh isparivača odakle se slijeva niz vanjsku stranu cijevi isparivača dok LNG protječe unutar cijevi.



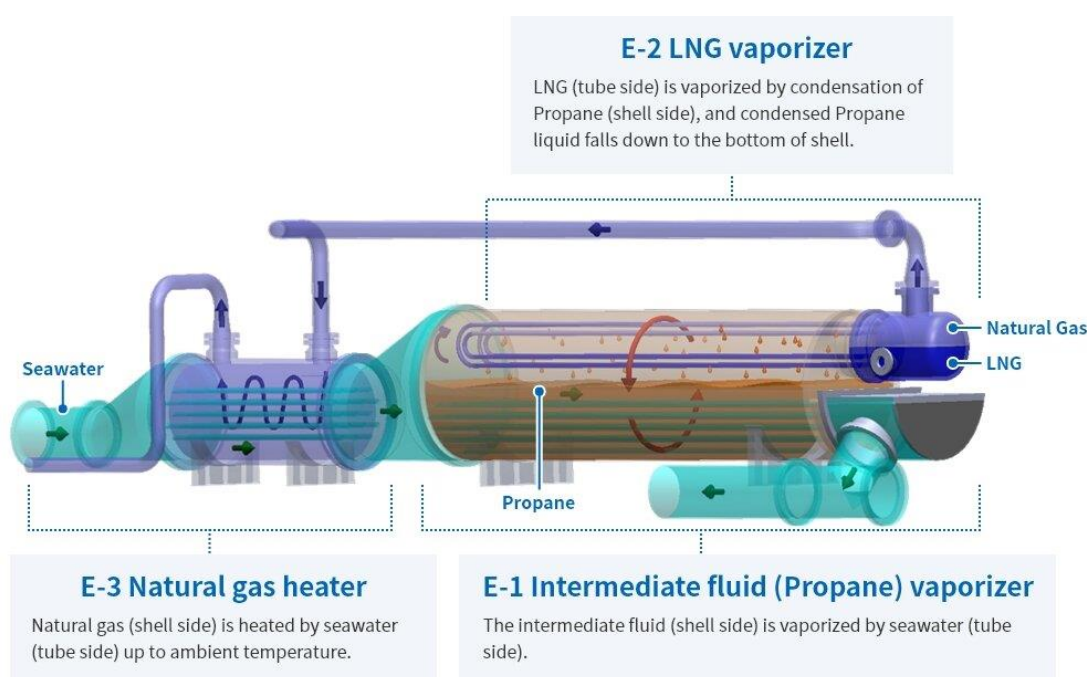
**Slika 10. Open Rack Vaporizer**

Izvor: [www.adriaticlng.it](http://www.adriaticlng.it)

Toplina se razmjenjuje preko cijevi gdje prirodna toplina morske vode zagrijava LNG, vraćajući ga u plinovito stanje na temperaturi između 5 i 15°C. Morska voda postaje malo hladnija kako teče preko cijevi isparivača. Voda se skuplja u bazenu na dnu cijevi isparivača prije nego što se vrati u more, a razlika u temperaturi mora u okolini i temperature mora koja se ispušta je u prosjeku manja od 5°C. Kako bi se spriječila korozija cijevi pri proizvodnji štite se od korozije špricanjem i oblaganjem mješavinom aluminijske i cinkove kao bi se izbjeglo oštećenje cijevi od slane morske vode. Cink djeluje kao žrtvena anoda i pruža zaštitu cijevima od korozije.

### 5.3.2. ISPARIVAČ SA POSREDNIČKOM TEKUĆINOM - *INTERMEDIATE FLUID VAPORIZER*

Isparivač sa posredničkom tekućinom ili *Intermediate Fluid Vaporizer* (IFV) je sustav u kojem se kao medij za prijenos topline koristi posrednička tekućina, često glikol propan, butan ili neka druga prikladna tekućine. Ove tekućine apsorbiraju toplinu iz primarnog izvora topline kako bi isparila LNG. LNG, koji se čuva na izuzetno niskim temperaturama, prolazi kroz cijevi ili kanale unutar IFV-a. Posrednička tekućina, zagrijana primarnim izvorom topline kao što su plinski turbini ili para, prenosi svoju toplinu na LNG kroz ove cijevi.<sup>11</sup>



**Slika 11. Intermediate fluid vaporizer**

Izvor: [www.kobelco-machinery-energy.com](http://www.kobelco-machinery-energy.com)

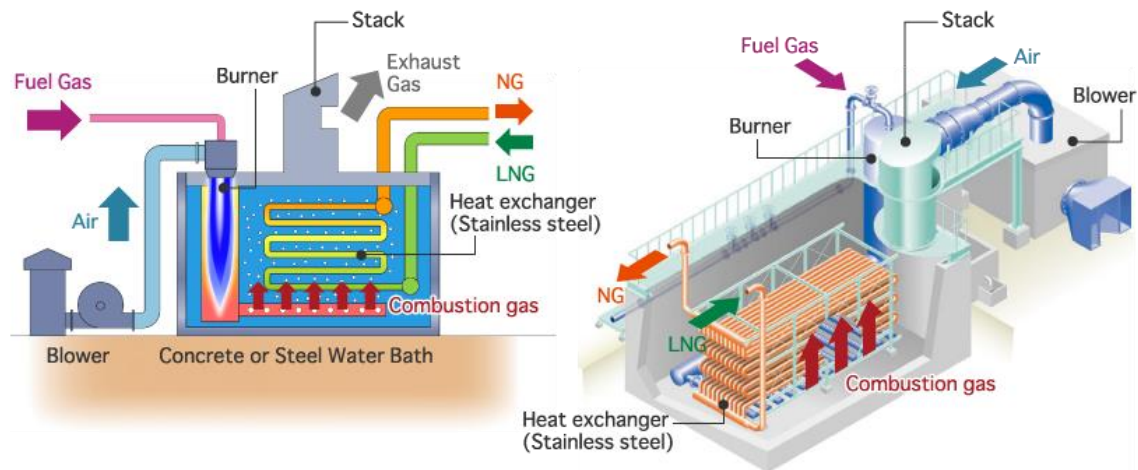
Kako LNG apsorbira toplinu od posredničke tekućine, dolazi do promjene faze iz tekućeg u plinovito stanje odnosno uplinjavanje prirodnoga plina. Ovaj proces povećava temperaturu LNG-a u njegovom ukapljenom stanju pri temperature oko 162°C na plinovito stanje pogodno za transport cjevovodom. IFV-ovi omogućuju bolju kontrolu nad procesom uplinjavanja u usporedbi s direktnim isparivačima koji koriste morsku vodu ili plinsko

<sup>11</sup> Utilization of Cold Energy in Intermediate Fluid-type Vaporizer (IFV) for LNG Receiving Terminals, [https://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr\\_39/006-012.pdf](https://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr_39/006-012.pdf)

gorivo. Omogućuju preciznu kontrolu temperature i učinkovitost pretvaranja LNG-a natrag u prirodni plin.

### 5.3.3. URONJENI ISPARIVAČ SA SAGORIJEVANJEM - *SUBMERGED COMBUSTION VAPORIZER*

Uronjeni isparivač sa sagorijevanjem odnosno *Submerged Combustion Vaporizer* (SCV) sastoji se od plamenika koji koristi prirodni plin kao gorivo za stvaranje plamena koji proizvodi potrebnu toplinu za isparavanje LNG-a. Plamenici su postavljeni u komoru za sagorijevanje, gdje se stvara plamen. Komora za sagorijevanje je konstruirana tako da može podnijeti visoke temperature koje nastaju tijekom procesa izgaranja. LNG prolazi kroz cijevi koje prolaze kroz komoru za sagorijevanje ili su potopljene u vodu zagrijanu izgaranjem. Toplina iz komore za sagorijevanje prenosi se na LNG kroz stijenke cijevi. Komora za sagorijevanje je smještena u bazen s vodom koja prenosi toplinu iz plamenika na cijevi koje sadrže LNG. Voda osigurava ravnomjerno raspoređivanje topline i održava stabilnu temperaturu. Sustav za kontrolu temperature omogućuje precizno upravljanje procesom isparavanja, održavajući optimalne uvjete za učinkovito uplinjavanje.<sup>12</sup>



Slika 12. Submerged Combustion Vaporizer

Izvor: [www.spp.co.jp](http://www.spp.co.jp)

U određenim različitim izvedbama, integracija izmjenjivača topline može dodatno poboljšati učinkovitost prijenosa topline između vode i LNG-a. Kada se LNG pretvori u

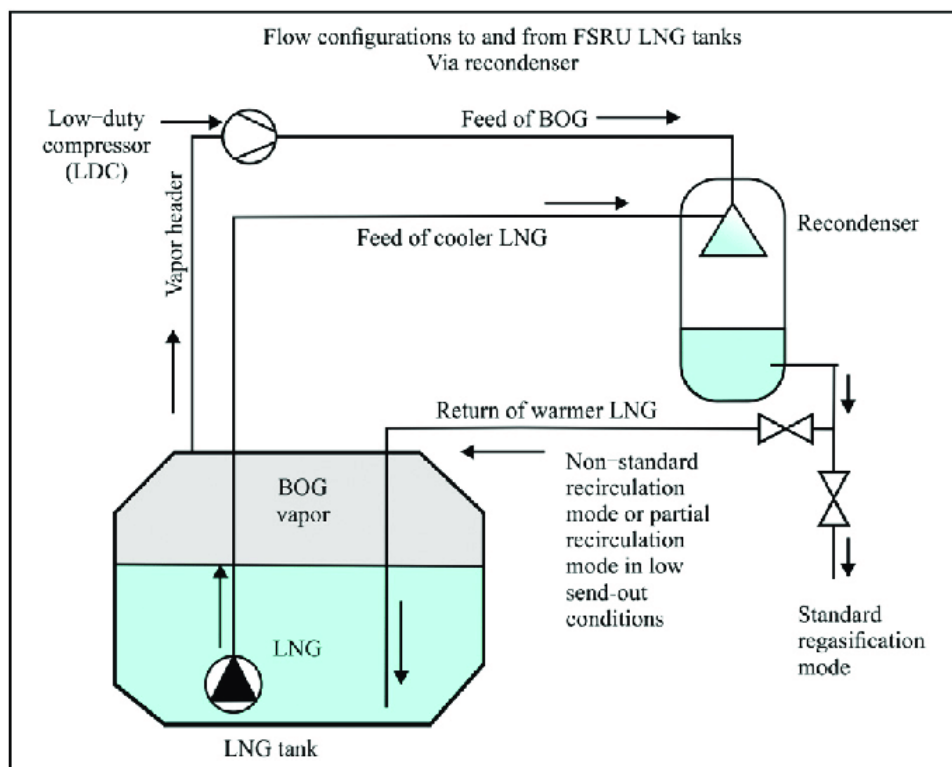
<sup>12</sup> Sumitomo Precision Product, <https://www.spp.co.jp/netsu/en/products/lng/>

plinovito stanje, sustav za ispuštanje odvodi nastalu paru i plinove prema plinovodima ili drugim odredištima. Karakteristike ovih isparivača uključuju manje dimenzije i jednostavniju izradu, što ih čini jeftinijima od ORV i IFV isparivača jer koriste plin za izgaranje i grijanje cijevi, te ne zahtijevaju dio sustava za dobavu i otpremu morske vode. Nedostatak ovog tipa isparivača je što otprilike 1.5% isparenog LNG-a odlazi nazad u isparivač i koristi se kao gorivo za grijač.

#### 5.4. REUKAPLJIVAČ

S obzirom na to da je prirodni plin prirodno u plinovitom stanju, nakon procesa ukapljivanja, ukapljeni prirodni plin se želi vratiti u plinovito stanje. Tijekom eksploatacije, plin konstantno isparava iz tankova tereta, te se ispareni plin šalje u reukapljivač gdje se ponovno ukapljuje i vraća u tankove tereta.

Glavna komponenta re-kondenzatora je izmjenjivač topline koji omogućuje prijenos topline između isparenog plina i tekuće faze LNG-a. Plin koji je ispario se sakuplja i komprimira pomoću kompresora kako bi se povećala njegova temperatura i tlak prije ulaska u izmjenjivač topline.



Slika 13. Reukapljivač

Izvor: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Komprimirani plin prolazi kroz izmjenjivač topline, gdje dolazi u kontakt s hladnijim ukapljenim plinom. Toplina se prenosi s komprimiranog plina na hladniji ukapljeni plin, što uzrokuje kondenzaciju plina natrag u tekuće stanje. Ukapljeni plin se hladi i vraća u spremnik za skladištenje LNG-a. Sustav cijevi i ventila omogućava kontrolirano kretanje plina i tekućine unutar re-kondenzatora i prema spremnicima za LNG. Prednosti re-ukapljivača su te da re-ukapljivanjem isparenog plina smanjuju se gubici plina tijekom skladištenja i transporta, omogućuje učinkovitije upravljanje LNG-om i smanjuje potrebu za stalnim nadopunjavanjem spremnika, te se smanjuje emisiju plinova u atmosferu, čime se smanjuje utjecaj na okoliš.



## 6. ZAKLJUČAK

Odobalni LNG terminali predstavljaju ključnu infrastrukturu za globalni energetski sektor, omogućujući sigurnu i efikasnu obradu, skladištenje i distribuciju ukapljenog prirodnog plina. Takvi terminali omogućuju pristup novim tržištima, povećavaju energetske sigurnost i smanjuju ovisnost o tradicionalnim naftovodima i plinovodima. Odobalni terminali, kao što su *Floating Storage and Regasification Units*, mogu se relativno brzo instalirati i premještati prema potrebi, omogućujući brži odgovor na promjene u potražnji za energijom za razliku od kopnenih terminala. U ekološkom aspektu korištenje LNG-a kao ekološki prihvatljivijeg goriva smanjuje emisije stakleničkih plinova i drugih zagađivača u usporedbi s ugljenom i naftom, pridonoseći globalnim naporima za smanjenje utjecaja na okoliš.

Sustavi poput *Otvoreni Rack Vaporizer ORV-a*, *Intermediate Fluid Vaporizer (IFV)* i *Submerged Combustion Vaporizer (SCV)* optimiziraju proces uplinjavanja, povećavajući energetske učinkovitost i smanjujući operativne troškove. Napredni sustavi nadzora i automatizacije osiguravaju visoku razinu sigurnosti operacija, smanjujući rizik od nesreća i ekoloških incidenata. Unatoč brojnim prednostima, odobalni LNG terminali suočavaju se s izazovima poput visokih početnih investicija, složenih regulatornih okvira i potrebe za visokim standardima sigurnosti i zaštite okoliša. Međutim, globalna potražnja za LNG-om i dalje raste, što potiče daljnja ulaganja i razvoj novih tehnologija koje će dodatno optimizirati operacije odobalnih terminala.

## LITERATURA

### Knjige:

1. Sumner, M.: Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem, Rijeka, 2015
2. Bronzan, B.: LNG, Zagreb 1999
3. SIGTTO – Society of International Gas Tanker & Terminal Operators Ltd.: Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals, Fourth Edition, Edinburgh, 2016
4. Vaudolon, A.: Liquefied Gases – Marine Transportation and Storage, London, 2000
5. MOL FSRU Fundamental information book – basic information on FSRU Deployment

### Internetski izvori:

1. [https://gtt.fr/sites/default/files/a\\_new\\_gravitational\\_concept\\_-\\_lng\\_industry\\_-\\_january2020.pdf](https://gtt.fr/sites/default/files/a_new_gravitational_concept_-_lng_industry_-_january2020.pdf)
2. <https://www.oltoffshore.it/wp-content/uploads/2022/08/olt-commercial-services-brochure-aggiornamento-2022-final.pdf>
3. <https://www.adriaticlng.it/en/the-terminal/>
4. [https://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr\\_39/006-012.pdf](https://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr_39/006-012.pdf)
5. [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)
6. [https://www.adriaticlng.it/wps/wcm/connect/0904b85a-7bae-41c2-a9ee-016506796fdc/Terminal+Regulations\\_v3+Marzo2017.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mAUD4eX](https://www.adriaticlng.it/wps/wcm/connect/0904b85a-7bae-41c2-a9ee-016506796fdc/Terminal+Regulations_v3+Marzo2017.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mAUD4eX)

## KAZALO KRATICA

LNG - Liquefied Natural Gas  
FSRU - Floating Storage Regasification Unit  
IGC Code - International Gas Carrier Code  
SOLAS - Safety of Life at Sea  
MTPA - Million Tons Per Annum  
FLNG - Floating Liquefied Natural Gas  
mmBtu - million British thermal units  
GBS - Gravity Base Structures

## POPIS SLIKA

Slika 1. Kaskadni proces s miješanim fluidima.....	4
Slika 2. Brod „Methane Pioneer“ .....	6
Slika 3. Brodovi „Methane Princess" i „Methane Progress" .....	7
Slika 4. Brod „Mozah“.....	7
Slika 5. Vrhunac potražnje plina po desetljećima .....	9
Slika 6. Neovisni i membranski tankovi .....	11
Slika 7. GBS Adriatic LNG.....	14
Slika 8. Tehničke karakteristike Adriatic LNG.....	15
Slika 9. Proces uplinjavanja Adriatic LNG.....	25
Slika 10. Open Rack Vaporizer .....	27
Slika 11. Intermediate fluid vaporizer .....	28
Slika 12. Submerged Combustion Vaporizer .....	29
Slika 13. Reukapljivač .....	30

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Kemijski sastav prirodnog plina.....	2
Tablica 2. Upozorenja ograničenja pristajanja .....	18
Tablica 3. Kriterij priveza/odveza Adriatic LNG.....	19
Tablica 4. Propisana ograničenja vremenskih uvjeta.....	24
Tablica 5. Ograničenja za prekid iskrcaja tereta.....	24