

Tehnologija FSRU brodova s osvrtom na FSRU "LNG Croatia"

Perišić, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:187:109728>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-16**



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](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

DOMINIK PERIŠIĆ

**TEHNOLOGIJA FSRU BRODOVA S OSVRTOM NA FSRU
„LNG CROATIA“**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**TEHNOLOGIJA FSRU BRODOVA S OSVRTOM NA FSRU
„LNG CROATIA“**

**FSRU TECHNOLOGY IN VIEW OF FSRU „LNG
CROATIA“**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Tehnologija prijevoza tekućih tereta

Mentor: Prof.dr.sc. Igor Rudan

Student: Dominik Perišić

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112079172

Rijeka, kolovoz 2022.

Student: Dominik Perišić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

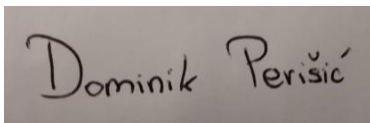
JMBAG: 0112079172

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom FSRU TEHNOLOGIJA S OSVRTOM NA FSRU „LNG CROATIA“ izradio/la samostalno pod mentorstvom izv.prof.dr.sc. Igora Rudana.

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

Student

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature reads "Dominik Perišić" in a cursive script.

Dominik Perišić

Student/studentica: Dominik Perišić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

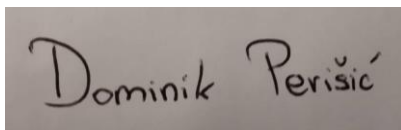
JMBAG: 0112079172

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/studentica - autor

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature reads "Dominik Perišić" in a cursive script.

(potpis)

SAŽETAK

Završni rad se sastoji od 9 poglavlja, podijeljena na pod poglavlja u kojima je obrađena tematika ovog rada. Rad počinje uvodom u samu tematiku, a u 2. i 3. poglavlju će ukratko biti obrađene osnovne karakteristike ukapljenog prirodnog plina, te analiza stanja na tržištu LNG i FSRU industrije. U 4., 5., 6., i 7. poglavlju detaljno će biti obrađena tehnologija FSRU brodova, pogotovo sustav regasifikacije i sam princip rada FSRU broda, zajedno s metodama prekrcanja samog LNG-a. U 8. poglavlju će se uspoređivati izgradnja novog FSRU broda i prenamjena postojećeg LNG tankera u FSRU brod, a u 9. poglavlju je fokus na sam terminal na otoku Krku, i na sam FSRU brod LNG Croatia. Nakon toga slijedi sinteza cjelokupnog sadržaja u zaključku.

Ključne riječi: :LNG, terminal, FSRU, regasifikacija, Omišalj

SUMMARY

This paper consists of 9 chapters, divided into sub-chapters that deal with the subject of the paper itself. The paper begins with the introduction to the topic itself, and in the 2nd and 3rd chapter, the basic characteristics of Liquefied natural gas will be briefly covered, as well as the analysis of global LNG market and FSRU industry. In the 4th, 5th, 6th and 7th chapter the FSRU technology will be covered to the details, with focus on regasification and working principles of an FSRU ship. In the chapter 8 the construction of an brand new FSRU ship and LNG tanker conversion will be compared. Chapter 9 focuses on the LNG terminal in Omišalj on Island Krk, and the FSRU LNG Croatia itself. This is followed by synthesis of entire content in the conclusion.

Keywords: LNG, terminal, FSRU, regasification, Omišalj

SADRŽAJ

SAŽETAK	1
SUMMARY	1
SADRŽAJ	2
1. UVOD	1
2. Osnovno o ukapljenom prirodnom plinu	3
3. Pregled stanja LNG tržišta i flote FSRU brodova	6
3.1 FSRU TRŽIŠTE	8
4. FSRU Tehnologija	9
4.1 KLASIFIKACIJA FSRU BRODOVA.....	10
5. Prekrcaj ukapljenog plina sa LNG broda na FSRU	12
5.1. METODA S KORIŠTENJEM PRISTANA (JETTY TYPE).....	12
5.2. METODA PRIVEZA U JEDNOJ TOČKI (SINGLE POINT MOORING TYPE) ..	13
5.3. METODA PRIVEZA U VIŠE TOČAKA (SPREAD MOORING TYPE).....	15
6. Sustav za regasifikaciju	16
6.1 LNG DOBAVNE PUMPE I CJEVOVODI	16
6.2 USISNI BUBANJ.....	17
6.3 VISOKOTLAČNE (HIGH PRESSURE) LNG PUMPE	18
6.4 LNG ISPARIVAČ (VAPORIZER/HEAT EXCHANGER)	18
6.4.1 <i>Open Rack Vaporizer</i>	18
6.4.2 <i>Intermediate Fluid vaporizer</i>	20
6.4.3 <i>Submerged Combustion Vapourizer</i>	21
6.5. REUKAPLJIVAČ (BOIL – OFF GAS RECONDENSER)	21
6.6. SUSTAV ZA ZAGRIJAVANJE MORSKE VODE	22
7. Cryogenic power regasification system	24
7.1. PRINCIP RADA.....	24
8. FSRU LNG BROD	25
8.1. USPOREDBA IZGRADNJE NOVOG FSRU BRODA I PRENAMIJENE LNG TANKERA	25
8.2. LNG TERMINAL NA OTOKU KRKU I NJEGOVE KARAKTERISTIKE	26
8.2.1. <i>Karakteristike broda FSRU LNG Croatia</i>	28

9. Zaključak	30
LITERATURA	32
POPIS TABLICA	33
POPIS GRAFIKONA	33
Popis slika.....	33

1. UVOD

Ekološka svijest je danas u svijetu na izuzetno visokoj razini, stoga se velika pažnja posvećuje upotrebi ekološki najprihvatljivijeg, ali ujedno i kvalitetnog oblika goriva. Upravo zbog toga uvelike raste potražnja za ukapljenim prirodnim plinom (Liquefied natural gas - LNG). Osim što je sa ekološkog gledišta ukapljeni prirodni plin trenutno jedan od najprihvatljivijih oblika energije, treba napomenuti i njegovu ekonomsku isplativost i efikasnost, te veliku dostupnost. LNG se primjenjuje u raznim industrijama kao što su kemijska, metalna i sl. Također se koristi za opskrbu gradova energijom, te za grijanje u kućanstvima i kao pogonsko gorivo. Većina brodova za prijevoz ukapljenog prirodnog plina koristi upravo ukapljeni prirodni plin kao pogonsko gorivo.

Veliki broj nalazišta prirodnog plina je u eksploataciji i veliki se broj ležišta priprema za eksploataciju. Provode se brojna istraživanja čiji je cilj pronalazak novih izvora prirodnog plina radi osiguravanja potrebne količine ovog važnog energenta za buduće generacije. U zadnje vrijeme provode se istraživanja na području Arktika, odnosno na sjevernoj obali Rusije jer se u tom području nalaze velike količine prirodnog plina. Iz tog razloga se uvelike radi na razvijanju opreme i instrumentacije potrebne za eksploataciju i prijevoz prirodnog plina.

Iz nalazišta se plin treba isporučiti krajnjim korisnicima, potrošačima. Tu nastupaju brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina (LNG carriers) koji prevoze plin do terminala i onda se od terminala plin dalje distribuira prema skladištima na kopnu ili prema opskrbnim mrežama. LNG terminali mogu biti kopneni ili plutajući, koji su uglavnom brodovi. Upravo plutajući terminali, koji se još nazivaju FSRU brodovi (Floating Storage Regasification Unit – FSRU), odnosno brodovi za skladištenje i regasifikaciju/uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina su obrađeni u ovom radu. Jedno od obilježja ovih brodova je što osim prijevoza ukapljenog plina imaju i mogućnost regasifikacije tog istog tereta.

Zahvaljujući svojim karakteristikama, FSRU brodovi omogućavaju dostupnost prirodnog plina skoro svim državama, te otvaranje novih tržišta. Infrastruktura FSRU brodova omogućuje državama s različitim geografskim karakteristikama opskrbu prirodnim plinom. Do proizvodnje FSRU brodova je upravo došlo zbog velike potražnje za ukapljenim prirodnim plinom. Potrebno je bilo smisliti način kako državama koje nemaju izvore prirodnog plina ili nemaju potrebnu obalnu infrastrukturu za dopremanje ukapljenog plina

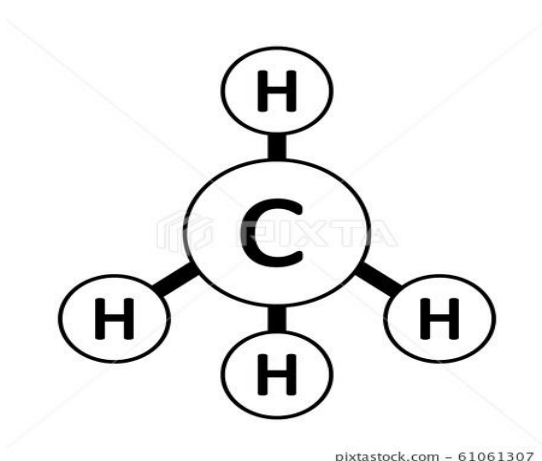
morskim putem ili jednostavno nemaju potrebna financijska sredstva za gradnju kopnenog terminala, isporučiti potrebnu količinu plina. Takvih područja gdje je FSRU tehnologija potrebna za opskrbu prirodnim plinom nalazimo u velikom broju stoga FSRU flota raste iz dana u dan i postaje ključan i neizbježan faktor u brzom i uspješnom razvoju LNG industrije. FSRU tehnologija se razvila i u Republici Hrvatskoj izgradnjom LNG terminala u Omišlju. U ovom radu obrađuje se tehnologija FSRU brodova sa osvrtom na FSRU brod LNG Croatia.

2. OSNOVNO O UKAPLJENOM PRIRODNOM PLINU

Prirodni plin je plinovita mješavina ugljikovodika u kojoj prevladava metan CH₄ (80% volumena, ovisno o porijeklu nalazišta samog plina), a ostatak sastava pripada manjim količinama etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀) i pentana (C₅H₁₂). Također, u njemu nalazimo i manje količine dušika, vodika, ugljikovog dioksida i sumpora. Prirodni plin nastaje raspadanjem biljnih i životinjskih organizama bez prisustva zraka, duboko ispod zemljine površine, u uvjetima visokog tlaka i temperature i na taj način ostaje „zarobljen“ ispod zemlje stvarajući tzv. plinske džepove na čijem se dnu uobičajeno nalazi nafta.

Ukapljeni prirodni plin (LNG) je bezbojna, bistra, ne otrovna, ne zapaljiva tekućina koja ne korodira, nastala hlađenjem prirodnog plina na -162.5°C (-260°F). Prije samog hlađenja potrebno je pročititi plin procesom kondenzacije i na taj način ukloniti tragove vode, sumpora, kisika i ugljikovog dioksida, kako bi ostao čisti plin za ukapljivanje. Zahvaljujući pročišćivanju plina postigla se vrlo mala emisija štetnih plinova u atmosferu što čini LNG najčišćim gorivom.

Procesom hlađenja, plinu se smanjuje volumen za približno 600 puta, što znači da 1 m³ ukapljenog prirodnog plina zauzima isti prostor kao 600 m³ plina u plinovitom stanju, što sprječava eksploziju, uvelike olakšava transport, manipulaciju i skladištenje istog.



Slika 1: Molekula metana (CH₄)

Izvor: <https://www.pixtastock.com/illustration/61061307>

Međunarodna pomorska organizacija (IMO - International Maritime Organization) definira ukapljeni plin kao tekućinu s apsolutnim tlakom zasićene pare 2.8 bara ili više, pri temperaturi od 37.8°C što znači da je tekućina u ravnoteži sa svojim parama i bilo kakva promjena tlaka pri stalnoj temperaturi bi uzrokovala promjenu agregatnog stanja.

Valja napomenuti da se prirodni ukapljeni plin prevozi i skladišti pri približno atmosferskom tlaku na temperaturi od -162.5°C pri kojoj konstantno isparava pa je potrebno posvetiti posebnu pažnju kako ne bi došlo do prevelikih gubitaka tereta i stvaranja eksplozivne atmosfere.



Slika 2: International Gas Carrier Code

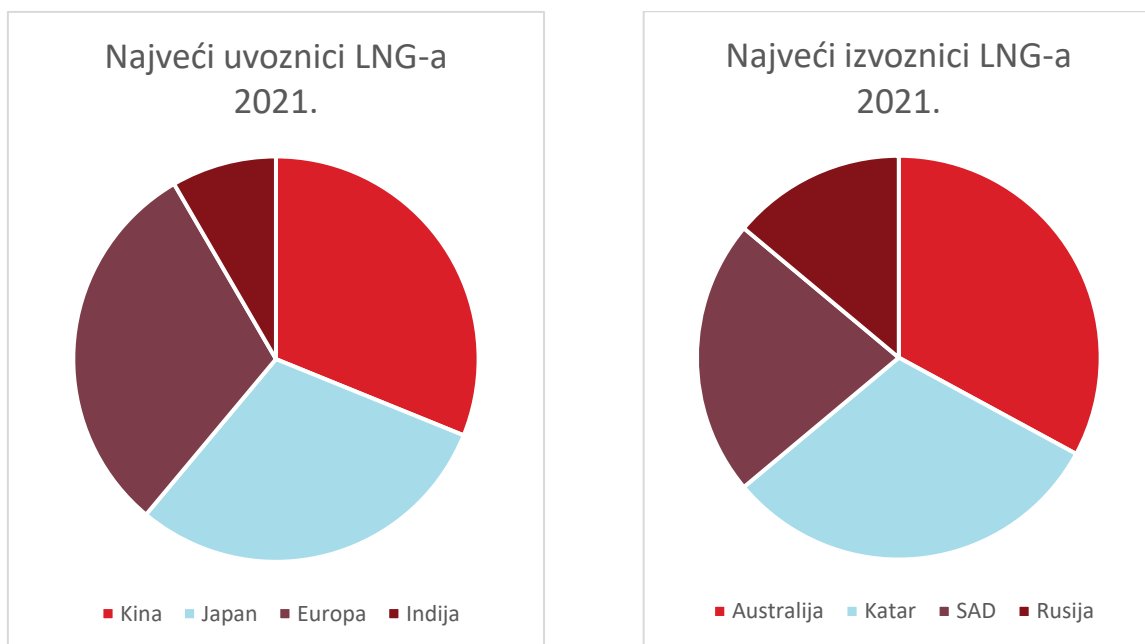
Izvor: <https://shop.witherbys.com/igc-code-international-code-for-the-construction-and-equipment-of-ships-carrying-liquefied-gases-in-bulk-2016-edition-ia104e/>

Međunarodna konvencija o sigurnosti ljudskih života na moru (SOLAS - International Convention for the Safety of Life at Sea) u svom sedmom poglavlju navodi zahtjeve vezane za opremu i konstrukciju brodova za prijevoz ukapljenih plinova, iz kojega je nastao i jedan

od najbitnijih pravilnika za ove brodove, IGC kodeks. *International Gas Carrier Code* se sastoji od 12 poglavlja u kojima su temeljito definirani zahtjevi koje ovi brodovi moraju zadovoljavati u pogledu same konstrukcije broda, njegove opreme, sustava tereta, protupožarne zaštite, zaštite okoliša, rukovanja samim teretom i postupaka u izvanrednim okolnostima.

3. PREGLED STANJA LNG TRŽIŠTA I FLOTE FSRU BRODOVA

Zbog razvoja tehnologije i povećanja broja stanovnika, predviđa se da će svijet trošiti i do 50% više energije u sljedeća dva desetljeća, pa LNG kao energent zbog svoje dostupnosti, relativno niske cijene u odnosu na druge energente i ekološke prihvatljivosti ostvaruje veliki porast potražnje iz godine u godinu, što zahtjeva i povećanje proizvodnje LNG i FSRU brodova koji su tema ovog rada. U 2021. godini prevezeno je ukupno 372.3 milijuna metara kubnih ukapljenog prirodnog plina, što je porast od 4.5% u odnosu na 2020. godinu.



Grafikoni 1 i 2: Najveći uvoznici i izvoznici LNG-a 2021. godine

Izvor: pripremio student prema podacima International Gas Union 2022 LNG Report

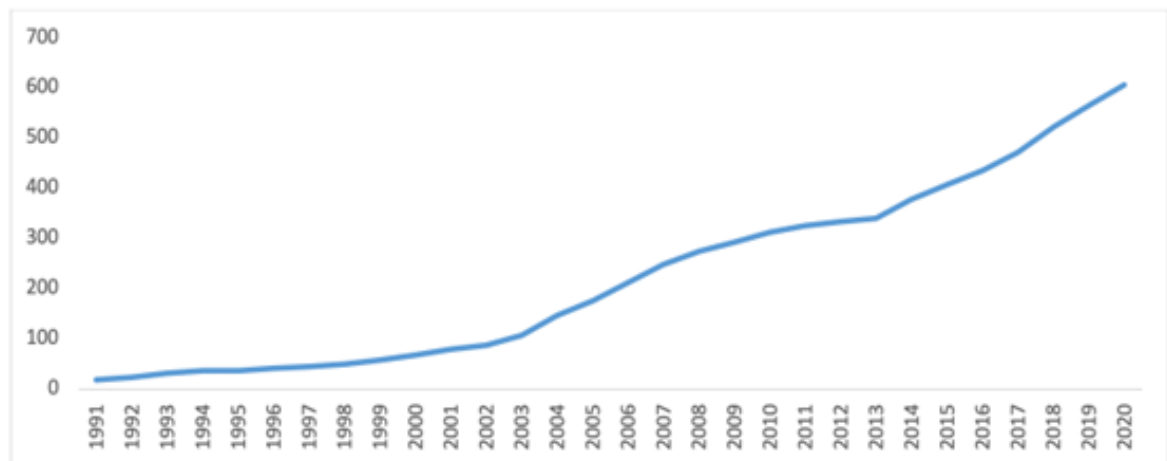
Prema gornjem grafikonu, najveći izvoznici prirodnog plina su Australija i Katar, a prate ih Sjedinjene Američke države i Rusija. Najveći uvoznici su Kina, Japan i Južna Koreja zbog svog ubrzanog tehnološkog razvoja i povećanja potrebe za energijom. Valja spomenuti da države koje više uvoze plin imaju veći broj postrojenja za uplinjavanje (eng. regas), dok one koje ga izvoze imaju manje regasifikacijske kapacitete.

U posljednjih 3 godine Europa bilježi značajan porast uvoza prirodnog plina jer želi ostvariti neovisnost od ruskog plinovoda. Hrvatska kao uvoznik LNG-a je 2021. znatno povećala svoje uvozne kapacitete izgradnjom FSRU terminala LNG Croatia na otoku Krku

i tako se plasirala na 39. mjesto među uvoznicima prirodnog plina. Valja istaknuti i sve veću potražnju za prirodnim plinom u afričkim zemljama. Još jedan od razloga povećanja potražnje za prirodnim plinom je svijest o zaštiti okoliša pa LNG zbog svoje čistoće ima ključnu ulogu u sve većem broju industrijskih grana. Potražnja za LNG-em već je prerasla potražnju za ugljenom, a predviđanja govore da će do 2050. uz obnovljive izvore energije premašiti i potražnju za naftom.

U travnju 2022. godine u službi je 641 brod za prijevoz ukapljenog plina od kojih 45 otpada na FSRU brodove (Floating Storage Regasification Unit). Sa 64 novogradnje od početka 2021. do travnja 2022., svjetska flota LNG brodova bilježi porast od 10% od početka 2021. godine. Budući da su predviđanja da potražnja sa ukapljenim prirodnim plinom se neće umanjiti, tako se i potražnja za brodovima ove vrste ne umanjuje, pa do travnja 2022. godine imamo 216 narudžbi za nove brodove čija se isporuka očekuje u idućih 10 godina.

Zbog sve striktnijih ekoloških propisa, sve više brodova se prebacuje na LNG kao pogonsko gorivo pa dolazi do povećanja potražnje za LNG bunker brodovima. Trenutno u svijetu postoje 30 LNG bunker brodova, a do kraja 2023. se očekuje isporuka još njih 16. U sljedećem grafikonu prikazan je broj brodova za prijevoz ukapljenog prirodnog plina u zadnjih 30 godina.



Slika 3: Trend porasta broja LNG tankera

Izvor: Gas Exporting Countries Forum (GECF)

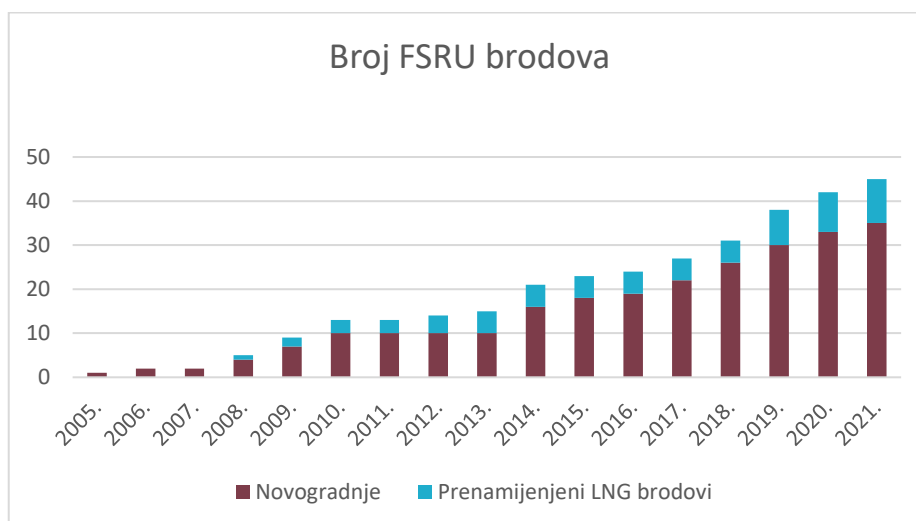
3.1 FSRU TRŽIŠTE

Na današnjem tržištu postoji 45 FSRU brodova - terminala raspoređenih diljem svijeta. Prvih nekoliko godina od predstavljanja prvog FSRU terminala 2005., tržište se sastojalo od mješavine novo izgrađenih FSRU brodova i brodova za prijevoz LNG-a starosti 15 do 30 godina, prenamijenjenih u FSRU terminale. Nakon toga, kako su rasle veličine tankova na LNG brodovima, tako se je počelo sa izgradnjom novih FSRU terminala sa približno istim kapacitetom tankova kao i brodovi za prijevoz ukapljenih plinova.

2005. godine američka energetska kompanija Exceleerate energy naručuje prvu FSRU novogradnju od južnokorejskog brodogradilišta Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME) i tako je brod Excelsior, ukupnog kapaciteta 138 000 m³ te regasifikacijskog kapaciteta od 690 mmscf/d (milijuna kubičnih stopa po danu) postao prvi odobalni FSRU terminal za regasifikaciju LNG-a u SAD-u.

Danas, uz *Exceleerate Energy* neke od većih kompanija su Mitsui O.S.K. Lines (MOL), Golar LNG, Hoegh LNG i BW LNG. Trenutno najveći FSRU brod je MOL Challenger japanske kompanije MOL, dužine 345 metara, kapaciteta 263.000 m³ i kapaciteta za regasifikaciju od 800 milijuna kubičnih stopa po danu.

Početkom prošle godine je zbog sve veće potražnje Japana za prirodnim plinom prebačen iz Dortyola u Turskoj u Hong Kong gdje sada izvodi svoju eksploataciju. U sljedećem grafikonu prikazan je rast broja FSRU brodova uz usporedbu broja novoizgrađenih i prenamijenjenih postojećih LNG brodova.



Grafikon 3: Prikaz broja FSRU brodova i usporedba broja novogradnji i prenamijenjenih LNG brodova

Izvor: Izradio student prema „MOL FSRU Deployment Basic information and market outlook“

4. FSRU TEHNOLOGIJA

Plutajuća jedinica za skladištenje i regasifikaciju - FSRU, je brod posebno dizajniran i opremljen kako bi mogao izvoditi regasifikaciju tj. uplinjavanje prirodnog plina. Od ranije je poznato da je LNG u prirodi u plinovitom agregatnom stanju i zbog potreba skladištenja i transporta mu smanjujemo volumen ukapljivanjem i to za čak 600 puta. Nakon ukapljivanja, plin se krca na brod u ukapljenom stanju i prevozi do luke odredišta, gdje se iskrcava na kopneni terminal ili FSRU brod radi ponovnog uplinjavanja i otpreme prema skladištima i kasnije prema daljnjim korisnicima.

FSRU brodovi izvode istu djelatnost kao i kopneni terminal za prihvatanje LNG-a, međutim zbog ograničenosti prostorom ili ekonomske isplativosti mogu predstavljati bolje rješenje od kopnenog terminala. Dolaskom LNG broda na terminal, započinje proces prekrcaja tereta sa LNG broda na FSRU, brod se veže jednom od metoda priveza na FSRU terminal i prekrcavanjem sa broda na brod, takozvanim *ship to ship* transferom izvodi prekrcaj ukapljenog plina u tankove na FSRU brodu.

Sam prekrcaj plina se izvodi pomoću prekrcajnih ruku LNG broda koji iskrcava plin, ili fiksnih ruku na pristanu, a same prekrcajne ruke mogu biti klasične izvedbe i fleksibilne cijevi. Kod *ship to ship* transfera, potrebno je posvetiti posebnu pažnju načinu priveza te pozicioniranju samih brodova zbog položaja prekrcajnih ruku. Ukapljeni plin tada odlazi u postrojenje za regasifikaciju i izvodi se uplinjavanje tj. dovođenje plina u njegovo prirodno agregatno stanje, ali više o tome u nastavku ovog rada.

Nakon uplinjavanja slijedi otprema prema kopnenim skladištima pomoću kopnenih prekrcajnih ruku ili fleksibilnih cijevi, a u slučaju da je FSRU u izvedbi odobalnog terminala onda se prekrcaj vrši preko prekrcajne plutače koja je pričvršćena za morsko dno. Kako sve više brodova koristi LNG kao pogonsko gorivo, još jedna prednost FSRU-a je ta što može izvoditi ukrcaj LNG kao goriva na same brodove odnosno *bunkering*. FSRU brodovi zbog svoje mobilnosti predstavljaju bolje rješenje za kompanije jer u slučaju nestanka potražnje za plinom na određenom području, brod se može odvezati i otploviti na drugu lokaciju i opet se baviti istom djelatnošću.

Također ako kompanija tako odluči brod može zaploviti i izvoditi klasičan prijevoz LNG-a. U raznim literaturama mogu se pronaći razni nazivi za FSRU tehnologiju, kao npr. LNG RV (regasification vessel), GIFT (gas import floating terminal) i rjeđe *Energy – bridge*. Postoji više izvedbi FSRU brodova, brod za prijevoz LNG-a s ugrađenim postrojenjem za

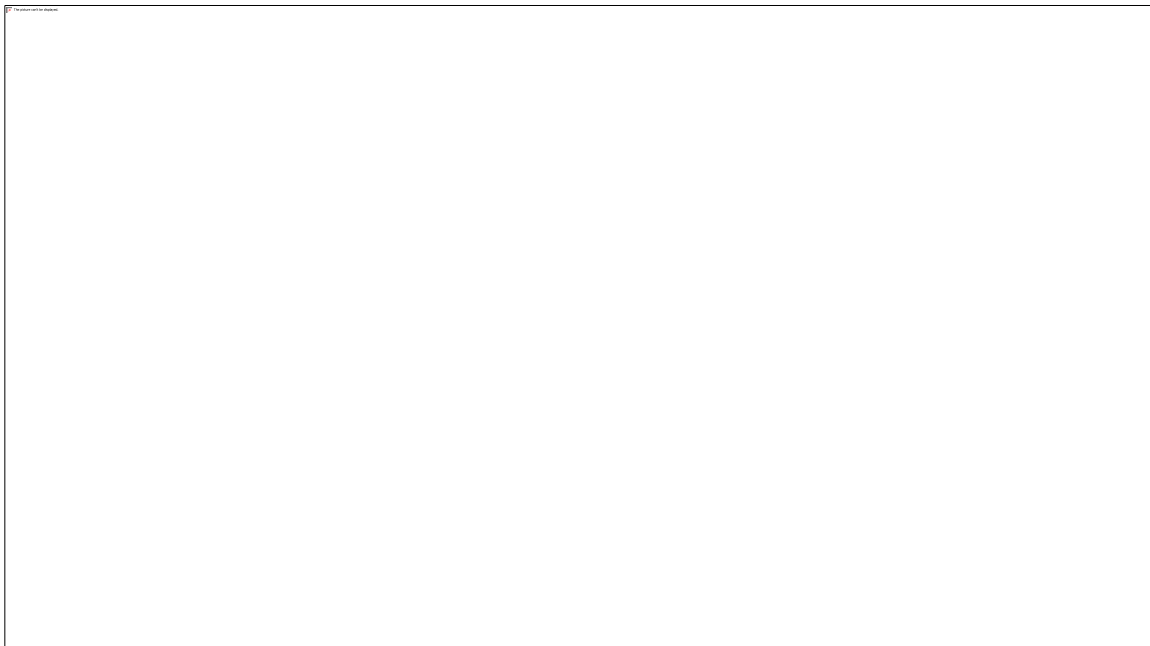
regasifikaciju kao najuobičajenija izvedba, fiksna instalacija bez mogućnosti ostvarivanja poriva i kao mobilna instalacija sa mogućnošću ostvarenja poriva svojim strojevima.

4.1 KLASIFIKACIJA FSRU BRODOVA

Osim dodatnih propisa u pogledu postrojenja za regasifikaciju, ove jedinice podliježu i svim drugim propisima vezanim za konstrukciju, stabilnost i samu izvedbu brodova, kao i mnoštvu međunarodnih sigurnosnih standarda i propisa vezanih za preglede i dokovanje samog broda. Također uz sve ove navedene propise, FSRU brodovi podliježu i lokalnim i nacionalnim standardima i propisima, ovisno o mjestu državi u kojoj vrše eksploataciju. FSRU brodovi se kvalificiraju u 2 vrste:

- kao brodovi sa svojim pogonom i
- kao odobalne jedinice (offshore).

Ako je riječ o odobalnim (offshore) terminalima, mogu se podijeliti na mobilne (s mogućnošću poriva) i fiksne (bez mogućnosti poriva). Zbog svoje mobilnosti i mogućnosti promijene mjesta eksploatacije samog broda, na tržištu prevladavaju mobilni odobalni terminali. Upravo ranije spomenuti FSRU brod MOL Challenger je u funkciji odobalnog (offshore) terminala u Hong Kongu.



Slika 4: FSRU MOL Challenger

Izvor: <https://www.mol-service.com/case/mol-fsru-challenger>

FSRU brodovi, kao i klasični brodovi za prijevoz ukapljenog plina moraju udovoljavati SOLAS, MARPOL i IGC Code konvencijama koje je izdala Međunarodna pomorska organizacija (IMO). Moraju posjedovati razne važeće svjedodžbe i dokumentaciju u skladu sa međunarodnim konvencijama, izdanim od odgovarajućih klasifikacijskih društava i vlasti države čiju zastavu brod vije. Uz sve ove propise, moraju dodatno udovoljavati i propisima navedenim u priručniku o izgradnji, konstrukciji i opremanju regasifikacijskih postrojenja (Guide for building and classing of regasification vessels), kao i uputama izdanim od Međunarodnog udruženja operatora tankera za plinove i terminala (SIGTTO - Society of International Gas Tanker and Terminal Operators).

5. PREKRAJ UKAPLJENOG PLINA SA LNG BRODA NA FSRU

Kada je riječ o samom prekraju plina sa LNG broda na FSRU brod, prakticira se takozvani *ship to ship* transfer, odnosno prekraaj sa broda na brod, osim u *cross jetty* i *double - berth* metodi priveza. Kako brod za LNG zapravo iskrcava svoj teret prema terminalu, koriste se pumpe tereta i prekrajne linije LNG broda. Treba posebnu pažnju posvetiti samom pozicioniranju broda zbog pozicije samih manifolda, a i da bi izbjegli dodatna opterećenja na prekrajnim linijama i njihovo puknuće ili odspajanje.

Budući da se LNG prevozi i iskrcava u tekućem stanju i pri jako niskoj temperaturi, dolazi do smrzavanja teretnih ruku pa uz samo pozicioniranje, brodovi se moraju jako dobro osigurati na vezu kako ne bi došlo do njihovog pomicanja. S obzirom na položaj broda u odnosu na terminal postoje sljedeće metode

5.1. METODA S KORIŠTENJEM PRISTANA (JETTY TYPE)

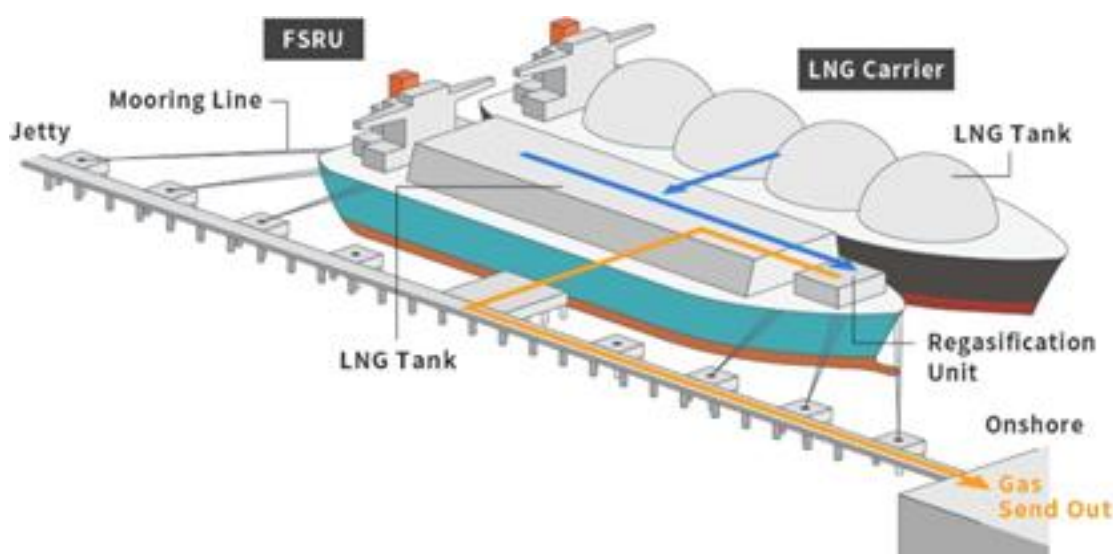
Jetty type je najuobičajenija metoda priveza na terminalima za LNG. Radi se o pristaništu na koje je vezan FSRU brod. Nadalje razlikujemo *Cross jetty* metodu gdje je FSRU brod vezan za pristan, a sa druge strane pristana dolazi LNG brod pa se sam pristan nalazi između LNG tankera i FSRU-a. LNG tanker pomoću teretnih linija na pristanu iskrcava plin prema tankovima FSRU broda, gdje plin odlazi u regasifikacijsko postrojenje i onda nazad prema pristanu te kasnije prema kopnenim skladištima.



Slika 5: Cross jetty mooring

Izvor: <https://accelerateenergy.com/projects/guanabara-bay-lng-import-terminal/>

Postoji i takozvana *double/tandem berth* izvedba gdje se LNG brod veže ispred ili iza FSRU broda i uz pomoć cijevi na pristanu iskrcava plin prema FSRU brodu. U *Single jetty* metodi, radi se o *ship to ship* transferu, LNG brod se privezuje na FSRU brod i pomoću svojih teretnih linija iskrcava plin u tankove FSRU broda, a daljnja procedura je ista kao i kod *Cross jetty* metode. Jedina mana *jetty* tipova priveza je da u slučaju lošeg vremena FSRU i LNG brod se odvezuju i privremeno napuštaju pristan kako bi izbjegli oštećenja samih brodova i terminala.



Slika 6: Single jetty mooring

Izvor: MOL FSRU fundamental information whitepaper

5.2. METODA PRIVEZA U JEDNOJ TOČKI (SINGLE POINT MOORING TYPE)

Ova metoda priveza i iskrcaja se koristi kod odobalnih (offshore) terminala, riječ je o privezu te iskrcaju preko plutače ili tornja. Naime FSRU brod je usidren za morsko dno preko plutače, što mu omogućava rotaciju oko plutače pri djelovanju neke vanjske sile i samostanost FSRU broda na mjestu priveza u slučaju nevremena.

Kad je riječ u plutači, brod se može vezati za plutaču i teretnim rukama koje se nalaze izvan broda biti spojen s plutačom (kupolom) i iskrcavati plin (External turret type). Postoji varijanta gdje je brod posebno opremljen za iskrcaj preko plutače pa ima ugrađen toranj unutar svog trupa s kojim doslovno nasjeda na samu plutaču (kupolu) i tako izvodi prekrcaj plina (Internal turret type). U oba slučaja je plutača osigurana lancima za morsko dno. Kada

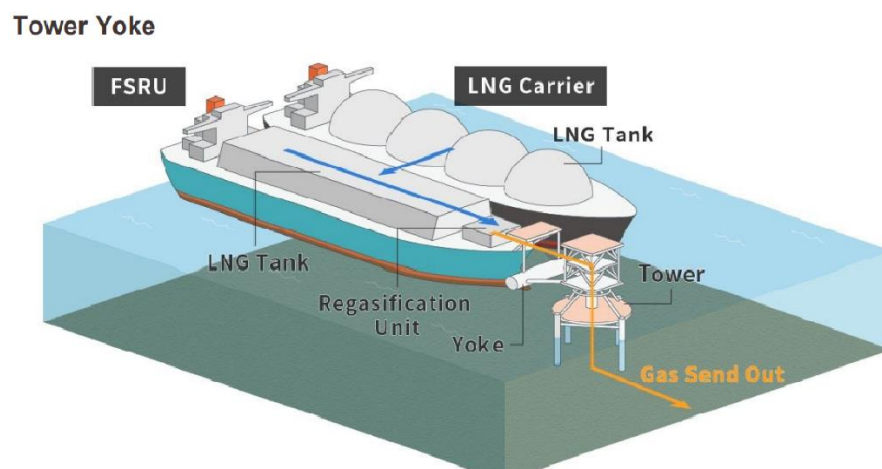
se iskrcaj izvodi preko tornja, sama konstrukcija tornja je stupovima uhvaćena za morsko dno. Ova metoda se koristi na malim dubinama (20-45 metara) gdje plutače ne bi bile ostvarile dovoljno snagu zadržavanja samog broda u mjestu.



Slika 7: Internal turret mooring

Izvor: MOL FSRU fundamental information whitepaper

Kod ove metode brodovi moraju biti specijalno opremljeni tornjem preko kojeg se spajaju na toranj u moru, iz kojeg kasnije idu teretne ruke prema skladištima. Ova metoda se na engleskom naziva Yoke type mooring jer se brod povezuje za toranj pomoću fiksnog jarbola tj. Buma.

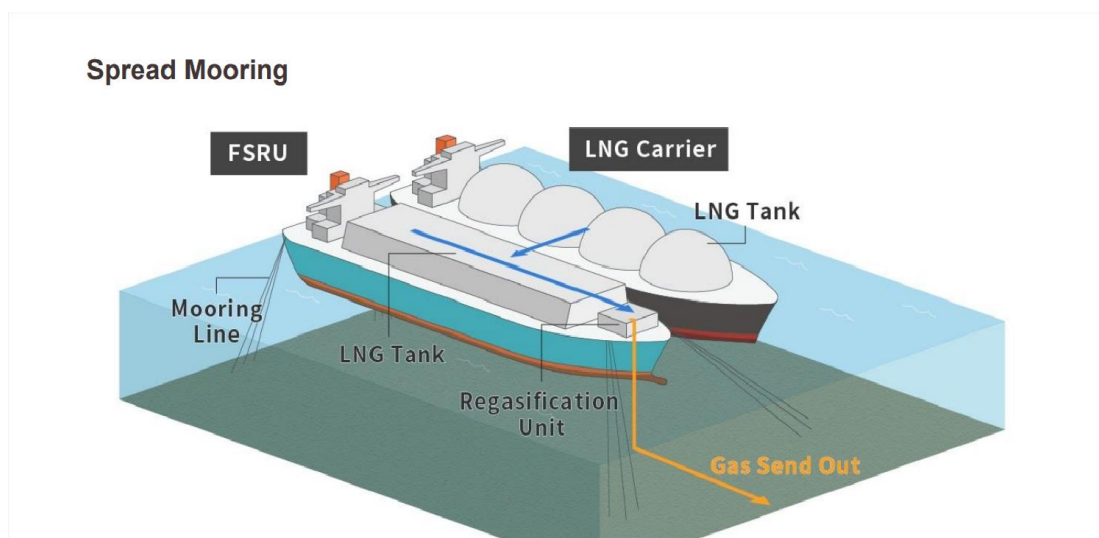


Slika 8: Tower Yoke mooring type

Izvor: MOL FSRU Fundamental information whitepaper

5.3. METODA PRIVEZA U VIŠE TOČAKA (SPREAD MOORING TYPE)

Kod ovog tipa priveza, FSRU brod je povezan direktno s morskim dnom pomoću većeg broja priveznih linija kombiniranih od konopa i lanaca. Spomenute linije se postavljaju na pramac i krmu broda. Ova metoda priveza se koristi za osiguravanje FSRU broda dalje od obale ili na obalama gdje nema izgrađene infrastrukture vezova i postrojenja. Međutim, zbog veće udaljenosti samog veza od obale, ova metoda priveza je osjetljiva na vanjske uvjete (vjetar , struje i valove) i koristi se uglavnom na područjima gdje prevladavaju mirni vremenski uvjeti. I u ovom tipu priveza se radi o STS transferu.



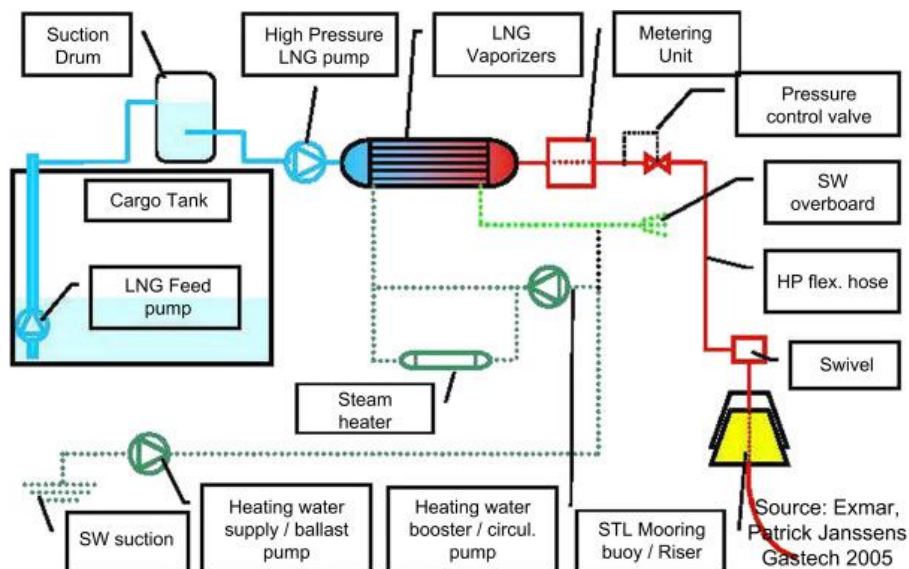
Slika 9: Spread mooring type

Izvor: MOL FSRU Fundamental information whitepaper

6. SUSTAV ZA REGASIFIKACIJU

Regasifikacija ili uplinjavanje prirodnog plina je proces kojim se ukapljeni plin pretvara nazad u svoje prirodno, plinovito stanje. Uplinjavanje se postiže zagrijavanjem ukapljenog plina. Regasifikacijski (REGAS) sustav je vitalan funkcionalni dio svakog FSRU broda. U sljedećim odlomcima objašnjavati će se sam proces regasifikacije i analizirati će se svi ključni dijelovi regasifikacijskog sustava.

Nakon prekraja, LNG se nalazi u tankovima tereta FSRU broda i iz tankova se dobavnim pumpama (LNG feed pump) šalje u dobavni cjevovod (feed line).



Slika 10: Shematski prikaz procesa regasifikacije

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-presentation-of-regasification-process-4_fig2_329036928

6.1 LNG DOBAVNE PUMPE I CJEVOVODI

U svakom tanku tereta je smještena dobavna pumpa tereta (feed pump). To su ustvari jednostupanjske centrifugalne pumpe pogonjene elektromotorom koji se nalazi na palubi iznad samog tanka. Ove pumpe imaju dvije funkcije, prva im je da guraju plin prema tzv. visokotlačnim *booster* pumpama, a druga da slučaju neispravnosti glavnih pumpi tereta ih

koristimo za iskrcaj samog tereta. Smještene su na posebno dizajniranim vodilicama u tankovima tereta na čijem se dnu nalazi usisni ventil sa pripadajućim mrežnim filterom. U slučaju kvara ili inspekcije, pumpe se mogu izvaditi iz tanka kroz poseban otvor na vrhu tanka i to bez ulaska u sam tank.

Dobavne pumpe su spojene na dobavni cjevovod (feed line) i to preko stalnih ili privremenih spojeva koji su izvedeni preko mostića. Dobavni cjevovod se proteže iz tankova tereta te onda ulazi u glavni cjevovod koji dovodi plin prema regasifikacijskom postrojenju.



Slika 11: LNG centrifugalna dobavna pumpa

Izvor: <https://www.diesलगasturbine.com/news/pump-technology-for-lng/8011577.article>

6.2 USISNI BUBANJ

Kao što je ranije spomenuto, dobavna pumpa šalje ukapljeni plin dobavnim cjevovodom prema usisnom bubnju (suction drum). Usisni bubanj je u stvari mali tank koji služi kao kolektor plina i on osigurava konstantan, optimalan dotok LNG-a prema regasifikacijskom postrojenju, odnosno visokotlačnoj pumpi. Spojeni su na sustav povrata plinskih para pa služe kao sakupljač isparenog plina (boil – off gas) koji se vraća u tankove. U usisnim bubnjevima se zbog održavanja temperature plina održava nešto veći tlak u odnosu na same tankove, točnije 3 bara. Time se postiže bolji rad samih visokotlačnih pumpi zbog gustoće pothlađenog plina.

6.3 VISOKOTLAČNE (HIGH PRESSURE) LNG PUMPE

Povećani tlak u usisnom bubnju tjera ukapljeni plin prema visokotlačnoj pumpi. Visokotlačne pumpe su neovisne pumpe što znači da svaki LNG isparivač ima svoju pumpu i su neovisne jedna o drugoj. Može se zaključiti da se radi o neovisnim sustavima jer svaki tank ima svoj sustav pumpi i cjevovoda. Sam regasifikacijski sustav je opremljen sa istim brojem visokotlačnih pumpi te LNG isparivača, najčešće 4 do 8. U samom isparivaču dolazi do promijene agregatnog stanja plina što za posljedicu ima povećanje tlaka u isparivaču te kako bi se taj pritisak savladao, sama visokotlačna pumpa radi pod velikim tlakom i to od stotinjak bara, što je mnogo više od kopnenih terminala.

Pumpe su više stupanjske uronjene izvedbe, a dizajnirane su da ne mogu normalno raditi kada prevelika ili premala količina tereta prolazi kroz njih. Iz tog razloga su opremljene kontrolnim sustavima i sensorima protoka koji u slučaju prevelike ili nedovoljne količine tereta gase pumpu te na taj način je čuvaju od kvarova.

Minimalno radno opterećenje pumpe da bi pumpa normalno funkcionirala iznosi približno 40% ukupnog dozvoljenog radnog opterećenja pumpe. Kao nusproizvod svog rada pumpe stvaraju određenu količinu topline, što za posljedicu ima da jedan manji dio ukapljenog plina ispari i pređe u plinovito stanje (boil-off gas) koji se pomoću sustava odušnih ventila vraća nazad u usisni bubanj.

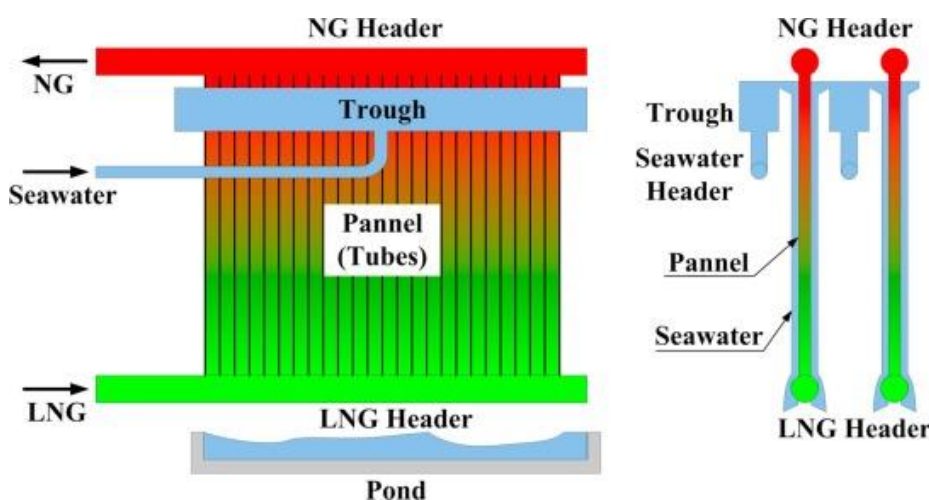
6.4 LNG ISPARIVAČ (VAPORIZER/HEAT EXCHANGER)

LNG isparivač služi kako bi se ukapljeni plin doveo u plinovito stanje. To se postiže grijanjem ukapljenog plina odnosno izmjenjivanjem topline između medija koji se koristi za zagrijavanje samog plina pa zato se ovi uređaji nazivaju još i izmjenjivači topline (heat exchanger). Mediji mogu biti u direktnom kontaktu ili međusobno razdvojeni pregradama. Ovisno o samim medijima kojima se izvodi izmjena topline postoje 3 vrste LNG isparivača: ORV (Open Rack Vaporizer), IFV (Intermediate Fluid type Vaporizer) i SCV (Submerged Combustion Vaporizer).

6.4.1 Open Rack Vaporizer

Open Rack Vaporizer, nadalje ORV je tip isparivača gdje LNG koji teče u cijevima za izmjenu topline (heat transfer tubes) izmjenjuje toplinu sa morskom vodom koja se nalazi

izvan cijevi za izmjenu topline. Na taj način se postiže njegovo isparavanje i pretvaranje u plinovito stanje. Ukapljeni plin ulazi u isparivač kroz ulaznu mlaznicu i ulazi u ulazni kolektor koji se nalazi pri dnu isparivača, a zatim teče prema tzv. panelima izrađenim od aluminijske cijevi. Unutar svakog panela se nalazi oko stotinjak cijevi za izmjenu topline kroz koje teče ukapljeni plin, i to od dolje prema gore. Sami paneli su uronjeni u morsku vodu koja protječe od gore prema dolje i na taj način postiže izmjenu topline. Na kraju samog procesa dobiva se plin normalne temperature koji izlazi iz isparivača preko izlazne mlaznice, ide u izlazni kolektor do samog izlaznog manifolda.



Slika 12: Open rack vaporizer

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431117353978>

U ovom tipu isparivača su morska voda i sami paneli s cijevima u izravnom kontaktu pa da bi se izbjeglo korodiranje panela zbog utjecaja slane morske vode paneli se pri proizvodnji špricaju i oblažu mješavinom aluminijske i cinkove. Cink je funkciji žrtvovane anode i na taj način štiti panele od korozije. Cijevi za izmjenu topline su također izrađene od aluminijske jer se pokazalo da aluminij ima odlične karakteristike pri niskim temperaturama kao na primjer čvrstoća, otpornost na sužavanje prilikom hlađenja i dobra toplinska provodljivost.

Prednosti ovog isparivača su to što koriste morsku vodu kao izvor topline, a nje ima u velikim količinama i jeftina je. Također, lako se može upravljati regasifikacijskim kapacitetom isparivača, dodavanjem ili oduzimanjem panela. Postoje tzv. isparivači velikih kapaciteta od 300 tona po satu naviše.

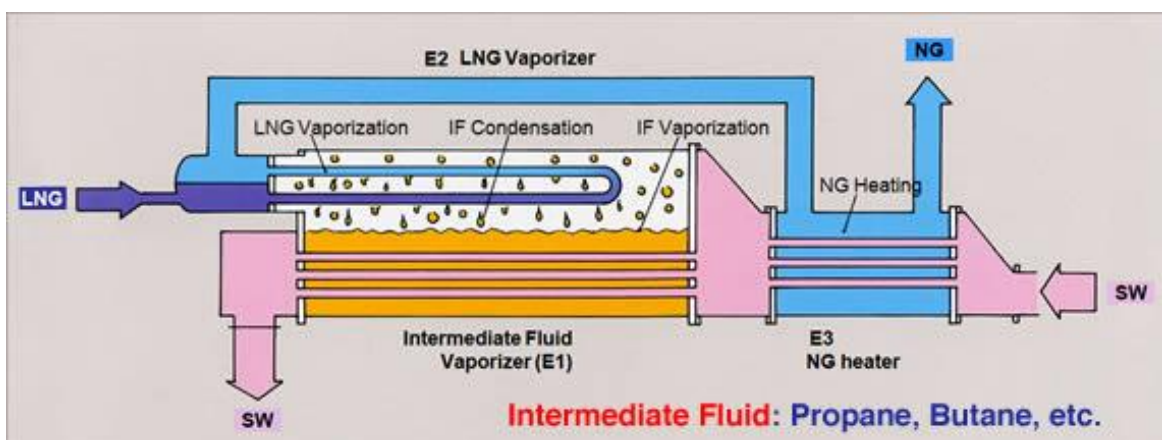
6.4.2 Intermediate Fluid vaporizer

IFV isparivač koristi tekući propan, butan ili glikol kao međutekućinu pri zagrijavanju LNG-a. U procesu uplinjavanja dolazi do 3 izmjene topline, pa se ovaj uređaj može podijeliti na 3 izmjenjivača topline. Izmjenjivači topline su kao i kod ORV isparivača izvedeni kao cijevi u plaštu. Sustav radi tako da morska voda grije tekući propan, butan ili glikol u prvom procesu izmjene topline.

Propan isparava i izdiže se prema cijevima u kojima se nalazi LNG, predaje toplinu LNG-u i na taj način postiže isparavanje LNG-a. Kako je LNG u cijevima sada u plinovitom stanju, dolazi do kondenzacije plinovitog propana na samoj površini cijevi, propan tada prelazi u tekuće stanje i pada na dno plašta. Nakon regasifikacije, LNG odlazi u 3. izmjenjivač topline gdje se zagrijava pomoću morske vode i izlazi van iz isparivača. To je ujedno i posljednji proces izmjene topline od ukupno 3:

- između morske vode i propana,
- između propana i LNG-a, i
- između prirodnog plina i morske vode.

U trećem izmjenjivaču topline morska voda protječe kroz cijevi koje su napravljene od titana kako bi se spriječila korozija. Prednosti ovog tipa isparivača bi bile te da se i dalje može koristiti morska voda, da korištenjem među tekućine se sprječava smrzavanje morske vode i oštećenje samog isparivača. Ohlađena morska voda i propan nakon izmjene topline mogu koristiti kao hladni izvori energije. Glavni nedostatak je nešto skuplja i kompliciranija izrada te korištenje izrazito zapaljivog propana ili butana.

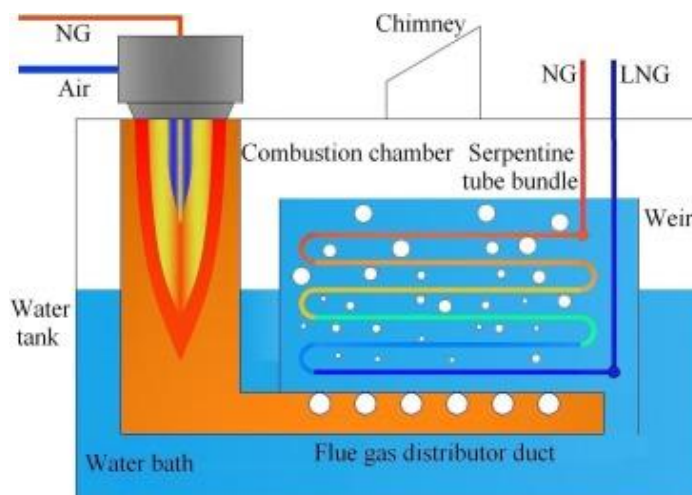


Slika 13: Intermediate fluid vaporizer

Izvor: <https://www.kobelco.co.jp/english/products/ecmachinery/lng/ifv.html>

6.4.3. Submerged Combustion Vaporizer

SCV isparivači se sastoje od potopljenog, podvodnog plamenika/grijača koji spaljuje plin i tako proizvodi toplinu kojom grije LNG i tako ga pretvara u plin. Isparivač je također opremljen spremnikom za LNG koje koristi kao gorivo. Cijevima za prijenos topline u kojima je LNG, ventilatorom za usis zraka potrebnog za izgaranje i uređaj za kontrolu dovoda goriva.



Slika 14: Submerged Combustion Vaporizer

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431120331422>

Cijevi za izmjenu topline i podvodni plamenik/grijač su potopljeni u vodi. Vodu zagrijava plamenik i u nju ispušta ispušne plinove kao nusproizvod izgaranja. Zbog latentne topline, voda se zagrijava i isparava te na taj način grije LNG u snopu cijevi za izmjenu topline i pretvara ga u plin koji kasnije pri normalnoj temperaturi izlazi van iz isparivača. Neke odlike ovih isparivača su da su oni manjih dimenzija, jednostavniji za izraditi jeftiniji od ORV i IFV isparivača jer koriste plin za izgaranje i grijanje cijevi pa ne trebaju imati dio sustava zaslužen za dobavu te otpremu morske vode. Nedostatak ovog tipa isparivača je da otprilike 1.5% isparenog LNG-a odlazi nazad u isparivač i koristi se kao gorivo za grijač.

6.5. REUKAPLJIVAČ (BOIL – OFF GAS RECONDENSER)

Budući da je prirodni plin u prirodi u plinovitom agregatnom stanju, nakon procesa ukapljivanja on se želi vratiti u plinovito stanje. Tijekom eksploatacije, plin u tankovima tereta konstantno isparava, pa kako bi se izbjegli preveliki gubitci samog tereta taj ispareni

plin (boil – off gas) odlazi u reukapljivač gdje se ponovno ukapljuje i vraća u tankove tereta. Kada reukapljivača ne bi bilo, ispareni plin bi se morao ispuštati u atmosferu ili spaljivati jer bi u protivnom uzrokovao povećanje tlaka u tanku i potencijalno oštećenje samog tanka. Danas sve više LNG tankera koristi upravo prirodni plin kao pogonsko gorivo pa reukapljivač ima ključnu ulogu u tom procesu jer šalje ispareni plin prema pumpama koje ga guraju prema strojarnici.

Na taj način su se gubitci u ekonomskom pogledu sveli na minimum. Kada je riječ o FSRU brodovima, reukapljivači imaju još jednu ključnu ulogu, a to je da se u njima zadržava određena rezervna količina LNG -a koja se u slučaju manjka plina u visokotlačnoj pumpi šalje u samu pumpu i na taj način sprječava gašenje i potencijalne kvarove na samoj pumpi. Reukapljivač radi na način da LD (low- duty) kompresori šalju plin što isparava iz tankova u reukapljivač.

Reukapljivač je tada ispunjen plinom koji se nalazi na samom vrhu gdje se nalaze i mlaznice koje špricaju već ledeno hladan ukapljeni plin pod tlakom i na taj način ga hlade. Tlak se regulira preko automatskog nepovratnog ventila, a iznosi 4-5 bara. Senzori prate i razinu tekućine u reukapljivaču jer u slučaju dostizanja graničnih vrijednosti se cijeli sustav gasi.

6.6. SUSTAV ZA ZAGRIJAVANJE MORSKE VODE

Morska voda prije ulaska u LNG isparivač mora proći kroz sustav za zagrijavanje. Sustav se sastoji od pumpi morske vode i pripadajućih cjevovoda. Postoji sustav cjevovoda koji dovodi morsku vodu do LNG isparivača i drugi sustav koji nakon predaje topline vraća vodu nazad u more. Kako bi LNG isparivač normalno funkcionirao, temperatura morske vode mora biti oko 14°C.

U samom LNG isparivaču, zbog predaje topline morska voda se hladi i pri izlasku iz isparivača izgubi do 7-8°C. Maksimalna temperatura mora da bi pumpe normalno funkcionirale je oko 35°C. Kako bi se osigurao normalan rad isparivača i što manje ostataka u obliku sedimenata, morska voda mora biti pročišćena prije ulaska u isparivač. Filteri morske vode se postavljaju na samom usisu mora i na izlazu iz pumpe prije isparivača. Kao dodatnu mjeru predostrožnosti, morska voda prolazi kroz proces elektroklorinacije u kojem se pomoću djelovanja električne struje sol pretvara u oblik varikine i tako sprječava nastanak obraštanja i drugih morskih organizama (MGPS – marine growth prevention system)

Nakon procesa regasifikacije , prije isporuke na kopno, plin prolazi kroz sustav za mjerenje kvalitete i količine isporuke plina. Spomenuti sustav se sastoji od mjerača protoka i plinskog kromatografa. Nakon toga, plin biva isporučen na kopno pomoću kombinacije brodskih i kopnenih manipulativnih sredstava (ako se radi o obalnom terminalu). Kada je riječ o odobalnom (offshore) terminalu, tada se plin prekrcava pomoću jedne od ranije spomenutih metoda.



Slika 15: Ostaci u dobavnim cijevima morske vode bez korištenja MGPS sistema

Izvor: <https://cathodicme.com/mgps-systems/marine-growth-prevention-system/>

7. CRYOGENIC POWER REGASIFICATION SYSTEM

Kako bi se LNG uspješno regasificirao potrebno je uložiti velike količine energije za pogon cijelog sustava. Strojevi FSRU broda konstantno rade kako bi proizveli svu potrebnu energiju. Zbog sve strožih ekoloških regulacija i povećane ekološke svijesti, inženjeri su razvili sustav koji iskorištava tzv. hladnu energiju koja je nusproizvod izmjene topline između LNG-a i morske vode. Time su omogućili smanjenje potrošnje goriva i proizvodnje ugljičnog dioksida za čak 50%. Za razvitak sustava je zaslužna kompanija M.O.L. u suradnji sa južnokorejskim brodogradilištem DSME i sustav popularno nosi ime *Cryo-power regas system*.

7.1. PRINCIP RADA

Sustav radi na principu organskog Rankienovog ciklusa. Kao radni medij u sustavu se koristi rashladna tekućina. Kao što je ranije spomenuto, u isparivaču dolazi do izmjene topline između morske vode i LNG-a, što rezultira uplinjavanjem tj. podizanjem temperature LNG-a i istovremeno smanjenjem temperature morske vode.

U ovom procesu u isparivač također ulaze pare rashladne tekućine koje se zbog hladne morske vode hlade i kondenziraju. Nakon kondenzacije, rashladna tekućina odlazi u visokotlačnu pumpu rashladne tekućine koja ju gura pod visokim tlakom prema sljedećem isparivaču. U isparivaču dolazi do ponovne izmjene topline između rashladne tekućine pod velikim tlakom i morske vode i dolazi do djelomičnog isparavanja rashladne tekućine. Nakon isparivača, rashladna tekućina se nalazi u djelomično plinovitom, djelomično tekućem stanju što daje za rezultat veliki tlak.

Tako djelomično plinovita rashladna tekućina putuje cijevima pod tlakom i stvara veliku kinetičku energiju koja se koristi za pogon plinske turbine. Plinska turbina je u produžetku spojena na alternator/generator koji proizvodi velike količine električne energije. Ta električna energija se koristi za opskrbu broda energijom, ali i za pogon samog sustava regasifikacije. Ovaj sustav se koristi zadnjih tridesetak godina na kopnenim terminalima, ali ga se je izbjegavalo ugraditi na brodove zbog kompliciranosti sustava i nedostatka prostora. Međutim napretkom tehnologije DSME je uspio proizvesti i demonstrirati najnoviju inačicu ovog sustava koja je prihvaćena od svjetskih organizacija i uskoro se očekuje prva ugradnja na FSRU brod.

8. FSRU LNG BROD

Jedno od obilježja FSRU brodova je što osim prijevoza i skladištenja ukapljenog plina imaju i tu mogućnost regasifikacije tog istog tereta. Zahvaljujući svojim karakteristikama, FSRU brodovi omogućavaju dostupnost prirodnog plina skoro svim državama, te otvaranje novih tržišta. Infrastruktura FSRU brodova omogućuje državama s različitim geografskim karakteristikama opskrbu prirodnim plinom.

8.1. USPOREDBA IZGRADNJE NOVOG FSRU BRODA I PRENAMIJENE LNG TANKERA

Odgovor da li je bolje izgraditi novi FSRU brod ili prenamijeniti postojeći LNG tanker u regasifikacijsko postrojenje ovisi o potrebama samog klijenta i projekta. Također ovisi i o planiranim regasifikacijskim kapacitetima jer se za prenamjenu koriste LNG tankeri starosti 20 ili više godina, a poznato je da brodovi iz tog doba raspolažu znatno manjim kapacitetima samih tankova. Međutim najznačajniji faktor koji muči naručitelje je iznos troškova. Kada je riječ o početnom ulaganju, brodovlasnici se uglavnom odlučuju za prenamjenu postojećeg broda jer je jeftinije prenamijeniti i nadograditi već postojeći brod nego izgraditi novi.



Slika 16: LNG tanker Golar Viking, kasnije prenamijenjen u FSRU LNG Croatia

Izvor: <http://www.aukevisser.nl/supertankers/gas-1/id575.htm>

Pod nadogradnju se podrazumijeva ugradnja svih potrebnih sustava, a prvenstveno regasifikacijog sustava na LNG tanker. Međutim kada se stvari gledaju dugoročno, postoje određeni rizici u pogledu koliko će još prenamijenjeni brod moći izvršavati svoju funkciju i koliko će se još novca morati uložiti da bi mu se produžio životni vijek. Uzeći sve ove faktore u obzir, o tome izgraditi novi ili prenamijeniti postojeći brod ovisit će najviše o potrebama projekta za koji se brod planira, ali i o raspoloživim sredstvima naručitelja broda.



Slika 17:FSRU Independence, namjensko izgrađen FSRU brod

Izvor: <https://www.ship-technology.com/projects/independence-lng-floating-storage-regasification-unit-lng-fsru/>

8.2. LNG TERMINAL NA OTOKU KRKU I NJEGOVE KARAKTERISTIKE

LNG terminal na otoku Krku nalazi se u općini Omišalj, točnije na sjeverozapadnom dijelu samog otoka na rtu Zaglav. Početkom 2021. godine dolaskom prvog broda „Tristar Ruby“ na terminal i prekrcajem 143.000 m³ prirodnog plina terminal započinje sa svojim komercijalnim radom. Projekt samog terminala je od velikog strateškog značaja za Hrvatsku, ali i zemlje Europske unije u okviru ostvarenja novog pouzdanog dobavnog pravca plina i stvaranja neovisnosti od ruskog plina. Terminal raspolaže sa tehničkim kapacitetom od 2,9 milijarde kubičnih metara prirodnog plina godišnje i sastoji se od FSRU broda LNG Croatia i kopnenog dijela samog terminala.



Slika 18: LNG Terminal u Omišlju

Izvor: LNG Croatia – Misija i Vizija

Terminal može prihvatiti brodove za prijevoz LNG-a skladišnog kapaciteta od 3.500 do 265.000 m³ što znači da se Q-Max i Q- Flex brodovi, kao i manje brodice za opskrbu LNG-em mogu prihvatiti na terminal. Brzina prekrcaja prirodnog plina s LNG broda na FSRU je maksimalno 8.000 m³/h, a za vrijeme samog prekrcaja plina FSRU može uplinjavati pri maksimalnom kapacitetu uplinjavanja koji je jednak 338.000 m³/h, dok je minimalni kapacitet uplinjavanja tijekom prekrcaja 60.000 m³/h. U sljedećoj tablici su prikazane glavne tehničke karakteristike terminala.

Kapacitet brodova koji mogu pristati na terminal	Od 3.500 m ³ do 265.000 m ³
Ukupni skladišni kapacitet ukapljenog plina	140.206 m ³
Maksimalni/godišnji kapacitet uplinjavanja	338.000 m ³ /h, 2,9 milijardi m ³ /godišnje
Maksimalni kapacitet pretovara sa LNG tankera	8.000 m ³ /h
Nominalni kapacitet pretovara s terminala na brod	1.500 m ³ /h

Tablica 1: Glavne tehničke karakteristike terminala u Omišlju

Izvor: lng.hr/terminal/glavne_tehincke_karakteristike

8.2.1. Karakteristike broda FSRU LNG Croatia

FSRU brod LNG Croatia je primjer LNG tankera prenamijenjenog u FSRU brod. Radi se o LNG tankeru „Golar Viking“, izgrađenom 2005. godine u Hyundai Heavy Industries brodogradilištu u Južnoj Koreji. Brod je dugačak 280 metara, širok 43 metra, a tonaža mu iznosi 97.178 BT. Izvodio je svoju eksploataciju kao LNG tanker 15 godina i onda je 2020. prenamijenjen u FSRU brod.

Prilikom prenamijene, da bi regasifikacija uopće bila moguća na brod je ugrađena nova oprema u obliku dva modula za uplinjavanje, smještenim na pramcu broda. Osim navedena 2 modula za uplinjavanje, ugrađen je i sustav za proizvodnju električne energije koja napaja cijeli terminal, a smješten je na krmenom dijelu broda. Brod se sastoji od 4 tanka membranskog tipa za skladištenje LNG-a čiji su kapaciteti navedeni niže u tablici, sustava za regasifikaciju prirodnog plina, pripadajuće opreme za ukrcaj/iskrcaj LNG-a, brodske kompresornice i sustava za manipulaciju isparenim parama tereta (Boil-off gas), opreme za otpremu plina prema kopnenom dijelu terminala, strojarne i postrojenja za proizvodnju električne energije i ostalih postrojenja.



Slika 19: FSRU LNG Croatia

Izvor: <https://www.vesselfinder.com/vessels/LNG-CROATIA-IMO-9256767-MMSI-538006747>

Prekrcaj ukapljenog plina sa LNG tankera na FSRU se izvodi pomoću 4 kriogena crijeva kapaciteta 2000 m³ /h što daje ukupan prekrcajni kapacitet od 8.000 m³/h. Spomenuta crijeva je prije početka prekrcaja potrebno pothladiti i nakon prekrcaja postepeno zagrijavati. Brod je opremljen IFV isparivačem plina koji za među tekućinu koristi mješavinu vode i glikola, a detaljniji princip rada je objašnjen u jednom od ranijih poglavlja.

	Kapacitet u m ³ (98,5%)	Visina tereta u tanku(98,5%)
No.1 Cargo tank	24,507.3 m ³	26.63 m
No.2 Cargo tank	39,323.1 m ³	26.51 m
No.3 Cargo tank	39,328.5 m ³	26.51 m
No.4 Cargo tank	34,945.8 m ³	26.512 m
Total (98,5%)	137,400 m ³	

Tablica 2: Prikaz kapaciteta tankova tereta broda LNG Croatia

Izvor: Pripremio student prema Cargo Operating Manualu „LNG Croatia“

9. ZAKLJUČAK

FSRU brodovi su iznimne tehnološki napredne jedinice što se da zaključiti s obzirom na sve opisane sustave koji se nalaze na samoj jedinici, a koje su povezane u jednu funkcionalnu cjelinu. Primarna funkcija FSRU-a je uplinjavanje LNG-a te otprema prirodnog plina u plinovitom stanju prema priključnom plinovodu odakle se otprema u distribucijski sustav. Pored primarne funkcije, FSRU nudi mogućnost funkcioniranja kao ukrcajni terminal preko kojeg će se LNG ukrcevati na manje brodove za razvoz te bunker brodove koji će dalje prekrcevati LNG na brodove koji LNG koriste kao pogonsko gorivo.

Uz to, FSRU brodovi nude mogućnost generiranja električne energije kojom se vrši opskrba svih sustava FSRU broda, kao i sustava na kopnenom dijelu terminala, baš kao što je slučaj sa terminalom na otoku Krku gdje FSRU brod „LNG Croatia“ posjeduje postrojenje za generaciju električne energije koje se nalazi po krmi broda.

U pogledu konstrukcije i opremanja FSRU brodova može se reći da je IGC kodeks naj mjerodavniji, kako za brodove za prijevoz ukapljenih plinova, a tako i FSRU brodova. „FSRU brodovi su podložni mnogobrojnim inspekcijama koje su učestalije nego na ostalim vrstama brodova“. Razvoj FSRU brodova ima strelovitu uzlaznu putanju od kad je zabilježena prva instalacija FSRU broda. FSRU brodovi su iznimno dobro prihvaćeni od samih početaka, a tome u prilog ide podatak da je od prvog FSRU broda prošlo približno 20 godina, a danas je ukupno 45 FSRU broda prema zadnjim podacima kompanije „Statista“ koja predstavlja vodećeg pružatelja podataka o tržištu i potrošačima.

FSRU brodovi nude značajnu fleksibilnost što predstavlja značajan faktor pri odabiru solucije, dakle FSRU nudi mogućnost premještaja u skladu sa zahtjevima tržišta te pored toga nudi mogućnost klasičnog transporta LNG-a i to mu daje dvostruku funkciju te mu povećava vrijednost, dok su kopneni terminali fiksni i ta mogućnost im je uskraćena, a samim time se vežu i novčani gubitci. Bilo kakva promjena na tržištu uvoza LNG-a ima direktan utjecaj na tržište FSRU brodova i ta dva tržišta su veoma povezana.

Velika je potražnja za LNG brodovima te su knjige narudžbi brodogradilišta ispunjene, a sve to zbog znatne potražnje za LNG-om zemalja u Aziji. Terminal na otoku Krku odnosno sam projekt izgradnje je stavljen na listu europskih projekata od zajedničkog interesa zbog velike važnosti za Europu odnosno Europsku Uniju, a iznimno za zemlje jugoistočne i srednje Europe koje su terminalom dobile novi izvor dobave plina. FSRU brod „LNG Croatia“ je prvotno bio konvencionalan LNG brod tvrtke Golar Power Limited te se

napravila konverzija u FSRU brod.. Kapacitet FSRU broda „LNG Croatia“ je 137.400 m^3 , dok je maksimalni kapacitet uplinjavanja LNG-a $300.000\text{ m}^3 /h$. Kapacitet uplinjavanja je 2,6 milijardi m^3 godišnje. „LNG Croatia“ je opremljen najmodernijim sustavima u pogledu manipulacije teretom i otparkom plina, zaštite okoliša te sigurnosti. Samim time je ispunjen cilj adekvatnog funkcioniranja terminala za LNG bez ugrožavanja okoliša te lokalne zajednice koja se protivila izgradnji plutajućeg terminala. Plutajući terminal na otoku Krku zasigurno predstavlja jedan od, ako ne i najvažniji energetski projekt Republike Hrvatske.

LITERATURA

1. Internetski izvori

- <https://www.mol-service.com/service/fsru>
- <https://www.econnectenergy.com/articles/how-does-regasification-of-lng-work>
- <https://lng.hr/terminal/>
- <https://www.mol-service.com/case/mol-fsru-challenger>
- 2021 WORLD LNG REPORT, International Gas Union (IGU), Barcelona, 2021., <https://www.igu.org/resources/world-lng-report-2021/>
- Misija i vizija, <https://lng.hr/o-nama/>

2. Ostala literatura

- THE OXFORD INSTITUTE FOR ENERGY STUDIES – The outlook for Floating Storage and Reasification Units (FSRU), July 2017.
- MOL FSRU Fundamental information book – basic information on FSRU deployment
- Stručni rad, Plutajući LNG – terminal: Pregled osnovnih tehničkih problema radi sigurnog osnivanja, instalacije, eksploatacije i održavanja, autori: Mirela Zalar, mag.ing.doc.dr.sc. Nikola Vladimir
- Conference publication by Department of Engineering Sciences in Mechanical and Environmental field of Constanta Maritime University in Romania: a new consideration about floating storage and regasification units for LNG, June 2012.
- Shinji Egashira: LNG Vaporizers for regasification terminal

POPIS TABLICA

Tablica 1: Glavne tehničke karakteristike terminala u Omišlju.....	30.
Tablica 2: Prikaz kapaciteta tankova tereta broda LNG Croatia.....	31.

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1: Najveći uvoznici LNG-a 2021. godine.....	6.
Grafikon 2: Najveći izvoznici LNG-a 2021. godine.....	6.
Grafikon 3: Prikaz broja FSRU brodova i usporedba broja novogradnji i prenamijenjenih LNG brodova.....	8.

POPIS SLIKA

Slika 1: Molekula metana (CH ₄).....	3.
Slika 2: International Gas Carrier Code.....	4.
Slika 3: Trend porasta broja LNG tankera.....	7.
Slika 4: FSRU MOL Challenger.....	11.
Slika 5: Cross jetty mooring.....	13.
Slika 6: Single jetty mooring.....	14.
Slika 7: Internal turret mooring.....	15.
Slika 8: Tower Yoke mooring type.....	15.
Slika 9: Spread mooring type.....	16.
Slika 10: Shematski prikaz procesa regasifikacije.....	17.
Slika 11: LNG centrifugalna dobavna pumpa.....	18.
Slika 12: Open Rack Vaporizer.....	21.
Slika 13: Intermediate Fluid Vaporizer.....	22.
Slika 14: Submerged Combustion Vaporizer.....	23.
Slika 15: Ostatci u dobavnim cijevima morske vode bez korištenja MGPS sistema.....	25.
Slika 16: LNG tanker Golar Viking, kasnije prenamijenjen u FSRU LNG Croatia.....	28.

Slika 17: FSRU Independence, namjensko izgrađen FSRU brod.....	28.
Slika 18: LNG Terminal u Omišlju.....	29.
Slika 19: FSRU LNG Croatia.....	31.