

# Prekrcajne operacije na LNG terminalima

---

**Braus, Ira**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:489034>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

# **PREKRCAJNE OPERACIJE NA LNG TERMINALIMA TRANSSHIPMENT OPERATIONS AT LNG TERMINALS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Tomislav Rožić

Student: Ira Braus

JMBAG: 0135266101

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 27. svibnja 2024.

Zavod: **Zavod za transportnu logistiku**  
Predmet: **Robno transportni centri**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7561

Pristupnik: **Ira Braus (0135266101)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Logistika**

Zadatak: **Prekrcajne operacije na LNG terminalima**

### Opis zadatka:

Cilj ovog rada je detaljno analizirati prekrcajne operacije na LNG terminalima kroz tehničko-tehnološke, sigurnosne, zakonske, ekonomske i ekološke aspekte, s naglaskom na rad plutajućeg terminala za UPP Omišalj-Krk. Rad će pružiti cjelovito razumijevanje ključnih faktora koji utječu na učinkovitost prekrcajnih operacija, te kako su oni usklađeni sa zakonskim standardima i propisima.

Svrha ovog rada je čitatelju pružiti uvid u važnost i složenost prekrcajnih operacija na LNG terminalima, identificirati glavne izazove i rizike, te prikazati kojim mjerama se operativna učinkovitost i sigurnost mogu poboljšati. Rad će pobliže objasniti i ekonomski utjecaj na regionalnoj i nacionalnoj razini, te procijeniti ekološke mjere i aspekte prevencije kako bi smanjili negativni utjecaj na okoliš. Posebnu pažnju daje se plutajućem terminalu za UPP Omišalj-Krk, koji će pružiti konkretan primjer teorijskih znanja i biti primjer stvarnog okruženja i funkcioniranja LNG terminala.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Tomislav Rožić

## SAŽETAK

Terminali ukapljenog prirodnog plina (*Liquefied Natural Gas* - LNG) predstavljaju važnu ulogu u opskrbi energijom, s ciljem smanjenja troškova i povećanju fleksibilnosti u distribuciji plina. Same prekrcajne operacije na terminalima omogućavaju transport ukapljenog prirodnog plina između raznih regija svijetom. Prekrcajne operacije uključuju složene procese prekrcaja, skladištenja i ponovnog ukapljivanja, što zahtjeva visoku razinu efikasnosti i sigurnosti pri obavljanju. Tehnološki napredci i automatizacija imaju bitan utjecaj na optimizaciju prekrcajnih operacija, tako što smanjuju vrijeme prekrcaja i moguće rizike povezane s rukovanjem prirodnim plinom. Ekološki aspekt je također bitan, s obzirom na potrebu smanjenja emisija stakleničkih plinova i povećanjem energetske učinkovitosti. Ključna je koordinacija između različitih sudionika, uključujući operatere terminala i brodare, kako bi cijela prekrcajna operacija bila nesmetana i sigurna. Svrha ovog završnog rada je detaljno analizirati prekrcajne operacije na terminalima ukapljenog prirodnog plina. Cilj rada je pružiti sveobuhvatan pregled i razumijevanje ključnih faktora koji utječu na efikasnost, sigurnost i održivost prekrcajnih operacija, s fokusom na tehničke karakteristike i tehnološke procese, zakonske zahtjeve, mjere sigurnosti i zaštite okoliša te ekonomske pokazatelje poslovanja takve vrste terminala.

**KLJUČNE RIJEČI:** prekrcajne operacije, LNG terminali, transport plina, ukapljeni prirodni plin

## SUMMARY

LNG terminals play an important role in energy supply, aiming to reduce costs and increase flexibility in gas distribution. Transshipment operations at LNG (liquefied natural gas) terminals enable the transport of liquefied natural gas (LNG) between various regions of the world. These operations involve complex processes of transshipment, storage, and re-liquefaction, requiring a high level of efficiency and safety during execution. Technological advancements and automation have a significant impact on optimizing transshipment operations by reducing transfer time and minimizing potential risks associated with handling natural gas. The environmental aspect is also crucial, considering the need to reduce greenhouse gas emissions and increase energy efficiency. Coordination between various stakeholders, including terminal operators and shippers, is key to ensuring that the entire transshipment operation is smooth and safe. The purpose of this thesis is to analyze transshipment operations at LNG terminals. The goal of the thesis is to provide a comprehensive overview and understanding of the key factors affecting the efficiency, safety, and sustainability of transshipment operations, with a focus on technical characteristics and technological processes, legal requirements, safety and environmental protection measures, and economic performance indicators of LNG terminals.

**KEYWORDS:** transshipment operations, LNG terminals, gas transport, liquefied natural gas

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 1  |
| 2. OPĆENITO O UKAPLJENOM PRIRODNOM PLINU I LNG TERMINALIMA.....         | 3  |
| 3. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI POKAZATELJI LNG TERMINALA.....                   | 6  |
| 3.1. KAPACITETI LNG TERMINALA.....                                      | 6  |
| 3.2. INFRASTRUKTURA LNG TERMINALA.....                                  | 8  |
| 4. PREKRAJNE OPERACIJE NA LNG TERMINALIMA.....                          | 12 |
| 5. ZAKONSKA REGULATIVA U FUNKCIJI LNG TERMINALA.....                    | 17 |
| 5.1. PRAVILNICI, PLANOV I MEĐUNARODNI STANDARDI.....                    | 17 |
| 5.2. ORGANIZACIJE, UREDBE I KONVENCIJE.....                             | 20 |
| 5.2.1. MEĐUNARODNE REGULACIJE.....                                      | 20 |
| 5.2.2. EUROPSKE REGULACIJE.....   | 21 |
| 6. PREVENCIJA U POGLEDU SIGURNOSTI I ZAŠTITE OKOLIŠA NA LNG TERMINALIMA | 22 |
| 7. EKONOMSKI ASPEKT FUNKCIONIRANJA LNG TERMINALA.....                   | 25 |
| 7.1. MODELI PRIHODA.....  | 25 |
| 7.2. EKONOMSKI ASPEKT IZGRADNJE LNG TERMINALA.....                      | 25 |
| 7.3. POVRAT ULOŽENIH SREDSTAVA I EKONOMSKI UČINAK.....                  | 26 |
| 8. ANALIZA RADA PLUTAJUĆEG TERMINALA ZA UPP OMIŠALJ-KRK.....            | 28 |
| 8.1. INFRASTRUKTURA I PREKRAJNE OPERACIJE.....                          | 28 |
| 8.2. SIGURNOST I STANDARDI.....   | 32 |
| 8.3. BUDUĆNOST I NAPREDOVANJE.....                                      | 33 |
| 9. ZAKLJUČAK.....   | 35 |
| LITERATURA.....   | 37 |
| POPIS KRATICA.....  | 40 |
| POPIS SLIKA.....  | 41 |
| POPIS TABLICA.....  | 41 |

## 1. UVOD

Terminali ukapljenog prirodnog plina (*Liquefied Natural Gas* - LNG) predstavljaju ključnu kariku u globalnom lancu opskrbe prirodnim plinom, omogućujući prijem, skladištenje, uplinjavanje te daljnji transport plina do krajnjih potrošača. Ovaj rad istražuje sve aspekte funkcioniranja takvih terminala, počevši od tehničkih specifikacija i tehnoloških inovacija koje omogućuju sigurno i učinkovito prekrcavanje plina, do rigoroznih zakonskih okvira koje reguliraju njihovo djelovanje u cilju osiguranja najviših standarda sigurnosti i zaštite okoliša.

Tema ovog rada usmjerena je na analizu prekrcajnih operacija na terminalima, te sveukupnu ulogu takvih terminala i na drugim razinama, kao što su tehničko-tehnološki pokazatelji, zakonska regulativa, prevencija u sigurnosti i zaštiti okoliša te ekonomski aspekt funkcioniranja tih kompleksnih postrojenja.

Cilj ovog rada je analizirati prekrcajne operacije na terminalima ukapljenog prirodnog plina kroz nekoliko ključnih aspekata: tehničko-tehnološke procese, zakonske regulative, sigurnosne mjere i ekonomski učinak. Poseban fokus bit će na plutajućem terminalu ukapljenog prirodnog plina na Krku, analizirajući njegov utjecaj na regionalnu energetska stabilnost i ekonomske koristi. Svrha rada je pružiti pregled ključnih faktora koji utječu na efikasnost, sigurnost i održivost terminala, s posebnim naglaskom na tehničke, pravne i ekonomske aspekte.

Tema završnog rada je Prekrcajne operacije na LNG terminalima. Rad je podijeljen u osam cjelina.

1. Uvod
2. Općenito o ukapljenom prirodnom plinu i LNG terminalima
3. Tehničko-tehnološki pokazatelji LNG terminala
4. Prekrcajne operacije na LNG terminalima
5. Zakonska regulativa u funkciji LNG terminala
6. Prevencije u pogledu sigurnosti i zaštite okoliša na LNG terminalima
7. Ekonomski aspekt funkcioniranja LNG terminala
8. Analiza rada plutajućeg terminala za UPP Omišalj-Krk.

U drugom poglavlju objašnjen je proces prekrcaja plina, te procesi vezani uz prekrcaj. Sam proces je zahtjevan te su potrebne razne mjere zaštite i precizno izrađen alat kojim se služi.

U trećem poglavlju prikazani su tehničko-tehnološki pokazatelji koji uključuju kapacitet skladištenja, brzinu uplinjavanja, učinkovitost prekrcaja, te napredne sustave za praćenje i kontrolu procesa.

U četvrtom poglavlju detaljno su objašnjene prekrcajne operacije koje se izvode na terminalima.

Peto poglavlje govori o zakonskim regulativama koje se odnose na takvu vrstu terminala, kako na globalnoj razini tako i unutar Hrvatske i koje strogo definiraju uvjete pod kojima ti terminali mogu i smiju funkcionirati, s posebnim naglaskom na sigurnosne protokole i mjere za sprječavanje ekoloških incidenata. Uključuju i pravilnike za reguliranje tarifa i opisuje glavne organizacije koje postavljaju međunarodne standarde.

Šesto poglavlje prikazuje kako je ukapljeni prirodni plin kao predmet transporta visoko rizičan i zapaljiv, te koliko sam transport zagađuje okoliš i kako može utjecati na ljudsko zdravlje. Uz to opisuju se postupci koji se primjenjuju kako bi se osiguralo da ne dođe do curenja ili neke druge hitne i opasne situacije.

Sedmo poglavlje odnosi se na ulaganja i kapital od same izgradnje terminala ukapljenog prirodnog plina do ulaganja u održavanje istih. Opisuje sve aktivnosti koje su potrebne prilikom odlučivanja o financijskim odlukama, te na koje sve načine terminal može doprinijeti razvoju regije u kojoj se nalazi.

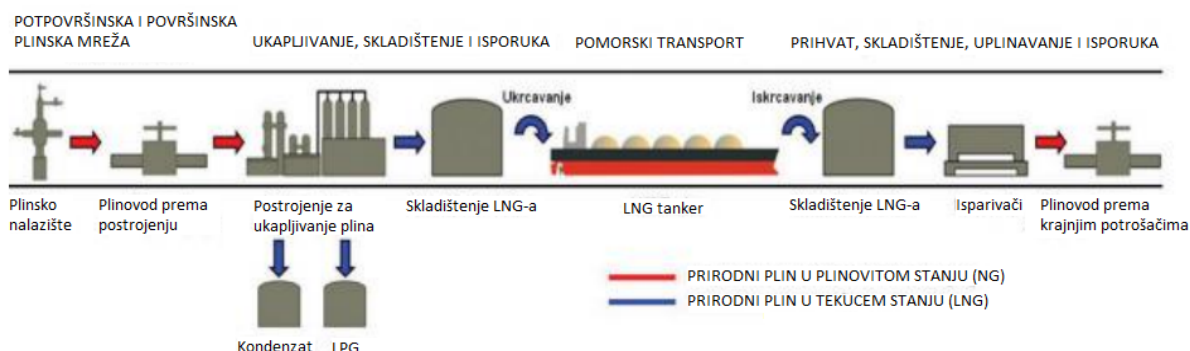
U osmom poglavlju detaljno se analizira rad plutajućeg terminala na Krku, prvog takvog postrojenja u Hrvatskoj. Analiza njegovog rada će biti primjer za prekrcajne operacije spomenute u prijašnjim poglavljima. Ova analiza obuhvaća i tehničke aspekte terminala, njegove operativne performanse, utjecaj na okoliš, kao i njegov doprinos energetske sigurnosti i ekonomskoj stabilnosti zemlje. Cilj analize je pružiti sveobuhvatan pregled prekrcajnih operacija i dodatnih elemenata nužnih za sigurno i učinkovito obavljanje istih.

## 2. OPĆENITO O UKAPLJENOM PRIRODNOM PLINU I LNG TERMINALIMA

Ukapljeni prirodni plin predstavlja ključnu komponentu globalne energetske infrastrukture, omogućavajući transport prirodnog plina na velike udaljenosti i osiguravajući fleksibilnu distribuciju energije diljem svijeta. Budući da se u domaćoj i međunarodnoj literaturi koristi termin LNG (*Liquefied Natural Gas* - LNG), dok je prema pravilima hrvatskog jezika prihvaćen termin ukapljeni prirodni plin, zbog lakšeg razumijevanja terminologije u ovom radu koristit će se skraćunica LNG (*Liquefied Natural Gas* - LNG).

LNG (*Liquefied Natural Gas* - LNG) je prirodni plin pretvoren u tekuće stanje hlađenjem na temperaturu između  $-161^{\circ}\text{C}$  i  $-163^{\circ}\text{C}$ , čime se njegov volumen smanjuje do 600 puta u odnosu na plinovito stanje. Ova značajna redukcija volumena omogućuje učinkovitiji transport, najčešće brodovima, čime se plin koristi kao vitalan resurs za države koje nemaju izravan pristup plinovodima ili vlastitim izvorima plina. [1]

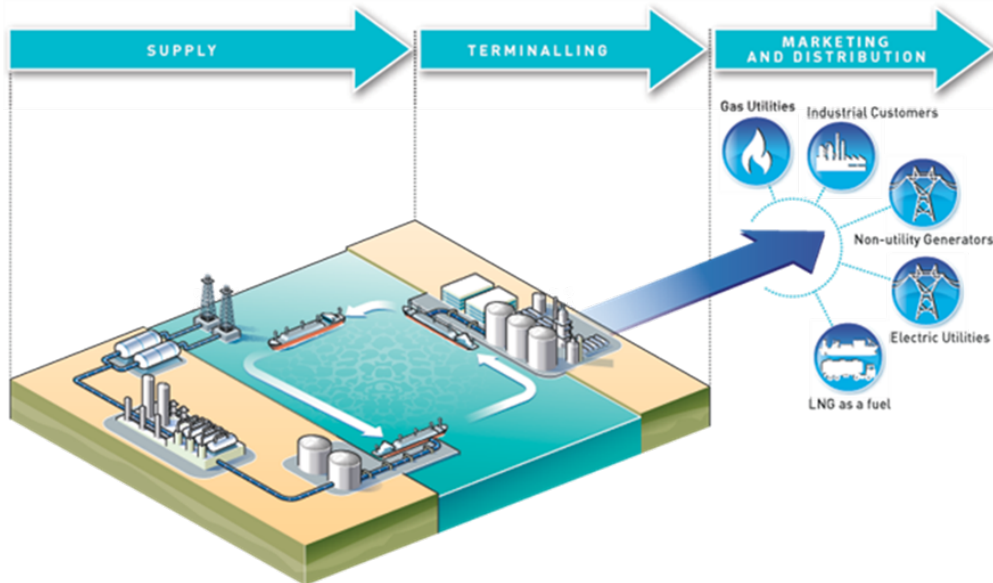
Takvi terminali su složena postrojenja koja obuhvaćaju različite faze obrade i distribucije prirodnog plina, uključujući ukapljivanje, transport, skladištenje i regasifikaciju, odnosno pretvaranje ukapljenog plina natrag u plinovito stanje za daljnju distribuciju kroz plinovodne mreže. Ključne komponente takvog terminala uključuju prijemne stanice, skladišne cisterne, regasifikacijske jedinice i distribucijski sustav, koji zajedno osiguravaju neprekinut i siguran protok energije od proizvođača do krajnjih potrošača kako je prikazano na slici 1.



Slika 1. Eksploatacija LNG-a [32]



Na slici 2 prikazan je cijeli proces opskrbe i distribucije ukapljenog prirodnog plina. Proces započinje s opskrbom plina iz proizvodnog polja, nakon čega slijedi ukapljivanje i transport plina do terminala. Na terminalu se plin skladišti i ponovno uplinjava za daljnju distribuciju. Distribucija se odvija putem plinskih cjevovoda do krajnjih korisnika kao što su industrijski pogoni, elektroprivrede, i distribucijski sustavi za grijanje, te prijevoz plina putem autocisterne ili željeznice. Svi navedeni koraci omogućuju sigurno i učinkovito upravljanje terminalnom ukapljenog prirodnog plina od proizvodnje do krajnje potrošnje.



*Slika 2. Pojednostavljeni prikaz distribucije LNG-a do krajnjih korisnika [8]*

Ukapljeni prirodni plin ima široku primjenu u raznim industrijama i sektorima, uključujući kućanstva, pomorski i cestovni prijevoz. U kućanstvima se koristi za grijanje i proizvodnju tople vode, dok u pomorskom sektoru služi kao ekološki prihvatljivo gorivo za brodove, posebno za velike brodove poput kruzera, smanjujući emisije štetnih plinova. U cestovnom prijevozu prirodni plin pogoni kamione i autobuse doprinoseći smanjenju emisija u prometu. [1]

Najznačajniji proizvođači ukapljenog prirodnog plina na globalnoj razini su Katar, Australija i Sjedinjene Američke Države, koji predvode tržište po količini proizvedenog i izvezenog ukapljenog prirodnog plina. Katar je poznat po svojim bogatim rezervama plina, te zauzima posebno mjesto kao jedan od najvažnijih izvoznika, dok Australija također značajno doprinosi globalnoj ponudi zahvaljujući velikim projektima proizvodnje plina.

Sjedinjene Američke Države posljednjih godina bilježe nagli rast u ovoj industriji zbog povećane proizvodnje iz škriljca, čime su postale vodeći igrač na tržištu. Rusija, Kanada i Nigerija također imaju značajnu ulogu kao izvoznici ukapljenog prirodnog plina. Rusija s bogatim plinskim resursima kontinuirano proširuje svoju industriju kako bi smanjila ovisnost o europskom plinovodnom sustavu i proširila tržišta na Aziju. Kanada razvija projekte terminala ukapljenog prirodnog plina (*Liquefied Natural Gas - LNG*) kako bi kapitalizirala na svojim golemim rezervama prirodnog plina, dok Nigerija, kao najveći proizvođač prirodnog plina u Africi, koristi LNG kao ključni izvor prihoda. [3]

Proces ukapljivanja prirodnog plina prvi je put razvijen u 19. stoljeću, kada je škotski znanstvenik James Dewar stvorio prvi prototip ukapljivača. Komercijalna proizvodnja ukapljenog prirodnog plina započela je tek sredinom 20. stoljeća, nakon Drugog svjetskog rata kada je tehnologija postala pouzdanija i ekonomski isplativija.

Od tada je tehnologija značajno napredovala, omogućujući brži i učinkovitiji proces ukapljivanja koji smanjuje volumen plina za čak 600 puta. Takav proces olakšava transport velikih količina plina na globalnoj razini, osobito u zemlje koje nemaju pristup plinovodima.

### 3. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI POKAZATELJI LNG TERMINALA

U ovom poglavlju će se analizirati ključni aspekti koji određuju učinkovitost i funkcionalnost ovih kompleksnih postrojenja, a to su kapaciteti i infrastruktura. Kapacitet terminala ukapljenog prirodnog plina (*Liquefied Natural Gas* - LNG) odnosi se na njegovu sposobnost skladištenja, ukapljivanja i regasifikacije prirodnog plina.

Infrastruktura takvog terminala ključna je za osiguranje sigurne i stabilne opskrbe prirodnim plinom. Kroz razvijenu infrastrukturu, terminali mogu upravljati velikim količinama plina, čime osiguravaju kontinuitet opskrbe i stabilnost cijena energije. Napredna tehnologija i sigurnosni sustavi u terminalima smanjuju rizik od nesreća i ekoloških incidenata, osiguravajući sigurnu i efikasnu operaciju.

#### 3.1. KAPACITETI LNG TERMINALA

Kapacitet terminala jedan je od ključnih pokazatelja koji određuje njegovu učinkovitost i sposobnost obavljanja glavnih funkcija poput skladištenja, regasifikacije i ukapljivanja prirodnog plina. Ove tri kategorije kapaciteta čine osnovne parametre koji definiraju mogućnosti terminala i njegovu ulogu u globalnoj industriji. [2]

Prvi pokazatelj je kapacitet skladištenja, koji se odnosi na maksimalnu količinu ukapljenog prirodnog plina koju terminal može pohraniti u svojim specijaliziranim tankovima. Kapacitet je ključan za osiguravanje stalne opskrbe tržišta, jer omogućuje da se plin skladišti dok ne bude potrebno za regasifikaciju ili daljnju distribuciju. Veći kapacitet skladištenja daje terminalu veću fleksibilnost u upravljanju zalihama i bolju otpornost na fluktuacije u potražnji.

Drugi ključni element je kapacitet regasifikacije, koji označava maksimalnu količinu ukapljenog prirodnog plina koja se u određenom vremenskom razdoblju može pretvoriti natrag u plinovito stanje. Regasifikacija je proces u kojem se ukapljeni prirodni plin zagrijava i vraća u svoj izvorni plinoviti oblik kako bi bio spreman za transport plinovodima i distribuciju krajnjim korisnicima. Kapacitet regasifikacije izravno utječe na sposobnost terminala da brzo i učinkovito opskrbi tržište prirodnim plinom, što je posebno važno tijekom razdoblja visoke potražnje.

Treći element je kapacitet ukapljivanja, koji definira mogućnost terminala da prirodni plin pretvori iz plinovitog u tekuće stanje. Proces ukapljivanja smanjuje volumen plina za otprilike 600 puta, omogućujući učinkovit transport velikih količina plina preko oceana do udaljenih tržišta. Ovaj kapacitet ključan je za izvozna postrojenja jer omogućuje pretvorbu i izvoz prirodnog plina na globalna tržišta. [2]

Kapacitet terminala ukapljenog prirodnog plina značajno varira širom svijeta, ovisno o tehničkim i komercijalnim mogućnostima pojedinog postrojenja. Tehnički kapacitet predstavlja maksimalan kapacitet regasifikacije s obzirom na tehničke karakteristike i mogućnosti transportnog sustava, dok komercijalni kapacitet označava raspoloživi kapacitet regasifikacije koji je dostupan za distribuciju korisnicima. Veći kapacitet terminala omogućuje veći obujam prerade i distribucije plina, što direktno utječe na njegovu ekonomsku isplativost i profitabilnost.

Jedan od najvećih svjetskih terminala ukapljenog prirodnog plina je Sabine Pass izvozni terminal u Louisiani, Sjedinjenim Američkim Državama, koji je prikazan na slici 3 s kapacitetom od 29,5 milijuna m<sup>3</sup> godišnje. Arzew-GL 1Z terminal u Alžiru čiji je kapacitet 7,9 milijuna m<sup>3</sup> koji spada među manje terminale. Razlika u kapacitetima između navedena dva terminala ukazuje na široki raspon mogućnosti među terminalima diljem svijeta, što je rezultat različitih tehničkih i tržišnih čimbenika. [2]



*Slika 3. LNG terminal Sabine Pass [33]*

Kapacitet terminala ukapljenog prirodnog plina ključan je faktor koji određuje sposobnost zemalja i kompanija da učinkovito upravljaju proizvodnjom, skladištenjem i distribucijom ukapljenog prirodnog plina, što je od velike važnosti za globalnu energetske sigurnost i tržišnu stabilnost.

### 3.2. INFRASTRUKTURA LNG TERMINALA

Postoje dvije osnovne vrste LNG (*Liquefied Natural Gas* - LNG) terminala, kopneni (onshore) i morski (offshore). Kopneni terminali zahtijevaju izgradnju trajnih objekata na zemljištu, dok se morski terminali dalje dijele na strukturu gravitacijske baze (*Gravity Base Structure* - GBS) i plutajuću jedinicu za skladištenje i uplinjavanje (*Floating Storage and Regasification Unit* - FSRU).

GBS (*Gravity Base Structure* - GBS) terminali su skuplji jer uključuju konstrukciju betonskih struktura koje se polažu na morsko dno, dok FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit* - FSRU) terminali koriste prilagođene tankere za ukapljeni prirodni plin, što ih čini fleksibilnijih i često ekonomičnijim rješenjem. [4] Na slici 4 prikazan je kopneni terminal ukapljenog prirodnog plina u Japanu.



*Slika 4. Kopneni (onshore) LNG terminal u Japanu [8]*

Morski terminali predstavljaju inovativno rješenje u globalnom energetsom sektoru, a njihov uspjeh u velikoj mjeri počiva na izvrsnoj sigurnosnoj evidenciji. Od uvođenja prvog FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit* - FSRU) broda u svijetu nije zabilježen niti jedan ozbiljan sigurnosni incident povezan s ovim vrstama terminala. Ova impresivna sigurnosna statistika dodatno potvrđuje pouzdanost i učinkovitost takve tehnologije, koja je danas prisutna u više od dvadeset zemalja diljem svijeta, uključujući Hrvatsku, Sjedinjene Američke Države, Italiju, Veliku Britaniju, Maltu, Tursku, Argentinu i druge. Na slici 5 prikazan je morski terminal ukapljenog prirodnog plina na Krku.





*Slika 5. Morski (offshore) LNG terminal na Krku [19]*

Sigurnosna evidencija brodova koji prevoze ukapljeni prirodni plin također je besprijekorna. Trenutno postoji 572 tankera ukapljenog prirodnog plina u službi diljem svijeta, te ni na jednom od njih nije zabilježen ozbiljan sigurnosni incident. Ovaj izvanredan sigurnosni rekord pridonosi povjerenju u takav terminal kao sigurnu i pouzdanu opciju za globalnu opskrbu energijom. Spremnici za skladištenje ukapljenog prirodnog plina ključni su elementi u postrojenjima za skladištenje i uplinjavanje. Dvije osnovne vrste spremnika su nadzemni i podzemni. Zbog nižih troškova i jednostavnijeg održavanja, nadzemni spremnici se najčešće koriste, a širom svijeta postoji preko 200 takvih s najvećim smještenim u Japanu. [29] Na slici 6 prikazan je nadzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina.



*Slika 6. Nadzemni LNG spremnik [34]*

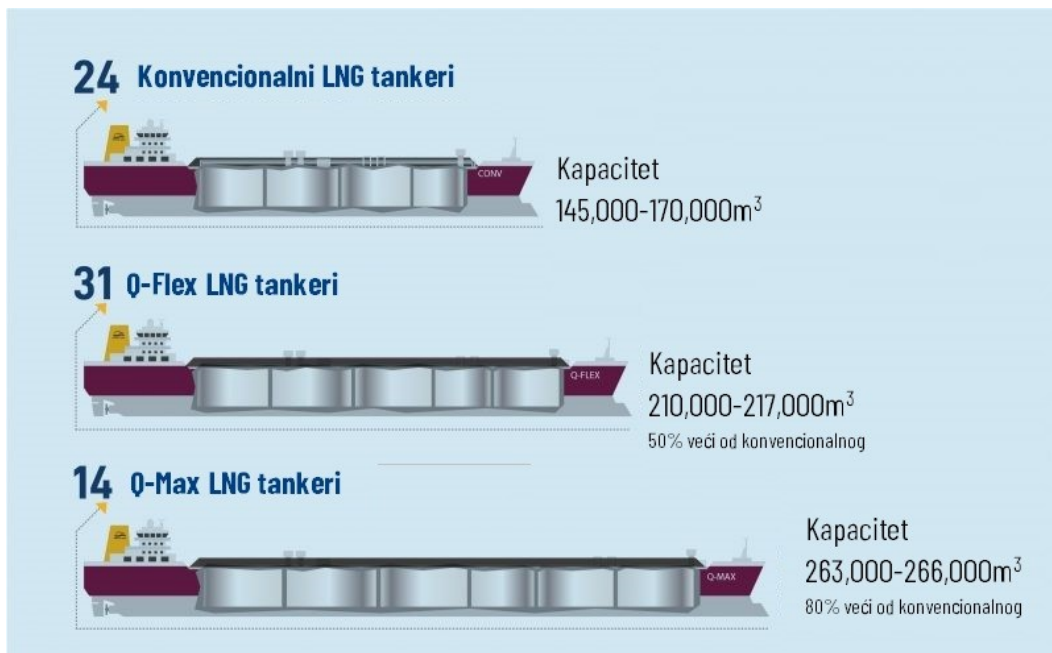
Podzemni spremnici, iako su skuplji, pružaju veću sigurnost i bolju iskoristivost prostora. Ovi spremnici se najčešće nalaze na pomorskim terminalima, te samo vrh spremnika se nalazi iznad zemlje. [29]



Slika 7. Podzemni LNG spremnik [ 35]

Spremnici za skladištenje razlikuju se po razini zaštite. Spremnici s jednostrukom zaštitom su najčešći i najpovoljniji, no zahtijevaju više prostora zbog zemljanih nasipa koji sprječavaju širenje tekućine u slučaju propuštanja. Spremnici s dvostrukom zaštitom imaju vanjske betonske stijenke koje sprječavaju širenje tekućine, ali ne i para. Spremnici s potpunom zaštitom nude najvišu sigurnost jer zadržavaju i tekućinu i pare, no njihova izgradnja je najskuplja. [29]

Spremnici na tankerima za prijevoz ukapljenog prirodnog plina razlikuju se po kapacitetu koji ovisi o veličini istih, kako je prikazano na slici 8. Većina modernih tankera ima kapacitet od oko 140.000 m<sup>3</sup>, dok novi supertankeri poput Qmax i QFlex brodova mogu prevoziti do 265.000 m<sup>3</sup> ukapljenog prirodnog plina. Najveći spremnici mogu imati kapacitet do 280.000 m<sup>3</sup> s visinom od 40 metara i promjerom od 75 metara. [28]



Slika

### 8. Usporedba LNG tankera [37]

Pri radu terminala ukapljenog prirodnog plina od iznimne je važnosti briga o zaštiti okoliša. Potrebno je poduzeti sve mjere kako bi se spriječilo zagađenje okoliša, a posebna pažnja posvećuje se očuvanju kvalitete zraka, smanjenju emisija štetnih plinova, te kontroli buke. Elektroklorinacija je izdvajanje klora iz mora, te se koristi prilikom rada terminala na svjetskoj razini, no ne i na Krčkom terminalu ukapljenog prirodnog plina, gdje se ne dozvoljava korištenje klora iz mora, već se radi na principu mehaničkog čišćenja. Jedan od najprimjetnijih zagađivača ljudskog zraka je buka, koja također mora biti kontrolirana. [5]

Tri su glavne sastavnice infrastrukture koje uključuju prijemne stanice, skladišni prostor i regasifikacijske jedinice. Svaki terminal teži optimizaciji svojih kapaciteta i povećanju učinkovitosti. Freeport terminal ukapljenog prirodnog plina u Teksasu prvi je uveo potpuno električno postrojenje za ukapljivanje plina, što predstavlja značajan korak u smanjenju emisija i unaprjeđenju ekoloških standarda. Takve inovacije pokazuju stalnu evoluciju tehnologija i praksi u industriji ukapljenog prirodnog plina, usmjerenu ka povećanju efikasnosti i smanjenju utjecaja na okoliš. [6]



#### 4. PREKRCAJNE OPERACIJE NA LNG TERMINALIMA

Prekrcajne operacije na terminalima ukapljenog prirodnog plina obuhvaćaju različite aktivnosti povezane s rukovanjem, skladištenjem, pretakanjem, te distribucijom. One su ključne za sigurno i efikasno upravljanje ukapljenim prirodnim plinom na terminalima. Glavne prekrcajne operacije uključuju:

- a) Prijem
- b) Skladištenje
- c) Regasifikacija
- d) Pretakanje
- e) Ukrcaj i iskrcaj
- f) Distribucija
- g) Kontrola i nadzor

Ukapljeni prirodni plin stiže na terminal putem specijaliziranih tankera. Prva faza prekrcajnih operacija uključuje pristajanje tankera i povezivanje s terminalom koji omogućavaju pretakanje plina s broda u skladišne rezervoare na terminalu. Plin se skladišti u posebno dizajniranim spremnicima na terminalu, koji ga održavaju na vrlo niskim temperaturama do  $-162^{\circ}\text{C}$ . [29]

Na nekim terminalima dio plina se podvrgava procesu regasifikacije gdje se ukapljeni prirodni plin zagrijava i vraća u plinovito stanje prije nego što se distribuira u plinovod do krajnjih korisnika.

Pretakanje se može odvijati u dva pravca, s tankera u skladište na terminalu ili iz skladišta na drugi tanker ili manji brod. Ova operacija zahtjeva precizno upravljanje kako bi se izbjegla opasnost od curenja ili drugih rizika povezanih sa rukovanjem tečnim gasom.

Ako je terminal izvoznog tipa plin se ukrcava iz skladišnih rezervoara na tankere koji će ga transportirati do drugih destinacija. Kod uvoznih terminala ukapljeni prirodni plin se istovaruje sa tankera i prebacuje u skladišta ili direktno u plinovod.

Nakon regasifikacije prirodni plin se distribuira putem plinovoda ka potrošačima. U nekim slučajevima se može pretakati u specijalne cisterne za distribuciju na kopnu.

Sve prekrcajne operacije su praćene rigoroznim procedurama za kontrolu kvaliteta, sigurnost, temperaturu i pritisak, kako bi se osigurala sigurnost i efikasnost procesa.

Svaka operacija zahtjeva visoke standarde sigurnosti i pažljivo planiranje zbog prirode ukapljenog prirodnog plina koji je ekstremno hladan i može izazvati ozbiljne posljedice u slučaju curenja ili nepravilnog rukovanja.

Kako bi se krenulo sa eksploatacijom prirodnog plina, prva potrebna operacija jest prirodni plin u plinovitom stanju pretvoriti u tekuće stanje. Najisplativiji način ukapljivanja prirodnog plina je pri povišenim tlakovima, što omogućava tekuće stanje plina na višim temperaturama. Kako se tlak povećava tako se troškovi hlađenja

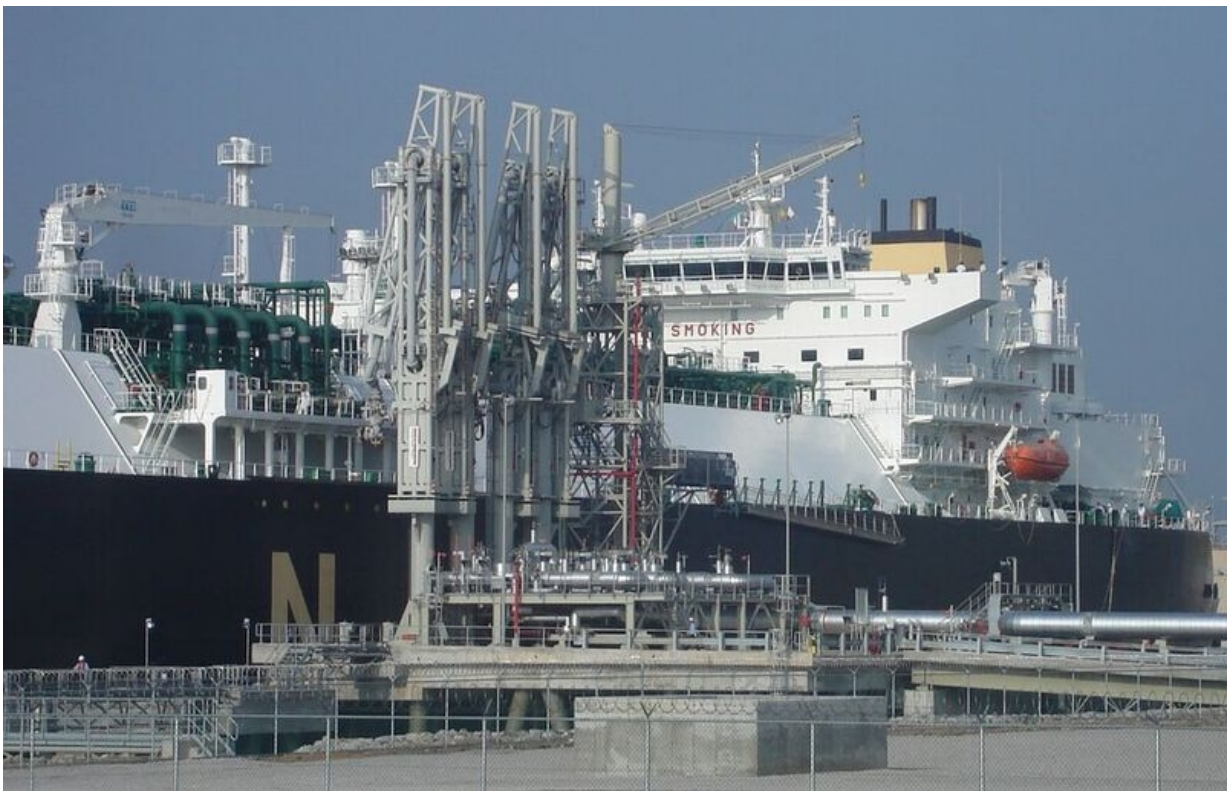
smanjuju jer je hlađenje zrakom ili vodom do 25°C jeftinije od hlađenja propanom do -35°C ili dušikom do -160°C. [28]

Tri faze procesa ukapljivanja su prethlađenje, ukapljivanje i pothlađivanje, uz optimizaciju rashladnog sredstva i toplinskog prijenosa kako bi se postigla maksimalna učinkovitost. [28]

Nakon ukrcaja plina i plovidbe tankeri pristaju na terminal. Tankeri za prijevoz ukapljenog prirodnog plina kategorizirani su visoko učinkovitom izolacijom koja omogućuje održavanje vrlo niskih temperatura kako bi LNG ostao u tekućem stanju. Kada tanker pristane u terminal i veže se, pretovarne ruke se spajaju na tanker omogućujući prijenos plina, kako je prikazano na slici 9.

Prirodni plin se prenosi kriogenim cijevima koje su dizajnirane za izdržavanje ekstremno niskih temperatura do oko -162°C. Takve cijevi omogućuju sigurno vođenje plina i skladištenje u spremnicima koji, poput onih u tankerima, moraju imati izuzetno dobru izolaciju. [9]

Tijekom prijenosa plina pritisak se pažljivo nadzire pomoću sustava za upravljanje tlakom kako bi se osigurala sigurnost i učinkovitost procesa. Cijeli proces nadzire kontrolni centar koji provodi provjere detektora curenja i ventilacijskih sustava. Nakon što se prijenos završi pretovarne ruke se odvajaju i tanker se odvezuje. [9]



*Slika 9. Prekrcaj LNG-a [33]*

Pomorska pretovarna ruka koja je prikazana na slici 10 koristi se na obalnim terminalima za ukrcaj i iskrcaj plina. Glavna prednost pretovarnih ruku je njihova fleksibilnost koja omogućuje prilagodbu različitim pomacima i nagibima tankera tijekom prijenosa plina. Pretovarne ruke su hidraulički upravljane i opremljene su spojnicama za hitno otpuštanje koje omogućuju brzu reakciju u slučaju izvanredne situacije. Pretovarne ruke sastoje se od dva okretna zgloba, jednog na vrhu i jednog na dnu. Gornji okretni zglob povezuje unutarnju i vanjsku ruku, dok donji okretni zglob čini sklop za okretanje i obalni priključak cjevovoda. [10]



Slika 10. Pretovarna ruka [20]

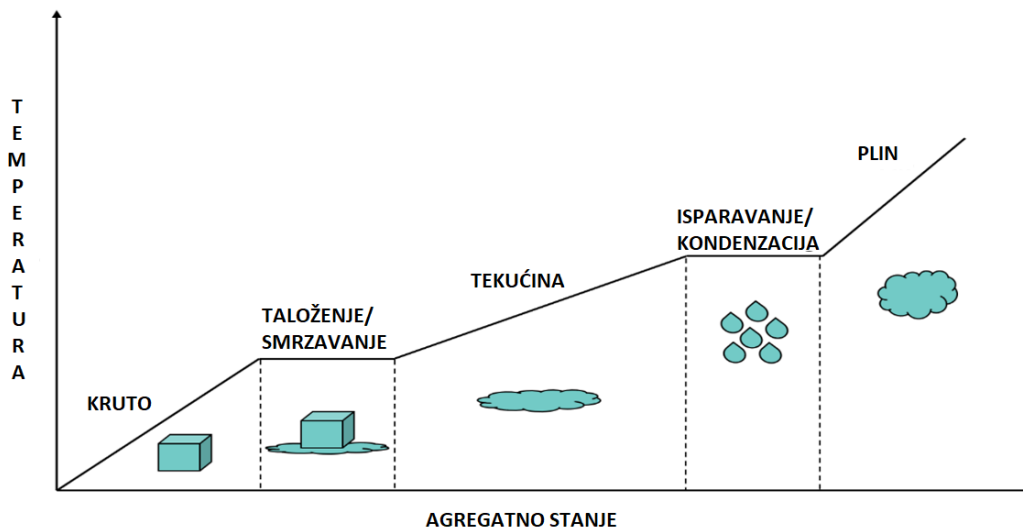
Dok se plin nalazi u spremnicima tankera, mala količina isparava zbog stalne temperature. Isparena količina koristi se kao gorivo za brodove ili kao dodatak ulju, što pomaže u automatskom hlađenju preostalog ukapljenog prirodnog plina. Tijekom skladištenja na terminalu dolazi do još malo isparavanja koje se također koristi kao gorivo. [8]

Nakon iskrcaja plina iz tankera spremnici često ostaju ispunjeni ispušnim plinom koji sadrži ugljikov dioksid. Zbog niskih temperatura plin bi se mogao smrzavati prilikom novog ukrcaja. Da bi se spriječio nastanak takvih problema spremnici se prije svakog novog ukrcaja ispunjavaju toplom parom. Ovaj proces poznat je kao „gassing-up“, prethodi postupku sušenja i inertizacije. Sušenje se može obaviti pomoću toplog zraka ili dušika, dok se inertizacija koristi za uklanjanje kisika iz teretnih tankova i

zamjenu s inernim plinovima poput ispušnih plinova broda ili dušika. Kada se koriste dušikovi plinovi sušenje i inertizacija mogu se provesti u jednoj operaciji. Ovi preliminarni koraci važni su kako bi se izbjegla izravna zamjena zraka prirodnim plinom, čime se smanjuje rizik od stvaranja eksplozivne atmosfere. [9]

Regasifikacija je ključni proces u kojem se prirodni plin iz tekućeg stanja vraća u plinovito stanje kako bi bio spreman za distribuciju i uporabu. Jedna od najčešćih metoda regasifikacije koristi izmjenjivač topline morskom vodom, pri čemu morska voda djeluje kao medij za prijenos topline. Takva metoda omogućuje povećanje temperature tekućeg prirodnog plina, čime se plin vraća iz tekućeg u plinovito stanje. Osim te metode postoje i druge dvije metode, zračni vaporizatori i podvodni plamenici. Zračni vaporizatori koriste ventilatore za guranje zraka kroz plin, dok se podvodni plamenici, iako rjeđe korišteni, primjenjuju u izvanrednim situacijama za pomoć u procesu regasifikacije. [7]

Na slici 11 prikazana je promjena agregatnog stanja prirodnog plina u odnosu na temperaturu. Pri niskim temperaturama, prirodni plin je u krutom stanju. Povećanjem temperature prelazi u tekuće stanje procesom taloženja ili smrzavanja. Daljnjim zagrijavanjem tekući prirodni plin isparava i prelazi u plinovito stanje. Ovaj prikaz naglašava važnost kontrole temperature u procesima skladištenja i transporta prirodnog plina, posebno kada se koristi u ukapljenom obliku.



Slika 11. Agregatno stanje prirodnog plina u odnosu na temperaturu [7]

Isporuka uplinjenog prirodnog plina u transportnu mrežu može se ostvariti na dva načina, putem podmorskog priključka s uronjivom bovom ili putem obalnog priključka na gatu.

Podmorski priključak koristi uronjivu bovu. Tanker s opremom za uplinjavanje sidri se na bovu, koja je čeličnim užadima pričvršćena za morsko dno. Savitljivi čelični plinovod povezuje bovu s plinskim transportnim sustavom na morskom dnu. Kada brod dođe iznad bove navigacijski sustav podiže bovu do trupa broda, gdje se bova

uvlači u sigurnosnu komoru na dnu broda. Bova služi kao sidro i za spajanje cjevovoda. Nakon pripremnih operacija, uplinjavanje i isporuka plina u transportni sustav počinju. Prije odlaska broda, bova se odspaja i spušta na odgovarajuću dubinu. Podmorski priključak može uključivati dvostruku bovu za istovremeno pristajanje i uplinjavanje dvaju brodova, pod uvjetom da su ispunjeni maritimni, batimetrijski, geološki i nautički uvjeti.

Obalni priključak koristi gat smješten u moru na dubini koja omogućuje pristajanje broda ukapljenog prirodnog plina. Gat je opremljen istakačkim rukama za fleksibilno spajanje broda s plinskim transportnim sustavom, te s drugim sigurnosnim sustavima poput protupožarnih instalacija i sustava za inertizaciju. Brod se teglji do gata, a pristajanje se obavlja putem internog sustava za manevriranje. Istakačke ruke se spajaju na prirubnice broda omogućujući prijenos plina u transportni sustav. Lokacija obalnog priključka mora zadovoljavati specifične uvjete, a posebno dubinu mora koja omogućuje sigurno pristajanje broda. Oba priključka uključuju sustave za brzo odspajanje u slučaju nužde, čime se osigurava sigurnost tijekom uplinjavanja i isporuke plina. [30]

## 5. ZAKONSKA REGULATIVA U FUNKCIJI LNG TERMINALA

Upravljanje i rad terminala ukapljenog prirodnog plina podliježu strogim pravilnicima, planovima, te međunarodnim i europskim regulativama koje osiguravaju sigurnost, ekološku odgovornost i operativnu učinkovitost.

S obzirom na složenost i potencijalne rizike povezane s rukovanjem ukapljenim prirodnim plinom, izgradnja i rad terminala regulirani su propisima koji obuhvaćaju širok spektar sigurnosnih, tehničkih i ekoloških standarda.

U ovom poglavlju detaljno su razmotreni ključni pravilnici, operativni planovi i međunarodni standardi koji su od presudne važnosti za siguran i održiv rad terminala ukapljenog prirodnog plina, te je prikazano kako globalne i europske regulative zajedno s industrijskim standardima igraju ključnu ulogu u osiguranju visokih standarda sigurnosti i učinkovitosti.

### 5.1. PRAVILNICI, PLANOVI I MEĐUNARODNI STANDARDI

Terminali ukapljenog prirodnog plina regulirani su brojnim pravilnicima i planovima koji osiguravaju njihov siguran rad. U Republici Hrvatskoj postoje pravilnici kao što su Pravilnik o određivanju klase i količine opasnih tvari kojima se može rukovati u luci koji definira vrste opasnih materijala i njihove dopuštene količine na terminalu, te osigurava rukovanje opasnim tvarima u skladu s najvišim sigurnosnim standardima, smanjujući rizik od nesreća i kontaminacije i Pravilnik o redu u luci koji jasno definira pojmove vezane uz terminal ukapljenog prirodnog plina, uključujući upravitelja pomorskog plovila, odgovorne osobe u luci te opis Centraliziranog informacijskog sustava za nadzor. Ovaj pravilnik detaljno propisuje postupke za prijavu i najavu dolaska brodova, što je ključno za koordinaciju i sigurnost tijekom operacija. [11]

Od velike su važnosti i operativni planovi koji uključuju detaljne procedure za hitne situacije kao što su izlivanje, požari ili curenja opasnih tvari, osiguravajući da postoji jasan i brz odgovor na bilo kakvu nesreću. Oni definiraju uloge i odgovornosti zaposlenika osiguravajući da svi sudionici budu obučeni i spremni za djelovanje u slučaju potrebe. Planovi uključuju redovite inspekcije i testiranja opreme kako bi se osiguralo da su sve komponente terminala u ispravnom stanju i spremne za siguran rad.

Jedan od ključnih elemenata operativnih planova je i koordinacija s lokalnim i nacionalnim vlastima kao i s drugim sudionicima u logističkom lancu. To uključuje uspostavu komunikacijskih kanala za brzu razmjenu informacija u slučaju hitnih situacija, kao i suradnju u provođenju sigurnosnih vježbi i simulacija. Ovi planovi također obuhvaćaju smjernice za redovito održavanje i ažuriranje infrastrukture terminala kako bi se osiguralo da svi aspekti rada budu u skladu s najnovijim sigurnosnim i ekološkim standardima. Operativni planovi igraju ključnu ulogu u



minimiziranju rizika, zaštiti okoliša i osiguravanju nesmetanog rada terminala ukapljenog prirodnog plina. [12]

Sigurnost na terminalima od presudne je važnosti, ne samo zbog prirode materijala kojima se rukuje, već i zbog zaštite okoliša. Kako bi se osigurala maksimalna sigurnost terminali moraju imati jasno definiranu maksimalnu količinu opasnih tvari kojima se može rukovati. Opasne tvari klasificirane su prema međunarodnom sustavu na devet klasa, od kojih se više njih može naći na terminalima ukapljenog prirodnog plina. Opasne tvari koje se mogu naći na takvim terminalima su plinovi pod tlakom (Klasa 2), zapaljive tekućine (Klasa 3), zapaljivi kruti materijali (Klasa 4), otrovne tvari (Klasa 6), korozivne tvari (Klasa 8) i ostale opasne tvari (Klasa 9). [13]

Ostale opasne stvari su eksplozivni (Klasa 1), oksidirajuće tvari koje mogu izazvati požar (Klasa 5) i radioaktivne tvari koje zahtijevaju posebne dozvole (Klasa 7). [13]

Izgradnja plutajućih jedinica za skladištenje i uplinjavanje (*Floating Storage and Regasification Units - FSRU*) i tankera za prijevoz plina zahtijeva pridržavanje strogih međunarodnih normi. Takvi brodovi moraju biti izgrađeni u licenciranim brodogradilištima koja zadovoljavaju specifične zahtjeve uključujući dvostruku oplatu za dodatnu sigurnost, spremnike otporne na ekstremno niske temperature, nepropusne cijevi i obaveznu primarnu i sekundarnu izolaciju. Ovi tehnički standardi osiguravaju da brodovi mogu sigurno transportirati i skladištiti plin, minimizirajući rizik od curenja i drugih potencijalnih problema. [14]

S  
l  
i  
k  
a  
1  
2  
·  
P  
r  
i  
k  
a  
z  
i  
z  
g  
r  
a



dnje broda za prijevoz LNG-a [36]

Pored tehničkih i sigurnosnih standarda, važno je i pravilno regulirati cijene i tarife za pružanje usluga u luci. Tarife pružanja usluga moraju biti usklađene s važećim zakonima i pravilnicima. One obuhvaćaju različite radnje uključujući lučko tegljenje, privez broda, prihvata tereta, zbrinjavanje i otpremu otpada. [15]

Tarife su ključne za održavanje ekonomičnosti i efikasnosti operacija u luci te za pokrivanje troškova povezanih s obradom i skladištenjem tereta. Uredbe koje reguliraju cijene moraju osigurati pravedan i transparentan sustav naplate usluga, što doprinosi održavanju visokih standarda rada i sigurnosti. [15]

U tablici 1 prikazane su maksimalne tarife samo od nekih dodatnih djelatnosti na terminalu za ukapljeni prirodni plin Omišalj-Krk. Cijene nekih djelatnosti se formiraju po jedinici sata ili dana, dok se tarife nekih djelatnosti poput tegljenja tankera ukapljenog prirodnog plina formiraju po obujmu tankera.

Tablica 1. Maksimalne cijene tarifa za pružanje djelatnosti lučkog tegljenja na Terminalu za ukapljeni prirodni plin Omišalj-Krk

|   | < 30.000 m <sup>3</sup> | 30.000 m <sup>3</sup><br>– 65.000<br>m <sup>3</sup> | 65.000m <sup>3</sup> –<br>140.000 m <sup>3</sup> | 140.000 m <sup>3</sup><br>- 180.000<br>m <sup>3</sup> | 180.000 m <sup>3</sup><br>- 217.000<br>m <sup>3</sup> | ><br>217.000<br>m <sup>3</sup> |
|---|-------------------------|---|--|---|---|--------------------------------|
| <b>Tegljenje broda za prijevoz ukapljenog prirodnog plina</b> | 20.000<br>EUR           | 50.000<br>EUR                                       | 70.000<br>EUR                                    | 100.000<br>EUR  | 120.000<br>EUR  | 140.800<br>EUR                 |

Izvor: [15]

Također postoje tarife za obavljanje drugih djelatnosti na terminalu poput priveza i odveza brodova, prihvata, otpremu izbrinjavanje različite klase otpada, prihvata, otpremu i zbrinjavanja nuspoizvoda životinjskog podrijetla, opasivanje brodova plutajućim branama i sanaciju onečišćenja mora tekućim i krutim otpadom. Za svaku aktivnost određene su posebne tarife kako je navedeno u [15].



## 5.2. ORGANIZACIJE, UREDBE I KONVENCIJE

Međunarodne organizacije kao što su Međunarodna pomorska organizacija i Međunarodna organizacija za standardizaciju imaju značajnu ulogu u reguliranju procedura koje pružaju sigurnost, zaštitu životne sredine i operativnu efikasnost. Pravni okvir koji čine različite konvencije, poput Međunarodne konvencije o sprečavanju zagađenja s brodova i Međunarodne konvencije o sigurnosti ljudskih života na moru uspostavlja obavezujuće standarde koje terminali moraju poštovati.

### 5.2.1. MEĐUNARODNE REGULACIJE

Na globalnoj razini ključnu ulogu u regulaciji terminala ukapljenog prirodnog plina ima Međunarodna pomorska organizacija (*International Maritime Organization - IMO*). Njene konvencije poput konvencije sigurnosti života na moru (*Safety of Life at Sea - SOLAS*) postavljaju standarde za sigurnost na moru, uključujući operacije na terminalima. Posebno je važna uloga sedmog poglavlja konvencije o sigurnosti ljudskih života na moru (*Safety of Life at Sea - SOLAS*) koje se odnosi na transport i skladištenje tekućeg prirodnog plina, dok Međunarodni kodeks za gradnju i opremu brodova (*International Building Code – IBC*) koji prevoze opasne kemikalije u rasutom stanju pruža tehničke smjernice za sigurnost u rukovanju ovim opasnim tvarima.

Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova također je od presudne važnosti za terminale ukapljenog prirodnog plina jer regulira prevenciju zagađenja okoliša iz brodova. Njezini dodatci poput Aneksa I koji govori o zagađenju naftom i Aneksa V koji govori o sprečavanju zagađenja otpadom s brodova primjenjuju se na terminale ukapljenog prirodnog plina kako bi se osiguralo pravilno upravljanje otpadom i minimalizirao rizik od zagađenja. [23]

Za sigurnosne aspekte Međunarodni kodeks za sigurnost brodova i luka pruža smjernice za zaštitu terminala od sigurnosnih prijetnji, uključujući terorizam i sabotazu. Taj kodeks je sastavni dio konvencije sigurnosti života na moru i postavlja okvir za procjenu sigurnosti, planiranje i implementaciju mjera zaštite. [23]

Međunarodno udruženje koje okuplja uvoznike ukapljenog prirodnog plina (*International Association of LNG Importers – GIIGNL*) omogućava svojim članovima pristup najnovijim podacima, analizama i izvještajima koji pomažu u razumijevanju trendova, izazova i prilika u sektoru prirodnog plina. Također služi kao platforma za razmjenu znanja o novim tehnologijama i inovacijama. [16]

Društvo međunarodnih operatera tankera i terminala za plin (*Society of International Gas Tanker and Terminal Operators – SIGTTO*) pruža smjernice i operativne standarde specifične za sigurno rukovanje i transport ukapljenog prirodnog plina s ciljem povećanja sigurnosti i održivosti u sektoru.

Obje organizacije redovito organiziraju sastanke, seminare i radionice kako bi njihovi članovi mogli razmijeniti iskustva, podijeliti najbolje prakse i surađivati na projektima koji doprinose razvoju industrije.

## 5.2.2. EUROPSKE REGULACIJE

Na razini Europske unije postoji niz direktiva i uredbi koje reguliraju rad terminala ukapljenog prirodnog plina s naglaskom na zaštitu okoliša i sigurnost. Direktiva o sigurnosti naftnih i plinskih operacija na moru (2013/30/EU), iako primarno usmjerena na offshore operacije postavlja sigurnosne standarde primjenjive i na terminale kako bi se osigurala visoka razina zaštite od nesreća i incidenata. [27]

Direktiva 2004/67/EZ o mjerama za osiguravanje sigurnosti opskrbe prirodnim plinom ima poseban značaj za LNG terminale u kontekstu sigurnosti opskrbe plinom u EU. Ova direktiva obavezuje države članice da implementiraju strategije za krizne situacije, pri čemu LNG terminali igraju ključnu ulogu. [27]

Direktiva o industrijskim emisijama (2010/75/EU) regulira emisije iz industrijskih postrojenja uključujući terminale ukapljenog prirodnog plina postavljajući standarde za sprječavanje i kontrolu zagađenja zraka, vode i tla. [24]

REACH Uredba (1907/2006/EC) dodatno kontrolira kemikalije unutar Europske Unije uključujući one koje se mogu koristiti ili skladištiti na terminalima, te osiguravajući da su sve kemikalije pravilno ocijenjene i sigurno upravljane. [24]

Organizacije za industrijske standarde uz zakonske okvire međunarodne organizacije poput Međunarodnog udruženja koje okuplja uvoznike ukapljenog prirodnog plina (*International Group of Liquefied Natural Gas Importers - GIIGNL*) i Društva međunarodnih operatera tankera i terminala za plin (*Society of International Gas Tanker and Terminal Operators - SIGTTO*) igraju ključne uloge u postavljanju tehničkih smjernica, najboljih praksi i operativnih standarda za sigurnost i efikasnost terminala ukapljenog prirodnog plina. [24]

## 6. PREVENCIJA U POGLEDU SIGURNOSTI I ZAŠTITE OKOLIŠA NA LNG TERMINALIMA

Neki od ekoloških problema koji se pojavljuju kod upravljanja i rada terminala ukapljenog prirodnog plina, te stvaraju potencijalu opasnost su upravljanje opasnim materijalima, štetne emisije koje onečišćuju zrak, ispuštanje otpadnih voda, upravljanje otpadom, problemi vezani uz transport i punjenje ukapljenog prirodnog plina, te stvaranje buke. [17]

Tijekom skladištenja i prijevoza ukapljenog prirodnog plina uvijek postoji rizik od curenja ili slučajnog ispuštanja plina iz cijevi, spremnika ili drugih komponenti, na tankeru ili na kopnenom postrojenju. Takvi rizici mogu imati ozbiljne posljedice, ne samo u smislu gubitka materijala već i zbog potencijalne opasnosti za okoliš i ljudsko zdravlje.

Jedan od glavnih rizika povezanih s ukapljenim prirodnim plinom je mogućnost požara ili eksplozije zbog zapaljivih karakteristika plina koji isparava, poznatog kao „boil-off gas“ (ispareni plin). Ovaj plin može formirati eksplozivne smjese sa zrakom, što predstavlja značajan sigurnosni izazov u radu s ukapljenim prirodnim plinom. [17]

Kako bi se spriječile nesreće i osigurao siguran rad spremnici za skladištenje takvog plina kao i sve ostale komponente sustava uključujući cijevi, ventile i pumpe, moraju biti dizajnirani i izrađeni u skladu s međunarodnim standardima koji reguliraju strukturni dizajn, integritet i operativne performanse. Ti standardi osiguravaju da svi elementi sustava ispunjavaju visoke sigurnosne kriterije te da su otporni na ekstremne uvjete poput vrlo niskih temperatura i visokog tlaka što je uobičajeno u radu s ukapljenim prirodnim plinom. [17]

Međunarodno priznati standardi poput onih propisanih od strane organizacija poput Međunarodne organizacije za standardizaciju ili Američkog naftnog instituta, obuhvaćaju niz odredbi i smjernica koje se primjenjuju na industriju ukapljenog prirodnog plina. Ti standardi uključuju protokole za puštanje u rad postrojenja, zaštitu od prenapunjavanja spremnika, implementaciju sekundarnih ograda za sprečavanje širenja curenja, mjerenje i kontrolu protoka plina, zaštitu od požara, uključujući instalaciju uređaja za zaustavljanje plamena, te sustave uzemljenja za sprječavanje elektrostatičkog punjenja koje može izazvati iskrenje i zapaljenje plina.

Jedan od ključnih zahtjeva za siguran rad je da spremnici za skladištenje ukapljenog plina prolaze redovite inspekcije kako bi se utvrdio njihov strukturni integritet i razina korozije. Inspekcije su ključne za otkrivanje potencijalnih slabosti koje bi mogle dovesti do curenja ili drugih opasnih situacija. Također, sustav katodne zaštite često se instalira kako bi se spriječila ili smanjila korozija metalnih dijelova spremnika i cijevi čime se dodatno produljuje vijek trajanja opreme i osigurava njezina sigurnost.

Na terminalima i tankerima instalirani su sofisticirani sustavi za detekciju curenja i kontrolu atmosfere koji neprestano nadziru razinu plina u zraku. U slučaju

otkrivanja povišene koncentracije plina, ovi sustavi automatski aktiviraju alarmne sustave i pokreću hitne protokole za zaustavljanje curenja i sprječavanje potencijalnog požara ili eksplozije. Također, moderne tehnologije omogućuju daljinsko praćenje i kontrolu ključnih operacija, što dodatno povećava razinu sigurnosti u rukovanju plinom.

Pravilno održavanje opreme, redovita obuka osoblja i strogo pridržavanje međunarodnih standarda ključni su elementi za osiguranje sigurnosti u industriji ukapljenog prirodnog plina. Takvi čimbenici smanjuju rizik od nesreća, te doprinose održivom i ekološki prihvatljivom radu postrojenja i transportnih sustava. [17]

Izvori emisija u zrak iz postrojenja ukapljenog prirodnog plina uključuju izgaranje za proizvodnju energije i topline poput kotlova za dehidraciju i ukapljivanje na terminalima, te aktivnosti regasifikacije. Također motori koji pogone velike strojeve poput kompresora i pumpi su značajni izvori emisija. Glavni zagađivači zraka iz navedenih izvora su dušikov oksid, ugljikov monoksid, ugljikov dioksid i sumporov dioksid.

Eksplozija terminala Plymouth prikazana je slikom 13. Prikazuje kako ljudska pogreška u kombinaciji s nedovoljno preciznim procedurama i neadekvatnom obukom može dovesti do katastrofalnih posljedica. Greška koja je dovela do eksplozije dogodila se nekoliko mjeseci prije samog incidenta kada je kraj cjevovoda zatvoren plastičnom folijom i zalijepljen trakom umjesto korištenja odgovarajuće opreme. Ova improvizacija omogućila je ulazak mješavine zraka i plina u sustav stvarajući eksplozivnu smjesu.



*Slika 13. LNG terminal Plymouth nakon nesreće [33]*

Djelatnici su prema izvještajima slijedili pisane procedure, no te procedure nisu bile dovoljno detaljne niti su predviđale sve moguće scenarije uključujući potrebu za temeljitijim čišćenjem viška zraka i kisika iz opreme. Kvalitetno čišćenje kisika iz

sustava ukapljenog prirodnog plina ključan je postupak koji se mora provoditi s najvećom pažnjom, jer i najmanja pogreška može dovesti do stvaranja opasne atmosfere unutar sustava. U ovom slučaju nedovoljno čišćenje dovelo je do nakupljanja kisika, što je u kombinaciji s prisutnošću ukapljenog prirodnog plina stvorilo uvjete za eksploziju.

Nakon incidenta istraga koju je proveo Upravni tehnički centar otkrila je da problem nije bio samo u nepažnji djelatnika, već u samim pisanim uputama koje nisu bile dovoljno jasne i detaljne. Pokazalo se da se godinama koristio neadekvatan postupak za pročišćavanje kisika što je ukazalo na sustavni propust u procedurama sigurnosti. To je rezultiralo situacijom u kojoj su djelatnici, unatoč svojim naporima, bili izloženi velikom riziku. [18]

Još jedna ozbiljna pogreška bila je slanje nedovoljno obučanih djelatnika u zone opasnih materijala što je direktno kršenje međunarodnih standarda sigurnosti rada u industriji ukapljenog prirodnog plina. Ti standardi jasno propisuju da samo potpuno obučeni i kvalificirani radnici smiju raditi u takvim visokorizičnim okruženjima, gdje čak i najmanja pogreška može dovesti do katastrofalnih posljedica. [18]

Nesreća se dogodila 31. ožujka 2014. godine i rezultirala je smrću petero radnika, a najmanje 120 radnika bilo je ozlijeđeno. Eksplozija je bila toliko snažna da je izazvala potres koji se osjetio gotovo deset kilometara od mjesta nesreće, dodatno naglašavajući razmjere katastrofe. Ova nesreća pokazuje koliko je važno imati precizno definirane sigurnosne procedure, adekvatnu obuku djelatnika i visokokvalitetnu opremu kako bi se spriječile slične tragedije u budućnosti. [18]

Nakon nesreće poduzete su brojne mjere za poboljšanje sigurnosnih protokola, uključujući reviziju pisanih uputa, uvođenje strožih inspekcija i osiguranje da svi radnici koji rade u zonama opasnih materijala prolaze kroz rigoroznu obuku. Također je povećan nadzor nad radom u postrojenjima kako bi se osiguralo da svi operativni postupci zadovoljavaju najviše standarde sigurnosti. Takav događaj služi kao upozorenje industriji o opasnostima nepridržavanja sigurnosnih standarda i važnosti kontinuiranog unapređenja sigurnosnih mjera. [18]

## 7. EKONOMSKI ASPEKT FUNKCIONIRANJA LNG TERMINALA

Ekonomski aspekt funkcioniranja terminala ukapljenog prirodnog plina ključan je za razumijevanje njegove uloge u globalnoj trgovini i energetici. Takvi terminali uz fleksibilan transport omogućuju smanjenje ovisnosti o tradicionalnim cjevovodima. Neki od ključnih ekonomskih aspekata su kapitalna ulaganja, tržišna fleksibilnost i ekonomski rast.

Pod kapitalnim ulaganjima podrazumijevaju se najskuplja ulaganja. Odnose se na kapital koji se ulaže u izgradnju terminala ukapljenog prirodnog plina, te uključuje troškove infrastrukture za ukapljivanje, transport i regasifikaciju plina.

Ulaganja u izgradnju i održavanje terminala smanjuju ovisnost o drugim dobavljačima i često smanjuju cijene domaćem tržištu. Povećanje broja terminala može utjecati na smanjenje cijene plina na globalnoj razini.

Izgradnja i rad terminala mogu utjecati na ekonomiju regije kroz stvaranje novih radnih mjesta i povećanje lokalnih poreznih prihoda.

### 7.1. MODELI PRIHODA

Prihodi iz industrije ukapljenog prirodnog plina mogu se ostvarivati kroz različite komercijalne strukture ovisno o ulozi koju tvrtka ima unutar opskrbnog lanca prirodnog plina. Jedan od modela prihoda temelji se na komercijalnoj strukturi koja uključuje vođenje procesa od proizvodnje prirodnog plina do njegovog ukapljivanja. U tom slučaju tvrtka koja posjeduje postrojenje za ukapljivanje može kupovati prirodni plin od različitih proizvođača, a zatim ostvariti profit prodajom ukapljenog prirodnog plina po višoj cijeni krajnjim kupcima. Ovaj model omogućava tvrtkama da iskoriste razlike u tržišnim cijenama između prirodnog plina u plinovitom stanju i ukapljenog prirodnog plina, što može rezultirati značajnim prihodima.

Drugi model komercijalne strukture je naplata usluge ukapljivanja. Takav model je prisutan u Sjedinjenim Američkim Državama, gdje ukapljivači prirodnog plina često nemaju pravo na vlasništvo nad samim plinom. Oni naplaćuju naknadu za pružanje usluge ukapljivanja, te pružaju tehničku uslugu pretvaranja plina u tekuće stanje, a vlasnici plina zadržavaju vlasništvo tijekom cijelog procesa. Ukapljivači generiraju prihod isključivo iz uslužnih aktivnosti poput pretvaranja plina u tekuće stanje. Takav pristup smanjuje komercijalni rizik za ukapljivače, te ograničava njihov profitni potencijal budući da ne sudjeluju u cjenovnim razlikama na tržištu plina.

### 7.2. EKONOMSKI ASPEKT IZGRADNJE LNG TERMINALA

Prije donošenja konačne investicijske odluke (*Final Investment Decision* - FID) potrebno je provesti niz pripremnih aktivnosti. Prva aktivnost je studija izvedivosti koja analizira sve tehničke, ekonomske, pravne i okolišne aspekte projekta kako bi se utvrdilo je li projekt održiv. Nakon nje slijedi faza inženjerskog dizajna prije kraja (*Pre*

*Front End Engineering Design - Pre-FEED*) gdje se tehnički rad podiže na višu razinu detalja uključujući početni inženjerski dizajn i procjenu troškova. [19]

Na kraju dolazi faza prednjeg inženjerskog dizajna (*Front End Engineering Design - FEED*) u kojoj se provode detaljni inženjerski radovi i priprema za izgradnju. Do zadnje faze potrebno je osigurati sve potrebne dozvole, provesti sva potrebna ispitivanja i sklopiti ključne ugovore, kako bi se osiguralo da je projekt spreman za početak izgradnje čim se donese konačna investicijska odluka. [19]

Ključni dio uspjeha projekata ukapljenog prirodnog plina je praćenje najnovijih tehnoloških dostignuća i inovacija koje mogu značajno unaprijediti učinkovitost i sigurnost operacija poput napretka u tehnologiji ukapljivanja, poboljšanje u sustavima za pohranu plina, te nove metode za smanjenje emisija i poboljšanje energetske učinkovitosti. To su faktori koji mogu doprinijeti povećanju profitabilnosti projekta. [19]

Također suradnja s međunarodnim organizacijama može osigurati pristup najnovijim industrijskim standardima, smjernicama i studijama slučajeva što može pomoći u optimizaciji rada terminala i smanjenju operativnih rizika. [19]

Ekonomski aspekti terminala ukapljenog prirodnog plina uključuju nekoliko ključnih čimbenika, a jedan od njih je financijski model koji se koristi za izgradnju i operacije terminala. Zbog visokih početnih kapitalnih ulaganja, projekti terminala često zahtijevaju značajna financijska sredstva koja se prikupljaju kroz suradnju različitih investitora. Takvi projekti privlače konzorcije privatnih tvrtki, državnih agencija i međunarodnih financijskih institucija. Diversifikacija investitora pomaže raspodijeliti financijski rizik i omogućuje lakše osiguranje kapitala potrebnog za završetak projekta.

### 7.3. POVRAT ULOŽENIH SREDSTAVA I EKONOMSKI UČINAK

Jedan od temeljnih mehanizama za osiguranje stabilnog povrata ulaganja jesu dugoročni ugovori o prodaji plina poznati pod "take-or-pay" ugovori. Prema tom modelu kupci ukapljenog prirodnog plina obvezuju se na kupnju određenih količina tijekom ugovorenog razdoblja i u slučaju ako im te količine plina nisu potrebne u potpunosti. [25]

Takav aranžman osigurava stabilan prihod za operatore terminala čime se smanjuje rizik povezan s volatilnošću cijena i potražnje na energetskom tržištu. Dugoročni ugovori ključni su za osiguranje financijske održivosti projekta jer pružaju stabilnost i predvidljivost prihoda omogućujući lakše servisiranje dugova i povrat uloženi sredstava. [25]

Mnogi terminali koriste fleksibilne cjenovne mehanizme kako bi iskoristili promjene na tržištu prirodnog plina. U uvjetima kada je potražnja za plinom visoka, a ponuda ograničena, operatori terminala mogu ostvariti dodatne prihode prodajom plina po višim tržišnim cijenama. Takva fleksibilnost omogućava operatorima da

maksimiziraju profitabilnost posebno u vremenu globalnih energetske krize ili smanjenja dostupnosti plina iz drugih izvora. [25]

Terminali ukapljenog prirodnog plina često imaju pozitivan učinak na lokalnu ekonomiju. Povećanje lokalne potrošnje i stvaranje radnih mjesta vezanih uz izgradnju, održavanje i operaciju terminala doprinosi ekonomskom rastu regija u kojima se terminali nalaze. Prihodi od poreza, naknada i drugih doprinosa također jačaju fiskalnu stabilnost lokalnih i nacionalnih vlasti. [26]

Terminali omogućuju diversifikaciju izvora energije i smanjenje ovisnosti o tradicionalnim dobavljačima plina putem cjevovoda što poboljšava energetske sigurnost država koje ih koriste i omogućava povećanu konkurenciju na tržištu plina što dugoročno može rezultirati povoljnijim cijenama za krajnje potrošače. [26]

Takvi faktori čine terminale ukapljenog prirodnog plina ključnim infrastrukturnim objektima za energetske opskrbu, te važnim akterima u ekonomskom i industrijskom razvoju. Ulaganje u projekte takvih terminala može donijeti značajne financijske beneficije za sve uključene strane u slučaju pažljivog planiranja, te odgovarajuće raspoređenog rizika među svim sudionicima projekta. [26]

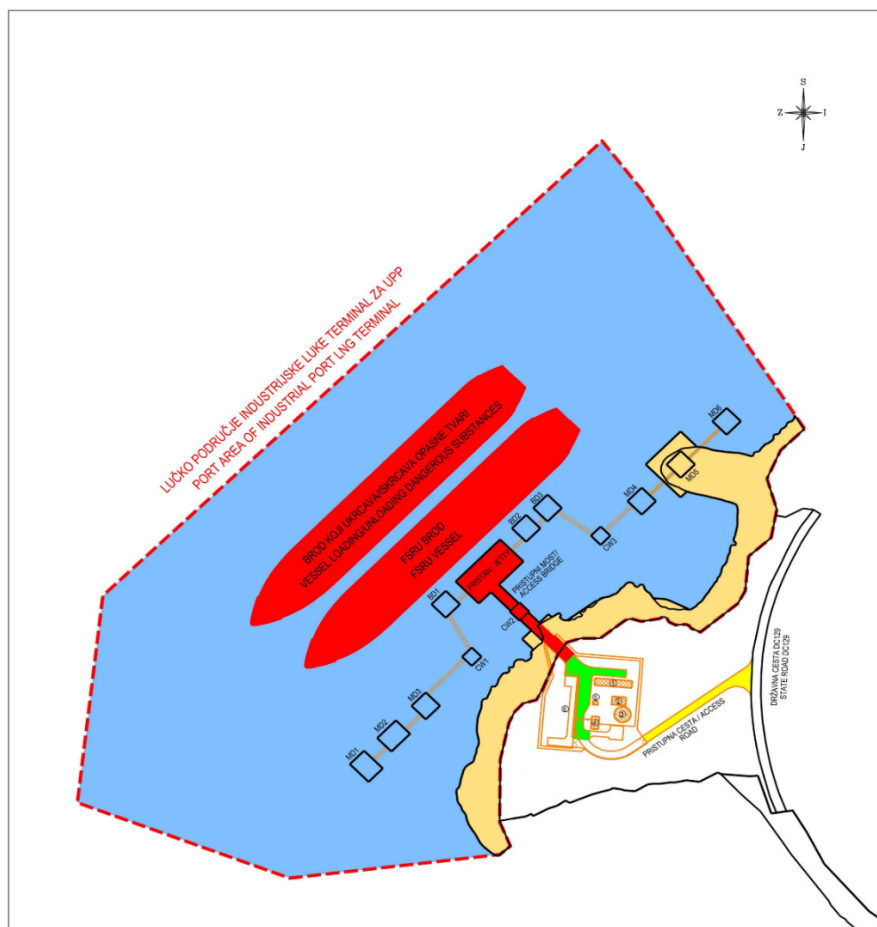


## 8. ANALIZA RADA PLUTAJUĆEG TERMINALA ZA UPP OMIŠALJ-KRK

Terminal ukapljenog prirodnog plina smješten na otoku Krku ima važnu ulogu u osiguravanju energetske sigurnosti Europske unije. Njegova geopolitička važnost dodatno je naglašena tijekom Rusko-Ukrajinskog rata koji je izazvao značajne poremećaje u opskrbi plinom diljem Europe. Iz tog razloga je terminal prepoznat kao strateški važan projekt na razini Europske Unije, te je uvršten na popis projekata zajedničkog interesa. Europska unija dodijelila je sredstva u iznosu od 101,4 milijuna kuna za njegovu izgradnju i razvoj, čime se dodatno osnažuje energetska neovisnost i sigurnost cijele regije. [20]

### 8.1. INFRASTRUKTURA I PREKRCAJNE OPERACIJE

Terminal ukapljenog prirodnog plina na Krku sastoji se od dva glavna dijela koja podrazumijevaju plutajuće jedinice za skladištenje i uplinjavanje (*Floating Storage and Regasification Unit - FSRU*) i kopnenog dijela terminala. Ta dva segmenta zajedno čine tehnički kapacitet terminala od 2,9 milijardi kubnih metara prirodnog plina godišnje, što značajno doprinosi ukupnim kapacitetima za opskrbu plinom u regiji. [20] Na slici 14 prikazan je tlocrt terminala na Krku.



Slika 14. Tlocrt terminala za ukapljeni prirodni plin Omišalj - Krk [38]

Brodovi koji se koriste predstavljaju glavnu komponentu terminala, s četiri skladišna spremnika ukupnog kapaciteta od 140 tisuća kubnih metara za skladištenje ukapljenog prirodnog plina. Plin se pohranjuje na brodu dok ne bude potreban za isporuku u plinovodnu mrežu. [20]

Na brodu su smještene i tri jedinice za uplinavanje koje su važne za proces vraćanja plina iz tekućeg u plinovito stanje. Takve jedinice rade s kapacitetom uplinjavanja od 451,9 kubnih metara plina na sat, koristeći toplinu morske vode za ovaj proces. Morska voda koristi se za grijanje i uplinjavanje plina, a nakon procesa se vraća natrag u more. [20]

Proces uplinjavanja i prijenosa plina nadziru operateri iz centralne upravljačke sobe, a autonomni sigurnosni sustavi osiguravaju zaštitu od požara i sprječavaju eventualna curenja plina. Terminal ima vlastitu elektranu koja proizvodi energiju potrebnu za sve operacije na brodu i na kopnenom dijelu. [20]

Kopneni dio terminala obuhvaća niz infrastrukturnih elemenata koji omogućuju sigurno pristajanje, povezivanje i operacije broda. Na njemu se nalaze pristan, oslanjačke i privezne utvrde, te pretovarne visokotlačne ruke koje povezuju brod s plinovodom. Pristan se sastoji od betonske platforme na kojoj su smještene pretovarne ruke i oslanjačke utvrde koje su također izrađene od betona i opremljene sustavima za sigurno i brzo odvezivanje u slučaju hitnih situacija. Pristupni most dug je 90 metara, te povezuje pristan s kopnom omogućujući pristup osoblju i vozilima. Kopneni dio terminala prikazan je na slici 15. [20]



*Slika 15. Kopneni dio terminala Omišalj - Krk [20]*

Također kopneni dio uključuje priključni plinovod duljine 4,2 kilometra koji povezuje pristan s plinskim čvorom i omogućuje prijenos plina u nacionalni plinovodni sustav. Opremljen je priključnim vodovodom koji osigurava pitku vodu za potrebe osoblja i za punjenje protupožarnih spremnika, osiguravajući visoku razinu sigurnosti u slučaju požara. Upravljanje cijelim sustavom provodi se iz upravljačkih zgrada smještenih na kopnu, a dodatno su postavljeni i sustavi za zaštitu od požara kako bi se spriječile nesreće i osigurao nesmetan rad terminala. [20]

Terminal na Krku ima kapacitete prikazani u tablici 2 koji omogućuju učinkovito uplinjavanje i distribuciju prirodnog plina. Terminal može maksimalno uplinjavati do 450.000 kubičnih metara plina na sat, ali u praksi komercijalni kapacitet iznosi 338.000 kubičnih metara po satu osiguravajući stabilnu opskrbu tijekom godine. [2]

Operativno terminal je predviđen za rad tijekom cijele godine, s tehničkim i komercijalnim kapacitetima koji omogućuju kontinuirano funkcioniranje 358 dana godišnje. Godišnji kapacitet otpreme plina u sustav premašuje 2,9 milijardi kubičnih metara, s time da komercijalno otpremanje dostiže gotovo 2,7 milijardi kubičnih metara, čime terminal značajno doprinosi energetske sigurnosti regije. [2]

Tablica 2. Kapaciteti Terminala za ukapljeni prirodni plin Omišalj – Krk

| OPIS KAPACITETA                                  | MAKSIMALNI    | TEHNIČKI      | KOMERCIJALNI  |
|--|---------------|---------------|---------------|
| Maksimalna stopa uplinavanja (m <sup>3</sup> /h) | 450.000       | 338.000       | 338.000       |
| Broj radnih dana u plinskoj godini               | 365           | 358           | 358           |
| Godišnja otprema u sustav (m <sup>3</sup> )      | 3.942.000.000 | 2.904.096.000 | 2.700.809.280 |

Izvor: [20]

Takav terminal predstavlja ključni energetski objekt za Hrvatsku, te je važan strateški resurs za cijelu Europsku uniju osiguravajući stabilnu i sigurnu opskrbu plinom u vremenima geopolitičkih napetosti i energetske nesigurnosti. [20]

Proces prekrcaja na terminalu započinje dolaskom tankera u pristanište terminala koje je dizajnirano za prihvatanje brodova velikih kapaciteta uključujući i najnovije generacije tankera. Prije dolaska broda operativni timovi na terminalu provode opsežne pripreme uključujući vremenske prognoze, provjeru lučkih uvjeta i usklađivanje s rasporedom dolaska drugih brodova kako bi se izbjegla potencijalna zagušenja u luci.

Pristajanje tankera obavlja se uz pomoć pomorskih pilota i remorkera koji osiguravaju sigurno vođenje broda do pristaništa. Precizna koordinacija između kapetana tankera, pilota i operativnog osoblja na terminalu ključna je za uspješno

pristajanje osobito s obzirom na visoke sigurnosne standarde koji se moraju poštovati zbog prirode tereta.

Nakon pristajanja tanker se osigurava pomoću modernih sustava za privez, koji su dizajnirani da izdrže ekstremne vremenske uvjete i minimiziraju rizik od pomicanja broda. Nakon sigurnog priveza započinje faza priključivanja tankera na terminalske instalacije. Ta faza uključuje korištenje sofisticiranih i tehnološki naprednih "marine loading arms" (morske ruke za pretakanje) koje omogućuju sigurno spajanje brodskih spremnika s terminalskim cjevovodima. Ruke su opremljene višestrukim razinama zaštite uključujući dvostruke brtve, sustave za brzo otpuštanje (*Emergency Release Systems* - ERS) i senzore za detekciju curenja kako bi se osigurala maksimalna sigurnost tijekom cijelog procesa.

Prije početka prekrcaja provodi se temeljita inspekcija svih spojeva i cjevovoda kako bi se osiguralo da su svi sustavi u optimalnom stanju. Svi sustavi za nadzor i kontrolu testiraju se kako bi se osiguralo njihovo ispravno funkcioniranje. Operativni timovi koji uključuju stručnjake za sigurnost i inženjere nadgledaju proces kako bi se identificirali i riješili eventualni problemi prije početka prelijevanja ukapljenog prirodnog plina.

Nakon što su sustavi priključeni i provjereni započinje faza prelijevanja plina iz brodskih spremnika u spremnike na terminalu ili izravno u regasifikacijske jedinice. Takav proces odvija se pod strogim nadzorom, a svaki aspekt operacije kontrolira se putem nadzorne kontrole i prikupljanja podataka (*Supervisory Control and Data Acquisition* - SCADA).

Takvi sustavi omogućuju operaterima da u stvarnom vremenu prate ključne parametre poput tlaka, protoka i temperature plina, te omogućuju brzo interveniranje u slučaju bilo kakvih odstupanja od predviđenih vrijednosti.

Tijekom prelijevanja važna stavka je stabilnost tlaka u cjevovodima i spremnicima kako bi se spriječilo stvaranje plinskih džepova ili isparavanje plina što bi moglo dovesti do gubitka i sigurnosnih problema. Iz tog razloga cjevovodi su opremljeni sustavima za održavanje konstantnog tlaka i temperature uz korištenje ventilacijskih sustava koji omogućuju sigurno ispuštanje eventualnih isparavanja.

Slika 16 prikazuje terminal na otoku Krku s posebnim naglaskom na ključne elemente morskog dijela terminala. Na slici se jasno ističe plutajuća jedinica za skladištenje i uplinjavanje koja je prepoznatljiva po plavom dnu.

Takva jedinica spaja se s tankerom koji ima crveno dno. On je specijaliziran za prijevoz ukapljenog prirodnog plina. Tanker doprema tekući prirodni plin do terminala gdje se putem cijevi spaja na plutajuću jedinicu za skladištenje radi istovara. Ovaj proces uključuje prijenos ukapljenog prirodnog plina iz tankera u skladišne spremnike broda. Nakon završetka procesa iskrcanja tanker se razdvaja i napušta terminal čime se otvara prostor za dolazak sljedećeg tankera.





Slika 16. Iskrcaj LNG-a na terminalu Omišalj-Krk [39]

## 8.2. SIGURNOST I STANDARDI

Sigurnost jedinice za skladištenje i uplinjavanje osigurana je strogim pridržavanjem međunarodnih standarda i propisa. Takva jedinica mora zadovoljiti uvjete konvencije sigurnosti života na moru (*Safety of Life at Sea - SOLAS*) koja predstavlja ključni međunarodni sporazum za sigurnost pomorskog prometa.

Također jedinica mora biti u skladu sa standardima Međunarodne pomorske organizacije koja postavlja smjernice za sigurnost, zaštitu okoliša i radne uvjete na brodovima.

Uz ove međunarodne standarde mora ispuniti zahtjeve koje postavljaju društva za klasifikaciju brodova koja provjeravaju sigurnost, strukturalni integritet i operativnu spremnost plovila. Brod mora zadovoljiti zakone i regulative zemlje u kojoj posluju što uključuje specifične nacionalne sigurnosne i ekološke propise.

Kombinacija strogih sigurnosnih standarda, besprijekorne sigurnosne evidencije i pažljivog upravljanja otpadom čini jedinicu za skladištenje i uplinjavanje i terminale ukapljenog prirodnog plina jednim od najsigurnijih i ekološki najprihvatljivijih rješenja u globalnom energetsom sektoru. [21]

Na terminalu Krk pristup brodova i rukovanje opasnim tvarima strogo su regulirani kako bi se osigurala sigurnost i zaštita okoliša. Sukladno Međunarodnoj konvenciji o sprječavanju onečišćenja s brodova (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships - MARPOL*) koja postavlja međunarodne standarde za sprječavanje onečišćenja s brodova postoje specifična ograničenja količine opasnih tvari koje se smiju nalaziti na brodovima prilikom pristupa terminalu. Brodovi koji

dolaze na terminal Krk smiju imati maksimalno 170.000.000 kg plinova pod tlakom (Klasa 2) koji su ukapljeni ili otopljeni pod tlakom. [21]

Ove tvari zahtijevaju specijaliziranu opremu i stroge sigurnosne procedure zbog rizika od eksplozije i curenja. Za zapaljive tekućine (Klasa 3) koje uključuju materijale poput benzina i kerozina dozvoljena količina je 7.000.000 kg. Takve se tekućine moraju skladištiti s velikim oprezom kako bi se spriječili požari i eksplozije, te se mora pravilno rukovati s njima. [21]

Maksimalno 1.000 kg zapaljivih krutih tvari (Klasa 4.1), 1.000 kg otrovnih tvari (Klasa 6.1), 2.000 kg korozivnih tvari (Klasa 8) i 2.000 kg drugih opasnih tvari (Klasa 9) smije biti prisutno na brodovima koji pristaju na terminalu. Te tvari zahtijevaju specijalne mjere skladištenja i rukovanja kako bi se smanjio rizik od nesreća i zagađenja okoliša. [21]

Ograničenja i regulative osiguravaju da operacije na terminalu Krk teku sigurno i u skladu s međunarodnim standardima za zaštitu okoliša. [21]

Na terminalu Krk određene aktivnosti obavljaju druge tvrtke. Tegljenje obavlja Jadranski pomorski servis d.d., privez i odvez broda obavljaju Rijeka plov d.d. i Luka Rijeka d.d., prihvata otpremu i zbrinjavanje svih vrsta otpada prema kategorijama i sanaciju onečišćenja mora obavljaju Dezinfekcija d.o.o. i Ind-eko d.o.o. i špediciju obavljaju Jadroagent d.d. i Liburnia maritime agency Ltd.

Terminal iako prati međunarodne standarde za sigurnost ima politiku sprječavanja velikih nesreća. Dijeli se na sedam dijelova, a to su [22]:

- a) Organizaciju i zaposlenike
- b) Prepoznavanje i procjenu značajnih opasnosti
- c) Nadzor rada postrojenja
- d) Upravljanje promjenama
- e) Planiranje za slučaj opasnosti
- f) Praćenje učinkovitosti
- g) Revizija i pregled

U slučaju da dođe do neke značajne promjene u sustavu, opremi ili procesu mora se provesti revizija propisanih postupaka i moraju se ažurirati procedure. Nakon samog uvođenja novih oprema, novih načina rada ili novih tehnologija provodi se obvezna edukacija zaposlenika za ispravan rad. Zaposlenici su obučeni za inicijalno gašenje požara, određeni su educirani i za pružanje prve pomoći, provođenje evakuacije i spašavanje. U određenim periodima se provode vježbe pripravnosti za neželjene situacije. [22]

### 8.3. BUDUĆNOST I NAPREDOVANJE

Podatak da su svi kapaciteti terminala ukapljenog prirodnog plina u Omišlju na Krku ovog trenutka zakupljeni do 1. listopada 2037. najbolji je dokaz o isplativosti i opravdanosti projekta koji je svoje začetke imao još sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća.

Terminal na Krku predstavlja ključnu komponentu energetske infrastrukture Hrvatske i planira se njegovo značajno unapređenje kako bi se zadovoljile rastuće energetske potrebe i podržale energetske strategije Hrvatske i Europske unije.

Povećanje kapaciteta se planira proširenjem terminala kako bi se omogućila veća količina ukapljenog prirodnog plina za uvoz. Ta ekspanzija uključuje izgradnju dodatnih skladišnih kapaciteta i povećanje kapaciteta za regasifikaciju čime terminal ima veću mogućnost prilagođavanju većim količinama plina. Proširenje plovnog prometa planira se povećanjem broja tankerskih pristajališta. Proširenja bi morala omogućiti veću fleksibilnost i efikasnost u prijemu i distribuciji ukapljenog prirodnog plina.

Posebna pažnja posvećuje se uvođenju ekološki prihvatljivijih tehnologija i praksi. Cilj je smanjenje emisije stakleničkih plinova i smanjenje utjecaja na okoliš čime se doprinosi održivijem energetske sektoru.

Prema informacijama dostupnim na web stranici Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja Hrvatske, radovi na proširenju terminala trebali bi biti završeni do kraja 2025. ili početkom 2026. godine. Trenutno su u tijeku pripreme za ugradnju novog modula, uključujući projektiranje, naručivanje materijala i proizvodnju čelika za izgradnju. [31]

Planirani su i drugi značajni projekti, a među njima je izgradnja dodatnih stanica za poboljšanje distribucije plina, postavljanje solarne elektrane koja će opskrbljivati terminal energijom, te razvoj sustava za skladištenje ugljikovog dioksida kako bi se smanjile emisije štetnih plinova. U sklopu šire tranzicije na zelenu energiju provodi se zamjena podmorskih kablova između Krka, Cresa i Lošinja kako bi se modernizirala i digitalizirala mreža. Ti projekti zajedno čine važan dio strategije Hrvatske za održivu i ekološki prihvatljivu energetske budućnost. [31]

## 9. ZAKLJUČAK

Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled ključnih aspekata prekrcajnih operacija na terminalima ukapljenog prirodnog plina s naglaskom na tehničko-tehnološke pokazatelje, zakonsku regulativu, sigurnosne i ekološke preventivne mjere, ekonomske aspekte i analizu rada plutajućeg terminala za ukapljeni prirodni plin na Krku.

Kroz analizu tehničko-tehnoloških pokazatelja može se vidjeti da terminali ukapljenog prirodnog plina predstavljaju visoko sofisticirane infrastrukture koje zahtijevaju precizno upravljanje i strogo pridržavanje međunarodnih standarda kako bi se osigurala učinkovitost i sigurnost operacija. Zakonska regulativa u funkciji takvih terminala poput Međunarodnih konvencija i nacionalnih zakona osigurava okvir unutar kojeg se odvijaju sve aktivnosti na terminalima pružajući zaštitu za radnike, imovinu i okoliš.

Prevenција u sigurnosti i zaštiti okoliša jedan je od najvažnijih aspekata u radu terminala ukapljenog prirodnog plina. Strogim pridržavanjem međunarodnih i nacionalnih standarda poput konvencije sigurnosti života na moru i Međunarodne konvencije o sprječavanju onečišćenja s brodova, te uvođenjem najboljih industrijskih praksi terminali ukapljenog prirodnog plina minimiziraju rizike od nesreća i onečišćenja čime osiguravaju visoku razinu sigurnosti za radnike i zaštitu okoliša.

Ekonomski aspekti funkcioniranja terminala također su od velike važnosti jer utječu na isplativost i održivost projekata. Uspjeh terminala ovisi o pažljivoj ekonomskoj analizi i strateškom planiranju uključujući upravljanje troškovima, osiguranje dugoročnih ugovora i privlačenje investicija.

Organizacije i regulative zajedno osiguravaju da terminali ukapljenog prirodnog plina diljem svijeta posluju u skladu s najvišim standardima sigurnosti, zaštite okoliša i operativne efikasnosti, neovisno da li su u pitanju globalni okviri Međunarodne pomorske organizacije ili specifične europske regulative unutar Europske Unije.

Analiza rada plutajućeg terminala za ukapljeni prirodni plin Krk pokazala je da takvi terminali mogu biti izuzetno učinkoviti i pouzdani u opskrbi prirodnim plinom, a posebno u kontekstu promjena na globalnom energetsom tržištu. Plutajući terminal na Krku s besprijekornom sigurnosnom evidencijom i suvremenom tehnološkom opremom predstavlja značajan doprinos energetske sigurnosti Hrvatske i Europske unije. Rad na tom terminalu pokazuje kako pravilno upravljanje, poštivanje zakonskih i sigurnosnih propisa, te ekonomski učinkovito poslovanje mogu rezultirati uspješnim operacijama koje zadovoljavaju visoke standarde u energetsom sektoru.

Naglašava se važnost integriranog pristupa u upravljanju takvim terminalima, gdje su tehnička izvrsnost, zakonska usklađenost, sigurnosne i ekološke mjere te ekonomska održivost ključni faktori za dugoročan uspjeh. Prekrcajne operacije na terminalima ukapljenog prirodnog plina zahtijevaju kontinuiranu prilagodbu i usvajanje



najnovijih tehnoloških i regulatornih trendova kako bi se osigurala njihova sigurnost, učinkovitost i održivost u dinamičnom globalnom energetsom sektoru.

## LITERATURA

- [1] Elengy. *What is LNG?* Preuzeto s: [What is LNG? | Elengy](#) (Prisutpljeno 27. srpnja 2024.)
- [2] LNG Hrvatska. *Opće informacije*. Preuzeto s: <https://lng.hr/opce-informacije/> (Prisutpljeno 27. srpnja 2024.)
- [3] Analytical Solutions and Products. (2024). *LNG Terminals over the world: Complete list and map 2024*. Preuzeto s: <https://www.asap.nl/lng-terminals-over-the-world-complete-list-and-map-2024/#h-complete-map-of-lng-terminals-in-2024> (Prisutpljeno 29. srpnja 2024.)
- [4] Kramar M. *LNG terminali u EU*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije; 2021. Preuzeto s: [LNG terminali u EU \(unizg.hr\)](#) (Prisutpljeno 29. srpnja 2024.)
- [5] LNG Hrvatska. (2024). *Zaštita okoliša*. Preuzeto s: <https://lng.hr/zastita-okolisa/mjere-zastite-okolisa/> (Prisutpljeno 29. srpnja 2024.)
- [6] Freeport LNG terminal. *Gas Liquefaction*. Preuzeto s: [Our Business | Gas Liquefaction | Freeport LNG](#) (Prisutpljeno 29. srpnja 2024.)
- [7] Eikens M., „How Does Regasification of LNG Work?“, *ECONNECT ENERGY*, siječanj 2021. Preuzeto s: <https://www.econnectenergy.com/articles/how-does-regasification-of-lng-work> (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [8] INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED GAS IMPORTERS. *What is LNG*. Preuzeto s: [What is LNG - \(giignl.org\)](#) (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [9] THE INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS. (2021). *LNG CUSTODY TRANSFER HANDBOOK*. Preuzeto s: [giignl custody transfer handbook 6.0 - may 21 0-1.pdf](#) (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [10] Balasubramanian S., „Construction and Operation of Loading Arms Used for LNG Carriers“, *MARINE INSIGHT*, srpanj 2019. Preuzeto s: [Construction and Operation of Loading Arms Used for LNG Carriers \(marineinsight.com\)](#) (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [11] LNG Hrvatska. *Akti Luke*. Preuzeto s: <https://lng.hr/luka/akti-luke/> (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [12] Republika Hrvatska. *Pravilnik o redu u luci posebne namjene – Industrijska luka terminal za ukapljeni prirodni plin, Omišalj-Njivice*. Izdanje: 2/0. Zagreb: LNG Hrvatska d.o.o.; 2021. (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)

- [13] Republika Hrvatska. *Pravilnik o određivanju klase i količine opasnih tvari kojima se može rukovati u luci Dubrovnik Gruž, odnosno s kojima brod može ući u luku i mjesta u luci Dubrovnik Gruž na kojima će se rukovati takvim tvarima*. Izdanje: 158. Lučka Uprava Dubrovnik; 2015. (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [14] LNG Hrvatska. Sigurnost. Preuzeto s: <https://lng.hr/zastita-okolisa/sigurnost/> (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [15] Republika Hrvatska. *Odluka o maksimalnom iznosu cijena (tarifa) za pružanje usluga posebnih djelatnosti na lučkom području luke posebne namjene – Industrijska luka terminal za UPP, Omišalj-Njivice*. Izdanje: 023. LNG Hrvatska; 2023. (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [16] THE INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS. *Who we are*. Preuzeto s: <https://giignl.org/about-us/> (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [17] International Finance Corporation. (2017, travanj 10). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Liquefied Natural Gas Facilities*. Preuzeto s: [Environmental, Health, and Safety Guidelines for Liquefied Natural Gas Facilities \(ifc.org\)](https://www.ifc.org/~/media/Environmental-Health-and-Safety-Guidelines-for-Liquefied-Natural-Gas-Facilities) (Prisutpljeno 31. srpnja 2024.)
- [18] Powell T., „Fracked Fuel & Petrochemical Projects in the Pacific Northwest“, *Sightline Institute*, lipanj 2016. Preuzeto s: <https://www.sightline.org/2016/06/03/williams-companies-failed-to-protect-employees-in-plymouth-lng-explosion/> (Prisutpljeno 12. kolovoza 2024.)
- [19] Eikens M., „Economics of the LNG Value Chain“, *ECONNECT ENERGY*, studeni 2020. Preuzeto s: <https://www.econnectenergy.com/articles/economics-of-the-lng-value-chain> (Prisutpljeno 12. kolovoza 2024.)
- [20] LNG Hrvatska. *Terminali*. Preuzeto s: <https://lng.hr/terminal/> (Prisutpljeno 12. kolovoza 2024.)
- [21] Republika Hrvatska. *Plan za prihvati i rukovanje otpadom i ostacima tereta luke posebne namjene – Industrijske luke i terminal za UPP, Omišalj-Njivice*. Izdanje: 2/0. LNG Hrvatska; 2023. (Prisutpljeno 12. kolovoza 2024.)
- [22] Republika Hrvatska. *Politika spječavanja velikih nesreća*. Izdanje: 2/0. LNG Hrvatska; 2023. (Prisutpljeno 12. kolovoza 2024.)
- [23] International Maritime Organization. *Introduction to IMO*. Preuzeto s: <https://www.imo.org/> (Prisutpljeno 15. kolovoza 2024.)
- [24] Republika Hrvatska. *Direktiva 2010/75/EU Europskog parlamenta i vijeća o industrijskim emisijama (integrirano sprječavanje i kontrola onečišćenja)*. Izdanje: 334/17. Službeni list Europske Unije; 2010.

- [25] International Gas Union. (2019, rujan 23). Global Natural Gas Insight. Preuzeto s: <https://www.igu.org/> (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [26] Stern J. *Challenges to the Future of Gas: unburnable or unaffordable?* Oxford: The Oxford Institute for Energy Studies; 2017. Preuzeto s: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2017/12/Challenges-to-the-Future-of-Gas-unburnable-or-unaffordable-NG-125.pdf> (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [27] Luxembourg. *Council Directive 2004/67/EC of 26 April 2004 concerning measures to safeguard security of natural gas supply.* Izdanje: 127. European Union; 2004. (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [28] Galešić Z. *Kopnena i odobalna postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina.* Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet; 2013. Preuzeto s: [Kopnena i odobalna postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina | Repozitorij Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu \(unizg.hr\)](http://www.unizg.hr/Repository/Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta/Sveučilišta-u-Zagrebu) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [29] Gregorić V. *Skladištenje i uplinavanje ukapljenog prirodnog plina.* Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet; 2013. Preuzeto s: [Skladištenje i uplinavanje ukapljenog prirodnog plina | Repozitorij Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu \(unizg.hr\)](http://www.unizg.hr/Repository/Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta/Sveučilišta-u-Zagrebu) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [30] Jerolimov Z. *Projekt izgradnje alternativnog terminala za ukapljeni prirodni plin u Republici Hrvatskoj.* Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet; 2011. Preuzeto s: [Projekt izgradnje alternativnog terminala za ukapljeni prirodni plin u Republici Hrvatskoj | Repozitorij Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu \(unizg.hr\)](http://www.unizg.hr/Repository/Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta/Sveučilišta-u-Zagrebu) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [31] ENERGETSKI PORTAL. (2024, veljača 29). Radovi na modulu LNG terminala na Krku biće završeni u naredne dvije godine? Preuzeto s: [Radovi na modulu LNG terminala na Krku biće završeni u naredne dvije godine? | Energetski Portal](http://www.energetskiportal.hr/radovi-na-modulu-lng-terminala-na-krku-bice-završeni-u-naredne-dvije-godine/) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [32] Lazibat L. *Sigurnost od požara na brodovima za prijevoz LNG-a.* Završni rad. Sveučilište u Dubrovniku, Brodostrojarski studij; 2019. Preuzeto s: [Sigurnost od požara na brodovima za prijevoz prirodnog ukapljenog plina \(LNG-a\) | Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR \(nsk.hr\)](http://www.nacionalni-repozitorij-završnih-i-diplomskih-radova-zir.nsk.hr/Sigurnost-od-požara-na-brodovima-za-prijevoz-prirodnog-ukapljenog-plina-(LNG-a)-|Nacionalni-repozitorij-završnih-i-diplomskih-radova-ZIR-(nsk.hr)) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [33] Williams. (2024). *Williams expands pipeline capacity to deliver natural gas to LNG export facility at Sabine pass.* Preuzeto s: [Williams expands pipeline capacity to deliver natural gas to LNG export facility at Sabine pass | Williams Companies](http://www.williamscompanies.com/Williams-expands-pipeline-capacity-to-deliver-natural-gas-to-LNG-export-facility-at-Sabine-pass-|Williams-Companies) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [34] Lusas. (2024). *Design and analysis of above-ground full containment LNG storage tanks.* Preuzeto s: [Design and analysis of above-ground full containment LNG storage tanks \(lusas.com\)](http://www.lusas.com/Design-and-analysis-of-above-ground-full-containment-LNG-storage-tanks-(lusas.com)) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)

- [35] Answers powered by Kawasaki. (2015, listopad 31). *Kawasaki's LNG Tank Business: Our Source of Energy*. Preuzeto s: [Kawasaki's LNG Tank Business: Our Source of Energy | ANSWERS | Kawasaki's Solutions for the Future | Kawasaki Heavy Industries \(khi.co.jp\)](https://www.khi.co.jp/en/answers) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [36] Nan Z., „Nation's LNG tanker construction steams ahead“, *CHINA DAILY*, (veljača 2023). Preuzeto s: [Nation's LNG tanker construction steams ahead - Chinadaily.com.cn](http://www.chinadaily.com.cn) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [37] Nakilat. Incredible facts YOU should know about NAKILAT! Preuzeto s: [Incredible facts YOU should know about NAKILAT! | Nakilat](https://www.nakilat.com/en/infographic) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [38] Andrić M. Plutajući terminali za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet: 2017. Preuzeto s: [Plutajući terminali za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina | Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR \(nsk.hr\)](https://nacionalni-repozitorij-zir.nsk.hr/) (Pristupljeno 16. kolovoza 2024.)
- [39] B.O., Krk: u transportni sustav otpremljeno više od pet milijardi m<sup>3</sup> plina, *Energetika.net*, (svibanj 2023). Preuzeto s: [Energetika - Krk: u transportni sustav otpremljeno više od pet milijardi m<sup>3</sup> plina \(energetika-net.com\)](https://www.energetika-net.com/)

## POPIS KRATICA

|          |   |
|----------|---|
| LNG      | (Liquefied Natural Gas) ukapljeni prirodni plin   |
| GBS      | (Gravity Base Structure) struktura gravitacijske baze   |
| FSRU     | (Floating Storage and Regasification Unit) plutajuća jedinica za skladištenje i uplinjavanje  |
| IMO      | (International Maritime Organization) Međunarodna pomorska organizacija   |
| SOLAS    | (Safety of Life at Sea) sigurnost života na moru  |
| IBC      | (International Building Code) Međunarodni kodeks za gradnju i opremu brodova  |
| GIIGNL   | (International Association of LNG Importers) Međunarodno udruženje koje okuplja uvoznike ukapljenog prirodnog plina                           |
| SIGTTO   | (Society of International Gas Tanker and Terminal Operators) Društvo međunarodnih operatera tankera i terminala za plin                       |
| FID      | (Final Investment Decision) konačna investicijska odluka  |
| Pre-FEED | (Pre Front End Engineering Design) faza inženjerskog dizajna prije kraja  |
| FEED     | (Front End Engineering Design) faza prednjeg inženjerskog dizajna   |
| ERS      | (Emergency Release Systems) sustave za brzo otpuštanje  |
| SCADA    | (Supervisory Control and Data Acquisition) nadzorne kontrole i prikupljanja podataka  |
| MARPOL   | ( <i>International Convention for the Prevention of Pollution from Ships</i> )<br>Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova |

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Eksploatacija LNG-a, [32].....   | 3  |
| Slika 2. Pojednostavljeni prikaz eksploatacije LNG-a do krajnjih korisnika [8]..... | 4  |
| Slika 3. LNG terminal Sabine Pass, [33].....  | 7  |
| Slika 4. Kopneni (onshore) LNG terminal u Japanu, [8].....                          | 8  |
| Slika 5. Morski (offshore) LNG terminal na Krku, [19].....                          | 9  |
| Slika 6. Nadzemni LNG spremnik, [34].....   | 9  |
| Slika 7. Podzemni LNG spremnik [35].....  | 10 |
| Slika 8. Usporedba LNG tankera, [37].....   | 11 |
| Slika 9. Prekrcaj LNG-a, [33].....  | 13 |
| Slika 10. Pretovarna ruka [20].....   | 14 |
| Slika 11. Agregatno stanje prirodnog plina u odnosu na temperaturu, [7].....        | 15 |
| Slika 12. Prikaz izgradnje broda za prijevoz LNG-a, [36].....                       | 18 |
| Slika 13. LNG terminal Plymouth nakon nesreće, [33].....                            | 23 |
| Slika 14. Tlocrt terminala za ukapljeni prirodni plin Omišalj - Krk, [38].....      | 28 |
| Slika 15. Kopneni dio terminala Omišalj - Krk, [20].....                            | 29 |
| Slika 16. Iskrcaj LNG-a na terminalu Omišalj-Krk, [39].....                         | 32 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Maksimalne cijene tarifa za pružanje djelatnosti lučkog tegljenja na Terminalu za ukapljeni prirodni plin Omišalj-Krk..... | 19 |
| Tablica 2. Kapaciteti Terminala za ukapljeni prirodni plin Omišalj – Krk.....   | 30 |

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je ZAVRŠNI RAD  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom PREKRETAJNE OPERACIJE NA LNG TERMINALIMA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 09.09.2024

IRA BRAUS Braus  
(ime i prezime, potpis)