

# Utjecaj LNG terminala na morski okoliš

---

Peričić, Niko

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:187:299975>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



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

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**NIKO PERIČIĆ**

**UTJECAJ LNG TERMINALA NA MORSKI OKOLIŠ**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2020.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**UTJECAJ LNG TERMINALA NA MORSKI OKOLIŠ**  
**IMPACT OF LNG TERMINALS ON THE MARINE**  
**ENVIRONMENT**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Zaštita mora i morskog okoliša

Mentor: dr. sc. Damir Zec

Student/studentica: Niko Peričić

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112071949

Rijeka, rujan 2020.

Student: Niko Peričić

Studijski program: Zaštita mora i morskog okoliša

JMBAG: 0112071949

## **IZJAVA**

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom UTJECAJ LNG TERMINALA NA MORSKI OKOLIŠ izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Damira Zeca.

U radu sam primijenio metodologiju istraživačkog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezo s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan sam s objavom završnog rada na službenim stranicama Fakulteta.

Student

Ime i prezime studenta

Niko Peričić

## SAŽETAK/SUMMARY

### **Sažetak:**

LNG terminali postrojenja su za uvoz ili izvoz ukapljenog prirodnog plina. Iako prirodni plin slovi kao čist oblik energije, ipak nije potpuno bezopasan za okoliš. U ovom će se radu predstaviti karakteristike plina kao goriva i opisati vrste i izvedbe terminala. Razmotriti će se, kroz različite studije, emisija plinova i utjecaj kojeg LNG terminali imaju na morski okoliš prilikom obavljanja svojih djelatnosti, ali i potencijalni negativni učinak potkrepljen nesrećama povezanih sa plinom u prošlosti.

**Ključne riječi:** emisija, nesreća, okoliš, plin, terminal

### **Summary:**

LNG terminal is a facility for managing the import and export of liquefied natural gas. Even though natural gas is regarded as a clean form of energy, it still affects the environment. In this paper, the characteristics of gas as a fuel and terminal types and systems will be presented. Through different studies, gas emissions and the effect of LNG terminals in operation will be considered. Negative impact from past gas-related accidents will also be discussed.

**Key words:** accident, emission, environment, gas, terminal

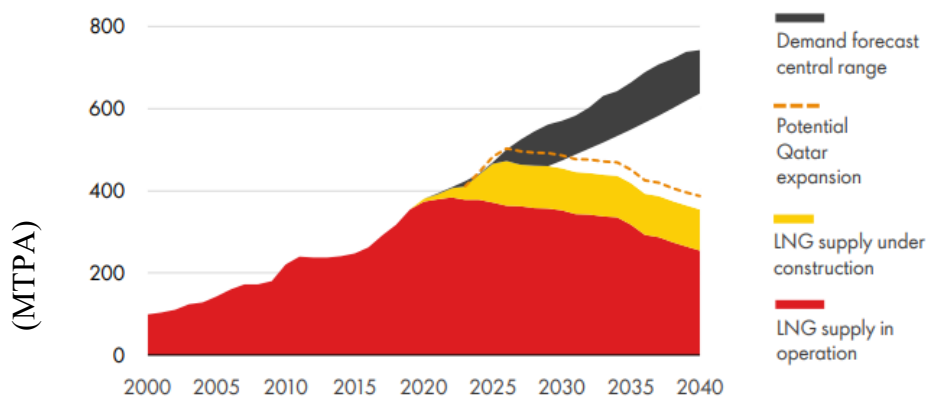
# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK/SUMMARY</b> .....	<b>I</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>II</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KARAKTERISTIKE PRIRODNOG PLINA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. SASTAV I PROIZVODNJA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN – LNG</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2.1. Transport</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2.2. Ukapljivanje i uplinjavanje</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2.3. Prednosti i nedostatci</b> .....	<b>8</b>
<b>3. TERMINALI</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1. VRSTE TERMINALA</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2. SUSTAVI I OPREMA</b> .....	<b>13</b>
<b>4. PRIKAZ NEZGODA</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1. CLEVELAND, SAD, 1944.</b> .....	<b>16</b>
<b>4.2. SKIKDA, ALŽIR, 2004.</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3. KALAKAMA, NIGERIJA, 2005.</b> .....	<b>18</b>
<b>5. UTJECAJ LNG TERMINALA</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1. UTJECAJ NA MORE</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1.1. Klor</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1.2. Hlađenje morske vode</b> .....	<b>22</b>
<b>5.1.3. Redistribucija sedimenata</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1.4. Protuobraštajni premazi</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1.5. Balastne vode</b> .....	<b>26</b>
<b>5.2. UTJECAJ NA ZRAK</b> .....	<b>26</b>
<b>5.2.1. Izgaranje</b> .....	<b>26</b>
<i>5.2.1.1. Hlapljivi organski spojevi</i> .....	<i>27</i>
<b>5.2.2. Ispust plina</b> .....	<b>28</b>
<b>5.3. POTENCIJALNI RIZICI</b> .....	<b>29</b>

5.4. ZAŠTITNE MJERE I PROPISI .....	31
6. ZAKLJUČAK .....	33
LITERATURA.....	34
KAZALO KRATICA .....	38
POPIS TABLICA .....	39
POPIS GRAFIKONA.....	39
POPIS CRTEŽA .....	39
POPIS FOTOGRAFIJA .....	40

## 1. UVOD

LNG – Liquefied natural gas, ili ukapljeni prirodni plin, pojam je koji je u 21. postao sinonimom za čisti, “zeleni” oblik energije, te se na njega gleda kao gorivo budućnosti koje će pomoći smanjiti emisije stakleničkih plinova i čovjekov utjecaj na klimatske promjene. Neupitno je da će u bližoj budućnosti potreba za prirodnim plinom biti sve veća – po nekim procjenama, globalna potražnja u 2019. narasla je za 12,5% (na 359 milijuna tona), a očekuje se udvostručenje u potražnji do 2040 (na 700 milijuna tona) [1 p. 16, 32]. Ovo znači rast čitavog sektora – sve više izvora plina, cjevovoda, postrojenja za ukapljivanje, brodova i terminala za uplinjavanje.



**Grafikon 1. Procijenjeni rast potražnje za prirodnim plinom u budućnosti (crna boja), u odnosu na procijenjenu ponudu objekata trenutno u funkciji (crvena boja) i objekata u izgradnji (žuta boja)**

Izvor: preuzeto iz brošure '*Shell LNG Outlook 2020*' [1 p. 32]

Ovaj rad fokusira se na kopnene i plutajuće terminale te njihove stvarne i potencijalne utjecaje na more, morski okoliš i zrak. Predstavit će se različiti tipovi terminala i njihovi sustavi. U obzir će se uzeti relevantne studije utjecaja na okoliš, prethodne nesreće povezane s LNG-em te potencijalni rizici koje ovaj rast nosi sa sobom.

U prvom dijelu pokazat će se osnovne karakteristike prirodnog plina, njegove specifičnosti, načini na koji se transportira i ukapljuje/uplinjava te prednosti i potencijalni nedostaci njegovog korištenja kao goriva.



U drugom dijelu razmotrit će se izvedbe, sustavi i tehnologije koje se koriste kod samih terminala te vrste terminala i njihove značajke.

Treći dio sadržava kratke prikaze nezgoda povezanih s plinom, stvarne nesreće koje su se dogodile na plinskim postrojenjima i njihove utjecaje na okolno područje.

Četvrti, najopsežniji dio, bavi se načinima mjerenja utjecaja na okoliš, postojećim studijama, mogućim rizicima te propisima i mjerama zaštite okoliša od negativnih utjecaja terminala.

## 2. KARAKTERISTIKE PRIRODNOG PLINA

### 2.1. SASTAV I PROIZVODNJA

Prirodni plin ili zemni plin smjesa je nižih ugljikovodika (supstance čije molekule sadrže samo atome ugljika i vodika), najvećim dijelom metana ( $\text{CH}_4$ ). To je smjesa metana s manjim udjelima etana, propana i viših ugljikovodika, a može sadržavati i nešto ugljikova dioksida, sumporovodika, dušika, a katkad i helija i žive. U prirodnim se podzemnim ležištima nalazi u plinovitom stanju (slobodni plin), otopljen u sirovoj nafti ili je s njom u kontaktu (vezani ili naftni plin). Rabi se prvenstveno kao gorivo u kućanstvima i gospodarstvu te u petrokemijskoj industriji za proizvodnju amonijaka, metanola, formaldehida, vodika i drugih kemijskih proizvoda [2].

*Primjer sastava:*

- Metan $\text{CH}_4$	90,1%
- Etan $\text{C}_2\text{H}_6$	6,47%
- Propan $\text{C}_3\text{H}_8$	2,27%
- Butan $\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,6%
- Pentan $\text{C}_5\text{H}_{12}$	0,03%
- Dušik $\text{N}_2$	0,25%
- Gustoća	457 kg/m <sup>3</sup>

Ležišta prirodnog plina pronađena su na različitim dubinama - od nekoliko metara do nekoliko tisuća metara, pod tlakom koji može biti veći od 200 bara i temperaturama katkad višim od 180 °C. U plinskim ležištima prirodni plin nalazi se pod tlakom te se bušenjem i kontroliranim eruptiranjem dovodi na površinu [3]. Nakon izlaska iz bušotine separacijom mu se uklanja voda, a zatim se u potpunosti odvaja ukupna kapljevita faza (nafta, plinski kondenzat, naknadno kondenzirani ugljikovodici). Po potrebi se plin čisti od tzv. kiselih plinova i drugih štetnih primjesa. Na kraju se od metana odvajaju viši ugljikovodici i vrši se postupak ukapljivanja.

Nije još s potpunom sigurnošću utvrđen način nastanka prirodnog plina i formiranja

njegovih akumulacija. Jedna od teorija je organska teorija nastanka plina koja se bazira na organskim materijalima u prirodnom plinu potrebnim za stvaranje ugljikovodika. Međutim, pronađeni su tragovi metana duboko u granitnim masivima gdje nema organskog materijala, pa se zbog toga ne smije potpuno odbaciti ni anorganska teorija o postanku prirodnog plina.

## 2.2. LNG

Ukapljeni plin je tekući oblik tvari koja bi na sobnoj temperaturi i pri atmosferskom tlaku bila plin. LNG je tekućina bez boje i mirisa, neotrovna i nekorozivna. Najvažnije svojstvo ukapljenog plina jest njegov tlak zasićene pare (saturated vapor pressure). To je apsolutni tlak pri kojem se tekućina nalazi u ravnoteži s vlastitim parama na određenoj temperaturi. IMO definira ukapljene plinove kao tekućine s apsolutnim tlakom pare iznad 2,8 bara pri temperaturi od 37,8 °C [4 p. 6].

**Tablica 1. Fizikalne karakteristike prirodnog plina**

Parameter Value	
Boiling point	-160 °C to -162 °C
Molecular weight	16 - 19 g/mol
Density	425 - 485 kg/m <sup>3</sup>
Specific heat capacity	2.2 - 3.7 kJ/kg/°C
Viscosity	0.11 - 0.18 mPa·s
Higher heat value	38 - 44 MJ/m <sup>3</sup>

Izvor: preuzeto iz skripte '*Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem*' [4 p. 8]

Vrelište prirodnog plina je između -160 i -162 °C. Na toj temperaturi on prelazi iz plinovitog u tekuće (ukapljivanje), odnosno iz tekućeg u plinovito stanje (uplinjavanje). Prilikom njegovog transporta ukapljivanje je iznimno bitno zbog toga što je za određenu količinu plina volumen otprilike 600 puta manji u tekućem (LNG) nego u plinovitom stanju, što znači da ga je puno učinkovitije prevoziti kao tekućinu.

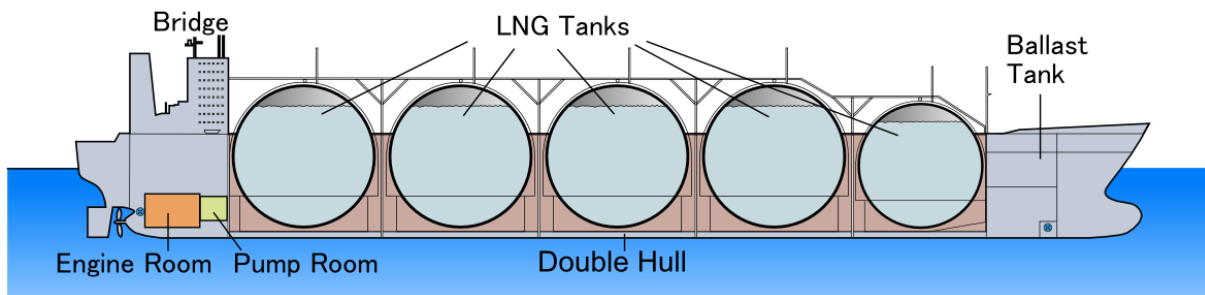
### 2.2.1. Transport

Zbog njegove male gustoće, prirodni plin nije lagano skladištiti ni transportirati. Često se prevozi cijevima (plinovodima), no mnogi su postojeći plinovodi pri rubu svog kapaciteta. Plinovodi su također nepraktični za prijenos preko oceana. Tek je razvojem tehnologije ukapljivanja došlo do isplativog prijevoza plina na veće udaljenosti, budući da se prije toga plin mogao transportirati samo cjevovodom, te je zbog nemogućnosti skladištenja morao biti iskorišten u trenutku dolaska na odredište [5].

Kao tekućinu ga je moguće prevoziti u kopnenom prometu posebnim cisternama, ali daleko najrašireniji način transporta danas, pogotovo na veće udaljenosti, prijevoz je posebno dizajniranim brodovima – LNG carrierima (LNGC). To su specifični brodovi koje možemo prepoznati po sferičnim (nestrukturalnim) ili membranskim (strukturnim) tankovima čija je gornja polovica iznad palube. Najčešće imaju četiri do šest tankova koji su posebno prilagođeni prijevozu pothlađenog plina. To znači da je unutrašnjost tanka vrlo dobro toplinski izolirana od okolnog prostora (pjenu, aluminijem, staklenom vunom, posebnim čeličnim konstrukcijama). Prije ukrcanja tank se mora pothladiti malom količinom tereta kako ne bi došlo do temperaturnog šoka materijala i strukturalnog oštećenja. Naravno, i svi ostali sustavi na brodu prilagođeni su teretu čija je temperatura oko  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tekući plin konstantno se pokušava vratiti u svoje stanje ravnoteže – plinovito stanje. Tijekom plovidbe posada mora dobro nadzirati njegove parametre (prije svega tlak i temperaturu) kako bi se količina isparenog plina – boil-offa – svela na minimum. Zbog navedenih razloga, upravljanje ovim brodovima je zahtjevno, a konstrukcija iznimno skupa – u prosjeku oko 200 milijuna dolara po brodu. Većina LNGC brodova biva isporučena u roku od 30 do 50 mjeseci od narudžbe [6p. 59].

# LNG tanker (side view)



## Crtež 1. Bočni prikaz LNGC broda

Izvor: 'Wikipedia',

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LNG\\_tanker\\_\(side\\_view\).PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LNG_tanker_(side_view).PNG)

### 2.2.2. Ukapljivanje i uplinjavanje [7]

Transport brodovima je, uz skladištenje, glavni razlog zbog kojeg se plin ukapljuje. On se može u kapljevitost pretvoriti hlađenjem, tlačenjem ili kombinacijom. LNG se ukapljuje hlađenjem plina pri konstantnom tlaku. Najčešće se koriste pločasti izmjenjivači toplote (plate-fin heat exchangers – PFHE) ili spiralni izmjenjivači toplote (coil-wound heat exchangers – CWHE). Ovi tipovi izmjenjivača toplote sastoje se od velikog broja rashladnih jezgara ili krugova. Velika energija troši se kroz više ciklusa hlađenja. U jednom dijelu ciklusa toplinu preuzimaju voda ili zrak, a u drugom se dijelu za postizanje temperature od  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$  koriste razna rashladna sredstva kao što su propan, amonijak, ugljični dioksid, etan, propilen i fluorokarboni.

1964



Air Liquide Coil Wound technology was used on Skidda plant in 1964

2018



Mid-scale LNG plant - Air Liquide Brazed Aluminium PFHE

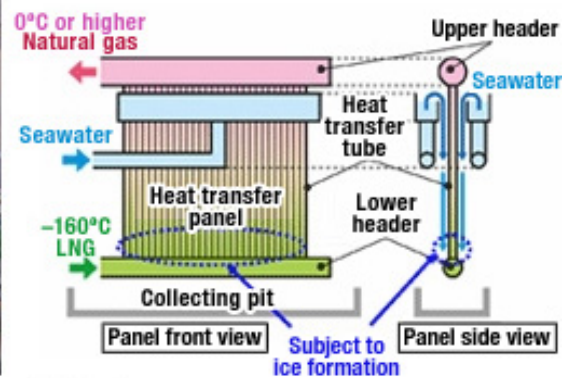
### Fotografija 1. S lijeve strane primjer spiralnog izmjenjivača starije izvedbe, s desne moderni pločasti izmjenjivač

Izvor: '60 Years of History in LNG', Air Liquide, [https://www.engineering-airliquide.com/sites/activity\\_eandc/files/2018/09/14/air-liquide-e-c-lng-booklet-2018.pdf](https://www.engineering-airliquide.com/sites/activity_eandc/files/2018/09/14/air-liquide-e-c-lng-booklet-2018.pdf)

Uplinjavanje (regasifikacija) je proces pretvorbe LNG-a natrag u plinovito stanje, na temperature iznad 0 °C. U hladnijim krajevima u te se svrhe koriste tzv. „Submerged Combustion Vaporizers“, odnosno isparivači kod kojih je potrebno sagorijevati manje količine plina da bi se dobivena toplina koristila za uplinjavanje. Sustavi s tekućim medijima mogu biti izvedeni kao otvoreni, polu-zatvoreni i zatvoreni. U normalnim uvjetima (toplije klime) najrasprostranjeniji su tzv. „Open Rack Vaporizers“. To su otvoreni sustavi u kojima se morska voda koristi kao glavni medij za izmjenu topline i samim time regasifikaciju. Ova informacija biti će bitna u kasnijim poglavljima zbog toga što su uvozni LNG terminali često opremljeni otvorenim sustavom za regasifikaciju, što znači da izmjenom topline smanjuju temperaturu okolnog mora i potencijalno utječu na morski okoliš.



First commercial SUPERORV (Osaka Gas Himeji terminal)



ORV structure

## Crtež 2. Primjer ORV izmjenjivača topline

Izvor: ‘High-performance open-rack LNG vaporizer SUPERORV’, Osaka Gas,  
[https://www.osakagas.co.jp/en/rd/technical/\\_icsFiles/afieldfile/2012/10/04/img01\\_3.jpg](https://www.osakagas.co.jp/en/rd/technical/_icsFiles/afieldfile/2012/10/04/img01_3.jpg)

### 2.2.3. Prednosti i nedostaci

Prirodni plin je, uz ugljen, jedini primarni oblik energije koji se može izravno upotrijebiti. Izgara većom iskoristivosti od drugih goriva, pa stoga vrlo brzo raste njegova upotreba. U podzemlju je dostupan u velikim količinama - ukupne svjetske rezerve prelaze 7 bilijardi ( $10^{15}$ ) kubnih stopa [8].

Plin je relativno jeftin izvor energije. Za istu količinu toplinske energije (mjereno u britanskim termalnim jedinicama – Btu), cijena plina je od 2 do 10 puta niža od cijene nafte, što ovisi o varijacijama cijene nafte i plina [9].

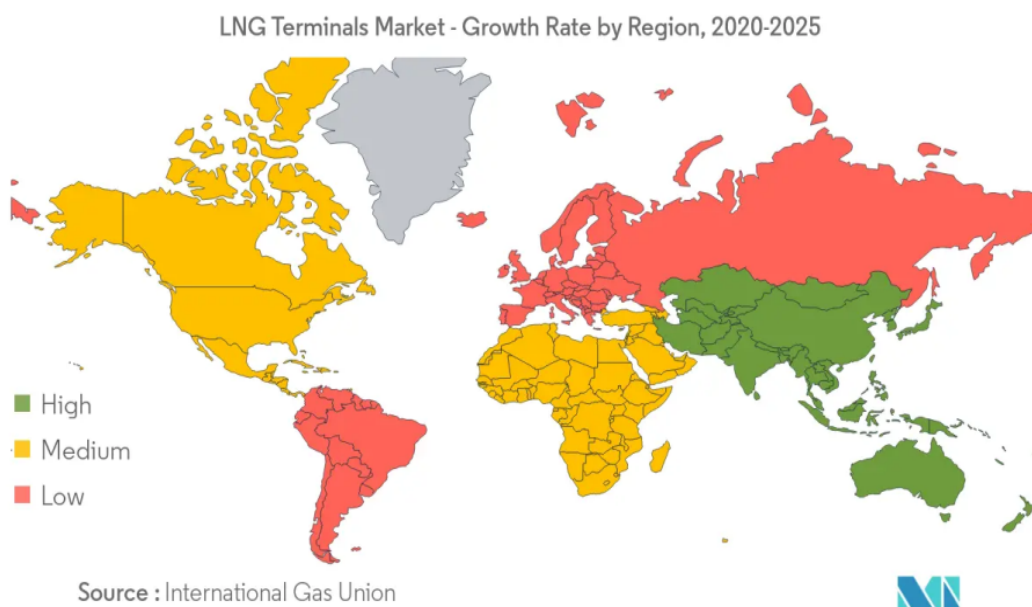
Izgaranjem metana u prisutstvu kisika nastaju ugljikov dioksid i vodena para. Jedan od najbitnijih razloga zbog kojih se plin smatra „mostom“ prema zelenoj budućnosti je taj što njegovim izgaranjem nastaje znatno manje stakleničkih plinova. Pobornici ističu kako bi se globalna emisija CO<sub>2</sub>, koji je značajan staklenički plin, uporabom plina smanjila. Istina je da izgaranjem prirodnog plina nastaje 25-50% manje ugljikovog dioksida nego izgaranjem konvencionalnih fosilnih goriva (naftni derivati, ugljen), kao i 80% manje dušičnih oksida te 97% manje ugljikovog monoksida. Također, emisija sumpora i njegovih spojeva, kao i krutih čestica kao produkata izgaranja, uporabom plina svela bi se praktički na nulu [10].

Međutim, postoji i druga strana. Kritičari ističu kako je plin i dalje neobnovljiv izvor energije. I dalje je fosilno gorivo, te ispušta znatne količine CO<sub>2</sub> pri izgaranju. Bitno je napomenuti kako je metan mnogo potentniji staklenički plin od samog ugljikovog dioksida – za istu količinu ispusta, metan na 100-godišnji period ima 25 puta veći utjecaj na klimatske promjene od CO<sub>2</sub>, dok je na 20-godišnji period taj utjecaj čak 84 puta veći [11]. Istina, količina metana ispuštena u atmosferu je višestruko manja nego količina ugljikovog dioksida, ali može se očekivati – uz velik rast plinskih postrojenja i starenje infrastrukture – da će se slučajni ispusti metana u atmosferu samo povećavati. Također, proces ekstrakcije prirodnog plina naziva „hidrauličko frakturiranje“ predstavlja rizike onečišćenja tla i podzemnih voda, kao i povećanje rizika od manjih potresa na određenim područjima.

### 3. TERMINALI

LNG terminal je pogon za proizvodnju, pohranu ili distribuciju ukapljenog prirodnog plina. To je postrojenje čija je funkcija izvoz ili uvoz prirodnog plina, odnosno ukrcaj/iskrcaj sa LNG brodova [12]. Kako je spomenuto u uvodu, LNG industriju označava velik rast, a terminali su ključan dio cijelog sustava. Najveći rast očituje se u zemljama Dalekog Istoka – Kina, Koreja, Indija, Japan.

Tržište LNG terminala fragmentirano je, što znači da je konkurentno i da njime ne vlada manjina izrazito jakih sudionika. Trenutno (2019.) su najveće države izvoznice Katar, Australija, SAD i Rusija, a države koje uvoze najviše plina su Japan i Kina [13].



**Grafikon 2. Projekcija rasta tržišta LNG terminala po regijama; zelena boja označava visok, žuta srednji, a crvena niski rast**

Izvor: 'LNG terminal market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025)', [13], na temelju podataka IGU-a



### 3.1. VRSTE TERMINALA

Osnovna podjela LNG terminala je podjela na *izvozne (export)* terminale koji su opremljeni sustavom likvifikacije (ukapljivanja) plina i na *uvozne (import)* terminale koji provode regasifikaciju (reuplinjavanje). Rijetki terminali objedinjuju obe funkcije. Po izvještaju International Gas Uniona 2020. [6] u svijetu se nalaze 42 postrojenja za ukapljivanje, a još ih se 19 očekuje do 2025. Broj uvoznih terminala je 130, a još 26 ih je u konstrukciji (od kojih jedan u Hrvatskoj – Omišalj).

Terminali se dijele i obzirom na to jesu li *kopneni (onshore)* ili *plutajući (offshore)*. Ova podjela vrijedi i za izvozne i za uvozne terminale.

Izvozni terminali najčešće su kopneni. To su velika postrojenja koja često dosežu kapacitete proizvodnje veće od 20 MTPA (million tonnes per annum – milijuna tona godišnje). Sastoje se od više „nizova“ (LNG trains) u kojima se provodi čišćenje i ukapljivanje prirodnog plina. Najveće svjetsko postrojenje za izvoz LNG-a luka je Ras Laffan u Katru. Proizvodnog je kapaciteta preko 70 MTPA, a sastoji se od 14 proizvodnih nizova [14]. Plin dolazi iz North Dome plinskog polja (Arapski zaljev), koje je kapacitetom gotovo jednako svim ostalim poznatim plinskim poljima zajedno.



**Fotografija 2. Primjer izvoznog terminala; Qatargas 1 – nizovi 1-3, Ras Laffan**

Izvor: '*Qatargas LNG plant*', Total Norway, objavljeno na Mechademy.com, [https://www.mechademy.com/wp-content/uploads/2018/12/central\\_proof\\_gnl\\_6-798x387.jpg](https://www.mechademy.com/wp-content/uploads/2018/12/central_proof_gnl_6-798x387.jpg)

Izvozni terminali mogu biti i plutajući (offshore), iako su zasad rijetkost. Poznati su pod nazivom FPSO (Floating Production, Storage and Offloading) ili jednostavno FLNG (Floating LNG facility). Najistaknutiji predstavnik ove vrste je Shellov „*Prelude FLNG*“ koji je najveća plutajuća LNG platforma, kao i najveći offshore objekt ikad konstruiran [15]. Duljine je 488 metara i deplasmana 660.000 tona potpuno nakrcan. Povezan je s morskim dnom uz pomoć 16 sidara, a kapaciteta je proizvodnje 3,6 MTPA LNG-a. Pojava ovakvih terminala bitna je inovacija koja eliminira potrebu dugih cjevovoda od izvora plina do postrojenja na kopnu, ali konstruiranje i upravljanje odobalnim objektom koji sadrži sve elemente terminala za ukapljivanje na svega četvrtini površine obalnog objekta još uvijek predstavlja velik izazov. Od 2018. na objektu su zabilježena dva incidenta slučajnog ispuštanja plina. U veljači 2020. proizvodnja je zaustavljena nakog električnog problema i još uvijek nije nastavljena.



**Fotografija 3. Primjer plutajućeg izvoznog terminala (FLNG Prelude)**

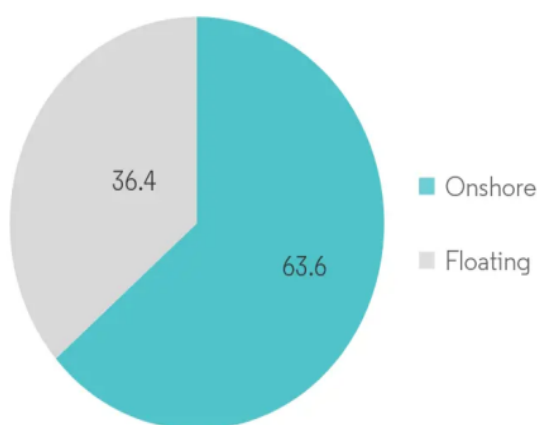
Izvor: ‘*Prelude FLNG*’, Shell, <https://www.shell.com/about-us/major-projects/prelude-flng.html>

Kao i kod izvoznih, većina uvoznih (regasifikacijskih) terminala također je smještena na kopnu. Kopneni terminali za uplinjavanje grade se za dugoročne operacije, često na područjima na kojim velike količine plina moraju redovito i kontinuirano biti na raspolaganju. Zbog veće mogućnosti skladištenja plina mogu imati više funkcija od plutajućih, kao što su bunker brodova na LNG pogon i ukrcaj LNG cestovnih cisterni.

Često se grade u područjima blizu industrijskih pogona kako bi se toplina iz njihovog proizvodnog procesa mogla koristiti za uplinjavanje, a hladnoća preuzeta od plina kao rashladno sredstvo u tom procesu, što znači bolju iskoristivost energije i manje emisije stakleničkih plinova. Trenutno najveći uvozni terminal na svijetu je Incheon u Južnoj Koreji, s kapacitetom primanja od 41,7 MTPA. [6.p. 124].

Koncept odobalnih postrojenja za uplinjavanje (FSRU – Floating Storage and Regasification Unit) poznat je već 15-ak godina i definitivno je rasprostranjeniji od FPSO postrojenja. To je poseban tip broda prilagođen primanju i uplinjavanju LNG-a. Prvi FSRU brod nije bio novogradnja, već pretvorba postojećeg LNG broda. Projekt je doživio uspjeh, a kako je vrijeme isporuke bilo znatno (upola) kraće od kopnenog terminala, počinje proizvodnja sve više FSRU-a. Početna je investicija također manja od kopnenog terminala, i to za 40-50%, no u obzir se moraju uzeti i operativni troškovi koji su veći kod ovog tipa terminala i ovisni o ratama najma [16]. Većina FSRU terminala spojena je na određeni nacionalni plinovod u koji šalju plin (imaju manji kapacitet skladištenja). Fleksibilniji su što se tiče uspostave terminala i izgradnje jer se po potrebi mogu dovesti na mjesto gdje potražnja postoji, a mogu se i povući iz uporabe.

LNG Terminals Market: Share of Capacity of Upcoming Projects (%), by Type, in 2020



Source : International Gas Union

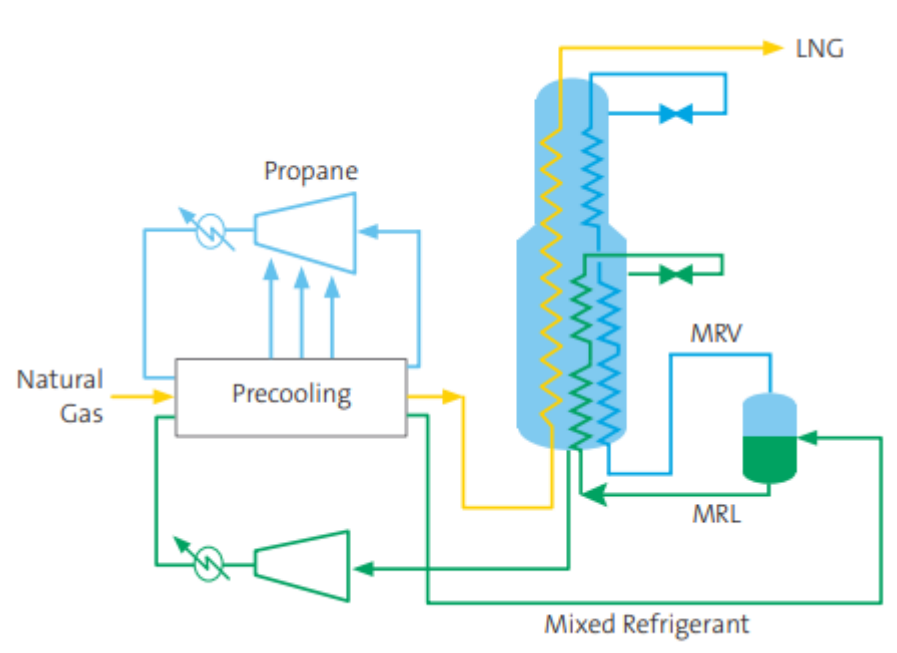


### Grafikon 3. Omjer obalnih (plava) i odobalnih (siva boja) LNG terminala koji kreću s radom u 2020

Izvor: 'LNG terminal market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025)', [13], na temelju podataka IGU-a

### 3.2. SUSTAVI I OPREMA

Sustavi izvoznih terminala raznoliki su, ali 70% ukupne tehnologije ukapljivanja proizvodi korporacija Air Products Technologies. Najkorišteniji sustav likvifikacije danas je *AP-C3MR™* LNG proces koji je zbog pouzdanosti, fleksibilnosti i jednostavnosti korištenja postao industrijski standard [17]. MR je skraćenica za mixed refrigerant, odnosno miješano rashladno sredstvo koje je prethlađeno propanom. Sam kriogenički izmjenjivač topline promjera je 5 metara, visine 55 metara i mase 450 tona. Takva veličina omogućava manje troškove instalacije i održavanja, budući da su glavni sustavi ugrađeni u njega. Izmjenjivač topline je spiralni (Coil Wound Heat Exchanger), a napravljen je na način da nije potrebno nikakvo varenje jednom kad stigne na odredište. Ovakvi ili slični sustavi trenutno se koriste u 114 proizvodnih nizova diljem svijeta.



**Crtež 3. Prikaz *AP-C3MR™* izmjenjivača topline, danas najraširenijeg sustava za ukapljivanje**

Izvor: *'Innovations in Natural Gas Liquefaction Technology'*, AirProducts, [airproducts.com/media/Files/PDF/industries/LNG-IGRC-innovations-in-natural-gas-liquefaction-technology.pdf&usg=AOvVaw3ijb9hzzXX8U04B50-LWvO](https://airproducts.com/media/Files/PDF/industries/LNG-IGRC-innovations-in-natural-gas-liquefaction-technology.pdf&usg=AOvVaw3ijb9hzzXX8U04B50-LWvO)

Kod FLNG projekata također se najčešće koriste CWHE izmjenjivači topline, iako manjih dimenzija od onih na kopnu. Koriste se i N<sub>2</sub> kompresijski ekspanđeri kao sastavni dio hlađenja dušikom. Specifičnost ovakvih terminala je taj što sva oprema mora biti posebno izrađena i dodatno testirana da izdrži utjecaj konstantnog valjanja, obzirom da je pod stalnim utjecajem valova.

Kako je prethodno navedeno, terminali za uplinjavanje imaju više opcija za izmjenjivanje topline sa tekućim plinom [18]:

- *Ambient air vaporizers (AAV)* – izvor topline je okolni zrak. LNG prolazi kroz seriju izmjenjivača topline, prirodnom konvekcijom toplina prelazi na njega, a zrak se hladi i izlazi na dnu isparivača. Ovo može uzrokovati veće količine magle oko terminala, a i vodena para u zraku sklona je zamrzavanju. Pogodni su za korištenje u toplijim područjima. Ova tehnologija je prilično nezavisna - ne zahtijeva izgaranje, korištenje vode ili druge rashladne tekućine, ali kako je toplinski kapacitet zraka manji od onog vode, potrebna je puno veća površina za isti učinak.

- *Seawater vaporizers (Open rack vaporizers – ORV)* – morska voda koristi se kao izvor topline za zagrijavanje LNG-a. Hladnija voda se izbacuje, a prirodni plin izlazi na vrhu. Sustav je učinkovit samo ako je temperatura morske vode iznad 5 stupnjeva. Materijali moraju biti pomno odabrani kako bi mogli izdržati iznimnu temperaturnu razliku, ali i koroziju uzrokovanu morskom vodom. Natrijev hipoklorit dodaje se na usisnoj strani kako bi se kontrolirao rast morskih organizama u sustavu, a zaštita protiv korozije dobiva se korištenjem aluminijevog oksida ili cinkom.

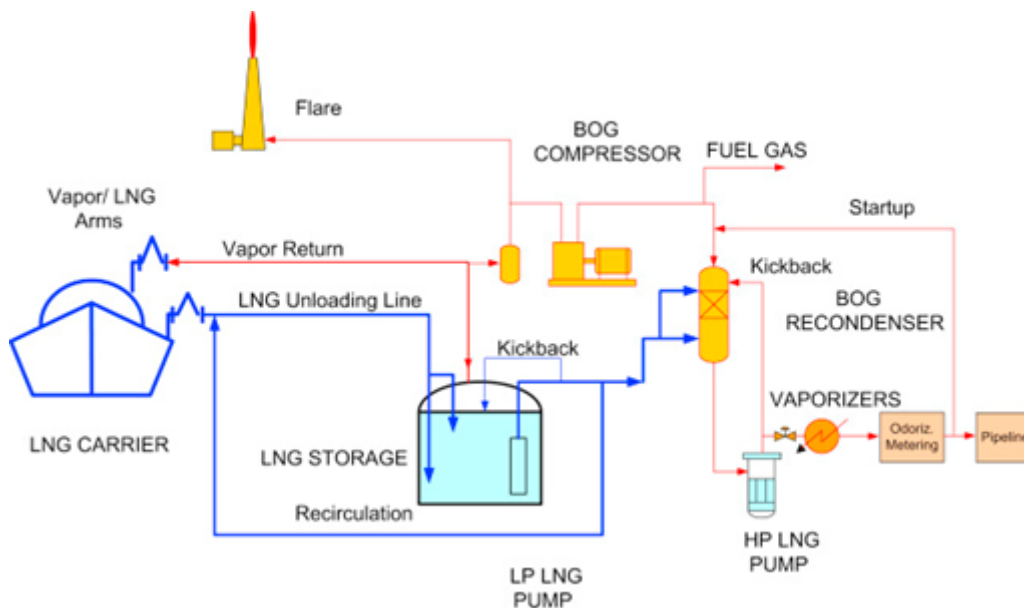
- *Submerged combustion vaporizers (SCV)* – LNG se zagrijava prolaskom kroz vodenu kupku koja se grije izgaranjem plina. Zbog visokog toplinskog kapaciteta vode i brze mogućnosti zagrijavanja, ovaj sustav je fleksibilan i prilagodljiv različitim potrebama. Čak i u slučaju otkazivanja izgaranja, sustav neko vrijeme nastavlja funkcionirati zbog topline akumulirane u vodi. Nedostatak ovog sustava je potrošnja, obično 2 do 3% brodskog tereta. Također, voda postaje kisela zbog produkata izgaranja pa se mora kemijski tretirati prije izbacivanja. Samo izgaranje proizvodi određenu količinu emisije stakleničkih plinova u atmosferu.

- *Intermediate fluid vaporizers (IFV)* – Koristi se posredna tekućina za zagrijavanje. Mogu biti izvedeni kao otvoreni, zatvoreni, ili kombinirani sustavi. Najkorištenije tekućine su propan ili mješavine vode i glikola.

Na svim terminalima postoji neki oblik skladištenja. Na plutajućim objektima to su brodski tankovi (sferni, membranski), dok su na obalnim objektima to tankovi za skladištenje iznad ili ispod zemlje, često kapaciteta 5-10 kapaciteta LNGC-a. Najčešće su to tankovi dvostruke konstrukcije.

Ostala oprema uključuje opremu za prekrcaj – ruke za prekrcaj, crijeva, liniju za povrat para, pumpe i kompresore, instrumente za mjerenje različitih parametara i cjevovode. Svaki dio opreme mora biti testiran i u skladu s propisanim standardima. Od iznimne važnosti je i protupožarna oprema, bilo prijenosni ili fiksni sustavi, kao i sustav automatskog zaustavljanja u slučaju nužde (Emergency Shut Down).

Neki terminali sadrže i baklju („gas flare“) na kojoj se izgara višak plina kojeg nije moguće ukapiti ili poslati u cjevovod.



**Crtež 4. Shematski prikaz sustava iskrcajnog terminala: sastoji se od cijevi za iskrcaj i cijevi za povrat pare, tanka, kompresora i pumpi te isparivača plina**

Izvor: Mokhatab S., Mak Y. J., Valappil V.J., Wood A. D., 2014. '*Handbook of liquefied natural gas*', Gulf Professional Publishing, <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9780124045859000076-f07-03-9780124045859.sml>



## 4. PRIKAZ NEZGODA

### 4.1. CLEVELAND, SAD, 1944.

East Ohio Gas Company izgradila je 1940. u Clevelandu jedno od prvih LNG postrojenja na svijetu [19]. U originalu su za skladištenje bila korištena 3 sferična tanka promjera 20-ak metara i kapaciteta 150.000 m<sup>3</sup> LNG-a. 1942. dodan je četvrti, cilindrični tank kapaciteta 300.000 m<sup>3</sup>. Svi tankovi nalazili su se iznad zemlje. Postrojenje je funkcioniralo tri godine na način da je glavna funkcija bila uplinjavanje i slanje plina u sustav kod naglih zahlađenja (povećane potrebe za grijanjem).

20. listopada 1944. u 14:30 zbog preniske koncentracije nikla u čeliku struktura tanka br. 4 počela je popuštati. Plin se počeo slijevati niz stranice tanka i skupljati se u kanalizaciji preko gradskih odvoda. Spoj prirodnog plina, zraka i plinova iz kanalizacije zapalio se i doveo do požara i eksplozije. Eksplozija je bila tako jaka da su šahte letjele visoko u zrak, a jedna je pronađena čak nekoliko kilometara dalje. Na početku se mislilo da je opasnost prošla i da vatrogasci imaju incident pod kontrolom, ali je ubrzo uslijedila druga eksplozija (tanka br. 2) koja je srazila kompleks sa zemljom

Eksplozije i požari nastavili su se i zarobili mnoge ljude u njihovim kućama. Preživjeli su svjedočili o tome kako su se trenutak nakon eksplozije njihovi domovi i odjeća našli u plamenu. Ukupan broj žrtava iznosio je 130, a bio bi i viši da su školska djeca i zaposleni odrasli u to vrijeme bili u svojim domovima.

Uništeno je 70 domova, 2 tvornice, brojni automobili i kilometri podzemne infrastrukture. Šteta je bila procijenjena na 15 milijuna dolara – u današnjoj vrijednosti oko 220 milijuna dolara. Eksplozija je, prema nekim procjenama, bila 1/6 jačine eksplozije atomske bombe u Hirošimi.

Ova nesreća potresla je državu i znatno utjecala na plinsku industriju. Analiza nesreće dovela je do zaključaka koji su pridonijeli novim i sigurnijim metodama skladištenja plina. Dotad su nadzemni plinski tankovi bili redovita pojava diljem SAD-a, a nakon toga raste popularnost podzemnih oblika skladištenja.

## 4.2. SKIKDA, ALŽIR, 2004.

Jedna od najdramatičnijih nezgoda LNG sektora ova je nezgoda na izvoznom terminalu Skikda u Alžiru [20]. U tom trenutku terminal u vlasništvu Sonatarcha (alžirske nacionalne naftne i plinske kompanije) činio je otprilike četvrtinu izvoznog kapaciteta cijele države, a nesreća je bila najsmrtonosnija u posljednjih 30 godina.

19. siječnja 2004. došlo je do eksplozije i požara na terminalu. U početnom izvješću bilo je navedeno da je greška na generatoru pare glavni uzročnik, ali kasnije je ustanovljeno kako je velika količina plina iscurila iz cjevovoda i formirala visokozapaljiv i eksplozivan oblak nad postrojenjem.



**Fotografija 4. Prikaz požara nakon eksplozije plina na terminalu Skikda**

Izvor: Tim Riley: '*LNG History and LNG accidents*', preuzeto sa [timrileylaw.com](https://timrileylaw.com), <https://timrileylaw.com/LNG.htm>

Nakon doticaja plina s nepoznatim izvorom zapaljenja, došlo je do eksplozije. U početnoj je eksploziji poginulo više od 20 osoba, a još je nekoliko izgubilo život u naknadnom požaru. Ukupan broj žrtava iznosio je 27, a dodatnih 70 osoba bilo je



ozlijeđeno. Vatra je gorjela 8 sati, iako je u prethodnim procjenama bilo navedeno kako bi potencijalno curenje trajalo maksimalno 10 minuta.

Alžirski ministar financija izjavio je kako bi zbog izmakle dobiti država mogla izgubiti oko 300 milijuna dolara, a štete na luci bile su procijenjene na 800 milijuna do milijarde dolara. Ova je nezgoda potaknula rasprave diljem svijeta o sigurnosti LNG terminala i dovela u pitanje pretpostavke i procjene struke oko zapaljivosti i mogućeg opsega štete kod zapaljena iscurenog plina.

#### **4.3. KALAKAMA, NIGERIJA, 2005.**

Ova nesreća nije široj javnosti osobito poznata obzirom na generalnu razinu medijske pokrivenosti u ovom dijelu svijeta. Međutim, više izvora izvjestilo je o eksploziji cjevovoda prirodnog plina promjera 70 cm u ribarskom naselju Kalakama u Nigeriji [21]. Čak dva mjeseca prije incidenta prijavljeno je manje curenje plina iz cjevovoda, ali nadležna kompanija Natural Gas Limited nije reagirala. Sve je kulminiralo 22. kolovoza 2005. kad se šumski požar pretvorio u ozbiljnu eksploziju. Evakuirano je stanovništvo u okolici od 15-ak kilometara od eksplozije, a požar koji je uslijedio progutao je 27 kvadratnih kilometara bogate šume i uništio obližnje plantaže. Nadležnim vlastima trebalo je (uz pomoć visokorazvijene vatrogasne opreme i helikoptera) preko 48 sati za gašenje požara kojem je prethodilo i gašenje plinskog postrojenja u mjestu Rumuoji. Kao posljedica nesreće 11 ljudi proglašeno je nestalima, a uništen je i sav morski život u obližnjem području.

Ove nesreće direktni su primjeri opasnosti koje prirodni plin nosi sa sobom. Iako LNG sektor još uvijek slovi za jedan od najsigurnijih industrijskih sektora (iznimno malo nezgoda po količini prevezenog tereta), bitno je naglasiti kako je u pravoj koncentraciji metan izuzetno zapaljiv i eksplozivan, te svaka sljedeća nezgoda ima potencijal izazivanja štete katastrofalnih razmjera.

## 5. UTJECAJ LNG TERMINALA

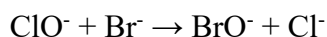
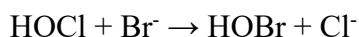
### 5.1. UTJECAJ NA MORE

#### 5.1.1. Klor

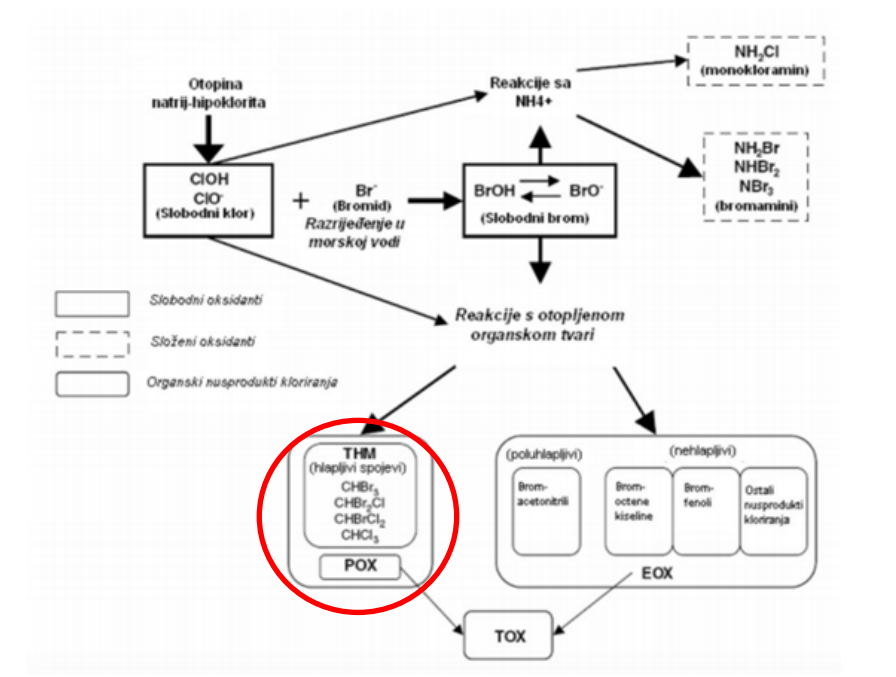
Jedno od pitanja koje se najprije postavlja u raspravama oko utjecaja LNG terminala na okoliš je pitanje utjecaja kloriranja na morske organizme. Kloriranje je proces koji se kod terminala koristi za potrebe zaštite rashladnih sustava i vanjskih stijenki izmjenjivača, prvenstveno od stvaranja obraštaja biološkog tipa (makroobraštaj, što uključuje organizme poput školjki, te mikroobraštaj, što uključuje bakterije i gljivice koje proizvode sluz). Tretiranje klorom jedna je od najučinkovitijih tehnologija protuobraštajne zaštite kod industrijskih postrojenja. U slučaju da se ne provodi tretman zaštite, može se očekivati ulazak većeg broja obraštajnih organizama u rashladni sustav koji mogu na taj način kolonizirati betonske i metalne površine. Rast navedenih organizama može biti masivan i na taj način smanjiti protok rashladne vode, blokirati rad kondenzatora i izmjenjivača topline, posredno uzrokovati koroziju i sveukupno smanjiti efikasnost prijenosa topline..

Kao što je spomenuto u 3. poglavlju, određeni spojevi klora koriste se kod otvorenih sustava (gdje se za uplinjavanje koristi toplina morske vode). Sama otvorenost sustava znači povrat tretirane (klorirane) vode u more. Ovakav način obrade rashladnih voda može biti opasan i u manjim akvatorijima štetan za morske organizme. Često se u ovakvim sustavima do klora dolazi tzv. elektroklorinacijom, odnosno elektrolizom morske vode. Ovako dobiven klor lako se pretvara u hipoklorit ( $\text{OCl}^-$ ), kao i u hipoklornu kiselinu ( $\text{HOCl}$ ). Ravnoteža između ovih tvari ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{HOCl}$ ) ovisna je o pH vrijednosti, a sve tri zajedno grupiraju se pod nazivom „Free Residual Chlorine“ (FRC), ili ostatni klor. Za zadani pH morske vode od 8.1, najveći dio FRC-a predstavlja hipoklorna kiselina [22 p. 5-7].

Jedan od problema s ispuštanjem spojeva klora u more je taj što brzo reagiraju sa bromom [23 p.26] koji je u morskoj vodi prirodno prisutan kao sol  $\text{Br}^-$  pri koncentracijama od otprilike 70 mg/L. Brom je, kao i klor, učinkovit dezinficijens. Stoga, pretvaranje klorovih u bromove oksidanse ne smanjuje značajno štetnost tih spojeva - naprotiv, krajnja štetnost bromovih spojeva uzevši u obzir pH morske vode može biti i veća.



Ove reakcije prikazuju nastajanje bromovih spojeva u morskoj vodi s povećanom koncentracijom ostatnog klora. Bromovi su spojevi jači oksidansi nego klorovi, a s organskim tvarima (npr. bakterijama) reagiraju 10 puta brže.

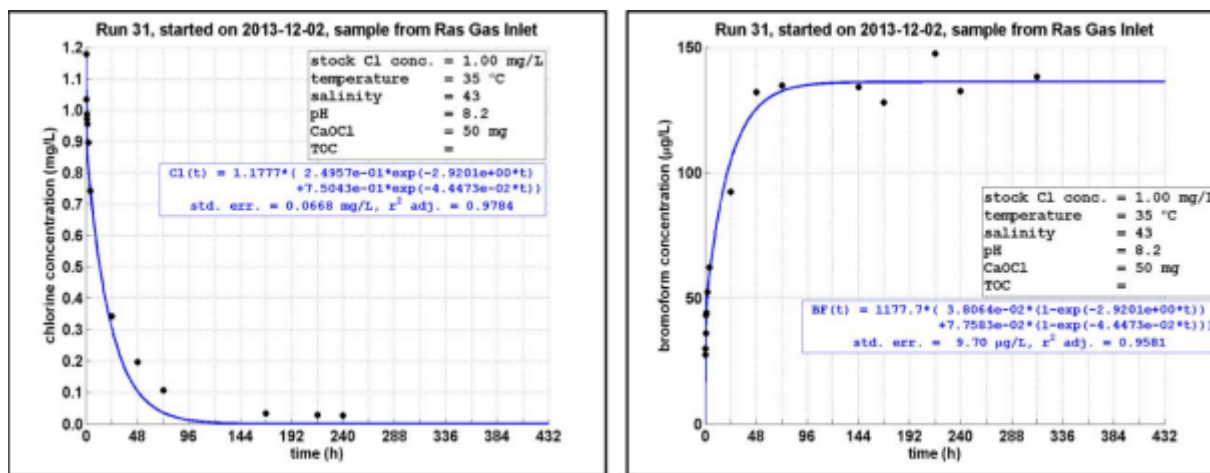


**Crtež 5. Reakcije koje nastaju kao posljedica ispuštanja natrijevog hipoklorita u more**

Izvor: Preuzeto iz studije *'Stručno mišljenje o gradnji plutajućeg terminala za ukapljeni prirodni plin na lokaciji Omišalj'* [23 p. 26]

Na slici su prikazane reakcije uzrokovane ispuštanjem otopine natrijevog hipoklorita u more. Označena je skupina trihalometana – hlapljivih spojeva čiji su značajni predstavnici kloroform i bromoform. Bromoform ( $\text{CHBr}_3$ ) je utvrđen kao spoj koji se kod ispusta klora u more stvara u najvećim koncentracijama. Njegova se koncentracija u kloriranim područjima povećava i do nekoliko desetaka puta. U većim koncentracijama, kao i kloroform, opasan je za zdravlje čovjeka. Može uzrokovati oštećenja živčanog sustava i jetre, a neke institucije ga klasificiraju kao moguću karcinogenu supstancu. Ovo nije razlog za brigu, jer su koncentracije opasne za čovjeka višestruko veće od koncentracija koje se stvaraju ispuštanjem klora. Naravno, more je prepuno raznolikih organizama kojima ozbiljno mogu naštetiti i manje koncentracije bromoforma. Utjecaj različitih koncentracija na pet morskih vrsta (ribe, školjke, račići) ispitan je u jednoj američkoj studiji [24]. Rezultati su pokazali kako bromoform počinje značajnije utjecati na

morske organizme tek kod koncentracija od 5-10 mg/L. Koncentracije ispod 1 mg/L nisu uzrokovale statistički značajne promjene kod nijednog proučavanog organizma. U drugoj studiji izmjerena je približna korelacija ispuštenog klora i rezultatnog bromoforma – ispušt klora koncentracije 1,2 mg/L rezultira stvaranjem koncentracije bromoforma manje od 150 µg/L. To bi značilo da je za stvaranje potencijalno opasne koncentracije bromoforma potrebno barem 8-10 mg/L ostatnog klora.



**Grafikon 4. Veza ostatnog klora u morskoj vodi i kemijskom reakcijom stvorenog bromoforma; koncentracija bromoforma ostaje visoka danima nakon što klor nestane iz vode**

Izvor: Preuzeto iz studije '*Chlorine in seawater heat exchange process at Crib Point*' [22. p. 10]

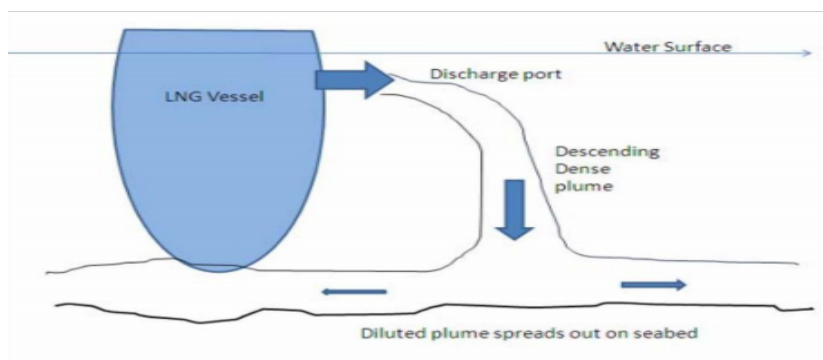
Podatak o količini klora koja se koristi u svakodnevnim operacijama razlikuje se od terminala do terminala i nije lako dostupan. Većina protuobraštajnih sustava dizajnirana je na način da je količina ispuštenog ostatnog klora nakon korištenja manja od 0,5 mg/L. Na prvi pogled može se zaključiti da tolika količina klora ni približno ne uzrokuje stvaranje opasne količine trihalometana (bromoforma). Iako studije u obzir ne uzimaju taloženje navedenih tvari protekom vremena, kao ni mogućnost ispusta veće količine klora kako bi se povećala efikasnost u borbi protiv algi, zasad nema dokaza da su koncentracije trihalometana u okolini LNG terminala više od sigurnih granica.

Sam ostatni klor također djeluje na morske organizme. U ranije citiranoj studiji iz 2018. na primjeru morskog ježinca pokazuje se utjecaj klora [22.p. 24-28]. Testiranjem je utvrđeno kako kod koncentracije od 0,133 mg/L ostatnog klora dolazi do uspješne

oplodnje samo 50% jajašaca, a pri koncentraciji od 0,5 mg/L ne dolazi do oplodnje. Te su koncentracije bliske onima koje se u praksi ispuštaju. Dokazani su utjecaji klora i na morske alge, kamenice i ribe, ali na nešto većim koncentracijama. Ispuštena koncentracija na izlazu je najveća te se zbog miješanja vode smanjuje s udaljenosti. To znači da su koncentracije na morskom dnu 200 i više metara udaljenom od ispusta iznimno malene. Uzme li se to u obzir, možemo zaključiti kako je u normalnim uvjetima rada negativan utjecaj natrijevog hipoklorita i ostatnog klora minimalan, te su najzahvaćeniji dijelovi morskog okoliša ograničeni na područje u neposrednoj blizini samog ispusta klorirane vode (pri dnu, budući da se klor spušta zajedno sa hladnom vodom). Takvi sustavi mogu biti opasni jedino u slučaju znatnog povećanja doze ispuštenog klora zbog toga što se povećanjem ostatnog klora (time i trihalometana) povećava rizik od narušavanja ravnoteže osjetljivih morskih ekosustava.

### **5.1.2. Hlađenje morske vode**

Hlađenje morske vode produkt je korištenja otvorenih sustava uplinjavanja (open rack vaporizera). Toplina morske vode prenosi se na LNG koji se uplinjava, dok voda postaje hladnija. Zbog velikih količina plina i njegove iznimno niske temperature, volumen ispuštene vode može iznositi i do 20.000 m<sup>3</sup> na sat, a temperatura na izlazu može biti 5 do 10 stupnjeva niža od ulazne. Ispusti se najčešće nalaze nekoliko metara ispod razine mora. Budući da hladnija voda koja izlazi ima veću gustoću od okolnog mora, gotovo istog trenutka počinje se spuštati prema dnu. U samo nekoliko sekundi stvori se stupac hladne vode kojim se voda slijeva te se u postupku miješa s okolnim morem. Kad dođe do morskog dna, voda se u tankom sloju širi u svim smjerovima. Treba napomenuti kako je temperatura izmiješane vode rijetko više od 1 stupnja hladnija u odnosu na okolnu morsku vodu. Faktori o kojima ovisi stvaranje stupca i naknadno širenje su broj ispusnih otvora, kut ispusta, dubina mora, rata ispuštanja, batimetrija – karakteristike morskog dna te snaga i smjer morske struje.



### Crtež 6. Prikaz ispusta hladne vode koja tone i širi se dnom

Izvor: Preuzeto iz studije '*Assessment of effects of coldwater discharge on marine ecosystem at Crib Point*' [25. p. 5]

2018. godine provedena je studija utjecaja planiranog FSRU terminala u Crib Pointu na temperaturu okolnog mora [25]. U najnepovoljnijem slučaju, procijenjena razlika u temperaturi bila je 0,8 stupnjeva, a za sustav s više ispusnih otvora svega 0,2 Celzijeva stupnja. Također, najveća udaljenost na kojoj se razlika u temperaturi može izmjeriti po toj je procjeni 900 metara, a najčešće manja od 500 metara. Jedini organizmi na koje je moguć utjecaj su oni do 2,5 metra iznad morskog dna i oni u neposrednoj blizini hladnog stupca vode. Cjelokupna zahvaćena površina procijenjena je na 0,7 km<sup>2</sup>. Ukoliko uzmemo u obzir da se okolna voda u tom slučaju potpuno miješa s hladnom za cca. 90 minuta (utjecajem jače struje i ranije), možemo zaključiti kako je i ovaj utjecaj u normalnim uvjetima rada terminala sveden na minimalnu razinu. Plivajući će organizmi, pretpostavlja se, lako izbjeći područje snižene temperature, a sesilni (bez mogućnosti kretanja) mogu podnijeti određeno mijenjanje uvjeta. Hladnije su morske vode bogatije otopljenim plinovima, posebno kisikom, što čak dovodi do povoljnijih uvjeta za brojne morske vrste (fitoplankton, ribe, larve različitih organizama).

U teoretskom slučaju ispuštanja hladne vode na manje dubine, u slučaju čestog slijevanja na isto mjesto (zbog konfiguracije dna – podvodne brazde i sl.), moguće je očekivati spuštanje temperature za više od jednog stupnja na udaljenostima od nekoliko kilometara. Kako navodi Ministarstvo zaštite okoliša i energetike u Rješenju o prihvatljivosti zahvata LNG terminala Omišalj [26 p. 16], postoji izvjesan utjecaj temperature na brojnost pojedinih vrsta, a takvo smanjenje temperature može uzrokovati smanjenje gustoće populacije. U tom je slučaju, međutim, utjecaj promjena označen kao kratkotrajan, nadoknativ i ne smatra se značajnim.

### 5.1.3. Redistribucija sedimenata

Na morskom se dnu protekom vremena talože različite tvari. Neki od sedimenata koji imaju najveći utjecaj na morski okoliš definitivno su sedimenti teških metala – živa, kadmij, olovo, arsen, krom. Kod ljudi, ali i kod ostalih živih organizama, poznati su negativni učinci trovanja teškim metalima. Krom i arsen su karcinogeni elementi, kadmij uzrokuje degeneraciju kostiju, dok veće količine žive i olova iznimno negativno djeluju na središnji živčani sustav. Oni su poseban problem zbog toga što se ne razgrađuju i ne reagiraju s tvarima u svojoj okolini, već se akumuliraju. Najveći faktor koji određuje količinu sedimenata teških metala na određenom području prisutstvo je industrijskih postrojenja koje ih ispuštaju. Drenaže rudnika, podvodne bušotine nafte i plina, otpadne vode raznih industrija (pesticidi, boje, tekstili, gnojiva, farmaceutska industrija) i otjecanje poljoprivrednih voda doprinijeli su povećanju koncentracije teških metala u morima diljem svijeta. Količina olova u vodenim okolišima danas viša je 2 do 3 puta od one predindustrijskog razdoblja. Dioksini i furani spojevi su iz skupine kloriranih ugljikovodika koji se nalaze među najštetnijima za okoliš i ljudsko zdravlje [27]. Posljedica su industrijskih ispuštanja (izbjeljivanje papira, proizvodnja određenih pesticida), a stvaraju se i prirodno kod erupcija vulkana i šumskih požara. Hidrofobnog su karaktera, što znači da se ne otapaju u vodi, ali se dobro otapaju u mastima. Vrlo su stabilni i postojani u okolišu. Zbog ovih karakteristika mogu se akumulirati u zemlji, morskim sedimentima, pa i živim organizmima kao što su kokoši, svinje, ribe i školjke. Iznimno je teško dati generalnu procjenu štetnosti redistribucije sedimenata dna na morski okoliš, obzirom da se područje svakog terminala razlikuje vrstom i konfiguracijom dna, karakteristikama morskih struja te vrstom i količinom samih sedimenata.

Do resuspenzije sedimenata može doći na dva načina. Prvi je povezan s radovima izgradnje LNG terminala i cjevovoda. Kod radova na podvodnoj infrastrukturi određena količina podvodnog materijala mora se premjestiti iskapanjem i jaružanjem. Drugi način kontinuiran je prilikom djelovanja pogona, a povezan je sa već spomenutim izbacivanjem pothlađene vode koja svojom masom pomiče sedimente. Za primjer možemo uzeti studiju iz 2008. koja se bavi pitanjem mogućih učinaka planiranog LNG terminala u Tršćanskom zaljevu [28\_p. 387-389]. U radu se navodi kako je dno na području zaljeva pješćano i znatno onečišćeno živom koja potječe iz rudnika Idrija u Sloveniji te manjim dijelom olovom i cinkom iz rudnika Raibel u Italiji.

Koncentracije žive na području na kojem je bio planiran terminal iznosile su 1-2  $\mu\text{g/g}$ , sve do 10  $\mu\text{g/g}$  na području bližem sjevernoj obali na kojem je bilo planirano polaganje cjevovoda. Sedimenti se smatraju kontaminirani živom već kod koncentracije od 0,2  $\mu\text{g/g}$ . U ovom slučaju, bio bi potreban iskop cca. 13.000  $\text{m}^3$  materijala. Izračunata masa premještenog materijala oko terminala iznosila bi 9.360 tona, a uz koncentraciju od 1  $\mu\text{g/g}$ , u vodu bi bilo oslobođeno 9,36 kg čiste žive. Ako se u obzir uzme i 4.160 tona materijala koje je potrebno premjestiti zbog izgradnje cjevovoda, uz prosječnu koncentraciju od 5  $\mu\text{g/g}$ , ukupna masa žive koja bi se oslobodila u vodu penje se na čak 30 kg, i to samo u fazi izgradnje. Nisu navedene procjene količina žive koje bi se oslobađale prilikom ispuštanja vode iz terminala, ali navodi se kako su brzine ispusta velike (cca 2,5  $\text{m}^3/\text{s}$ ), što bi u kontinuiranom radu moglo biti opasno. Treba imati na umu da se brzina vode smanjuje miješanjem s okolnim morem, tako da je sasvim moguće da bi pri kontaktu sa dnom resuspenzija bila minimalna.

Redistribucija sedimenata vodi do više koncentracije potencijalno štetnih elemenata u samoj vodi i omogućuje njihov prijenos na veće udaljenosti. Mikrobnim organizmima pretvaraju dio žive u metil živu koja je i u malim količinama potentan neurotoksin, a vrlo lako ulazi u morske organizme i trajno se taloži u njima. Resuspenzija sedimenata zbog miješanja i veće količine kisika također omogućuje oslobađanje veće količine nutrijenata (dušik, fosfor, silicij) u vodu, što može potaknuti eutrofikaciju (intenzivan rast algi, uzrokuje smanjenje količine dostupnog kisika za druge organizme).

#### **5.1.4. Protuobraštajni premazi**

Protuobraštajni premazi sredstva su koja se koriste za zaštitu vanjske oplata brodova od obraštanja različitih morskih organizama (mikroorganizmi, alge ili školjkaši). U upotrebi su razne izvedbe, kao što su biocidni ili samootpuštajući premazi. Negativni utjecaji protuobraštajnih sredstava kao što je TBT na morski okoliš davno su prepoznati te je njihova uporaba na brodovima zabranjena. Moderni premazi na bazi bakra ili cinka mnogo su prihvatljiviji za okoliš, ali je moguć njihov utjecaj na morski život na određenim područjima. Poseban oprez potreban je na područjima na kojima se izmjenjuje velik broj brodova kao što su terminali. Plutajući FSRU terminali također koriste protuobraštajne premaze, pa je u njihovoj okolini moguća akumulacija bakra.



### 5.1.5. Balastne vode

Na brodovima se koristi sustav balastiranja morskom vodom kako bi se povećala stabilnost broda koji je u putovanju, a nije nakrcan teretom. Balastiranje se vrši tako da se nakon iskrcaja tereta u balastne tankove upumpavaju velike količine morske vode koja se izbacuje tek pri dolasku u sljedeću luku. Ovo može predstavljati problem za morski okoliš zbog toga što se u vodi nalazi velik broj morskih vrsta, kao što su biljke, životinje, virusi i ostali mikroorganizmi. Oni mogu dolaskom na novo stanište ugroziti ili istisnuti lokalnu populaciju biološke vrste koja se tamo već nalazi. Ispuštanje balastnih voda danas je podložno regulacijama, a vode se i evidencije o njihovom ispuštanju. Područja LNG terminala mogu biti pogođena zbog broja brodova koji se na njima izmjenjuju, a dolaze iz različitih krajeva svijeta i prenose velike količine organizama potencijalno opasnih za morski okoliš.

## 5.2. UTJECAJ NA ZRAK

### 5.2.1. Izgaranje

Izgaranje goriva za pogon različitih strojeva (samim time i emisije plinova) javljaju se u normalnom radu terminala. Emisije u zrak kod LNG postrojenja produkti su prije svega ispušnih dimnjaka plinskih turbina koje se koriste kod rashladnih jedinica, kao i parnih kotlova. Kao gorivo se često koristi sam prirodni plin, dok su pomoćni (rezervni) strojevi pogonjeni dizel motorima.

**Tablica 2. Procijenjene emisije plinova za terminal Rio Grande (MTPA)**

**Table 3-1: Estimated Annual Emissions (tons per year) from Routine Operation of the Terminal and Compressor Station 3**

Emission Source	Pollutants (tons per year)								
	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub> **	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	VOC	HAPs	CO <sub>2e</sub>
<b>Project Total</b>									
Project Total	1,827.1	3,142.7	29.6	2.3	397.2	397.2	643.8	53.4	8,489,150
PSD Threshold	250	250	250	N/A	250	250	250	N/A	75,000
Trigger PSD?	YES	YES	NO	N/A	YES	YES	YES	N/A	YES
Significant Emission Rate	40	100	40	7	15	10	40	N/A	N/A
PSD Modeling Required?	YES	YES	NO	NO	YES	YES	N/A	N/A	N/A

Izvor: *Prevention of Significant Deterioration Air Permit Application*, Rio Grande LNG, [https://2fea0d43-01a9-4ffc-8e3a-0d4e11c2f416.filesusr.com/ugd/d1db5d\\_16fa7a8404134781900d024954091e3e.pdf](https://2fea0d43-01a9-4ffc-8e3a-0d4e11c2f416.filesusr.com/ugd/d1db5d_16fa7a8404134781900d024954091e3e.pdf)

Na slici su prikazane procijenjene godišnje emisije plinova za planirani LNG terminal Rio Grande u Teksasu. Emisija CO<sub>2</sub>, čiji su staklenički utjecaji poznati, procijenjena je na 8 i pol milijuna tona godišnje. Najveći su uzročnik tih emisija u ovom slučaju plinske turbine. Emisije dušikovih i sumpornih oksida glavni su uzročnici kiselih kiša. Sa 1.800 odnosno 30 tona, emisije jednog terminala relativno su male na globalnoj razini, ali mogu imati negativan utjecaj na manjim, lokalnim područjima.

Planirana izgradnja LNG terminala Kitimat u Kanadi naišla je na otpor lokalnog stanovništva nakon što je jedna procjena [29 p. 2-5] pokazala kako bi količina izgorenog plina na terminalu na godišnjoj razini bila 2,5 puta veća od količine izgorene na širem području Vancouvera (oko 2,5 milijuna stanovnika). Prema toj procjeni, iako je prirodni plin zaista čišći oblik fosilnog goriva, zbog ogromne količine izgaranja ispušteni dušikovi oksidi na području Kitimata povećali bi se čak 5 puta. Količina hlapljivih organskih spojeva povećala bi se za 35%, a količina ispuštenih sumpornih oksida 7%. Geografski, to je područje opisano kao uzak, ali dugačak tunel okružen planinama u kojem se zrak zadržava dulje vrijeme.

Kod velikog broja terminala i dalje se koriste baklje („flareovi“) na kojima se izgara višak plina iz sustava. U 2015. u svijetu je na bakljama izgoreno preko 100 milijardi kubnih metara plina. Iako se ne može točno utvrditi koliki dio te količine otpada na terminale, sa sigurnošću možemo zaključiti kako je njihov utjecaj na zrak značajan. One mogu biti i izvorom svjetlosnog zagađenja, a u bizarnom incidentu iz 2013. na terminalu Canaport LNG u Kanadi u plamenu baklje doslovno je izgorjelo oko 7 500 ptica selica [30].

#### *5.2.1.1. Hlapljivi organski spojevi*

Hlapljivi organski spojevi (eng. VOC – Volatile Organic Compounds) ugljikovodici su visokog tlaka pare pri normalnoj temperaturi. Skupina VOC-a sadrži brojne kemijske spojeve (benzen, etilen glikol, formaldehid) od kojih je dio prirodnog, a dio antropogenog podrijetla (hlapljenje boja, izgaranje fosilnih goriva). Njihovo udisanje može uzrokovati probleme dišnog i živčanog sustava, a mnogi su karcinogeni prilikom dužeg izlaganja. Značajni su zagađivači zbog toga što pospješuju stvaranje smoga i sitnih čestica u zraku. Plinska je industrija jedan od većih onečišćivača hlapljivim organskim

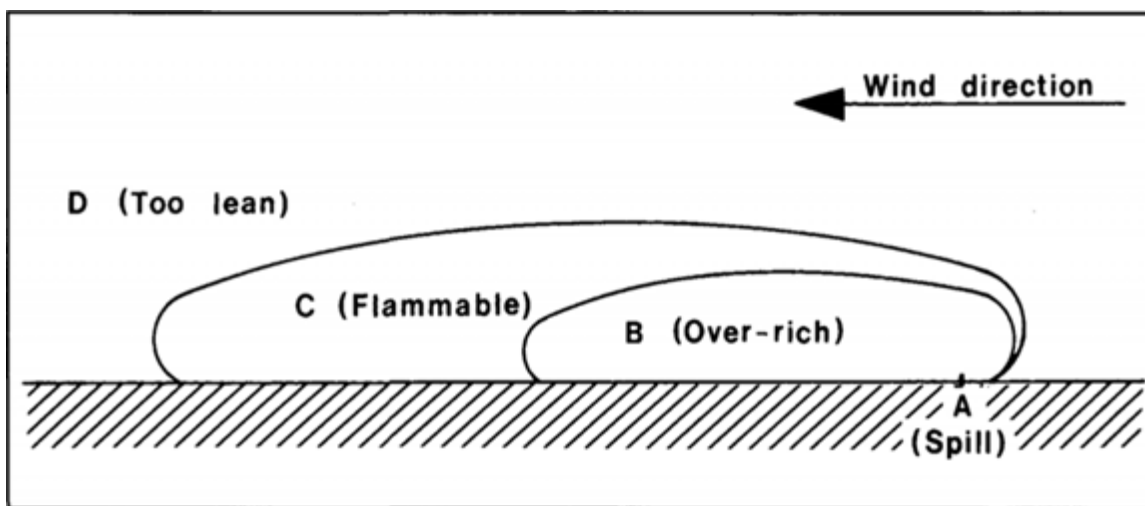
spojevima zbog procesa ekstrakcije plina, ali i izgaranja samog plina. Količina koja se ispušta izgaranjem plina ovisna je o sastavu samog plina i može bitno varirati.

### 5.2.2. Ispust plina

Kako je prethodno navedeno, sam metan jedan je od najpotentnijih stakleničkih plinova. U atmosferi se zadržava kraće nego CO<sub>2</sub> i ispušta se u manjim količinama, ali apsorbira nekoliko desetaka puta više topline, što znači da više grije atmosferu. Oko 25% čovjekovog utjecaja na klimatske promjene može se pripisati emisiji metana [31]. Kod LNG sustava u izvanrednim okolnostima dolazi do podizanja tlaka ili viška plina kojeg je često nemoguće vratiti u sustav. U ovakvim se okolnostima katkad provodi ispuštanje plina direktno u atmosferu („gas venting“). Zbog spomenutog utjecaja na atmosferu, ovaj se postupak izbjegava i smatra se incidentom. Razumno je pretpostaviti da se u manje razvijenim dijelovima svijeta (zbog nižeg standarda tehnoloških sustava i regulacija) ova praksa češće provodi. Nemoguće je procijeniti koliko je ispuštanje pojedinog terminala, pretežno iz razloga što kompanijama nije u interesu da takve informacije dospiju u javnost, ali godišnje procjene ispusta metana na globalnoj razini idu čak do 3,6 bilijuna kubnih stopa [32]. Iako je kod samog isparavanja plina vidljiv bijeli oblak, točnu je procjenu svakog ispuštanja teško napraviti jer vrlo brzo dolazi na atmosfersku temperaturu, postaje bezbojan i diže se u visine.

Najveći rizik slučajnog ispuštanja plina kod terminala nalazi se kod sustava za prekrcaj čije su najvažniji elementi prekrcajne ruke, spojevi i prekrcajne cijevi, i kod skladišnih prostora čije su najvažnije karakteristike struktura tankova, sustavi kontrole tlaka, indikatori i alarmi razine tekućine te zaporni ventili. Pod izvanrednim okolnostima podrazumijevamo kvar na nekom od ovih sustava ili ljudsku grešku. Primjer ovakvog incidenta zabilježen je 2018. na izvoznom terminalu Sabine Pass u Louisiani [33]. LNG je iscurio u prostor između unutanje i vanjske stijenke kod dva spremnika i uzrokovao pukotine veličina od 30 do 180 cm na vanjskoj čeličnoj stijenci. Zbog niske temperature plina čelik postaje krhak i sklon lomljenju. Na sreću nije došlo do potpune strukturalne propasti tanka i nitko od 500 djelatnika nije bio izložen plinu, ali je velika količina iscurila u atmosferu. Tankovi velikog kapaciteta odmah su zatvoreni, a do ove godine kompanija je ispunila samo 5 od 16 uvjeta za njihovu ponovnu uporabu.

Uz staklenički utjecaj metana, curenje može biti opasno i za neposredni okoliš. Iako ne zagađuje vodu, u doticaju s njom plin isparava brže te se njegova koncentracija u zraku naglije povećava. Na višim koncentracijama metan uzrokuje gušenje, što može biti posebno opasno za posade broda i pilotskog čamca, hitno medicinsko i vatrogasno osoblje te osoblje terminala koje se nalazi u blizini. Također, u slučaju širenja i miješanja sa zrakom u koncentracijama od 5 do 15% postaje zapaljiv. Ako ispuni određeni prostor u toj koncentraciji i bude izložen izvoru zapaljenja izgara temperaturom od 1950 °C, a ukoliko je prostor zatvoren postoji velika mogućnost eksplozije.



**Crtež 7. Prikaz zona zapaljivosti uslijed izlijevanja metana; Slovo A označava točku izlijevanja, B zonu prevelike koncentracije plina da bi došlo do zapaljenja, C zonu u kojoj je moguće zapaljenje, a D zonu nedovoljne koncentracije plina da bi došlo do zapaljenja**

Izvor: preuzeto iz skripte '*Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem*' [4]

### 5.3. POTENCIJALNI RIZICI

Dio potencijalnih rizika već je obrađen. Međutim, postoji još mnogo slučajeva koji nisu nužno ograničeni na plinsku industriju, a mogu uzrokovati negativne posljedice za sam terminal i njegovu okolinu:

- **Stvaranje pjene** – u nekim slučajevima zabilježeno je stvaranje pjene u okolici terminala. Iako je to prirodna pojava koju uzrokuje miješanje vode u kombinaciji sa cvjetanjem mora, tehnički procesi koji se koriste kod terminala mogu tu pojavu pospješiti uslijed sterilizacije vode i turbulentnog miješanja sa zrakom.

- **Sudar i udar** – sama svrha terminala prekrcaj je tereta na/s brodova. Pomorski je promet, ovisno o području, u blizini terminala često gust. To povećava rizik od sudara brodova ili udara broda u kopneno postrojenje, što može uzrokovati čitav niz opasnosti.

- **Nasukanje** – budući da se terminali često nalaze u blizini kopna, zbog vanjskih uvjeta ili ljudske greške može doći do nasukanja i proboja oplata broda.

- **Nagruće broda** – najčešće uslijed nepravilnog rada s balastom. U slučaju naglog povećanja nagiba prekrcaj se odmah zaustavlja.

- **Vremenske nepogode** – oluje, uragani, gromovi, utjecaji vjetra i valova također mogu poremetiti normalno funkcioniranje terminala i oštetiti kopnenu ili brodsku opremu.

- **Ispuštanje ulja ili zauljenih voda u more** – brodovi mogu imati i do 10.000 tona teškog goriva i određene količine zauljenih voda iz strojarnice čije bi ispuštanje (ovisno o količini) moglo biti izrazito nepovoljno za more i morski okoliš, pogotovo u manjim, zatvorenim zaljevima.

- **Sigurnosne prijetnje** – u obzir se moraju uzeti prijetnje terorističkih organizacija, ratni rizici i prijetnje trećih osoba. Iako su LNG tankovi poprilično otporni na vanjske utjecaje, osoba koja je upoznata sa sustavima mogla bi izazvati katastrofalnu štetu.

- **Svjetlosno zagađenje** – LNG postrojenja, kao i sva tehnološka postrojenja, koriste neki oblik rasvjete noću. Ovo može imati utjecaj na ljude, ali i na sve ostale žive organizme (ptice, divljač) u okolici.

- **Utjecaj buke** – radom LNG terminala i njegovih brojnih uređaja (pumpe, kompresori, isparivači), kao i operacijama samih brodova, proizvodi se velika količina buke i vibracija (preko 100 dB) koja može utjecati na lokalne životne zajednice.

- **Vizualni utjecaj** – negativan utjecaj vizualnog onečišćenja ovisi o blizini naseljenih mjesta i poziciji i izvedbi samog terminala. U slučaju da se radi o kopnom terminalu velikih dimenzija ili FSRU plovilu žarkih nijansi, može biti značajan.

## 5.4. ZAŠTITNE MJERE I PROPISI

LNG sektor, unatoč svim navedenim opasnostima i rizicima, jedan je od najsigurnijih industrijskih sektora. Zbog prirode samog tereta, tehnologija koja se koristi je skupa i visoke kvalitete, a osoblje dobro obučeno. Pri projektiranju terminala moraju se provoditi opširne studije o prihvatljivosti zahvata, studije utjecaja na okoliš i maritimne studije. Projekte mora ocijeniti i odobriti nadležno ministarstvo pojedine države. Terminali su podložni različitim nacionalnim, ali i međunarodnim propisima. Nacionalne agencije kojima su podložni terminali na području SAD-a su *Federal Energy Regulatory Commission (FERC)*, *U.S. Coast Guard (USCG)*, te *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA)* [34]. Terminali na području EU podložni su regulacijama države na čijem se teritoriju nalaze, ali svakako moraju biti u skladu s europskom direktivom *Council Directive 85/337/EEC of 27 June 1985 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment* [35]. Neke od međunarodnih konvencija i propisa kojima su podložni, primjerice, FSRU terminali, su *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*, *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC)* i *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)* Međunarodne pomorske organizacije, te *Environmental and Social Standards (ESS)* Svjetske banke. *Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (SIGTTO)* neprofitabilna je organizacija sa središtem u Londonu koja učlanjuje preko 90% svjetskih LNG brodova i terminala. Organizacija je aktivno uključena u istraživanje prirodnog plina kao goriva i razvoj njegovog transporta morem i kao takva objavljuje mnoge relevantne publikacije koje služe kao smjernice i preporuke za obavljanje različitih operacija povezanih s plinom.

Kod izgradnje svakog terminala propisane su razne granične vrijednosti, za primjer neke od vrijednosti za LNG Omišalj [26]:

- **Granične vrijednosti emisija u zrak** (100 mg/m<sup>3</sup> dušikovih oksida u ispuhu kotlova za uplinjavanje na FSRU brodu)
- **Granična vrijednost ostatnog klora** (0,2 mg/L)
- **Koncentracija ukupnih ostatnih oksidanata** (0,1 mg/L)
- **Maksimalne dozvoljene vrijednosti spuštanja temperature mora** (-3 °C)
- **Maksimalne vrijednosti buke koju terminal proizvodi** (<80 dB, duž granica kompleksa).

Kako bi se vrijednosti održavale unutar predviđenih granica tijekom eksploatacije terminala, propisan je i program praćenja stanja okoliša. On predviđa redovna godišnja izvješća u kojem moraju biti navedena različita mjerenja. Operater terminala dužan je pratiti emisije u zrak iz kotlova za uplinjavanje, stalno pratiti koncentracije dušičnih i sumpornih oksida u okolici terminala, izrađivati izvješća o emisijama stakleničkih plinova, pratiti koncentraciju ostatnog klora, pratiti temperaturu morske vode na usisu i ispustu sustava rashladne vode, mjeriti koncentracije trihalometana, određivati koncentraciju bakra u morskoj vodi u blizini terminala, mjeriti razine buke na referentnim točkama te pratiti oceanografske i biološke pokazatelje (temperatura, slanost, kisik, hranjive soli, stanje planktona i stanje morskih staništa obalnog pojasa). Također, svaki terminal mora imati unaprijed sastavljene planove postupanja u slučaju pomorskih nezgoda i izvanrednih situacija kao što su požari, eksplozije i curenje plina. Smanjenje rizika od onečišćenja mora često se provodi plutajućim branama koje u slučaju istjecanja zauljenih voda smanjuju njihovo širenje. Sva oprema mora biti redovno pregledavana, održavana i servisirana, a zaposlenici se moraju kontinuirano obrazovati i testirati. Sigurnosnoj zaštiti (točke pristupa terminalu, videonadzor, stražarenje, alarmi, zaštite kontrolnih sustava) također se pridaje velik značaj kako bi se terminale osiguralo od prijetnji trećih osoba.

Utjecaji terminala na okoliš mogu se unaprijed smanjiti kod projektiranja sustava izborom adekvatnih tehnologija i opreme za pojedino područje. Primjerice, na područjima na kojima se utvrdi da postoji povećan rizik od utjecaja klora i trihalometana na morske organizme, može se primjeniti princip mehaničkog čišćenja cjelokupnog sustava za sprečavanje obraštanja ili zatvoreni sustav uplinjavanja. Ako se (obzirom na batimetriju i morske struje) ocijeni da će utjecaj hlađenja mora biti značajan, mogu se prilagoditi kutevi i rate ispuštanja vode na način da se razlika temperature svede na minimum, ili pak koristiti sustavi međufuida (IFV) ili grijanja plina zrakom (AAV). Slična je situacija kod područja s većom količinom sedimenata, moguća je prilagodba količine i brzine vode koja udara u morsko dno ili korištenje drugačijeg sustava uplinjavanja. Za područja koja zahtijevaju posebnu pažnju kod emisija u zrak, iako su takve izvedbe skuplje, postoje mnoge opcije ugrađivanja pročišćivača ispušnih plinova („scrubbera“). Naposljetku, tvrtke kao što je *Sensornet* nude ugradnju „*Digital Leak Detection*“ sustava na LNG terminale koji unutar 10 sekundi mogu otkriti curenje plina i odrediti njihovu točnu lokaciju u bilo kojem dijelu postrojenja [36].

## 6. ZAKLJUČAK

LNG terminali ključan su dio rastućeg plinskog sektora i važan dio buduće opskrbe energijom diljem svijeta. Iako su provedene brojne studije, teško je dati generalnu procjenu o utjecaju terminala na morski okoliš. Ovisno o načinu na koji su projektirani i na koji se njima upravlja, njihov učinak može varirati od neznatnog do katastrofalnog.

Nema čvrstih pokazatelja da ispuštanjem kemikalija, hlađenjem vode ili emisijama u zrak terminali značajnije utječu na okoliš. Dobro projektiran LNG terminal u normalnom radu ima vrlo malen, praktički zanemariv ekološki otisak, a plin kao gorivo doista ima potencijal pomoći u smanjenju emisije stakleničkih plinova i čovjekovog utjecaja na klimatske promjene.

S druge strane, i rizici su puno veći nego kod nekih drugih vrsta goriva. Teško možemo procijeniti količine koje ispuštamo u atmosferu, tako da staklenički efekt praktički nije moguće izmjeriti. Zbog karakteristika kao što su iznimno niska temperatura kapljevine te bezbojnost i zapaljivost u plinskom stanju mora se posvetiti posebna pažnja pri rukovanju prirodnim plinom. Na primjerima prethodnih nesreća uočljivo je da dolaze bez najave, a mogu imati ozbiljne posljedice. Starenjem infrastrukture rizici ispusta će se povećavati, a posljedice hipotetskog curenja i požara metana u blizini naseljenih područja (za primjer, FSRU u luci Klaipeda) ne mogu se unaprijed predvidjeti.



## LITERATURA

- [1] Royal Dutch Shell, 2020. '*Shell LNG Outlook 2020*', online:  
[https://www.shell.com/promos/overview-shell-lng-2020/\\_jcr\\_content.stream/1584588383363/7dbc91b9f9734be8019c850f005542e00cf8ae1e/shell-lng-outlook-2020-march.pdf](https://www.shell.com/promos/overview-shell-lng-2020/_jcr_content.stream/1584588383363/7dbc91b9f9734be8019c850f005542e00cf8ae1e/shell-lng-outlook-2020-march.pdf) (20.6.2020.)
- [2] '*Prirodni plin*', Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020., online:  
<https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=50450> (16. 8. 2020)
- [3] Thakur P., 2017. '*Advanced Reservoir and Production Engineering for Coal Bed Methane*' (ulomak), Science Direct, online:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/natural-gas-wells> (18.8.2020.)
- [4] Rudan, I., Sumner, M., 2016. '*Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem*', Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, skripta, online:  
[https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3004470/mod\\_folder/content/0/Ukapljeni%20Plinovi.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3004470/mod_folder/content/0/Ukapljeni%20Plinovi.pdf) (11.8.2020.)
- [5] '*Liquefied natural gas*', n.d., Wikipedia, online:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied\\_natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas) (18.8.2020.)
- [6] International Gas Union (IGU), 2020. '*World LNG Report*', izvješće, online:  
<https://www.igu.org/app/uploads-wp/2020/04/2020-World-LNG-Report.pdf> (22.8.2020.)
- [7] De Falco, M., 2017. '*LNG R&D for the Liquefaction and Regasification Processes*', Oil & Gas Portal, članak, online:  
<http://www.oil-gasportal.com/lng-rd-for-the-liquefaction-and-regasification-processes/> (5.9.2020)
- [8] Tiseo I., 2020. '*Natural gas - proved reserves worldwide 2000-2019*', statistika, grafikon, online:  
<https://www.statista.com/statistics/281873/worldwide-reserves-of-natural-gas/> (7.9.2020.)
- [9] Hecht A., 2020. '*Crude Oil vs. Natural Gas, the balance*', članak, online:  
<https://www.thebalance.com/crude-oil-versus-natural-gas-competing-energy-markets-808876> (7.9.2020.)
- [10] Swarthmore, 2010. '*Comparison Against Other Fossil Fuels*', Environmental Studies Swarthmore College, članak, online:  
<https://www.swarthmore.edu/environmental-studies-capstone/comparison-against-other-fossil-fuels> (8.9.2020.)
- [11] '*Methane*', n.d., Wikipedia, online:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Methane> (10.9.2020.)
- [12] '*What is an LNG terminal?*', n.d., Elengy, online:  
<https://www.elengy.com/en/lng/what-is-an-lng-terminal.html> (11.9.2020.)

- [13] Mordor Intelligence, 2019. '*LNG terminal market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025)*', izvješće, online:  
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-lng-terminals-market-industry> (11.9.2020.)
- [14] '*LNG Trains*', Qatargas, n.d., online:  
<https://www.qatargas.com/english/operations/lng-trains> (11.9.2020.)
- [15] '*Prelude FLNG*', n.d., Wikipedia, online:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Prelude\\_FLNG](https://en.wikipedia.org/wiki/Prelude_FLNG) (11.9.2020.)
- [16] Norrgård, J., 2018. '*LNG terminals – land-based vs. floating storage and regasification technology*', *WÄRTSILÄ*, članak, online:  
<https://www.wartsila.com/insights/article/lng-terminals-land-based-vs-floating-storage-and-regasification-technology> (11.9.2020.)
- [17] AirProducts, webstranica:  
<https://www.airproducts.com/products/overview> (11.9.2020.)
- [18] Agarwal R., Rainey T. J., Rahman S. M. A., Steinberg T., Perrons R. K., Brown R.J., 2017. '*LNG Regasification Terminals: The Role of Geography and Meteorology on Technology Choices*', Queensland University of Technology, Brisbane, online:  
<https://www.mdpi.com/1996-1073/10/12/2152/htm> (11.9.2020.)
- [19] Skonce J., 2015. '*The East Ohio Gas Company Explosion*', *Cleveland Historical*, članak, online:  
<https://clevelandhistorical.org/items/show/748> (14.9.2020.)
- [20] '*Report sheds new light on LNG blast in Algeria*', 2004. *gasandoil.com* članak, online:  
<http://www.gasandoil.com/news/2004/05/nta41868> (14.09.2020.)
- [21] The Port Hartcourt Telegraph, 2005. '*11 Feared Missing after LNG Pipeline Explosion*', *OnlineNigeria*, članak, online:  
<https://onlinenigeria.com/nm/templates/?a=5062> (14.09.2020.)
- [22] Chidgey S., 2018. '*Chlorine in seawater heat exchange process at Crib Point*', Consulting Environmental Engineers, Cheltenham, Australija, studija, online:  
[http://epbcnotices.environment.gov.au/\\_entity/annotation/b87beabf-4fcc-e811-a2e6-005056ba00a8/a71d58ad-4cba-48b6-8dab-f3091fc31cd5?t=1539380429617](http://epbcnotices.environment.gov.au/_entity/annotation/b87beabf-4fcc-e811-a2e6-005056ba00a8/a71d58ad-4cba-48b6-8dab-f3091fc31cd5?t=1539380429617) (20.9.2020.)
- [23] Meixner I., DLS d.o.o., 2017. '*Stručno mišljenje o gradnji plutajućeg terminala za ukapljeni prirodni plin na lokaciji Omišalj*', Rijeka, studija, online:  
[http://www.cccp.com.hr/upload\\_folder/server/php/fotke/Hrvatska%20kontrastudija.pdf](http://www.cccp.com.hr/upload_folder/server/php/fotke/Hrvatska%20kontrastudija.pdf) (10.9.2020.)

- [24] Gibson C.I., Tone F.C., Wilkinson P., Blaylock J.W., 1979. '*Toxicity and effects of bromoform on five marine species*', Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, WA (USA), tehničko izvješće, online:  
<https://www.osti.gov/biblio/6053880/> (15.9.2020.)
- [25] Chidgey S., 2018. '*Assessment of effects of coldwater discharge on marine ecosystem at Crib Point*', Consulting Environmental Engineers, Cheltenham, Australija, studija, online:  
[https://www.agl.com.au/-/media/agl/about-agl/documents/how-we-source-energy/other/cee-report\\_assessment-of-effects-of-coldwater-discharge-on-marine-ecosystem\\_ver03\\_27022018.pdf?la=en&hash=DCFD01EBCCB6C5C657A851900BB945D91214CA05](https://www.agl.com.au/-/media/agl/about-agl/documents/how-we-source-energy/other/cee-report_assessment-of-effects-of-coldwater-discharge-on-marine-ecosystem_ver03_27022018.pdf?la=en&hash=DCFD01EBCCB6C5C657A851900BB945D91214CA05) (21.9.2020.)
- [26] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2018. '*Rješenje o prihvatljivosti zahvata prihvatnog terminala za ukapljeni prirodni plin u Općini Omišalj*', Zagreb, online:  
<https://lng.hr/cms/api/public/uploads/Rje%C5%A1enje%20MZOIE%20o%20prihvatljivosti%20zahvata%2011.4.2018.pdf> (24.8.2020.)
- [27] World Health Organization, 2016. '*Dioxins and their effects on human health*', članak, online:  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health> (22.9.2020.)
- [28] V. Malačić, J. Faganeli, A. Malej, 2008., '*Environmental Impact of LNG Terminals in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic)*', Marine Biology Station, National Institute of Biology, Piran, Slovenija (12.7.2020.)
- [29] Knox G., 2013. '*Air Advisory: The Air Quality Impacts of Liquefied Natural Gas operations Proposed for Kitimat B.C.*', SkeenaWild Conservation Trust, Terrace, British Columbia, online:  
<http://lnginnorthernbc.ca/images/uploads/documents/Air%20Advisory-airqualityimpactsofLNG-SkeenaWild-nov2013.pdf> (24.9.2020.)
- [30] CBC News, 2013. '*7,500 songbirds killed at Canaport gas plant in Saint John*', članak, online:  
<https://www.cbc.ca/news/canada/new-brunswick/7-500-songbirds-killed-at-canaport-gas-plant-in-saint-john-1.1857615> (23.9.2020.)
- [31] Environmental Defense Fund, n.d. '*Methane: The other important greenhouse gas*', članak, online:  
<https://www.edf.org/climate/methane-other-important-greenhouse-gas> (25.9.2020.)
- [32] Zeller Jr. T., 2015. '*Natural Gas Leaks: A \$30 Billion Opportunity and Global Warming Menace*', *Forbes*, članak, online:  
<https://www.forbes.com/sites/tomzeller/2015/04/21/natural-gas-leaks-a-30-billion-opportunity-and-global-warming-menace/#8fcd79316329> (25.9.2020.)

[33] Schleifstein, M., 2018. 'Sabine Pass LNG ordered to shut down leaking gas storage tanks', *The Times-Picayune*, članak, online:

[https://www.nola.com/news/environment/article\\_e93f653c-18d3-5016-abc6-47cdd7370b90.html](https://www.nola.com/news/environment/article_e93f653c-18d3-5016-abc6-47cdd7370b90.html) (25.9.2020.)

[34] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), 'LNG regulatory documents', webstranica, online:

<https://www.phmsa.dot.gov/pipeline/liquified-natural-gas/lng-regulatory-documents> (25.9.2020.)

[35] European Parliament and the Council, 1985. 'Council Directive 85/337/EEC of 27 June 1985 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment', direktiva, online:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31985L0337> (25.9.2020.)

[36] Sensornet, 'Liquefied Natural Gas (LNG) Leak Detection and Monitoring', webstranica, online:

<https://www.sensornet.co.uk/liquefied-natural-gas-lng-monitoring/> (26.9.2020.)

## POPIS KRATICA

<b>KRATICA</b>	<b>PUNI NAZIV NA STRANOM JEZIKU</b>	<b>TUMAČENJE NA HRVATSKOM JEZIKU</b>
AAV	Ambient Air Vaporizer	Isparivač koji koristi zrak
BTU	British Thermal Units	Britanska termalna jedinica
CWHE	Coil – Wound Heat Exchanger	Spiralni izmjenjivač topline
DLD	Digital Leak Detection	Sustav digitalne detekcije curenja plina
ESS	Environmental and Social Standards	Društveni standardi i standardi okoliša
FERC	Federal Energy Regulatory Comission	Američka federalna komisija za energetske regulativu
FLNG	Floating Liquefied Natural Gas facility	Plutajuće plinsko postrojenje
FPSO	Floating Production, Storage and Offloading	Odobalno postrojenje za proizvodnju i iskrcaj ukapljenog plina
FRC	Free Residual Chlorine	Slobodni ostatni klor
FSRU	Floating Storage and Regasification Unit	Plutajuće postrojenje za skladištenje i uplinjavanje
IFV	Intermediate Fluid Vaporizer	Isparivač koji koristi međurashladno sredstvo
IGC	International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gasses in Bulk	Međunarodni kodeks koji propisuje zahtjeve gradnje i opremljenosti za brodove koji prevoze ukapljene plinove
IMO	International Maritime Organization	Međunarodna pomorska organizacija
LNG	Liquefied Natural Gas	Ukapljeni prirodni plin
LNGC	Liquefied Natural Gas Carrier	Brod namijenjen prijevozu ukapljenog prirodnog plina
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships	Međunarodna konvencija za sprečavanje zagađenja s pomorskih brodova
MR	Mixed Refrigerant	Miješano rashladno sredstvo
MRL	Mixed Refrigerant Liquid	Tekuće miješano rashladno sredstvo
MRV	Mixed Refrigerant Vapour	Pare miješanog rashladnog sredstva

MTPA	Million Tonnes Per Annum	Milijuna tona godišnje
ORV	Open Rack Vaporizer	Otvoreni isparivač koji koristi vodu
PFHE	Plate – Fin Heat Exchanger	Pločasti izmjenjivač topline
PHMSA	Pipeline and Hazardous Material Safety Administration	Administracija za sigurnost cjevovoda i opasnih materijala
SCV	Submerged Combustion Vaporizer	Isparivač koji koristi izgaranje
SIGTTO	Society of International Gas Tanker and Terminal Operators	Međunarodno društvo operatera plinskih tankera i terminala
SOLAS	International Convention for the Safety Of Life At Sea	Međunarodna konvencija o spašavanju ljudskih života na moru
USCG	United States Coast Guard	Američka obalna straža
VOC	Volatile Organic Compound	Hlapljivi organski spojevi

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Fizikalne karakteristike prirodnog plina .....	4
Tablica 2. Procijenjene emisije plinova za terminal Rio Grande (MTPA) .....	26

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Procijenjeni rast potražnje za prirodnim plinom u budućnosti u odnosu na procijenjenu ponudu objekata trenutno u funkciji i objekata u izgradnji .....	1
Grafikon 2. Projekcija rasta tržišta LNG terminala po regijama .....	9
Grafikon 3. Omjer obalnih i odobalnih LNG terminala koji kreću s radom u 2020. ....	12
Grafikon 4. Veza ostatnog klora u morskoj vodi i kemijskom reakcijom stvorenog bromoforma .....	21

## POPIS CRTEŽA

Crtež 1. Bočni prikaz LNGC broda .....	6
Crtež 2. Primjer ORV izmjenjivača topline .....	7
Crtež 3. Prikaz AP-C3MR™ izmjenjivača topline, danas najraširenijeg sustava za ukapljivanje .....	13
Crtež 4. Shematski prikaz sustava iskrcajnog terminala .....	15
Crtež 5. Reakcije koje nastaju kao posljedica ispuštanja hipoklorita u more .....	20
Crtež 6. Prikaz ispusta hladne vode koja tone i širi se dnom .....	23
Crtež 7. Prikaz zona zapaljivosti uslijed izlijevanja metana .....	29

## POPIS FOTOGRAFIJA

Fotografija 1. Izmjenjivači topline .....	6
---	---

Fotografija 2. <b>Primjer izvoznog terminala, Ras Laffan</b> .....	<b>10</b>
Fotografija 3. <b>Primjer plutajućeg izvoznog terminala, FLNG Prelude</b> .....	<b>11</b>
Fotografija 4. <b>Prikaz požara nakon eksplozije plina na terminalu Skikda</b> .....	<b>17</b>