

Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem

Božičković, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:453301>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**



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**

IVANA BOŽIČKOVIĆ

**TEHNOLOGIJA PRIJEVOZA UKAPLJENIH PLINOVA
MOREM**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**TEHNOLOGIJA PRIJEVOZA UKAPLJENIH PLINOVA
MOREM
TECHNOLOGY OF MARITIME TRANSPORTATION OF
LIQUEFIED GAS
ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Tehnologija prijevoza morem

Mentor: red. prof. dr. sc. Renato Ivče

Komentor: doc. dr. sc. Juraj Bukša

Studentica: Ivana Božičković

Studijski smjer: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112085054

Rijeka, rujan 2024.

Studentica: Ivana Božičković

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112085054

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem
(*naslov završnog rada*)

izradila samostalno pod mentorstvom
red. prof. dr. sc. Renato Ivče

te komentorstvom doc. dr. sc. Juraj Bukša

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke _____
(*naziv tvrtke*).

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

Studentica



(*potpis*)

Ivana Božičković

Studentica: Ivana Božičković

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

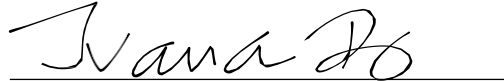
JMBAG: 0112085054

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

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

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

Student/studentica – autor



(potpis)

SAŽETAK

U ovom radu opisana je tehnologija transporta ukapljenih plinova morem. Opisana je povijest, proizvodnja, primjena, svojstva i transport ukapljenog prirodnog i naftnog plina. Uz to, prikazane su također i vrste brodova te primjeri iz Hrvatske. Ukapljeni naftni plin je energent koji se koristi u različitim aspektima zahvaljujući svojoj efikasnosti i svestranosti. Ovaj proces ukapljivanja omogućava jednostavan transport i skladištenje u tekućem stanju u spremnicima ili cilindrima. Prijevoz i skladištenje zahtjevaju posebne uvjete kako bi se osigurala učinkovitost i sigurnost. Plin se prevozi u posebnim brodovima i cisternama, a skladišti u spremnicima. Korištenje ukapljenog naftnog plina pruža prednosti zbog njegove fleksibilnosti i dostupnosti. Ukapljeni prirodni plin je energent koji se koristi kao alternativno gorivo u mnogim primjenama zbog kojih ima prednost u odnosu na druga fosilna goriva. Najčešće se koristi u proizvodnji električne energije, kao gorivo za brodove te u industriji i kućanstvima. Njegova uporaba smanjuje emisiju štetnih plinova. Prijevoz ovog plina obavlja se brodovima i cisternama koje su dizajnirane za održavanje vrlo niskih temperatura. S obzirom na globalnu potražnju, za čistim izvorima energije, prirodni plin ima ključnu ulogu u smanjenju emisija stakleničkih plinova.

Ključne riječi: ukapljeni naftni plin, ukapljeni prirodni plin, transport, LNG brodovi

SUMMARY

This paper describes the technology of transporting liquefied gases by sea. It outlines the history, production, application, properties, and transport of liquefied natural gas (LNG) and liquefied petroleum gas (LPG). Additionally, it presents the types of ships used and examples from Croatia. Liquefied petroleum gas is an energy source used in various aspects due to its efficiency and versatility. This liquefaction process enables easy transportation and storage in liquid form in tanks or cylinders. Transport and storage require special conditions to ensure efficiency and safety. The gas is transported in specialized ships and tankers and stored in containers. The use of liquefied petroleum gas offers advantages because of its flexibility and availability. Liquefied natural gas is an energy source used as an alternative fuel in many applications, which gives it an advantage over other fossil fuels. It is most commonly used in electricity generation, as fuel for ships, and in industry and households. Its use reduces the

emission of harmful gases. The transport of this gas is carried out by ships and tankers designed to maintain very low temperatures. Given the global demand for clean energy sources, natural gas plays a key role in reducing greenhouse gas emissions.

Key words: liquefied petroleum gas, liquefied natural gas, transportation, LNG carriers

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ.....	III
1. UVOD	1
2. UKAPLJENI NAFTNI PLIN (LPG)	2
2.1. POVIJEST.....	2
2.2. PRIMJENA	3
2.3. PROIZVODNJA.....	4
2.3.1. Proizvodnja iz nafte	4
2.4. SVOJSTVA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA.....	5
2.5. MJERE SIGURNOSTI U UPORABI.....	6
2.6. TRANSPORT UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	7
2.7. PREDNOSTI UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA.....	8
3. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN (LNG)	9
3.1. POVIJEST.....	9
3.2. PRIMJENA	9
3.3. PROIZVODNJA.....	10
3.4. SVOJSTVA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA.....	10
3.5. POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA	11
3.6. UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA	13
3.7. SKLADIŠTENJE.....	13
3.8. PREDNOSTI UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA.....	14
4. INERTIRANJE TANKOVA.....	16
5. VRSTE LNG BRODOVA	18
5.1. LNG BRODOVI SA SFERNIM TANKOVIMA (KVAERNER – MOSS	

SYSTEM).....	18
5.2. MEMBRANSKI LNG BRODOVI (GTT TEHNOLOGIJA).....	19
5.3. NO.96 SYSTEM (GAZ TRANSPORT SYSTEM).....	20
5.4. MARK SYSTEM III. (TEHNYGAZ SYSTEM)	21
5.5. PRIMJERI LNG BRODOVA.....	22
5.5.1 Shinshu Maru	22
5.5.2. LNG Schneeweissen	23
5.5.3. Diamond Gas Orchid	25
5.6. ZEMLJE SA NAJVEĆIM IZVOZNI KAPACITETOM UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA U UPORABI U CIJELOM SVIJETU 2023.GODINE	26
6. POTRAŽNJA ZA PRIRODNIM PLINOM U EU	28
7. TERMINAL ZA UKAPLJENI PRIRODNI PLIN OMIŠALJ	30
7.1. KOPNENI DIO TERMINALA.....	30
7.2. FSRU BROAD.....	31
8. PROIZVODNJA I PRERADA PRIRODNOG PLINA U RH.....	33
8.1. TRANSPORT.....	34
9. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA	36

1. UVOD

Ukapljeni plinovi, odnosno ukapljeni naftni plin i ukapljeni prirodni plin glavni su elementi svjetske energetske infrastrukture. Uz to što su u velikoj ekološkoj prednosti i energetski su efikasni, njihova ekonomska isplativost u odnosu na fosilna goriva povećale su potražnju širom svijeta.

Ukapljeni naftni plin je mješavina ukapljenih ugljikovodika koji su nastali preradom nafte. Koristi se kao energent za kuhanje, vozila, te za industrijske primjene. Butani i propani koji su osnovne komponente ukapljenog prirodnog plina, pretvaraju se u tekuće stanje na niskoj temperaturi ili pod pritiskom. Ukapljeni naftni plin se najčešće koristi zbog svoje energetske efikasnosti i niske emisije štetnih tvari. Kratica u međunarodnom prometu za ukapljeni naftni plin je LPG.

Ukapljeni prirodni plin je prirodan plin koji se hladi na vrlo nisku temperaturu, oko -161°C, tako da pređe u tekuće stanje. Ovim procesom se smanjuje volumen približno 600 puta pa stoga omogućava veću ekonomičnost transporta i skladištenje. Ovaj plin ne uzrokuje koroziju, bez boje i mirisa je, te također netoksičan. Kratica za ukapljeni prirodni plin je LNG.

2. UKAPLJENI NAFTNI PLIN (LPG)

Ukapljeni naftni plin zapaljiva je smjesa ugljikovodika, prvenstveno propana 25% i butana 75%. Kada govorimo o naftnom plinu, dijelimo ga u dva stanja: plinovito i tekuće te u tri faze: plinovito, parno i tekuće. Govoreći o stanjima mislimo na agregatno stanje, a faze vežemo uz ponašanje plina u zatvorenom spremniku po nekim određenim uvjetima. Kako bi plin prešao iz jedne faze ili stanja u drugo, potrebno je dodati ili ukloniti tlak. Prema važećim hrvatskim normama, ukapljeni naftni plin obuhvaća sve plinske proizvode čiji tlak ne prelazi maksimalni tlak trgovačkog propana i čiji tlak para iznosi više od 1,2 bara po temperaturi od 40°C kada je u ravnoteži s tekućim stanjem.

2.1. POVIJEST

Prije početka 19. stoljeća plinovi nisu imali značajniju primjenu. Godine 1802. James Watt i njegov suradnik James Murdoch pustili su u pogon prvi sustav plinske rasvjete. Nakon toga plin je počeo dobivati na važnosti, prvo za grijanje kućanstva, a zatim i za gorivo u industriji.

Ukapljeni plin iz nafte prvi put je proizveden 1870. godine u Njemačkoj i korišten je za rasvjetu željeznice na liniji Berlin-Braslau. Ukapljeni naftni plin današnjih svojstava prvi je proizveo Herman Blau 1904. godine u Augsburgu.

Za pogon motornih vozila, naftni plin prvi put je korišten 1920. godine u SAD-u, gdje je započela njegova organizirana trgovina. Tijekom Drugog svjetskog rata upotreba ukapljenog naftnog plina kao zamjena za benzin u vozilima se povećala.

Nakon Drugog svjetskog rata, primjena i proizvodnja ukapljenog naftnog plina povećala se u širem dijelu Europe, uključujući Belgiju, Francusku, Njemačku, Italiju, Nizozemsku i Luksemburg. Prije rata u tim zemljama je izgrađen sustav distribucije plina u kućanstvima, ali tijekom rata je uništen.

U Hrvatskoj je ukapljeni naftni plin prisutan oko pola stoljeća, a proizvodi se u rafinerijama u Rijeci i Sisku, te u pogonu za preradu u Ivanić gradu.

2.2. PRIMJENA

Ukapljeni naftni plin se koristi kao energent u domaćinstvu (plinske boce, grijanje...), u transportu kao gorivo za vozila (autoplin), a kod motora stvaraju manje emisije CO₂ i drugih štetnih plinova te u industriji kao gorivo u industrijskim procesima (proizvodnja stakla, keramike, sirovina u proizvodnji petrokemikalija) te za slične namjene.

Procjenjuje se da u svijetu postoji više od 9 milijuna vozila koja koriste naftni plin za pogonsko gorivo. Godišnje se otprilike potroši oko 16 milijuna tona ovog goriva, što čini otprilike 8% ukupne potrošnje naftnog plina. Upotreba ukapljenog naftnog plina u automobilskom sektoru povećava se za 12-15% svake godine.

Ovaj plin se također primjenjuje u različitim varijantama, poput izo-butana, koji se koristi u bocama pod tlakom kao pogonsko sredstvo za istiskivanje sadržaja iz spremnika pod tlakom. Osim toga, koristi se kao zamjena za freone (CFC, HCFC, HFC 134a) u rashladnim sustavima kako bi se smanjio efekt staklenika, ali problem se javlja u mogućem zapaljenju.



Slika 1. Plinske boce u kojima se nalazi naftni plin

Izvor: <https://adria-direct.hr/proizvodi-plin/>

2.3. PROIZVODNJA

Prirodni plin i nafta predstavljaju osnovne sirovine za proizvodnju ukapljenog naftnog plina. Otprilike 60% ukupne proizvodnje dolazi iz postrojenja za preradu prirodnog plina bogatog ugljikovodicima s tri ili četiri atoma ugljika, dok preostalih 40% dolazi iz rafinerije za preradu nafte.

2.3.1. Proizvodnja iz nafte

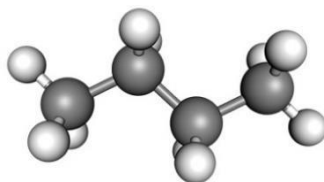
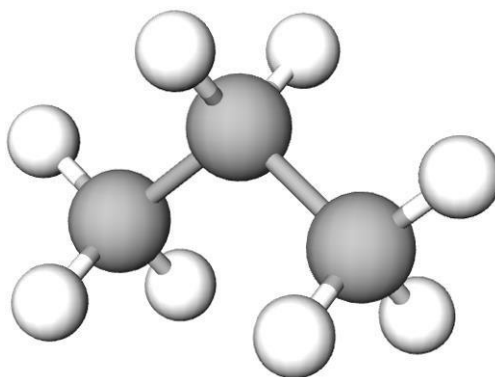
Ukapljeni naftni plin dobiva se iz nafte putem rafinerijske prerade. Dio ugljikovodika koji čine ukapljeni naftni plin odvaja se u postrojenjima za frakcijsku destilaciju, u kojima se primarno proizvodi laki benzin.

Međutim, takav plin nije prikladan za upotrebu jer sadrži veliku količinu sumpora, stoga se često dodatno prerađuje ili koristi kao gorivo unutar samog procesa prerade.

U nastavku prerade, kojima se odvaja većina sastojaka ukapljenog naftnog plina, uključuju krekiranje, hidriranje i preoblikovanje.

2.4. SVOJSTVA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Ukapljeni naftni plin je smjesa zasićenih nižih ugljikovodika propana i butana, koji su u normalnim uvjetima u plinovitom, a pri niskom pretlaku od samo 1,7 bara prelaze u tekuće stanje. Njihov volumen pritom se smanjuje za 270 puta. To je njegova glavna prednost, jer omogućuje lako i sigurno transportiranje i skladištenje u tekućem stanju, dok se koristi kao plin.



Slika 2. Model propana i butana

Izvor: <https://hr.izzi.digital/DOS/13046/13080.html>

U zatvorenom spremniku pri sobnoj temperaturi postoje dvije faze: parna i tekuća te su one u ravnoteži. Parna faza formira se apsorpcijom topline iz okoline. Dokle god je ravnoteža u spremniku nema promjena, odnosno nema dodatnog isparavanja tekuće faze niti kondenzacije parne faze. Promjene se mogu dogoditi jedino uslijed promjene tlaka ili temperature unutar

spremnika. Plinska faza nastaje iz parne faze daljnjim zagrijavanjem i ima različita svojstva od parne faze.

Ovaj plin se dobiva mješanjem trgovačkog i propana i butana u odgovarajućem omjeru, ovisno o načinu proizvodnje i zahtjevima kvalitete.

Trgovački propan sadrži najmanje 95% propana s manjim udjelom propena, dok ostale komponente čine etan, eten, butan i buten. Trgovački butan sastoji se od najmanje 95% butana i butena, dok ostalih 5% čine propan, propen, pentan i penten.

Osim ovih sastojaka ovaj plin sadrži neugljikovodičnih tvari kao što su voda, dušik, kisik, amonijak i sumpor.

2.5. MJERE SIGURNOSTI U UPORABI

Ovaj plin bezbojan je i nema miris, pa se u njega dodaju tvari koje daju miris pa se po tome ističe njegova prisutnost. Već na 20% koncentracije moguće je otkriti, a da pritom ne smiju imati utjecaj na korisna svojstva plina. Najčešće korištene tvari koje se dodaju su teofen od 77g/m³ i etilmerkaptan od 12 g/m³.

Također, ovaj plin nije topiv u vodi, lakši je te pluta po njenoj površini pa se po tome ne smatra štetnim za vodu.

Prevelika koncentracija u zraku može uzrokovati gušenje dok izravno udisanje daje učinak uspavljivanja.

Najveća dopuštena koncentracija butana i propana je oko 1000 ppm-a. U slučaju dodirivanja sa kožom, a plin je u tekućem stanju, može doći do ozbiljne ozljede kao što je zamrzavanje.

Što se tiče eksplozija, područje je nisko i usko koje idu od 2 do 10%. Stoga je važno prozračivanje prostorija gdje mogu biti instalacije te ih odgovarajućim znakovima označiti.

Miris ukapljenog prirodnog plina je oštar te kada se osjeti mora se prostorija prozračiti i nikako ne paliti ništa (npr. paljenje svjetala ili plamena).

Budući da je naftni plin teži od zraka i spušta se prema tlu, u prostorijama ispod razine tla nesmiju se držati boce ili spremnici.

2.6. TRANSPORT UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Ključan razlog velike prihvaćenosti je jednostavna logistika. Za komprimiranje naftnog plina na 300 puta manji volumen potrebni su niski tlakovi od 1,7 bara.

Prijevoz naftnog plina od proizvođača do distributera najčešće se vrši brodovima, željeznicom, kamionima i cjevovodima.

Brodovi za prijevoz ukapljenog naftnog plina spadaju u plovila izrazito velike opasnosti zbog prijevoza ukapljenih plinova. Prvi brodovi koji su izgrađeni nakon Drugog svjetskog rata bili su prekretnica transporta jer su se pokazali kao isplativi na velikim udaljenostima. Prvi transport obavio se pomoću boca pod tlakom koje su bile pričvršćene na palubi.



Slika 3: Prijevoz ukapljenog naftnog plina

Izvor: <https://pomorac.hr/2023/05/03/kinesko-brodogradiliste-isporucilo-najveci-vlga-na-svijetu/>

2.7. PREDNOSTI UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Ukapljeni naftni plin nudi brojne prednosti koje ga čine korisnim i praktičnim energentom:

1. Kombinacija sa ostalim brodovima: njegova mogućnost mješanja sa drugim gorivima pruža veliku fleksibilnost u upotrebi i prilagođava se različitim energetske potrebama.

2. Visoki stupanj iskorištenja energije: naftni plin može postići visoki stupanj iskorištenja energije, kod nekih čak i do 95%. To znači da se gotovo sva energija sadržana u plinu koristi učinkovito.

3. Svestranos u primjeni: Ovim energentom mogu se pokriti različite energetske potrebe objekata, uključujući kuhanje, sanitarnu vodu, grijanje... To ga čini praktičnim rješenjem za kućanstva i komercijalne objekte.

4. Jednostavno održavanje i sigurno rukovanje: Oprema koja se koristi lako se održava i sigurna su za rukovanje i to automatski smanjuje rizik od kvarova i nesreća.

5. Izravna upotreba energije: energija koju daje može se odmah upotrijebiti, što znači da nema gubitka energije tijekom prijenosa i pripreme. To osigurava maksimalnu učinkovitost i smanjuje troškove.

3. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN (LNG)

Ukapljeni prirodni plin je pročišćeni plin koji se u tekuće stanje pretvorio pothlađivanjem. Sastav prirodnog plina varira ovisno o nalazištu. Uglavnom se sastoji od metana, dok su etan, propan i butan prisutni u majim količinama. Osim ugljikovodika, prirodni plin sadrži i ne-ugljikovodične plinove poput ugljičnog dioksida, vodika, helija, dušika... LNG je međunarodna kratica za ukapljeni zemni plin.

Prirodni plin se rashlađuje na približno -161°C koja se pretvara u tekućinu bez mirisa, okusa i boje. On zauzima 1/600 volumena prirodnog plina u plinovitom stanju.

3.1. POVIJEST

Procesi ukapljivanja plinova potječu još iz 19. stoljeća kada je Michael Faraday provodio eksperimente ukapljivanja raznih vrsta plinova, uključujući i prirodni plin.

Jedna od prvih primjena tehnologije razvijanja plinskih smjesa bila je obrada plina dobivenog iz koksa. Ukapljivanjem te smjese može se izdvojiti vodik visoke čistoće, koji se kasnije koristi za dobivanje smjese N_2+3H_2 te je ona ključna za dobivanje amonijaka.

Na početku 20. stoljeća ukapljivanje se koristilo za proizvodnju helija. Iako su se osnovni principi ukapljivanja prirodnog plina malo promijenili od tada, moderna tehnologija znatno je olakšala i poboljšala proces. U posljednjih stotinu godina postao je neizostavan dio svakodnevnog života, a predviđa se da će u narednih četrdesetak godina postati dominantno gorivo.

3.2. PRIMJENA

Ukapljeni prirodni plin je jedno od najčešćih fosilnih goriva trenutno dostupnih, s minimalnim sadržajem sumora i čađe. Njegova široka primjena obuhvaća proizvodnju električne energije, industriju, gorivo za cestovni, željeznički i pomorski transport. U industriji, ukapljeni prirodni plin se koristi u prehrambenom, kemijskom, tekstilnom i keramičkom sektoru. Poseban potencijal leži u transportnom sektoru, gdje može značajno smanjiti emisije stakleničkih

plinova. Iako su vozila na ukapljeni prirodni plin skuplja od onih na naftna goriva, njegove ekološke prednosti čine ga sve privlačnijim izborom za budućnost.

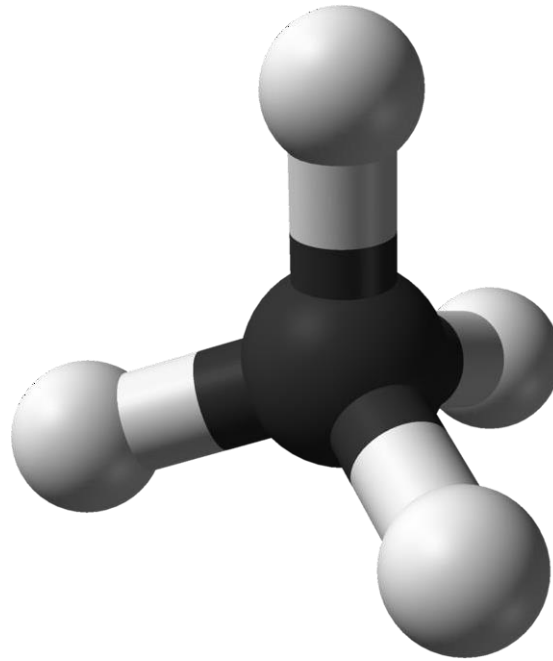
Trenutne emisije iz pomorskog transporta čine značajan dio ukupnih svjetskih emisija. Prema izvješću Budanka iz 2018. emisije sumporovih okisa uzrokovane plovidbom čine čak 60% globalnih emisija SOX-a, dok emisije dušikovih oksida tijekom plovidbe čine 15% globalnih emisija NOX-a. Kako bismo postigli zadane ciljeve, važno je zamjeniti konvencionalna goriva alternativnim opcijama. Ukapljeni prirodni plin se ističe kao jedno od obećavajućih goriva za zamjenu konvencionalnih brodskih goriva. Uz minimalne emisije sumporovih spojeva i čađe, korištenje UPP-a može značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova u pomorskom sektoru.

3.3. PROIZVODNJA

Prirodni plin koji se dostavlja u LNG postrojenja podvrgava se procesu obrade kako bi se uklonile nečistoće poput vode, sumporovodika, ugljičnog dioksida i drugih tvari koje se smrzavaju niskim temperaturama potrebnim za skladištenje. Uobičajeno, prirodni plin sadrži više od 90% metana, uz male količine etana, propana, butana, nekih težih alkana i dušika. Proces pročišćavanja može se oblikovati tako da rezultira gotovo čistim metanom. Jedan od rizika povezanih s prirodnim plinom je RTP, koja može nastati kada hladni prirodni plin dođe u dodir s vodom.

3.4 SVOJSTVA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Prirodni plin je kompleksna mješavina plinova, uključujući zasićene ugljikovodike poput metana, etana, propana, butana i pentana, kao i nezasićene ugljikovodike te plinove koji ne sadrže ugljik, poput dušika, ugljičnog dioksida, sumporovodika, helija i vodene pare. Ova raznolikost sustava čini prirodni plin zanimljivim za različite primjene. Zbog prisutnosti različitih plinova, moguće su formacije dvostrukih veza između atoma ugljika. Pri određenim temperaturama i tlakovima, prirodni plin se pojavljuje kao jednofazni sustav, no može se naći i kao dvofazni sustav, u kojem su prisutne i plinovita i tekuća faza.



Slika 4: Model metana

Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Metan>

3.5. POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

Postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina obično su smještena uz morsku obalu i mogu se prostirati na nekoliko četvornih kilometara. Ova postrojenja uključuju nekoliko ključnih dijelova: pogone za pripremu i ukapljivanje plina, skladišta ukapljenog prirodnog plina s pumpnim stranicama, terminale za ukrcaj plina na brodove te infrastrukturu za opće potrebe.

Postrojenje za opće potrebe sadrže pogone za generiranje električne energije, proizvodnju dušika i pare, kao i radionice te sustave za sigurnost i protupožarnu zaštitu. Unutar postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina, infrastruktura može biti organizirana na dva načina: modularni i centralizirani raspored.



Slika 5: Postrojenje za pročišćavanje i ukapljivanje prirodnog plina

Izvor: <https://ba.airseparatorunits.com/air-separation-unit-or-air-separation-plant/natural-gas-purifying-liquefying-plant.html>

3.6. UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

Pri ukapljivanju i skladištenju prirodnog plina pri atmosferskom tlaku, neophodno je sniziti temperaturu plina na -161°C . Ova temperatura varira ovisno o stvarnom sastavu plina. Tijekom hlađenja i ukapljivanja, odvaja se teži ugljikovodici poput butana, etana i propana. Također, udio dušika u plinu može se smanjiti kako bi se povećala ogrijevna vrijednost i smajio prijenos nepotrebne mase.

Trenutno postoje tri načina za ukapljivanje plinova:

1. Ukapljivanje plinova Joule-Thomsonovim prigušnim učinkom
2. Kaskadnim ciklusima
3. Claudeovim načinom

Različite metode ukapljivanja mogu se koristiti zajedno ili odvojeno. Ključni faktori za izbor metode su operativni i investicijski troškovi, koji određuju isplativost procesa. Potrebno je poznavati količinu rada potrebnu za ukapljivanje prirodnog plina, jer je važno ukloniti toplinu na temperaturama nižim od okoline i potom je predati okolini na višoj temperaturi. Kaskadna metoda najekonomičnija je metoda ukapljivanja, te se najčešće koristi u postrojenjima.

3.7. SKLADIŠTENJE

Skladištenje prirodnog plina zahtijeva posebne mjere za proizvodnju i održavanje spremnika. Ovi spremnici su izrađeni od materijala koji su otporni na vrlo niske temperature i povišene tlakove. Skladišta se nalaze izvan zgrada u kojima se boravi, bilo na otvorenom, pod natkrivenim prostorima ili u posebnim objektima. Pušenje i približavanje otvorenom plamenu strogo je zabranjeno.



Slika 6: Spremnik za skladištenje ukapljenog prirodnog plina

Izvor: <http://ba.cncdtank.com/cryogenic-tank/cryogenic-liquid-storage-tank/10m3-stationary-lng-pressure-vessel-liquefied.html>

3.8. PREDNOSTI UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Ukapljeni prirodni plin nudi jako puno prednosti u vezi proizvodnje i transporta, neki od tih su:

1. Smanjuje zagađenje zraka – u odnosu na druga fosilna goriva poput ugljena i nafte, prirodni plin stvara manje štetnih emisija. Korištenje prirodnog plina može doprinijeti smanjenju zagađenja zraka i poboljšanju kvalitete zraka kojeg udišemo.
2. Niži troškovi – prirodni plin često je povoljniji od drugih izvora energije, poput električne energije. Dugoročno, to može rezultirati manjim računima za energiju i značajnim uštedama.

3. Nova radna mjesta – industrija prirodnog plina stvara radna mjesta za mnoge ljude, od bušenja i ekstrakcije, do distribucije i transporta. Također, primjena prirodnog plina u proizvodnji i drugim industrijama može dodatno povećati zapošljavanje.

4. Povećana energetska sigurnost – prirodni plin je široko dostupan u mnogim djelovima svijeta, što može pomoći smanjiti ovisnost o inozemnoj nafti i osigurati stabilniju i sigurniju opskrbu energijom.

4. INERTIRANJE TANKOVA

Inertni plinovi su plinovi koji ne podržavaju proces gorenja. Primjeri takvih plinova uključuju ugljikov dioksid i dušik, koji su često korišteni zbog svojih svojstava. Na brodovima, inertni plinovi imaju ključnu ulogu u zaštiti od požara i eksplozija unutar tankova koji sadrže tekući teret. Ovi plinovi stvaraju sigurnosni sloj unutar tankova, smanjujući koncentraciju kisika i time minimalizira rizik za zapaljenje. Inertni plim definira se kao lin koji sadrži manje od 5% kisika, što je dovoljno niska koncentracija da spriječi proces gorenja.



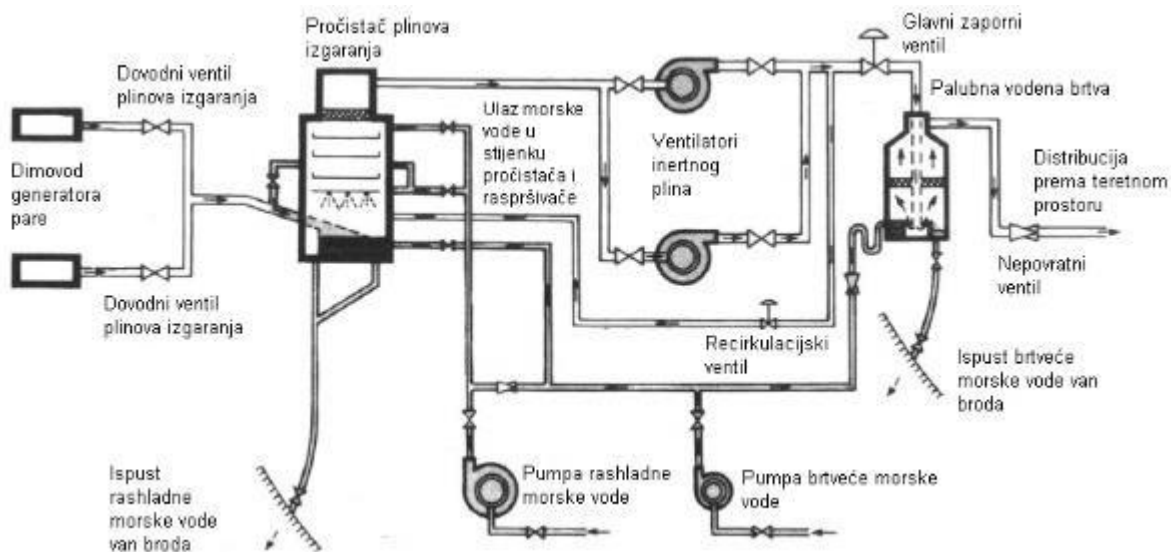
Slika 7. Eksplozija na brodu

Izvor: <https://www.scribd.com/doc/315478285/Sustav-inertnog-plina>

Inertiranje tankova predstavlja ključni proces koji se redovito provodi tijekom iskrcaja tereta na brodovima. Ovaj postupak osigurava sigurnost tereta i smanjuje rizik od zapaljenja. Kako bi se osigurala odgovarajuća razina zaštite, sustav inertnog plina mora biti u stanju proizvoditi najmanje 125 % volumena plina u odnosu na brzinu iskrcaja tereta. U slučaju bilo kakvih problema, poput previsoke koncentracije kisika ili nedovoljnog volumena iskrcavanja tereta, sustav mora odmah zaustaviti dok se problem ne riješi.

Obično se inertiranje tankova ne obavlja tijekom plovidbe jer su tankovi hermetički zatvoreni, a iznad površine tereta održava se blagi nadtlak inertnog plina. Međutim, ako tankovi

nisu dobro zabrtvljeni, inertiranje je nužno provoditi i za vrijeme plovidbe kako bi se osigurala sigurnost. Tijekom ukrcaja tereta, višak plina se izbacuje kroz ventile na palubi, koje služe za izjednačavanje tlaka.



Slika 8: Postrojenje za proizvodju inertnog plina

Izvor: <https://repozitorij.pfst.unist.hr/islandora/object/pfst%3A995/datastream/PDF/view>

5. VRSTE LNG BRODOVA

LNG brodovi, specijalizirana su plovila dizajnirana za prijevoz ukapljenog prirodnog plina. Ovi brodovi ključni su dio globalne industrije jer omogućuje siguran i učinkovit transport plina, smanjenog volumena, čime se olakšava prijevoz između proizvođača i potrošača diljem svijeta.

Ovi tankeri su opremljeni posebnim kriogenim spremnicima koji održavaju plin na temperaturi od -161°C . Spremnici su izrađeni od visokoizdržljivih materijala kako bi mogli izdržati niske temperature. Većina ovih brodova koristi sustav iznad atmosferskog tlaka i dizajnirani su da minimaliziraju isparavanje plina tijekom plovidbe.

Ovakva vrsta brodova obično ima kapacitet od 125.000 do 266.000 kubičnih metara plina, a zbog njihove veličine i složenosti, održavanje zahtjeva posebno znanje i visok stupanj sigurnosti.

Tijekom povijesti prijevoza, bilo je mnogo eksperimenata i inovacija u vezi s metodama prijevoza i dizajnom ovih brodova. U posljednjih petnaestak godina, dvije osnovne vrste koje dominiraju su: brodovi sa sfernim tankovima i membranski brodovi.

5.1. LNG BRODOVI SA SFERNIM TANKOVIMA (KVAERNER – MOSS SYSTEM)

Prvi brod sa sfernim tankovima bio je “Norman Lady” koji je porinut u more u Norveškoj 1973. godine. Prije početka ekonomske eksploatacije, ovaj brod je morao proći razne testove, studije i analize. Prvi brodovi koristili su tankove od 9% nikičelika, ali vrlo brzo zamjenjeni su aluminijskim tankovima. Aluminiij je povećao otpornost na pucanje te je lakše oblikovanje u sferu. Ključna karakteristika ovakvih tankova je ekvatorijalni prsten na kojem je tank naslonjen. Ovaj dio strukture broda mora biti sposoban prihvatiti naprezanje broskog trupa a s jedne strane i termička te mehanička opterećenja sa druge strane. Ovi tankovi imaju izolaciju koja je najčešće u više slojeva materijala, kao što su aluminijska folija, staklena vuna i različite vrste pjene. Prostor u kojem se nalazi tank smatra se barijerom i obično je ispunjen zrakom.

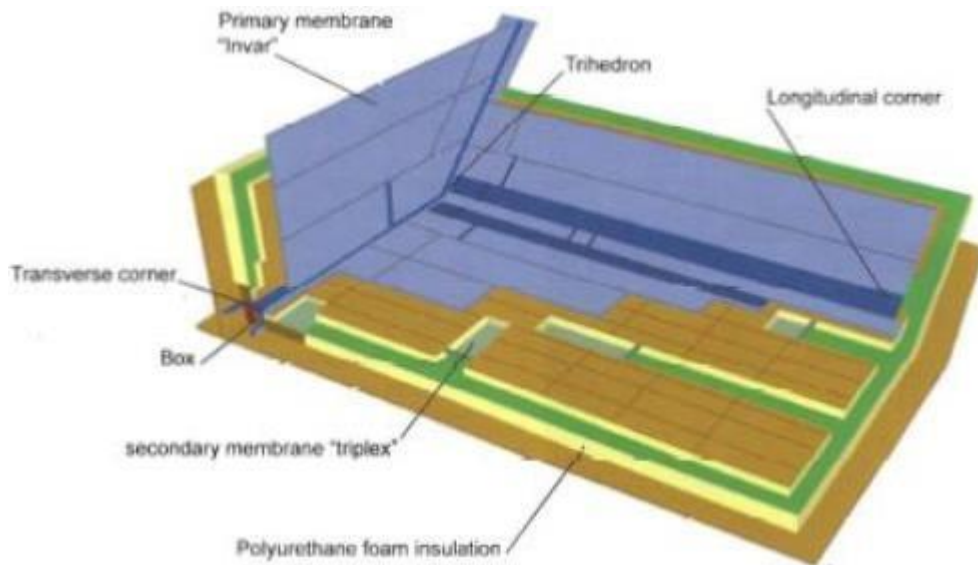


Slika 9: „Norman Lady“

Izvor: <https://www.vesselfinder.com/ship-photos/570062>

5.2. MEMBRANSKI LNG BRODOVI (GTT TEHNOLOGIJA)

Ova tehnologija obuhvaća dva tipa membranskih brodova, a nakon spajanja Gaz Transporta i Technigaz-a, predstavljen je i treći tip membranskog broda. GTT tehnologija obuhvaća dva tipa, a to su: Mark III. i No.96 sustav. Treći tip, koji kombinira značajke oba prethodna, naziva se CSI (Combinate system one). Brodovi sa membranom su se razvili 60-ih godina prošlog stoljeća i oba tipa koriste tank sa fleksibilnom membranom, koja su u kontaktu sa širim teretom. Sustav je dizajniran poput sendviča odnosno teret djeluje na membranu, koja je zaštićena izolacijskim materijalom, dok cijeli sustav naslonjen na unutarnjoj oplati broda.



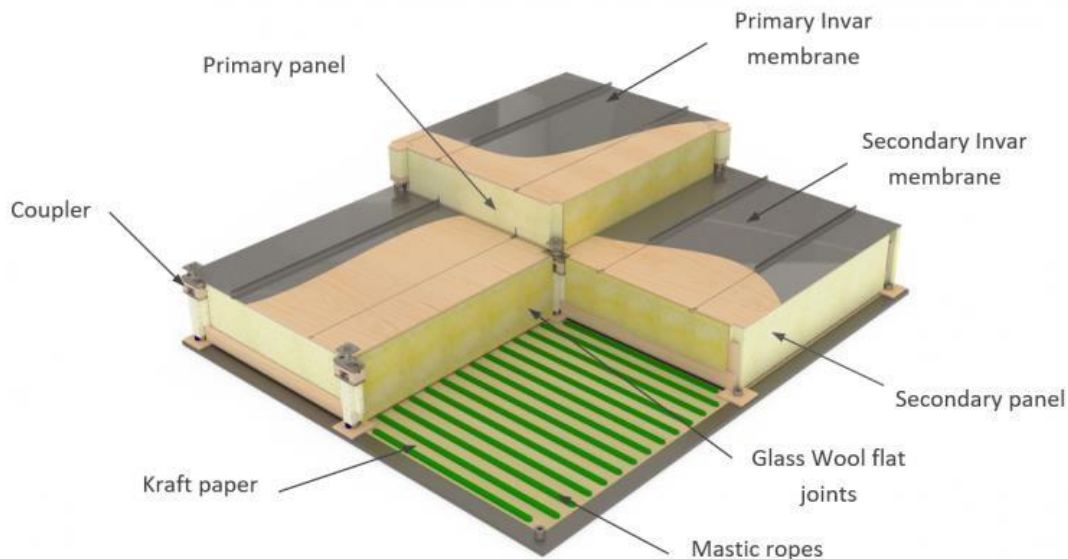
Slika 10: Konstrukcija izolacije sustava CS1

Izvor: <https://shop.witherbys.com/lng-shipping-knowledge-3rd-edition/>

5.3. NO.96 SYSTEM (GAZ TRANSPORT SYSTEM)

Primarna i sekundarna membrana u ovom sustavu identične su i izrađene od invara, s debljinom od svega 0,7 milimetara. Invar je materijal koji sadrži 36% nikla, dok ostatak čini željezo, a njihova ključna osobina je izuzetno nizak koeficijent toplinskog širenja. Kao izolacijski materijal, ovaj sustav koristi kutije od šperploče ispunjene perlitom.

Pertil je materijal dobiven obradom vulkanskih stijena, poznat po svojim izvrsnim izolacijskim svojstvima koja ostaju stabilna tijekom vremena. Sustav se sastoji od primarne membrane koja leži na prvom sloju izolacije, zatim sekundarne opne koja se oslanja na drugi sloj izolacije, dok se konačni sloj izolacije naslanja na unutarnju oplatu broda. Ukupna debljina sustava iznosi 0,5 metara.



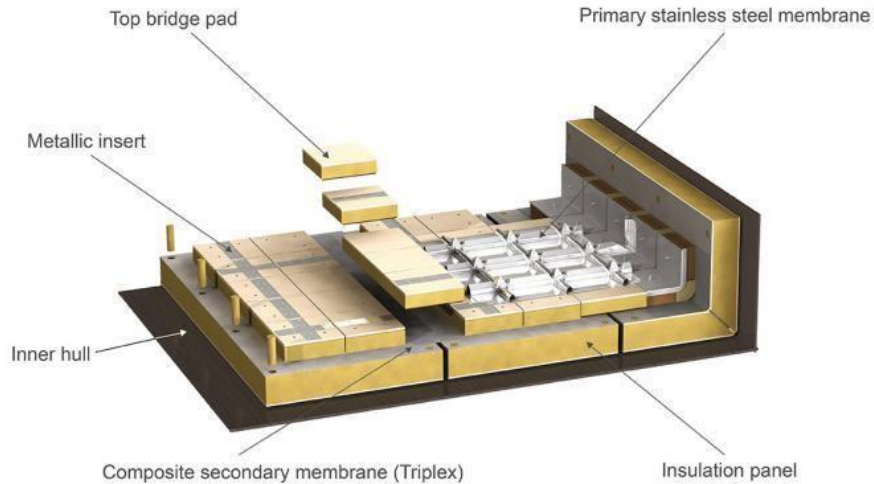
Slika 11: Konstrukcija NO.96 system

Izvor: <https://gtt.fr/technologies/no96-super-0>

5.4. MARK SYSTEM III. (TEHNYGAZ SYSTEM)

Primarna opna u ovom sustavu izrađena su od niskotemperaturnog nehrđajućeg čelika debljine 1,2 milimetra. Budući da čelik ima značajan koeficijent toplinskog širenja, ova su opna profilirana, a njihovi spojevi omogućuju pomicanje u dva smjera pod blagim opterećenjem. Kao izolacijski materijal na ovim brodovima koristi se poliuretanska pjena ojačana staklenim vlaknima. Sekundarna barijera je jednostavnija i jeftinija, izrađena od triplexa- vrste plastične mase koja propušta paru, ali istovremeno zadržava tekućinu. Ukupna debljina sustava varira ovisno o namjeni za koju je brod osmišljen.

Kod oba membranska sustava zajamčeni „boil-off“ iznosi 0,15%, iako je stvarna vrijednost često manja. Do prije dvadeset godina membranski brodovi bili su manje zastupljeni, no zbog njihove veće prilagodljivost i promjene u trgovini LNG-om na spot tržištu, posljednjih godina premašili su broj sfernih brodova. Najviše se proizvode u Južnoj Koreji, ali je Kina u posljednje tri godine izradila tri membranska LNG broda.



Slika 12: Kondrukcija Mark system III.

Izvor: <https://gtt.fr/technologies/markiii-systems>

5.5. PRIMJERI LNG BRODOVA

LNG brodovi koriste napredne sustave za skladištenje i upravljanje plinom, a kroz godine su se razvile različite tehnologije koje optimiziraju njihovu funkcionalnost. U nastavku ćemo detaljnije razmotriti neke brodove za ukapljeni prirodni plin, njihove karakterističnosti i specifičnosti te tehnološke inovacije koje omogućuju siguran i ekonomičan transport ukapljenog prirodnog plina.

5.5.1 Shinshu Maru

Ovaj tanker bio je drugi u seriji LNG tankera sa kapacitetom od 177.000 kubičnih metara. Njegova bruto tonaža iznosi 138.951 tona. Tanker je dug 399,9 metara te opremljen sa četiri odvojena moss tanka koji mu omogućuje veći kapacitet nego kod normalnih standardnih tankera. Pokreće ga dizelski motor te plovi pod zastavom Bahama.



Slika 13: Shinshu Maru tanker

Izvor: https://www.google.com/search?scas_esv=6eac42e19cef7bdf&scas_upv=1&q=Shinshu+Maru&udm=2&fbs=AEQNm0

5.5.2. LNG Schneeweissen

Ovaj tanker koji ima nosivost od 97.000 dwt, izgrađen je 2018. godine sa dužinom od 297,9 metara te širine od 47,9 metara. Postiže maksimalnu brzinu od 22,4 čvora, te ima bruto tonažu od 111.000. Jedna od najvažnijih posebnosti ovog broda je što ima dvotaktni motor, koji može koristiti prirodni plin, brodsko plinsko ulje i teško gorivo. Također, brod je opremljen sustavom za hlađenje metana.



Slika 14. LNG Schneeweissen

Izvor: <https://www.vesselfinder.com/de/ship-photos/820901>

5.5.3. Diamond Gas Orchid

Ovaj brod plovi pod zastavom Bahama te je dug 297 metara i širok 49 metara. Ovo je prvi brod za prijevoz LNG-a tipa Sayaringo-Stage. Njegov oblik tanka smanjuje otpor zraka pa se stoga povećava brzina, te ima povećan kapacitet spremnika.

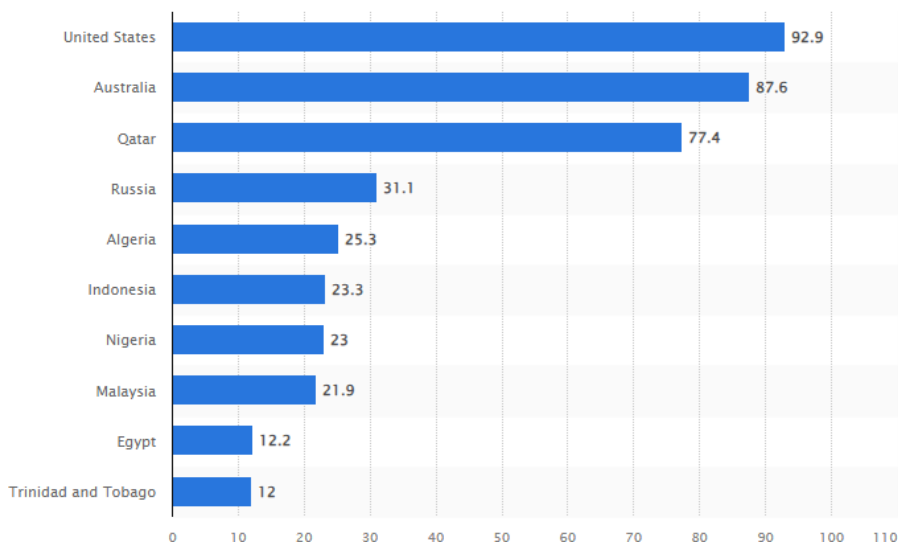


Slika 15: Diamond gas orchid

Izvor: https://www.nyk.com/english/news/2018/20180418_02.html

5.6. ZEMLJE SA NAJVEĆIM IZVOZNI KAPACITETOM UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA U UPORABI U CIJELOM SVIJETU 2023.GODINE

Tijekom prošle godine, Europa je postala glavno odredište za američki ukapljeni prirodni plin zbog smanjenja kupnje prirodnog plina iz Rusije. Američki prirodni plin pružio je alternativu mnogim europskim zemljama koje su se usprotivile kupnji plina iz Rusije i uvele embargo u njegov uvoz.



Slika 16: Grafički prikaz zemalja sa najvećim izvozom LNG-a

Izvor: <https://www.statista.com/statistics/1262074/global-lng-export-capacity-by-country/>

Sjedinjene Američke Države imaju najveći izvozni kapacitet LNG-a od bilo koje zemlje u svijetu. U listopadu 2023. američki terminali za izvoz ukapljenog prirodnog plina imali su ukupni kapacitet od 92,9 milijuna metričkih tona godišnje. Godine 2022. Sjedinjene Države bile su treća najveća zemlja izvoznica LNG-a, iza Kine i Australije. Međutim, očekuje se da će povećanje isporuka u Europi dovesti do toga da SAD zauzme prvo mjesto za prethodnu godinu.

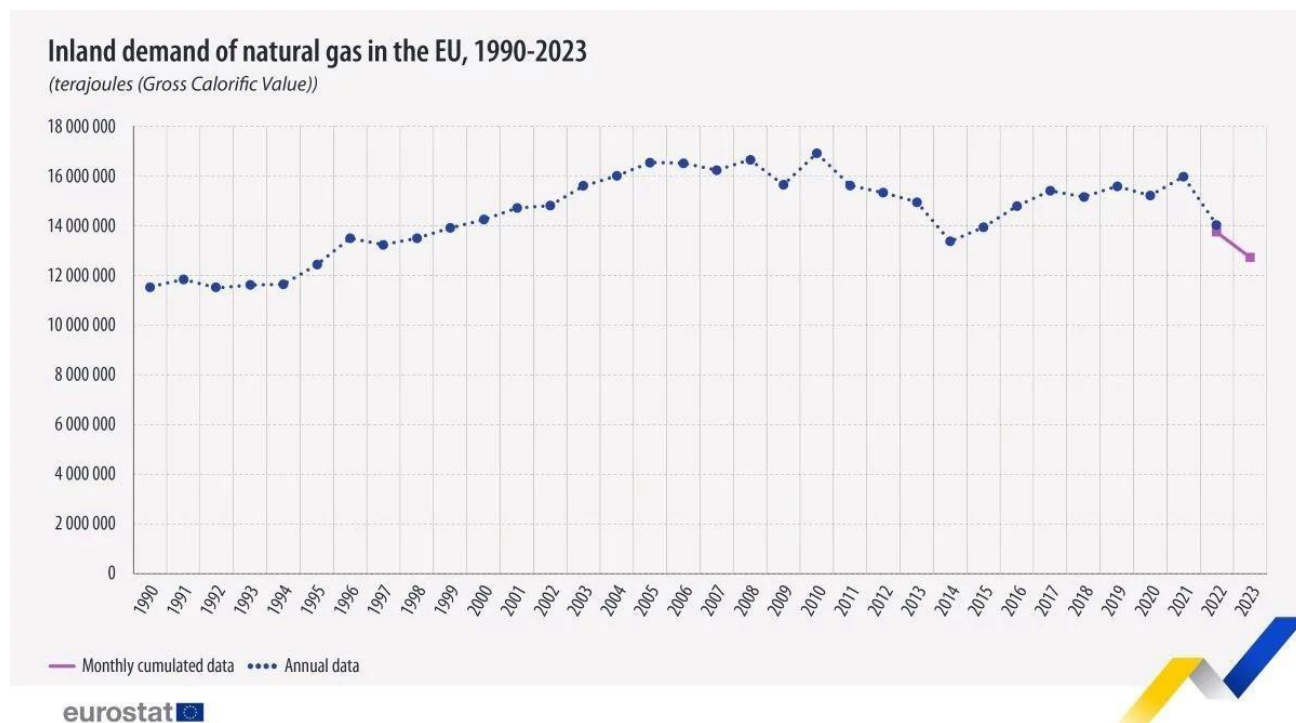
Od 1970. godine globalna trgovina LNG-om povećala se za više od 500 milijardi kubičnih metara. Zemlje istočne Azije, poput Japana i Kine, povijesno su bile među glavnim zemljama uvoznicama ukapljenog prirodnog plina.

Trend LNG-a:

Hlađenjem prirodnog plina na -161°C stupanj, volumen se smanjuje, što jamči takši transport i skladištenje. Neke industrijske grupe promovirale su LNG kao iskorak u ciljevima dekarbonizacije jer prirodni plin ima niži udio ugljika nego ostala fosilna goriva. Trgovanje ukapljenim prirodnim plinom morskim putem omogućuje isporuku plina u zemlje bez cjevovodne infrastrukture i na taj način diverzificira energetska tržišta. Očekuje se da će Sjedinjene Američke Države u budućnosti izgraditi više od 300 milijuna metričkih tona godišnje izvornog kapaciteta LNG-a.

6. POTRAŽNJA ZA PRIRODNIM PLINOM U EU

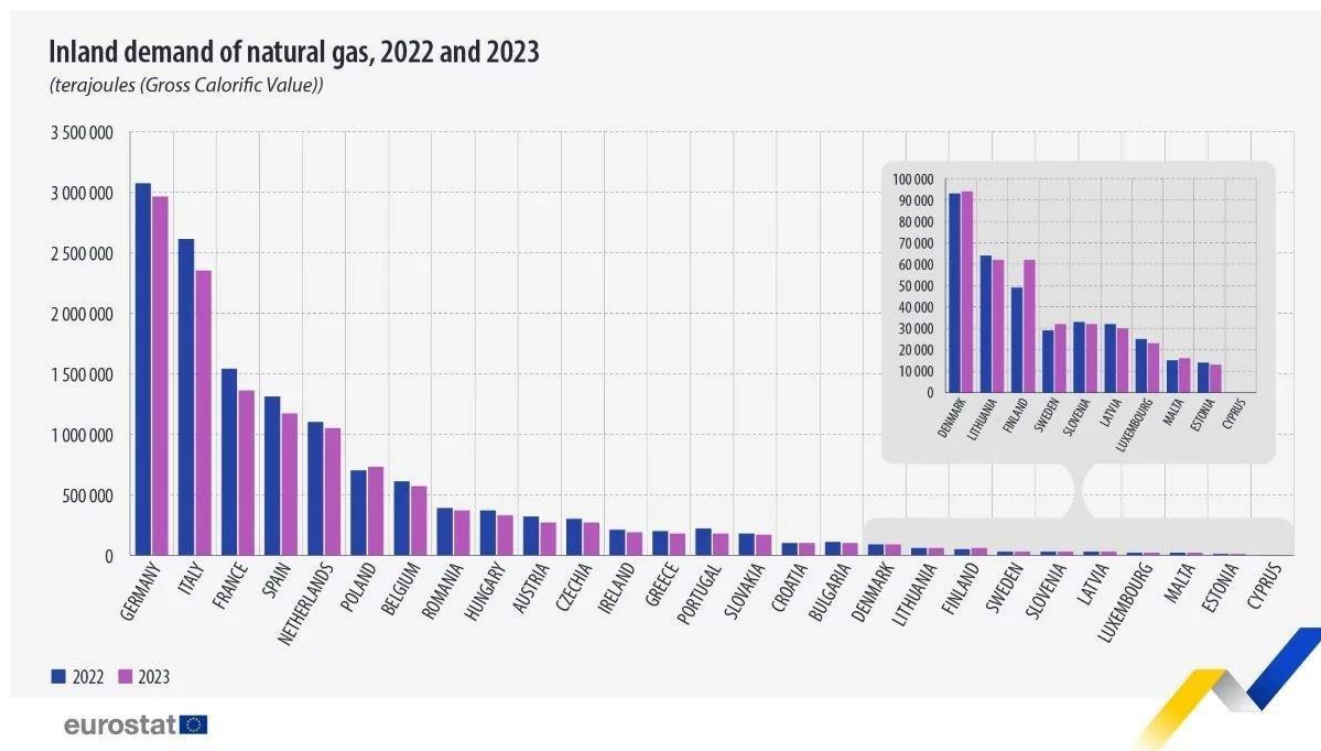
Prirodni plin odnosno njegova potražnja u Europskoj uniji već dvije godine se smanjuje. Nakon zabilježenog godišnjeg pada u 2022. godini od 13,3%, potražnja je smanjena za još 7,4% u 2023. godini, dosegnuvši ukupno 12,72 milijuna teradžula. To znači da su najveći potrošači prirodnog plina u EU smanjili svoju potrošnju tijekom 2023. godine.



Slika 17: Grafički prikaz potražnje za prirodnim plinom

Izvor: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240528-1>

Tijekom 2023. godine najveći potrošači prirodnog plina u EU smanjili su svoju potrošnju. Italija je zabilježila potrošnju od 2,35 milijuna teradžula, što predstavlja pad od 10%. Njemačka je zabilježila potrošnju od 2,96 milijuna teradžula, što je smanjenje od 3,8% u odnosu na 2022. godinu, dok je Francuska smanjila potrošnju na 1,36 milijuna teradžula, što znači smanjenje od 11,7%.



Slika 18: Grafički prikaz potražnje za prirodnim plinom od 1990 – 2023.godine

Izvor: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240528-1>

Pomatrajući ovih 27 zemalja zaključujemo da je u njih 21 zabilježeno smanjenje potražnje. Povećanje je najviše zabilježeno u Hrvatskoj (0,8%), Malti (4,5%), Danskoj (1,1%), Finskoj (25,6%), Švedskoj (11,1%)...

7. TERMINAL ZA UKAPLJENI PRIRODNI PLIN OMIŠALJ

Plutajući terminal za ukapljeni prirodni plin smješten je u Omišlju na otoku Krku. Ovaj terminal ima ključnu stratešku ulogu u unapređenju europskog energetskog sektora te veću i sigurniju opskrbu plinom, pogotovo zemlje Europe koje traže nove, i sigurne opskrbne rute. Terminal se nalazi na popisu projekata od zajedničkog interesa Europske unije nepovratna financijska sredstva u iznosu od 101,4 milijuna eura. Terminal ima kapacitet od 2,9 milijardi kubičnih metara plina godišnje.

Terminal za ukapljeni prirodni plin se sastoji od dva dijela:

1. Kopneni dio terminala
2. FSRU brod

7.1. KOPNENI DIO TERMINALA

Ovaj dio terminala obuhvaća pristan, stanicu za čišćenje plinovoda, brzo-otpuštajuće kuke, pristupni most, protupožarni sustav, privezne utvrdice za vezivanje FSRU broda i plovila za prijevoz ukapljenog prirodnog plina, zgradu za upravljanje te mnoge dijelove.

Na pristanu se nalazi FSRU brod, koji je privezan s visokotlačnim pretakačkim rukama za unos prirodnog plina u priključni plinovod. Pristan je također dizajniran za prihvat broda za prijevoz ukapljenog prirodnog plina, koji se bočno privezuje uz FSRU brod za pretovar plina. Glava pristana smještena na betonskim pilotima, sadrži visokotlačne pretakačke ruke povezane s priključenim plinovodom. Plin se zatim kroz priključni plinovod transportira do plinskog čvora Omišalj, gdje je spojen na plinski transportni sustav Republike Hrvatske.



Slika 19. Kopneni dio terminala u Omišlju

Izvor: <https://lng.hr/terminal/>

7.2. FSRU BROAD

FSRU brod služi za skladištenje, ukrcaj, iskrcaj i uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina. Brod je opremljen s četiri spremnika za ukapljeni prirodni plin s ukupnim kapacitetom od 140.206 m^3 , te tri jedinice za uplinjavanje s maksimalnim kapacitetom od $451.840 \text{ m}^3 / \text{h}$ te elektranom za proizvodnju električne energije koja opskrbljuje terminal. Proces uplinjavanja odvija se kroz izmjenu topline između morske vode, glikola i ukapljenog prirodnog plina; morska voda prenosi toplinu na glikol, koji zatim zagrijava prirodni plin, pretvarajući ga iz tekućeg u plinovito stanje. Plin se potom visokotlačnim pretakačkim rukama isporučuje u plinski transportni sustav Republike Hrvatske. Svi procesi na brodu nadziru se iz centralne upravljačke sobe, dok su autonomni sigurnosni sustav aktivni u slučaju požara ili curenja plina.



Slika 20. FSRU brod

Izvor: <https://lng.hr/terminal/>

8. PROIZVODNJA I PRERADA PRIRODNOG PLINA U RH

Prirodni plin se proizvodi na 17 polja u Panonskoj regiji i na 11 polja unutar 3 eksploatacijska područja na Jadranu, čime je u 2022. godini zadovoljeno 29,6% domaće potražnje za prirodnim plinom. No, kada se računa samo plin iz jadranskih polja koji pripada Hrvatskoj, domaći plin pokriva 29,4% ukupnih potreba. Većina proizvodnje prirodnog plina povezana je s ležištima u Dubokoj Podravini i Međimurju.



Slika 21: Plinska polja Molve

Izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/374216>

8.1. TRANSPORT

Prijenos prirodnog plina predstavlja kontroliranu energetska djelatnost koja se pruža kao javna usluga, a ključna je aktivnost tvrtke PLINACRO d.o.o. koje je ujedno i vlasnik i upravitelj plinskog prijenosnog sustava.



Slika 22: Plinski transportni sustav PLINACRO

Izvor: <https://www.plinacro.hr/>

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmotrena su ključna obilježja i tehnološki aspekti ukapljenog prirodnog plina (LNG) i ukapljenog naftnog plina (LPG), kao i njihove glavne razlike.

Ukapljeni prirodni plin (LNG) predstavlja plinoviti metan koji je hlađenjem na vrlo niske temperature pretvoren u tekuće stanje radi lakšeg transporta i skladištenja. Njegove prednosti uključuju visoku energetske gustoću i manju emisiju CO₂ u usporedbi s drugim fosilnim gorivima. Tehnologija transporta LNG-a razvijena je kroz različite sustave, uključujući sferne i membranske tankove, koji omogućuju sigurni prijevoz i pohranu ovog energenta.

S druge strane, ukapljeni naftni plin (LPG), koji se sastoji uglavnom od propana i butana, koristi se za širok raspon primjena od kućanstava do industrije. Njegove prednosti uključuju veću fleksibilnost u primjeni i jednostavnost u skladištenju, s obzirom na to da se može skladištiti u plastičnim ili čeličnim posudama pod visokim tlakom.

Glavne razlike između LNG-a i LPG-a leže u njihovim kemijskim sastavima i uvjetima skladištenja. Dok LNG zahtijeva ekstremno niske temperature za ukapljavanje, LPG se može skladištiti pod relativno niskim tlakom pri sobnoj temperaturi. Također, LNG ima veći energetske sadržaj po jedinici volumena, dok je LPG lakši za rukovanje i transport zbog svojih fizikalnih karakteristika.

Zaključno, razumijevanje karakteristika i razlika između LNG-a i LPG-a ključno je za učinkovito upravljanje energetske resursima i planiranje buduće infrastrukture. S obzirom na promjenjive globalne energetske trendove, poput rasta u potražnji za čistim gorivima, pravilno upravljanje i integracija LNG-a i LPG-a u energetske sektor Hrvatske predstavljaju važan korak prema održivoj energetskej budućnosti.

LITERATURA

<https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240528-1>

<https://www.enciklopedija.hr/clanak/ukapljivanje-plinova>

<https://www.statista.com/statistics/1262074/global-lng-export-capacity-by-country/>

<https://www.pomorskodobro.com/vrste-lng-brodova/>

<https://www.scribd.com/doc/315478285/Sustav-inertnog-plina>

<https://webgradnja.hr/clanci/ukapljeni-naftni-plin-unp-i-njegove-karakteristike/217>

<https://lng.hr/terminal/>