

LNG terminali u EU

Kramar, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:340685>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Matea Kramar

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Matea Kramar

LNG terminali u EU

Mentor: prof. dr. sc. Igor Sutlović

Članovi ispitnog povjerenstva: 1. prof. dr. sc. Igor Sutlović

2. prof. dr. sc. Veljko Filipan

3. prof. dr. sc. Juraj Šipušić

Zagreb, rujan 2021.

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za termodinamiku, strojarstvo i energetiku Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu.

SAŽETAK

Prirodni plin ostaje najbrže rastući izvor energije u većini regija svijeta, pa tako i u Europi, već više od dva desetljeća, zbog niskih emisija stakleničkih plinova, kao i visoke učinkovitosti u proizvodnji energije. LNG je prirodni plin ohlađen na temperaturu od -162 stupnja celzijusa i time pretvoren u kapljevinu koja zauzima znatno manji volumen od plina, što čini LNG pogodnim za transport na velike udaljenosti. Lanac opskrbe LNG-om je već dobro razrađen sustav, koji je iznimno siguran.

Danas se putem LNG infrastrukture uvodi konkurencija na tržište koje je prethodno ovisilo o jednom dobavnom pravcu, plinovodu. LNG terminali u EU čine novu mrežu uvoza prirodnog plina preko koje se poboljšala sigurnost opskrbe energijom mnogih europskih zemalja potrošača.

Novootvoreni LNG terminal na otoku Krku strateški je važan projekt Europske unije i Republike Hrvatske koji u kombinaciji s LNG terminalima u Litvi i Poljskoj čini novu točku na koridoru za prirodni plin sjever-jug, te na taj način jača diversifikaciju ponude i konkurenciju na tržištu plina u Srednjoj i Istočnoj Europi.

Ključne riječi : prirodni plin, LNG terminali, sigurnost opskrbe energijom

ABSTRACT

Natural gas remains the fastest growing source of energy in most regions of the world, including Europe, for more than two decades, due to low greenhouse gas emissions as well as high efficiency in energy production. LNG is a natural gas cooled to a temperature of -162 degrees Celsius and thus converted into a droplet that occupies a much smaller volume than gas, making LNG suitable for long-distance transportation. The LNG supply chain is already a well-developed system and is extremely safe.

Today, through LNG infrastructure, competition is introduced to a market that previously depended on only one supply route, the gas pipeline. LNG terminals in the EU form a new network of imported natural gas, through which the security of energy supply of many European consumer countries has improved.

The newly opened LNG terminal on the island of Krk is a strategically important project of the European Union and the Republic of Croatia, which in combination with LNG terminals in Lithuania and Poland forms a new point on the north-south natural gas corridor, thus strengthening the diversification of supply and competition in the gas market in Central and Eastern Europe.

Key words : natural gas, LNG terminals, security of energy supply

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Ukapljeni prirodni plin	2
2.1.1. Sastav i svojstva UPP-a.....	2
2.1.2. Ukapljivanje	3
2.2. Lanac opskrbe LNG-a	4
2.2.1. Brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina.....	4
2.2.2. Terminali za prekrcaj ukapljenog prirodnog plina	7
2.2.3. Sigurnost LNG tankera.....	9
2.3. LNG terminali u EU	11
2.4. LNG terminal Krk-Omišalj	17
2.4.1. FSRU brod.....	18
2.4.2. Kopneni dio terminala	18
2.4.3. Glavne tehničke karakteristike terminala	19
2.4.4. Transportni sustav RH.....	19
3. ZAKLJUČAK	21
LITERATURA	22

1.UVOD

Svjetska populacija raste i razvija se, stoga je globalna potražnja za energentima sve veća, a plin će imati značajniju ulogu u ispunjavanju spomenute potražnje. Prirodni plin je mješavina ugljikovodika, pretežito metana, nastaje u zemljinoj kori i spada u fosilna goriva. Izvori prirodnog plina su često na teško dostupnim mjestima zbog čega je transport plinovodima skup i nepraktičan. Kao rješenje, ukapljujemo prirodni plin hlađenjem čime se volumen plina smanjuje za lakšu, ekonomičniju i sigurniju transportaciju brodom[1].

Liquefied natural gas (LNG) je prirodni plin ohlađen na -162°C , temperatura pri kojoj prelazi u tekuće agregatno stanje. Ukapljeni prirodni plin je bezbojna, prozirna i neotrovn kapljevina čiji je volumen 600 puta manji nego kad se nalazi u plinovitom stanju[2]. Kad ukapljeni prirodni plin stigne na odredište, prebacuje se iz LNG spremnika u LNG terminale gdje se skladišti u kapljevitom obliku dok se procesom uplinjavanja ne ugrije do plinovitog agregatnog stanja i injektira u transportni plinovod. Na mnogim terminalima se LNG može pretovariti na manje brodove ili kamione te na taj način dopremiti na teže dostupna mjesta[3].

Velika prilagodljivost zaliha UPP-a pretvara ga u idealnog partnera za rast, razvoj i integraciju obnovljivih izvora energije. Nalazišta prirodnog plina diljem svijeta su lako dostupna europskom tržištu i ne ovise o samo jednom izvoru upravo zbog UPP-a. Globalno postoji sve veća potreba za diverzifikacijom opskrbe energijom zbog politike, ekonomije i ograničenim rezervama prirodnog plina[3].

2. OPĆI DIO

2.1. Ukapljeni prirodni plin

2.1.1. Sastav i svojstva UPP-a

Ukapljeni prirodni plin (LNG) je tekući oblik prirodnog plina. LNG je prirodni plin, baš kao i plin proizveden i isporučen cjevovodima na energetska tržišta diljem svijeta. Zove se ukapljeni prirodni plin jer je tekućina. Kad se prirodni plin ohladi na atmosferskom tlaku na vrlo niske temperature (oko $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$), kondenzira se u tekućinu. Kritična temperatura i tlak prirodnog plina su oko $-82\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 46 bara, ovisno o točnom sastavu plina[4].

Prirodni plin sastoji se prvenstveno od metana (najmanje 90%), ali može sadržavati i neke teže ugljikovodike poput etana, propana ili butana i obično manje od 1% dušika. Prije ukapljivanja prirodni plin se kondicionira zbog uklanjanja kisika, ugljičnog dioksida, spojeva sumpora, te drugih nečistoća u tragovima (poput žive) i vode. Uklanjanje ovih nečistoća olakšava rukovanje LNG -om jer se na taj način minimizira korozija ili oštećenja materijala koji se koriste za njegovo skladištenje. LNG je kriogena tekućina bez mirisa, boje i nekorozivna pri normalnom atmosferskom tlaku. Kada LNG ispari i koristi se kao gorivo, on stvara vrlo niske emisije čestica, odnosno značajno niže emisije ugljika od ostalih ugljikovodičnih goriva. Produkti izgaranja iz LNG-a sadrže nisku razinu dušikovih oksida i gotovo ne sadrže okside sumpora, što čini LNG čistim izvorom energije. LNG je netoksičan. Međutim, kao i kod svih plinovitih materijala, otpuštanje prirodnog plina iz LNG -a može uzrokovati gušenje zbog nedostatka kisika u neprozračenom, zatvorenom prostoru, te se može zapaliti ako se pomiješa s odgovarajućim koncentracijama zraka. Gustoća LNG -a obično pada između 430 kg/m^3 i 470 kg/m^3 , što je manje od polovice gustoće vode. LNG, ako se prolije po vodi, pluta na vrhu i brzo isparava jer je mnogo lakši od vode, a točka vrenja iznosi $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obično je potrebno oko 600 m^3 prirodnog plina za dobivanje 1 m^3 LNG -a, pri čemu 1 tona LNG -a drži energetski ekvivalent od oko 50.000 kubičnih stopa prirodnog plina. Točne pretvorbe ovise o sastavu prirodnog plina. Veliko smanjenje volumena iz plinovitog u tekuće stanje čini LNG mnogo lakšim i ekonomičnijim za transport na velike udaljenosti i skladištenje u velikim količinama[4].

LNG se koristi više od 50 godina, osobito u Aziji, Europi i Sjedinjenim Američkim Državama. Poboljšana tehnologija sada čini ekonomičnijom proizvodnju, transport i skladištenje LNG -a u velikim količinama. LNG koji se napaja plinom s velikih plinskih polja udaljenih od tržišta plina postao je sve privlačnija alternativa nafti ili plinovodu (prirodni plin koji se iz zemlje porijekla transportira cjevovodima). Prirodni plin kao "čist" izvor energije postaje gorivo izbora ili prednosti u mnogim regijama ako se značajne količine mogu pouzdano i po konkurentnim cijenama donijeti na tržište omogućujući mu da se natječe s ugljenom, naftom i naftnim proizvodima za proizvodnju energije te industrijska i komercijalna goriva[4].

2.1.2.Ukapljivanje

Postupak ukapljivanja prirodnog plina ključna je komponenta u LNG postrojenjima u smislu cijene, složenosti i operativne važnosti. Dobro razumijevanje operativnih zahtjeva i učinkovitosti sustava za ukapljivanje prirodnog plina bitno je za konačni uspjeh postrojenja. Tehnologije ukapljivanja temelje se na ciklusima hlađenja, koji uzimaju topli, prethodno obrađeni plin, te ga hlade i kondenziraju na kriogene temperature u tekući proizvod. Rashladno sredstvo može biti dio dovoda prirodnog plina (postupak s otvorenim ciklusom) ili zasebna tekućina koja se kontinuirano recirkulira kroz ukapljivač ili izmjenjivač topline (postupak zatvorenog ciklusa). Da bi se postigle iznimno hladne ili kriogene temperature potrebne za proizvodnju LNG -a, potrebno je uložiti energiju odnosno rad u ciklusima hlađenja kroz rashladne kompresore, a toplinu iz hladnjaka za zrak ili vodu odbaciti [4].

2.2. Lanac opskrbe UPP-om

Lanac opskrbe LNG-om uključuje sve objekte i opremu uključene u uzimanje prirodnog plina iz podzemnog rezervoara, njegovo ukapljivanje i transport krajnjem korisniku prirodnog plina. Taj je lanac opskrbe obično dug u smislu udaljenosti i skup u smislu kapitalnih troškova opreme i postrojenja [4].

Komponente lanca opskrbe obično uključuju:

- Infrastrukturu za eksploataciju plina na nalazištima
- Plinovodi za dovod plina do postrojenja za preradu i kondicioniranje
- Veliko rashladno postrojenje koje uključuje izmjenjivače topline za ukapljivanje plina
- Postrojenja za skladištenje LNG-a i utovar u luku: sve mora biti održavano na niskim temperaturama
- LNG brodski tankeri
- LNG prihvatni terminal uključujući luke za istovar, skladištenje LNG-a, regasifikaciju i kompresiju otpreme plina
- Priključak na mrežu za prijenos i distribuciju prirodnog plina za isporuku plina kupcima
- U nekim slučajevima distribucija LNG-a kamionom do malih, udaljeni korisnici plina izvan mreže [4].

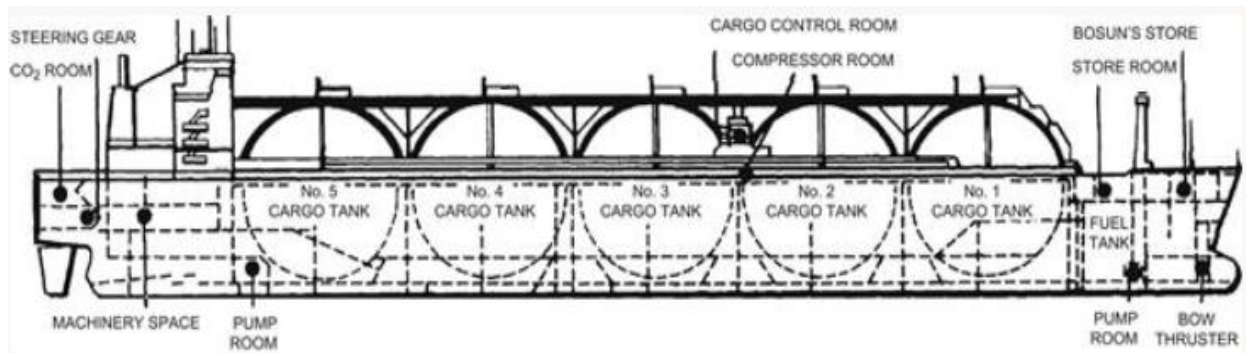
Lanac opskrbe LNG-om se obično koristi kada je prijenos plina putem cjevovoda preskup zbog velikih udaljenosti ili tehničkih/političkih poteškoća pri izgradnji plinovoda ili da se omogući isporuka plina na više geografskih lokacija na tržištu. Lanci opskrbe LNG -om mnogo su fleksibilniji od plinovoda jer su sposobni opsluživati različita tržišta u različito vrijeme [4].

2.2.1. Brodovi za prijevoz ukapljenog plina

Nakon Drugog svjetskog rata pojavio se prvi brod za prijevoz ukapljenog plina. S razvojem tehnologije i mnogim poboljšanjima, danas postoje specijalizirane jedinice čije tržište, način rada i sigurnosne mjere ovise o specifičnim transportnim zahtjevima. Međunarodna trgovina ukapljenim plinom započela je 1964. godine, kada su dva broda kapaciteta 27.000 [m³] prevezla prirodni plin iz Alžira na otok Canvey u Ujedinjenom

Kraljevstvu. Od tada je brodski prijevoz ukapljenog plina brzo rastao, pa danas postoji više od 500 brodova čiji je posao nositi i prevoziti ukapljeni prirodni plin [5,6].

LNG se transportira specijaliziranim brodovima, transporterima LNG-a, s izoliranim spremnicima s dvostrukim trupom, koji su dizajnirani za držanje tereta malo iznad atmosferskog tlaka pri kriogenoj temperaturi od približno -169°C . Dizajn spremnika osigurava stabilnost i pruža izolaciju za skladištenje LNG -a. Nosači LNG-a su veliki dvokrilni brodovi, duljine nekoliko stotina metara, koji putuju prosječnom brzinom od 17 do 20 čvorova (18 čvorova je 33 km/h). Za punjenje LNG tankera kapaciteta 120.000 m³ potrebno je oko 10 sati. Za veća plovila potrebna je utovarna infrastruktura većeg kapaciteta kako bi se omogućio brzi utovar tereta. LNG brodovi variraju u veličini od manje od 30.000 m³ do nekih 265.000 m³ nosivosti, ali većina modernih plovila ima kapacitet između 125.000 m³ i 140.000 m³ (58.000 do 65.000 tona). Industrijski standard prije nekoliko desetljeća postao je LNG brod od 125.000 m³, koji je obično imao pet teretnih tenkova, svaki kapaciteta oko 25.000 m³ (slika 1) [4].



Slika 1. unutrašnji profil LNG tankera

Novi veći LNG brodovi nazvani Q-Flex (kapaciteta oko 216.000 m³) i Q-Max (kapaciteta do približno 265.000 m³) izgrađeni su i pušteni za rad u sklopu velikog dobavnog pravca iz Katar 2008.godine. Ovi LNG nosači pokreću se sporijim dizelskim motorima, koji su učinkovitiji, lakši za održavanje i upravljanje te ekološki prihvatljiviji od tradicionalnih pogona s parnim turbinama. Iako su plovila Q-Flex i Q-Max iznad kapaciteta nekih luka, gotovo polovica postojećih svjetskih LNG terminala može ili bi s izmjenama mogla primiti te brodove [4].

Temeljna razlika između tankera LNG -a i drugih tankera je sustav skladištenja i rukovanja teretom. Postoje dvije osnovne vrste konstrukcijskih LNG spremnika:

- nezavisni spremnici (eng.: self-supporting)
- membranski spremnici (eng.: membrane type)

Samostojeći ili neovisni spremnici su samostalni, obično sferičnog oblika (razvijen od strane Moss Maritime of Norway) ili prizmatičnog oblika (dizajniran od Conch International Methane Ltd), a izrađeni su od legure aluminija ili 9% niklova čelika sa slojevima izolacije izvana. Nezavisni tenkovi potpuno su samonosivi i ne čine dio strukture trupa broda. Membranski spremnici su potpuno integrirani u strukturu broda s dvostrukim trupom. Spremnici s membranom sadrže tanki sloj metala (primarna barijera), izolaciju, sekundarnu membransku barijeru i daljnju izolaciju u sendvič konstrukciji. Membrana je konstruirana na takav način da se kompenzira toplinsko i drugo širenje ili skupljanje bez nepotrebnog naprezanja membrane [4].



Slika 2. vizualna usporedba LNG tankera sa nezavisnim (lijevo) i membranskim (desno) spremnicima

2.2.2. Terminali za prekrcaj ukapljenog prirodnog plina

Terminal za regasifikaciju LNG -a je mjesto gdje se LNG isporučuje krajnjim korisnicima, koji se obično sastoji od pristaništa za istovar LNG -a i postrojenja za skladištenje i slanje LNG -a, zajedno s grijanjem radi ponovnog pretvaranja LNG -a u prirodni plin. Postupak regasifikacije je proces zagrijavanja koji se obično koristi izvorima topline na sobnoj temperaturi. Većina terminala koristi morsku vodu za zagrijavanje, a na nekim se terminalima koristi i vanjski zrak. U regijama s hladnom klimom, gorivo je potrebno za nadopunu grijanja tijekom zimskih mjeseci. LNG terminali obično iskrcavaju LNG pošiljku za 10 do 12 sati, kako bi se smanjilo vrijeme pristajanja brodova i smanjili operativni troškovi broda [4].

Unaprijed dogovoreni termini dolaska LNG-a i otpreme regasificiranog plina moraju se poštivati zbog održavanja optimalnog rada postrojenja. Ravnoteža više izvora opskrbe i skladišnog kapaciteta LNG-a koja odgovara varijacijama u potrošnji bitna je za smanjenje nedostatka zaliha do kojeg bi moglo doći zbog vremenskih neprilika ili problema s rasporedom tankera. Tipično, regasificirani LNG se šalje korisnicima po rasporedu koji je određen ugovorom o zakupnini. Shodno tome, LNG se može skladištiti na pomorskom uvoznom terminalu samo nekoliko dana i, ovisno o uvjetima pojedinačnih ugovora i doba godine, rijetko se zadržava dulje od nekoliko mjeseci, osim ako se drži kao rezerva za hitne slučaje nedostatka prirodnog plina. Uvozni terminali za LNG opremljeni su spremnicima za skladištenje koji mogu primiti najmanje jedan tanker LNG -a, a većina suvremenih objekata obično ima kapacitet od najmanje dva tanker -tereta. Premda skladišni spremnici na pomorskom terminalu za LNG često funkcioniraju kao skladišta za LNG, glavni rad uvoznog terminala nije za skladištenje plina, već zaprimanje uvoznog LNG-a, a zatim za ponovnu gasifikaciju LNG-a za otpremu cjevovodima do kupaca [4].

Uobičajeni terminal ima četiri funkcije:

- Ukrcaj tankera za LNG i istovar ili pretovar tereta,
- Skladištenje LNG-a u kriogenim spremnicima (-162 ° C),
- Uplinjavanje LNG -a,
- Ispuštanje ovog plina u prijenosnu mrežu [7].

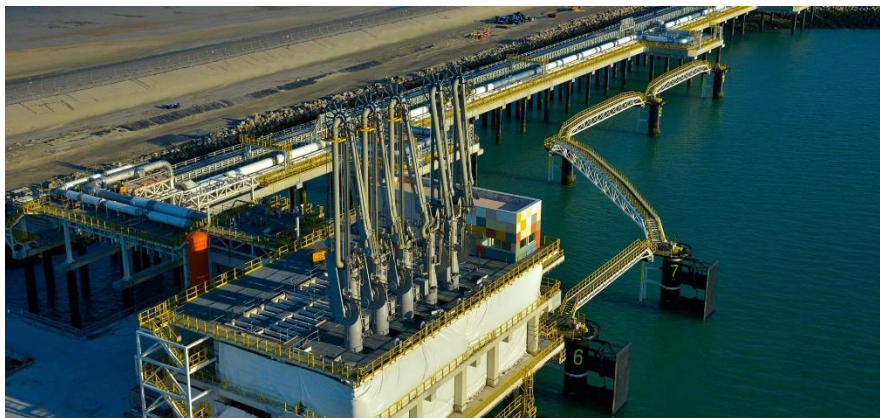
Pri dolasku na terminal, tankeri za LNG privezani su na vez za istovar. Pretakačke ruke povezane su s nosačem LNG -a radi istovara tereta i prijenosa LNG -a u spremnike terminala. LNG teče kroz cijevi posebno projektirane da izdrže vrlo niske temperature i ova procedura traje najmanje 12 sati. LNG se skladišti u posebno dizajniranim kriogenim spremnicima koji su

sposobni izdržati temperature do -162°C za održavanje plina u tekućem obliku. Vanjski zidovi spremnika izrađeni su od armiranog betona i izolirani su kako bi isparivanje sveli na minimum. Unatoč visokokvalitetnoj izolaciji, mala količina topline i dalje prodire u spremnike za LNG /što uzrokuje blago isparavanje proizvoda. Gubitak isparavanjem obično se prikuplja pri izlasku iz spremnika i ponovno se ukapljuje, šalje na plinsku liniju koja se povezuje s distribucijskom mrežom plina, ili se koristi kao gorivo na pristaništu ili za pogon broda -nositelja LNG -a .LNG se zatim izvlači iz spremnika, tlači i ponovno regasificira pomoću izmjenjivača topline. Svaki spremnik opremljen je potopljenim pumpama koje prenose LNG na visokotlačne pumpe. LNG se pri tlaku, oko 80 puta većim od atmosferskog, u isparivačima ponovno vraća u plinovito stanje [7].

Trenutno postoje dvije vrste LNG terminala kopneni (onshore) i na moru (offshore). Kopneni terminal je tradicionalan i zahtijeva kupnju mjesta za izgradnju trajne građevine. Postoje dva osnovna tipa LNG terminala smještenih na moru:

- GBS - Gravity Base Structure gdje se radi o opremi koja je u odgovarajućem betonskom kućištu velikih dimenzija položena na morsko dno i
- FSRU – Floating Storage and Regasification Unit gdje se radi o LNG tankeru prilagođenom za tu svrhu [8].

FSRU je noviji izum i postaje sve popularniji jer ne zahtijeva zemljište, a vrijeme do početka komercijalnog poslovanja je sve kraće. Jedna od prednosti FSRU -a je ta što se može premjestiti u druge luke kada nije potreban u izvornom portu. Međutim, kako FSRU nije namijenjen za trajnu uporabu, njegovo vrijeme trajanja smatra se da je kraće od trajanja LNG terminala na kopnu, zato njegova cijena na godišnjoj razini ispadne skuplja [9].



Slika 3. kopneni LNG terminal



Slika 4. LNG terminal na moru; FSRU

2.2.3. Sigurnost LNG tankera

Industrija ukapljenog prirodnog plina je vrlo sigurna. To je dobrim dijelom posljedica kombinacije industrijske prakse i propisa koji se primjenjuju kako bi se spriječilo pojavljivanje incidenata te kako bi se smanjili ili ublažili utjecaji incidenata ako se oni pojave. Desetljećima se industrija LNG -a odvija sigurno i bez problema diljem svijeta, uključujući i u područjima gdje je terorizam zabrinjavajući. Opasnosti pri rukovanju LNG -om i prirodnim plinom postoje i važno ih je ne podcjenjivati. LNG je čisto gorivo i kao takvo se smatra ekološki povoljnim u odnosu na druga goriva. Glavne opasnosti pri rukovanju LNG -om su požar i eksplozija, opekotine od kriogenog smrzavanja, krhkost metala i plastike te opasnosti od zatvorenih prostora [4].

Zbog strogih standarda industrijske sigurnosti koji se primjenjuju u cijelom svijetu, do 2012. bilo je oko 50.000 putovanja nosača LNG -a, bez značajnih nesreća ili sigurnosnih problema bilo u luci ili na otvorenom moru. Dvije velike nesreće utjecale su na industriju LNG -a:

- skladište za Cleveland LNG, SAD, 1944 .
- tvornica za ukapljivanje Skikda, Alžiru, 2004 [4].

Cleveland LNG objekt je radio bez incidenata do 1944. godine, dok nije dodan veći novi tenk. Budući da je količina legura nehrđajućeg čelika bila mala zbog nestašica nastalih u Drugom svjetskom ratu, novi spremnik izrađen je od legiranog čelika s niskim udjelom nikla (3,5%). Ubrzo nakon ulaska u upotrebu, 20. listopada 1944., tenk je zakazao. LNG se izlio u

kanalizacijski sustav gdje je isparivajući plin na kraju naišao na izvor paljenja i zapalio se. U požaru je poginulo 128 ljudi. Do nesreće je došlo jer je unutarnji spremnik izrađen od 3,5% nikal čelika, materijala za kojeg je sada poznato da je osjetljiv na lom pri temperaturi skladištenja LNG-a ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nesreća bi se izbjegla da je novi tank bio izrađen od odgovarajućih materijala. Danas su LNG spremnici izrađeni od 9%nikal čelika i nikada se nije dogodio lom tijekom desetljeća naknadnih operacija, zato je jasno da se takva nesreća ne bi trebala ponoviti [4].

o19. siječnja 2004. curenje u sustavu rashladnog sredstva ugljikovodika u jednoj od jedinica za ukapljivanje prirodnog plina u Skikdi u Alžiru je izazvalo eksploziju i požar. Uništen je dio pogona za LNG te je uzrokovano 27 smrtnih slučajeva, a još 72 ljudi je ozlijeđeno. Nitko izvan tvornice nije ozlijeđen niti su spremnici LNG -a oštećeni eksplozijama ugljikovodika. Loše održavanje, zastarjeli dizajn i loše opće stanje te jedinice sugeriraju da se takav incident ne bi trebao ponoviti u suvremenom pogonu za ukapljivanje. Ipak, incident naglašava potrebu za opsežnim rasporedima održavanja i odgovarajućim sustavima za otkrivanje opasnosti u postrojenjima za LNG [4].

Ukapljeni prirodni plin nije zapaljiv i samim time nije eksplozivan, stoga možemo reći da je to izazito siguran način dobave energije. To potvrđuje broj nezgoda koje su se odvile (izlijevanje LNG-a, brojna oštećenja uslijed vremenskih neprilika, sudari na moru), a još se nije dogodila eksplozija spremnika. Zanimljiva činjenica da je raketa, za vrijeme osmogodišnjeg Iračko Iranskog rata, pogodila LNG tanker u kojem je raketa eksplodirala a tank ostao netaknut [9].

2.3. LNG terminali u EU

Europa je velik uvoznik plina, koji ulazi u jedan na dva načina: bilo kao prirodni plin koji se transportira putem cjevovoda ili kao ukapljeni prirodni plin koji se regasificira na uvoznom LNG terminalu. Svi europski LNG terminali uvozni su objekti, s izuzetkom (izvan EU) Norveške i Rusije koji izvoze LNG. Trenutno postoji 29 uvoznih terminala velikih razmjera (uključujući i zemlje izvan EU-a, Turska). Postoji i 7 malih LNG objekata u Europi (u Finskoj, Švedskoj, Norveškoj i Gibraltar). Od 29 velikih terminala za uvoz LNG-a, 25 su u zemljama EU (stoga podliježu EU propisima) i 4 su u Turskoj. 23 su kopneni uvozni terminali, a 5 su plutajuća skladišta i jedinice za regasifikaciju (FSRU) i jedan uvozni objekt na Malti koji obuhvaća Floating Storage Unit (FSU) i postrojenje za regasifikaciju na kopnu [10].

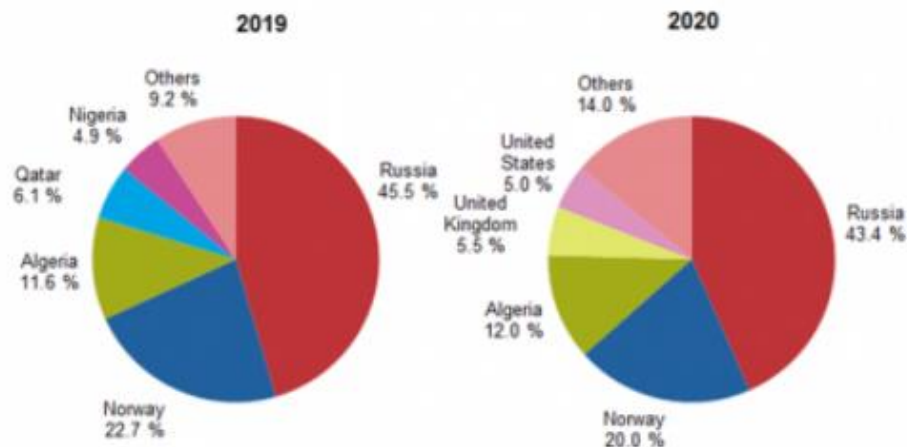
Svi postojeći europski terminali za uvoz LNG -a razvili su se kao tradicionalni uvozni terminali gdje se LNG ponovno gasificira i šalje u sustav plinovoda. Kao rezultat velike količine dobave i niske marže, mnogi europski uvozni LNG terminali nastoje stvoriti nove izvore zarade putem uvođenja novih usluga uz postojeći uvoz LNG -a objektima, što povećava fleksibilnost LNG -a. Ove nove usluge će premjestiti LNG na druga tržišta, a uključuje:

- pretovar broda - prijenos LNG -a s terminala u plovilo (uključujući manje brodove)
- utovar kamiona - utovar LNG -a u spremnik kamiona koji prevoze LNG u manjim količinama
- 'bunkering' - utovar LNG -a u spremnike brodova koji rade na LNG pogon
- utovar LNG -a na vagone - transport LNG-a preko željezničkih pruga, ova usluga se jos ne nudi u Europi ali veliki broj europskih terminala razmatra ovu opciju [10].

Europska komisija (izvršno tijelo EU -a) vidi uvoz LNG -a kao ključan faktor za postizanje cilja diverzifikacije izvora opskrbe energijom svojih članica, te je započela razvijanje strategija kako bi se osiguralo da sve države članice EU -a imaju pristup LNG -u. Komisija također potiče korištenje LNG -a kao pomorskog goriva zbog njegove veće ekološki prihvatljive prirode. Europska komisija, pomoću sredstava iz EU fondova, podržala je trenutno dva najveća projekta izgradnje LNG infrastrukture za dvije države članice EU, Cipar i Hrvatska. Cipar, koji će doživjeti uvođenje prirodnog plina kroz projekt CyprusGas2EU, te je dobio 101 milijun eura. Hrvatska koja je primila 101,4 milijuna eura za izgradnju FSRU terminala kod otoka Krka[10].

Ukapljeni prirodni plin transportira se LNG nosačima u Europsku uniju i Ujedinjeno Kraljevstvo. Manje od 25% prirodnog plina koji se koristi u EU dolazi iz domaće proizvodnje. Velika većina se uvozi, uglavnom iz Katara (28%), Rusije (20%), Sjedinjenih Država (16%) i Nigerije (12%). 14 država članica EU -a uvezlo je ukupno 108 milijardi kubnih metara LNG -a u 2019. godini, a najveći udjeli idu u Španjolsku (20%), Francusku (20%), Veliku Britaniju (17%) i Italiju (13%) [11]. Rusija je najveći opskrbljivač prirodnog plina u EU -u. U 2019. i 2020. godini (slika 5.) jedini drugi partner koji čini značajan udio u ukupnom uvozu EU -a je Norveška, a u određenoj mjeri i Alžir. Što se tiče obujma trgovine, globalni udio svih ostalih zemalja koje su izvozile prirodni plin u EU 2019. bio je 20,2%, a 2020. godine 24,6%. Kao što je prikazano na slici 6., relativna važnost Rusije za industriju prirodnog plina u državama članicama EU varira. Istočnoeuropske zemlje se više oslanjaju na ruski prirodni plin i imaju manje alternativa. [12]

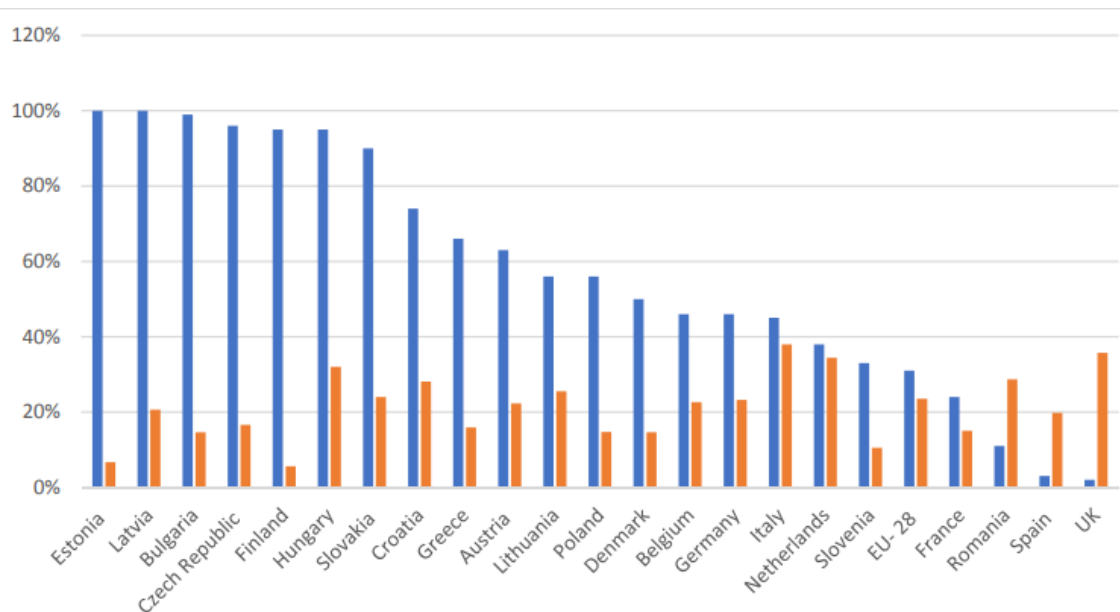
Extra-EU imports of natural gas by partner, 2019 and 2020
(share (%) of trade in value)



Source: Eurostat database (Comext) and Eurostat estimates

eurostat

Slika 5. Prikaz raspodjele uvoza prirodnog plina u EU-u iz pojedinih zemalja 2019. i 2020. godine; prikazano u udjelima trgovinske vrijednosti [12]



Slika 6. ovisnost pojedinih zemalja europske unije o ruskom plinu [11]

Prema mišljenju stručnjaka Gazprom rusko državno poduzeće koje monopolizira izvoz ruskog plina je potencijalno oruđe za političku ucjenu, a izvoz prirodnog plina koristi se za unaprjeđenje političke agende ruske vlade. Rasprave o prevelikom oslanjanju Europe na Gazprom obično ukazuju na to da su neke zemlje članice osjetljive na politički motivirane prekide u Gazpromovoj praksi opskrbe i njihovih cijena. Ruska tvrtka optužena je za nametanje viših cijena istočnoeuropskim zemljama. Razlika u europskim uvoznim cijenama prirodnog plina ovisi o širini opskrbe u svakoj zemlji EU i statusu njihovih geopolitičkih odnosa s Moskvom. Upotrebljava li Rusija svoj prirodni plin kao oružje još uvijek je predmet rasprave među stručnjacima [11].

Osiguravanje pristupa svim državama članicama tržištu LNG -a ključni je cilj strategije EU -ovog energetskeg saveza. Ukapljeni prirodni plin može doista promicati diverzifikaciju opskrbe prirodnim plinom u EU -u, čime se uvelike poboljšava energetska sigurnost. Danas su europske zemlje koje imaju pristup terminalima za uvoz ukapljenog prirodnog plina i tržištima ukapljenog plina mnogo otpornije na moguće prekide u opskrbi od zemalja koje se oslanjaju na jednog dobavljača prirodnog plina [13].

Ukupni kapacitet EU -a za uvoz LNG -a je značajan i dovoljan da podmiri oko 45% ukupne trenutne potražnje za plinom. Međutim, u regiji jugoistočne Europe, središnje istočne Europe i Baltika mnoge zemlje nemaju pristup LNG-u i uvelike ovise o jednom opskrbljivaču plinom, pa bi te države bile najteže pogođene ako dođe do krize opskrbe. Bitno je osigurati da

takve zemlje imaju pristup regionalnom plinskom čvorištu s različitim izvorima opskrbe. „Projekat od zajedničkog interesa“ EU -a uključuje strategiju za LNG s popisom ključnih infrastrukturnih projekata koji su bitni za osiguravanje da sve zemlje EU -a mogu imati benefite od LNG -a [13].

U pravilu, terminali za LNG, kao i druga energetska infrastruktura, trebali bi se financirati iz tarifa za krajnje korisnike (ulaganje plaćaju svi potrošači plina kao dio njihovih mjesečnih računa za plin) ili, u nekim slučajevima, plinske tvrtke zauzvrat imaju troškove izgradnje za pravo korištenja terminala putem dugoročne rezervacije propusnosti). Međutim, čak i u dobrim poslovnim uvjetima, financiranje u nekim slučajevima može biti izazovno. Za projekte koji su osobito važni za sigurnost opskrbe, sredstva EU -a, poput Instrumenta za povezivanje Europe, mogu potencijalno pomoći u popunjavanju financijskog jaza. Zajmovi EIB-a i Europski fond za strateška ulaganja (EFSU) mogu biti drugi izvori dugoročnog financiranja [13].

Tablično su prikazani glavni europski uvozni LNG terminali s podacima o nazivu terminala, vrsti, kada je pušten u funkciju, koliko iznosi maksimalno uplinjavanje LNG-a u metrima kubičnim po satu, koliki je tehnički kapacitet terminala na godišnjoj razini, te koji su glavni dobavni pravci za pojedinu zemlju.

Tablica 1. Popis LNG terminala u EU s najbitnijim podacima [10,14]

Država	Naziv terminala	Vrsta terminala	godina početka rada	max. kapacitet uplinjavanja m ³ /h	tehnički kapacitet terminala milijarda m ³ /godišnje	glavni dobavni pravci(uvoz)
Belgija	Zeebrugge	veliki kopneni	1987	1.700.000	9	Alžir,Katar
Francuska	Dunkerque	veliki kopneni	2016	1.900.000	13	Alžir,Katar
Francuska	Fos Cavaou	veliki kopneni	2010	1.160.000	8,25	Alžir,Katar
Francuska	Fos-Tonkin	veliki kopneni	1972	620.000	3	Alžir,Katar
Francuska	Montoir-de-Bretagne	veliki kopneni	1980	1.600.000	10	Alžir,Katar
Grčka	Revithoussa	veliki kopneni	2000	798.000	7	Alžir,Katar
Hrvatska	Omišalj-Krk	FSRU	2021	300.000	2,6	Katar
Italija	OLT Toscana	FSRU	2013	592.465	3,8	Alžir,Katar
Italija	Panigaglia	veliki kopneni	1971	427.000	3,4	Alžir,Katar
Italija	Porto Levante	GBS	2009	1.038.857	7,58	Katar
Litva	Klaipėda	FSRU	2014	460.000	4	Norveška
Malta	Delimara	FSU	2017	89.000	0,7	Katar
Nizozemska	Gate, Rotterdam	veliki kopneni	2011	1.650.000	12	Norveška
Poljska	Świnoujście	veliki kopneni	2016	656.000	5	Katar
Portugal	Sines	veliki kopneni	2004	1.350.000	7,6	Nigerija
Španjolska	Barcelona	veliki kopneni	1968	1.950.000	17,1	Alžir,Katar
Španjolska	Bilbao	veliki kopneni	2003	1.000.000	8,8	Alžir,Katar
Španjolska	Cartagena	veliki kopneni	1989	1.350.000	11,8	Alžir,Katar
Španjolska	Gijon, El Musel	veliki kopneni	u hibernaciji	800.000	7	-
Španjolska	Huelva	veliki kopneni	1988	1.350.000	11,8	Alžir,Katar
Španjolska	Mugardos	veliki kopneni	2007	412.800	3,6	Alžir,Katar
Španjolska	Sagunto	veliki kopneni	2006	1.000.000	8,8	Alžir,Katar
UK	Grain	veliki kopneni	2005	2.650.000	19,5	Norveška
UK	Dragon	veliki kopneni	2009	1.140.000	7,6	USA
UK	South Hook	veliki kopneni	2009	2.440.000	21	USA
Turska	Aliaga (Etki)	FSRU	2016	600.000	5	Alžir, Nigerija, Iran
Turska	Aliaga (Izmir)	veliki kopneni	2006	680.000	6	Alžir, Nigerija, Iran
Turska	Dörtyol	FSRU	2019	830.000	7,3	Alžir, Nigerija, Iran
Turska	Marmara Ereğlisi	veliki kopneni	1994	685.000	6,2	Alžir, Nigerija, Iran



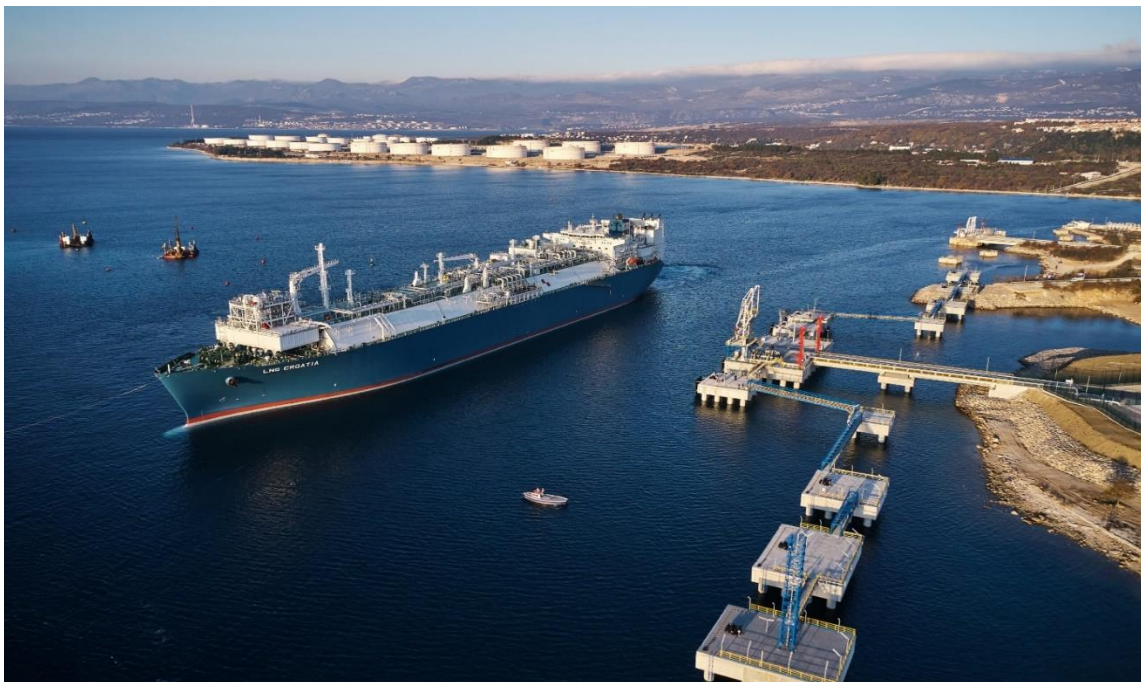
Slika 5. karta Europe s naznačenim uvoznim LNG terminalima

2.4. LNG terminal Krk-Omišalj

Plutajući LNG terminal nalazi se u gradu Omišali na otoku Krku u Republici Hrvatskoj. Terminal ima geopolitički i strateški značaj u jačanju europskog energetskeg tržišta i poboljšanju sigurnosti opskrbe EU prirodnim plinom. Ovo je projekt od strateškog značaja za Europsku uniju i Republiku Hrvatsku, jer u kombinaciji s onima u Litvi i Poljskoj, čini novu točku na koridoru sjever-jug za diversifikaciju opskrbe plinom i konkurenciju u Srednjoj i Istočnoj Europi. Terminal je u sklopu EU projekata od zajedničkog interesa (PCI) te su mu dodijeljena bespovratna sredstva u iznosu od 101,4 milijuna eura. Tehnički kapacitet terminala je 2,6 milijarde kubičnih metara godišnje. Terminal je započeo s radom 1.siječnja 2021. godine, te je zaključno s datumom 8.rujna 2021. godine dobio više od 1.000.000.000 prostornih metara prirodnog plina u transportni sustav RH. Na terminal je dostavljeno i regasificirano preko 1,6 milijuna kubičnih metara UPP-a s 12 brodova za transport ukapljenog prirodnog plina. Ovaj podatak ukazuje koliko je značajna uloga Terminala za tržište plina u istočnom dijelu Europe i samim time u Republici Hrvatskoj te koliko utječe na plinske tokove u regiji [15].

Terminal za UPP se sastoji od:

- FSRU brod
- Kopneni dio Terminala



Slika 6. LNG terminal Omišalj-Krk

2.4.1. FSRU brod

Brod FSRU sastoji se od spremnika LNG -a i opreme za utovar i istovar LNG -a. Sve procese na brodu prati operater iz središnje kontrolne sobe, a u slučaju požara i zemnog plina radi autonomni sigurnosni sustav. Brod FSRU opremljen je s četiri spremnika za LNG ukupnog skladišnog kapaciteta od 140.206 kubnih metara, tri uređaja za regasifikaciju LNG -a s maksimalnom ukupnom brzinom rasplinjavanja od 451.840 kubnih metara na sat, te elektranom koja proizvodi električnu energiju za rad terminala. Uplinjavanje UPP -a provodi se izmjenom topline iz morske vode i UPP -a na etilen glikolu kao međuproizvodu. Morska voda prenosi toplinu u etilen glikol i vraća se u more bez ikakvog tretmana. Etilen glikol zatim prenosi toplinu na UPP koji u tom procesu isparava. Prirodni plin se zatim isporučuje u transportni sustav prirodnog plina u Republici Hrvatskoj preko pretakačkih ruka pod visokim tlakom [15].

2.4.2. Kopneni dio terminala

Kontinentalni dio Terminala sastoji se od pristaništa, oslonaca za pristaništa za FSRU brod, privezišta za privez broda i nosača LNG-a, kuka za brzo otpuštanje, pristupne platforme, preljevni rukava pod visokim tlakom s priključkom za plinovod, stanice plina za čišćenje cjevovoda, sustav zaštite od požara, kontrolna zgrada i popratni objekti. Brod FSRU usidren je na pristanu i povezan je sa sustavom prijenosnih krakova visokog tlaka kroz koji prirodni plin ulazi u spojni cjevovod. Glava pristana središnji je dio pristana u obliku platforme na betonskim stupovima. U gornjem dijelu pristana nalaze se visokotlačne preljevne ručice povezane s priključnim plinovodom. Priključni plinovod transportira plin do plinskog čvorišta Omišalj, gdje je spojni plinovod spojen na prijenosni sustav Republike Hrvatske. Oslanjačke utvrde za pristajanje broda FSRU izrađene su od betonskih stupova, opremljenih odbojnicima za sigurno pristajanje broda FSRU. Utrde za privez broda izrađene su od betonskih pilota, opremljene sustavom za privez brzo otpuštajućih kuka tako da se u slučaju opasnosti istovar FSRU-a broda vrši na siguran i brz način. Glava pristana, oslanjačke utvrde za privez i privezne utvrde za privez broda FSRU povezani su mostovima. Pristupni most dug 90 m s prilaznom cestom i nogostupom povezuje glavu pristana s kopnenim dijelom pristaništa. Priključni plinovod ima nazivni promjer 1000 mm i radi pri tlaku od 100 bara na ukupnoj udaljenosti od 4,2 km. Početna točka spojnog plinovoda nalazi se na vrhu mola, a krajnja točka na plinskom čvorištu Omišalj. Priključni cjevovod ima važnu funkciju, a to je odvod PP-a s terminala u plinski transportni sustav Republike Hrvatske [15].

Priključni vodoopskrbni sustav ima nominalni promjer 90 mm i ukupnu duljinu od 2,5 km. Spojen je na javni vodoopskrbni sustav na oknu brojila u blizini državne autoceste D102. Glavna funkcija povezivanja vodoopskrbnog sustava je opskrba pitkom vodom za sanitarne potrebe pristaništa i punjenje spremnika vode za gašenje požara [15].

2.4.3. Glavne tehničke karakteristike terminala

Na terminal za UPP uz FSRU brod mogu pristati brodovi za prijevoz UPP-a čiji je kapacitet od 3.500 m³ do 265.000 m³, dok je ukupni skladišni kapacitet UPP-a 140.206 m³. Shodno tome, Q-Max i Q-Flex brodovi, te manje brodice za opskrbu UPP-om, mogu se prihvatiti na terminalu za UPP. Brzina pretovara s broda za prijevoz UPP-a u FSRU iznosi maksimalno 8,000 m³/h. Administracija i sigurnosni protokoli trajat će približno 4 sata. Za vrijeme prekrcaja UPP-a FSRU može uplinjavati pri maksimalnom kapacitetu uplinjavanja UPP-a koji je jednak 300,000 m³/h, odnosno 2,6 milijardi m³/godišnje jer je ograničen kapacitetom plinskog transportnog sustava [15].

2.4.4. Transportni sustav RH

Transportni sustav Republike Hrvatske sastoji se od međunarodnih, glavnih, neovisnih i spojenih cjevovoda prirodnog plina i objekata na cjevovodima prirodnog plina kojim upravlja operater PLINACRO d.o.o. Razvojem plinovoda Omišali-Zlobin, transportni sustav plina može primiti 2,6 milijardi kubičnih metara prirodnog plina svake godine.. Postojeća struktura i zemljopisna distribucija transportnog sustava usklađuju tehničko-tehnološke aspekte s potrebama korisnika transportnog sustava kako bi se osigurala sigurnost i pouzdanost transporta i transporta prirodnog plina, uz optimizaciju troškova održavanja i rada. Ukupna duljina plinovoda u plinskom prijenosnom sustavu iznosi 2.531 kilometar, uključujući 1.579 kilometara cjevovoda s radnim tlakom od 50 bara i 952 kilometra cjevovoda s radnim tlakom od 75 bara (slika 4) [16] .



Slika 7. plinski transportni sustav RH

3. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu proučavane su teme vezane uz ukapljeni prirodni plin, njegov sastav svojstva, način ukapljivanja, lanac opskrbe UPP-om, te kako je UPP utjecao na energetska tržišta Europe.

UPP je vrsta prirodnog plina koji je ohlađen na -162 Celzijeva stupnja. Pretvara se u tekućinu i ima mnogo manji volumen od plina, što ga čini pogodnim za transport na velike udaljenosti. Lanac opskrbe UPP-om već je cjelovit sustav i vrlo siguran. UPP nije samo cjenovno konkurentniji od svih drugih oblika fosilnog goriva, već smanjenom emisijom stakleničkih plinova i ostalih štetnih čestica znatno manje utječe na onečišćenje okoliša, stoga je ovo uistinu kvalitetan energent.

Zbog svega što je konstatirano u ovom radu vidljivo je da lanac opskrbe LNG-a jedan složen proces u kojem sudjeluju specifični LNG brodovi i kopneni terminali sa posebnom tehničkom strukturom koja omogućava prijevoz LNG-a na financijski izvediv način. LNG brodovi su posebno projektirani za transport ukapljenog prirodnog plina, sa spremnicima čiji se primarna struktura ne mijenja već desetljećima. Naime to je vrlo siguran način transporta što potvrđuje činjenica da nikada nije došlo do potpunog izlivanja ili eksplozije LNG spremnika.

LNG ima bitnu ulogu u jačanju sigurnosti i diverzifikaciji izvora i puteva opskrbe u Europi. Zbog određenog monopola koji drži Rusija posebice nad baltičkim zemljama, izgradnja LNG terminala u toj regiji (Klaipeda LNG terminal, Litva) doprinijela je sigurnosti opskrbe energije i njenoj raspoloživosti. Ukoliko dođe do političkih problema, ta regija više ne mora upotpunosti strahovati od mogućeg ukidanja uvoza ruskog plina jer upravo zbog uvoza LNG-a je ta regija postala djelomično energetska neovisna.

Republika Hrvatska sa svojim novoizgrađenim LNG terminalom na otoku Krku zbog svog povoljnog geografskog položaja ima veliki potencijal u jačanju svog političkog položaja na energetska tržišta EU. Naime, diverzifikacija puteva opskrbe energijom ključna je s ciljem postizanja najvećeg stupnja energetske neovisnosti. Zato LNG terminal predstavlja veliki značaj Europi, to potvrđuje podatak o količini uloženi sredstava u realizaciju projekta u Omišlju. U konačnici možemo zaključiti da je modernizacija energetske infrastrukture i ulaganje u nove tehnologije primarni cilj u budućem razvoju Europske Unije.

LITERATURA

- [1] Jacques Dam, Sustainable LNG technology, Hanze UAS repozitorij (2016) 1-4
- [2] Natural gas explained, [Liquefied natural gas \(LNG\) | Shell Global](#) (pristup 25.8.2021.)
- [3] GIE, The benefits and role of LNG in Europe; Providing Europe's Energy Today and in the Future (2016)
- [4] Saeid Mokhatab, John Y. Mak, Jaleel V. Valappil, David A. Wood, Handbook of Liquefied Natural Gas, Elsevier Science, pristupljeno preko Perlego, dostupno na [\[PDF\] Handbook of Liquefied Natural Gas by Saeid Mokhatab, John Y. Mak, Jaleel V. Valappil, David A. Wood | Perlego](#) (pristupljeno 1.9.2021.)
- [5] Dvornik J, Dvornik S. Konstrukcija broda. Pomorski fakultet u Splitu. Split (2013)
- [6] Kaznačić D., Specifičnosti brodarskog tržišta prijevoza ukapljenog prirodnog plina. Pomorski odjel. Sveučilište u Dubrovniku (2020.)
- [7] [What is an LNG terminal? \(elengy.com\)](#) (pristup 27.8.2021.)
- [8] prof.dr.sc. Sutlović I., Energetika, FKIT, Sveučilište u Zagrebu
- [9] Zafranović E. Nova generacija brodova za prijevoz ukapljenog plina. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Sveučilište u Zagrebu (2008.)
- [10] King & Spalding (2018). "An Overview of LNG Import Terminals in Europe" (PDF). [LNG in Europe 2018 An Overview of LNG Import Terminals in Europe.pdf \(kslaw.com\)](#). (Pristup 28.8.2021.)
- [11] Stefano Cabras, American LNG and the EU-Russia Relationship: The End of Moscow's Energy Weapon?, Department of EU International Relations and Diplomacy Studies (2021)
- [12] eurostat, EU imports of energy products – recent developments; statistics explained (2021)
- [13] [Liquefied natural gas | Energy \(europa.eu\)](#) (pristup 28.8.2021)
- [14] GIE, LNG Import Terminals Map Database, (svibanj 2019)
- [15] [LNG Hrvatska](#) (pristup 1.9.2021.)
- [16] [Desetogodišnji plan razvoja PTS 2021-2030.pdf \(plinacro.hr\)](#) (pristup 1.9.2021.)