Sigurnost od požara na brodovima za prijevoz prirodnog ukapljenog plina (LNG-a)

Lazibat, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:155:573399

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-26**

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Dubrovnik

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL

LUKA LAZIBAT

SIGURNOST OD POŽARA NA BRODOVIMA ZA PRIJEVOZ PRIRODNOG UKAPLJENOG PLINA (LNG-a)

ZAVRŠNI RAD

DUBROVNIK, 2019.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
BRODOSTROJARSKI STUDIJ

SIGURNOST OD POŽARA NA BRODOVIMA ZA PRIJEVOZ PRIRODNOG UKAPLJENOG PLINA (LNG-a)

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
doc. dr. sc. JADRAN ŠUNDRICA

Pristupnik:
LUKA LAZIBAT

DUBROVNIK, 2019.

Republika Hrvatska

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

Preddiplomski sveučilišni studij brodostrojarstva

Ur. broj: Dubrovnik, 8. 1. 2019.

Kolegij: Sigurnost na moru

Mentor: doc. dr. sc. JADRAN ŠUNDRICA

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: **LUKA LAZIBAT**

Zadatak: **SIGURNOST OD POŽARA NA BRODOVIMA ZA PRIJEVOZ PRIRODNOG UKAPLJENOG PLINA (LNG-a)**

Zadatak treba sadržavati:

1. Uvod
2. Prirodni ukapljeni plin i njegova sigurnost
3. Prijevoz ukapljenog plina brodovima
4. Rizici pri korištenju ukapljenog plina i njihova kontrola
5. Zaključak

Osnovna literatura:

1. Bronzan, B. (1999): *LNG*. Zagreb: Energetika marketing
2. Klobas, V., Kršulja, M. (2017): „Protupožarna zaštita kod LNG terminala.“ *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, vol.7.no.2., str.29.-42.
3. Rudan, S. (2006): Sigurnost konstrukcije spremnika na brodovima za prijevoz ukapljenog plina. [doktorska disertacija]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje plina
4. DNV GL (2014): *LNG Operations Manual, Safety, Security Assessment & Operational Planning for LNG Fueled Ferries,* Report No.: PP061307-3, Rev. 3 Document No.: 167NWYK-12.,

Zadatak uručen pristupniku: 8. 1. 2019.

Rok za predaju završnog rada: 29. 1. 2019.

Mentor: Pročelnik Pomorskog odjela:

doc. dr. sc. JADRAN ŠUNDRICA ***doc. dr. sc. ŽARKO KOBOEVIĆ***

SAŽETAK

U bliskoj budućnosti plin energent će sa sigurnošću preuzeti vodeću ulogu u usporedbi s naftom. Potražnja za plinom sve više raste, a očekuje se i daljnji nastavak ovog trenda. Sve veća potražnja dovodi i do sve veće potrebe za transportom. LNG danas predstavlja jedan od najvažnijih oblika energenata. Način njegova transporta diljem svijeta se obavlja pomoću cjevovodi ili spremnika koji se nalaze u brodovima u kojima se ukapljuje i prevozi prirodni plin. Vrlo važno svojstvo ukapljenog prirodnog plina je zapaljivost na što posebno treba obratiti pozornost prilikom projektiranja i rukovanja brodom. Razvoj LNG brodova počeo je sredinom prošlog stoljeća, a naglim razvojem i sve većom potražnjom, svjetska flota LNG brodova broji preko 300 plovila. Korištenje LNG-a zahtijeva izgradnju terminala koji su sastavni dio lanaca opskrbe LNG-om. Zbog svojih svojstava, a posebice zapaljivosti, na takvim je terminalima potrebno posebnu pozornost posvetiti protupožarnoj zaštiti koja ima za cilj spriječiti požar ili minimizirati posljedice u slučaju požara. Kako bi bila moguća protupožarna zaštita, izuzetno je važno poznavati karakteristike LNG-a, opasnih scenarija do kojih može doći prilikom skladištenja, promjene agregatnog stanja, uporabe, izlijevanja, ispuštanja i zapaljenja. Dakle, požari pri LNG-u su vrlo opasni, no takvim se incidentima može upravljati ako su osnovna svojstva dobro shvaćena. Cilj protupožarne zaštite je zaštita osoba, materijalnih dobara te okruženja terminala. Kvalitetno osmišljena i implementirana protupožarna zaštita je garancija sigurnog i uspješnog rada, ali i dugoročnog napretka LNG terminala.

Ključne riječi: LNG, transport ukapljenog plina, LNG-e brodovi, terminal, opasnosti, požar, protupožarna zaštita, sigurnost

SUMMARY

In the near future, energy will be assured that it will take on the role of oil. The demand for gas is growing and a further continuation of this trend is expected. Increasing demand is driving ever-growing transport needs. LNG is today one of the most important forms of energy. The mode of its transportation around the world is carried out by means of a pipeline or tanks that are located on ships in which natural gas is discharged and transported. A very important feature of liquefied natural gas is flammability, and special attention should be paid to the design and handling of the boat. The development of LNG vessels began in the middle of last century, with rapid growth and higher demand, the world fleet of LNG vessels has over 300 vessels. The use of LNG requires the construction of a terminal that is an integral part of the LNG supply chain. Due to its properties, a special case is replaced and in the end special attention is devoted to fire protection aimed at preventing fire or minimizing the consequences of a fire. In order to be able to protect against overheating, it is extremely important to know the LNG characteristics, the hazardous scenarios that may occur during storage, changes in the aggregate state, use, spillage, discharge and ignition. Therefore, fire at LNG is very dangerous, but such incidents can not be managed if the basic properties are well understood. The aim of fire protection is to protect the person, the material goods and the environment. Highly designed and implemented fire protection is a guarantee of a safe and successful LNG terminal.

Keywords: LNG, liquefied gas transport, LNGs, terminal, danger, fire, fire protection, security

SADRŽAJ

1. UVOD 5
2. PRIRODNO UKAPLJENI PLIN (LNG) 3
   2.1. Povijest prirodnog ukapljenog plina 3
   2.2. Svojstva ukapljenog prirodnog plina i njegov eksploatacijski lanac 4
   2.3. Ponuda i potražnja LNG proizvoda 6
   2.4. Sigurnost 8
3. PRIJEVOZ UKAPLJENOG PLINA BRODOVIMA 9
   3.1. Osnovne značajke LNG brodova 9
   3.2. Prijevoz ukapljenog plina brodovima 9
   3.3. Flota LNG brodova 11
   3.4. Spremnici plina na LNG brodovima i njihove značajke 13
4. OPASNOSTI KORIŠTENJA LNG PLINA 17
   4.1. Rizici korištenja prirodno ukapljenog plina 17
   4.2. Opis opasnih fenomena 19
      4.2.1. Požar lokve 20
      4.2.2. Gušenje 21
      4.2.3. Kriogena temperatura LNG-a 21
   4.3. Zaštita od požara i sigurnost 22
      4.3.1. ESD sustav i ESD sklopka 24
      4.3.2. Kontrola požara i ispuštanja 25
      4.3.3. Sustavi zaštite od požara i gašenje vodom 25
      4.3.4. Gašenje požara i druga oprema za kontrolu požara 26
      4.3.4. Osobna sigurnost 26
      4.3.5. Ručno ispuštanje tlaka 27
5. ZAKLJUČAK 28

LITERATURA 30

POPIS SLIKA 32

POPIS TABLICA 33

1. UVOD

Predmet ovog rada su brodovi na kojima se prevozi prirodno ukapljeni plin (LNG), a cilj rada je prikazati važnost i korist koju bi u bliskoj budućnosti transport prirodno ukapljenog plina mogao imati. Također, cilj rada je i ukazati na mjere zaštite i sigurnosti od požara, budući da su rizici korištenja prirodno ukapljenog plina veliki te mogu dovesti do opasnih ekoloških posljedica.

Kontinuirani rast i razvoj svjetskog gospodarstva direktno utječe na povećanje potrebe za energijom različitih vrsta. Sve veća potražnja i potrošnja prirodnog plina dovode do potrebe za novim načinima transporta plina. Tekući plinovi tako predstavljaju vrijedan i ekološki iznimno prihvatljiv oblik energije, a sve više se počinje koristiti ukapljeni prirodni plin kao alternativa nafti i to u gotovo svim društvenim segmentima. Sukladno tome, u svrhu transporta, gradnja LNG brodova se povećava. Važnost LNG-a ogleda se u njegovoj energetskoj diversifikaciji pa širenje mreže LNG-a dobiva sve veći značaj.

Korištenje LNG-a zahtijeva izgradnju terminala koji su sastavni dio tzv. lanaca opskrbe LNG-em. Zbog svojih svojstava, a ponajviše zapaljivosti, na takvim je terminalima posebnu pažnju potrebno posvetiti protupožarnoj zaštiti, koja mora spriječiti požar ili minimizirati posljedice u slučaju požara.

U radu su prikazani opasni fenomeni LNG-a, do kojih može doći prilikom realizacije određenih scenarije, vrste požara i druge opasnosti te protupožarna zaštita na terminalu. Za provedbu protupožarne zaštite ključno je poznavanje karakteristika LNG-a, opasnih scenarija, do kojih može doći prilikom njegovog skladištenja, promjene agregatnog stanja, uporabe, izlijevanja, ispuštanja te naposljetku zapaljenja. Svi su požari, a posebice oni koji uključuju LNG, izrazito opasni. Međutim, svim se takvim incidentima može upravljati, odnosno svi se mogu riješiti samo ukoliko su osnovna svojstva dobro shvaćena.

Rad je podijeljen u nekoliko cjelina. Nakon uvoda, druga cjelina rada predstavlja svojevrsni uvod u tematiku te govori o povijesti razvoja ukapljenog plina kroz njegovu sve veću ponudu i potražnju. Također navode se svojstva prirodno ukapljenog plin te se opisuje njegov eksploatacijski lanac. Treća cjelina rada opisuje brodove pomoću kojih se obavlja transport prirodno ukapljenog plina kroz opis osnovnih karakteristika LNG brodova, njihove flote i spremnika u kojima se plin prevozi. Četvrti dio ovoga rada odnosi se na opasnosti korištenja LNG-a. Tu se prikazuju rizici korištenja LNG-a, neki opasni fenomeni i mogući scenariji kao što su požar lokve, gušenje i kriogena temperatura LNG-a. Također, u ovoj se cjelini obrađuje način zaštite od požara i sigurnost (ESD sustav i ESD sklopka, kontrola požara i ispuštanja, sustavi zaštite od požara i gašenje vodom, gašenje požara i druga oprema za kontrolu požara, osobna sigurnost i ručno ispuštanje tlaka). Na samom kraju ovoga rada izvodi se zaključak, donesen temeljem pisanog dijela rada i korištene literature.

2. PRIRODNO UKAPLJENI PLIN (LNG)

Prirodno ukrapljeni plin (eng. *liquefied natural gas* – LNG) je plin visokog pritiska koji je rashlađen na što nižim temperaturama kako bi zadobio tekuće stanje. Prirodni plin se rashlađuje na temperaturi od - 161 stupanj te poprima svojstva bezbojne tekućine koja nema miris i okus. LNG ima u prirodnom plinu udio od samo 1/600 ukupnog volumena pa je takvo stanje vrlo pogodno za transport putem tankera. Nastavak rada govori o povijesti prirodno ukrapljenog plina, njegovoj ponudi i potražnji te sigurnosti prilikom njegove uporabe i transporta.

2.1. Povijest prirodnog ukapljenog plina

Povijest prirodno ukapljenog plina započela je još u 19. stoljeću kada je M.Faraday izvodio razne pokuse ukapljivanja plinova. Među brojnim pokusima koje je izvodio britanski fizičar i kemičar, mogli su se naći i pokusi s prirodnim plinom. Početkom prošloga stoljeća, kemijski element helij se proizvodio upravo pomoću ukapljivanja prirodnog plina.

Sam proces ukapljivanja prirodnog plina se nije znatno promijenio od 19. stoljeća. Još uvijek se primjenjuju isti postupci ukapljivanja kao i prije, ali pomoću moderne tehnologije koja ovaj proces čini znatno lakšim. U zadnjih sto godina, prirodni plin se svakodnevno primjenjuje te bi njegova primjena, prema nekim istržvanjimam, u narednih 40 godina mogla preuzeti vrlo važno mjesto. [1]

Kada je riječ o povijesti spremnika za ukapljeni plin, prvi spremnici su se pojavili 40-tih godina dvadesetog stoljeća, a među prvim izgrađenima je bio onaj u SAD-u u Clevelandu. Prvi spremnici su imali kapacitet od 2500 m^3 te dvostruku stijenku koja je bila izgrađena od legure čelika s 3,5 % nikla. Među stijenkama se nalazila izolacija od pluta.

LNG industriju i njezin razvoj je usporila velika eksplozija koja je dovela do velikog pooštravanja mjera vezanih za konstrukciju i skladištenje spremnika. Strože mjere su se najviše odnosile na hađenje spremnika, zvarivanje istih, područje oko spremnika i sl. [1] U nastavku rada će se više govoriti o spremnicima plina na LNG brodovima i njihovim značajkama.

2.2. Svojstva ukapljenog prirodnog plina i njegov eksploatacijski lanac

Upoznatost sa svojstvima ukapljenog pina od iznimne je važnosti prilikom konstrukcije i optimalizacije instalacija koje služa ze ukapljivanje, transport, skladištenje te isparavanje plina. U nastavku rada tablica 1. prikazuje svojstva ukapljenog prirodnog plina.

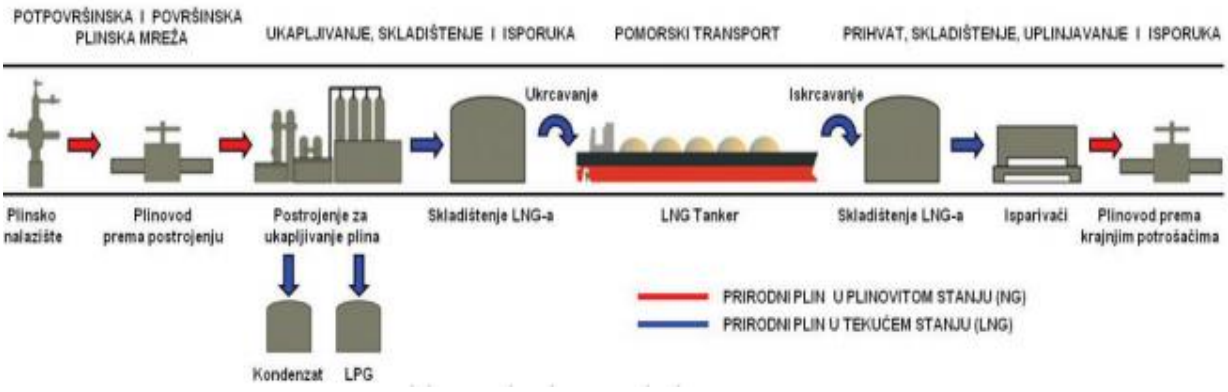
Tablica 1. Svojstva prirodno ukapljenog plina [2]

SVOJSTVA	VRIJEDNOSTI
Gornja ogrijevna vrijednost, Hg	6,66 kWh/L (24 MJ/L)
Donja ogrijevna vrijednost, Hd	5,83 kWh/L (21 MJ/L)
Gustoća, ρ	0,43 do 0,48 kg/L
Relativna gustoća, D	D = 0,45 (lakši od vode)
Molarna masa, M	M = 16,5 do 18,9 kg/kmol
Područje eksplozivnosti u zraku	5 od 15%

Iz prethodno navedene tablice svojstva prirodno ukapljenog plina, vidljivo je kako se molarna masa kreće u rasponu od 16,5 kg/kmol do 18,9 kg/kmol. Gustoća prirodno ukapljenog plina je u rasponu od 430 do 480 kg/dm, odnosno ovisna je o tlaku, temperaturi te sastavu. Gustoća plina je vrlo bitna načajka jer se na osnovu nje određuje težina plina koji se preveze. Relativna gustoća iznosi 0,45, odnosno prirodno ukapljeni plin je lakši od vode. Ukoliko je koncentracija plina u zraku od 5 do 15% on postaje eksplozivan.

Eksploatacijski lanac prirodno ukapljenog plina (slika 1.) ima sljedeće elemente: [3]

- proizvodnja LNG-a – postupak koji podrazumijeva nalazak i pripremu plina za dostavljanje u postrojenja
- ukapljivanje – prirodni plin se konverzira u tekuće agregatno stanje u kojem se može prevesti brodom
- prijevoz prirodno ukapljenog plina posebnim tankerima kojima se isporučuje na tržište
- uplinjanvanje – prirodno ukapljeni plin se ponovno dovodi u plinovito stanje
- distribucija i dostava plina putem plinovoda do potrošača.

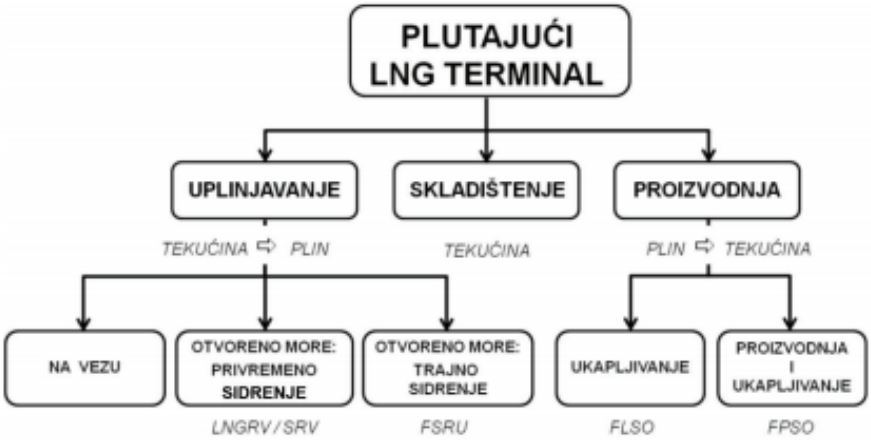


Slika 1. Eksploatacijski lanac LNG-a [3]

Kada je riječ o plinskim terminalima, ključno je prvo odrediti osnovne potrebe koje takav objekt treba zadovoljiti. Osnovne zahtjeve je moguće podijeliti na: [3]

- sustav treba osigurati s najvećom feksibilnošću za prekrcanje plina u mrežu distribucije druge države. Također, raspon tlaka prekrcaja mora biti odgovarajući, a mogućnost rada mora biti prilagodljiva različitim uvjetima.
- kapaciteti uplinjavanja moraju biti dostatni
- spriječavanje isticanja prirodnog plina prilikom normalonog rada
- oslanjanje na raspoloživa tehnička rješenja koja su provjereno dobra
- postizanje visoke sigurnosne razine.

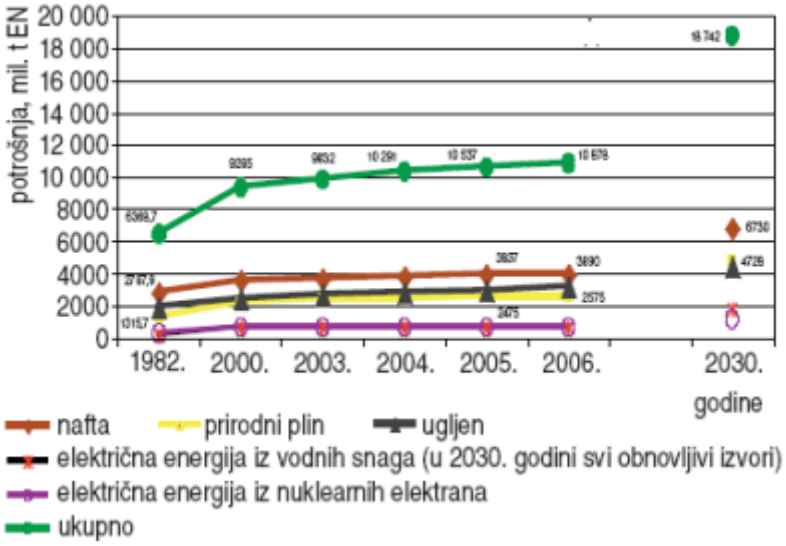
„Općenito, plutajući LNG-terminali mogu se klasificirati u tzv. LNG FSRU (Floating Storage Regasification Unit), koji se rabe kao postrojenja za prijam i uplinjavanje LNG-a, i LNG FPSO (Floating Production Storage and Offloading) za proizvodnju, ukapljivanje i isporuku LNG-a (slika 2.).“ [3] LNG FRSU je dobra alternativa u onim područjima u kojima je kopnena infrastruktura nedovoljno razvijena i gdje su strogo određeni geotehnički i ekološki zahtjevi gradnje. S druge pak strane, LNG FPSO ima druge pogodnosti (primjerice, proizvodnja prirodno ukapljenog plina na području plinskog polja koja ne zahtjeva podvodni cjevovod i dodatnu infrastrukturu. Kada se govori o potencijanom LNG terminalu u Hrvatskoj i jedna i druga opcija mogu biti značajne.



Slika 2. Plutajući LNG terminal – moguće primjene

2.3. Ponuda i potražnja LNG proizvoda

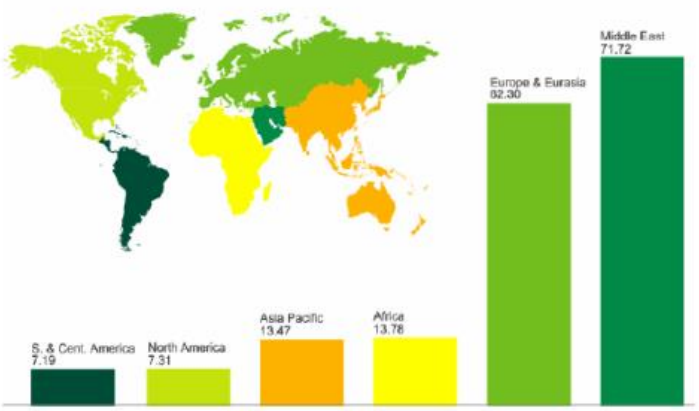
Danas više od polovine potrošnje energije u svijetu čine nafta i plin te je u zemljama koje imaju rastuće gospodarstvo zabilježen porast potrošnje svjetske energije. U nastavku rada slika 3. prikazuje krivulju potrošnje svjetske energije od 1982. godine.



Slika 3. Krivulja potrošnje svjetske primarne energije od 1982. [4]

Iz slike 3, vidiljivo je kako se u svijetu najviše troši nafte (nešto više od 35%), dok je prirodni plin sa skoro 24% treći energetski izvor. Zemlje koje izvoze najviše prirodnog ukapljenog plina su one zemlje koje imaju i najviše rezervi tog plina. Riječ je o: Australiji, Maleziji, Nigeriji, Indoneziji, Libiji, Katru i Omanu. Zemlje koje trenutno uvoze LNG su: SAD-e, Japan, Južna Koreja te nekoliko država Europe. U Europi zemlje koje posjeduju

terminale za prijevoz LNG-a su: Francuska, Italija, Grčka, Portugal, Španjolska i Belgija. U nastavku rada slika 4. prikazuje svjetske zalihe plina.



Slika 4. Zalihe plina u svijetu [4]

Iz slike 4 vidljivo je da je Rusija jedna od vodećih zemalja kada je u pitanju zaliha plina. Rusija je prva u svijetu kada je u pitanju zaliha zemnog plina, druga po pitanju ugljena te treća po pitanju zlata. Količina nafte pronađene u Rusiji se ubraja u najveće na svijetu. Također, zanimljiva je i činjenica da su mnoge od prikazanih zemalja bogatih zalihama nafte u napetim odnosima sa Sjevernom Amerikom, koja sve više gubi svoj status svjetske velesile. Među zemljama s najvećom zalihom plina ubraja se Irak, koji ima oko 9% svjetskih zaliha, odnosno 115 milijardi barela nafte. Najmanji kontinent, Australija je „daleko najveći rudar zlata (14,3 posto svjetskih rezervi), dok u globalnom vađenju urana sudjeluje s čak 46 posto. U sjeverozapadnim morima Australije vadi se zemni plin, pri čemu se taj lukrativni prirodni rezervoar dijeli s Indonezijom.“ [5] Iran drži desetinu zalihe nafte u svijetu, ali zbog stanih sukoba s SAD-om teško se probija na međunarodno tržište. Iran s Katranom dijeli najveće nalazište zemnog plina u svijetu, „Sjevernu kupolu/Južni Pars“. Neizostavna zemlja po pitanju zalihe nafte u svijetu je Saudijska Arabija, koja ima gotovo 20% svjetske zalihe nafte te peti po veličini rezervar zemnog plina. Najveći problem za ovu zemlju je neproširena ekonomska lepeza što će u budućnosti dovesti do opadanja moći.

2.4. Sigurnost

Uporaba i transport LNG-a donose veliku opasnost koja proizlazi od njegovih osnovnih karakteristika, a to su: zapaljivost, raspršenje te proizvodi izuzetno niskih temperatura. Para koja nastaje nakon što se LNG prolije može putem vjetra vrlo lako doći u područja koja su naseljena, a ukoliko je koncetracija veća od 5%, para je vrlo zapaljive prirode. Ukoliko dođe do požara, vatra daje vrlo visoke temperature. S druge pak strane, hladni LNG može dovesti do izravnih posljedica i velike štete. „LNG sam po sebi nije zapaljiv i izjave u smislu „LNG tankeri su ploveće bombe“ nisu točne, jer budući da LNG nije zapaljivi ne može niti eksplodirati. Dokaz za to su mnogi incidenti koji su se dogodili (znatna istjecanja LNG-a, oštećenja nastala vremenskim neprilikama, sudari na moru), a da još nikad nije eksplodirao tanker s cijelim svojim sadržajem.“ [6]

Kako bi se poboljšala sigurnost LNG-a iscenirano je puno mogućih katastrofa, a trenutno najaktualnija moguća katastrofa je terorizam, odnosno namjerno izazvano prolijevanje i zapaljivanje plina. Sukladno tome, Amerika je postavila vrlo striktna pravila za tankere koji prevoze LNG plin. Manji i brži brodovi služe kao zaštita tankera te ih prate za vrijeme uplovljavanja i istovara. „Prilikom plova tankeru se ne smiju približavati plovila na udaljenost manju od 450 metara sa svake strane, te 3,2 kilometra ispred i iza broda.“ [6] Oni koji prekrše ovo pravilo mogu biti osuđeni i na deset godina zatvora, ali vrlo mala vjerovatnost da to može spriječiti teroriste samoubojice u njihovom pokušaju da se zabiju u brod koji prevozi LNG. Sigurnost plovidbe brodova za prijevoz LNG-a je strogo regulirana pa ukoliko dođe do izgradnje hrvatskog terminala za ukapljeni plin bit će potreba velika zakonska regulacija jer je sam proces dosta težak, a trenutno ni Amerika nema u cijelosti definiran taj zakon. Detaljnije o prijevozu i opasnosti korištenja LNG plina govori nastavak rada.

3. PRIJEVOZ UKAPLJENOG PLINA BRODOVIMA

Danas je ukapljeni plin jedan od najvažnijih plinova, a po svijetu se transportira ili pomoću cijevi ili pomoću brodova, odnosno spremnika koji se nalaze na brodovima, a napravljeni su isključivo za svrhu prijevoza prirodnog plina. Budući da postoji veliki rizik prilikom transporta ukrapljenog plina brodovima, konstrukcija spremnika i pravila transporta su strogo određena. Izrada takih brodova je izimno složena i zahtjeva preciznu analizu i dobro razumijevanje brodske konstrukcije i spremnika koji se u njima nalaze. Sukladno tome, nastavak rada donosi detaljan opis brodova i spremnika u kojima se prevozi LNG.

3.1. Osnovne značajke LNG brodova

U svom osnovnom sastavu prirodni plin je metan koji u sebi sadrži malu koncentraciju vode, ugljičnog dioksida, ugljikogidrata, kisika, dušika i sulfida. Prilikom ukapljivanja većina prethodno navedenih primjesa nestaje pa ostaje gotovo čisti metan. Upravo se prirodni plin vodi kako najčišće fosilno gorivo. [7]

Proces ukapljivanja prirodnog plina događa se na temperaturi od minus 161 stupanj celzija te tada postaje bezbojna i bezmirisna tekućina koja nalikuje vodi. „Specifična težina mu je približno upola manja od vode, a kao tekućina zauzima otprilike 600 puta manji volumen nego u plinovitom stanu pri atmosferskom tlaku.“ [7] Plin nije otrovan, a u tekućem obliku nije ni eksplozivan. Isparavanjem nastaje plinoviti oblak koji je vidljiv, a proces isparavanja se može ubrzati dodatnim zagrijavanjem. Tada je plin lakši u usporedbi sa zrakom i diže se u visinu. Ukoliko je koncetracija plina u zraku između 5.3% i 14% plin je zapaljiv.

3.2. Prijevoz ukapljenog plina brodovima

Prijevoz plina pomoću brodova ima dugu povijest (više od šezdeset godina). 1947. godina se uzima kao godina početka prijevoza plina brodovima jer je te godine brod „Nathalie O. Waren“ bio prvi brod preuređen u svrhu prijevoza plina, a imao je 58 spremnika koji su bili uspravno postavljeni. Dok se nisu pojavili prvi suvremeni brodovi za prijevoz prirodno ukrapljenog plina prošlo je nešto više od 15 godina. Točnije 1964. godine su izgrađeni

sestrinski brodovi „Methane Princess i Methane Progress“ a bili su namjenjeni „za službu na trgovačkoj ruti između Alžira i Canvej otoka, za Shell tankers (UK), imali su motor (turbinu) koji je trošio i naftu i prirodni plin, a s devet spremnika ukupnog kapaciteta 12500 tona ostvarivali su brzinu od 18 čvorova.“ [7]

Prirodni plin se ukapljuje na tri načina, pa se sukladno tome razlikuju i tri grupe brodova za transport ukapljenog plina, a to su: [7]

- prijevoz plina pri temperaturi okoline, pod visokim tlakom
- prijevoz djelomično ohlađenog plina, pod umjerenim tlakom
- prijevoz potpuno rashlađenog plina, pod atmosferskim tlakom

Ukoliko je tlak ukapljenih plinova viši od tlaka prilikom isparavanja plina, brodovi za prijevoz plina, moraju imati posebne spremnike s obilježima posuda pod tlakom. Upravo su tako izgledali prvi brodovi kojima se prevozio ukapljeni plin. Ti brodovi su imali velike posude pod tlakom, najčešće uspravo postavljene. U takvim se brodovima moglo prevoziti nekoliko vrsta ukapljenog plina koji su se međusobno razlikovali. Najveći nedostatak takvog načina prijevoza je bila visoka cijena koju je uzrokovao nepovoljan odnos između težine broda i tereta. Još jedan nedostatak je nepraktičnost u manipulaciji što je posljedica brojne opreme na svakom spremniku.

Oni plinovi koji imaju nižu temperaturu isparavanja od okolinske temperature, transportiraju se u spremnicima koji su pod umjerenim tlakom te se pothlađuju putem rashladnih uređaja koji se nalaze na brodu. Tako se prevoze amonijak, etilen, petrokemijski i petrolejski plinovi. Brodovi u kojima se transportira tako ukapljeni plin imaju mogućnost prilagodbe temperature i tlaka pa tako zadovoljavaju zahtjeve prilikom ukrcaja i iskrcaja. [7]

Ukapljeni plin se može prevoziti i potpuno rashlađen, pod atmosferskim tlakom. Snižavanjem temperature dolazi do povećanja gustoće plina, pa se u spremnicima istog kapaciteta može prevesti i više plina. Na takav način prijevoz plina se obavlja: [7]

- „Brodovima za prijevoz petrolejskih plinova i amonijaka, uz temperaturu hlađenja od – 480 C i kapacitetom spremnika od 5000 do 80000 m3 .
- Brodovima za prijevoz etilena, uz temperaturu hlađenja od –1040 C i kapacitetom spremnika od 1000 do 30000 m3 .

- Brodovima za prijevoz ukapljenog prirodnog plina (LNG), uz temperaturu hlađenja od – 1630 C i kapaciteta spremnika do 200000 m3“

Prednost ovakvog načina transporta ukrapljenog plina je mogućnost gradnje brodova koji imaju veliki kapacitet. Budući da je tlak u spremnicima za svega par stotina milibara viši u odnosu na tlak u okolini, konstrukcija nije toliko robusna pa je održavanje u usporedbi sa spremnicima pod tlakom povoljnije i lakše.

3.3. Flota LNG brodova

Brodovi u kojima se prevozi LNG, zajedno s LPG brodovima, čini preko 90% cjelokupne flote brodova u svijetu u kojima se prevozu ukapljeni plin. Upravo LNG brodovi čine naveću zapremninu. Brodovi obično plove po istim rutama i to tokom cijelog svog životnog ciklusa koji traje od 20-25 godina. Među najstarije izgrađenim brodovima su „Cinderela“ iz 1964. godine te „Hoegh Galleon“ iz 1974. godine. Svjetsku flotu LNG brodova čini ukupno 183 broda. Tablica 2. prikazuje udio određenih zemalja po pitanju gradnje LNG brodova. Brodovi se klasificiraju na sljedeći način: [7]

- „American Bureau of Shipping, 25 brodova
- Bureau Veritas (FR), 24 broda,
- Korean Register, 2 broda,
- Lloyd Register, 66 brodova,
- Nippon Kaiji Kyokai, 37 brodova,
- Det Norske Veritas, 26 brodova,
- RINA, 3 broda“

Prethodno navedeni brodovi su najvećim dijelom u službi za plovidbu Tihim oceanom (106), nešto manje ih je u Atlanskom oceanu (67), a preostalih 10-tak plovi u nekim drugim morima. Uglavnom ovi brodovi imaju membranske spremnike (npr. „Technigaz“ i „Gaztransport“ kojih ima u 91 brodu). Drugi najčešći spremnici su „Moss tip“, a ima ih u 83 broda. Trenutno najveći LNG brod ima kapacitet od 149 172 m^3, a najskuplji je onaj čija je gradnja koštala 290 milijuna dolara.

Tablica 2. Broj LNG brodova u pojedinim zemljama svijeta [7]

Belgija	1	Koreja	48
Finska	4	Nizozemska	1
Francuska	31	Norveška	7
Njemačka	2	Španjolska	6
Italija	4	Švedska	4
Japan	62	SADA-e	13

Iz tablice 2 vidljivo je da Japan i Koreja drže vodeću ulogu kada je u pitanju broj LNG brodova. Nakon njih, dolazi Francuska koja s 31 LNG brodom ima vodeću ulogu u Europi kada je u pitanju transpord ukapljenog plina. Najmanje, točnije jedan brod za transport ukapljenog plina imaju Belgija i Nizozemska.

Trgovina prirodnim pinom raste iz godine u godinu za oko 10%. Sukladno tome, narudžbe LNG brodova su u porastu. Prema knjizi narudžbe ove vrste broda, u 2005. godini je bilo naručeno 127 brodova (tablica 3).

Tablica 3. LNG brodovi prema knjizi narudžbe za 2005. godinu [7]

	Minimalno	**Maksimalno**	**Prosječno**
Kapacitet (m^3	2500	217000	153969
Cijena (milijuna USD)	150	260	188

Sukladno tablici 2., najviše brodova u 2005. godini je naručeno iz Koreje (91), potom iz Japana (30), a zatim iz Francuske (3), Kine (2) te Španjolske (1).

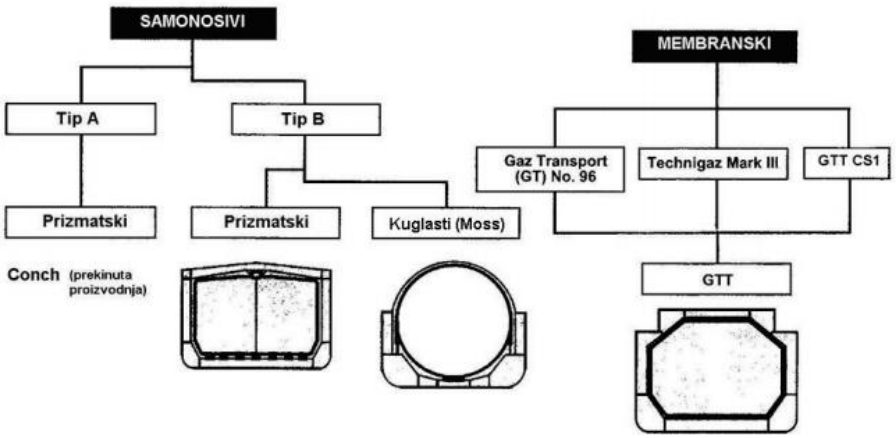
3.4. Spremnici plina na LNG brodovima i njihove značajke

Spremnici koji prevoze ukapljeni plin moraju imati sljedeća obilježja: [8]

- plinotijesnost - kako ne bi došlo do miješanja plina i zraka ili gubitka ukapljenog plina,
- toplinsku - izolaciju kako bi se onemogućilo zagrijavanje LNG-a, odnosno kako ne bi došlo do rashlađivanja rupa broda što može dovesti do kolapsa brodske strukture,
- čvrstoću - kako bi se podnio hidrostatski tlak LNG-a i mali pretlak koji nastaje u unutrašnjosti spremnika

Prilikom konstrukcije spremnika kojima se prevozi LNG posebna se pozornost treba obratiti na zapljuskivanje fluida u unutrašnjosti spremnika. Za vrijeme plovidbe, dolazi do nagiba broda i prenosa fluida unutar spremnika te udaranja o spremnikove stijenke. Na mjestima na kojima je došlo do udaranja, povećava se tlak koji može potom izazvati oštećenje stijenke. Sukladno tome, svaki spremnik prije nego što krene u transport, mora proći stroga ispitivanja vezana uz propuštanje i ćvrstoću. [9]

Razvojem industrije broj tipova spremnika za prijevoz ukapljenog plina se inducirao na dvije vrste, odnosno na: samonosivi neovisni i membranski spremnik. U nastavku rada, slika 5. prikazuje klasifikaciju spremnika u kojima se skladišti prirodno ukapljeni plin.



Slika 5. Klacifikacija spremnika za skladištenje prirodno ukapljenog plina [10]

Samonosivi, neovisni spremnici imaju težu i čvršću konstrukciju kako bi izdržali tlak prilikom prijevoza LNG-a. Mogu biti ili u obliku prizme ili kugle. „Samonosivi znači da stijenka spremnika u potpunosti preuzima opterećenja koja se unutar spremnika javljaju zbog tlakova, a neovisni znači da se grade neovisno o trupu broda i da trup broda služi samo za preuzimanje njihove težine.“ [8] Ova vrsta spremnika ima dva tipa: tip A i B. Spremnici tipa A su bili ugrađeni u Brodove „Methane Princess“ i „Methane Progress“, a gradnju je predvodila tvrtka Conch. Za vrijeme testiranja oba broda pojavio se problem isticanja LNG-a. Konstrukcija trećeg broda je bila u cjelosti promašena pa je došlo do prestanka izrade ovog tipa spremnika. Spremnici tipa B mogu biti kuglasti ili prizmatski. Oko ove vrste spremnika je, za razliku od tipa A, bio potreban samo djelomični zid zaštite oblika posude u kojoj se sakupljao ukapljeni plin ako bi došlo do isticanja.

Membranski izolacijski spremnici osiguravaju manju visinu brodova, manju površinu koja je izložena vjetru, veliku volumnu iskoristivost te manje troškove gradnje i cjelokupne investicije. Još jedna od prednosti membranskih spremnika je ta što brodovi opremljeni ovom vrstom spremnika imaju ravnu i slobodniju palubu koja više pogoduje instaliranju opreme. Sukladno navedenim prednostima, membranski spremnici dominiraju na tržištu LNG-e brodova, unatoč tome što ova vrsta spremnika zahtjeva detaljno proučavanje dinamike tekućine koja se nalazi u spremnicima. Membranski spremnici imaju glatku unutrašnjost koja je cijela obložena s visokokvalitetnim čelikom otpornim na hrđu, vrlo male debljine, a membrana je podložena sa posebnom dvostrukom toplinskom izolacijom. „Membranske je spremnike patentirala francuska tvrtke Gaz Transport & Technigaz (GTT) te se na tržištu LNG-izolacijskih sutava (i za pomorsku i za kopnenu primjenu) mogu naći u tri osnovne grupe: No96, Mark III i CS1.“ [3]

Slika 6. prikazuje karakteristike pojedinih vrsta spremnika.

	Membranski			Samonosivi	
	GTT Mark III	GTT No. 96	GTT CS-1	Kuglasti (Moss)	Prizmatski (tip B)
Oblik spremnika					
Stijenka spremnika	Nehrđajući čelik	Invar (36% nikla)	Invar (36% nikla)	Legura aluminija, nehrđajući čelik	Legura aluminija, čelik s 9% nikla
Debljina stijenke (mm)	1,2	0,7	0,7	50	10~25
Toplinska izolacija	Armirana poliuretanska pjena	Perlit	Armirana poliuretanska pjena	Poliuretanska pjena	Poliuretanska pjena
Debljina toplinske izolacije (mm)	250~350	470~550	250~350	250	250

Slika 6. Karakteristike pojedinih vrsta spremnika [8]

Prizmatski spremnici tip B u cijeloj trenutnoj svjetskoj floti se mogu naći kod samo dva broda (Polar Eagle i Arctic Sun). Ovi brodovi su stari 25 godina i plove na području Japana i Aljaske. Slitine aluminija i nehrđajući čelik su materijali od kojih su ovi spremnici načinjeni, a unutrašnjost spremnika čine krute pregrade. Jedna pregrada je podudarna s vodoravnom osi broda, dok je druga okomita i služi kako bi smanjila zapljuskivanje LNG-a za vrijeme plovidbe. Spremnik ima i bočne potpornje kojima se preuzima bočno opterećenje koje nastaje prilikom naginjanja broda. Za vrijeme utovaranja i istovaranja LNG-a, temperatura spremnika je promjenjiva, što se uzelo u obzir i za vrijeme konstruiranja pa je spremniku omogućeno opuštanje i stezanje. [10]

Brodovi koji imaju kuglaste (Moss) spremnike, zbog specifičnosti spremnikova oblika, nemaju u cjelosti iskorišten unutrašnji dio. To je negativna karakteristika ove vrste spremnika ako se gleda ekonomičnost prijevoza, ali postoje i pozitivne strane (primjerice vanjski pregled spremnika je jednostavan). Kuglasti (Moss) spremnici su načinjeni od čeličnih ploča koji imaju 9% nikla i ploča legure auminija, a stijenke su vrlo debele. Riječ je o samonosivim spremnicima dvostruke stijenke i središnjeg prstena kojim je osiguran integritet spremnika. Na prstenu se nalazi cilindar kojim se preuzima okomito opterećenje. Tplinsku izolaciju čine izolacijske ploče koje su napravljene od smole fenola i poliuretanske pjene. [8]

Tip spremnika GT No. 96 je načinjen od dvostrukog sloja šperpločnih sanduka koji u sebi imaju materijale potrebne za toplinsku izolaciju te 2 membrane načinjene od metala. Membrane služe kako bi onemogućile isticanje LNG-a. „Slojevi metala i šperploče se

izmjenjuju, tako da je primarna membrana u kontaktu s ukapljenim plinom, iza nje je sloj sanduka od šperploče, zatim sekundarna membrana, te na kraju drugi sloj sanduka od šperploče koji je pričvršćen za trup broda.“ [8]

Spremnici GTT Mark III su načinjeni od primarnih i sekundarnih membrana i toplotne izolacije. Raspored membrana i izolacijskih slojeva je identičan kao i kod tipa GT No. 96. Primarna membrana je naborana i od nehrđajućeg čelika dok se sekundarna membrana nalazi u unutrašnjosti izolacije, a čine ju folija od aluminija te fiberglasna vlakna. [10]

Tip spremnika CS- 1 projektiran je od strane tvrtke GTT, a po pitanju konstruiranja membranskih spremnika, nije donio ništa novo i revolucionarno. Ova vrsta spremnika je spoj obilježja spremnika Mark III. i No. 96.

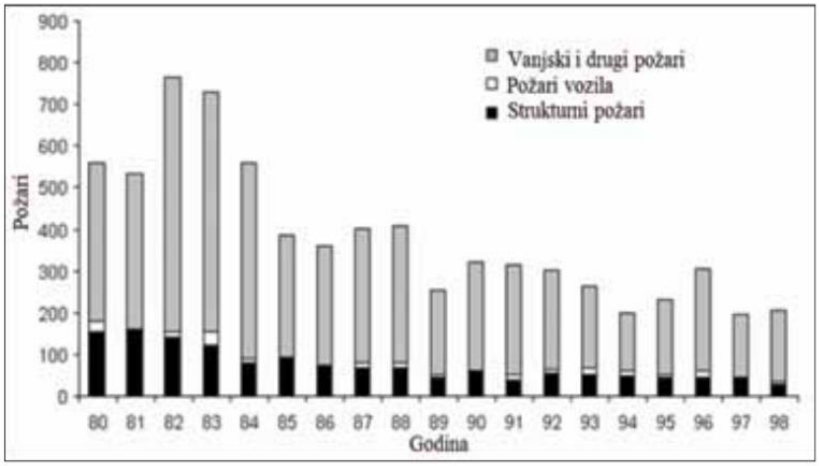
4. OPASNOSTI KORIŠTENJA LNG PLINA

Osim komercijalnih, pravnih i tehničkih aspekata, nositelji projekata terminala za LNG suočavaju se s brojnim izazovima koji prelaze te okvire, a odnose se na mogući stav javnosti vezan uz njihov utjecaj na okoliš i sigurnost. Sve zahtjevniji i kompleksniji regulatorni zahtjevi te brojna pitanja, imaju potencijal negativnog utjecanja na ostvarivanje pojedinih projekata za primjenu LNG-a. [11]

Ipak, u cijelom lancu ukapljenog prirodnog plina prisutna je visoka razina sigurnosti: od njegovog pridobivanja iz izvora, preko ukapljivanja, prijevoza tankerima, do uplinjavanja i konačnog puštanja u plinovode. Postrojenja za LNG su projektirana na način da osiguravaju pravilno korištenje odgovarajućih materijala koji mogu podnijeti kriogene temperature i proizvodni proces. Projektiranje objedinjuje identifikaciju i analizu potencijalnih opasnosti, kao i izradu scenarija za najgore slučajeve i ispuštanje LNG-a u okolicu. Industrija LNG-a smatra se jednom od najsigurnijih industrija na svijetu. [11]

4.1. Rizici korištenja prirodno ukapljenog plina

Podatci američkog nacionalnog udruženja za zaštitu od požara, NFPA (*National Fire Protection Association 2017*) ukazuju na činjenicu da u naftnim rafinerijama i LNG terminalnima godišnje izbije do 228 požara. Tako je u razdoblju od 1994. do 1998. godine prijavljeno 228 požara ili eksplozija na godinu. Jedna četvrtina tih požara bili su vanjski požari. Iako strukturni požari čine jednu petinu ukupnog broja požara, isti su uzrokovali više od polovice financijskih gubitaka. [12] Požari u rafinerijama nafte ili LNG terminalima prikazani su po godinama na slici 7.



Slika 7. Požari u rafinerijama nafte ili LNG terminalima po godinama [12]

U tekućem stanju ukapljeni plin nije opasan, osi u dužem izravnom kontaktu s ljudima i drugim živim organizmima zbog opasnosti od smrzavanja. Osim toga, niska temperatura kapljevine može prouzročiti oštećenje okolne konstrukcije i postrojenja. Ukapljeni plin se pri razlijevanju širi prostorom poput svake druge tekućine. U istom trenutku počinje isparavati u dodiru s toplijom okolinom. U dodiru s ukapljenim plinom površinski sloj zemlje smrzava se nakon dvije do tri minute i usporava hlapljenje, a proces teče ravnomjerno na vodi koja ima veću toplinsku provodljivost. U naročitom omjeru LNG-a i vode može doći do vrlo brze izmjene agregatnog stanja nalik eksploziji. [13]

„Kada se koncentracija plina u zraku nađe unutar određenih vrijednosti, na određenoj udaljenosti od mjesta istjecanja plina, plin postaje zapaljiv. Zapaljeni plin je gotovo nemoguće ugasiti te se mora ostaviti da postupno izgori. Pri tome ne postoji opasnost od detonacije prirodnog plina na otvorenom, dok je eksplozija kritične mješavine zraka i plina moguća u zatvorenim prostorima. Petrolejski plinovi su opasniji u tom smislu zbog dužeg perioda hlapljenja i zbog mogućnosti eksplozije zatvorenih spremnika kada su izloženi visokoj temperaturi. Konačno, plinovi su toksični i mogu uzrokovati gušenje uslijed nedovoljnog udjela kisika u zraku.“ [7]

Mjere sigurnosti kojima se umanjuje rizik rada s ukapljenim plinovima propisani su: [7]

- SOLAS[1] i MARPOL[2] konvencijama,

[1] SOLAS – International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974. Ova konvencija smatra se jednim od najvažnijih međunarodnih propisa koji se odnose na sigurnost pomorske trgovačke flote. Prvi put je usvojena 1914. g. nakon potonuća Titanic-a. Osnovni cilj konvencije je specificirati minimalne sigurnosne standarde

- pravilima klasifikacijskih društava,
- propisima luka i terminala,
- …

Kao što je ranije rečeno, prijevoz ukapljenog plina smatra se vrlo sigurnim, uz mali broj zabilježenih incidenata.

4.2. Opis opasnih fenomena

Kada oblak plina gori bez pojave značajnijeg pretlaka, tada nastaje bukteći požar. Oblak metana se može zapaliti ukoliko je koncentracija iznad donje granice zapaljivosti (5%), kao i ispod gornje granice zapaljivosti (15%). Smjesa ispod 5% (metan/zrak) se ne može zapaliti jer je presiromašna, a iznad 15% je pak prebogata pa se ni tada ne može zapaliti. Oblaci plina se mogu pak zapaliti na svom rubu, kada prilikom širenja kroz prostor naiđu na izvor paljenja. U tom slučaju nastaje vatrena fronta koja prolazi kroz zapaljivi oblak prema izvoru isparavanja, a ta vatrena fronta može doći do lokve LNG-a što u konačnici rezultira požarom lokve. Trajanje ovakvih požara je u suštini vrlo kratko. [14]

Donja granica zapaljivosti za prirodni plin je niža od donje granice zapaljivosti za metan jer donje granice zapaljivosti za ostale plinove koji se nalaze u smjesi prirodnog plina iznose: [14]

- 3,22% za etan,
- 2,37% za propan, te
- 1,86% za butan.

Gornja granica zapaljivosti pada s porastom udjela dušika, dok donja u principu ne ovisi o odjelu dušika. Na donju granicu zapaljivosti ne utječe ni promjena tlaka u području od 1 do 24 bar. Ipak, gornja granica zapaljivosti iznosi 39%, a pri 50 bar iznosi 52%.

konstrukcije, opreme i uvjeta korištenja broda u službi. Sadrži propise koji se odnose na nadzor različitih vrsta brodova, te opis dokumentacije i certifikata o udovoljenju tih propisa.

[2] MARPOL – International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, 1978. MARPOL je osnovna međunarodna konvencija o zaštiti morskog okoliša od zagađenja uzrokovanih korištenjem broda u službi (otpadne vode, otpad i dr.), te pomorskim nesrećama.

Da bi se izbjegao požar i smanjila požarna opasnost, potrebno je poduzeti sljedeće sigurnosne mjere:

- strogo su zabranjeni svi izvori zapaljenja u sigurnosnim zonama, te na onim udaljenostima koje su definirane konceptualnom analizom rizika;
- organizacija i obuka zaposlenika za gašenje požara - izbjegavanje pušenja i otvorenog plamena;
- sigurnosne barijere za požare i izlijevanja plina;
- procedure i upute za gašenje požara.

4.2.1. Požar lokve

U slučaju velikih izlijevanja, zrak ne može prenijeti dovoljno topline da dođe do brzog isparavanja LNG-a. To znači da će dio izlivenog LNG-a formirati lokvu, a kada se u blizini lokve nađe izvor zapaljenja (ako je koncentracija para LNG-a između donje i gornje granice zapaljivosti u zraku), tada može doći do zapaljenja tih para te u konačnici slijedi požar lokve. Dakle, do požara lokve može doći i nakon buktećeg požara. [15]

Toplinsko zračenje kod požara lokve može iznositi oko 200 kW/m^2 (osoba u zaštitnoj odjeći može podnijeti 12 kW/m^2 kratko vrijeme). [15]

Požar mlaza može se definirati kao zapaljen mlaz plina ili raspršene tekućine čiji je oblik u većoj mjeri određen uvjetima ispuštanja. Požari mlaza su karakteristični za ispuštanja plinova ili kondenzata iz visokotlačne opreme (kao što su primjerice visokotlačne pumpe, cjevovodi i sl.). Požar mlaza može nastati i kod ispuštanja tekućine pod tlakom koja sadrži otopljeni plin. Tipični uvjeti za ovu pojavu su tlakovi preko 2 bara.

Eksplozije se mogu dogoditi samo pod određenim uvjetima koji podrazumijevaju:

- zatvorene i zbijene prostore,
- ventilacijske kanale, te
- područja s mnogo prepreka (npr. razni objekti, procesna oprema i sl.).

Na otvorenom prostoru LNG izgara relativno sporo.

Slika 8. Požar lokve LNG-a [15]

4.2.2. Gušenje

Iako LNG nije toksičan, pare LNG-a mogu biti vrlo opasne zbog toga što je unutar oblaka smanjen udio kisika, što može rezultirati anoksijom, pa čak i smrtnim slučajevima. [15]

4.2.3. Kriogena temperatura LNG-a

S obzirom da je temperatura LNG-a vrlo niska (-161 °C), njegovo izlijevanje može rezultirati oštećenjima objekata i opreme kao i ozljedama osoba. [14]

Prilikom kontakta s tako izlivenim ukapljenim prirodnim plinom, materijali koji nisu namijenjeni za niske temperature postaju lomljivi, prilikom čega može doći i do ozljeda ljudske kože koja sliči termičkoj opekotini, tj. do tzv. hladne opekotine.

Također, moguće su i ozljede osjetljivih tkiva, očiju, ali i opekotine, ozebline i oštećenja pluća.

U kontaktu s tako ohlađenim metalima, ljudska se koža za njih može zalijepiti te otkinuti prilikom povlačenja.

4.3. Zaštita od požara i sigurnost

Prilikom pristajanja LNG tankera uz terminal zbog transfera kriogenog tereta, sustav detekcije i ESD (engl. *Emergency Shut Down*) sustav broda, kao i ti sustavi na terminalu, povezuju se kako bi djelovali kao integrirani sustav. Ukoliko dođe do opasnosti na brodu ili terminalu, tada će se oglasiti alarmni sustavi, a operacija ukrcaja ili iskrcaja bit će automatski zaustavljena. [16]

LNG brodovi i terminali imaju senzore za detekciju prirodnog plina i nedostatak kisika, a ostali senzori detektiraju promjene temperature. Toplinski senzori mogu aktivirati alarm u slučaju da izbije požar, a ostali će senzori niskih temperatura upućivati na ispuštanja LNG- a te uključiti alarm i ESD. [16]

Pretakačke ruke za ukrcaj ili iskrcaj LNG-a s terminala na brod i obrnuto, opremljene su napravama za brzo odspajanje u slučaju opasnosti, tzv. PERC (engl. *Powered Emergency Release Couplers*). Zadaća tih naprava je zatvaranje kugličnih ventila i odspajanje cjevovoda da ne bi došlo do većih oštećenja na terminalu i brodu. [16]

Senzorima se nadgleda i teret. Bilo koje povećanje ili smanjenje razine plina u spremnicima broda ili terminala, a da pumpe nisu u pogonu, znači ispuštanje te se aktivira alarm. [16]

Također, moguća je i ručna aktivacija sa strane broda ili terminala. [16]

Prilikom ispuštanja LNG-a, voda neće ugasiti požar. Kod ovakve vrste požara voda održava zapaljivi oblak plina dalje od izvora zapaljenja. Tako da kod ovakvih požara sredstva za gašenje su suha kemijska sredstva. [14]

Unutar terminala se koriste generatori pjene visoke ekspanzije da bi retencijski prostori prekrili slojem pjene, no pjena može smanjiti intenzitet požara ili količinu isparavanja, ali gašenje se postiže, dakle, suhim kemijskih sredstvima. [14]

Ako se radi o zapaljenju manjih izlijevanja LNG-a, u ovisnosti o okolnostima, postoji mogućnost da se dopusti nadzirano potpuno izgaranje. Protupožarnim sustavima moraju biti opremljeni i tegljači, a na terminalima i brodovima mora se provoditi opsežna obuka. Terminali moraju imati opsežni plan u slučaju opasnosti, te periodičke i godišnje vježbe kako bi se provjerila učinkovitost obuke. [14]

Na svim LNG terminalima mora se osigurati zaštita od požara. Opseg te zaštite određuje se na temelju procjene koja se bazira na: [14]

- načelima zaštite od požara,
- analizi lokalnih uvjeta i
- analizi samih opasnosti na terminalu.

Također, u tu je procjenu potrebno uključiti vanjske utjecaje na terminal, ali i utjecaje terminala na svoje okruženje. Takvom se procjenom moraju odrediti: [14]

- vrsta, količina i lokacija opreme potrebne za detekciju i kontrolu potencijalnih požara koji nisu uzrokovani samim procesom na terminalu ili su uzrokovani električnom energijom;
- vrsta, količina i lokacija opreme za detekciju i kontrolu požara, ispuštanja i izlijevanja LNG-a, te zapaljivih rashladnih sredstava ili drugih zapaljivih plinova;
- metode potrebne za zaštitu opreme i objekata izloženih požarima;
- sustavi za zaštitu od požara koji uključuju vodu;
- sustavi za gašenje i druga oprema za kontrolu požara;
- vrsta i lokacija senzora za automatsku aktivaciju ESD sustava ili njegovih podsustava;
- sva oprema i procesi koji će se povezati s ESD sustavom, uključujući analizu podsustava te utvrđivanje potrebe za ispuštanjem tlaka iz određenih tlačnih posuda ili druge opreme za vrijeme požara;
- dostupnost i dužnosti pojedinih zaposlenika terminala te dostupnost vanjskih službi u slučaju izvanrednih stanja;
- osobna zaštitna oprema, posebna obuka i kvalifikacije za pojedine zaposlenike terminala.

4.3.1. ESD sustav i ESD sklopka

Svi LNG terminali moraju biti opremljeni ESD sustavom. Kada je aktiviran, ESD sustav izolira ili isključuje izvore LNG-a, zapaljivih tekućina ili plinova te zapaljivih rashladnih sredstava. Zadaća tog sustava je isključiti svu onu opremu čiji bi daljnji rad mogao dodatno ugroziti terminal u slučaju opasnosti. [14]

ESD sustav mora biti *fail- safe* ili tako postavljen, lociran, odnosno zaštićen kako bi se smanjila mogućnost njegovog otkazivanja u slučaju opasnosti. ESD sustavi koji nisu projektirani kao *fail-safe*, trebaju imati sve komponente koje su locirane unutar 15 m od opreme koju kontroliraju, izvedene na jedan od sljedećih načina: [14]

- postavljene ili locirane tako da ne mogu biti izložene vatri;
- zaštićene od otkazivanja uzrokovanog požarom u trajanju od najmanje 10 min.

Na terminalu moraju biti postavljene upute koje sadrže podatke o lokaciji i načinu uporabe ESD sustava. Aktivacija tog sustava može biti ručna, automatska ili kombinirana (ručna/automatska), što ovisi o prethodno spomenutoj procjeni. Ručni uređaji za aktivaciju moraju biti postavljeni tako da su dostupni u slučaju opasnosti, a moraju biti udaljeni najmanje 15 m od opreme koju isključuju. Isto tako, moraju biti jasno obilježeni i to u skladu s njihovom funkcijom. [14]

Prilikom ukrcaja ili iskrcaja, ESD sklopka štiti teretni sustav na brodu i na kopnu. To je poveznica putem koje se na siguran način, ručno ili automatski, prekida rad s broda ili kopna. Na taj način prekida se protok LNG-a i pare gašenjem pumpi i kompresora, kao i zatvaranjem manifolda i brodskih ventila. [17]

Slika 9. ESD gumb [18]

4.3.2. Kontrola požara i ispuštanja

Nužno je nadziranje (adekvatnim sustavima detekcije, sukladno procjenama) svih područja terminala kod kojih postoji mogućnost požara, pojave zapaljivih koncentracija plinova ili izlijevanja zapaljivih tekućina. Od izuzetne je važnosti da se postrojenje neprekidno nadzire sustavima detekcije zapaljivih plinova i nisko-temperaturnim senzorima s audio signalizacijom koja mora biti na mjestima na kojima se stalno nalaze zaposlenici. Audio i video signalizacija koja mora biti sadržana na sustavima detekcije moraju imati najmanje 25% donje granice zapaljivosti. „Detektori požara moraju aktivirati alarm na terminalu ili lokaciji na kojoj su stalno prisutni zaposlenici. Isto tako, detektori požara mogu, ako je tako utvrđeno procjenom, aktivirati pojedine dijelove ESD sustava.“ [14]

4.3.3. Sustavi zaštite od požara i gašenje vodom

Opskrba vodom, sustav distribucije i korištenja vode primjenjuje se:

- za zaštitu od izloženosti,
- za hlađenje spremnika, opreme, cjevovoda, te
- za kontrolu neupaljenih ispuštanja i izlijevanja.

Projektiranjem ovog sustava, uključujući njegov distribucijski dio, nužno je osigurati neprekidnu opskrbu vodom za stabilne sustave sukladno njihovom projektiranom protoku i tlaku. [14]

4.3.4. Gašenje požara i druga oprema za kontrolu požara

Prijenosni, odnosno prijevozni vatrogasni aparati za gašenje pojedinih požara moraju biti dostupni svim lokacijama koje su utvrđene procjenom. Što se tiče osiguranja, izbora i održavanja takvih aparata, ono se vrši prema važećoj zakonskoj regulativi, tj. pravilniku. Aparati na prikolicama se ne smiju koristiti u druge svrhe, a vatrogasna vozila moraju ispunjavati uvjete koje su propisane pravilnikom. Motorna vozila terminala moraju imati najmanje jedan aparat za gašenje požara prahom. Također, bitno je napomenuti da zaposlenici moraju pripremiti i implementirati program održavanja za svu opremu za gašenje požara na terminalu. [14]

4.3.4. Osobna sigurnost

Na terminalu mora biti stalno dostupna i spremna osobna zaštitna odjeća koja pruža zaštitu od učinaka LNG-a. Zaposlenici koji su uključeni u aktivnosti vezane za vanredna stanja moraju biti opremljeni odgovarajućom osobnom zaštitnom opremom za vatrogasce. Osim toga, moraju se pripremiti pisane procedure namijenjene za zaštitu zaposlenika od opasnosti koje mogu nastati u zbijenim ili posebno opasnim prostorima. Stalno moraju biti dostupna najmanje tri prenosiva detektora zapaljivih plinova, a nužno je i da se osigura i sigurnosni sustav koji onemogućava ulazak neautoriziranih osoba. [14]

Na svim LNG terminalima mora postojati zaštitno ograđivanje koje uključuje: [14]

- periferne ograde,
- zidove ili
- prirodne barijere.

Navedeno zaštitno ograđivanje mora okruživati određene dijelove terminala kao što su: [14]

- spremnici LNG-a,
- spremnici zapaljivih rashladnih sredstava,
- spremnici zapaljivih tekućina,
- spremišta ili skladišta ostalih zapaljivih tvari,
- procesnu opremu na vanjskom prostoru,

- procesne objekte i kontrolnu opremu,
- obalna postrojenja za ukrcaj i iskrcaj.

„Na mjestima gdje ograđeno područje prelazi 116 m^2 moraju se osigurati najmanje dvoja izlazna vrata koja omogućavaju brzi izlazak zaposlenika u slučaju opasnosti. Zbog povećanja sigurnosti, terminali moraju biti osvijetljeni u blizini svih ograđenih mjesta ili drugih područja gdje je to potrebno.“ [14]

4.3.5. Ručno ispuštanje tlaka

U slučaju opasnosti, iz sigurnosnih razloga moguće je primijeniti ručno ispuštanje tlaka. Ono mora biti proizvedeno tako da se smanji utjecaj na zaposlenike i opremu. [12]

5. ZAKLJUČAK

Pregledom svega navedenog, dolazi se do zaključka kako će u bliskoj budućnosti plin energent sa sigurnošću preuzeti vodeću ulogu u usporedbi s naftom. Potražnja za plinom sve više raste, a očekuje se i daljnje povećanje potražnje prirodnog plina. Sve veća potražnja dovodi i do sve veće potrebe za transportom i to na daleke udaljenosti. Upravo je ukapljeni plin jedan od najboljih načina prijevoza plina, a način na koji se transportira je vrlo siguran budući da nije zabilježen veći broj nesreća. Ratom potražnje raste i ponuda plina, odnosno sve više zemalja diljem svijeta počinje ulagati u nove tehnologije i koncepte gradnje terminala za ukapljeni plin. Sukladno tome, u svijetu je broj terminala ovog tipa iz godine u godinu sve veći jer su mnoge zemlje prepoznale jednostavnost i ekonomičnost terminala LNG-a u usporedbi s klasičnim terminalima za prihvat prirodnog plina. Terminali za prihvat ukapljenog plina su manji te manje utječu na okoliš.

Vrlo važnu ulogu prilikom transporta prirodno ukapljenog plina imaju brodovi i spremnici u kojima se plin prevozi. Brodovi za prijevoz LNG-a imaju dvostruko dno, a klasifikacija ovisi o vrsti spremnika. Izrada takvih brodova je iznimno složena i zahtjeva preciznu analizu i dobro razumijevanje brodske konstrukcije i spremnika koji se u njima nalaze. Iako je prijevoz prirodnog plina pomoću cjevovodi povoljniji, upravo ta dostupnost dovodi so sve većeg razvoja industrije LNG-a.

Iako se industrija LNG-a smatra jednom od najsigurnijih na svijetu, podatci američkog nacionalnog udruženja za zaštitu od požara ukazuju na činjenicu da u naftnim rafinerijama i LNG terminalima godišnje izbije do 228 požara.

Prilikom projektiranja terminala potrebno je razmotriti brojne faktore koji utječu na sigurnost, kao što su: sigurna pozicija terminala s obzirom na pomorski promet i druge industrijske grane, izvori zapaljenja, veličina brodova i njihov privez, sigurna dubina mora, sigurnosni i alarmni sustavi, istakačke ruke i njihova sigurnost, komunikacija s brodom, povrat para, sustav dušika, sustav detekcije, sigurnosni ventili, informacijski sustavi, meteorologija, seizmička aktivnost, sustavi check-lista i procedura, otpuštanja u slučaju nužde i drugo. Također, važno je osmisliti optimalni i ekonomski najprihvatljiviji smještaj objekata, procesne opreme, strojeva i uređaja, kao i zaposlenika terminala i drugih osoba. Svi sustavi,

procedure i oprema, uključujući i projektiranje, usko su povezani s protupožarnom zaštitom. Kako bi bila moguća protupožarna zaštita, izuzetno je važno poznavati karakteristike LNG-a, opasnih scenarija do kojih može doći prilikom skladištenja, promjene agregatnog stanja, uporabe, izlijevanja, ispuštanja i zapaljenja. Incidentima kao što su požari LNG-a je moguće upravljati, odnosno mogu se riješiti samo ako su osnovna svojstva dobro shvaćena. Protupožarna zaštita ovakvih terminala obuhvaća procjenu rizika, projektiranje, korištenje adekvatnih komponenata i opreme, sigurnosnih sustava, njihovu propisnu ugradnju, osobnu sigurnost, procedure i mjere, a tokom eksploatacije servisiranje i održavanje.

Cilj protupožarne zaštite nije samo zaštita osoba i materijalnih dobara, već i okruženja terminala. Kvalitetno osmišljena i implementirana protupožarna zaštita je garancija sigurnog i uspješnog rada, ali i dugoročnog napretka LNG terminala.

LITERATURA

[1] Bronzan, B. (1999): *LNG*. Zagreb: Energetika marketing

[2] Popović, M. (2015): Skladištenje i transport prirodnog plina i naftinih plinova u spremnicima [završni rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje

[3] Zalar, M., Vladimir, N. (2018): Plutajući LNG-terminal: pregled osnovnih tehničkih problema radi sigurnog osnivanja, instalacije, eksploatacije i održavanja [stručni rad].

[4] Zafranović, E. (2008): Nova generacija brodova za prijevoz ukapljenog [diplomski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje plina

[5] Stričević, M. (2012): Znate li koja je prirodno najbogatija zemlja svijeta?. URL: https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/znate-li-koja-je-prirodno-najbogatija-zemlja-svijeta-20120729/print

[6] Prirodni plin – ukapljeni plin (Liquefied natural GAS – LNG). URL: http://www.izvorienergije.com/ukapljeni_prirodni_plin.html

[7] Rudan, S. (2006): Sigurnost konstrukcije spremnika na brodovima za prijevoz ukapljenog plina. [doktorska disertacija]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje plina

[8] Posavec, D., Simon, K., Malnar, M. (2010): Brodovi za ukapljeni prirodni plin. Rudarsko-geološko-naftni zbornik. Vol.22, str. 55-62

[9] Shin, Y., Kim, J. W., Lee, H., Hwang, C. (2003): Sloshing Impact of LNG Cargoes in Membrane Containment in the Partially Filled Condition. Proceedings of The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. Houston: American Bureau of Shipping

[10] Huang, S., Chiu, C., Elliot, D. (2007): LNG: Basics of Liquefied Gas. Austin: The University of Texas at Austin

[11] Pavlović, D. (2014): *Postrojenja za ukapljeni prirodni plin – sigurnost prije svega!*. URL: https://www.researchgate.net/publication/264361734_Postrojenja_za_ukapljeni_prirodni_plin_-_Sigurnost_prije_svega

[12] NFPA, URL: https://www.nfpa.org

[13] Lindborg, E., Johansson, A., Eaton, J., Humphrey, J., Kasagi, N., Leschziner, M., Sommerfeld, M. (2001): „In Turbulence and Shear Flow Phenomena“, *2nd International Symposium*. KTH Stockholm, Sweden, June 27-29, 2001; vol.2, pp.329-334

[14] Klobas, V., Kršulja, M. (2017): „Protupožarna zaštita kod LNG terminala.“ *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, vol.7.no.2., str.29.-42.

[15] DNV GL (2014): *LNG Operations Manual, Safety, Security Assessment & Operational Planning for LNG Fueled Ferries,* Report No.: PP061307-3, Rev. 3 Document No.: 167NWYK-12., URL: https://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/4005A4B9-A12D-42C2-B17B-C765846A67F8/101974/PP061307LNGOperationsManualrev3.pdf

[16] gCaptain, URL: https://gcaptain.com

[17] Vukman, D. (2013): *Značajke planiranja ukrcaja tereta na LNG brodovima* [diplomski rad]. Rijeka: Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci

[18] Witherby Seamanship International Ltd, (2008): *LNG Shipping Knowledge: underpinning knowledge to the SIGTTO 2005 standards*. Livingston: Witherby Seamanship, vol.3. str. 29.

POPIS SLIKA

Slika 1. Eksploatacijski lanac LNG-a
Slika 2. Plutajući LNG terminal – moguće primjene
Slika 3. Krivulja potrošnje svjetske primarne energije od 1982.
Slika 4. Zalihe plina u svijetu
Slika 5. Klacifikacija spremnika za skladištenje prirodno ukapljenog plina
Slika 6. Karakteristike pojedinih vrsta spremnika
Slika 7. Požari u rafinerijama nafte ili LNG terminalima po godinama
Slika 8. Požar lokve LNG-a
Slika 9. ESD gumb

POPIS TABLICA

Tablica 1. Svojstva prirodno ukapljenog plina
Tablica 2. Broj LNG brodova u pojedinim zemljama svijeta
Tablica 3. LNG brodovi prema knjizi narudžbe za 2005. godinu