Prikaz logističkih aktivnosti prihvatnih UPP terminala

Rudić, Toni

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:996425

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

TONI RUDIĆ

PRIKAZ LOGISTIČKIH AKTIVNOSTI PRIHVATNIH UPP TERMINALA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 25. travnja 2017.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4011

Pristupnik: **Toni Rudić (0135236000)**
Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika
Smjer: Logistika

Zadatak: **Prikaz logističkih aktivnosti prihvatnih UPP terminala**

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti najvažnije značajke tehnologije UPP, te analizirati vrste UPP terminala. Isto tako potrebno je prikazati logističke aktivnosti prihvatnih UPP terminala, najznačajnije UPP rute i svjetske uvozne i izvozne točke UPP-a uz popratni primjera.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

dr. sc. Tomislav Rožić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PRIKAZ LOGISTIČKIH AKTIVNOSTI PRIHVATNIH UPP TERMINALA

DISPLAY OF LOGISTICS ACTIVITIES ON RECEIVING LNG TERMINALS

Mentor: dr. sc. Tomislav Rožić

Student: Toni Rudić

JMBAG: 0135236000

Zagreb, rujan 2017.

SAŽETAK

Ukapljeni prirodni plin (UPP) predstavlja veliku važnost u današnjem svijetu zbog njegove energetske vrijednosti i ekološke prihvatljivosti. Terminali za UPP postali su vrlo značajne prometne i logističke točke koje mnogo utječu na strukturu energetske bilance svake razvijene zemlje. Od njih se očekuje visok stupanj pouzdanosti, rad bez otkaza, odnosno rad unutar granica dozvoljenih odstupanja u cijelom zadanom vremenu trajanja, s visokim stupnjem sigurnosti. Integralnim pristupom logistička podrška vrši analizu i sintezu dobivenih podataka pojedinih podsustava identificira eventualna odstupanja te sukladno njima vrši korektivne radnje, odnosno na osnovu povratnih informacija vrši prevenciju budućih odstupanja te dovodi do visokog stupnja pouzdanosti terminala. Također, cilj integralne logističke podrške je razvoj novih tehnologija i njihove implementacije u svrhu poboljšanja zahtijevanih operacija terminala.

KLJUČNE RIJEČI: Ukapljeni prirodni plin; integralna logistička podrška; terminali za prihvat ukapljenog prirodnog plina.

SUMMARY

Liquefied natural gas is of great importance in today's world due to its energy value and ecological acceptability. Terminals for liquefied natural gas have become very significant traffic and logistics points that greatly affect the structure of the energy balance of each developed country. They are expected to have a high degree of reliability, work without fail, or work within the limits of permissible deviations around a given time period, with a high degree of safety level. Integrated approach provides communication with the entire system in real time, managing engineering services and technical activities for collecting data and analysis, synthesis of information obtained by subsystems, identify any deviations and performs them in accordance with corrective action, or on the basis of feedback made prevention of future deviations and leads to a high degree of reliability of the terminal. Also, purpose of integral logistical support is in the development of new technologies and their implementation in order to improve the required terminal operations.

KEYWORDS: Liquefied natural gas; integrated logistics support; liquefied natural gas import terminals.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OPĆENITO O TEHNOLOGIJI UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA 2
2.1. Proizvodnja ukapljenog prirodnog plina 3
2.2. Tehnologija ukapljivanja prirodnog plina 7
2.3. Brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina 9
2.3.1. Povijest brodova UPP-a 9
2.3.2. Sustavi prijevoza UPP-a 12
2.4. Tehnike prekrcaja UPP-a 14
2.5. Najznačajnije plovne rute UPP-a 16
3. VRSTE TERMINALA UPP-a 19
3.1. Odobalni/Off shore terminali 19
3.2. Prihvatni terminali UPP-a 22
3.2.1. Glavni sustavi i strukture prihvatnih terminala 24
3.2.2. Pomoćni sustavi prihvatnih terminala 29
3.2.3. Prateće strukture/građevine na prihvatnim terminalima 32
4. LOGISTIČKA PODRŠKA PRIHVATNIH UPP TERMINALA 34
5. ZAKLJUČAK 40
LITERATURA 41
POPIS SLIKA 43
POPIS TABLICA 44
POPIS GRAFIKONA 45

1. UVOD

Ukapljeni prirodni plin[1] (UPP) zadnjih desetljeća, u Europi i svijetu pobuđuje veliku pozornost stručnjaka i znanstvenika. Zbog njegove energetske vrijednosti i ekološke prihvatljivosti, potrebe gospodarstva za tim energentom postale su značajna stavka ekonomske politike te posebice prometne politike mnogih zemalja.

Na strukturu energetskog sustava razvijenih zemalja bitno utječu nalazišta prirodnog plina. Vlastita nalazišta plina kao i potrebe za uvozom i potrošnjom plina značajno utječu na skladištenje i prijevoz plina kopnenim i pomorskim putem.

Terminali za ukapljeni prirodni plin postali su vrlo značajne prometne i logističke točke koje mnogo utječu na strukturu energetske bilance svake razvijene zemlje. Posebno se to odnosi na zemlje koje imaju komparativne prednosti kada su u pitanju nalazišta i prijevoz plina. Svaki od prihvatnih terminala UPP u osnovi je sačinjen od istih komponenti, no svaki od njih ima specifično projektno rješenje koje ovisi o instaliranom kapacitetu i načinu rada terminala, a sukladno njemu veličini i broju spremnika UPP, broju pristana i kapacitetu prekrcajne instalacije.

Integralnom logističkom podrškom tehničkog sustava prihvatnog terminala za ukapljeni prirodni plin upravlja se inženjerskim i tehničkim aktivnostima. Te aktivnosti mogu se podijeliti na: programsku fazu projektiranja, dizajniranja i razvoja, koordinaciju tijekom izgradnje te ispitivanje-testiranje i analiza dobivenih podataka, kao i podršku tijekom cijelog životnog vijeka terminala u vidu održavanja tehničkog sustava, uspostavljanja veza unutar sustava kao i sustava s okolinom, praćenja proizvodnog ciklusa, protoka materijala, oprema te potrebnih kadrova sukladno operativnim zahtjevima terminala. Također, cilj integralne logističke podrške je i razvoj novih tehnologija i njihove implementacije u svrhu poboljšanja zahtijevanih operacija terminala.

Rad obrađuje tematiku prikaza logističkih aktivnosti na prihvatnim terminalima za ukapljeni prirodni plin. U početnoj fazi rada će se detaljno opisati značenje ukapljenog plina, te će biti prikazani glavni uvoznici i izvoznici te način ukapljivanja UPP-a. U istom poglavlju prikazani su najznačajniji brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina i najznačajnije plovne rute.

U trećem poglavlju objasniti će se razlika između prihvatnih i odobalnih terminala za ukapljeni prirodni plin i njihove najznačajnije funkcije. U četvrtom poglavlju analizirana je uloga logističke podrške prihvatnih terminala za ukapljeni prirodni plin koja daje analizu mogućnosti te rješenja tehničkih i operativnih zahtjeva u svrhu preventivnog djelovanja i sigurnosti terminala . U zaključku će biti sistematiziran cjelokupni završni rad.

[1] U daljnjem tekstu UPP

2. OPĆENITO O TEHNOLOGIJI UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Ukapljeni prirodni plin (UPP) je prethodno pročišćen i obrađen prirodni plin procesom likvefakcije[2]. Na temperaturama ispod -162˚C, prelazi u tekuće stanje, ujedno smanjujući svoj volumen 600 puta. Skladišti se i transportira se u kriogenim uvjetima (pri niskim temperaturama), na atmosferskom tlaku. Bistra je, nekorozivna, neotrovna tekućina, bez boje, mirisa i okusa[3].

Ukoliko ukapljeni prirodni plin (UPP) isparava u zatvorenom prostoru bez ventilacije (prelazeći iz tekućeg u plinovito stanje, prirodni plin), pri visokoj koncentraciji može, poput svih plinova, izazvati gušenje zbog nedostatka kisika.

Gustoća UPP-a iznosi 45% gustoće vode, pa ako dođe do izlijevanja u vodu UPP pluta na površini i brzo isparava, formirajući jasno vidljivi bijeli oblak koji vrlo brzo, izmiješan i razrijeđen sa okolnim zrakom, odlazi u atmosferu. Ispareni UPP predstavlja opasnost samo u određenom rasponu koncentracije u zraku, koji se kreće od 5-10%[4]. U tom rasponu zasićenosti je, uz postojanje i izvora iskre ili otvorenog plamena, moguće zapaljenje. Kod veće zasićenosti od 10% (npr. u spremniku), zbog premale koncentracije kisika, ili kod manje od 5%, zbog premale količine metana, odnosno bez izvora iskre ili otvorenog plamena – zapaljenje nije moguće.

Usporedba s drugim energentima (ukapljeni naftni plin 2,1%-9,5%, benzinske pare 1,3% - 6%) pokazuje da je donja granica zapaljivosti isparenog UPP-a općenito viša nego kod ostalih goriva. To znači da će biti potrebna veća količina para UPP-a (u zadanom prostoru) da dođe do zapaljenja[5].

Temperatura samozapaljenja kod metanskih para nastalih isparavanjem UPP-a, kad mješavina goriva i zraka iznosi oko 10 posto metana u zraku (na sredini granice zapaljivosti od 5-15 posto) i kod atmosferskog tlaka, iznosi 540°C. Takva izuzetno visoka temperatura zahtjeva jak izvor toplinskog zračenja, topline ili vruće površine.

U percepciji UPP-a kao opasnog energenta zaboravlja se da je UPP prirodni plin (samo u drugom agregatnom stanju) kojeg, uvažavajući njegova kemijska i fizikalna svojstva, koristimo na bazi svakodnevnog već dugi niz godina, kako u kućanstvu tako i u industriji, prometu[6].

Budući da UPP zauzima samo 1/600 dio volumena prirodnog plina u plinovitom stanju, to stanje je pogodno za transport u tankerima po cijelom svijetu[7]. Terminal za ukapljeni plin je

[2] Likvefakcija-pretvaranje plinova u tekućinu pri vrlo niskim temperaturama i povišenom tlaku
[3] Lopac A.A.: Sigurnosni aspekti transporta LNG-a, prirodnog plina u ukapljenom stanju, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb, 102-107, 2008.
[4] Ibidem
[5] Ibidem
[6] Ibidem
[7] http://www.izvorienergije.com/ukapljeni_prirodni_plin.html

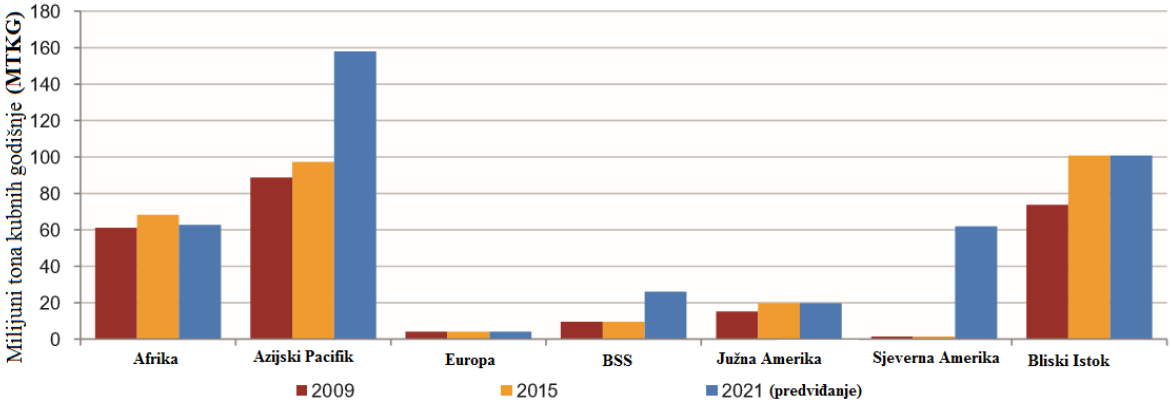
postrojenje za punjenje odnosno pražnjenje tankera koji prevoze taj energent. Tankeri za prijevoz UPP-a mogu biti dugi i preko 300 metara, a minimalna dubina vode mora biti više od 12 metara kad su potpuno puni. Također ti tankeri moraju imati dvostruku oplatu i specijalno su dizajnirani da podnose niske temperature UPP-a.

Nakon primanja u terminalu UPP se obično prebacuje u izolirane spremnike konstruirane specijalno za spremanje UPP-a. Ti spremnici moraju održavati nisku temperaturu tekućine i moraju minimizirati količinu isparenog plina. Ovo isparivanje je obavezno jer bi u protivnom tlak i temperatura u spremniku rasli. Temperatura unutar spremnika će ostati nepromijenjena ako se pritisak regulira ispuštanjem plinske pare. Ispušteni plin se može skupljati i koristiti kao gorivo u pogonu za prekrcaj i spremanje UPP-a. Tankeri koji prevoze UPP mogu taj ispušteni plin koristiti kao gorivo. Iako spremnici plina mogu biti i na površini, najčešće se koriste podzemni spremnici koji moraju zadovoljavati dvije osnovne karakteristike: moraju čuvati UPP za buduću upotrebu i moraju imati dobar sustav otpreme plina (ventili, kompresori…). Prirodni plin se često sprema u obliku UPP-a i u udaljenim postrojenjima, a ne samo na terminalima. Prije eksploatacije energije iz UPP-a potrebno ga je zagrijati tako da postane upotrebljiv za kuhanje, grijanje te proizvodnju električne energije[8].

2.1. Proizvodnja ukapljenog prirodnog plina

Grafikon (1) prikazuje rast i predviđanje proizvodnje kapaciteta UPP-a u periodu od 2009. do 2021. Jasno se vidi da će se tržište UPP-a odvijati na relaciji Azija-Srednji Istok, dok Sjeverna Amerika ima najveći porast proizvodnje. Vidljivo je da u Europi nema značajnih promjena, te će ostati i dalje nekonkurentna sa ostalim dijelovima svijeta[9].

Na grafikonu (1) prikazan je trend proizvedene količine UPP-a.



Grafikon 1: Trend proizvedene količine UPP-a u MTKG[10]

Izvor: http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report (07.04.2017.)

[8] Ibidem
[9] Ibidem
[10] MTKG-milijuni tona kubnih godišnje

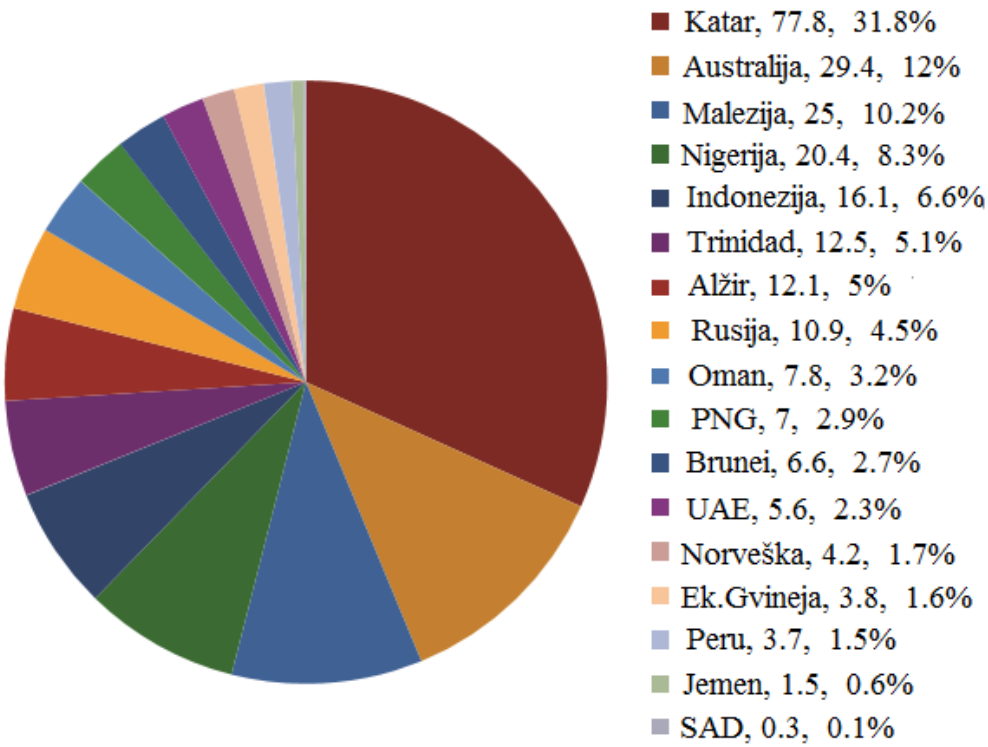
Izvoz UPP-a na razini svijeta za 2015. godinu

S izvozom od 77,8 milijuna tona kubnih[11](MT), Katar je zadržao svoj status najvećeg izvoznika UPP-a, koji drži zadnjih deset godina. Zemlja broji samo jednu trećinu globalne opskrbe UPP-om. Po prvi puta, Australija je pretekla Maleziju te postala drugi najveći izvoznik na svijetu, sa 29,4 MT. Iako obje zemlje imaju više novih projekata u izgradnji, australski projekti su veći po broju i kapacitetu. Drugdje u Aziji i Pacifiku, izvoz se također povećao, potaknut povećanjem ponude na novim projektima (PNG, Donggi-Senoro u Indoneziji), što je dodatno povećalo 3,8 MT[12].

Najveći pad izvoza u 2015. godini došao je iz Jemena, gdje je politička nestabilnost uzrokovala da Jemen padne na ljestvici najvećih izvoznika UPP-a. U Atlantskom bazenu, nekoliko proizvođača također je bilo suočeno s padom proizvodnje, prvenstveno zbog problema sirovine. Nakon Jemena, Trinidad je pokazao drugi najveći gubitak godinu za godinom[13](YOY) (-1,9 MT), dok je Alžir imao manji ali još uvijek značajan gubitak od 0,4 MT. U Angoli su tehničke poteškoće u tvornici Skikda dovele do zatvaranja objekta u travnju 2014. na dulje razdoblje. Tvornica je izvezla samo pet tereta u 2014. godini (0,3 MT), a očekuje se da će se vratiti na mrežu sredinom 2016. godine[14].

Samo tri od osam izvoznika Atlantskog bazena pokazali su rast proizvodnje u 2015. godini. Nigerija je povećala proizvodnju za 1 MT, održavajući dosljedno izvoz, čak i pred problemom sabotaže plinovoda. Slično tome, Norveška je povećala proizvodnju za 0,6 MT[15].

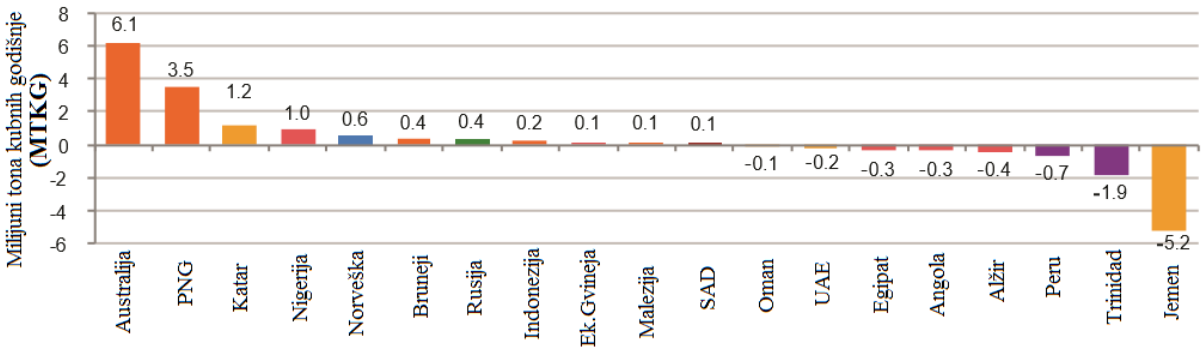
[11] U daljnjem tekstu MT
[12] http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report
[13] U daljnjem tekstu YOY
[14] Ibidem
[15] Ibidem



Grafikon 2: Prikaz najvećih izvoznika UPP-a u MTKG i njihov tržišni udio u %

Izvor: http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report (04.07.2017.)

Najveće povećanje izvoznih količina UPP-a nakon Australije zabilježila je Papua Nova Gvineja (PNG) koja je u odnosu na 2014. godinu povećala svoje izvozne kapaciteta za 3,5 MT. Najveći pad u izvezenim količinama zabilježio je Jemen koji je zbog nestabilne političke situacije u travnju 2015. godine zatvorio svoja postrojenja. U odnosu na 2014. zabilježen je pad izvoza od 5,2 MT (grafikon 3). Drugo najveće smanjenje izvoznih količina od 1,9 MT ima Trinidad i Tobago[16].



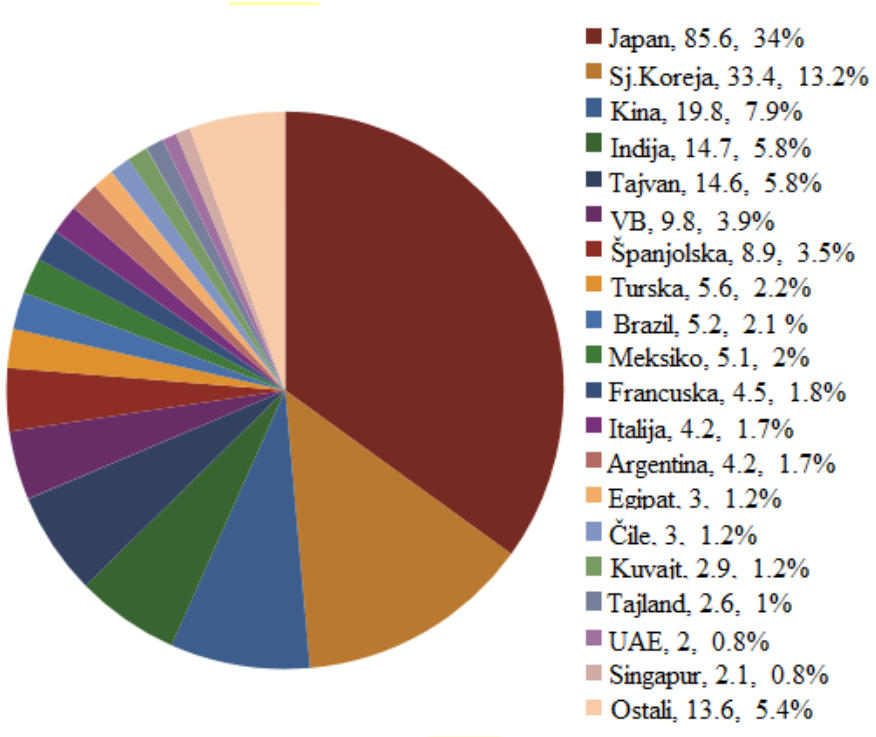
Grafikon 3: Promjene izvezenih količina UPP-a 2015.godine u odnosu na 2014.godinu

Izvor: http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report (10.07.2017.)

[16] Ibidem

Uvoz UPP-a na razini svijeta za 2015. godinu

Za razliku od pada broja izvoznika, broj uvoznika rastao je u 2015. godini pojavom novih tržišta. Prije svega to su Jordan, Pakistan, Poljska i Egipat. Od 2015. Egipat osim izvoza postaje i uvoznik UPP-a u Africi, čime se povećao broj zemalja uvoznika u Africi na 33. Iako je azijski Pacifik i dalje daleko najveće tržište u 2015. (139,8 MT), također je pokazao i najveći pad (-5,1 MT). Japan je najveće tržište u regiji (i na globalnoj razini), a slijede ga Južna Koreja i Tajvan. Nakon što je Europa postala drugo najveće tržište UPP-a u 2014. godini, Azija je ponovno pala na treće mjesto u 2015. godini. Kina, Indija i Pakistan uvezli su kombinirano 35,6 MT, nešto manje od 15% svjetske trgovine. Europski uvoz iznosio je 37,5 MT. Nakon Europe, druga i treća najveća potražnja potječu iz regija u nastajanju: Afrika i Bliski Istok[17].

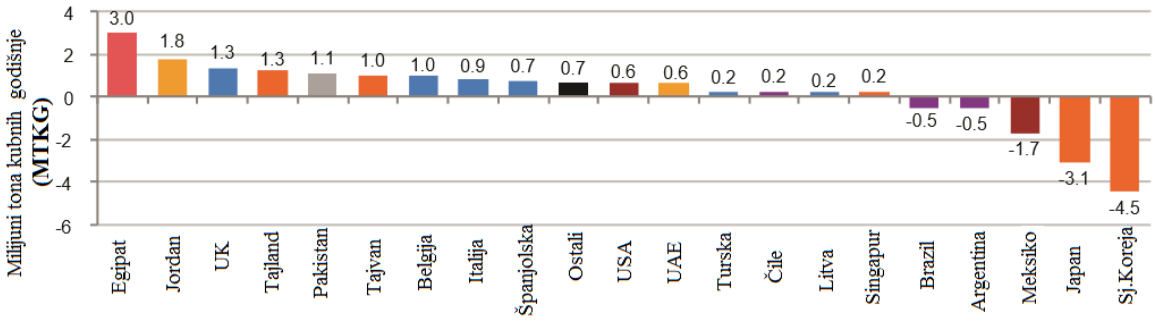


Grafikon 4: Prikaz najvećih uvoznika UPP-a u MTKG i njihov tržišni udio u %

Izvor: http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report (04.07.2017.)

Najveće povećanje uvoznih količina UPP-a nakon Egipta zabilježio je Jordan koji je u odnosu na 2014. godinu povećao svoje uvozne kapacitete za 1,8 MT .Iako su u 2015. godini i dalje predstavljali dva najveća uvoznika UPP-a u svijetu, Južna Koreja i Japan su ujedno i zemlje s najvećim padom uvoza UPP-a u odnosu na 2014. godinu. Južna Koreja je smanjila uvoz za 4,5 MT dok je Japan svoj uvoz smanjio za 3,1 MT u odnosu na 2014. godinu (grafikon 5). Smanjenje uvoza u Japanu uzrokovano je pokretanjem prve nuklearne elektrane nakon 2013. godine[18].

[17] Ibidem
[18] Ibidem



Grafikon 5: Promjene izvezenih količina UPP-a 2015.godine u odnosu na 2014.godinu

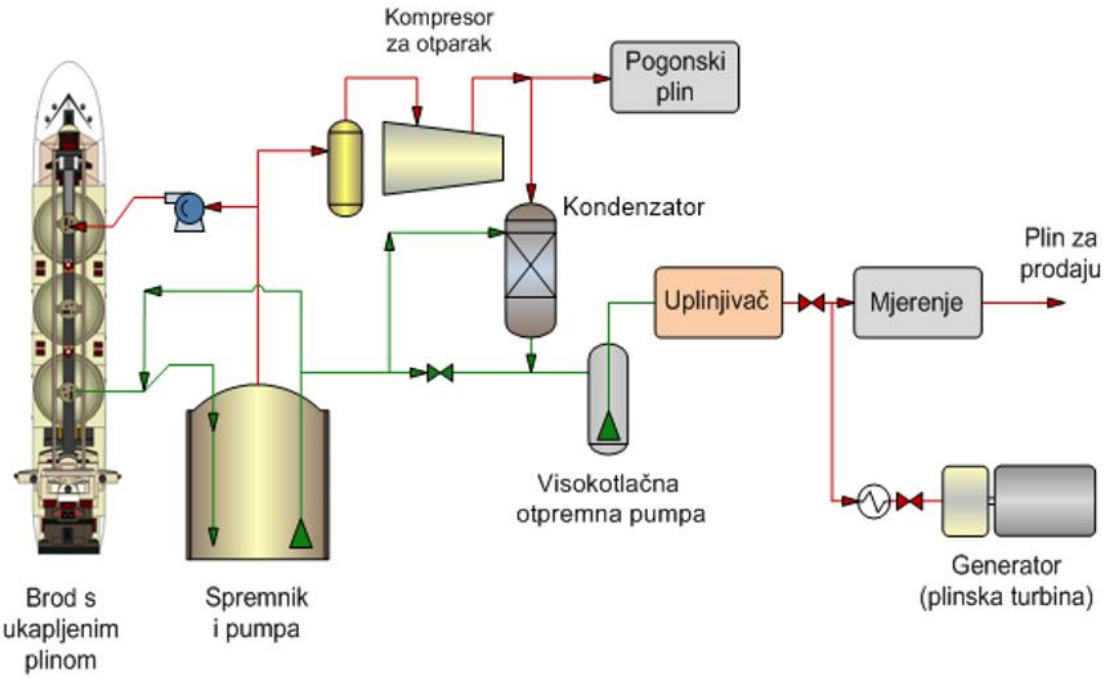
Izvor: http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report (10.07.2017.)

2.2. Tehnologija ukapljivanja prirodnog plina

Ukapljivanje UPP-a započinje dolaskom broda za prijevoz UPP-a na lokaciju terminala. UPP se brodskim pumpama iz brodskih spremnika pretače u spremnike za skladištenje pomoću dvije do tri gibljive cijevi za pretakanje (engl. *loading arms*). U spremnicima je UPP pohranjen na približno atmosferskom tlaku i temperaturi od -162°C. Svaki spremnik je opremljen s nekoliko uronjenih centrifugalnih pumpi, smještenih unutar posebne kolone, kojima se skladišteni UPP neprekidno otprema u kondenzator kontroliranom dobavom. Pumpe su uronjene u UPP i nalaze se pri dnu spremnika, a motor, osovina, ležajevi i sve ostale komponente su potpuno poplavljeni UPP-om (slika 1**)**. Pumpe, koje se ponekad nazivaju i primarne pumpe, imaju tipičnu dobavu od 200 do preko 400 m^3/h. Otpremni tlak im je relativno nizak, oko 8 bara ili manje, ovisno o radnom tlaku kondenzatora. Zbog toga zahtijevaju samo jedan ili dva stupnja pumpanja. Uglavnom se koriste dvije ili tri primarne pumpe po svakom spremniku, ovisno o ukupnim dobavnim zahtjevima i potrebom za pričuvnim kapacitetom. Ponekad su spremnici opskrbljeni s rezervnim kolonama u koje se mogu smjestiti dodatne pumpe u slučaju potrebe za nadogradnjom. Iz kondenzatora, gdje se odvija separacija kapljevine i otparka, UPP ulazi u visokotlačne otpremne pumpe (sekundarne pumpe), gdje mu se tlak povećava na oko 100 bara. Ove pumpe ostvaruju sav potreban tlak za otpremu plina u plinsku mrežu, čime je izbjegnuta potreba za stlačivanjem plina. Zbog tako visokog radnog tlaka, u pravilu se koriste paralelno raspoređene višestupanjske centrifugalne pumpe. Pod tlakom od 100 bara UPP ulazi u uplinjivač gdje, zbog izmjene topline, prelazi u plinovito agregatno stanje. Pritom mu se volumen poveća 600 puta te se takav uplinjeni prirodni plin može otpremati u plinsku mrežu. Ukoliko je potrebno, na izlazu iz terminala se može obaviti podešavanje sastava i ogrjevne vrijednosti plina te odorizacija plina kako bi se zadovoljile specifikacije plinovoda. Prije otpreme u plinsku mrežu, plin prolazi kroz mjernu stanicu, gdje se mjere isporučene količine plina. Shematski prikaz procesa ukapljivanja (na slici 1). U razdobljima kada se na pristaništu terminala ne nalazi brod za transport UPP-a, odnosno kada nema pretakanja UPP-a (engl. *holding mode*), sporedni tok UPP-a s izlaza iz pumpi cirkulira kroz gibljive cijevi za pretakanje. Svrha toga postupka je održavanje sustava za pretakanje u pothlađenim uvjetima. Sporedni tok

UPP-a odvodi toplinu iz vodova za pretakanje i ponovno se spaja s glavnom strujom UPP-a te odlazi u kondenzator, ili se vraća u spremnik.

Iako su svi dijelovi terminala kroz koje prolazi UPP kvalitetno izolirani, određena količina okolne topline ipak prodire kroz izolaciju i dovodi do isparavanja manjeg dijela UPP-a, odnosno nastaje otparak. Dio energije pumpi također se pretvara u toplinu, što dovodi do isparavanja UPP-a, pa se tako najveća količina otparka stvara pri pretakanju UPP-a s broda. Dio otparka, volumetrijski ekvivalentan brzini pretakanja, vraća se na brod preko vodova za povrat otparka. Preostali otparak se tlači posebnim kompresorima za otparak na oko 8 bara, te se šalje u kondenzator, gdje se ukapljuje i vraća u sustav kao UPP. Rukovanje otparkom je veoma bitno, najprije zbog komercijalne vrijednosti samog otparka, a zatim i eliminacije nepotrebnog ispuštanja otparka u atmosferu ili spaljivanja na baklji, što može biti zabranjeno lokalnim propisima zaštite okoliša. Tijekom poremećaja ili naglih zaustavljanja procesa te gibanja UPP-a unutar spremnika zbog različitih gustoća pošiljaka UPP-a, može doći do stvaranja velikih količina otparka, koje nadmašuju kapacitet kompresora. U tim iznimnim situacijama, otparak se ispušta u atmosferu kroz povišeni odušni dimnjak ili preusmjerava na baklju, gdje se spaljuje zbog sigurnog zbrinjavanja. Iz navedenog se može zaključiti da je uplinjavanje UPP-a prilično jednostavan proces izmjene topline. No rukovanje tekućim ugljikovodicima pod tako niskim temperaturama zahtijeva visoko specijaliziranu opremu za rad u kriogenim uvjetima i detaljne programe obuke radnika, da bi rad na terminalu bio uhodan i siguran[19].



Slika 1: Shematski prikaz procesa ukapljivanja UPP-a

Izvor: Huang, S., Chiu, C-H., Elliot, D.: LNG: Basics of Liquefied Natural Gas, University of Texas, Continuing Education, Petroleum Extension Service, Austin, 2007.

[19] Gregorić, V.: Skladištenje i uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina, Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2013.

2.3. Brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina

U daljnjem tekstu obradit će se povijest UPP brodova, vrste brodova za prijevoz UPP-a, tehnike prekrcaja UPP-a i najznačajnije plovne rute UPP-a.

2.3.1. Povijest brodova UPP-a

Prvi komercijalni transport UPP-a dogodio se u veljači 1959. godine. To je bio prijevoz na UPP brodu "Metan Pioneer" (kapaciteta 5000 m^3) od Lake Charles u SAD-u do Canvey Islanda u Velikoj Britaniji. Nakon "Methane Pioneer" slijedili su brodovi "Methane Princess" i "Methane Progress" (svaki kapaciteta 27400m^3) koji su prvi put korišteni u veljači 1962.

"Metan Princess" se prestao koristiti 1997. godine, nakon 27 godina korištenja, a ne zbog stanja broda, nego zbog činjenice da korištenje takvog starog broda nije isplativo.

Prvi komercijalni ugovor za uvoz UPP-a u Japan potpisan je 1967., a nakon toga Japan je postao vodeća snaga u uvozu UPP-a. Do danas, Japan ostaje najveći uvoznik s ukupnim uvozom jedne trećine svjetskog UPP-a.

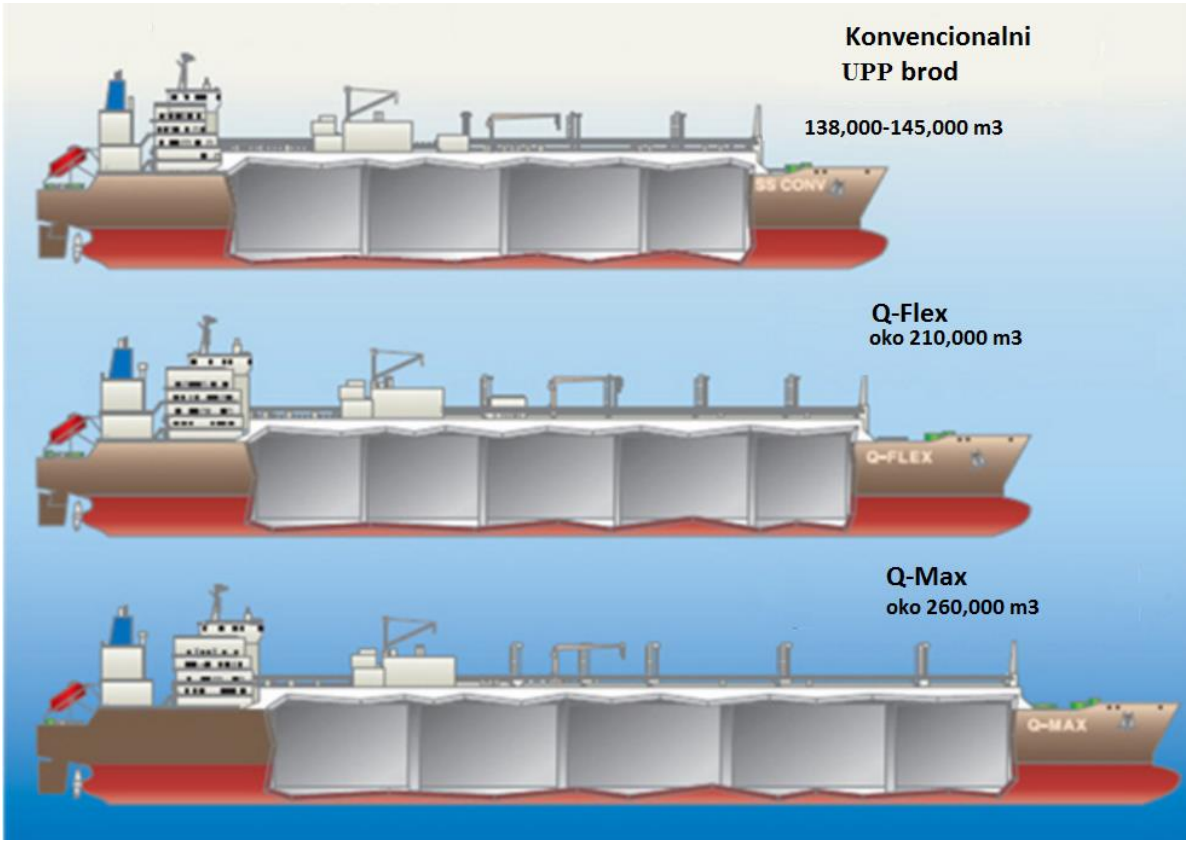
Nakon prvog nosača, napravljeno je novo istraživanje koje je dovelo do opće podjele UPP brodova u dvije velike skupine. Membranski brodovi (stvoreni tijekom suradnje, a potom i sjedinjavanjem dviju francuskih tvornica (Technigaz i GTT) i sfernih UPP brodova (Kvaerner - Moss).

Od sredine 1970-ih veličina UPP brodova standardizirana je između 125.000 m^3 i 138.000 m^3.

Do 2000. godine broj UPP brodova bio je relativno konstantan, oko 120 brodova. Nakon toga, došlo je do velikog porasta i proširenja kapaciteta brodova UPP-a. Danas svijetom plovi 285 UPP brodova. Veličina i kapacitet također su povećani, a danas se koriste takozvani Q-max (260000 m^3) i Q-flex (215000m^3) brodovi.[20] Suvremeni konvencionalni brodovi imaju nosivost između 138.000-145.000 m^3. UPP brodovi su se kroz povijest oslanjali na parni UPP kao gorivo za pogon plinskih turbina za vrijeme putovanja. Noviji brodovi, kao što su Q-Flex i Q-Max, koriste dizelsko gorivo te imaju sposobnost ukapljivanja i pretvaranja ishlapljenog plina natrag u UPP.[21]

Slika (2) prikazuje različite veličine suvremenih UPP brodova.

[20] http://www.pomorskodobro.com/en/short-history-of-lng.html
[21] https://www.ihrdc.com/els/po-demo/module15/mod_015_02.htm



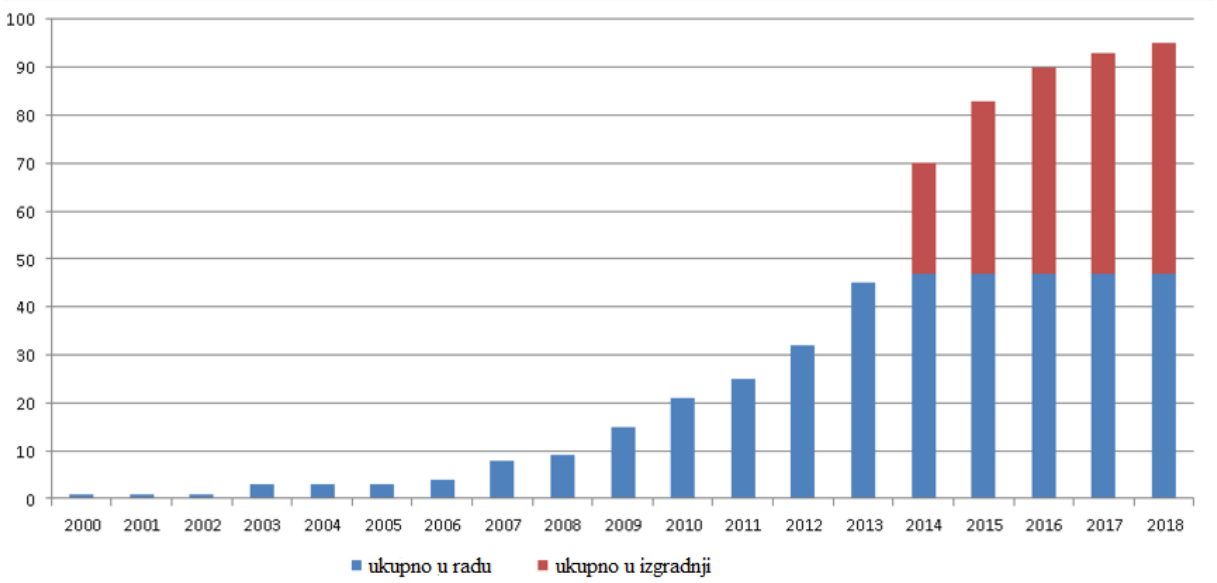
Slika 2: Prikaz različitih veličina suvremenih UPP brodova

Izvor: https://www.ihrdc.com/els/po-demo/module15/mod_015_02.htm (24.04.2017.)

Danas, dominantni tipovi brodova za prijevoz UPP-a su brodovi koji čine 57% svih plovila u službi, zbog činjenice da UPP brodovi imaju motore s dvostrukim gorivom te mogu koristiti uhlapljeni plin i lož ulje za pružanje energije na brodu.[22]

Broj brodova s UPP-om na globalnoj razini i dalje je ograničen. Statistički podaci iz 2014. godine pokazuju operativnu flotu od 47 brodova s, a još je potvrđeno da će se do kraja 2018. godine izgraditi 48 brodova. To podrazumijeva udvostručenje flote u razdoblju između 2013.-2018.[23]

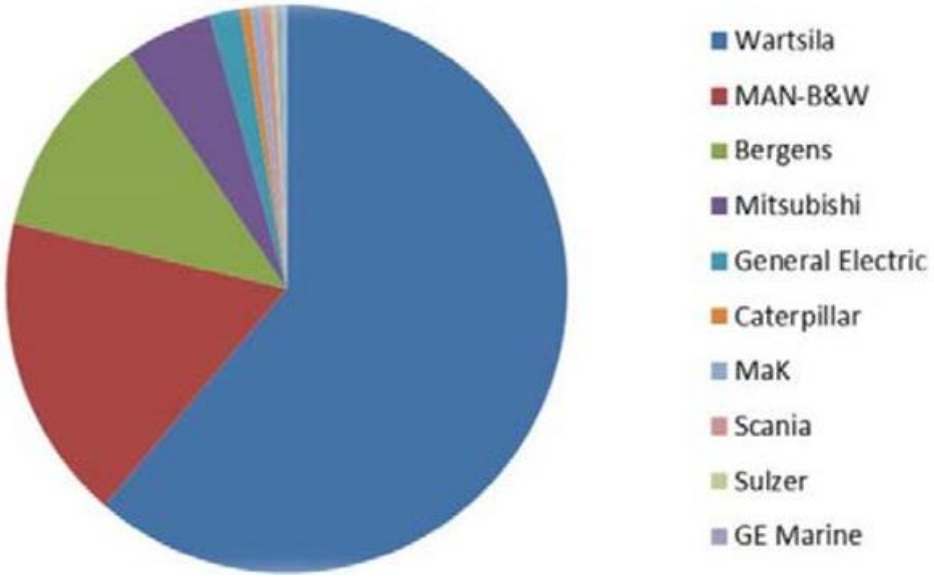
[22] Calderón M., Illing D., Veiga J.: Facilities for bunkering of liquefied natural gas in ports, Transportation Research Procedia, vol.14, p.2431-2440, 2016.
[23] http://www.lngbunkering.org/lng/vessels/existing-fleet-orderbooks



Grafikon 6: Razvoj flote brodova za prijevoz UPP-a

Izvor: http://www.lngbunkering.org/lng/vessels/existing-fleet-orderbooks (11.07.2017)

Wärtsilä, MAN i Rolls-Royce su glavni proizvođači dizel motora s dvostrukim gorivom koji mogu raditi na UPP-u ili destilatima. Na grafikonu (7) prikazani su najznačajniji proizvođači brodova za prijevoz UPP. Može se primjetiti da Wärtsilä (61%), MAN (17%) i Bergens (11%) čine tri četvrtine ukupnog udjela.[24]



Grafikon 7: Najveći proizvođači UPP brodova

Izvor: Calderón M., Illing D., Veiga J.: Facilities for bunkering of liquefied natural gas in ports, Transportation Research Procedia, 14, 2431-2440, 2016.

[24]Calderón M., Illing D., Veiga J.: Facilities for bunkering of liquefied natural gas in ports, Transportation Research Procedia, 14, 2431-2440, 2016.

2.3.2. Sustavi prijevoza UPP-a

Tijekom povijesti prijevoza UPP-a morem bilo je jako puno pokušaja, novih projekata i ideja za način prijevoza i izradu brodova za prijevoz UPP-a. No u zadnjih nekoliko godina iskristalizirale su se dvije osnovne vrste brodova za prijevoz UPP:

1. brodovi sa sfernim tankovima i
2. membranski brodovi[25].

Brodovi za prijevoz UPP-a sa sfernim tankovima (Kvaerner-Moss sustav)

Prvi brod za prijevoz UPP sa sfernim tankovima tzv. Kvaerner-Moss sustav bio je "Norman Lady" (87 600 m^3) porinut u more 1973. godine u Stavangeru u Norveškoj.

Iako su prvi brodovi imali tankove od 9% nikal-čelika, ta tehnologija ubrzo je zamijenjena aluminijskim tankovima[26]. Aluminijski tankovi pokazali su se otporniji na mehanički stres, pucanja, te ih je lakše pravilno oblikovati u sferu. Glavna karakteristika sfernih tankova je ekvatorijalni prsten na kojem tank "visi". Najveća mehanička i termička opterećenja upravo su na "ekvatoru". Taj dio strukture broda mora biti sposoban apsorbirati defleksije samoga trupa broda s jedne strane te termička i mehanička opterećenja tanka s druge strane. Tankovi su najčešće izolirani s nekoliko različitih slojeva od kojih su neki: staklena vuna, aluminijska "folija" (paro propusna) te razne ekspanzijske pjene. "Skladište" u kojemu se nalazi tank smatra se sekundarnom barijerom i taj prostor je obično inertan ili pod suhim zrakom.

Do 2000. godine 54 % svih brodova za prijevoz UPP bilo je ovoga tipa i to prije svega jer su japanska brodogradilišta imala licencu za izgradnju samo ovih vrsta brodova, a kako su ujedno i Japanci najveći uvoznici UPP-a to je bio jedan od načina da se uđe u ovo vrlo bogato tržište. Danas su membranski brodovi prestigli po broju sferne. Jedna od budućih prednosti sfernih tankova biti će za terminale koji će se nalaziti u polarnome području (Rusija)[27].

Slika (3) prikazuje brod za prijevoz UPP-a sa sfernim tankom.

[25] http://www.pomorskodobro.com/vrste-lng-brodova.html
[26] Ibidem
[27] Ibidem



Slika 3: UPP brod sa sfernim tankom

Izvor: http://plovidba.me/index.php/2013-10-17-05-47-21/novosti-iz-svijeta/2002-predstavljamo-vam-lng-tankere-najsavremenije-i-najskuplje-teretne-brodove-danasnjice (07.04.2017.)

Brodovi za prijevoz UPP-a s membranskim tankovima (GTT tehnologija)

GTT tehnologija predstavlja dva osnovna tipa membranskih brodova i u novije vrijeme, nakon ujedinjenja 1994. godine između Gaz Transporta i Technigaz-a, dolazi treći tip membranskih brodova.

Dva osnovna koncepta GTT tehnologije nazivaju se Mark III i No.96 sustav, treći je kombinacija oba, te mu je i ime prikladno CS I (*combine system one*). Membranski brodovi razvili su se tijekom šezdesetih godina prošloga stoljeća, oba koncepta koriste tanku fleksibilnu metalnu "membranu" koja je u dodiru s teretom. Sustav ima karakteristike sendviča gdje teret pritišće membrane.[28]

Slika (4) prikazuje membranski brod za prijevoz UPP-a.

[28] Ibidem



Slika 4: Membranski UPP brod

Izvor: http://plovidba.me/index.php/2013-10-17-05-47-21/novosti-iz-svijeta/2002-predstavljamo-vam-lng-tankere-najsavremenije-i-najskuplje-teretne-brodove-danasnjice (07.04.2017.)

2.4. Tehnike prekrcaja UPP-a

U daljnjem tekstu obradit će se procesi ukrcaja i iskrcaja UPP-a s posebnim osvrtom na suvremene tehnike prekrcaja kao što su: ukrcaj i iskrcaj UPP-a, ukrcaj tereta s pothlađivanjem, "Off shore pumpe" za ukrcaj, pothlađivanje tokom plovidbe i iskrcaj tereta.

Ukrcaj i iskrcaj UPP-a

Ako se teret puni u tankove koji su pod inertnim plinom ili zrakom, potrebno je, ako je moguće, omogućiti održavanje vakuuma u tankovima. Zbog strogih mjera zaštite okoline u većini luka, nije moguće održavanje tankova za vrijeme punjenja, pa će vakuumiranjem tankova prije početka punjenja količina inertnog plina koja se pušta biti znatno manja. Ako su tankovi pod vakuumom, treba početi ukrcaj preko mlaznica na vrhu tanka, kako bi se pothladila struktura tanka[29].

Ukrcaj tereta s pothlađivanjem

Ukrcaj započinje postepenim pothlađivanjem tankova kako bi se što više smanjila termička naprezanja materijala od kojeg su tankovi izgrađeni. Tekućina tereta dovodi se na mlaznice na vrhu tanka gdje se raspršuje u finu maglu, ravnomjerno pothlađujući na taj način zidove tanka. Nakon što se temperatura zida snizi do potrebnog nivoa, postepeno se otvara ventil na glavnom cjevovodu za punjenje, a zatvara ventil za mlaznice, usmjeravajući na taj način protok tekućine na dno tanka. Istovremeno brodski kompresori sisaju paru iz tankova, ukapljuju ih u kondenzatoru i nakon ekspanzijskog ventila vraćaju u tank.

Prilikom ukrcaja iz polupothlađene instalacije ili instalacije pod pritiskom, stupanj hlađenja zavisi od kapaciteta kompresora i temperature produkta koji se ukrcava. Na visokoj temperaturi okoline kada je pritisak u obalnom tanku iznad pritiska na koji je podešen sigurnosni ventil

[29]http://plovidba.me/index.php/2013-10-17-05-47-21/novosti-iz-svijeta/2002-predstavljamo-vam-lng-tankere-najsavremenije-i-najskuplje-teretne-brodove-danasnjice

brodskog tanka, potrebno je smanjiti količinu prekraja, kako bi pritisak u brodskom tanku bio ispod pritiska otvaranja sigurnosnog ventila.

"Off shore pumpe" za ukrcaj

Za prijenos UPP-a i drugih kriogenih proizvoda sa kopna na brod visokim stupnjem pouzdanosti i poboljšane sigurnosti, dizajnirana je i razvijena dosad tehnički najdotjeranija vrsta opreme, "*Marine Loading Arm*". *Marine Loading Arm* je moguće u potpunosti kontrolirati pomoću daljinskog upravljanja. Radni pritisak joj je od -0,3 bara do 30 bara, a radna temperatura do -162°C[30].

Pothlađivanje tokom plovidbe

Pošto ukapljeni plinovi u tankovima isparavaju, da bi se pritisci i temperature održali unutar dozvoljenih granica, brodsko postrojenje mora raditi i tokom plovidbe. Kompresori crpe pare iz tankova preko izmjenjivača u kome se griju strujom iz kompresora, pritiskaju ih, ukapljuju u kondenzatoru i tekući plin se vraća u tank. Povrat ukapljenog plina u tank ide preko mlaznica na vrhu tanka, čime se ispareni plin zalijeva hladnom tekućinom, te se na taj način smanjuje temperatura tereta, odnosno smanjuje isparavanje.

Posebnu pažnju treba posvetiti sprječavanju ulaska tekućine u kompresor, posebno ako nije ugrađena oprema za odvajanje. To je naročiti problem za vrijeme lošeg vremena odnosno ljuljanja broda, zbog čega često treba isključiti kompresore. Ako se kondenzat vraća istovremeno u više tankova, ili ako se pare usisavaju iz više a vraćaju u jedan tank, moraju se redovno kontrolirati nivoi tekućine i poduzimati potrebne radnje da ne dođe do prepunjenja pojedinih tankova. Loše vremenske prilike uzrokuju valjanje broda i tereta, pa se može dogoditi da tekućina dođe na usis kompresora.

Iskrcaj tereta

Brodovi za prijevoz UPP iskrcavaju teret pomoću centrifugalnih pumpi koje mogu biti "*deepwell*" ili horizontalne centrifugalne, kao i kombinacija ova dva tipa. Bez obzira na vrstu pumpe, početna količina tekućine dolazi na usis pumpe i ta količina se zove "neto pozitivna količina usisa" ili NPKU. Pritisak u tanku zavisi od temperature tekućine i naziva se pritisak zasićenja tekućine za određenu temperaturu. Međutim, da bi se dobila potrebna količina tekućine na usisu pumpe, mora postojati dodatni pritisak ili nad-pritisak.

Prije početka ukrcaja tereta potrebno je pothladiti cjevovod i pumpe. Ukoliko na brodu ne postoje uronjene pumpe u tankovima, onda se iskrcava pritiskanjem tankova, da bi se tekući teret doveo na usis *booster* pumpe.

Na slici (5) prikazan je iskrcaj UPP-a na prihvatni terminal.

[30] Ibidem



Slika 5: Iskrcaj UPP-a na prihvatni terminal

Izvor: http://plovidba.me/index.php/2013-10-17-05-47-21/novosti-iz-svijeta/2002-predstavljamo-vam-lng-tankere-najsavremenije-i-najskuplje-teretne-brodove-danasnjice (07.04.2017.)

Cjevovodom parne faze dovode se pare pod određenim pritiskom u tankove i potiskuju tekućinu tereta na usis *booster* pumpe, koja pritiska teret cjevovodom tekuće faze na obalu. Ako na obalnom postrojenju ne postoji cjevovod parne faze, ili se iz bilo kojeg razloga ne može koristiti, tada se iskrcava pritiskanjem tankova parama tereta, koje se dobivaju isparivanjem tereta u isparivaču. Kompresor crpi ovako dobivene pare i pod pritiskom ih vraća u tank mimoilazeći kondenzator, a tekućina iz tanka dolazi na usis *booster* pumpe, kojom se prekrcava na obalu.

Tokom iskrcaja tereta iz potpuno pothlađenog postrojenja, kompresor mora raditi punim kapacitetom i s najmanje 50% kapaciteta u toku plovidbe.

Kada je brod ukrcao teret za iskrcaj na potpuno pothlađenom postrojenju, kompresor mora raditi u toku plovidbe i kod pristajanja u luci iskrcaja. Ako je ukupna količina protoka manja od polovine planirane za sve pumpe koje rade, onda jednu, ili čak dvije, pumpe treba isključiti. Kad kod je moguće, jedan tank treba isprazniti prije ostalih[31].

2.5. Najznačajnije plovne rute UPP-a

Uz kratkoročnu potražnju koja slabi na sjeveroistoku Azije, također slabi i potražnja na duge relacije za jednokratnim putovanjem u 2015.godini. Trgovina je tradicionalno provedena na regionalnoj osnovi, uz fiksne rute, iako je brzo širenje UPP trgovine tijekom proteklog desetljeća popraćeno povećanjem divertifikacije trgovačkih putova. Međutim, 2015. godina je prva godina kada je ukupni volumen prevezenog UPP trgovine porastao, a broj putovanja smanjen. Taj inverzni odnos sugerira da je regionalna trgovina porasla, osobito u Pacifičkom

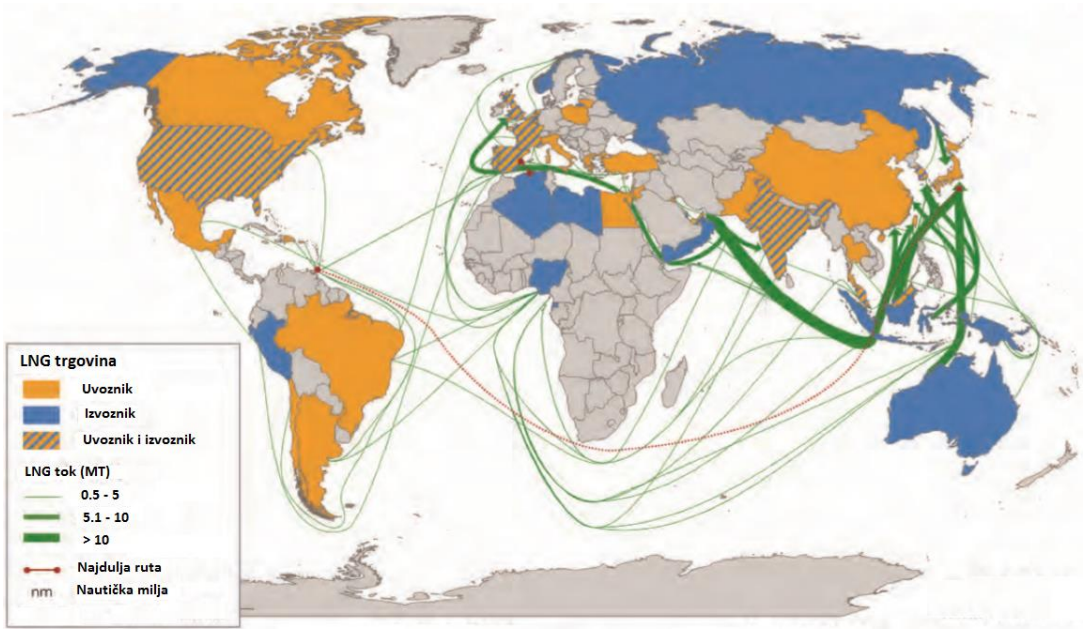
[31] Ibidem

bazenu s početkom izlaska Australskih količina na tržište. Unatoč ulasku novih uvoznika i izvoznika s kombinacijom rasta fleksibilnosti destinacija i većim kratkoročnim razmjenama, povećanje trgovine srednje Pacifičkog bazena dovelo je do koncentracije na regionalnoj trgovini, a potražnja za količinom na relaciji Atlantik-Pacifik pala je za 17%[32].

Prema grafikonu (2) u poglavlju (2.1) prikazani su najveći proizvođači UPP-a na svijetu. Navedeni proizvođači su ujedno i najveći izvoznici UPP-a na svijetu, pa se prema tome mogu definirati najznačajnije rute prijevoza UPP-a.

Na slici (6) prikazani su najvažniji uvoznici i izvoznici UPP-a, te najznačajnije rute prijevoza UPP-a. Kao najznačajnije rute u prijevozu UPP-a za 2015. godinu mogu se navesti[33]:

- Malezija – Japan s godišnjim prometom od 36.2 MT UPP-a
- Katar – Japan s godišnjim prometom od 31.1 MT UPP-a
- Katar – Španjolska s godišnjim prometom od 27.9 MT UPP-a
- Australija – Japan s godišnjim prometom od 25.7 MT UPP-a

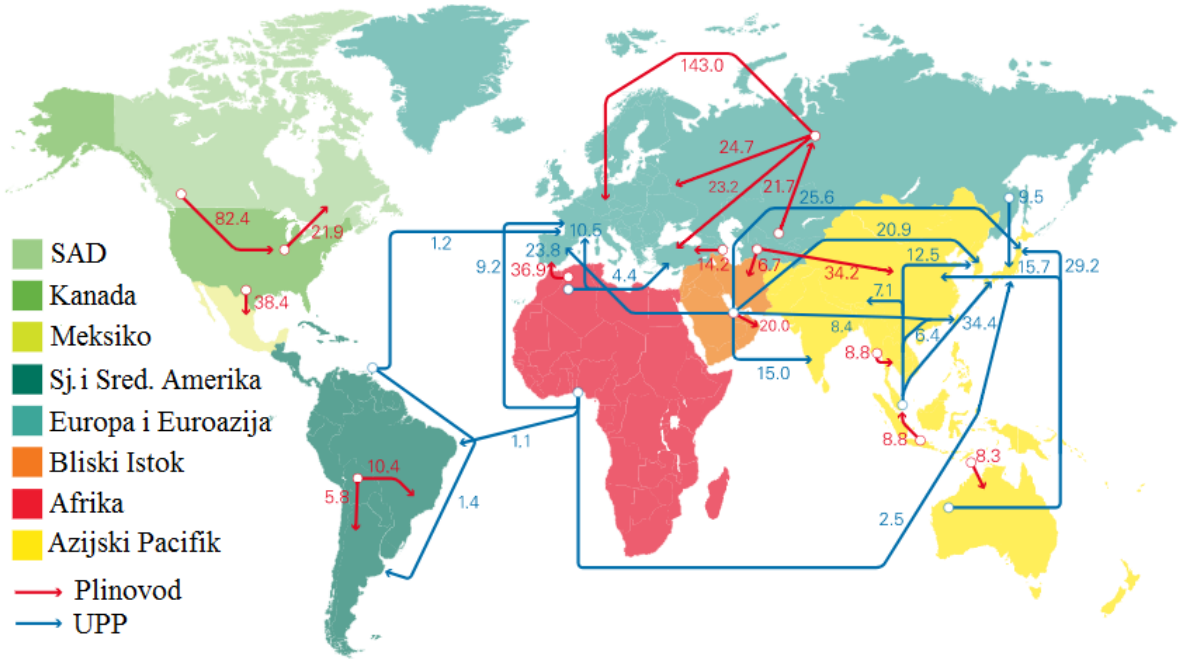


Slika 6: Najznačajnije rute u prijevozu UPP-a za 2015.godinu

Izvor: http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report (07.04.2017.)

Usporedno sa 2015. godinom, u 2016. godini najznačajnije rute su ostale nepromijenjene, ali ipak s određenim oscilacijama.

[32] http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report
[33]http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/natural-gas/natural-gas-trade-movements.html



Slika 7: Najznačajnije rute u prijevozu UPP-a za 2016.godinu

Izvor: http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/natural-gas/natural-gas-trade-movements.html (11.07.2017)

Iz slike (7) se mogu očitati najznačajnije rute za 2016.godinu, a to su[34]:

- Malezija – Japan s godišnjim prometom od 34.4 MT UPP-a
- Katar – Japan s godišnjim prometom od 25.6 MT UPP-a
- Katar – Španjolska s godišnjim prometom od 23.8 MT UPP-a
- Australija – Japan s godišnjim prometom od 29.2 MT UPP-a

S obzirom na povećanu regionalnu trgovinu i smanjeni Europski priključak, prosječna udaljenost isporuke UPP je smanjena. U 2015.godini najduže putovanje je bilo od Trinidada do Japana oko Rta dobre nade koje je iznosilo 13,809 nautičke milje[35] (nm). S druge strane najkraće putovanje, takoreći tradicionalna ruta, bilo je od Alžira do terminala Kartagena u Španjolskoj koja iznosi 111 nm. Prosječna udaljenost putovanja u 2015. godini iznosila je 7,604 nm. Najčešća putovanja su od Australije do Japana, s oko 300 putovanja tijekom godine[36].

[34] Ibidem
[35] U daljnjem tekstu nm
[36] http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report

3. VRSTE TERMINALA UPP-a

U početku su se tankeri za naftu, naftne derivate i ukapljene plinove vezivali u lukama koje su ujedno služile za prihvat svih tereta. S vremenom su se počeli graditi odvojeni bazeni samo za tankere, što je pružalo veću sigurnost odnosno manju opasnost od katastrofe.

Visoki stupanj specijalizacije luka i terminala rezultirao je pojavom dvaju tipova terminala[37]:

1. Odobalni/Off shore terminala (terminali na otvorenom moru)
2. Prihvatnih ili konvencionalnih terminala (terminali na morskoj obali).

3.1. Odobalni/Off shore terminali

U uvjetima kada terminal nema potrebnu dubinu za prihvat najvećih tankera, teret se prekrcava iz većeg broda u manje brodove na otvorenome moru ili terminalu s dovoljnom dubinom, a zatim manjim brodovima razvozi do bližih terminala[38].



Slika 8: Prekrcaj UPP-a s većeg broda na manji

Izvor: http://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/floating-lng.html (24.08.2017.)

Također, visoki kapitalni troškovi, dugo trajanje izgradnje, sigurnosni razlozi i okolišnim čimbenici su rezultirali povećanim zanimanjem za odobalne terminale za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina. Bitni elementi za konstrukciju odobalnog terminala za uplinjavanje su već dokazane tehnologije: postolje brodova za prijevoz ukapljenog prirodnog plina i kopneni

[37] Dundović, Č.: Lučki terminali, Pomorski fakultet, Rijeka, 2002.
[38] Ibidem

sustav za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina. Odobalni terminali zahtijevaju uspješnu integraciju spomenutih elemenata. Danas u svijetu postoji nekoliko koncepata odobalnih terminala za uplinjavanje. Glavna podjela uključuje [39]:

- Fiksna gravitacijska struktura (engl. *Gravity Based Structure* - GBS) je uronjava struktura oslonjena na morsko dno, dok na gornjem dijelu sadrži spremnike za ukapljeni prirodni plin te opremu za uplinjavanje. Robusne je konstrukcije i ima visoke kapitalne troškove. Idealna dubina mora za GBS terminale kreće se od 18 do 25 metara. Prvi odobalni terminal za uplinjvanje je bio upravo ovog tipa. Smješten je u Jadranskom moru, 17 kilometara od Venecije.



Slika 9: Fiksna gravitacijska struktura odobalnog terminala

Izvor: http://www.abam.com/portfolio/project/171 (10.07.2017.)

- Plutajući terminali za skladištenje i uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina (engl. *Floating Storage and Regasification Unit* – FSRU) – koji su izvedeni iz preinačenih tankera za prijevoz ukapljenog prirodnog plina ili građeni izravno za ovu svrhu, a na palubi imaju smještenu opremu za uplinjavanje. Ovakvi terminali se sidre, a ukapljeni prirodni plin preuzimaju usporednim sidrenjem s metanijerom-specijalnim brodom za prijevoz UPP-a koji ima uređaje za ukapljivanje i za spaljivanje isparenoga plina te za proizvodnju inertnoga plina (dušika). Nakon prekrcaja UPP se skladišti, po potrebi uplinjava i otprema na kopno podmorskim plinovodom.

[39] Ertl, B., Durr, R., Coyle, D., Mohammed, I., Huang, S.: New LNG Receiving Terminal Concepts, In World Petroleum Congress Proceedings, 2005.



Slika 10: Plutajući terminali za skladištenje i uplinjavanje UPP-a

Izvor: http://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-is-floating-storage-regasification-unit-fsru/ (10.07.2017.)

- Plutajući terminali za uplinjavanje UPP-a (engl. *Floating Regasification Unit* – FRU) se razlikuju od prethodnih zbog toga što nemaju mogućnost skladištenja ukapljenog prirodnog plina već se istovremeno s iskrcajem ukapljenog prirodnog plina odvija i uplinjavanje nakon čega se plin podmorskim plinovodom isporučuje u sustav.



Slika 11: Plutajući terminali za uplinjavanje UPP-a

Izvor: http://buykorea.or.kr/product-details/Floating-Regasification-Unit-FRU--3040314.html (10.07.2017.)

Pri izgradnji off shore terminala potrebno je zadovoljiti određene uvjete[40]:

- lokacija s dovoljnom dubinom mora i dobrim klimatskim i hidrografskim uvjetima
- postojanje manje luke u blizini, kojoj se može lako prići i koja može poslužiti kao sklonište
- morsko dno bez abrazije i stijena, koje se naglo ne spušta i gdje dubine nisu prevelike za postavljanje potrebnih instalacija
- dovoljna morska površina – prostor za manevriranje, prilaženje i napuštanje pristana
- na tom mjestu mora biti dovoljno dobro vrijeme najvećim dijelom godine da dozvoljava ukrcaj i iskrcaj željene količine tereta

3.2. Prihvatni terminali UPP-a

Prihvatni ili konvencionalni terminal podrazumijeva tradicionalni pristan s dolfinima za naslon i vezivanje broda i odvojenom platformom s uređajima za istakanje nafte, ili punu obalu različite konstrukcije s mogućnošću pristajanja na čelo, uz jedan ili uz oba boka pristana.



Slika 12: Prikaz prihvatnog terminala UPP-a

Izvor:http://www.hydrocarbons technology.com/projects/gazdefrancelng/gazdefrancelng1.html (03.07.2017.)

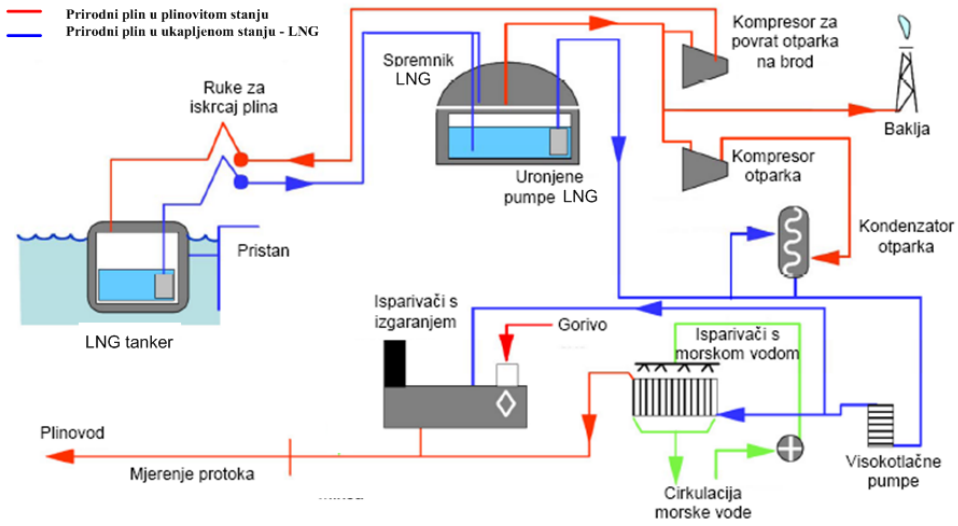
[40] Jolić, N.: Lučki terminali, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2003.

Terminali na obali grade se[41]:

- na mjestu gdje prirodni uvjeti dopuštaju prihvat najvećih tankera koji danas postoje i budućih
- na mjestu gdje postoje rafinerijski kapaciteti, jer će se izravno i oni koristiti
- na dijelu obale koja je najprikladnija, posebno stanica magistralnog cjevovoda, kojom se najkraće i najjeftinije povezuje više rafinerija smještenih u području preko kojega prolaze trase cjevovoda na svom putu od terminala prema unutrašnjosti
- racionalno, prema kriteriju ekonomije i znanosti
- s aspekta pomorstva, industrije nafte, turizma, zapošljavanja i ekologije.

Osnovna stvar koja se obrađuje na prihvatnom terminalu je ukapljeni prirodni plin, udjelom većinom metan (CH4). Kako bi se olakšalo skladištenje i transport, prirodni plin se do faze uplinjavanja drži u ukapljenom stanju na kriogenoj temperaturi -162˚C i približno atmosferskom tlaku, s volumenom 600 puta smanjenim u odnosu na plinovito stanje.

Glavni funkcionalni dijelovi proizvodnog procesa na prihvatnom UPP terminalu su: pristajanje broda, istakanje UPP-a iz brodskih spremnika u skladišni prostor prihvatnog terminala, skladištenje UPP-a, tretman otparenog plina (BOG), uplinjavanje UPP-a, podešavanje ogrjevne vrijednosti plina, otprema plina u transportni sustav (slika 13)[42].



Slika 13: Shematski prikaz sastavnica prihvatnog UPP terminala

Izvor: Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.

[41] Ibidem
[42] Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.

Sastavnice prihvatnog terminala UPP mogu se podijeliti u tri grupe[43]:

1) Glavni sustavi i strukture prihvatnih terminala koje su dio proizvodnog procesa
2) Pomoćni sustavi prihvatnih terminala koji osiguravaju siguran i uspješan rad proizvodnog procesa
3) Prateće strukture/građevine na prihvatnim terminalima

3.2.1. Glavni sustavi i strukture prihvatnih terminala

Najznačajniji sustavi i strukture prihvatnih terminala su[44]:

- pristan terminala i sustav za pretakanje
- cjevovodi za UPP i prirodni plin
- spremnici za UPP, niskotlačne pumpe za UPP uronjene u spremnike i s njima povezani sustavi
- kondenzator
- visokotlačne pumpe
- isparivači
- sustavi morske vode i prateće strukture
- kompresori otparka (*Boil of Gas*-BOG) i nulte isporuke u mrežu
- sustav za ispuštanje plina u izvanrednim situacijama (baklja)
- mjerna stanica
- prostor opreme za pregled i čišćenje plinovoda

Proces na glavnim sustavima prihvatnih terminala

Sukladno planiranom proizvodnom kapacitetu, definiranom godišnjom količinom prihvata UPP-a te godišnjom količinom prirodnog plina otpremljenog u transportni sustav, dimenzionira se pristan sa sustavom za privez, dubinom adekvatnom maksimalnom gazu predviđenih brodova pod punim opterećenjem i prema najlošijim očekivanim vremenskim uvjetima, sa sustavom za pretakanje i potrebnim brojem pretakačkih ruku. Osim kapacitetom definiranim brojem pretkačkih ruku koje se koriste za iskrcaj/ukrcaj UPP-a, nužna je posebna utakačka ruka za povrat BOG- otparenog plina, u svrhu održavanja tlaka u brodskim spremnicima. Pretakačke ruke, smještene na glavi pristana, nakon sidrenja broda i hlađenja, preko brodskih pumpi vrše

[43] Ibidem
[44] Ibidem

pretakanje UPP-a iz brodskih spremnika. Cjevovodi s istakačkih ruku spajaju se u jedan iskrcajni cjevovod velikog promjera, kroz koji UPP protječe do spremnika za UPP na kopnu. Tijekom perioda mirovanja (između dva prekrcaja), sustav za pretakanje održava se na kriogenoj temperaturi malim reciklirajućim protokom UPP-a, osiguravajući time operativnu spremnost i izbjegavajući temperaturne dilatacije cjevovoda. Sustav prekrcaja opremljen je tlačnim i temperaturnim sigurnosnim ventilima s oduškom u sigurnom području, drenažnom posudom za skupljanje mogućeg curenja UPP-a pri eventualnom akcidentu, kao i ostalim sigurnosnim sustavima koji moguću akcidentnu situaciju na pristanu potpuno izoliraju od sustava na kopnu (slika 14)[45].



Slika 14: Pretakačke ruke na prihvatnom UPP terminalu

Izvor:https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_loading_arm#/media/File:Marine-loading-arm.jpg (06.04.2017.)

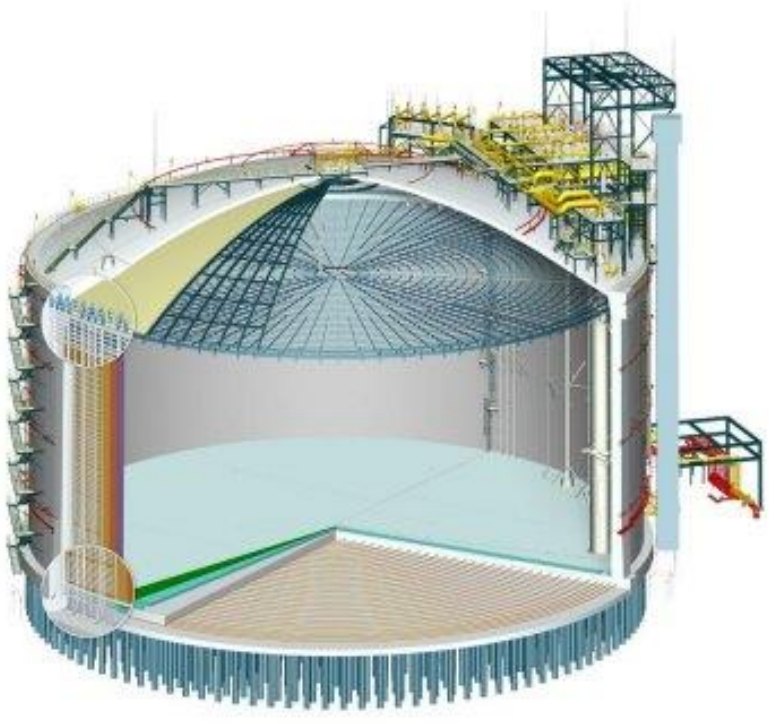
Skladištenje UPP-a vrši se u posebnim spremnicima, adekvatnima kriogenoj temperaturi kao i ostalim fizikalnim i kemijskim svojstvima uskladištene tekućine. Spremnici se sastoje od unutarnjeg spremnika od nehrđajućeg čelika, legiranog s niklom (u minimalnom postotku od 9%), izolacije i vanjskog spremnika od prenapregnutog betona koji je potpuno zatvoren kupolom. Sva instrumentacija i evakuacijski cjevovodi iz spremnika prema sustavu za uplinjavanje, izvedeni su kroz krov spremnika kako bi se prevenirali prolijevanje UPP-a u slučaju akcidenta na cjevovodu[46].

[45] Ibidem
[46] Ibidem

Spremnici uključuju i pomoćnu opremu koja osigurava njihov uspješan i siguran rad[47]:

- pumpe za vađenje UPP-a (niskotlačne)
- oprema unutar spremnika (donji i gornji ulaz/cjevovod za UPP, kolone pumpi, sustavi za hlađenje, sustav za čišćenje ...)
- sigurnosni ventili (tlačni i vakuumski)
- sustav grijanja temelja i njihov nadzorni sustav (protiv stvaranja leda ispod spremnika)
- instrumentacija spremnika (sustavi mjerenja/nadzora taka, razine u spremniku, temperature, gustoće, količine otparka BOG-a...)
- sustav za detekciju: plina, promjene okolišne temperature, požara, kao i protupožarni sustav
- platforme za pumpe i instrumentaciju
- ostale vanjske strukture na spremniku (stubišta, ljestve, spojni mostovi, kran), osvjetljenje

Prikaz opreme spremnika UPP-a nalazi se u slici 15.



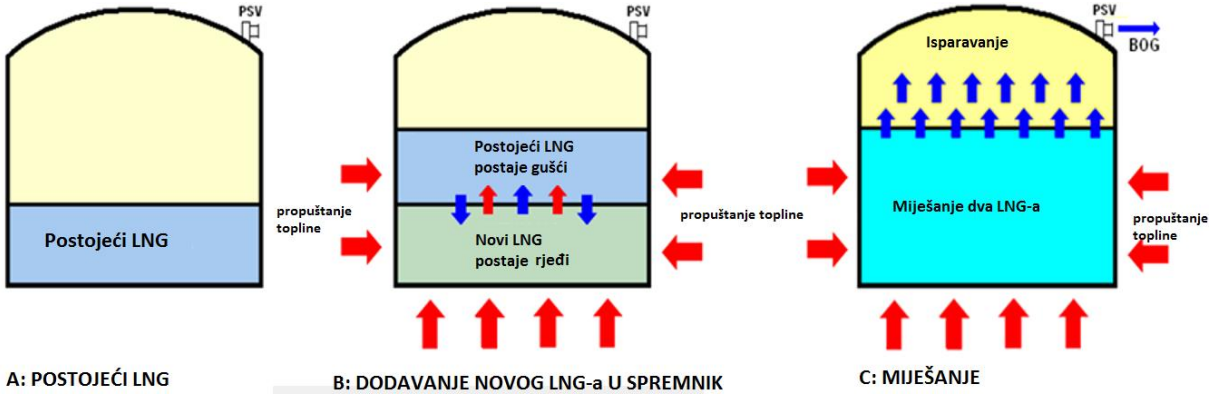
Slika 15: Shematski prikaz spremnika UPP-a

Izvor: http://www.lusas.com/case/civil/lng_tank_design.html (06.04.2017.)

Važan parametar kod skladištenja UPP-a je efekt raslojavanja (stratifikacije). Zbog različitih sastava prirodnog plina obzirom na zemlju proizvodnje (sadržaj težih komponenti C2+), brodske pošiljke dolaze sa UPP-em različite gustoće. Nakon prekrcaja u skladišni prostor terminala, UPP istog sastava i gustoće nastoji formirati sloj unutar spremnika, a to raslojavanje može uzrokovati fenomen „izvrtanja“ (*roll-over fenomen*). Do *roll-overa* dolazi ukoliko određena količina UPP-a veće gustoće formira sloj iznad sloja UPP-a niže gustoće i slojevi se pokušaju zamijeniti na način da gušći dođe ispod rjeđeg[48].

Tijekom izvrtanja slojeva dolazi do naglog pokretanja velikih količina, povećanja tlaka te stvaranja velikih količina otparenog plina BOG, koji ponovno povećava tlak i može uzrokovati aktivaciju za ispuštanje plina u izvanrednim situacijama, kao što je prikazano na primjeru slike 3[49].

Prikaz *Roll-over* fenomena nalazi se na slici (16).



Slika 16: *Roll-over* fenomen

Izvor: Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.

Roll-over fenomen se sprječava punjenjem spremnika kroz dva cjevovoda: jedan usmjerava UPP na vrh a drugi na dno, uz podešavanje omjera od strane operatera terminala, odnosno miješanjem UPP-a pumpama uronjenim u spremnik kroz reciklirajuće cjevovode. Preveniranje *roll-overa* vrši se i kontrolom preko sustava nadzora temperature, gustoće, razine UPP-a i BOG-a, kada u slučaju odstupanja od zadanih parametara operater terminala poduzima potrebne mjere.

UPP se iz spremnika do isparivača evakuira pomoću potopnih elektromotornih pumpi uronjenih u spremnik, a koje su ugrađene u takozvane pumpne bunare. Na svakom izlaznom sabirnom

[48] Ibidem
[49] Ibidem

cjevovodu spremnika ugrađen je zaporni ventil kako bi se, u slučaju akcidentne situacije omogućilo izdvajanje seta pumpi spremnika od zajedničkog izlaznog cjevovoda.

I prilikom potrebe velikih količina otpreme plina s terminala, u UPP spremnicima uvijek ostaje određeni volumen UPP-a kako bi se održala kriogena temperatura unutar spremnika te kako bi se osigurala neto pozitivna visina dizanja za niskotlačne pumpe.

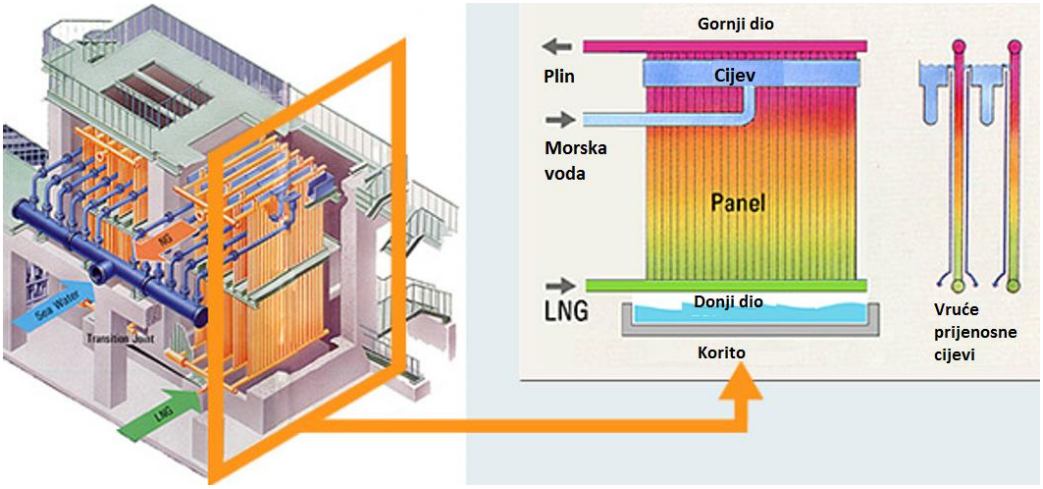
Na svaki spremnik spojen je i ogranak zajedničkog sabirnog cjevovoda za otparak-BOG. Kompresor otparka (minimum dva kriogena kompresora po spremniku) regulira tlak u spremniku i nastoji ga održati konstantnim na način da povlači nastali otparak ili omogućava povrat tog plina povišenjem njegovog tlaka do vrijednosti koja je potrebna da se omogući kondenzacija miješanjem sa pothlađenim UPP-om u kondenzatoru. U poremećenim radnim uvjetima, odnosno ako je protok iz kompresora otparka veći od kapaciteta kompresora ili kapaciteta kondenzatora, povećava se tlak u spremnicima i sabirnom cjevovodu za otparak, a kada prijeđe prethodnu postavljenu vrijednost tlaka, regulacijski ventil tlaka upućuje višak plina na baklju.

Sustav za ispuštanje plina u izvanrednim situacijama štiti terminal od previsokog tlaka, a sastoji se od sigurnosnih ventila, niskotlačne mreže koja skuplja otparak iz sabirnog cjevovoda za otparak, posude za separaciju kapljevine te baklje. U slučaju naglog i povećanog povišenja tlaka, gdje se količina nastalog otparka ne može kondenzirati ili stlačiti u transportni plinovod, aktivira se sustav za ispuštanje i sagorijevanje preko baklje. Baklja se uvijek drži u stanju pripravnosti sustavom „gorača pilota“ na kojima se spaljuje mala količina prirodnog plina.

Visokotlačne pumpe isporuke u plinovod podižu tlak toku UPP-a koji dolazi (preko niskotlačnih pumpi) cjevovodima iz spremnika te ga, kroz isparivače koji UPP iz tekućeg stanja prevode u plinovito stanje-prirodni plin i šalju, preko mjerne stanice, u visokotlačni transportni sustav prirodnog plina.

Isparavanje (uplinjavanje) se odvija u isparivačima, zbog visoke pouzdanosti i malih operativnih troškova najčešće primijenjenim ORV (engl. *Open Rack Vaporizer*) isparivačima, uzimajući toplinu od toka morske vode.

Shematski prikaz ORV isparivača nalazi se na slici (17).



Slika 17: Shematski prikaz ORV isparivača

Izvor: Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.

UPP preko visokotlačnih pumpi dolazi u isparivač na visokom tlaku i teče kroz cijevi vertikalnih panela, gdje se zagrijava i isparava. Isparavanje se odvija izmjenom topline sa padajućim slojem morske vode na vanjskoj strani cijevnih panela. Prirodni plin teče u transportni sustav prirodnog plina a morska voda se, nakon tretmana, ispušta natrag u more kroz ispusni cjevovod morske vode. Protok morske vode i protok UPP-a podešavaju se kako bi se postigao potrebni protok/tlak prirodnog plina transportnog plinskog sustava, a uz potrebno dostizanje izlazne temperature plina od minimalno +2°C kako bi se spriječilo smrzavanje plinovoda.

3.2.2. Pomoćni sustavi prihvatnih terminala

Pomoćni sustavi prihvatnih terminala koji osiguravaju siguran i uspješan rad proizvodnog procesa su[50]:

- protupožarni sustavi
- sustav proizvodnje i razvoda dušika
- sustav proizvodnje i razvoda instrumentacijskog/servisnog zraka
- sustav drenaže
- sustav plinskog goriva

[50] Ibidem

- dizel generatori za izvanredne situacije
- sustav odvodnje i postrojenje za obradu otpadnih voda
- sustav opskrbe električnom energijom
- sustav upravljanja uključujući i sustave za detekciju plina i požara te sustav za hitnu obustavu rada terminala u izvanrednim situacijama
- telekomunikacijski sustav

Proces na pomoćnim sustavima prihvatnih terminala

Sustav zaštite od požara dijeli se na sustav dojave požara te pasivnu i aktivnu zaštitu od požara. Sustav dojave požara sastoji se od mreže detektora dima i topline te ručnih dojavljivača požara, povezanih na centralnu nadzornu jedinicu. Pasivna zaštita od požara nudi zaštitu od nepovoljnih utjecaja požara u ograničenom obimu i vremenskom periodu, u smislu vatrootpornosti u vremenskom periodu u kojem štiti konstrukciju ili opremu prije pojave prvog kritičnog ponašanja. Aktivna zaštita požara započinje kao posljedična aktivna reakcija na dojavljen požar, a sustav se sastoji od sljedećih elemenata[51]:

- sustav za gašenje raspršenom vodom
- splinker sustavi
- bacači vode
- protupožarni hidranti
- sustavi s pjenom
- sustavi s prahom
- inertni plinovi u tehničkim sobama/stropovima/spuštenim stropovima
- prijenosni vatrogasni aparati
- vatrogasna vozila
- remorkeri sa sustavom za gašenje požara s mora

Sustav proizvodnje dušika, tehnologijom kriogene frakcionacije proizvodi potrebne količine dušika za čišćenje sustava i instrumenata na terminalu, za postizanje inertnih uvjeta prije održavanja te za podešavanje pojedinih svojstava prirodnog plina prije njegove otpreme u transportni plinski sustav. Proizvedeni dušik skladišti se u posebnom spremniku, u tekućem stanju.

Instrumentacijski i servisni zrak također se proizvodi na terminalu, a u svrhu potrošnje čišćenja elektroopreme, tlačne opreme, alata pogonjenih na suhi zrak.

[51] Ibidem

Sustav drenaže sastoji se od otvorenih (za neopasne otpadne tekućine, trajno ventilirane u atmosferu) i zatvorenih odvoda (za sve procese kroz koje prolazi UPP). Zatvoreni odvodi sakupljaju moguće izliveni UPP, vode ga kroz sabirne cjevovode u spremnik UPP-a ili u drenažne posude.

Plinsko gorivo koristi se za plinsko grijanje (s centralnom stanicom i grijaćim tijelima u zgradama/pogonima/skladištima) te za pilot plamenika baklje. Sustav plinskog goriva uglavnom se napaja s UPP koji se povlači nizvodno od niskotlačnih pumpi, isparava u isparivaču plinskog goriva pomoću topline iz atmosfere/okoline, uz mogućnost korištenja otparka koji se u suvišku pojavljuje u sustavu skladištenja UPP-a.

Sustav proizvodnje električne energije pokreće se u slučaju gubitka električne energije iz mreže. Napajanje u izvanrednoj situaciji omogućeno je za sve kritične sustave terminala, a neprekidno napajanje (engl. *Uninterruptible power supply*, UPS) ugrađeno je u sve bitne upravljačke i sigurnosne sustave kako bi se omogućio siguran prijelaz s mrežnog napajanja na generatorsko napajanje.

Dizel generatori u izvanrednim situacijama napajat će električnom energijom kontrolne sobe, rad pretakačkih ruku, električne grijače temeljne ploče, pumpe unutar spremnika, kompresore zraka, sušila zraka, protupožarne pumpe, kontrolni sustav baklje, sustav hladnog pogona terminala, sve do pokretanja i izvršenja procesa sustava izvanrednog sigurnog gašenja terminala (engl. *Emergenccy Shut Down Sistem*, ESDS).

Sustav odvodnje i postrojenje za obradu otpadnih voda projektira se na način da se otpadne vode sa kontaminiranih područja skupljaju u sabirnim jamama te propisno obrađuju. Površinske oborinske vode bez onečišćenja usmjeravaju se na otvoreni sustav drenaže te se nakon mehaničkog filtriranja ispuštaju u more.

Sustavi dojave o stanju plina i detekcije izlijevanja UPP-a dizajniran je za prepoznavanje i dizanje alarma na prisustvo svih zapaljivih plinova i para koji se mogu pojaviti na terminalu i bližoj okolici terminala, a osnovnu bazu detekcije čine: metan, etan, propan, butan, etilen. Baždareni na niske doze i smješteni na svim kritičnim pozicijama terminala (i linijski za nadzor širokih područja i točkasto uz potencijalna mjesta ispuštanja) u stanju su lokalno detektirati ispuštanje u najranijoj fazi. Za detekciju izlijevanja UPP-a koriste se detektori niske temperature, na svim područjima gdje postoji vjerojatnost protoka i/ili akumulacije izlivenog UPP-a, te se trebaju koristiti u kombinaciji sa detektorima plina (zbog brze „hlapivost“ UPP-a koji prelazi u plinovitu fazu-prirodni plin).

Sustav upravljanja i prikupljanja podataka u cjelini je koncipiran na način da funkcioniranje UPP terminala ispunjava sve potrebne pogonske i sigurnosne zahtjeve. A kako bi se osigurala potrebna raspoloživost i pouzdanost postrojenja, potrebno je primijeniti sve dokazane metode i provjerenu te zakonima i regulativama propisanu opremu. Upravljanje se vodi pomoću elektroničkih instrumenata koji u realnom vremenu šalju izvještaje, te se preko Integriranog upravljačkog i sigurnosnog sustava (engl *Integrated Control and Safety System*, ICSS) izvještaji obrađuju te se nadzire izvršenje procesa na svim sastavnicama terminala.

Telekomunikacijski sustavi omogućavaju komunikaciju (glasovnu, podatkovnu) unutar lokacije terminala kao i prema van, putem javne komutirane telefonske mreže, dok radio-sustav omogućava komunikaciju unutar same lokacije kao i u neposrednoj blizini terminala[52].

3.2.3. Prateće strukture/građevine na prihvatnim terminalima

Prateće građevine na prihvatnom terminalu UPP-a jesu[53]:

- upravna zgrada
- pomoćna postrojenja
- zgrada centralne komande
- zgrada radionica i skladišta
- instrumentacija za daljinsku ulaz/izlaz
- glavna čuvarnica
- čuvarnica industrijske luke/pristana
- vatrogasno/spasilačka stanica
- ceste i infrastruktura uključujući i ogradu

Proces na pratećim strukturama prihvatnih terminala:

Prateće strukture u funkciji su smještajnih kapaciteta za sekundarne procese na prihvatnom UPP terminalu; zgrada za smještaj uprave terminala, objekt centralne komande/mosta, objekti za smještaj pomoćnih postrojenja, skladišta, radionice, posebni objekti u funkciji fizičkog nadgledanja objekta unutar ograde kao i sama (višestruka) ograda. U prateće strukture pripadaju i pristupne prometnice terminalu, ceste unutar terminala ka i prateća infrastruktura.

Najčešći nominirani način rada terminala je s neprekinutim proizvodnim procesom 24 sata/365 dana u godini (engl. *base load*), a koji može raditi u dva modusa rada: isporuka plina u mrežu bez pretakanja s broda, isporuka plina u mrežu s pretakanjem broda. Kao treći pojavljuje se i način rada bez isporuke u mrežu (engl. *zero send-out*), diktiran tržištem odnosno izvanrednim situacijama na terminalu i/ili okolini.

Predviđeni životni ciklus terminala je 30 godina s mogućim periodičkim produžetcima, svaki za narednih 5 do 7 godina[54].

[52] Ibidem
[53] Ibidem
[54] Ibidem

Obzirom da sigurnost opskrbe prirodnim plinom, kao jednim od glavnih energenata svakog razvijenog energetskog tržišta, uz klasičnu dobavu plinovodom ovisi i o dobavi prirodnog plina preko prihvatnog UPP terminala, od terminala se očekuje visok stupanj pouzdanosti, rad bez otkaza, odnosno rad unutar granica dozvoljenih odstupanja u cijelom zadanom vremenu trajanja.

Upravo zbog visokih zahtjeva spram pouzdanosti i raspoloživosti, a u tako složenom sustavu gdje je visoki stupanj ovisnosti između podsustava, nužna je integralna logistička podrška koja u realnom vremenu svojom inženjerskom uslugom i tehničkim aktivnosti komunicira sa cijelim sustavom, vrši analizu, sintezu dobivenih podataka po podsustavima, identificira eventualna odstupanja te sukladno njima vrši korektivne radnje, odnosno na osnovu povratnih informacija vrši prevenciju budućih odstupanja[55].

[55] Ibidem

4. LOGISTIČKA PODRŠKA PRIHVATNIH UPP TERMINALA

Integralna logistička podrška, od planiranja i razvoja osnovne koncepcije prihvatnog UPP terminala u kojima daje analizu mogućnosti te rješenja tehničkih i operativnih zahtjeva, preko faze eksploatacije tijekom cijelog životnog vijeka terminala, pa sve do zatvaranja terminala na kraju životnog vijeka, otpisa i dovođenja okoline u nulto stanje prije izgradnje terminala, u realnom vremenu svojom inženjerskom uslugom i tehničkim aktivnosti komunicira sa cijelim sustavom i njegovom okolinom.
Pouzdanost prihvatnog terminal UPP-a, kao tehničkog sustava, može se definirati kao vjerojatnost da će terminal, prema dizajniranim procesima, obavljati svoje funkcije; iskrcaj UPP-a; skladištenje UPP-a; uplinjavanje UPP-a; otpremu prirodnog plina u transportni plinski sustav), pod normalnim radnim uvjetima, tijekom definiranog životnog ciklusa. Njegova raspoloživost je funkcija promatrana u slučajno odabranom trenutku vremena, gdje je terminal u stanju obavljati zahtijevanu funkciju, pod normalnim radnim uvjetima. Rizik je komplementaran sa sigurnošću; veći stupanj sigurnosti znači manji rizik i obratno. U analizama rizika, sigurnost se često definira kao mjera prihvatljivog rizika. Često dolazi i do nerazumijevanja različitosti pojmova opasnost i rizika. Opasnost je ono što nanosi/može nanijeti štetu, a rangira se prema veličini/intenzitetu štete koju uzrokuje, no to rangiranje ne uključuje vjerojatnost pojave opasnosti[56].

Tehnički sustavi poput prihvatnog UPP terminala, a što se stupnjem zahtjevanosti odnosi na sva energetska postrojenja/sustave, iznimno su važni u svom proizvodnom procesu te su zbog toga i potencijalne posljedice poremećaja u njihovom radu iznimno velike. Kod prihvatnog UPP terminala zahtijevana visoka pouzdanost dobiva se kroz izvrsnost u kakvoći materijala/komponenti ugrađenih u podsustave (engl. *best business practice*), raspoloživost kroz postojanje paralelnih/dupliciranih sustava koji djeluju prilikom otkaza/tijekom održavanja, a rizik se smanjuje do prihvatljive razine kroz identifikaciju neželjenih događaja te kalkulaciju njihovih vjerojatnosti.

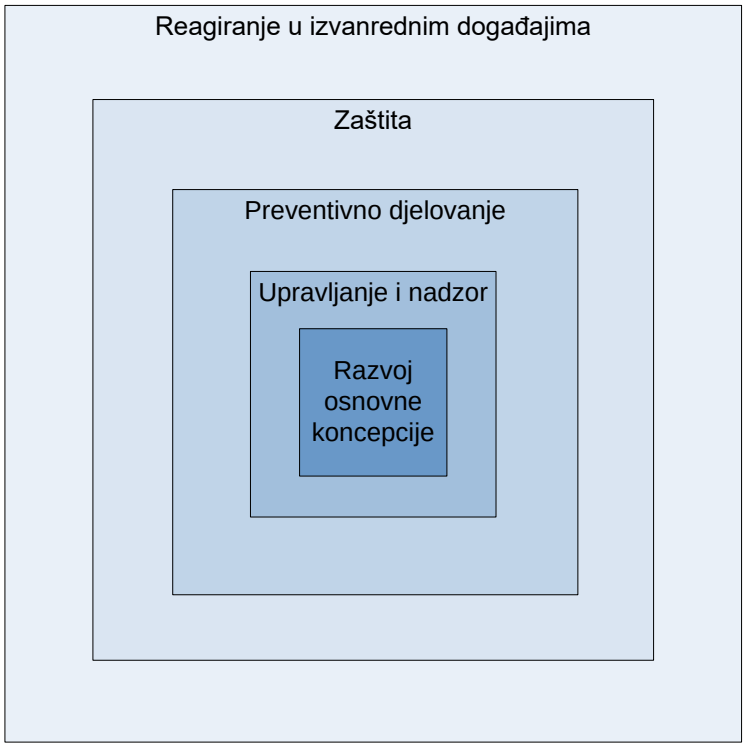
Obzirom na osnovni proizvodni ciklus na terminalu, u kojem je na mjestu ulaza u proces kriogena tekućina rashlađena na -162 °C (UPP), a na izlazu prirodni plin pod pritiskom od 100 bara, sama fizikalna i kemijska svojstva medija koji cirkuliraju proizvodnim procesom daju diktat potrebnom visokom stupanju sigurnosti, na svakom od procesnih dijelova terminala. Otkazi opreme trebaju biti svedeni na minimum, s velikim brojem sati rada do otkaza (engl. *mean time to failure*, MTTF) te malim broj sati potrebnih za popravak (engl. *mean time to repair*, MTTR) a broj rezervne opreme zbog utjecaja na jedinične troškove optimiziran[57].

Do procjene broja i tipa preventivnih radnji kao i broja potrebne rezervne procesne opreme koja terminalu daju traženu pouzdanost te smanjuje rizik na prihvatljivu razinu, u UPP industriji

[56] Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.
[57] Ibidem

najčešće se dolazi metodama: ETA[58] (*Event Tree Analysis*) i FTA[59] (*Failure Tree Analysis*), a kojima prethodi preliminarna procjena rizika koja detektira: potencijalne opasnosti, vjerojatnosti pojave opasnosti, ozbiljnost posljedica[60].

U svrhu ispunjavanja svih u radu već navedenih parametara; pouzdanosti, raspoloživosti i minimalnog rizika, područja primjene integralne logističke podrške prihvatnom terminalu UPP mogu se shematski prikazati narednom slikom (18).



Slika 18: Razvoj i razine sustava integralne logističke podrške na prihvatnom UPP terminalu

Izvor: Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016. (04.07.2017.)

U fazi razvoja osnovne koncepcije terminala, logistička podrška tehničkog sustava prihvatnog terminala UPP upravlja inženjerskim i tehničkim aktivnostima; projektiranja, dizajniranja i razvoja, praćenja implementacije potrebne regulative kako za izgradnju tako i za odabir instalacija i opreme, koordinacije tijekom izgradnje, ispitivanja-testiranja za vrijeme testnog

[58] ETA - analitička tehnika koja se koristi za procjenu tijeka procesa i događaja koji su doveli do moguće nesreće
[59] FTA - analitička tehnika koja se koristi za procjenu vjerojatnosti kvara ili pouzdanosti složenih sustava
[60] Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.

perioda kroz više probnih faza i kroz više režima i okolnih uvjeta rada, uz analizu dobivenih podataka i predlaganje/provođenje modifikacija[61].

Tijekom cijelog životnog vijeka prihvatnog terminala logistika daje podršku u vidu održavanja tehničkog sustava, uspostavljanja veza unutar sustava kao i sustava s okolinom, praćenja proizvodnog ciklusa, protoka materijala, opreme i potrebnih kadrova sukladno operativnim zahtjevima terminala, razvoja novih tehnologija i njihove implementacije u svrhu poboljšanja zahtijevanih operacija terminala.

U svrhu preventivnih djelovanja, logistička podrška, koristeći metode ETA (*Event Tree Analysis*) i FTA (*Failure Tree Analysis*), uz prethodnu procjenu rizika prema podacima UPP industrije (podaci o potencijalnim opasnostima, podaci o frekvenciji nepoželjnih događaja, podaci o ozbiljnosti posljedica), razvijaju se scenariji mogućih akcidentnih situacija koje se preveniraju optimalnim održavanjem, potrebnim brojem paralelnih sustava, stalnim provjeravanjem / testiranjem / školovanjem kadrova[62].Potencijalne opasnosti koje proizlaze iz fizikalnih i kemijskih svojstava UPP-a, odnosno nakon uplinjavanja prirodnog plina, a koje su osnova za daljnju procjenu rizika, prikazane su sljedećom tablicom.

Tablica 1: Potencijalne opasnosti na prihvatnom terminalu UPP-a

Izgaranje bazena UPP-a (pool fires)
Ako se UPP razlije blizu izvora zapaljenja, ispareni plin u gorljivoj koncentraciji plina (5-15%) i zraka, zagorjet će iznad „bazena UPP-a“. Rezultirajući „plamen iznad bazena“ proširiti će se od svog izvora i nastaviti sa isparavanjem. „Plamen iznad bazena“ je intenzivan, temperatura koja se oslobađa je puno viša nego temperatura, koja se oslobađa sagorijevanjem nafte ili benzina. Ne može se ugasiti, pa će sav UPP u takvom bazenu izgorjeti. Stručnjaci se slažu da je veliki „plamen iznad bazena“, posebno na vodi, najveća opasnost UPP-a [63].
Eksplozija
U određenim uvjetima pare UPP-a su eksplozivne, a eksplozije se dijele u dvije kategorije: deflagracija (kada zbog zapaljenih para, u zatvorenim ili ograničenim područjima, dođe do visoke razine pretlaka) i detonacija (proces izgaranja para s nadzvučnim brzinama udarnog vala.
Oblaci pare
Prilikom nekontroliranog izlaska iz spremnika u kojem se čuva u kriogenim uvjetima, UPP se počinje zagrijavati i isparavati, tvoreći hladan oblak pare – prirodnog plina, koji ostaje pri zemlji ili na površini vode. Oblak se širi na otvorenome prostoru, a njegova se gustoća smanjuje miješajući se sa zrakom. Pare nisu otrovne, ali su opasne jer smanjuju udio kisika u oblaku para[64].

[61] Ibidem
[62] Ibidem
[63] US Department of Energy: Liquefied Natural Gas Safety Research, Report to Congress, USA, 2012.
[64] Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.

Smrzavanje uzrokovano direktnim kontaktom s UPP-om
Ako dođe do nekontroliranog oslobađanja UPP, u izravnom dodiru čovjeka s ekstremno hladnom tekućinom doći će do ozeblina sa fatalnim posljedicama, a u dodiru sa materijalima koji nisu primjereni kriogenim temperaturama, doći će do znatnih oštećenja materijala.
Fenomen „izvrtanja“ (rollover)
Kad se u spremnik ukrcava UPP različitih specifičnih težina, postoji mogućnost stvaranja nestabilnih slojeva unutar spremnika. Uslijed razlike u specifičnim težinama, lakši sloj spontano kreće prema vrhu, kako bi se tekućina u spremniku stabilizirala. Tada dolazi do “izvrtanja tekućine”, uz naglo isparavanje UPP-a koje može biti preveliko za kontrolirano ispuštanje kroz odušne ventile za ispuštanje tlaka spremnika, te potencijalno može dovesti do napuklina ili drugih kvarova na konstrukciji spremnika.
Faza brzog prelaska iz jednog agregatnog stanja u drugo (rapid phase transition)
U slučaju nekontroliranog ispuštanja UPP-a na vodu, zbog manje specifične težine UPP pluta na vodi i isparava. Ukoliko dođe do oslobađanja ekstremno velikih količina UPP-a, koje eventualno mogu prouzročiti miješanje UPP-a s vodom, može doći do prebrzog isparavanja, odnosno do „faze brze promjene agregatnog stanja”. Brza promjena agregatnog stanja posljedično može varirati od malog praska do eksplozija dovoljno snažnih da potencijalno oštete lake konstrukcije[65].

Izvor: Lopac A.A.: Sigurnosni aspekti transporta LNG-a, prirodnog plina u ukapljenom stanju, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb, 102-107, 2008.

Sigurnosni standardi i primjena mjera osiguranja i zaštite u industriji UPP, uvažavajući kemijsko i fizikalno stanje prirodnog plina pothlađenog na -162°C, kroz više elemenata osiguravaju i provode zaštitu kako samih postrojenja UPP i brodova za transport UPP-a, tako i neposrednog okoliša te naseljenih područja u blizini postrojenja UPP [66].

Primarni sustav zaštite, kao osnovni element sigurnosti, sprovodi se kroz standarde koji zahtijevaju adekvatan dizajn opreme i postrojenja te adekvatan materijal koji se koristi kako u izradi spremnika na brodu ili na terminalima u kojima se UPP skladišti, tako i u izradi svih dijelova postrojenja koja su ili potencijalno mogu biti u kontaktu s UPP-om, (eng *Primary Containment*, Primarni uvjet skladištenja i izolacije UPP-a).

Materijali koji su odabrani za spremnike, izolacijske tankove, cijevi kroz koje prolazi UPP prilikom utovara ili istovara te prilikom faze uplinjavanja, kao i materijali od kojih se izrađuje ostala oprema koja dolazi u kontakt s UPP-om moraju izdržati manipulacije i skladištenja ekstremno hladne tekućine, u kriogenim uvjetima. Za to je najprimjerenija legura nehrđajućeg čelika s 9-14 postotnim udjelom nikla za spremnike na terminalima, odnosno 36 postotnim udjelom nikla za spremnike na brodovima UPP (tzv. invar).

[65] Ibidem
[66] Lopac A.A.: Sigurnosni aspekti transporta LNG-a, prirodnog plina u ukapljenom stanju, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb, 102-107, 2008.

Sekundarni sustav zaštite preventivno osigurava postrojenja UPP, odnosno brodove za prijevoz UPP-a, od nekontroliranog ispuštanja UPP-a, a sastoji se u tehničkim rješenjima sigurnog smještaja i kontroliranog isparavanja moguće izlivenog UPP-a (eng. *Secondary Containment*, Sekundarni uvjeti prevencije nastajanja akcidentne situacije)[67].

Temeljem navedenih opasnosti koje proizlaze iz fizikalnih svojstava tvari u proizvodnji, kroz ETA i FTA analizu te matricu rizika, identificiraju se kritični događaji, vjerojatnost nastanka kritičnog događaja, ozbiljnost posljedica. Primjer analize može se vidjeti u tablici (2).

Podaci za izračun vjerojatnosti pojave neželjenog događaja uzeti su iz baze Studijske grupe UPP industrije, na osnovu 30-godišnjeg iskustva na 20 postrojenja[68].

- vjerojatno – nekoliko puta tijekom životnog vijeka postrojenja ($> 10^{-2}$),
- malo vjerojatno – jednom na svakih 10 do 20 sličnih postrojenja u periodu od 20 do 30 godina životnog vijeka postrojenja ($10^{-2} – 10^{-3}$),
- vrlo malo vjerojatno – jednom na 100 ili 200 sličnih postrojenja u svijetu u rasponu od 20 do 30 godina životnog vijeka postrojenja ($10^{-3} – 10^{-4}$),
- izuzetno malo vjerojatno – već se dogodilo u toj privrednoj grani, ali su poduzete korektivne mjere i više se nije ponovilo ($10^{-4} – 10^{5}$) zanemarivo – događaj je fizički moguć ali se nije dogodio ($<10^{-5}$).

U tablici (2) crvenom bojom označen je neprihvatljiv stupanj rizika, koji zahtijeva modifikacije dizajna/tehnologije/materijala. Žutom bojom označeno je takozvano ALARP (engl. *As Low as Reasonably Practical*) područje, gdje je rizik sveden na najmanju moguću razinu. Zelenom bojom označen je prihvatljiv stupanj rizika.

Temeljem dobivenih rezultata, integralna logistička podrška inženjerskim i tehničkim aktivnostima provodi preventivne i zaštitne mjere za svaki identificirani kritični događaj, uz interni plan za izvanredne situacije koji se redovno provjerava i u suradnji sa svjetskom UPP industrijom poboljšava.

[67] Ibidem
[68] Ibidem

Tablica 2: Matrica rizika kritičnih događaja

Vjerojatnost događaja						
	Vjerojatno ($> 10^{-2}$)					
	Malo vjerojatno ($10^{-2} – 10^{-3}$)	Nemogućnost opskrbe instrumentalnim/servisnim zrakom Prekid opskrbe pitkom vodom Kolaps sustava za vođenje procesa				
	Vrlo malo vjerojatno ($10^{-3} – 10^{-4}$)	Ispuštanje otparka kroz sigurnosne tlačne ventile na vrhu spremnika Ispuštanje otparka kroz baklju ali da on ne izgara (neizvršenje funkcije baklje) Prekid rada postrojenja za tretman morske vode protiv obraštanja	Propuštanje ruke za povrat otparka u brodske spremnike Propuštanje iz cijevi za povrat otparka u brodske spremnike Propuštanje cjevovoda koji vode iz LNG spremnika prema kompresorskoj stanici Propuštanje zero send-out kompresora	Curenje LNG-a iz cjevovoda ili pretakačkih ruku na platformi pristana Curenje iz cjevovoda kojim se LNG transportira od broda do spremnika Curenje iz niskotlačnog sabirnika LNG-a Propuštanje otparka iz kondenzatora i/ili pripadajućeg cjevovoda Curenje LNG-a iz kondenzatora i/ili pripadajućeg cjevovoda Curenje LNG-a iz visokotlačnog sabirnika Ispuštanje otparka kroz sigurnosne tlačne ventile isparivača		
	Izuzetno malo vjerojatno ($10^{-4} – 10^{-5}$)	Prekid opskrbe električnom energijom	Havarija zero send out kompresora	Ciremke CNG-a iz sabirne posude za pražnjenje pretakačkih ruku Propuštanje na ulazu ili izlazu mjerne stanice pri ulasku u plinski transportni sustav		Propuštanje prirodnog plina iz izlaznog sabirnika
	Zanemarivo ($<10^{-5}$)	Prekid opskrbe dušikom Prekid dobave morske vode u isparivače Pad sustava za komunikaciju	Havarija usisne posude kompresora	Puknuće/otkapčanje ruke za povrat otparka na brod Puknuće cjevovoda kojim se LNG dovodi u sekciju visokotlačnih pumpi Puknuće visokotlačnog LNG cjevovoda Puknuće ispusne cijevi kompresora	Havarija sabirne posude za pražnjenje pretakačkih ruku na području pristana Puknuće cijevi za povrat otparka Puknuće cjevovoda koji vode is spremnika prema kompresorskoj stanici Puknuće sabirnika kompresora isparenog plina	Puknuće/otkapčanje 1 pretak. ruke Puknuće/otkapčanje 4 pretak.ruke Puknuće LNG cjevovoda na platformi pristana Puknuće LNG cjevovoda od broda do spremnika Puknuće recirkulacijskog cjevovoda Puknuće LNG cjevovoda u spremniku/na vrhu spremnika Puknuće niskotlačnog LNG izlaznog sabirnika Havarija kondenzatora Puknuće visokotlačnog LNG ulaznog sabirnika Puknuće visokotlačnog LNG izlaznog sabirnika Puknuće izlaznog sabirnika prirodnog plina Puknuće plinovoda na ulazu ili izlazu mjerne stanice
		UMJERENA	**OZBILJNA**	**VELIKA**	**KATASTROFALNA**	**IZRAZITO RAZORNO**
		OZBILJNOST POSLJEDICA				

Izvor: Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.

5. ZAKLJUČAK

Analizom svega navedenog u ovom radu, može se zaključiti da ukapljeni prirodni plin ima vrlo značajnu ulogu na području energetske učinkovitosti u cijelom svijetu. Također su analizirana i definirana tehničko-tehnološka obilježja terminala za prekrcaj ukapljenog prirodnog plina kao značajne točke u mreži plinske industrije. Posvećena je posebna pozornost na brodove za prijevoz ukapljenog prirodnog plina te je naglašena procedura ukrcaja, pothlađivanja i iskrcaja. Nadalje, posebno je dan naglasak na svjetsko tržište ukapljenog prirodnog plina, u sklopu čega imaju posebno značenje procjene i prognoze kratkoročnog i dugoročnog razvoja tržišta ukapljenog prirodnog plina.

Integralna logistička podrška, koja predstavlja skup multidisciplinarnih i interdisciplinarnih znanja koja izučavaju i primjenjuju zakonitosti planiranja, organiziranja, upravljanja i kontroliranja tokova materijala, osoba, energije i informacija u sustavima., pronalazi metode za uspostavu kriterija visoke pouzdanosti i sigurnosti složenog sustava kao što je prihvatni UPP terminal.

Djelovanje logističke podrške na terminalu UPP je dinamički proces koji počinje već u identifikaciji potreba tržišta zemlje domaćina i regije, analizi mogućnosti, organizaciji pripremnih radnji za izbor lokacije smještaja terminala, izradi preliminarnog i konačnog dizajna sukladno tehničkim zahtjevima koji proizlaze iz obliku i konfiguraciji terena, udaljenosti lokacije od tranzitnih plinovoda, priobalnoj dubini mora, karakteristikama okoliša.

Nakon planiranja i razvoja osnovne koncepcije prihvatnog terminala UPP, integralna logistička podrška funkcijskom analizom sustava identificira operativne i funkcijske zahtjeve terminala kao tehničkog sustava, te djeluje integralno kroz njegove podsustave pružajući podršku upravljanjem tehničkim i inženjerskim aktivnostima.

Kroz navedena područja djelovanja, integralna logistička podrška u realnom vremenu komunicira s cijelim tehničkim sustavom prihvatnog terminala UPP-a i, upravljajući potrebnim aktivnostima po podsustavima, identificira eventualna odstupanja te sukladno njima vrši korektivne radnje, odnosno na osnovu povratnih informacija vrši prevenciju budućih odstupanja te dovodi do visokog stupanja pouzdanosti terminala.

LITERATURA

Knjige:

1. Dundović, Č.: Lučki terminali, Pomorski fakultet, Rijeka, 2002.
2. Jolić, N.: Lučki terminali, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2003.

Znanstveni i stručni članci:

1. Calderón M., Illing D., Veiga J.: Facilities for bunkering of liquefied natural gas in ports, Transportation Research Procedia, 14, 2431-2440, 2016.
2. Ertl, B., Durr, R., Coyle, D., Mohammed, I., Huang, S.: New LNG Receiving Terminal Concepts, In World Petroleum Congress Proceedings, 2005.
3. Gregorić, V.: Skladištenje i uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina, Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2013.
4. Lopac A.A., Rogić K., Rožić T.: The Role of Integrated Logistics Support in Enhancing the Reliability of LNG Import Terminals, International Scientific Conference – ZIRP'16, Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows, Zagreb, 89-102, 2016.
5. Lopac A.A.: Sigurnosni aspekti transporta LNG-a, prirodnog plina u ukapljenom stanju, Hrvatsko znastveno društvo za promet, Zagreb, 102-107, 2008.
6. US Department of Energy: Liquefied Natural Gas Safety Research, Report to Congress, USA, 2012.

Internet izvori:

1. URL: http://www.igu.org/publications/2016-world-lng-report (pristupljeno: srpanj 2017.)
2. URL: http://www.izvorienergije.com/ukapljeni_prirodni_plin.html (pristupljeno: travanj 2017.)
3. URL: http://www.pomorskodobro.com/en/short-history-of-lng.html (pristupljeno: travanj 2017.)
4. URL: https://www.ihrdc.com/els/po-demo/module15/mod_015_02.htm (pristupljeno: travanj 2017.)

5. URL: http://www.lngbunkering.org/lng/vessels/existing-fleet-orderbooks (pristupljeno: srpanj 2017.)
6. URL: http://www.pomorskodobro.com/vrste-lng-brodova.html (pristupljeno: travanj 2017.)
7. URL: http://plovidba.me/index.php/2013-10-17-05-47-21/novosti-iz-svijeta/2002-predstavljamo-vam-lng-tankere-najsavremenije-i-najskuplje-teretne-brodove-danasnjice (pristupljeno: travanj 2017.)
8. URL: http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/natural-gas/natural-gas-trade-movements.html (pristupljeno: srpanj 2017.)

POPIS SLIKA

Slika 1: Shematski prikaz procesa ukapljivanja UPP-a 8
Slika 2: Prikaz različitih veličina suvremenih UPP brodova 10
Slika 3: UPP brod sa sfernim tankom 13
Slika 4: Membranski UPP brod 14
Slika 5: Iskrcaj UPP-a na prihvatni terminal 16
Slika 6: Najznačajnije rute u prijevozu UPP-a za 2015.godinu 17
Slika 7: Najznačajnije rute u prijevozu UPP-a za 2016.godinu 18
Slika 8: Prekrcaj UPP-a s većeg broda na manji 19
Slika 9: Fiksna gravitacijska struktura odobalnog terminala 20
Slika 10: Plutajući terminali za skladištenje i uplinjavanje UPP-a 21
Slika 11: Plutajući terminali za uplinjavanje UPP-a 21
Slika 12: Prikaz prihvatnog terminala UPP-a 22
Slika 13: Shematski prikaz sastavnica prihvatnog UPP terminala 23
Slika 14: Pretakačke ruke na prihvatnom UPP terminalu 25
Slika 15: Shematski prikaz spremnika UPP-a 26
Slika 16: *Roll-over* fenomen 27
Slika 17: Shematski prikaz ORV isparivača 29
Slika 18: Razvoj i razine sustava integralne logističke podrške na prihvatnom UPP terminalu 35

POPIS TABLICA

Tablica 1: Potencijalne opasnosti na prihvatnom terminalu UPP-a 36
Tablica 2: Matrica rizika kritičnih događaja 39

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1: Trend proizvedene količine UPP-a u MTKG 3
Grafikon 2: Prikaz najvećih izvoznika UPP-a u MTKG i njihov tržišni udio u % 5
Grafikon 3: Promjene izvezenih količina UPP-a 2015.godine u odnosu na 2014.godinu 5
Grafikon 4: Prikaz najvećih uvoznika UPP-a u MTKG i njihov tržišni udio u % 6
Grafikon 5: Promjene izvezenih količina UPP-a 2015.godine u odnosu na 2014.godinu 7
Grafikon 6: Razvoj flote brodova za prijevoz UPP-a 11
Grafikon 7: Najveći proizvođači UPP brodova 11

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Prikaz logističkih aktivnosti prihvatnih UPP terminala**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 29.8.2017

Student/ica:

Rudić

(potpis)