

LNG bunker brodovi s osvrtom na brod Avenir Aspiration

Vušković, Bernard

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:587225>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-09**



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

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

BERNARD VUŠKOVIĆ

**LNG BUNKER BRODOVI S OSVRTOM NA BROD AVENIR
ASPIRATION**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**LNG BUNKER BRODOVI S OSVRTOM NA BROD AVENIR
ASPIRATION**

**LNG BUNKERING VESSELS WITH REFERENCE TO
AVENIR ASPIRATION**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Tehnologija prijevoza tekućih tereta

Mentor: prof.dr.sc. Igor Rudan

Komentor: dr.sc. Matthew Sumner

Student: Bernard Vušković

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0081161177

Rijeka, rujan 2022.

Student: Bernard Vušković

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

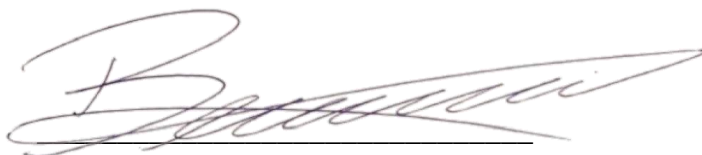
JMBAG: 0081161177

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom „LNG bunker brodovi s osvrtom na brod Avenir Aspiration“ izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Igor Rudan te komentorstvom dr.sc. Matthew Sumner stručnjakom iz tvrtke Höegh LNG .

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

Student

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Bernard Vušković', written over a horizontal line.

Bernard Vušković

Student: Bernard Vušković

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0081161177

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

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

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

Student – autor



SAŽETAK

Porast broja brodova na pogon UPP-om doveo je do razvoja tehnološki vrlo naprednih LNG bunker brodova koji će ih tim istim plinom i opskrbljivati. Operacija bunkera može se definirati kao prijenos UPP-a između dva tanka prema unaprijed definiranom i adekvatno dokumentiranom protokolu. Predmet ovoga rada, sastavljenog od 6 poglavlja, prikazati je značaj i tehnologiju operacije bunkera UPP-om, kretanje tržišta, kao i specifičnosti i sustave LNG bunker broda Avenir Aspiration.

Ključne riječi: ukapljeni prirodni plin, bunker brodovi, operacija bunkera, brodovi na LNG pogon, tržište

SUMMARY

The increased use of LNG as a ship fuel has resulted in the development of technologically advanced LNG bunkering vessels that supply this same gas and perform bunkering operations. Bunkering can be defined as the transfer of LNG between two tanks in accordance with a pre-established and appropriately documented protocol. This paper, divided into six chapters, discusses the importance and technology of LNG bunkering, market movements, and the specifics and systems of the liquefied natural gas supply and bunkering vessel Avenir Aspiration.

Keywords: liquefied natural gas, bunkering vessels, bunker operation, LNG-powered ships, market

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. LNG BUNKER BRODOVI	2
2.1. SVOJSTVA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA	2
2.2. UPOTREBA UPP-a KAO POGONSKOG GORIVA.....	4
2.3. ANALIZA TRŽIŠTA LNG BUNKER BRODOVA.....	5
3. LNG BUNKER BROD AVENIR ASPIRATION	10
4. SUSTAV PREKRCAJA	12
4.1. PUMPE TERETA.....	12
4.2. ISPARIVAČ TERETA.....	13
4.3. KOMPRESOR ISPAREN OG PLINA.....	14
4.4. PUMPE GORIVA	15
5. POSTUPAK UKRCAJA BRODA AVENIR ASPIRATION	16
5.1. POTHLAĐIVANJE CJEVOVODA.....	17
5.2. POTHLAĐIVANJE TANKOVA TERETA	18
5.3. OPERACIJA UKRCAJA SA POVRATOM ISPAREN OG PLINA	20
5.3.1. Povrat plina na kopno slobodnim protokom.....	21
5.3.2. Povrat plina na kopno prisilnim protokom.....	21
5.4. PROPUHIVANJE CJEVOVODA DUŠIKOM NAKON UKRCAJA	22
6. POSTUPAK ISKRCAJA/BUNKERA BRODA AVENIR ASPIRATION	24
6.1. POTHLAĐIVANJE CJEVOVODA.....	24
6.2. OPERACIJA ISKRCAJA/BUNKERA SA ILI BEZ POVRATA PLINA.....	26
6.2.1. Operacija iskrcaja sa povratom plina	27
6.2.2. Operacija iskrcaja bez povrata plina	28
6.3. PROPUHIVANJE CJEVOVODA DUŠIKOM NAKON ISKRCAJA	29
7. ZAKLJUČAK	30

LITERATURA	32
KAZALO KRATICA.....	34
POPIS TABLICA	35
POPIS GRAFIKONA	35
POPIS SHEMA.....	35

1. UVOD

Potaknute idejom o zaštiti i očuvanja okoliša vlade država, na globalnoj razini, nastoje umanjiti iskorištavanje fosilnih goriva (nafta, zemni plin) u korist alternativnih (biomasa, vodik), odnosno obnovljivih izvora energije (solarna energija, hidroenergija). Primarni cilj je smanjenje emisija sumpornih oksida (SO_x), dušikovih oksida (NO_x) te PM čestica. Činjenica je da je proces prelaska na takvu vrstu goriva izuzetno dugotrajan i zahtjevan te će se zasigurno odvijati postepeno u skladu sa zahtjevima, mogućnostima i stanjem tržišta, kao i napretkom tehnologije. Upravo u tom segmentu, ukapljeni prirodni plin (UPP) je prepoznat kao važan izvor energije koji će služiti kao svojevrsna prenosnica između fosilnih i alternativnih, odnosno obnovljivih izvora energije. Iako i UPP zapravo pripada skupini fosilnih goriva, smatra se najčišćim te proizvodi manje ugljičnog dioksida (CO_2) od ostalih goriva iz navedene skupine. Navedena globalna energetska tranzicija neosporno snažno utječe na tržište energenata. Smanjenje korištenja fosilnih goriva, poglavito ugljena i nafte, podudara se sa smjerom većih projekata obnovljivih i alternativnih izvora energije. Međutim, trenutni kapacitet istih nije ni blizu zadovoljavajuće razine tržišne potražnje. Očekivano, i pomorska industrija se razvija u skladu sa opisanim idejama što svoje uporište pronalazi u porastu količine brodova koji koriste UPP kao pogonsko gorivo. Paralelno s razvojem brodova na pogon UPP-om, razvijaju se i tzv. LNG Bunker brodovi koji će te iste brodove opskrbljivati gorivom, odnosno UPP-om.

U poglavljima ovoga rada obraditi će se svojstva i prednosti UPP-a kao pogonskog goriva, prikaz i analizu tržišta LNG bunker brodova te tehnologiju i sekvence prekrcaja LNG bunker broda Avenir Aspiration. Primarni cilj je pobliže objasniti ulogu i način funkcioniranja LNG bunker brodova, njihove najvažnije sustave te samu tehnologiju prekrcaja – operaciju bunkera.

2. LNG BUNKER BRODOVI

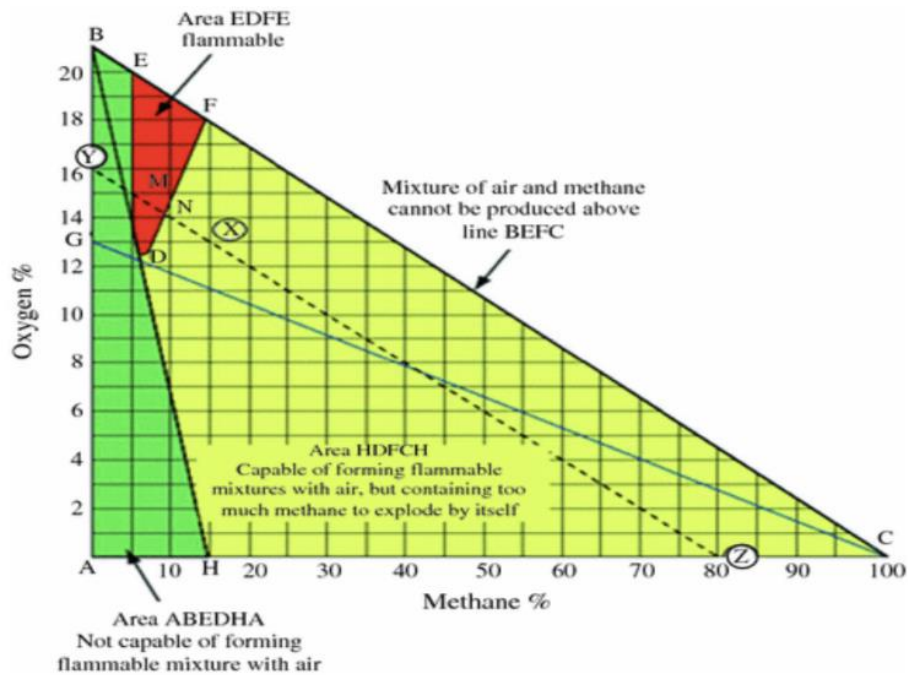
Sve veći rast LNG bunker industrije doveo je do razvoja tehnološki naprednih brodova čija je primarna uloga opskrba korisnika UPP-om koji se potom iskorištava kao pogonsko gorivo. U ovom poglavlju opisana su svojstva UPP-a, opasnosti koje prijete prilikom iskorištavanja istog te njegove prednosti u odnosu na tradicionalne izvore energije. Također, poglavlje 2.3 sadrži analizu tržišta LNG bunker brodova s naglaskom na prikaz razvoja i rasta tržišta po pojedinim regijama, kao i fluktuacije cijena bunkera u dvije globalno vrlo značajne luke – Rotterdam i Singapore.

2.1. SVOJSTVA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Međunarodna pomorska organizacija (*IMO - International Maritime Organization*) definira ukapljene plinove kao tekućine s apsolutnim tlakom pare iznad 2.8 bara pri temperaturi od 37.8°C. Tlak zasićene pare (*saturation vapour pressure*), iz definicije, predstavlja tlak pri kojem je tekućina u termodinamičkoj ravnoteži sa svojim kondenziranim stanjem. Ukapljivanje se prvenstveno provodi radi lakšeg skladištenja i prijevoza iz vrlo jednostavnog razloga - ukapljivanjem se volumen prirodnog plina smanji oko 600 puta. Prirodni plin se sastoji uglavnom od metana (70% - 99%) te od manjeg udjela ostalih zasićenih ugljikovodika kao što su etan, propan, butan i pentan. Metan (CH₄) je najjednostavniji zasićeni ugljikovodik koji se sastoji od jednog atoma ugljika i četiri atoma vodika, povezanih kovalentnim vezama. Plin je bez boje, okusa i mirisa, neotrovan i netopiv u vodi, ali u dodiru sa zrakom izuzetno eksplozivan. Pri atmosferskom tlaku i temperaturi, metan je rjeđi od zraka i vode, vrlo ga je teško ukapljiti te mu točka ključanja iznosi -161.5°C. Donja i gornja granica eksplozivnosti iznose 5.24%, odnosno 14.02%, a temperatura samozapaljenja iznosi 585°C. Temperatura iznad koje je metan nemoguće ukapljiti, bez obzira na vrijednost tlaka, iznosi -82°C i naziva se kritična temperatura, a kritični tlak potreban da bi metan pri vrijednostima kritične temperature prešao u tekućinu iznosi 46 bara¹.

Uzevši u obzir karakteristike metana i prethodno spomenutu gornju i donju granicu eksplozivnosti, na slici 1 prikazan je dijagram koji jasno grafički prikazuje kada prijete mogućnost zapaljenja metana.

¹ Bruno Bronzani, LNG, 1999.



Slika 1: Zapaljivost metana

Izvor: Matthew Sumner, Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem, 2015 (Nedovršeno prvo izdanje), p.53

Površinom najmanje područje, označeno crvenom bojom, predstavlja područje u kojem je omjer koncentracije metana (5.24% - 14.02%) i kisika (iznad 12.5%) pogodan za zapaljenje. Omjere kisika i metana u navedenom području treba apsolutno izbjegavati kako ne bi došlo do ozbiljne ugroze ljudi i imovine uslijed pojave zapaljenja ili eksplozije. Područje označeno zelenom bojom predstavlja sigurno područje, a karakterizirano je nedovoljnom koncentracijom kisika (ispod 12.5%) i metana (ispod 5.24%) te mogućnost zapaljenja u njemu ne postoji. Površinom najveće područje označeno žutom bojom također predstavlja područje u kojem je mogućnost zapaljenja metana malo vjerojatna. U slučaju kada udio kisika zadovoljava koncentraciju potrebnu za zapaljenje, udio metana prelazi gornju granicu zapaljivosti čime smjesa postaje prezasićena i zapaljenje onemogućeno. Nadalje, kada udio metana dostigne odgovarajuću koncentraciju pogodnu za zapaljenje, koncentracija kisika ostane nedovoljna i zapaljenje se neće dogoditi. Iz svega navedenoga moguće je zaključiti da postoji usko ograničeno područje u kojem su omjeri koncentracije metana i kisika takvi da bi uslijed pojave izvora zapaljenja mogli dovesti do istog.

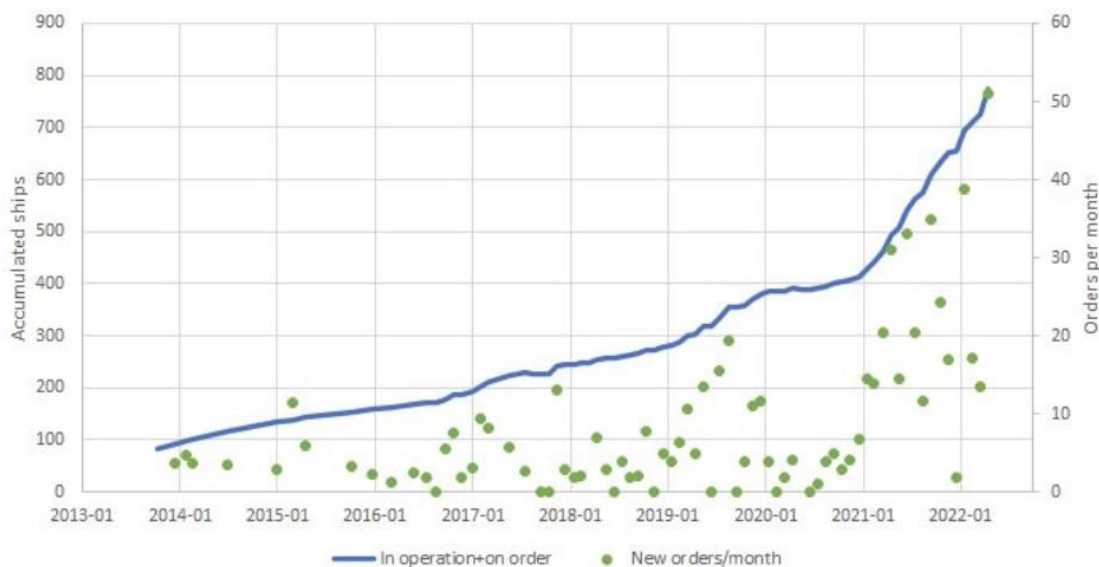
2.2. UPOTREBA UPP-a KAO POGONSKOG GORIVA

Ukapljeni prirodni plin je fosilno gorivo čijim se iskorištavanjem oslobađa manje emisija gotovo svih vrsta onečišćujućih tvari u zraku od sagorijevanja ugljena i naftnih derivata za proizvodnju jednake količine energije. Primjerice, upotreba teškog loživog ulja (*HFO - Heavy Fuel Oil*) kao pomorskog goriva ima za posljedicu emisije sumpora koje su oko 10 000 puta veće od dizela što značajno negativno utječe na okoliš te čini udio od gotovo 14% globalnih emisija sumpora u atmosferi. Kako bi se suočile s izazovima 21. stoljeća glede borbe protiv onečišćenja okoliša, Međunarodna pomorska organizacija (IMO) i Europska unija primorane su uvesti provedbu sve strožih propisa koji će ograničiti emisiju sumpora iz pomorskog goriva u vodama širom svijeta. U Europi se donošenjem direktive 2012/33/EU, od 1. siječnja 2015., uvodi maksimalna dozvoljena granica emisije sumpora od 0.1% za brodove u posebnim SECA područjima (područja kontrole emisije sumpora) kao što su Baltičko more, Engleski kanal i Sjeverno more te 0.5% u svim ostalim europskim vodama. Upravo iz tog razloga, UPP smatra se prijelaznim gorivom u smjeru postignuća tehnološke i ekonomske održivosti obnovljivih izvora energije kao što su biomasa, energija Sunca, vjetera i sl. Prijelazno gorivo, u tom kontekstu, može se definirati kao nisko ugljično gorivo (prirodni plin) koje će zamijeniti visoko ugljična goriva (nafta i ugljen) u vidu smanjenja štetnih emisija ugljikova dioksida (CO₂) u bliskoj budućnosti. Uz postizanje manjeg štetnog utjecaja na okoliš, UPP također nudi i najbolje termodinamičke karakteristike, a time i najbolju energetska učinkovitost u odnosu na druga nisko ugljična goriva.

U usporedbi sa tradicionalnim teškim loživim uljima (HFO) u današnjoj uporabi, UPP postiže:

- smanjenje emisija ugljičnog dioksida (CO₂) za 25%;
- smanjenje emisija dušikovog oksida (NO_x) za 90%;
- smanjenje emisija sumpora (SO_x) i sitnih čestica za 100%.

Sve navedeno dovelo je do značajnog povećanja potražnje brodova na LNG pogon u 2022.g.



Slika 2: Narudžbe brodova na pogon ukapljenim prirodnim plinom

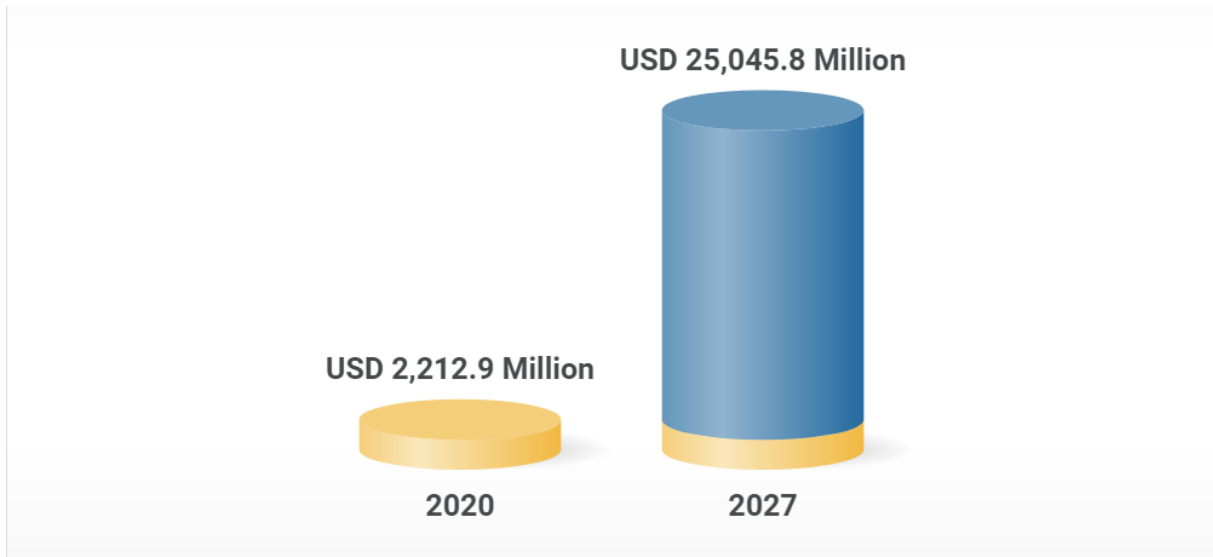
Izvor: DNV reports new monthly record for LNG-fueled ship orders

Prema priloženoj statistici (slika 2), do travnja 2022.g., naručen je 121 brod na pogon UPP-om od čega je 15 brodova naručeno u siječnju, 16 u veljači, 39 u ožujku te 51 u travnju. Valja istaknuti da 50 brodova, od ukupno 51 naručenih u travnju, pripada skupini brodova za prijevoz kontejnera te ro-ro brodovima. Pozivajući se na platformu DNV (*Det Norske Veritas*), 286 brodova na pogon UPP-om već je u pogonu pri čemu prednjače ro-ro brodovi, a slijede ih kontejnerski brodovi i tankeri. Brodovi na LNG pogon u narudžbi dosegli su brojku od 489 jedinica, od čega je najviše ro-ro brodova, a zatim i tankera za prijevoz sirove nafte te brodova za prijevoz rasutog tereta. Također, naručeno je i 221 tzv. LNG-Ready brodova koji još uvijek koriste standardno pogonsko gorivo (HFO), no posjeduju mogućnost naknadne ugradnje sustava koji omogućuju prelazak na korištenje UPP-a kao pogonskog goriva. Treba napomenuti da u navedenu statistiku nisu uključena manja plovila i brodovi na dvojni pogon (dual-fuel).

2.3. ANALIZA TRŽIŠTA LNG BUNKER BRODOVA

Globalno tržište LNG bunkera (slika 4) u 2020. godini postiglo je tržišnu vrijednost od približno 2.2 milijarde američkih dolara. Sukladno trendu, predviđa se da će do 2027. godine, uz predviđenu vrijednost CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) od 41,4%, vrijednost tržišta dosegnuti 25 milijardi dolara. Ukratko, složena godišnja stopa rasta (CAGR) predstavlja stopu rasta prihoda u određenom vremenskom periodu, pod pretpostavkom da se rast odvija eksponencijalno složenom stopom. Tijekom trajanja pandemije bolesti COVID-19, tržište je

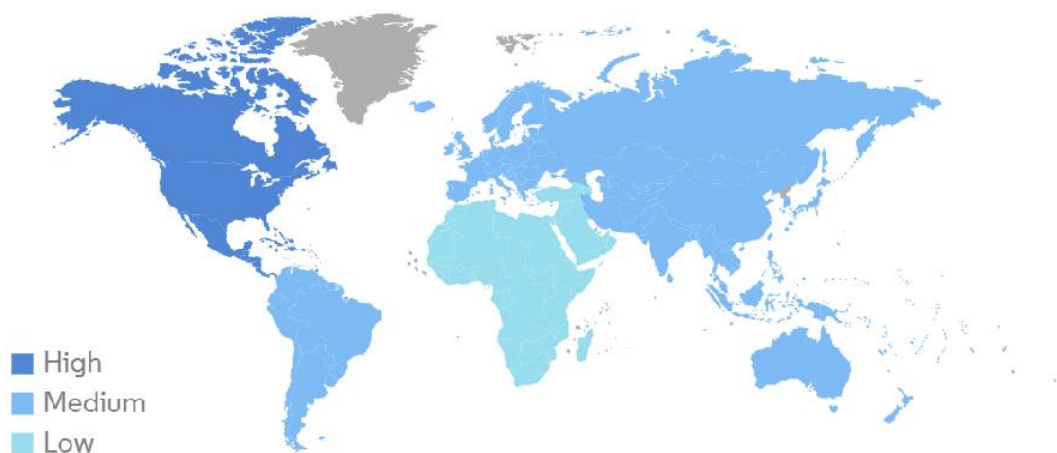
očekivano doživjelo pad zbog privremenih ograničenja uvoza i izvoza dobara, međutim, zbog naknadne rastuće potražnje za UPP-om kao pogonskim gorivom u drugoj polovici 2021.g., uspješno se oporavilo.



Slika 3: Globalno tržište LNG bunkera 2020-2027

Izvor: Global LNG Bunkering Market to 2027

U periodu od 2022. – 2027. godine očekuje se da će sjevernoamerička regija preuzeti primat na tržištu UPP-a, s obzirom da većina potražnje za istim dolazi upravo sa područja SAD-a i Kanade. Iako su početna ulaganja u izgradnju plovila na bazi UPP-a visoka, operativni troškovi niži su u usporedbi s iskorištavanjem starih brodova s ugrađenim pročišćivačima (*scrubber*).



Slika 4: Globalno tržište LNG-a - rast po regijama

Izvor: Mordor Intelligence

U nastavku su prikazani pojedini važniji događaji koji su utjecali na kretanje i razvoj tržišta u periodu od 2021. – 2022 godine:

- Razvoj projekta Galveston LNG bunker terminal na otoku Pelikan, Teksas, od strane Pilot LNG. Terminal će isporučivati UPP kao gorivo jednom od najvećih lučkih kompleksa u SAD-u, uključujući i luke Houston, Texas City i Galveston, a početak izvođenja operacija predviđa se u drugoj polovici 2025. godine;
- Pružatelj usluga energetske tranzicije Stabilis Solutions potpisao je memorandum sa lučkom upravom Corpus Christi u Teksasu u svrhu promicanja uporabe UPP-a kao pogonskog goriva;
- U siječnju 2022.g., potpisan je desetogodišnji ugovor između kompanije CMA CGM i Shanghai International Port Group o korištenju UPP-a kao pogonskog goriva u lučkom području Yangshana. Kontejnerski brodovi kompanije CMA CGM na dvojni pogon (dual-fuel), kapaciteta 15 000 TEU jedinica, na ruti između Kine i SAD-a, obavljati će operacije LNG bunkera na tom području.

Općenito, cijena proizvoda i usluga vrlo je važan, a često i presudan faktor prilikom odluke o nabavci i konzumaciji istih. Cijena dobara ovisi o više različitih faktora kao što su ponuda i potražnja, stanje i veličina tržišta, dostupnost sirovina itd. Sukladno tome, povećanje ponude UPP-a općenito rezultira nižim cijenama, dok se povećanjem potražnje UPP-a cijena istog povećava. Tržište obično reagira na način da više cijene ublažuju ili smanjuju potražnju i potiču proizvodnju, a niže cijene imaju dijametralno suprotni učinak. Uvjetno, moguće je istaknuti 3 glavna čimbenika sa stanovišta ponude i isto toliko čimbenika sa stanovišta potražnje koji značajnije utječu na variranje cijene UPP-a.

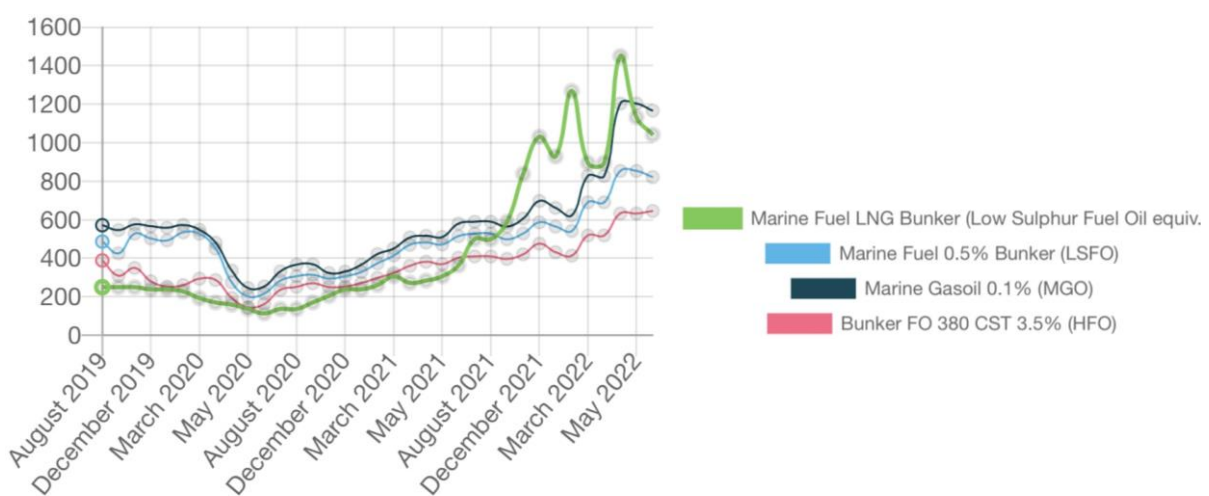
Tri glavna čimbenika sa stanovišta ponude:

- količina proizvodnje prirodnog plina;
- količina uskladištenog prirodnog plina;
- obujam uvoza/izvoza prirodnog plina.

Tri glavna čimbenika sa stanovišta potražnje:

- varijacije uslijed promjene godišnjih doba (ljetno, zima);
- razina gospodarskog rasta;
- dostupnost i cijena ostalih vrsta goriva.

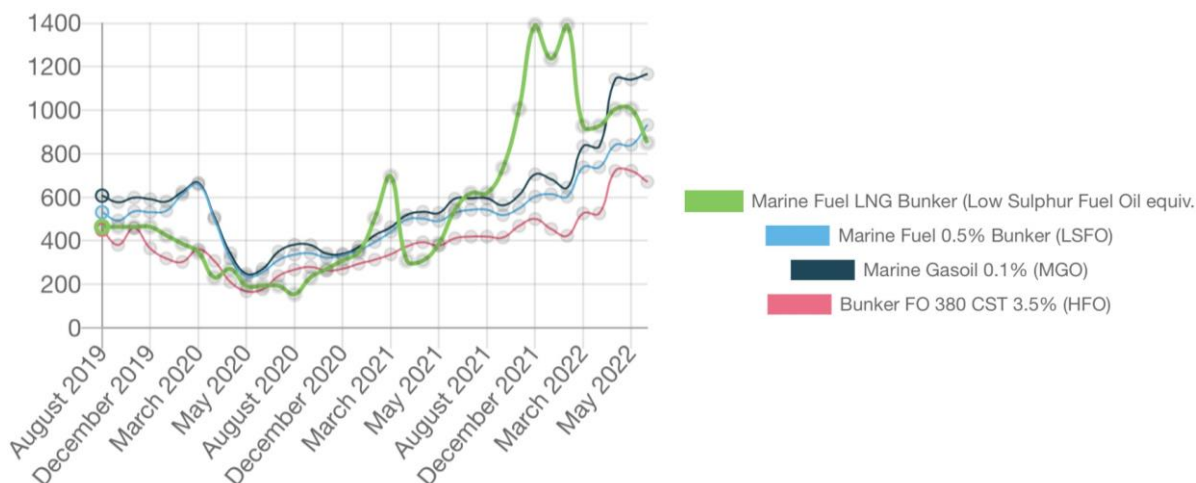
Infrastrukturna ograničenja opskrbe prirodnim plinom te ograničenja u vidu sposobnosti mnogih potrošača prirodnog plina da se brzo prebace s jedne vrste goriva na drugo, dovode do kratkotrajnog povećanja potražnje i/ili smanjenja ponude, a time i do određene promjene cijena prirodnog plina, što je značajnije izraženo tijekom zimskog razdoblja. I ostali nepredviđeni čimbenici, kao što su primjerice rat u Ukrajini, itekako imaju utjecaja na kretanje cijene UPP-a. Uzimajući u obzir trenutnu situaciju, cijene UPP-a i dalje će ostati povišene zbog snažne potražnje i ograničene ponude odražene utjecajem ruske invazije na Ukrajinu, kao i zbog značajnog nedostatka svježih ulaganja u navedeni sektor.



Slika 5: Fluktuacije cijena bunkera u luci Rotterdam

Izvor: S&P Global Platts

Iz priloženih grafikona (slika 5, 6) može se iščitati kretanje i promjena cijene bunkera različitih vrsta goriva (LNG, LSFO, MGO, HFO) u luci Rotterdam i Singapore u periodu od kolovoza 2019.g. do lipnja 2022.g. izražene u \$/mt. Iako se cijena goriva za bunker tradicionalno izražava u američkim dolarima po metričkoj toni (\$/mt), izuzetno je važno uzeti u obzir količinu energije koja se može iskoristiti za istu količinu.



Slika 6: Fluktuacije cijena bunkera u luci Singapore

Izvor: S&P Global Platts

Korištenje UPP-a kao pogonskog goriva nudi nižu cijenu iskoristive energije po metričkoj toni od ostalih vrsta goriva. Primjerice, u usporedbi s loživim uljem s niskim sadržajem sumpora (LSFO), cijena dobivene energije UPP-a po metričkoj toni je oko 16% niža iz razloga što UPP sadrži više iskoristive energije za istu masu u odnosu na LSFO. Odnosno, UPP kao pogonsko gorivo osigurava otprilike 46.7 MMBTU (13.7 MWh) energije po metričkoj toni, dok LSFO, za istu količinu, osigurava približno 40.2 MMBTU (11.8 MWh).

3. LNG BUNKER BROD AVENIR ASPIRATION

LNG bunker brod Avenir Aspiration (slika 7) u vlasništvu je kompanije Avenir LNG nastale rezultatom zajedničkog ulaganja kompanija Stolt-Nielsen, Höegh LNG i Golar LNG sa sjedištem u Londonu.



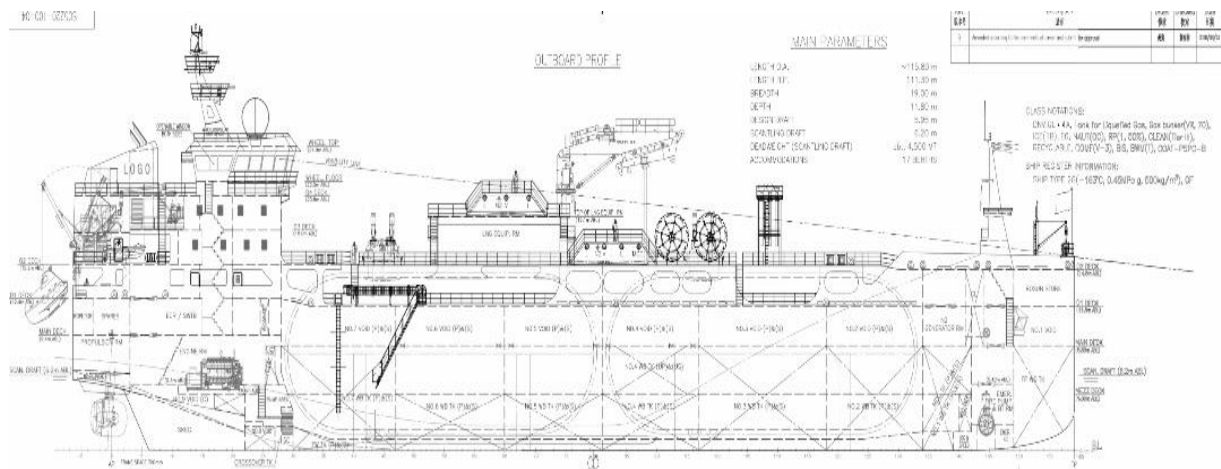
Slika 7: LNG bunker brod Avenir Aspiration

Izvor: <https://www.offshore-energy.biz/avenir-lng-takes-delivery-of-avenir-aspiration-lbv/>

Avenir LNG ima za cilj kroz potpunu integraciju lanca opskrbe osigurati optimalne količine ukapljenog prirodnog plina za ekološki prihvatljivu industriju koja se ponajprije oslanja na alternativne, obnovljive izvore energije te za tržište brodskih bunkera i goriva za kamione. Poslovnu strategiju temelje na principu teorije ekonomije razmjera prema kojoj s porastom proizvodnog volumena troškovi ne rastu paralelno već ostaju relativno nepromijenjeni. Na taj način nastoje se smanjiti inače visoki troškovi povezani s radom opskrbnog lanca te posljedično otvaranje novih tržišta koja bi inače bila financijski nedostižna. Avenir LNG nastoji se okrenuti geografskim područjima u kojima je prepoznata povećana industrija i proizvodnja energije uz ograničenu mogućnost iskorištavanja alternativnih goriva kao što su Sredozemno, Sjeverno i Baltičko more, Karibi te Azija i Južna Amerika. Kombinacijom novih tehnologija, provjerenih stručnjaka i rastućom infrastrukturom Avenir LNG uspješno se prilagođava rastućim LNG tržištima i nastoji zadovoljiti sve veću globalnu potražnju.

Avenir Aspiration izgrađen je 2021. godine u brodogradilištu Nantong CIMC SinoPacific Offshore & Engineering sa sjedištem u Kini. Primarna namjena mu je opsluživanje HIGAS LNG terminala na Sardiniji, koji je započeo s komercijalnim iskorištavanjem u kolovozu 2021. godine. Svrha HIGAS LNG terminala je pohrana ukapljenog prirodnog plina u šest tankova tipa C, pojedinačnog kapaciteta 10.800 m³. Nadalje, Avenir Aspiration će pružati usluge bunkera diljem Mediterana kao i osigurati infrastrukturu u ključnim lukama kako bi podržao razvoj ukapljenog prirodnog plina kao pogonskog goriva.

Avenir Aspiration plovi pod zastavom Malte sa IMO oznakom: 9868962 te pozivnim brojem 9HA5360. Duljina broda iznosi 115.98 m, širina 19 m te gaz 6.20 m pri kojem ima deplasman od 9 625.8 t. Kapacitet broda iznosi 7 500 m³ koji je raspoređen u 2 neovisna tanka. Konkretno, riječ je o neovisnim cilindričnim tankovima tipa C certificiranog radnog tlaka do maksimalne vrijednosti 4.5 barg, a mogu podnijeti vakum u iznosu do 0.25 barg. Vanjska površina tankova izolirana je poliuretanskom izolacijom u spreju sa dodatnom izolacijom protiv vlage.



Slika 8: Presjek broda Avenir Aspiration

Izvor: Cargo Handling Manual

4. SUSTAV PREKRCAJA

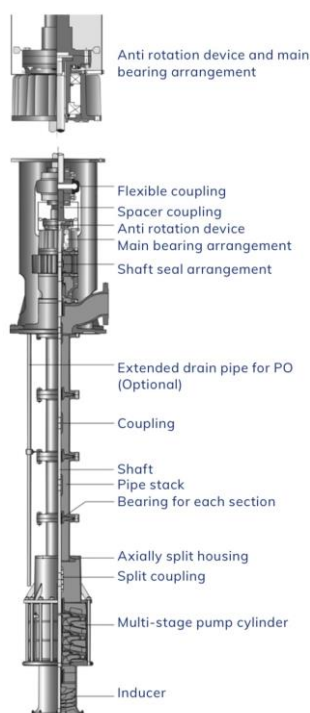
LNG bunker brodovi, kao i LNG carrieri, imaju pouzdan i efikasan sustav prekrcaja koji omogućava brzo i sigurno izvođenje predviđenih operacija. U ovom poglavlju detaljno su prikazani i opisani sustavi broda Avenir Aspiration esencijalni za razumijevanje postupka ukrcanja broda, a posljedično i samog iskrcanja, odnosno operacije bunkera. Na sredini broda Avenir Aspiration nalazi se prostor manifolda koji se sastoji od dva cjevovoda za ukapljeni plin (*liquid line*) i jednim cjevovodom za ispareni dio plina (*vapour line*). Također, na pramčanom djelu broda nalaze se dvije *crossover* linije za ukapljeni plin (*liquid crossover*) te jedna *crossover* linija za ispareni dio plina (*vapour crossover*).

4.1. PUMPE TERETA

Općenito, pumpe su radni strojevi pomoću kojih se fluidu dodaje energija radi njenog transporta dobave na višu razinu ili na viši tlak². Pojednostavljeno rečeno, pumpa usisava fluid kroz usisni cjevovod, u radnoj fazi njegovu mehaničku energiju pretvara u kinetičku i potencijalnu da bi ga potom ispustila kroz tlačni cjevovod.

Avenir Aspiration opremljen je sa četiri *deepwell* pumpe (po dvije u svakom tanku tereta) izrađene od strane tvrtke Svanehoj AS, pojedinačnog kapaciteta 250 m³/h. Svaka pumpa je pogonjena svojim električnim motorom proizvođača ABB koji pri minimalnom momentu sile razvija brzinu od 1440 rpm. Kućište motora dizajnirano je na način da se eventualna eksplozija unutar motora ne može prenijeti u vanjsku atmosferu. Također, ono mora izdržati, bez oštećenja, sve razine tlaka uzrokovane unutarnjom eksplozijom. Oblik, duljina i razmak između sklopova (posebice na otvorima osovine, ulazima za kabele itd.) moraju omogućavati prigušivanje i hlađenje vrućih plinova koji izlaze van. Dio koji spaja motor sa pumpom naziva se pogonska osovina, a učvršćena je ugljičnim ležajevima koji se podmazuju i hlade protokom samoga tereta. Impeler promjera 305 mm pričvršćen je na dnu tanka zajedno sa induktorom koji pomaže zadovoljiti NPSH (*Net Positive Suction Head*) zahtjeva pumpe, koji u slučaju konkretne pumpe iznose 0.8 m.l.c. Na vrhu tanka nalazi se dvostruka mehanička brtva (*double mechanical seal*) koja ne dopušta eventualno izlijevanje tereta na palubu.

² Matthew Sumner, Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem, 2015 (Nedovršeno prvo izdanje), p.117.



Slika 9: Prikaz pumpe tereta broda Avenir Aspiration

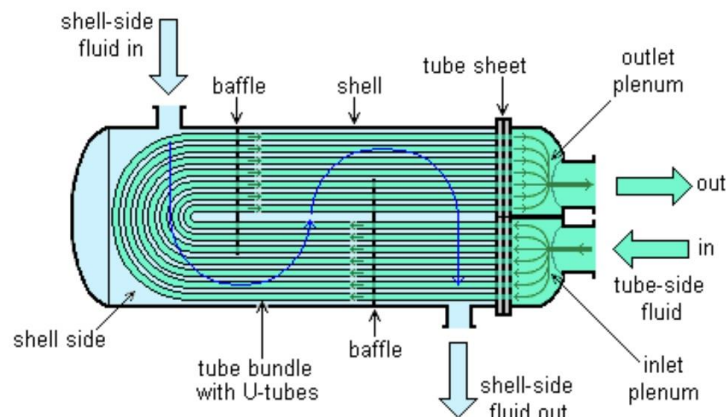
Izvor: Cargo Handling Manual

Budući se radi o teretu vrlo niske temperature potrebno je obratiti pozornost na utjecaj koje temperaturene promjene mogu imati na životni vijek i iskoristivost pumpe. Promjena temperature neće imati jednak utjecaj na sve njezine dijelove iz razloga što nisu svi dijelovi jednako izloženi, a imaju i različita geometrijska obilježja. Primjerice, prilikom operacije pothlađivanja, brzina snižavanja temperature mora biti regulirana i ograničena jer se u protivnom može javiti velika unutarnja sila koja je u stanju prouzročiti ozbiljna oštećenja dijelova pumpe. Nadalje, ukoliko se pumpa pokreće pri maloj količini tereta u tanku, temperaturna razlika između vrha i dna prilikom pokretanja pumpe ne bi smjela biti prevelika. U protivnom, zbog različite termalne kontrakcije dijelova impelera postoji mogućnost njegova oštećenja.

4.2. ISPARIVAČ TERETA

Isparivač tereta (*Cargo Vaporizer*) je sustav izmjenjivača topline koji se koristi za konverziju tekućeg plina u ispareni plin, odnosno njegove pare. Tako ispareni plin može se koristiti prilikom ispunjavanja tankova tereta parama prirodnog plina (*Gassing Up*) ili prilikom

održavanja tlaka u tankovima tereta za vrijeme operacije iskrcaja. Dovod UPP-a u isparivač tereta izvodi se pomoću teretnih pumpi ili pumpi goriva.



Slika 10: Isparivač tereta (*U-tube heat exchanger*)

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger

Avenir Aspiration opremljen je jednim isparivačem tereta izrađenog od tvrtke Jiangnan Lmart, a sastoji se od ljuske (velike tlačne posude) u kojoj se nalazi snop cijevi (*Shell and Tube type*). Dizajniran je za zagrijavanje i isparavanje UPP-a pomoću glikola ili vode kao izravnog medija za grijanje. UPP prolazi kroz i preko cijevi te isparava uslijed djelovanja toplog glikola ili vode koja teče na stranu ljuske. Cijevi su izvedene u obliku slova U (*U-tube heat exchanger*) te su dizajnirane da podnesu tlak do 15 barg i temperaturu od -163°C do 45°C , dok je tlak u području ljuske ograničen na 5 barg uz temperature od 0°C do 82°C .

4.3. KOMPRESOR ISPAREN OG PLINA

Kompresori su toplinski radni strojevi koji povećavaju tlak tvari (zraka, plina ili pare) smanjivanjem njena volumena, stavljajući ju pri tom u energetski vrjednije stanje. Kompresori isparenog plina (*BOG - Boil-off Gas Compressors*) uglavnom se koriste za slanje isparenih para prema pogonskom postrojenju ili spaljivaču tereta (*GCU - Gas Combustion Unit*), prema tanku tereta prilikom ispunjavanja tankova parama tereta (*Gassing Up*) te za slanje istih na kopno prilikom operacije ukrcaja.

U brod Avenir Aspiration ugrađena su dva kriogena klipna kompresora za dovod plina izravno iz tanka do ispusnog otvora isparivača goriva. Razvijeni su od strane švicarske kompanije Burckhardt Compression, a pokreću ih električni motori nazivne snage 75 kW pri

kojoj razvijaju maksimalan broj okretaja od 891 okr/min. Prije ulaska u kompresor nalazi se vertikalna posuda (*Knock-Out Drum*) posebno dizajnirana za sprječavanja ulaska tekućine u kompresor. Kompresor isparenog plina može raditi u dva načina rada. Prvi način je da se koristi za opskrbu pogonskim gorivom, a drugi način je prisilni povrat para te za operacije zagrijavanja ili posušivanja tankova tereta.

4.4. PUMPE GORIVA

Brod Avenir Aspiration opremljen je s dvije višestupanjske centrifugalne pumpe goriva dubokog doseg a s induktorom (*deepwell pump*), proizvođača Svanehoj AS, nominalnog kapaciteta 2 m³/h. Svaki tank tereta opremljen je vlastitom pumpom za gorivo koja omogućuje dovod UPP-a u sustav pogona, kao i u isparivač tereta (*cargo vaporizer*) ukoliko je to potrebno. Brzinom pumpe upravlja motor koji, na principu pretvarača energije, osigurava potrebni radni pritisak. Riječ je o električnom motoru, proizvođača ABB, koji pri minimalnom momentu sile razvija brzinu od 1 620 rpm. Motor radi u 3 faze te je protueksplozivne izvedbe i otporan na vremenske uvjete, a priključna kutija motora povezuje se sa svim električnim priključcima i senzorima pumpe. Pumpe goriva sigurne su za rad unutar raspona temperature od -196°C do +50°C te vrijednosti NPSH od 0.25 m.l.c. Pumpe moraju biti zaustavljene u periodu ne dužem od 5 sekundi nakon iskrcaja tanka kako ne bi došlo do povećanja vibracija i njihovog oštećenja.

5. POSTUPAK UKRCAJA BRODA AVENIR ASPIRATION

Ukrcaj tereta je rutinska operacija ukrcaja broda odgovarajućim i dogovorenim teretom, poštujući pri tome zadane norme sigurnosti. Prije početka operacije moraju biti zadovoljeni svi komunikacijski protokoli te kontrolne liste na obostrano zadovoljstvo ukrcajnog terminala i broda. Osnovne informacije temeljem kojih će se izvesti detaljno planiranje operacije ukrcaja te njeno trajanje uključuju: temperaturu i tlak u obalnim tankovima, odnosno tankovima broda, mogućnost povrata pare, dimenzije cijevi i pribornica itd. Nakon što su svi uvjeti ispunjeni, odgovorni časnik broda daje odobrenje za siguran početak ukrcaja, a odgovorna osoba terminala dužna je izdati obavijest kada pumpanje započne. Nakon što je utvrđeno da je sve u redu i da nema opstrukcija, suglasnošću između broda i terminala može se povećati brzina protoka tereta.

U ovom poglavlju detaljno će se opisati i prikazati određene sekvence koje čine operaciju ukrcaja broda Avenir Aspiration učinkovitom i sigurnom. Navedene sekvence mogu se razlikovati ovisno o opremi i sposobnosti ukrcajnog terminala i broda.

Jedan od najvažnijih parametara, a time i ograničenja svakog tanka je njegov volumen, odnosno kapacitet. Brod Avenir Aspiration opremljen je s dva tanka tipa C, pojedinačnog kapaciteta 3 750 m³, koji ne smiju biti ispunjeni preko 98% volumena (*Loading limit*) pri referentnoj temperaturi. Sukladno IGC Pravilniku³, volumen do kojeg tankovi tereta mogu biti ispunjeni, pri različitim temperaturama, određen je sljedećom formulom (1):

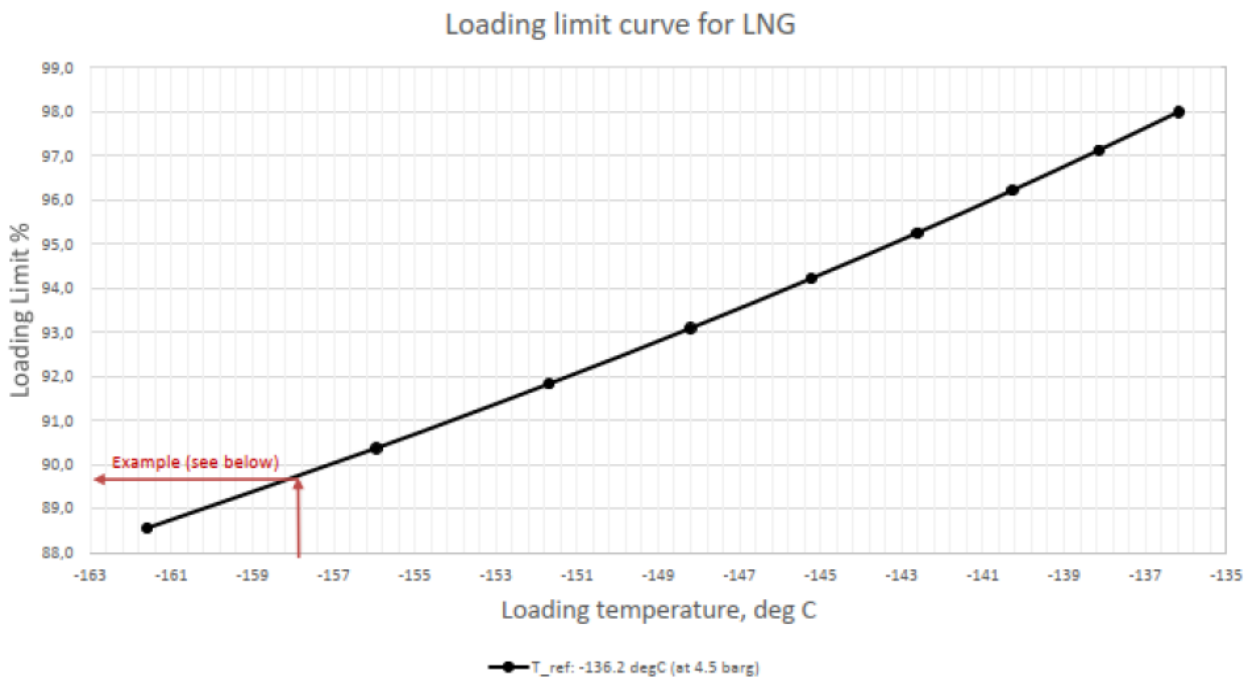
$$LL = FL \frac{\rho_r}{\rho_L} \quad (1)$$

gdje je:

- LL = najveći dopušteni volumen tereta u odnosu na volumen tanka koji smije biti ispunjen, ovisi o gustoći tereta i referentnoj temperaturi (*Loading limit*)
- FL = najveći dopušteni volumen tereta izražen kao postotak ukupnog volumena tanka, najviše 98% (*Filling limit*)
- ρ_r = relativna gustoća tereta na referentnoj temperaturi (kg/m³)
- ρ_L = relativna gustoća tereta na temperaturi ukrcaja (kg/m³)

³ Resolution MSC.5(48) - IGC-Code Int. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (15.1.5)

Izračunati maksimalni volumeni ispunjenosti (*Loading limits*) za brod Avenir Aspiration mogu se očitati sa grafikona (1). Primjer očitavanja vrijednosti najvećeg dopuštenog volumena označen crvenim strelicama odnosi se na vrijednost tlaka od 4.5 barg te referentnu temperaturu od -136.2 °C. Uzeći u obzir temperaturu tereta prilikom ukrcaja u iznosu od -158 °C (os apscisa), očitavanjem vrijednosti sa osi ordinata dolazi se do vrijednosti najvećeg dopuštenog volumena tereta u tanku (*Loading limit*) u vrijednosti od 89.7%.



Grafikon 1: Krivulja najvećeg dopuštenog volumena ispunjenosti tanka tereta

Izvor: Cargo Handling Manual - SOE STOLT 7.5K LNG-BV

5.1. POTHLAĐIVANJE CJEVOVODA

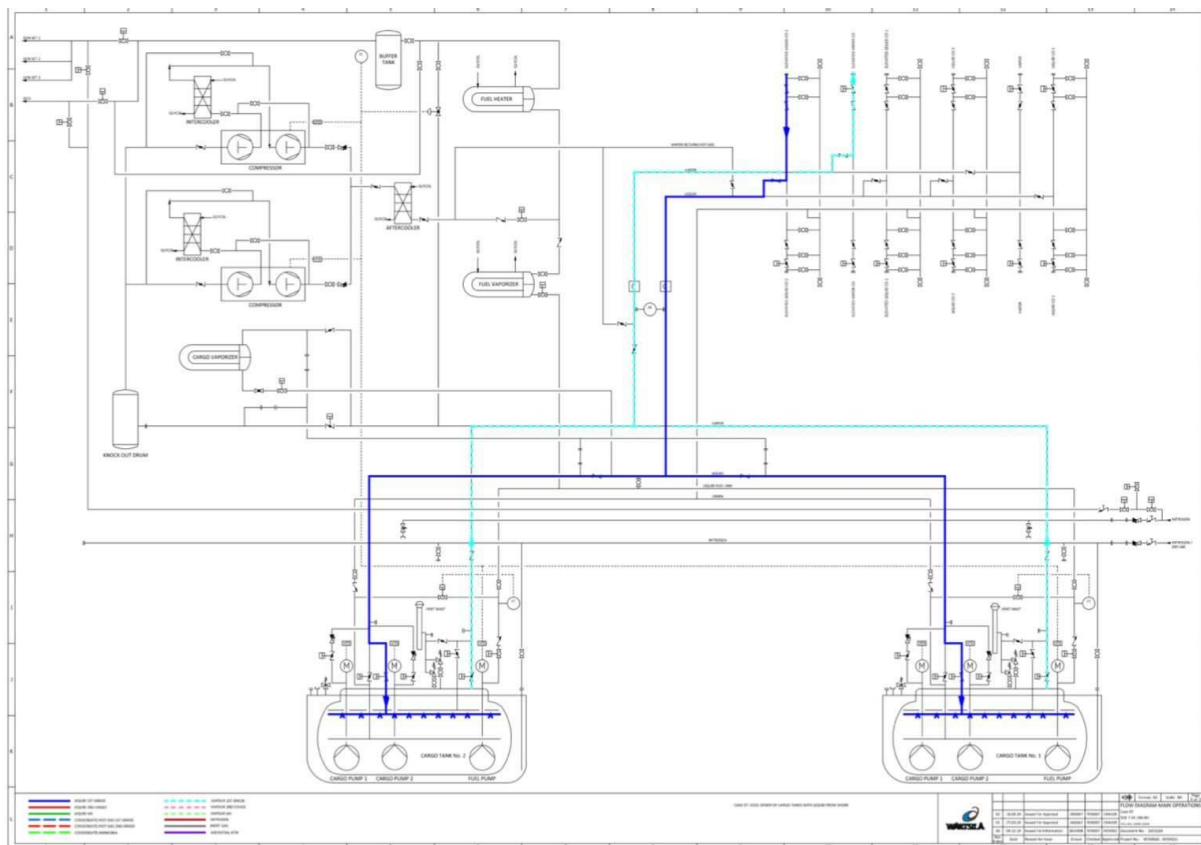
Prije svake operacije ukrcaja, ukrcajne cijevi i ruke moraju se pothladiti na odgovarajuću temperaturu kako bi se umanjilo njihovo prekomjerno opterećenje uslijed nagle promjene temperature. Ono se može postići na dva načina: pothlađivanjem cirkulacijom ukapljenog plina praćeno smanjenom ukrcajnom ratom ili pothlađivanjem korištenjem isključivo smanjene ukrcajne rate.

Prilikom pothlađivanja cirkulacijom, ukapljeni prirodni plin se pomoću *spray* pumpi dovodi do manifolda, a zatim povratno u tank kroz zatvoreni ciklus. U slučaju pothlađivanja smanjenim protokom, operacija ukrcaja započinje koristeći smanjenu brzinu protoka u

cjevovodu koji može biti pripremljen za ukrcaj sa ili bez povrata pare. U oba slučaja potrebno je pažljivo pratiti brzinu pothlađivanja koja ni u kojem trenutku ne smije prijeći brzinu od 3 °C/min. Pothlađivanje se smatra završenim kada su cjevovodi potpuno zaleđeni, odnosno kada temperatura dosegne -110 °C.

5.2. POTHLAĐIVANJE TANKOVA TERETA

Pothlađivanje tankova tereta neophodna je radnja koja za cilj ima sprječavanje prevelikih pritisaka na njihovu strukturu te umanjivanje opterećenja nastalih temperaturnim oscilacijama. Prirodni plin isporučuje se sa ukrcajnog terminala u jedan od cjevovoda za tekući plin (*liquid line*) te se preko mlaznica za raspršivanje (*spray nozzles*), koje se nalaze na vrhu tanka, izvodi raspršivanje. Učinak pothlađivanja postiže se isparavanjem atomiziranog tereta koji se raspršuje u atmosferu tanka. Maksimalno dozvoljena brzina pothlađivanja tankova iznosi 7.5°C/h, a prilagođava se ovisno o ograničenjima povrata pare na strani terminala. Kada je pothlađivanje tanka dovršeno, opskrba tekućim plinom se mijenja iz vrha u dno tanka te na taj način započinje klasični ukrcaj ukapljenog plina u tekućem stanju. Valja napomenuti da je od iznimne važnosti konstantno praćenje tlaka u tanku tijekom čitave operacije ukrcaja. Uzeći za primjer da početna temperatura tanka tereta iznosi 30°C i da se isti želi pothladiti na -140°C, najvećom dozvoljenom ratom od 7.5°C/h - trajanje postupka pothlađivanja iznosilo bi približno 23 sata.



Shema 1: Pothlađivanje tankova tereta

Izvor: Cargo Handling Manual - SOE STOLT 7.5K LNG-BV

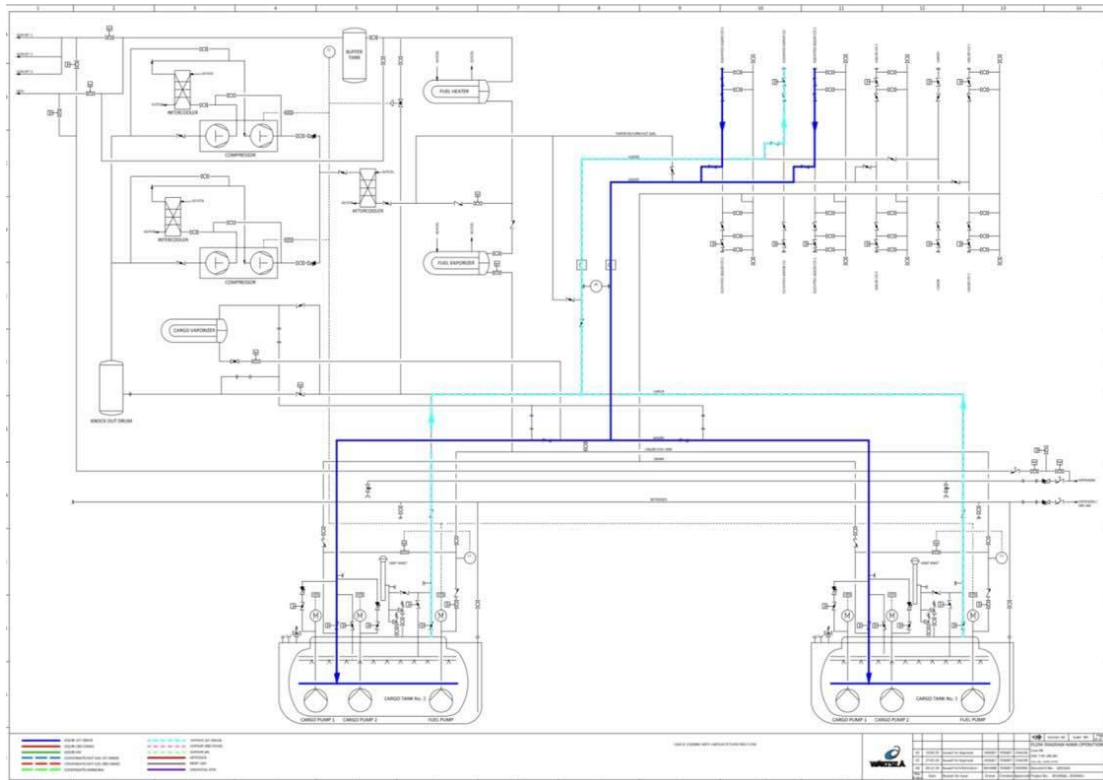
Na shemi (1) prikazan je dijagram tijekom operacije pothlađivanja tankova tereta broda Avenir Aspiration. Pojednostavljeno rečeno, ukapljeni prirodni plin se putem mlaznica za raspršivanje uvodi u tankove, a isparene pare plina koje nastaju uslijed izmjene topline se vraćaju na kopno. Kapacitet raspršivanja može se kontrolirati podešavanjem postotka otvorenosti kuglastog ventila 32VX070, pri čemu X označava broj tanka tereta. Kao što je već rečeno, najveća dozvoljena rata hlađenja tankova tereta iznosi $7.5\text{ }^{\circ}\text{C/h}$, a procijenjena količina protoka UPP-a potrebna za zadovoljenje navedene vrijednosti iznosi $1\ 150\text{ kg/h}$ za svaki pojedini tank. Pothlađivanje se smatra završenim kada temperatura dosegne $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ te se od tog trenutka ventili mogu konfigurirati na način da omogućuju daljnje ispunjavanje tanka tereta kroz donju liniju.

5.3. OPERACIJA UKRCAJA SA POVRATOM ISPARENOG PLINA

Početak operacije ukrcaja prethodi adekvatna razmjena informacija između broda i terminala te međusobna suglasnost o ispravnosti sustava neophodnih za sigurno izvođenje operacije kao što su: provjera sustava za isključivanje u nuždi (*ESD - Emergency Shutdown System*), ventila na daljinsko upravljanje, sustava za detekciju plina, alarma za detekciju razine ispunjenosti tankova, vrijednost maksimalne količine ispunjenosti tanka i dr. Planom ukrcaja tereta mora se omogućiti odgovarajuća pohrana tereta unutar tankova pri tom umanjujući i postižući prihvatljiva naprezanja brodske konstrukcije te odgovarajući trim glede zadovoljenja sigurnosnih uvjeta broda u plovidbi. U skladu sa zakonskim obvezama, brod Avenir Aspiration posjeduje podatke o stabilnosti, uključujući primjere stabilnosti pri različitim varijantama ukrcaja i stanju broda što je izuzetno važno za održavanje visokog standarda sigurnosti. UPP se u tankove tereta ukrcava preko cjevovoda ukapljenog plina (*liquid line*) koristeći obalne pumpe ukrcajnog terminala. Sustav dozvoljava ukrcajnu ratu od 2 000 m³/h, odnosno 1 000 m³/h po pojedinom tanku. Procijenjeno vrijeme trajanja istovremenog ukrcaja oba tanka pri ukrcajnoj rati od 2 000 m³/h iznosi približno 3.75 sati. Prilikom operacije ukrcaja, ispareni dio tereta vraća se na terminal cjevovodom isparenog plina (*vapour line*) slobodnim protokom ili pomoću kompresora isparenog plina (*BOG Compressors*). Na početku ukrcaja očekuje se veća generacija isparenog plina iz razloga što su, unatoč pothlađivanju, tankovi tereta još uvijek relativno topliji od samoga tereta što dovodi do većeg isparavanja uslijed razlike u temperaturi. Paralelno sa ukrcajem izvodi se operacija debalastiranja, sukladno planu ukrcaja, kako bi se održala zadovoljavajuća maritimna svojstva broda i umanjilo naprezanje brodske konstrukcije. Tijekom cijele operacije ukrcaja vrlo je važno imati u vidu vrijednost tlaka u cjevovodima, tankovima i međubarijernim prostorima, količinu ukrcanog tereta te brzinu ukrcaja. Na svaku primijećenu anomaliju potrebno je pravodobno i adekvatno odgovoriti i spriječiti eventualno odstupanje od dogovorenog plana ukrcaja. Posebnu pozornost treba obratiti prilikom samog završetka ukrcaja (*topping up*) koji se izvodi u suradnji sa terminalom. Pri ispunjenosti tanka od 95% dolazi do automatskog zatvaranja ventila tanka, a pri vrijednosti većoj od 98% dolazi do aktiviranja sustava za isključivanje u nuždi (ESD).

5.3.1. Povrat plina na kopno slobodnim protokom

Uzevši u obzir da je brod Avenir Aspiration opremljen cilindričnim tankovima tipa C, povrat isparenog plina prilikom ukrcaja može se jednostavno provesti slobodnim protokom. Ovi tankovi zapravo predstavljaju ‘posude pod tlakom’ koje istišću plin iz tankova te ga direktno putem cjevovoda isparenog plina (*vapour line*) šalju natrag na ukrcajni terminal. U shemi 2 prikazan je opisani način povrata plina slobodnim protokom na ukrcajni terminal.

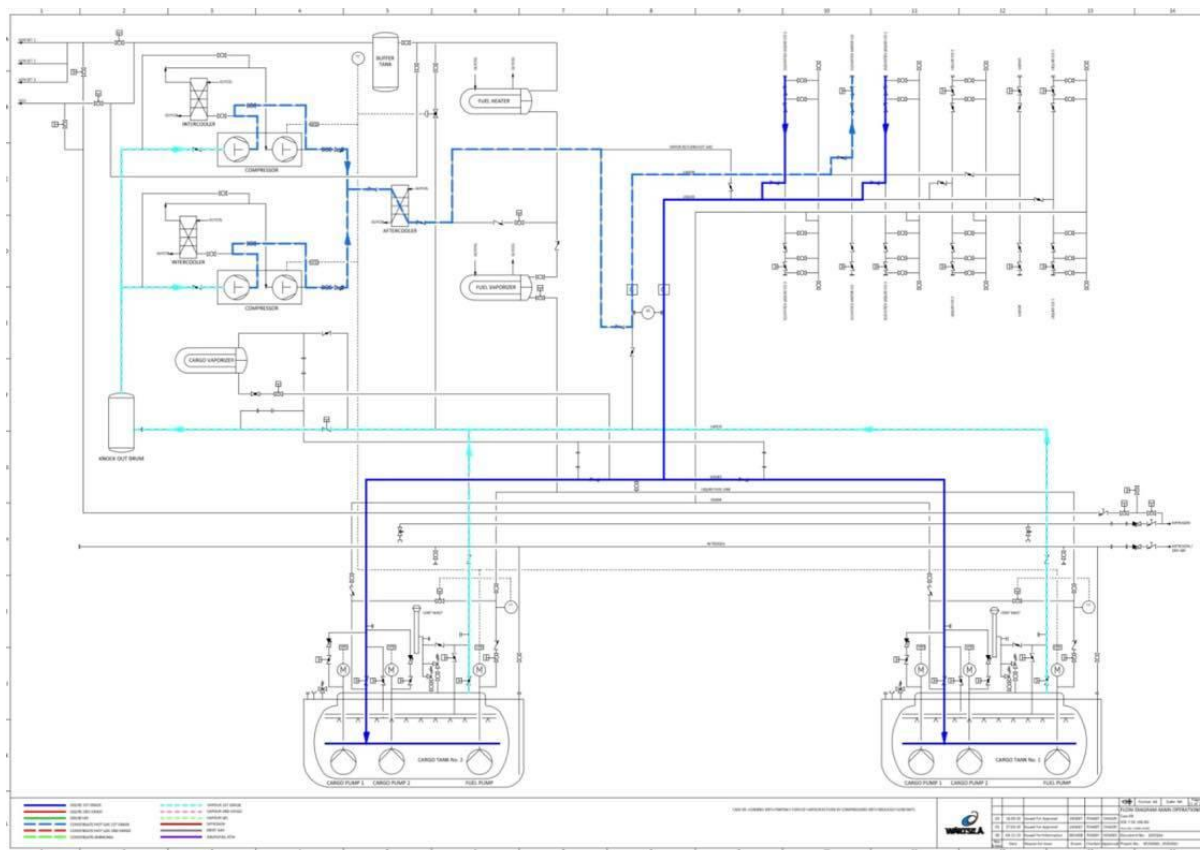


Shema 2: Povrat plina slobodnim protokom

Izvor: Cargo Handling Manual - SOE STOLT 1

5.3.2. Povrat plina na kopno prisilnim protokom

U slučaju da povratni pritisak sa ukrcajnog terminala sprječava mogućnost povrata plina kroz cjevovod isparenog plina (*vapour line*), povrat se obavlja prisilno pomoću dva ugrađena kompresora isparenog plina (*BOG Compressors*) kako bi se savladao povratni pritisak. U shemi 3 prikazan je postupak povrata plina prisilnim protokom prilikom operacije ukrcaja. Plin iz tankova putem cjevovoda isparenog plina (*vapour line*) ide u vertikalnu posudu (*Knock-Out Drum*) dizajniranu za sprječavanje ulaska tekućine u kompresore. Navedena posuda proizvod je tvrtke Jiangnan Lmart, ima volumen 0.96 m^3 te može izdržati tlak do 10 barg.



Shema 3: Povrat plina na kopno prisilnim protokom

Izvor: Cargo Handling Manual - SOE STOLT 2

Nakon što se iz plina ukloni određeni postotak tekućine, isti ulazi u kompresor isparenog plina gdje se odvija njegova kompresija, odnosno tlačenje. Postupak tlačenja plina ima za posljedicu povećanje njegove temperature te se šalje u komoru hlađenja (*aftercooler*) kako bi se temperatura smanjila. Avenir Aspiration opremljen je komorom za hlađenje (*aftercooler*) tvrtke Kelvion, dizajniranu da podnese tlak do 15 barg. Nakon hlađenja u komori, plin je optimalne temperature i putem cjevovoda odlazi na ukrajni terminal.

5.4. PROPUHIVANJE CJEVOVODA DUŠIKOM NAKON UKRCAJA

Nakon završetka operacije ukrcaja, cjevovodi se moraju propuhati dušikom kako bi se udio metana u cjevovodu zadržao ispod 2%. Propuhivanje cjevovoda pomaže prevenirati neželjene reakcije što može uvelike produžiti vijek trajanja povezanih komponenti, ali i spriječiti moguće ispuštanje isparenih para tereta u atmosferu. Operacija propuhivanja provodi se uz adekvatnu komunikaciju i suradnju sa terminalom kako bi se izbjegle izvanredne i

neželjene situacije. U nastavku su opisani sljedovi operacije propuhivanja cjevovoda dušikom broda Avenir Aspiration:

1. Uklanjanje ostataka UPP-a iz priključka manifolda i prekrcajnih ruku/cijevi
Operacija propuhivanja započinje priključivanjem manifolda za propuhivanje (*manifold purge*) na tank dušika kojim se tekućina zaostala u ukrcajnoj ruci/cijevi potiskuje natrag prema terminalu. Završetak operacije se obično manifestira naglim padom tlaka u ukrcajnoj ruci/cijevi te bi se u ovoj fazi trebalo izbjegavati dreniranje.
2. Uklanjanje zapaljivih para
U ovoj fazi potrebno je dušikom povećati tlak u cjevovodu i zatim otvoriti drenažne ventile. Nakon zatvaranja drenažnih ventila potrebno je pratiti promjenu tlaka u cjevovodu. Nagli porast tlaka u jednoj minuti implicira značajnu količinu tekućine zaostale u tanku. U tom slučaju potrebno je ponoviti postupak povećanja tlaka u cjevovodu dušikom i otvaranja drenažnih ventila.
3. Provjera sigurnosnih uvjeta
U zadnjoj fazi potrebno je provjeriti udio metana koji ne smije biti veći od 2%, a mjerenje mora biti učinjeno na mjestu propuhivanja blizu točke odvajanja. Nakon postupka provjere i zadovoljavajućeg rezultata, tlak u cjevovodu se smanjuje i zatvaraju se drenažni ventili.

6. POSTUPAK ISKRCAJA/BUNKERA BRODA AVENIR ASPIRATION

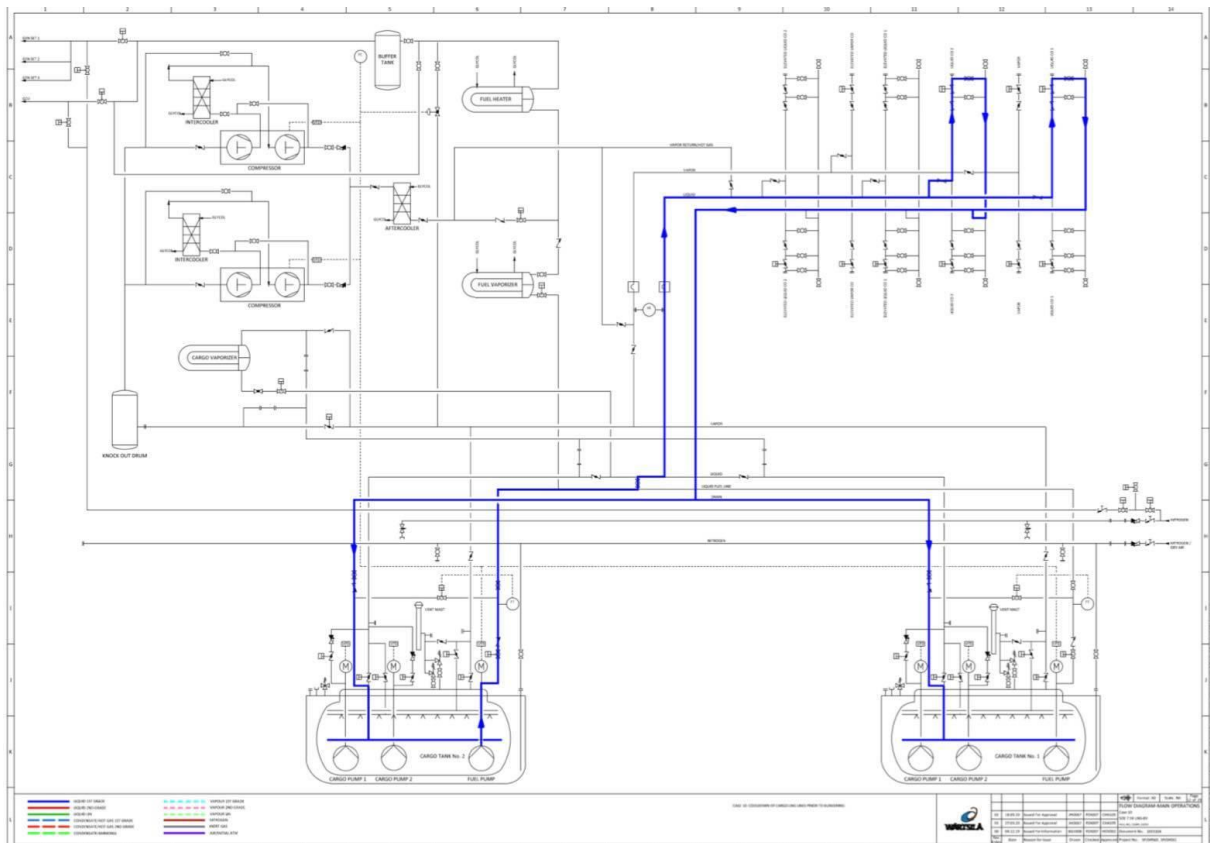
Iskrcaj tereta je rutinska operacija iskrcaja dogovorenog tereta, poštujući pri tome određene sigurnosne norme. S obzirom da je u ovome radu riječ o LNG bunker brodu Avenir Aspiration, operacija iskrcaja ujedno predstavlja i operaciju bunkera s broda na brod (*STS Transfer*). Operacija bunkera u konkretnom slučaju znači opskrbu brodova UPP-om koji će ga zatim koristiti kao pogonsko gorivo, kao i za opću i specifičnu opskrbu energijom plovila na vezu. Svaki zapovjednik odgovoran je za vlastiti brod i osoblje glede sigurnosti i opreme tokom cijele operacije iskrcaja/bunkera broda. Prije početka bilo kojih radnji mora postojati dogovor i razumijevanje postupaka između LNG bunker broda i broda primatelja bunkera. Neki od najvažnijih sustava koji moraju biti provjereni i u svakom trenutku spremni za uporabu na oba broda prije početka operacije bunkera su: sustav protupožarne opreme, oprema za osobnu zaštitu i sustav za isključivanje u nuždi (ESD). Budući da je brod koji prima bunker obično veći od LNG bunker broda važno je postaviti sigurnosnu zonu koja bi se trebala protezati 10 metara sa svake strane priključka ili manifolda. Oba broda moraju provjeriti tankove UPP-a kako bi potvrdili da se nalaze unutar sigurnog vrijednosnog raspona temperature i tlaka za početak operacije iskrcaja/bunkera. Plan priveza mora prethodno biti detaljno dogovoren i prihvaćen uz obveznu provjeru privezne opreme kao što su konopi, vitla, bokobrani i sl. Cjevovodi tereta moraju također biti detaljno ispitani te pravovremeno zamijenjeni ukoliko se utvrde oštećenja ili dođe do njihovog propuštanja. Nakon što su dogovoreni i potvrđeni sigurni uvjeti za privez, može se započeti sa manevrom prilaza uz aktivno praćenje vremenskih uvjeta, valova, morskih struja i okolnog prometa. Privez je završen kada su svi privezni konopi postavljeni u skladu s prethodno dogovorenim planom priveza nakon čega je bunker brod sigurno privezan za brod primatelj.

U ovom poglavlju detaljno će se prikazati i objasniti radni postupci broda Avenir Aspiration prilikom operacije iskrcaja, odnosno bunkera s broda na brod (*STS Transfer*).

6.1. POTHLAĐIVANJE CJEVOVODA

Kao i kod operacije ukrcaja, prije početka operacije iskrcaja/bunkera broda Avenir Aspiration potrebno je provesti pothlađivanje ukrcajnih cjevovoda kako bi se smanjilo njihovo preveliko opterećenje uzrokovano termalnim promjenama. Pothlađivanje može biti učinjeno

cirkulacijom UPP-a nakon čega slijedi iskrcaj/bunker smanjenom ratom ili pothlađivanje cjevovoda isključivo koristeći smanjenu ratu iskrcaja/bunkera. Najoptimalniji način je pothlađivanje cirkulacijom UPP-a prije dolaska na mjesto bunkera pri čemu se smanjuje vrijeme potrebno za izvršenje cijele operacije. Prilikom pothlađivanja cirkulacijom, pumpe goriva (po jedna u svakom tanku) izvlače UPP iz tanka tereta i dovode ga do manifolda te kroz zatvoreni ciklus vraćaju natrag u tank (shema 4).



Shema 4: Pothlađivanje cjevovoda cirkulacijom UPP-a

Izvor: Cargo Handling Manual - SOE STOLT 3

Pothlađivanje smanjenim protokom izvodi se na način da se započne operacija iskrcaja/bunkera smanjenim protokom te se na taj način pothlade cjevovodi. U oba slučaja potrebno je konstantno pratiti temperaturu i brzinu pothlađivanja koja ne smije biti veća od 3°C/min. Pothlađivanje se smatra završenim kada su cjevovodi potpuno zaleđeni, odnosno kada temperatura dostigne -110°C.

6.2. OPERACIJA ISKRCAJA/BUNKERA SA ILI BEZ POVRATA PLINA

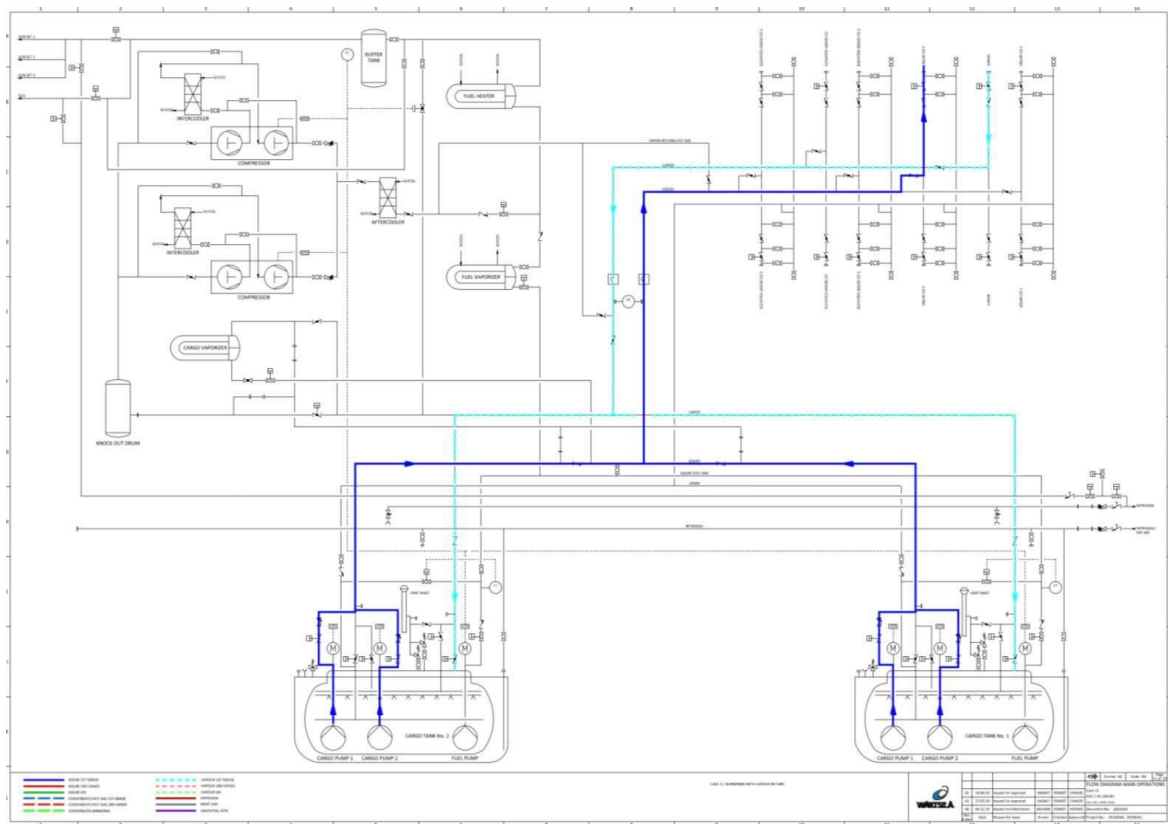
Početak operacije iskrcaja/bunkera prethodi odgovarajuća razmjena informacija između LNG bunker broda i broda primatelja te međusobna suglasnost o ispravnosti sustava neophodnih za nesmetano izvođenje operacije navedenih u prethodnim poglavljima. Nakon što su brodovi sigurno privezani može se pristupiti povezivanju prekrcajnih cjevovoda. Pojedini brodovi mogu biti opremljeni specijaliziranom opremom za rukovanje cjevovodima, no najčešće se koristi palubna dizalica za podizanje prekrcajnog cjevovoda s LNG bunker broda na palubu broda primatelja. Svaki manifold mora biti uzemljen, a brod primatelj opremljen odgovarajućom izolacijskom prirubnicom kako bi se umanjila mogućnost nastanka izvora zapaljenja uslijed elektrostatičkog nakupljanja. Iz povećanih sigurnosnih razloga priključci bi, ukoliko je to moguće, trebali biti različitih veličina, a prije međusobnog povezivanja ne bi trebali dodirivati bilo koji neuzemljeni dio radi mogućnosti pojave iskrenja. Cjevovod ukapljenog plina (*liquid line*) i cjevovod isparenog plina (*vapour line*) moraju biti jasno označeni različitim bojama kako ne bi došlo do pogrešne identifikacije, a time i neispravnog spajanja cjevovoda. Cjevovodi moraju biti u optimalnom stanju, adekvatno provjereni i imati odgovarajući promjer i duljinu kako ne bi došlo do njihovog prekomjernog naprezanja i istezanja, a posljedično i oštećenja tijekom izvođenja operacije. Nakon uspješno odrađenih i provjerenih predradnji, operacija iskrcaja/bunkera započinje korištenjem teretnih pumpi LNG bunker broda uz kontrolirani, smanjeni protok sukladno dogovoru i planu iskrcaja/bunkera. Ova sekvenca, između ostalog, koristi se i za sigurnosnu provjeru cijelog sustava te za praćenje ponašanja cjevovoda i opreme. Ukoliko se ustanove određene nepravilnosti i smetnje, operacija se automatski zaustavlja i može biti nastavljena tek nakon provođenja odgovarajućih korektivnih radnji i provjera istih. Vrijeme trajanja operacije ovisi o dogovoru između brodova, ali i o trenutnoj situaciji te vremenu potrebnom za pothlađivanje cjevovoda ukoliko nije prethodno obavljeno. Cijela operacija iskrcaja/bunkera mora biti konstantno nadgledana od strane odgovornih osoba na oba broda s naglaskom na praćenju vrijednosti temperature, tlaka, volumena ispunjenosti tankova te ponašanje prekrcajne opreme.

Sustav broda Avenir Aspiration dozvoljava iskrcajnu ratu od 1000 m³/h, odnosno 500 m³/h po jednome tanku. Procijenjeno vrijeme trajanja istovremenog iskrcaja oba tanka pri maksimalnoj iskrcajnoj rati od 1 000 m³/h iznosi približno 7.5 sati. Kako bi se izbjegla kavitacija na usisnoj strani teretnih pumpi, svaki tank je moguće iskrcati do razine od otprilike 0.7 m nakon čega će se iskrcaj zaustaviti. Paralelno s operacijom iskrcaja izvodi se operacija

balastiranja sukladno planu iskrcaja kako bi se brod održao na željenom gazu i trimu te konstantno imao zadovoljavajuću stabilnost. Održavanje željenog tlaka u tankovima tereta tijekom operacije iskrcaja/bunkera od iznimne je važnosti za sigurnost broda, a izvodi se ovisno o mogućnosti povrata plina sa broda primatelja. Ukoliko je temperatura broda primatelja, prilikom operacije bunkera, znatno veća od temperature UPP-a, dolazi do povećanog isparavanja, zatim povećanja tlaka, a posljedično i ispuštanja UPP-a u atmosferu nakon otvaranja sigurnosnih ventila. Kako bi se to spriječilo, oba broda moraju biti u istim sigurnosnim granicama glede tlaka i temperature. Sukladno tome, u nastavku će se prikazati postupci operacije iskrcaja/bunkera kada je povrat isparenog plina sa broda primatelja moguć, kao i situacija kada to nije slučaj te ga LNG bunker brod mora proizvesti sam pomoću isparivača tereta (*cargo vaporizer*).

6.2.1. Operacija iskrcaja sa povratom plina

U shemi 5 prikazana je operacija iskrcaja/bunkera broda Avenir Aspiration kada postoji mogućnost povrata plina s broda primatelja.



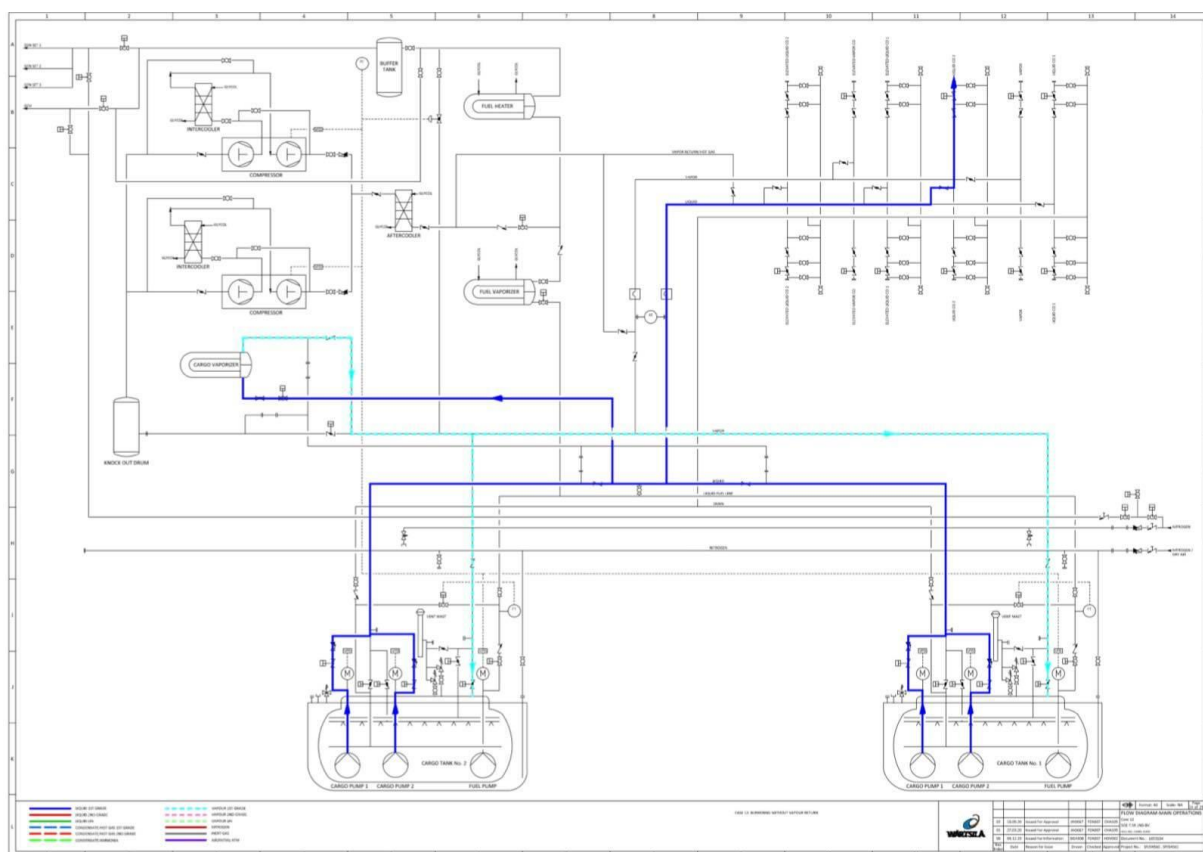
Shema 5: Operacija iskrcaja/bunkera sa povratom plina s broda primatelja

Izvor: Cargo Handling Manual - SOE STOLT 4

To je ujedno i najjednostavniji način gdje LNG bunker brod svojim teretnim pumpama putem cjevovoda ukapljenog plina (*liquid line*) izvodi operaciju iskrcaja/bunkera, a brod primatelj vraća isparene pare tereta cjevovodom isparenog plina (*liquid line*) izravno u tank broda Avenir Aspiration.

6.2.2. Operacija iskrcaja bez povrata plina

Operacija iskrcaja/bunkera bez povrata plina provodi se ukoliko brod primatelj nema mogućnost (dovoljnog) povrata isparenog plina prema LNG bunker brodu ili ukoliko zahtijeva potpuno ohlađen teret, tj. atmosferski tlak u tankovima. Nadalje, vrijednost smanjenja tlaka tijekom operacije potpunog iskrcaja/bunkera često je manja od radnog raspona tankova zbog čega bi iskrcaj trebalo započeti sa visokim tlakom u tankovima kako bi se izbjegla neželjena pojava vakuuma.



Shema 6: Operacija iskrcaja/bunkera bez povrata plina s broda primatelja

Izvor: Cargo Handling Manual - SOE STOLT 5

Izbjegavanje vakuuma na brodu Avenir Aspiration može se postići na dva načina. Prvi način je podizanje vrijednosti tlaka uvođenjem isparenog plina iz tanka koji se ne iskrcava. No, uzevši u obzir kapacitet broda i broj tankova, može se zaključiti kako ova opcija nije suviše realna. Drugi, optimalniji način je proizvodnja dodatne količine isparenog plina uz pomoć isparivača tereta (*cargo vaporizer*), prikazan na shemi 6. Operacija iskrcaja/bunkera broda provodi se klasično, brodskim teretnim pumpama, dok dio tereta iz tanka odlazi u isparivač tereta (*cargo vaporizer*) odakle se ispareni plin vraća natrag u tankove tereta.

6.3.PROPUHIVANJE CJEVOVODA DUŠIKOM NAKON ISKRCAJA

Postupak propuhivanja cjevovoda dušikom, nakon operacije iskrcaja/bunkera broda Avenir Aspiration, obavlja se na identičan način kako je to opisano u poglavlju 5.4.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovoga rada bio je pobliže prikazati mogućnosti korištenja UPP-a kao pogonskog goriva te tehnologiju i sustave prekrcaja LNG bunker broda Avenir Aspiration. Upotreba UPP-a kao pogonskog goriva, iako usporena izvanrednim događajima kao što su pandemija bolesti COVID-19 i rat u Ukrajini, u stalnom je porastu. Cijela industrija UPP-a pokazala je zadovoljavajuću otpornost, brzo se oporavljaajući od navedenih događaja i njihovih posljedica. Sve veći razvoj brodova koji za pogon koriste UPP, kao i *LNG-ready* brodova, dovodi do neizbježnog razvoja tehnologije i infrastrukture koja ide u korak s vremenom. Potražnja za UPP-om u stalnom je porastu, a izgradnja značajnih čvorišta UPP-a u Aziji i drugim velikim potrošačkim regijama pomoći će u osiguravanju dovoljne količine UPP-a uz održavanje relativno prihvatljivih operativnih i drugih troškova.

Nadalje, obrađena su svojstva i prednosti korištenja UPP-a kao goriva. Prirodni plin je plin bez boje, okusa, mirisa, netoksičan i nekorozivan, za razliku od, primjerice, dizela koji je vrlo zagađujući i posjeduje veći rizik od zapaljenja. Iako još uvijek fosilno gorivo, svojstva UPP-a čine ga najčišćim i energetske najučinkovitijim iz te skupine. Ono što je najvažnije, UPP emitira značajno manje količine ugljikova dioksida te SO_x i NO_x spojeva koji imaju izuzetno negativan utjecaj na atmosferu u cjelini. Samim time, kao tranzicijsko gorivo, UPP može pomoći u ispunjavanju rastućih energetskih potreba razvijenih zemalja i zemalja u razvoju prije potpunog prelaska na čiste i održive izvore energije.

U glavnom dijelu rada prikazan je LNG bunker brod Avenir Aspiration sa svojim obilježjima i sustavima, a čija je primarna svrha opsluživanje brodova na pogon UPP-om u području HIGAS LNG terminala na Sardiniji. Uz sustave neophodne za prekrcaj, opisani su i shematski prikazani postupci ukrcaja, odnosno iskrcaja/bunkera broda. Standardni postupak bunkera UPP-om danas se može smatrati dobro uspostavljenim, sa značajnim brojem uspješno izvedenih operacija. Pojava isparenog plina prilikom skladištenja, prijevoza, a zatim i prekrcaja (bunkera) UPP-a učestala je pojava kojoj se mora pristupiti na odgovarajući način. Razlika u vrijednosti temperature i tlaka određuje načine odvijanja operacija i općenito njihovo upravljanje, imajući u vidu prvenstveno održavanje sigurnosnog aspekt na visokoj razini

Pišući ovaj rad, znatno sam produbio svoje znanje i interes o LNG bunker industriji, tržištu te tehnologiji i načinu izvođenja operacije bunkera. Mišljenja sam da postoji još puno

prostora za napredak te da ćemo u narednim godinama biti svjedoci novih, velikih svjetskih projekata u vidu modernih LNG bunker terminala, brodova i sl.

LITERATURA

Knjige:

1. Bronzan, B., 1999. *LNG*. Zagreb: Energetika marketing.
2. Komadina, P., 1992. *Prijevoz ukapljenih plinova morem*. Rijeka: Pomorski fakultet.
3. Avenir Aspiration Cargo Handling Manual
4. 2016. *IGC Code*. London: International Maritime Organization.
5. Sumner, M., 2015. *Tehnologija prijevoza ukapljenih plinova morem*. Rijeka.

Internet izvori:

1. <https://www.parismou.org/sites/default/files/EMSA%20Guidance%20on%20LNG%20Bunkering.pdf>
2. https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/ABS_LNG_Bunkering_Advisory.pdf
3. Snyder, J., 2022. *Record-setting 2021 to swell LNG-fuelled fleet to over 800*. [online] Available at: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/record-setting-2021-to-swell-lng-fuelled-fleet-to-over-800-69308?fbclid=IwAR3Sjv9h6bTVTozd3Bpr7pxYZWVsEsOqp_Btzthiwi6CosfJyUZazfZzNE4>
4. <https://energytracker.asia/is-lng-the-fuel-of-the-future/?fbclid=IwAR2So71n04DoVaR44xLCWPGggqCoZH6qp49OMGvQDVGNmDbBuSNjpp4SI4Y>
5. <https://energytracker.asia/lng-the-rise-of-liquefied-natural-gas/?fbclid=IwAR0lt-GSgYd-MciZUBmKjss2HHkT7q9NcSR25mqeqrzJoQCG0iP5h1i2e4Y>
6. https://www.elengy.com/en/lng/lng-an-energy-of-the-future.html?fbclid=IwAR0MSmbgKyrwXTV11CcJtv1N_wAE_7maBXFh3yK-XTW5HMzn_kxvIqQ7Lc
7. <https://lngprime.com/europe/dnv-reports-new-monthly-record-for-lng-fueled-ship-orders/50299/?fbclid=IwAR19ZgkOmyi-rgxgzfsTr-13xBWztCjI8Smvh1dBZDEyXRBsnCji76rXmLU>
8. https://sea-lng.org/lng-bunker-fuel-prices/singapore-lng-bunker-prices/?fbclid=IwAR1LGjIBTNs_oTFSQIzKS6GJJuV4PzdhrH3-wnvBdu2HcI6krdPRDedoZKk
9. <https://sea-lng.org/lng-bunker-fuel-prices/rotterdam-marine-fuel-lng-bunker-prices/>
10. https://www.transparencymarketresearch.com/lng-bunker-fuel-market.html?fbclid=IwAR2HNYavZotuhiJ0Hpya4KONr1fs5X5Yt7NISDSPfLZ9Mezj1f4CNsXTL_E
11. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lng-bunkering-market?fbclid=IwAR1aCwp9xw5-559kjzv8RTn0IqFfaTgD-7n4kA1bnfd1j68uOVPRIbW96H0>
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger
13. <https://www.offshore-energy.biz/avenir-lng-takes-delivery-of-avenir-aspiration-lbv/>
14. https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_2389_14/7/

15. <https://cupdf.com/document/lng-ship-to-ship-bunkering-procedure-fkab-marine-design-the-procedure-is-made.html?page=7>
16. https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/ABS_LNG_Bunkering_Advisory.pdf
17. <https://marinefuels.totalenergies.com/news/blog/asia-lng-bunkering-developing-infrastructure-to-meet-future-demand>
18. <https://www.mlit.go.jp/common/001173458.pdf>
19. <https://www.cetjournal.it/cet/22/91/090.pdf>
20. https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/620-NR_2022-07.pdf

KAZALO KRATICA

BOG – Boil-off gas

GCU – Gas Combustion Unit

HFO – Heavy Fuel Oil

IMO – International Maritime Organisation

LSFO – Low Sulfur Fuel Oil

MGO – Marine Gas Oil

MLC – Meters of Liquid Column

MMBTU – Metric Million British Thermal Unit

NPSH – Net Positive Suction Head

PM – Particulate Matter

SECA – Sulfur Emission Control Area

STS – Ship to Ship (transfer)

UPP – ukapljeni prirodni plin

POPIS SLIKA

Slika 1: Zapaljivost metana	3
Slika 2 Narudžbe brodova na pogon ukapljenim prirodnim plinom	5
Slika 3 Globalno tržište LNG bunkera 2020-2027	6
Slika 4 Globalno tržište LNG-a - rast po regijama	7
Slika 5 Fluktuacije cijena bunkera u luci Rotterdam	8
Slika 6 Fluktuacije cijena bunkera u luci Singapore	9
Slika 7 LNG bunker brod Avenir Aspiration	11
Slika 8 Presjek broda Avenir Aspiration	12
Slika 9 Prikaz pumpe tereta broda Avenir Aspiration	14
Slika 10 Iparivač terets (<i>U-tube heat exchanger</i>)	15

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1 Krivulja najvećeg dopuštenog volumena ispunjenosti tanka tereta	18
--	----

POPIS SHEMA

Shema 1 Pothlađivanje tankova tereta	20
Shema 2 Povrat plina slobodnim protokom	21
Shema 3 Povrat plina na kopno prisilnim protokom	22
Shema 4 Pothlađivanje cjevovoda cirkulacijom UPP-a	25
Shema 5 Operacija iskrcaja/bunkera sa povratom plina s broda primatelja	27
Shema 6 Operacija iskrcaja/bunkera bez povrata plina s broda primatelja	28