

Analiza teretnih operacija kod LPG tankera

Kamber, Grgo

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:820109>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for
permanent storage and preservation of digital
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

GRGO KAMBER

**ANALIZA TERETNIH OPERACIJA KOD
LPG TANKERA**

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2021.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA

**ANALIZA TERETNIH OPERACIJA KOD
LPG TANKERA**

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:

Doc.dr. sc. Rino Bošnjak

STUDENT:

Grgo Kamber

(MB:0023124938)

SPLIT, 2021.

SAŽETAK

Porast potražnje za čistim izvorima energije dovodi do povećane potražnje za ukapljenim naftnim plinom (engl. *Liquefied petroleum gas-LPG*). Naftni plin spada u skupinu ugljikovodika i predstavlja dostatnu zamjenu uobičajnim energentima uz manje zagađivanje okoliša. Razvoj tržišta ukapljenih naftih plinova dovelo je do razvoja posebnih LPG tankera. Zbog opasnosti prijevoza ove vrste tereta LPG tankeri moraju zadovoljavati određena pravila izgradnje koja su navedena u Međunarodnom kodeksu o Izgradnji i Opremljivanju Brodova koji prevoze Ukapljene plinove (engl. *International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liqueified Gases in Bulk- IGC Code*). Najopasnije operacije na ovim brodovima su operacije rukovanja teretom. U ovome radu se opisuju procedure ukrcaja, prijevoza i iskrcaja tereta. Prije ukrcaja tereta, teretni spremnici se pripremaju, ukoliko je potrebno inertiranjem, uplinjavanjem, hlađenjem. Tokom prijevoza tereta zbog porasta temperature unutar spremnika dolazi do isparavanja tereta (engl. *Boil off gas- BOG*) i povećanja tlaka u tankovima. Zbog toga je potrebno ispareni teret kondenzirati u postrojenju za ponovno ukapljivanje i vratiti u spremnike. Nakon iskrcaja tereta moguće je da se spremnici trebaju pripremiti za sljedeći teret ili za dokovanje odnosno inspekciju tanka. Za članove posade od velike je važnosti poznavati pravilne procedure pri teretnim operacijama kao i u slučaju opasnosti.

Ključne riječi: *Naftni plin, LPG tanker, IGC kod, ispareni teret*

ABSTRACT

An increase in the demand for cleaner energy resources has led to higher demand for liquefied petroleum gas. Petroleum gases are hydrocarbons, and they offer an alternative to common fossil fuels with lower impact on the environment. Development in liquefied petroleum gas market has led to the development of specialized LPG tankers. Because of the dangers that transport of these cargoes creates, LPG tankers have to follow certain rules that are stated in the International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk- IGC Code. One of the most dangerous operations on these ships are cargo operations. In this paper, procedures of loading, transport and unloading the cargo are described. Prior to loading the cargo, cargo tanks may have to be prepared, involving inerting, gassing up, and cooling down operations. During sea transport, due to the rise in the temperatures inside the cargo tanks, the formation of boil-off gas is present. Boil-off gas has to be condensed and returned to the cargo tanks, using the reliquefaction plant. After the discharge of the cargo, cargo tanks have to be prepared for the next cargo or for the docking procedures. For the crew of the vessel, it is of great importance to know the right procedures for cargo operations and procedures in case of an emergency.

Keywords: *Petroleum gas, LPG tanker, IGC Code, Boil-off gas*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆENITO O UKAPLJENOM NAFTNOM PLINU	2
2.1. SVOJSTVA I SASTAV UKAPLJENIH NAFTNIH PLINOVA	2
2.2. PROIZVODNJA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	5
3. LPG TANKERI I OPREMA ZA RUKOVANJE TERETOM	8
3.1. POTPUNO STLAČENI LPG TANKERI.....	8
3.2. POLU HLAĐENI LPG TANKERI.....	9
3.3. POTPUNO HLAĐENI LPG TANKERI	10
3.4. SUSTAV LINIJA ZA TERET I SUSTAV ZA ISKLJUČIVANJE U OPASNOSTI	12
3.4.1. Cjevovodni sustav za teret	12
3.4.2. Sustav za isključivanje u slučaju opasnosti	13
3.5. OPREMA ZA RUKOVANJE TERETOM	14
3.5.1. Teretne pumpe	14
3.5.2. Kondenzator	15
3.5.3. Kompresor	15
3.5.4. Separator	16
3.5.5. Grijač tereta	17
3.5.6. Isparivač tereta	18
3.5.7. Izmjenjivač temperature	18
4. TERETNE OPERACIJE LPG BRODOVA	20
4.1. PRIPREMA ZA UKRCAJ TERETA	21
4.1.1. Inspekcija tanka	21
4.1.2. Isušivanje teretnih tankova.....	22
4.1.3. Inertiranje tankova.....	23
4.1.4. Uplinjavanje	24
4.1.5. Hlađenje teretnih prostora.....	25
4.2. UKRCAJ TERETA	26
4.3. PRIJEVOZ MOREM	28
4.3.1. Sustav ponovnog ukapljivanja.....	28

4.4. ISKRCAJ TERETA	30
4.4.1. Priprema broda za promjenu tereta ili za suhi dok	32
5. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA	35
POPIS SLIKA.....	37
POPIS TABLICA.....	38
POPIS KRATICA	39

1. UVOD

U ovom radu obrađuje se tematika vezana za teretne operacije odnosno priprema broda za teret, ukrcaj, prijevoz i iskrcaj tereta ukapljenog naftnog plina. Operacije ukrcaja i iskrcaja tereta su među najopasnijim operacijama i potrebno je poznavati pravilne procedure i moguće opasnosti kao i postupke u slučaju opasnosti, bilo po ljudski život ili za morski okoliš.

Naftni plin se dobiva kao produkt obrade sirove nafte ili ekstrakcijom iz zemnog plina. Ukapljeni naftni plin ima široku raspodjelu od uporabe u industrijskim postrojenjima kao sirovina za proizvodnju određenih produkata do uporabe kao pogonsko gorivo za vozila ili uporabu u kućanstvima. U posljednjih 60-ak godina imamo razvoj i izgradnju posebnih brodova za trgovinu ukapljenih naftnih plinova.

Tankeri za ukapljeni naftni plin danas spadaju u jedne od najmodernijih i najkompleksnijih brodova. Prvobitno zbog opasnosti i vrijednosti tereta koju prevoze i nadalje zbog načina ukapljivanja naftnih plinova odnosno pretvorbe iz plinovitog stanja u tekuće stanje radi jednostavnijeg prekomorskog prijevoza. Zbog toga izgradnja brodova je regulirana brojnim međunarodnim pravilima i konvencijama. Svi brodovi za prijevoz ukapljenih plinova moraju biti izgrađeni i opremljeni u skladu sa Međunarodnim Kodeksom o Izgradnji i Opremljivanju Brodova koji Prevoze Ukapljene Plinove (engl. *International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk- IGC Code*) koji je prihvaćen od strane Međunarodne pomorske organizacije (engl. *International Maritime Organization- IMO*).

Ovaj rad se sastoji od tri cjeline. U prvoj cjelini se obrađuje sastav, svojstva i proizvodnja tereta koji prevoze LPG tankeri, u sljedećoj cjelini se govori o vrstama LPG tankera i opremi koja se koristi za rukovanje teretom. Zatim u posljednjoj cjelini obrađuju se operacije sa teretom od pripreme broda za teret, ukrcaja tereta prijevoznog putovanja te iskrcaja tereta.

2. OPĆENITO O UKAPLJENOM NAFTNOM PLINU

Kada se govori o brodovima za prijevoz ukapljenog plina razlikuju se tri glavne skupine tereta koji se prevoze. To su ukapljeni prirodni plin (*engl. Liquefied Natural Gas-LNG*), ukapljeni naftni plin te kemijski plinovi (*engl. Chemical gases*). Svaka skupina tereta ima određena svojstva koja će utjecati na način ukapljivanja ali i transporta tih tereta.

2.1. SVOJSTVA I SASTAV UKAPLJENIH NAFTNIH PLINOVA

Pojam tekući plin se koristi za plinove koji pri atmosferskom tlaku i temperaturi su u plinovitom stanju a prevoze se brodovima u tekućem stanju. Za prijevoz se ukapljaju a pretvorba plina u tekuće stanje se može postići na tri načina:

- Povećanjem tlaka
- Snižavanjem temperature
- Kombinirano povećanjem tlaka i snižavanjem temperature

Ukapljivanjem se smanjuje volume naftnog plina do 270 puta. [15] Ovime se omogućuje transport velike količine plina brodovima po cijenama prihvatljivima za razvoj tržišta ukapljenog plina. Porast potražnje za naftnm plinom povezano je sa širokom uporabom tih plinova kao čišću i prihvatljiviju alternativu ostalim izvorima energije. LPG se koristi kao pogonsko gorivo u automobilima, rashladno sredstvo, široku uporabu ima u brojnim industrijama kao i u kućanstvima za grijanje prostora i kuhanje.

Prednosti korištenja naftnog plina umjesto ostalih fosilnih goriva su [4]:

- LPG sadrži ugljikovodike koji izgaraju čišće bez ostataka gorenja
- LPG ima veću ogrjevnu vrijednost od većine plinskih goriva. Ogrjevna vrijednost mu je sedam puta veća od ugljenog plina i tri puta veća od prirodnog plina
- Mogućnost kombiniranja sa drugim gorivima
- Lako održavanje i sigurno korištenje plinskih uređaja
- Ne sadrži ugljikov monoksid (*engl. Carbon monoxide- CO*) stoga je manje opasan
- Usporedno sa ostalim gorivima predstavlja manju opasnost čak i u slučaju curenja

Ukapljeni naftni plin je generalni naziv za propan (C_3H_8), butan (C_3H_{10}) i smjesu ta dva plina. Osim ova dva plina u manjim koncentracijama se mogu nalaziti propilen, butilen, iso-butan, itd.[15]

Glavna karakteristika svih ugljikovodika koja ih čini najvažnijim izvorom energije je zapaljivost koja ujedno i označava njihovu najveću opasnost. Prilikom prijevoza ukapljenog naftnog plina potrebno je promatrati koncentracije ugljikovodikovih plinova i kisika kako bi se spriječilo nastajanje zapaljive i eksplozivne smjese. Kako bi se sigurno prevezio ukapljeni prirodni plin potrebno je poznavati donju granicu eksplozivnosti (engl. *Lower Explosive Limit- LEL*) i gornju granicu eksplozivnosti (engl. *Upper Explosive Limit- UEL*). Donja granica eksplozivnosti označava minimalnu količinu plina u zraku potrebnu za održavanje gorenja. Ako je koncentracija ugljikovodika u zraku ispod LEL smjesa je presiromašna za eksploziju ili gorenje. Gornja granica eksplozivnosti predstavlja maksimalnu koncentraciju ugljikovodika u zraku koja će eksplodirati ili goriti. Ako se prijevozi smjesa sa koncentracijom ugljikovodika iznad UEL tada je smjesa plina i zraka odnosno kisika prezasićena i ne podržava eksploziju ili gorenje. Kako bi se omogućio siguran prijevoz potrebno je održavati smjesu ispod donje granice ili iznad gornje granice eksplozivnosti odnosno izvan raspona eksplozivnosti naftnih plinova.

Tablica 1. LEL i UEL za naftne plinove [12]

	LEL (%)	UEL (%)
Propan	2.1	9.5
Propilen	2.4	11
n-Butan	1.8	8.4
Izobutilen	1.8	9.6

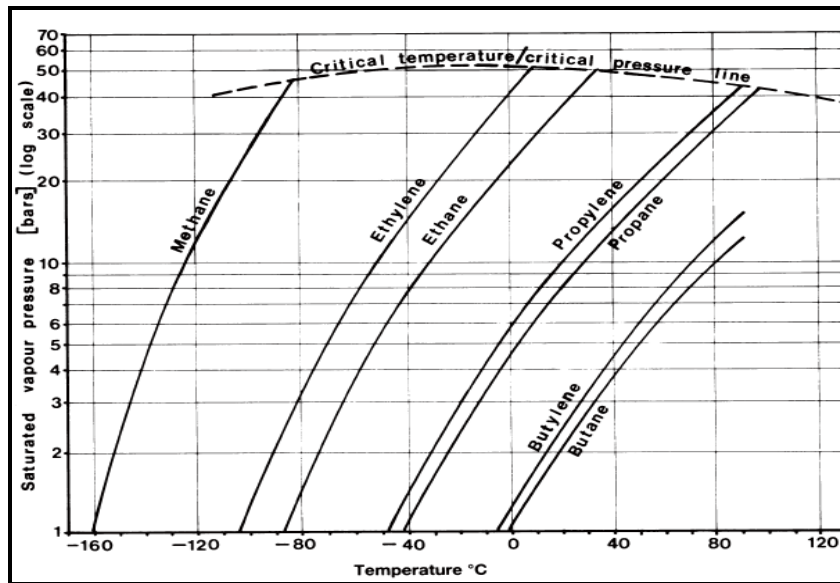
Najvažnije svojstvo preko kojega će se definirati pojam ukapljeni plin na međunarodnoj razini je tlak zasićene pare. To je apsolutni tlak koji nastaje kada je tekućina u ravnoteži sa vlastitim parama pri određenoj temperaturi. Međunarodna pomorska organizacija (engl. *International Maritime Organization-IMO*) definira ukapljeni plin kao tekućine sa tlakom pare koji je veći od apsolutnog tlaka od 2.8 bara pri temperaturi od 37.8°C. [1]

Sljedeće važno svojstvo je točka vrelišta koja predstavlja temperaturu na kojoj tlak para tekućine jednak tlaku koji je u okolini tekućine. Ova temperatura predstavlja točku na kojoj tekućina mijenja svoje stanje u plinovito. Kod potpuno hlađenih brodova potrebno je održavati temperaturu unutar spremnika nižu od temperature vrelišta. Kod određenih operacija rukovanja teretom potrebno je poznavati temperaturu rosišta (engl. *Dew point*). Temperatura rosišta predstavlja temperaturu do koje se mora hladiti vlažan zrak da bih započela kondenzacija pare. Spuštanjem temperature ispod temperature rosišta dovodi do kondenzacije vlage i nakupljanja tekućine što kod LPG tankera može stvoriti probleme prilikom ukrcaja hladnog tereta. Stoga kod LPG tankera se nastoji što više smanjiti temperatura rosišta. Također bitno je poznavati specifičnu težinu plina u odnosu na zrak kao i u odnosu na inertni plin. Naftni plinovi su teži od zraka te će ga istisnuti ako se nađu u nekoj prostoriji. Stoga je potrebno paziti kada se ulazi u prostoriju koja je sadržavala teret. Odnos specifične težine naftnih plinova i inertnog plina utjecat će na odabir metode inertiranja teretnih prostora.

Tablica 2. Svojstva ukapljenih naftnih plinova [15]

	Propan	n-Butan
Kemijska formula	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Kritični tlak (bar)	45.5	37.8
Tlak pare pri temperaturi 37.8°C (bar)	12.9	3.6
Temperatura vrelišta (°C)	-42	-0.5
Specifična težina plina u odnosu na zrak (zrak=1)	1.5	2.0

Za proces ukapljivanja plinova potrebno je i poznavanje vrijednosti kritične temperature i kritičnog tlaka za određeni plin. Kritična temperatura predstavlja temperaturu iznad koje više nije moguće ukapljivati plin bez obzira koliki tlak se koristi. Kritični tlak plina je tlak koji je potreban za ukapljivanje plina koji ima kritičnu temperaturu.[1]



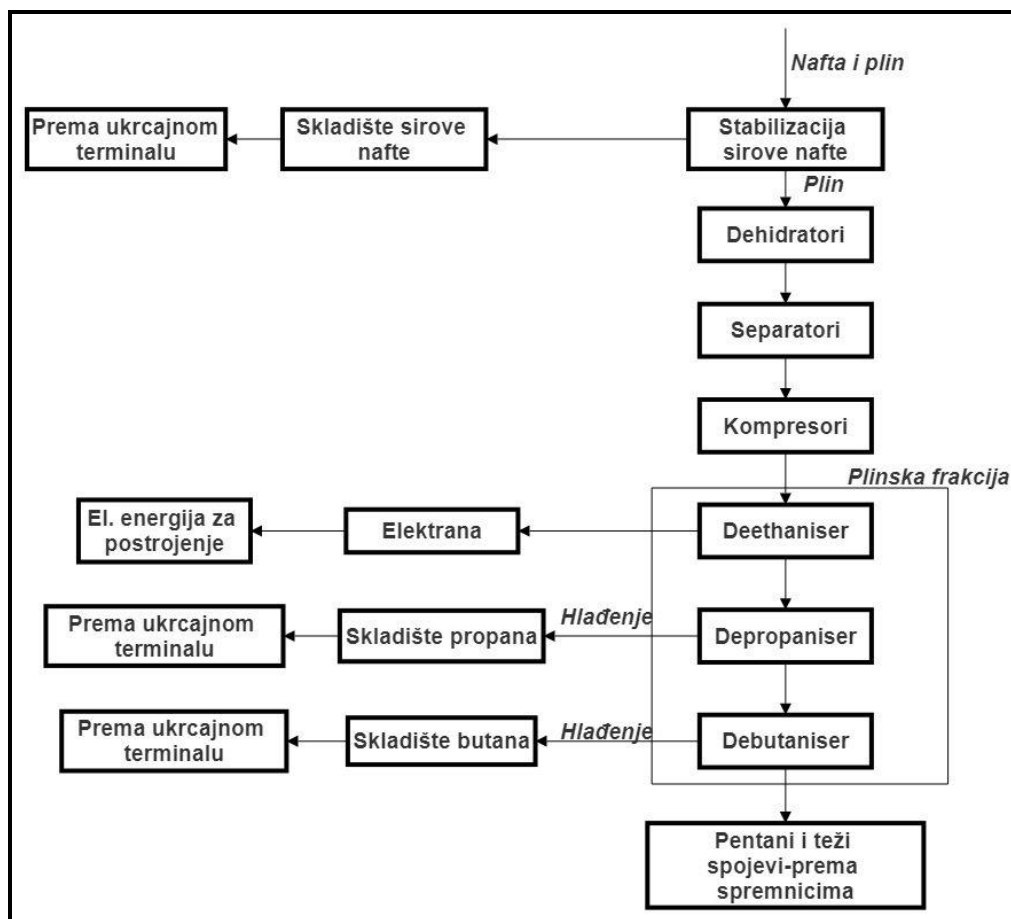
Slika 1. Kritične temperature i tlakovi za ugljikovodike [1]

LPG u svom prirodnom sastavu je plin bez boje i mirisa. Kako bi se omogućila detekcija curenja odnosno ispuštanja tog plina dodaje mu se intezivni miris, najčešće se koriste etan-etiol i tetrahidro-tiofen. Koncentracija tog mirisa mora biti takva da omogući otkrivanja curenja prije stvaranja zapaljive smjese ugljikovodika i kisika.

2.2. PROIZVODNJA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

LPG kao pripadnik skupine fosilnih goriva može se dobiti prilikom rafiniranja sirove nafte u rafinerijama ili izdvajanjem propana i butana iz prirodnog zemnog plina.[15]

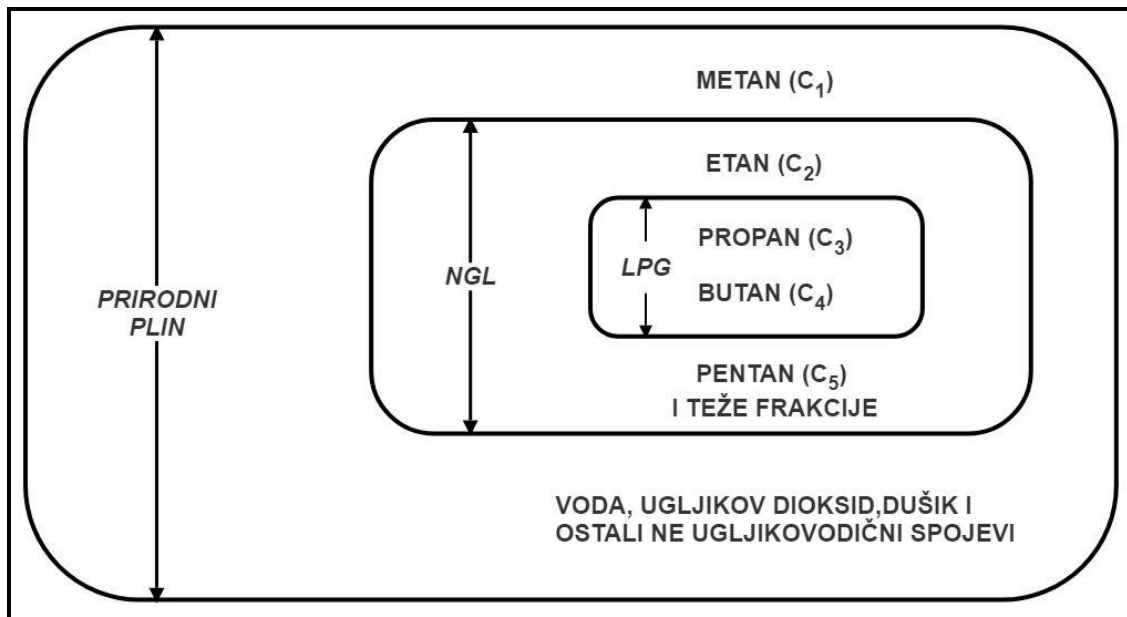
Rafiniranjem sirove nafte se proizvodi oko 40% ukapljenog naftnog plina. Iz sirove nafte se frakcijskom destilacijom, na temelju različitih vrelišta dobivaju različiti naftni produkti. Tekući plin spada u najlakše derivate sirove nafte i sastoji se od propana, butana i sumpornih spojeva (onečišćenja). Daljnim rafiniranjem odnosno pročišćavanjem tekućeg plina uklanjaju se sumporni spojevi i zatim se skladišti i distribuira na tržište.



Slika 2. Prikaz dobivanja naftnog plina iz sirove nafte [1]

Više od 60% LPG-a se dobiva izdvajanjem iz prirodnog plina. Prilikom ekstrakcije plina iz zemljine površine dobiva se prirodni plin koji u svom većinskom sastavu ima metan, ali kod rafiniranja tog plina kao sporedni proizvod dobiva se naftni plin (propan, butan).

Izvlačenje ukapljenog naftnog plina iz prirodnog plina se odvija frakcijskom destilacijom koja se odvija u frakcijskim stupcima (engl. *Fractionation tower*). Ovaj proces se temelji na različitim točkama vrenja određenih ugljikovodika koji se nalaze unutar tekućeg prirodnog plina (engl. *Natural gas liquid-NGL*). Etan, propan, butan, pentan i ostali teži ugljikovodici se dobivaju unutar različitih frakcijskih stupova iz NGL-a. [3]



Slika 3. Sastav prirodnog plina [1]

3. LPG TANKERI I OPREMA ZA RUKOVANJE TERETOM

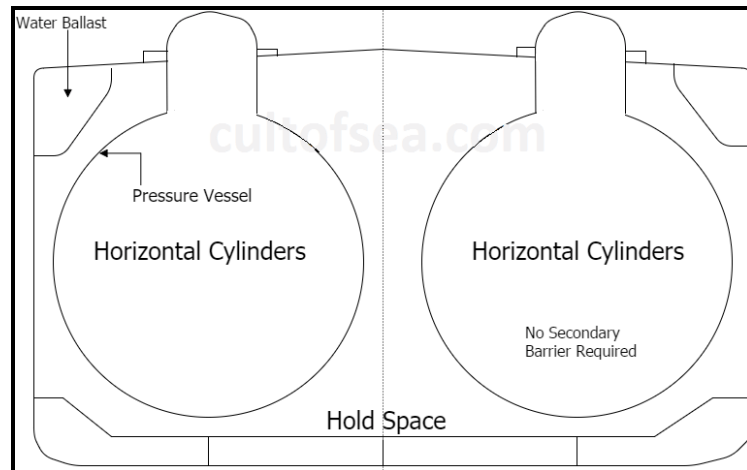
Tankere za prijevoz ukapljenih plinova dijelimo prema kategoriji tereta koje prevoze. Razlikujemo LNG tankere, LPG i tankeri za prijevoz kemijskih plinova. LPG tankere nadalje možemo podijeliti prema načinu ukapljivanja odnosno održavanja tereta u tekućem stanju na: [13]

- Potpuno stlačene tankere (engl. *Fully pressurized tankers*)
- Polu-hlađeni / polu-stlačeni tankeri (engl. *Semi-refrigerated tankers*)
- Potpuno hlađeni tankeri (engl. *Fully-refrigerated tankers*)

3.1. POTPUNO STLAČENI LPG TANKERI

Kod ove vrste tankera ukapljivanje tereta se postiže isključivo korištenjem odgovarajućeg tlaka. Veličina tlaka na kojem će se prevoziti teret ovisit će o sastavu tereta koji se prevozi. Potpuno stlačeni tankeri dizajnirani su za prijevoz tereta na otprilike 18 bara, a u novije vrijeme i do 20 bara. [1] Temperatura prijevoza je najčešće ambijentalna temperatura dok je minimalna dopuštena temperatura tereta -5°C , a u nekim slučajevima može biti i do -24°C . Za ovu vrstu tankera nije potrebna posebna toplinska izolacija niti postojanje postrojenja za ponovno ukapljivanje. Zbog toga potpuno stlačeni LPG tankeri imaju jednostavniji dizajn za razliku od ostalih vrsta LPG tankera.

Potpuno stlačeni LPG tankeri koriste Tip C neovisnih tankova tereta. Koriste se horizontalno postavljene cilindrične tankove napravljene od posebnog čelika koji može izdržati velike tlakove potrebne za prijevoz tereta. Stjenke tankova tereta su dizajnirane sa većim debljinama kako bi izdržale velike tlakove unutar spremnika. Kod ovih brodova svi cjevovodi koji se koriste za teret se nalaze iznad palube kako bi se izbjegle opasnosti koje bi nastale kada bi došlo do curenja tereta.[2]



Slika 4. Tip C neovisni tankovi tereta kod potpuno stlačenih tankera [8]

Tankovi tereta, zbog velikog projekcijskog tlaka koji za posljedicu ima korištenje posebnog čelika sa velikim debljinama stjenki spremnika, imaju veliku težinu i zbog toga se uglavnom grade potpuno stlačeni LPG tankeri malih dimenzija i kapaciteta svakog spremnika. Kapacitet ovih tankera se kreće između 4000 m³ i 6000 m³ a u modernijih kapacitet može biti do 10000 m³.



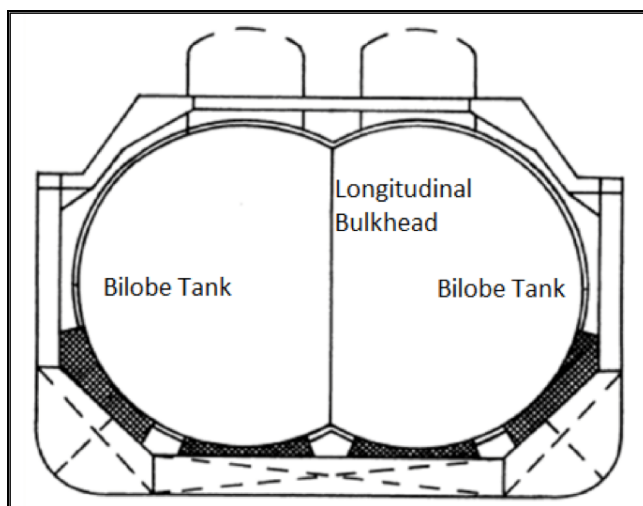
Slika 5. Potpuno stlačeni LPG tanker [6]

3.2. POLU HLAĐENI LPG TANKERI

Kod polu-hlađenih LPG tankera teret se zadržava u tekućem stanju kombiniranim utjecajem tlaka i temperature. Tlak tereta je niži nego kod potpuno stlačenih tankera i

iznosi od 5 do 7 bara. Temperatura tereta je minimalno -48°C , što je dovoljno niska temperatura za većinu ukapljenih naftnih plinova. U nekim slučajevima, ako se tankovi izgrade od posebnih legura čelika ili aluminija, može se prevoziti teret i na -103°C . [1]

Kao i kod potpuno stlačenih tankera koristi se Tip C neovisnih tankova. Ali kod polu-hlađenih LPG tankera stjenke tanka mogu biti manjih dimenzija jer se ne koriste ekstremno veliki tlakovi unutar tanka, ali je potrebna temperaturna izolacija zbog niskih temperatura tereta. Ovi LPG tankeri imaju samo primarnu temperaturnu izolaciju bez potrebe za sekundarnom izolacijom spremnika. Izvedba tankova tereta kod ove vrste tankera su horizontalni spojeni cilindrični tankovi sa središnjom uzdužnom pregradom (engl. *Longitudinal bulkhead*) koja služi za smanjivanje utjecaja zapljuskivanja tereta (engl. *Sloshing*).



Slika 6. Izgled tankova tereta kod polu-hlađenih tankera [16]

Kapaciteti ovih tankera su veći nego kod potpuno stlačenih tankera i kreću se između 6000 m^3 i 20000 m^3 . Ovi brodovi su dizajnirani sa 2 do 6 teretnih spremnika.

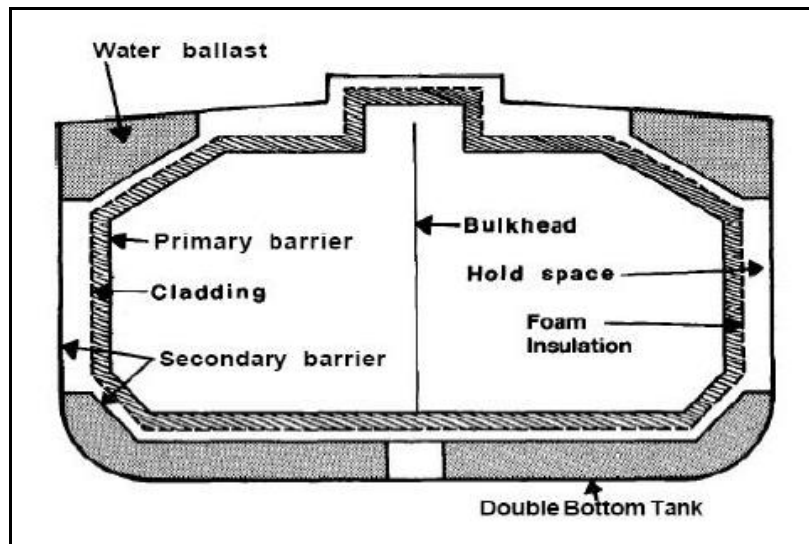
3.3. POTPUNO HLAĐENI LPG TANKERI

Potpuno hlađeni LPG tankeri prijevoze teret na niskim temperaturama od minimalno -48°C dok je tlak unutar spremnika blizu atmosferskom tlaku zraka. Maksimalni dozvoljeni tlak tereta je 0.7 bara. Kapacitet ovih tankera se kreće od 20000 do 100000 m^3 što ih čini pogodnima za prijevoz velikih količina tereta na velike udaljenosti.



Slika 7. Potpuno hlađeni LPG tanker [11]

Tankovi tereta su Tip A prizmatičnog oblika i zbog niskih temperatura tereta izgrađeni su od posebnog niskotemperaturnog čelika. Kod ovakvog dizajna tanka tereta potrebna je i potpuna sekundarna barijera koja će u slučaju propuštanja tereta kroz primarnu barijeru zaštititi brodski trup od hladnog tereta i time spriječiti ekstremna naprezanja broskog trupa. Za smanjivanje utjecaja slobodnih površina unutar tanka se ugrađuje centralna uzdužna pregrada.



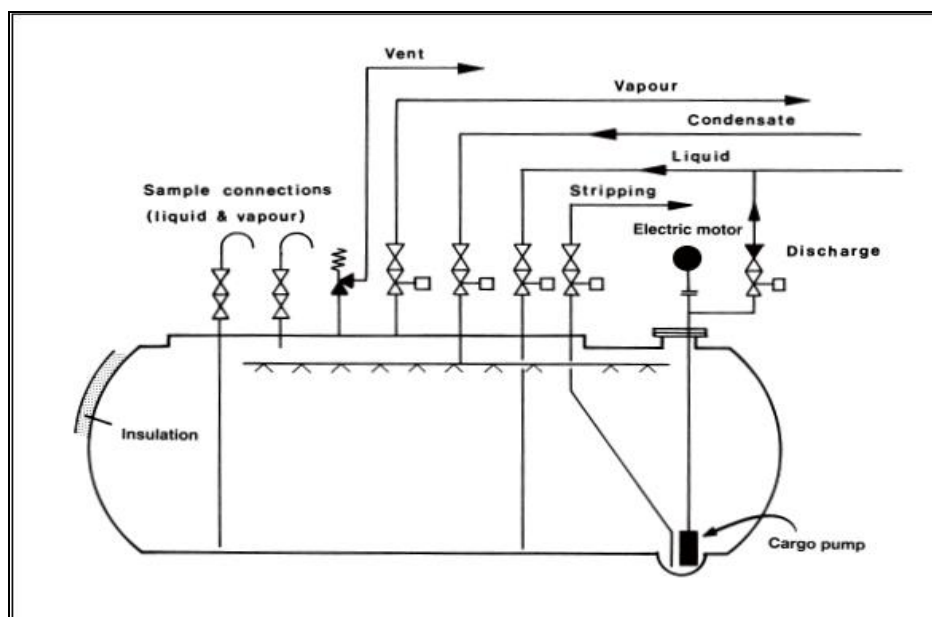
Slika 8. Prizmatični oblik teretnog tanka [7]

3.4. SUSTAV LINIJA ZA TERET I SUSTAV ZA ISKLJUČIVANJE U OPASNOSTI

Kao što je prije spomenuto, i kao što IGC kod zahtjeva, svi dijelovi teretnog cjevovodnog sustava se nalaze na palubi. Postavljanjem cjevovoda iznad palube omogućuje se lakše uočavanje curenja tereta i sprječava curenje tereta u zatvorene prostore ispod palube. IGC kod također također propisuje korištenje brojnih sigurnosnih ventila među kojima su i ventili sustava za isključivanje u slučaju opasnosti (engl. *Emergency Shut Down valves- ESD valves*).

3.4.1. Cjevovodni sustav za teret

Cjevovodni sustav kod LPG tankera je kompleksan i sastoji se od brojnih odvojenih linija i svaka ima posebnu ulogu i utjecaj za sigurno i efikasno rukovanje teretom. Cjevovodni sustav se sastoji od linija za tekućinu, linija za paru, linija za kondenzant, linije za posušivanje, ventilacijske linije.



Slika 9. Cjevovodni sustav LPG broda [1]

Linija za tekućinu (engl. *Liquid line*) služi za ukrcaj ukapljenog plina i pruža se od manifolda koji je uobičajeno na središtu broda, preko palube do dna svakog teretnog tanka.

Linija za iskrcaj (engl. *Discharging line*) koristi se za iskrcaj ukapljenog plina. Na dnu tanka na liniji za iskrcaj nalazi se teretna pumpa koja potpomaže iskrcaju.

Linija za pare (engl. *Vapour line*) nalazi se na vrhu svakog tanka i služi za prikupljanje plina koji se stvori u transportu od isparavanja tereta (engl. *Boil-off gas-BOG*). Zatim se ta para šalje pomoću linije za pare preko manifolda na obalu, a kod polu stlačenih tankera i potpuno hlađenih do postrojenja za ponovno ukapljivanje para tereta.

Linija za kondenzant (engl. *Condensate line*) ima namjenu za vraćanje ponovno ukapljenog plina iz postrojenja za ponovno ukapljivanje natrag u teretne tankove. Ova linija se koristi i za operaciju hlađenja tanka prije ukrcaja tako da se prska kondenzant u teretni prostor.

Linija za posušivanje (engl. *Stripping line*) ima ulogu uklanjanja ostataka tekućeg plina sa samog dna tanka. Usis linije za posušivanje se nalazi u najnižem dijelu spremnika kako bi se postigla maksimalna efikasnost.

Ventilacijska linija (engl. *Vent line*) služi za ispuštanje para tereta sa vrha tanka kada tlak unutar tanka preraste dozvoljene sigurnosne vrijednosti. Para se ispušta preko jarbola za ispušt para. Ispust para tereta mora biti na visini od minimalno 6 metara iznad palube te na udaljenosti od minimalno 25 metara od ventilacijskog usisa. [9]

Također imamo i linije za inertiranje tanka preko kojih se u teretni prostor ispušta inertni plin koji će osigurati da se ne stvori opasna smjesa kisika i ugljikovodikovih para tereta. Inertni plin smanjuje koncentraciju kisika najčešće ispod 5%. Unutar tanka na tri razine se nalaze linije za uzorke tereta i temperature tereta.

3.4.2. Sustav za isključivanje u slučaju opasnosti

Svaki LPG tanker mora imati sustav za isključivanje u slučaju opasnosti. Sustav se sastoji od ventila ili prekidača koji su postavljeni na više lokacija na brodu. Nakon pritiska na prekidač automatski se zatvaraju teretni ventili kao i teretne pumpe i kompresori. ESD sustav smanjuje opasnosti koje se mogu javiti prilikom ukrcaja ili iskrcaja tereta. Sustav mora imati automatsko uključivanje u slučajevima kada dođe do nestanka električne energije na brodu, u slučaju požara na brodu. Nadalje za svaki spremnik tereta mora postojati ventil koji će prekinuti daljni ukrcaj u slučaju aktiviranja senzora za visoke razine tereta. Potrebno je prije dolaska provjeriti ispravnost ESD sustava kako bi se moglo pristupiti operacijama iskrcaja ili ukrcaja tereta.

3.5. OPREMA ZA RUKOVANJE TERETOM

U opremu za rukovanje teretom ubrajaju se: [2]

- Teretne pumpe (engl. *Cargo pumps*)
- Kondenzatori (engl. *Condenser*)
- Kompresori (engl. *Compressor*)
- Isparivači (engl. *Vaporiser*)
- Grijači tereta (engl. *Cargo heater*)
- Izmjenjivači temperature (engl. *Heat exchanger*)

Svaki teretni tank mora imati pokazivače razine tekućine, temperature i tlaka. Također na LPG tankerima koriste se fiksni uređaji za očitavanje koncentracije plinova na određenim dijelovima broda kao što su prostorija sa kompresorima za teret (engl. *Cargo compressor room*), prostorija sa elektromotorima (engl. *Electric motor room*), zatvorenim prostorima (engl. *Enclosed spaces*) kao na primjer između barijera spremnika ili u prostorima između spremnika i trupa broda. U slučaju da koncentracija plinova u nekim od tih prostora bude na 30% od donje eksplozivne granice, na mostu i u prostoriji za kontrolu tereta (engl. *Cargo control room*) se javljaju vizualni i zvučni alarmi. [1]

3.5.1. Teretne pumpe

Pumpe za teret služe za iskrcaj tekućeg tereta preko linije za tekućinu do manifolda i na kraju do obale. Teretne pumpe i kompresori su pokretani elektromotorima. Teretne pumpe na LPG tankerima su centrifugalnog tipa i mogu biti uronjene pumpe (engl. *Submerged cargo pumps*) ili duboko uronjene pumpe (engl. *Deep well pumps*). Kod LPG tankera najčešće se koriste duboko uronjene teretne pumpe. Princip rada centrifugalne pumpe je da ukapljeni plin protječe od usisne strane pumpe preko tlačne strane koja uz pomoć centrifugalne sile potiskuje teret vertikalno iznad pumpe.[2]

Ove pumpe mogu iskrcevati teret svaka zasebno ili se međusobno spajaju paralelno. Također često se koriste i potisne pumpe (engl. *Booster pumps*) koje se nalaze na palubi i serijski se uparuju sa teretnom pumpom. Kod paralelnog rada pumpi imamo veći protok tereta. Potisne pumpe se koriste u seriji sa teretnim pumpama kada imamo veliki povratni pritisak. Potisne pumpe pomažu kod povećavanja tlaka tekućine i time pomaže u iskrcaju.

Kod potpuno stlačenih tankera, pumpe za iskrcaj se mogu postaviti izvan teretnog tanka na palubu, zato što je u spremnicima tereta dovoljno velik pritisak koji će gurati teret prema usisu pumpe. Prilikom iskrcaja, tlak u spremnicima tereta će se smanjivati stoga je potrebno koristiti kompresor za održavanje dovoljnog tlaka za iskrcaj tereta.

Teretne pumpe na LPG tankerima su dizajnirane tako da se podmazivanje i hlađenje pumpi odvija uz pomoć tereta koje iskrcaju. Zato je potrebno paziti na održavanje protoka tereta kroz pumpe na razini pri kojoj se podmazivanje i hlađenje može odvijati. Također potrebno je promatrati radnu brzinu pumpe jer ne postoji automatsko ograničenje broja okretaja, a pri velikoj brzini protoka tereta može doći do kavitacije.

3.5.2. Kondenzator

Kondenzator se koristi u sklopu postrojenja za ponovno ukapljivanje para tereta na LPG brodovima. Ima ulogu hlađenja para tereta do temperature ponovnog ukapljivanja.

Kondenzator se sastoji od spremnika u kojemu se nalazi para tereta koja je dovedena iz spremnika tereta preko kompresora. Kroz taj spremnik prolazi veliki broj čeličnih cjevčica kroz koje prolazi morska voda. Morska voda služi kao rashladni medij pregrijanoj pari koja ulazi u kondenzator. Pregrijana para dolazi u dodir sa cjevčicama u kojima kruži morska voda i postaje prezasićena i kondenzira se. Kondenzirana tekućina se skuplja na dnu kondenzatora, odakle se linijom za kondenzant odvodi direktno natrag u spremnike ili do izmjenjivača topline gdje se dodatno hladi i zatim vraća u spremnike tereta. Morska voda se prolaskom kroz cijevčice zagrijava i ispušta van broda i zamjenjuje hladnijom morskom vodom.

3.5.3. Kompresor

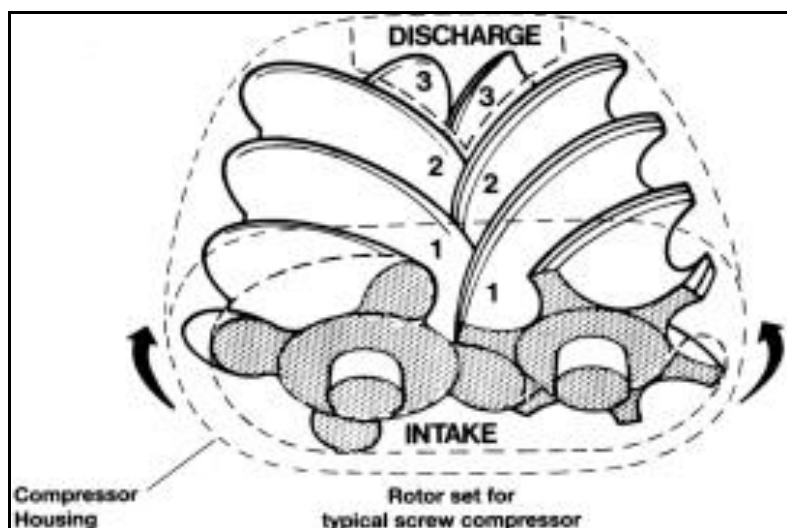
Kompresor na LPG brodovima u pogledu operacija sa teretom se koristi unutar sustava za ponovno ukapljivanje. Kompresor služi za dovođenje isparenog tereta do kondenzatora pritom povećavajući pritisak tog tereta za jednostavniju kondenzaciju. Na LPG tankerima se koriste: [1]

- Klipni kompresor (engl. Reciprocating compressor)
- Vijčani kompresor (engl. Screw compressor)

Klipni kompresori povećavaju tlak para pomoću klipa u cilindru. Kod starijih verzija ove vrste kompresora klipovi su se podmazivali uljima koji su stvarali određene probleme. Pare tereta su imale loš utjecaj na ulje za podmazivanje pa se prilikom svake promjene tereta vršila i promjena ulja. Danas se većinom koriste kompresori čiji klipovi i

prstenovi klipova su izgrađeni sa posebnim samo podmazujućim materijalima. Hlađenje samog kompresora se odvija cirkuliranjem etilen glikola i vode.

Vijčani kompresor pomoću rotirajućih vijaka kompresira pare tereta. Najčešća izvedba je sa dva rotirajuća vijaka koji međusobno nisu u kontaktu. Za razliku od klipnog kompresora, koji zrak komprimira u periodima, vijčani kompresor ima konstantan protok komprimiranih para tereta.

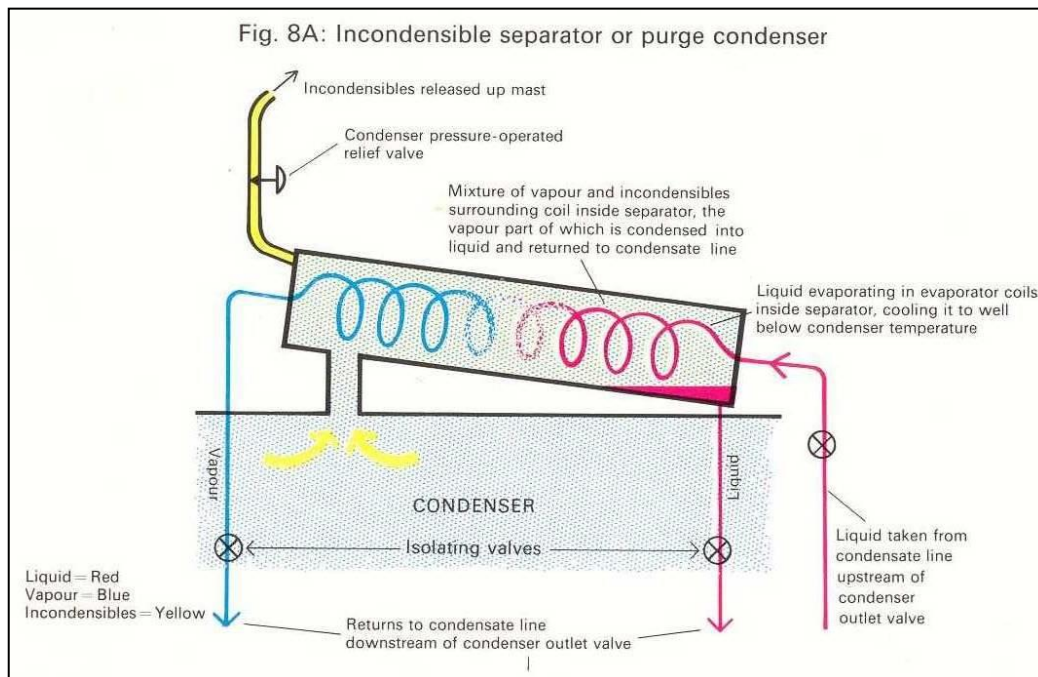


Slika 10. Vijčani kompresor [1]

3.5.4. Separator

Separator se ne nalazi na svim LPG tankerima. Ako ga LPG tanker ima on se postavlja na kondenzator i služi za odvajanje tvari u isparenom teretu koje se ne mogu ukapljivati. Najčešće su to dušik i zrak koji se ne mogu jednostavno kondenzirati. Zrak i dušik lakši su od većine tereta koji se prevozi LPG tankerima te se nakupljaju pri vrhu kondenzatora i zbog toga je separator postavljen iznad kondenzatora.

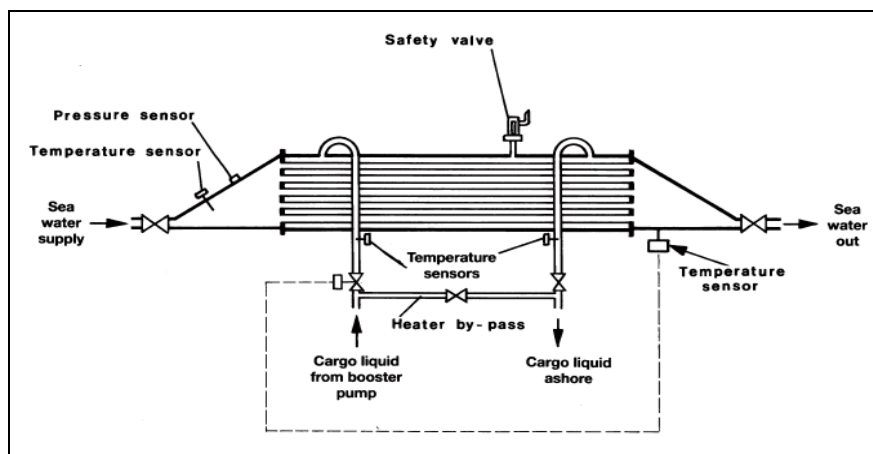
Dio kondenzirane tekućine sa dna kondenzatora se odvaja i prolazi kroz cijevi u separatoru, gdje se dio kondenzanta ponovo pretvara u plin i tako hladi separator i vrući zrak ili dušik. Nakon separatora dušik, zrak i ostali elementi koji se ne mogu kondenzirati idu cjevovodom do jarbola za ispust u atmosferu, koji je kontroliran ventilom koji će ispustiti te plinove kada se nakupi veća količina. Ispuštanje plinova u atmosferu je moguće na udaljenostima većim od 12 nautičkih milja od najbliže obale. Ako se među ne kondenzirajućim pronade neka polu kondenzirajuća ili kondenzirajuća tvar, ona će se kondenzirati i sa dna separatora će se vratiti u tank tereta.[2]



Slika 11. Separator [2]

3.5.5. Grijač tereta

Grijači tereta služe za zagrijavanje ukapljenog plina pri iskrcavanju. Zagrijavanje tereta prije iskrcaja je potrebno kako bi se zaštili obalni cjevovodi i spremnici od temperaturnih naprezanja. Kao medij za grijanje tereta koristi se morska voda koja prolazi kroz sustav cijevi i tako zagrijava teret koji prolazi kroz grijač. Prilikom grijanja tereta potrebno je promatrati temperaturu izlazne morske vode, te ako temperatura vode padne ispod 5°C potrebno je smanjiti protok tereta kako se grijač tereta ne bi smrznuo.



Slika 12. Shematski prikaz grijača tereta [1]

Grijači tereta su postavljeni na otvorenoj palubi i dizajnirani su za grijanje potpuno hlađenog ukapljenog propana sa -45°C na -5°C . Ali treba naglasiti da je brzina iskrcaja tereta u ovisnosti o temperaturi mora. Pri niskim temperaturama morske vode, brzina iskrcaja mora se smanjiti kako bi se teret mogao zagrijati.[1]

3.5.6. Isparivač tereta

Isparivač tereta služi za pretvaranje tekućeg tereta u paru i kao takav je potreban na brodovima za prijevoz ukapljenog plina. Stvaranje plina je potrebno pri operaciji uplinjavanja teretnog prostora ili za održavanje pritiska u tanku za iskrcaj tereta. Kao sredstvo za isparavanje se koristi para ili morska voda. Isparivač tereta je vertikalni ili horizontalni spremnik koji unutar sebe sadrži sustav cijevi kroz koji prolazi tekući teret. Morska voda ili para okružuje te cijevi i zagrijava cijevi što dovodi do isparavanja tereta. Prilikom isparavanja tereta zbog izmjene topline između hladnih cijevi i toplije vode dolazi do hlađenja morske vode koja se odvodi izvan isparivača tereta.

3.5.7. Izmjenjivač temperature

Izmjenjivači temperature na LPG tankerima se koriste za brojne operacije teretnog sustava. Koriste se kao grijači tereta, kondenzatori u postrojenju za ponovno ukapljivanje, super grijači, grijači ulja za kompresore. [2]

Izmjenjivač u postrojenju za ponovno ukapljivanje se nalazi ispod kondenzatora i koristi se za istovremeno hlađenje kondenzirane tekućine prije povratka u tank i grijanje isparene pare tereta prije prolaska kroz kompresor na putu do kondenzatora. To se postiže

na način da istovremeno kroz izmjenjivač prolazi hladna para tereta i topliji kondenzat iz kondenzatora. Zbog razlika u temperaturama dolazi do izmjene topline između hladnijih para tereta i toplije kondenzirane tekućine iz kondenzatora. Izmjenjivač temperature potreban je kako bih se hladne pare tereta na putu do kompresora i kondenzatora zagrijale, te kako bih se kondenziranom teretu snizila temperatura prije povratka u tank kako ne bi došlo do ponovnog isparavanja tekućeg tereta.

4. TERETNE OPERACIJE LPG BRODOVA

Jedne od najbitnijih, najopasnijih operacija koje se obavljaju na brodovima su operacije rukovanja sa teretom. Teretne operacije se odvijaju u više različitih dijelova i potrebno je pravilno i sigurno rukovanje teretnom opremom i potpuni nadzor posade broda, kako ne bi došlo do ugrožavanja ljudskih života ili do većih onečišćenja za morski okoliš.

Teretne operacije dijelimo na: [1]

- Priprema za ukrcaj tereta
- Ukrcaj tereta
- Prijevoz morem
- Iskrcaj tereta

Ako pretpostavimo da je brod izašao iz suhog doka ili iz brodogradilišta, generalni slijed operacija koje će se odvijati na LPG brodu prikazane su na slici:[1]



Slika 13. Slijed operacija rukovanja teretom [1]

4.1. PRIPREMA ZA UKRCAJ TERETA

Prije ukrcaja određenog tereta potrebno je odraditi određene pripreme broda, teretnih prostora i opreme kako bi se sigurno omogućilo ukrcavanje sljedećeg tereta. Neke operacije pripreme će se raditi samo ako je brod prethodno bio u suhom doku ili pri izlasku broda iz brodogradilišta, dok se neke konstantno ponavljaju prije svakog ukrcaja. Kod LPG tankera treba poznavati sastav tereta koji se ukrcaje i tereta koji je bio u prethodnom putovanju, kako bi se moglo odrediti da li je potrebno potpuno pražnjenje spremnika prije ukrcaja sljedećeg tereta ili su tereti kompatibilni. Nadalje kako su ukapljeni naftni plinovi pripadnici skupine ugljikovodika, koji su po svojoj prirodi eksplozivni i zapaljivi u kombinaciji sa kisikom, potrebno je smanjiti koncentraciju kisika unutar teretnog tanka. Kod potpuno hlađenih LPG brodova zbog niskih ambijentalnih temperatura tereta potrebno je ohladiti tankove i cjevovode zbog niskih temperatura tereta.

Priprema broda za ukrcaj se može podijeliti u nekoliko djelova:

- Inspekcija tanka (engl. *Tank inspection*)
- Isušivanje tanka (engl. *Tank drying*)
- Inertiranje (engl. *Inerting*)
- Uplinjavanje tanka (engl. *Gassing-up*)
- Hlađenje teretnih prostora (engl. *Cool down*)

4.1.1. Inspekcija tanka

Teretni prostori kod tankera za ukapljeni plin su većinu vremena ili napunjeni teretom ili kod balastnog putovanja pod atmosferom para ostataka prijašnjeg tereta, zbog toga posada broda gotovo nikad nema mogućnosti ulaska u teretne tankove radi vizualne inspekcije. Vizualna inspekcija je moguća tijekom boravka broda u brodogradilištu ili pri redovnom dokovanju broda kada se stvore uvjeti unutar tanka sigurni za posadu broda.

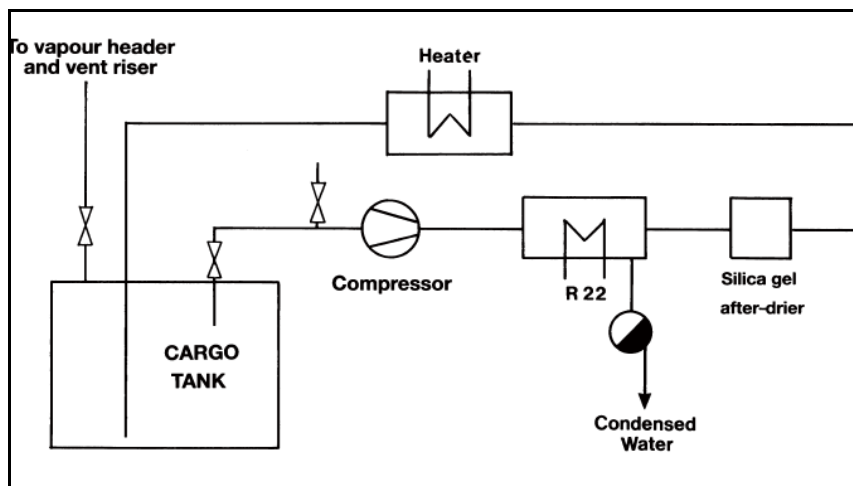
Kada se obavlja vizualna inspekcija unutar tankova tereta potrebno je osigurati da su tankovi očišćeni, da ne postoje krhotine i da nema velike količine vode. Nakon inspekcije tanka potrebno je potpuno zatvoriti i osigurati poklopce tanka i tada je moguće početi sa isušivanjem tanka i ostalim operacijama pripreme za ukrcaj.[1]

4.1.2. Isušivanje teretnih tankova

Isušivanje tankova je uklanjanje vodene pare i prisutnosti vode u teretnim prostorima i cjevovodima primarno kod poluhlađenih ili potpuno hlađenih LPG tankera. Isušivanje je potrebno jer tereti su na niskim temperaturama na kojima voda prelazi u kruto stanje i tako se mogu oštetiti tankovi tereta, teretne pumpe, cjevovodi i ostala oprema koja dolazi u doticaj sa teretom. Prilikom isušivanja potrebno je paziti da se postigne točna temperatura rosišta. Isušivanje se može obaviti zajedno sa inertiranjem tankova ili sa posebnim brodskim sustavom za isušivanje.

Isušivanje sa inertnim plinom se koristi zbog toga što smanjuje količinu vlage u tankovima do tražene temperature rosišta i istovremeno smanjuje koncentraciju kisika unutar spremnika. Nedostatak ove metode isušivanja je što se koristi puno veća količina inertnog plina za smanjenje koncentracije kisika za razliku od standardne metode inertiranja.

Drugi način isušivanja spremnika je uz pomoć posebnog isušivača zraka ugrađenog na palubi broda. Kompresorom se izvlači zrak iz spremnika tereta i dolazi do isušivača zraka koji hladi zrak i kondenzira vodu iz njega. Zrak koji izlazi iz isušivača je zasićen na nižoj temperaturi rosišta koja se može dodatno smanjiti ako je ugrađen poseban isušivač sa silika gelom. Nakon toga zrak se može zagrijati preko grijača do ambijentalne temperature i vratiti u spremnike.



Slika 14. Isušivanje zraka [1]

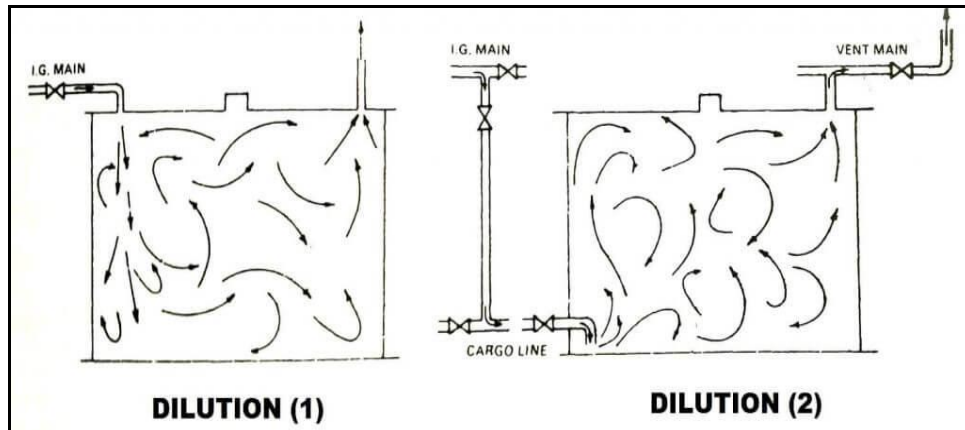
4.1.3. Inertiranje tankova

Inertiranje brodskih teretnih prostora, cjevovoda i opreme za rukovanje teretom je potrebno kako bi se osigurala sigurna atmosfera koja ne podržava gorenje i koja će spriječiti eksplozivnu reakciju ugljikovodikovih para i kisika. Koncentracija kisika u spremniku ovisit će o zahtjevima vlasnika tereta i ukrcajnog terminala. Uglavnom se koncentracija kisika od 5% smatra dovoljnom, ali se često inertira i do nižih vrijednosti kisika. [5] Inertni plin se može koristiti i prilikom operacije isušivanja teretnih prostora i za smanjenje točke rosišta za određene terete.

Kod brodova za prijevoz ukapljenih plinova kao inertni plin koristi se dušik ili inertni plin koji se stvori u brodskom postrojenju za inertni plin. Za inertiranje se koriste najčešće dvije metode: [1]

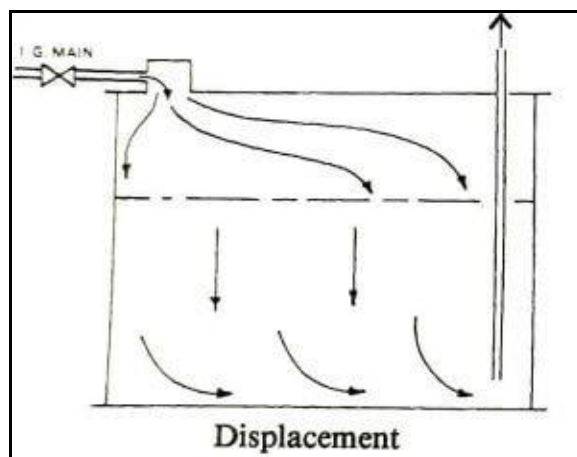
- Metoda razrjeđivanja ili mješanja (engl. *Dilution*)
- Metoda istisnine (engl. *Displacement*)

Metoda razrjeđivanja se temelji na mješanju plina koji je u spremnicima sa inertnim plinom sve dok se ne smanji količina kisika na manje od 5%. Metoda razrjeđivanja se može izvesti na nekoliko načina; uzastopnim stlačivanjem spremnika, miješanjem ponavljajućim vakuumom ili standardnim miješanjem plinova. Miješanje uzastopnim stlačivanjem koristi se kod spremnika tipa C, na način da se kompresorima inertni plin ubacuje u spremnike povećavajući tako tlak te se nakon porasta tlaka otpušta u atmosferu. Postupak se ponavlja sve dok se ne ostvari željena koncentracija kisika. Miješanje uzastopnim vakumiranjem se izvodi najčešće u spremnicima tipa C koji imaju mogućnost stvaranja i rada pod vakuumom i do 70%. Kompresorom se stvori vakuum i nakon toga se otpusti vakuum uz istovremeno puštanje inertnog plina u spremnik tereta koji će zauzeti prostor vakuuma. Kod obične metode miješanja koja se koristi najčešće kod tankera sa ugađenim spremnicima tipa A, inertni plin se kroz mlaznice otpušta u spremnike velikom brzinom. Velika brzina omogućava da inertni plin dođe do dna spremnika i time dolazi do boljeg miješanja i bržeg inertiranja spremnika. Ako se istovremeno inertira više spremnika mogu se inertirati u seriji čime će se smanjiti potrošnja inertnog plina u procesu. Na ovaj način se istovremeno inertiraju i cjevovodi.



Slika 15. Inertiranje metodom razrjeđivanja [10]

Inertiranje istisnom se temelji na različitim specifičnim težinama plinova. Inertni plin je teži od ugljikovodika i time će potiskivati ugljikovodike prema liniji za ispušt ugljikovodika u atmosferu. Za razliku od metode razrjeđivanja, kod metode inertiranja istisninom bitna je pozicija sa koje se otpušta inertni plin u spremnike, kako bi se mogla iskoristiti veća težina inertnog plina za uklanjanje ugljikovodika i kisika. Kod ove metode potrebno je paziti i na brzinu ispuštanja inertnog plina koja ne smije biti prevelika kako ne bi došlo do stvaranja turbulencija i mješanja plinova.



Slika 16. Inertiranje metodom istisnine [10]

4.1.4. Uplinjavanje

Plinovi koji se koriste za inertiranje, dušik i ugljikov dioksid, ne mogu se kondenzirati u brodskom postrojenju zato što temperature na kojima se teret nalazi su iznad kritičnih temperatura inertnih plinova i stoga se ne mogu kondenzirati. Inertni plin je

stoga potrebno djelomično ukloniti iz spremnika kako bih se omogućio normalan rad postrojenja za ponovno ukapljivanje isparenog tereta. Pare tereta se otpuštaju u teretne prostore dok se istovremeno inertni plin otpušta u atmosferu.

Uplinjavanje se može obaviti na samome terminalu prije ukrcaja tereta ili prilikom balastnog putovanja prema ukrcajnoj luci. Pare tereta se mogu dopremiti sa obale ili proizvesti na brodu u isparivaču tereta.

Uplinjavanje pomoću para tereta koje su već u brodu se može raditi kod polu hlađenih ili hlađenih LPG tankera. Ovi tankeri će imati poseban spremnik na palubi koji će sadržavati teret ili pare tereta koji će se koristiti za uplinjavanje i taj teret mora biti kompatibilan sa teretom koji će se ukrcavati. Pare tereta iz spremnika se kontrolirano uvode u teretne tankove.

Uplinjavanje na terminalu se odvija pomoću tereta koji se nalazi u spremnicima na obali. Uplinjavanje uz obalu se odvija u malom broju luka zbog toga što se prilikom isušivanja mogu otpustiti ugljikovodici u atmosferu što predstavlja opasnost. Ako je uplinjavanje dozvoljeno na terminalu, prije početka operacije osoblje terminala će uzeti uzorke atmosfere teretnih prostora. Kako kod većine terminala nije dozvoljeno otpuštanje plinova u atmosferu, terminal će osigurati cjevovod za prihvat povratnih plinova.

Nakon što se osigura uplinjavanje od 90% prostora, operacija hlađenja teretnih prostora može početi. [1]

4.1.5. Hlađenje teretnih prostora

Hlađenje je potrebno kod polu-hlađenih i potpuno hlađenih LPG tankera kako bi se postupno izjednačila temperatura tankova sa niskom temperaturom tereta koji će se ukrcavati. Hlađenjem se sprječava oštećenje teretnih tankova i cjevovoda koje može nastati usljed temperaturnih naprezanja, koja se javljaju pri velikim razlikama u temperaturama između čelika na brodu i samog tereta. Također ovim postupkom se sprječava stvaranje velikog pritiska u spremniku zbog naglog isparavanja tereta pri dodiru sa toplijim stjenkama spremnika.

Hlađenje se odvija tako da se postupno i kontrolirano u teretne spremnike ukrcava ukapljeni tekući teret, najčešće preko linija za uprskavanje ili ako te linije ne postoje onda se obavlja preko teretnih linija. Ispareni teret koji nastane pri naglom isparavanju u početku hlađenja se odvodi nazad na obalu preko cjevovoda za pare ili se u brodskom postrojenju za ponovno ukapljivanje kondenzira. Postupno se povećava doprema tekućeg tereta i

pritom se pazi na tlak u teretnim spremnicima. Prilikom hlađenja potrebno je paziti na brzinu snižavanja temperature u spremniku kako ne bih došlo do ekstremnih toplinskih naprezanja strukture spremnika. Uglavnom brzina hlađenja ne smije biti veća od 10°C na sat. Ukrcaj tereta može započeti kada se procesom hlađenja na dnu spremnika stvori konstantna količina tekućeg tereta.

Problemi u hlađenju spremnika mogu se javiti ako se nije pravilno odradilo isušivanje tankova. Tada će u teretnim prostorima biti veća količina vlage koja se može zamrznuti prilikom ukrcanja hladne tekućine i tako oštetiti ventile ili dijelove iskrcajne pumpe.

4.2. Ukrcaj tereta

Prije početka ukrcanja tereta potrebno je analizirati i isplanirati procedure koje će se odvijati između broda i terminala kako bi se omogućilo sigurno rukovanje teretnom opremom i siguran ukrcaj tereta na brod. Potrebno je ispuniti pred ukrcajnu check listu, a posebna pozornost se treba obratiti na [1]:

- Postavke sigurnosnog ventila u spremnicima i alarma za visoki pritisak
- Daljinsko upravljane ventile
- Opremu za ponovno ukapljivanje
- Sustave za detekciju plina
- Maksimalnu brzinu ukrcanja

Časnici na brodu trebaju pripremiti i uskladiti plan ukrcanja sa terminalom uzimajući u obzir trim broda, stabilnost i stres, odnosno opterećenja na brodsku konstrukciju koja nastaju pri ukrcanju tereta. Kako bi se to moglo proračunati potrebno je znati kolika je težina tereta u svakome spremniku i za to će biti potrebni podatci o teretu koji se ukrcaje koje će dostaviti osoblje terminala prije početka ukrcanja.

Kod prijevoza tekućih tereta u prizmatičnim tankovima postoji opasnost od zapljuskivanja tereta unutar spremnika, što uzrokuje smanjenje stabilnosti broda i moguća oštećenja unutar spremnika. Smanjenje zapljuskivanja se postiže postavljanjem uzdužne pregrade na sredini tanka ili popunjivanjem spremnika do određene razine. Većina brodova zbog zapljuskivanja tereta imaju ugrađenu zabranu ukrcavanja spremnika između 10% i 80% kapaciteta.

Nakon pripremnih operacija i izrade plana ukrcaja, brod se spaja sa cjevovodima na terminalu preko manifolda. Imamo tekuću liniju i liniju za povrat para na terminal. Linija za povrat para kod LPG brodova koji imaju postrojenje za ponovno ukapljivanje služi kao sigurnosni sustav u slučaju povećanja pritiska unutar teretnog spremnika.

Teretni spremnici prije početka ukrcaja mogu biti: [2]

- Prazni od tekućina ali pod prihvatljivim tlakom para tereta (uplinjavanje), ili
- Bez para tereta ali pod vakuumom koji je uglavnom blizu 80%. Veliki broj terminala zahtjeva inertiranje prije stvaranja vakuma u spremniku.

Kada je brod pod prihvatljivim tlakom para tereta ukrcaj ima jednostavniji oblik. Ukapljeni tekući plin se linijom za tekućine dovodi do tanka. Rastom razine tereta ispareni plin tereta se zarobljuje pri vrhu spremnika gdje se zbog rasta razine tereta stlačuje, postaje prezasićen i ukapljuje se na stjenkama spremnika. Prilikom ukrcaja potrebno je promatrati tlak unutar tanka i održavati ga ispod razine na kojoj će se otuštati kroz sigurnosni ventil u atmosferu. To se može ostvariti na način da se para preko linije za paru šalje do postrojenja za ponovno ukapljivanje i zatim se vraća u spremnik. Ako se na taj način ne može održavati pravilan tlak u spremniku onda postoji i cjevovod za povrat pare tereta na terminal.

Kada je brod došao na terminal sa 80% vakuma u spremnicima prvo je potrebno ukloniti vakuum uplinjavanjem sa plinom tereta koji će se ukrcati kao što je objašnjeno u procedurama pripreme za ukrcaj. Uplinjavanjem će se povećati tlak u teretnim prostorima na zahtjevanu razinu potrebnu za ukrcaj. Nakon toga ukrcaj se odvija kao i kod brodova koji dođu pod zadovoljavajućim pritiskom para tereta. Problem koji može nastati je što kod 80% vakuma imamo 20% volumena koji otpada na zrak ili inertne plinove koji se ne mogu ukapljivati pa ih je potrebno preko separatora postupno ukloniti, a pritom ne stvarati zapaljivu ili eksplozivnu smjesu ugljikovodika i zraka.

Brzina ukrcaja ovisit će o promjerima cjevovoda kao i o broju otvorenih ventila. Brzina ukrcaja se treba promatrati i regulirati po potrebi. Na početku ukrcaja koristi se manja brzina ukrcaja tereta i postupno se povećava prema maksimalnoj brzini ukrcaja. Ako u nekome trenutku ukrcaja pritisak u tanku se ne može održavati na sigurnoj razini potrebno je smanjiti brzinu ukrcaja. Pri završetku ukrcaja smanjuje se broj otvorenih ventila i potrebno je smanjiti brzinu ukrcaja tereta. Sigurna maksimalna brzina ukrcaja tereta ovisit će o brodu, cjevovodima i o ukrcajnom terminalu. Tijekom ukrcaja potrebno je

često provjeravati razine tekućina u spremnicima i na taj način se kontrolira brzina ukrcaja i popunjenost spremnika.

Unutar spremnika su ugrađeni posebni uređaji za pokazivanje popunjenosti spremnika sa ugrađenim alarmima koji će se aktivirati na razinama popunjenosti od 95% i zatim na 97% kapaciteta spremnika. Teret se najčešće ukrcava do popunjenosti od 97% što će nakon malog zagrijavanja tereta, dok se ne postigne izjednačavanje tlaka zasićenih para tereta i tlaka na koji je postavljen sigurnosni ventil postati zapravo 98% kapaciteta.[2]

Ako nekim slučajem dođe do zakašnjenja sa prestankom ukrcaja i teretni prostori se popune na 98.5% kapaciteta aktivira se posebni prekidač za prepunjenje tanka koji upravlja ukrcajnim ventilom na manifoldu. [2] Ovi prekidači se ne aktiviraju instantno već imaju ugrađenu odgodu reakcije od 15 sekundi kako bi se smanjila oštećenja koja bi mogla nastati u spremniku. Odgoda postoji zbog efekta koji nastane ako bi se tekućina koja je pod velikom brzinom i koja ima svoju specifičnu težinu i određenu kinetičku energiju naglo zaustavila.

4.3. Prijevoz morem

Tijekom putovanja morem posada broda trebala bi između ostaloga provjeravati vrijednosti temperatura tereta i spremnika tereta, vrijednosti tlaka unutar spremnika te rad postrojenja za ponovno ukapljivanje i ispravnost sigurnosnih ventila. Kod prijevoza polu hlađenih i potpuno hlađenih tereta dolazi do isparavanja tereta i stvaranja para tereta koju je potrebno ponovno ukapljivati kako se popunjenost spremnika tereta ne bi znatno smanjila te kako tlak u spremnicima nebi narastao iznad dopuštene vrijednosti.

4.3.1. Sustav ponovnog ukapljivanja

Kao što je ranije navedeno, postrojenje za ponovno ukapljivanje se pri ukrcavanju koristi za ukapljivanje para tereta, koje se stvaraju ukrcavanjem hladnog tereta u toplije spremnike. Prilikom putovanja morem ovisno o temperaturi tereta i ambijentalnoj temperaturi, postrojenje se uključuje po potrebi ili je konstantno u uporabi.

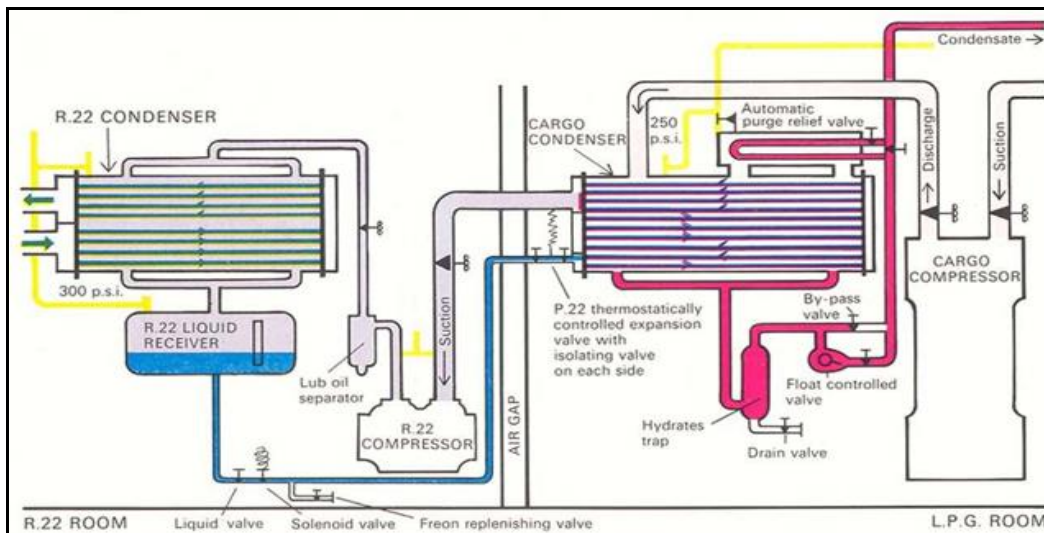
Koriste se dvije različite vrste sustava za ponovno ukapljivanje: [2]

- Sustav dvije razine
- Kaskadni sustav

Kod sustava sa dvije razine koriste se kompresor na dvije razine koji podiže tlak sa atmosferskog na otprilike 15 bara. Ova vrijednost tlaka pogodna je za korištenje sa kondenzatorom koji se hladi morskom vodom. Kompresor radi na dvije razine: niskotlačna i visokotlačna razina. Para tereta se iz spremnika prebacuje do izmjenjivača topline koji služi za izvlačenje tekućine koja se može uvući zajedno sa parom. Para se niskotlačnim kompresorom šalje do unutarnje razine hladnjaka gdje se hladi tekućinom koja se dovodi iz kondenzatora. Nakon hlađenja pare u unutarnjem dijelu hladnjaka ohlađena para se uvlači pomoću visokotlačnog kompresora u kondenzator, gdje se para pomoću morske vode kondenzira. Nakon kondenziranja stvara se topli tekući teret koji će prije nego se ponovno vrati u spremnike proći sustavom cijevi izmjenjivača topline kako bi se dodatno ohladio. Kondenzant će prije ulaska u spremnike proći kroz ventil sa plovnom upravljajem gdje će se tekućini naglo smanjiti tlak sa 15 bara do otprilike 0.5 bara. To naglo smanjenje tlaka uzrokovat će isparenje dijela tekućine ali i njeno dodatno hlađenje.

Kaskadni sustav koristi rashladne plinove kao sredstva za ukapljivanje. Rashladni plin se prvo hladi morskom vodom u kondenzatoru i pretvara u tekuće stanje i zatim se sprema u posebni spremnik za ukapljeni rashladni plin. Tekući plin se po potrebi otprema prema kondenzatoru gdje isparava ponovno i prolazi sustavom cijevi unutar kondenzatora i hladi pare tereta i kondenzira ih. Kada taj ispareni rashladni plin prođe kroz kondenzator ne otpušta se u atmosferu već se usisava pomoću posebnog kompresora i zatim ponovno vraća u sustav. Prednost ovog sustava je što rashladno sredstvo cirkulira sustavom i pogodan je za sve terete.

Najčešće korišteni rashladni plin na brodovima je freon R-22, ali zbog štetnog utjecaja na ozonski omotač, donesena je odluka da se zabrani prodaja, proizvodnja i korištenje tog plina. U svim razvijenim državama nakon 2020. godine je zabranjena je proizvodnja i uvoz dodatnih količina plina. Brodovi koji uplovljavaju u te države ne smiju posjedovati dodatne spremnike freona R-22. U ostalim državama u razvoju u planu je do 2030. godine potpuno ukloniti R-22 kao rashladni plin. Kao zamjena za R-22 plin koristi se rashladni plin R-417A, ali se potiče brodate na pronalaženje drugih rješenja odnosno potpuna zamjena sustava koji su koristili freone kao rashladni plin. [14]



Slika 17. Kaskadni sustav ponovnog ukapljivanja [2]

4.4. Iskrcaj tereta

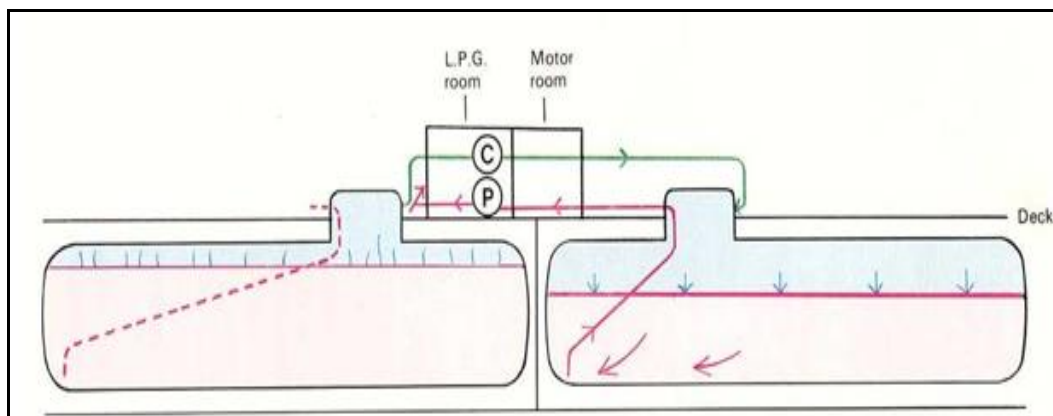
Prije samog dolaska broda na iskrcajni terminal potrebno je pripremiti se i provjeriti ispravnost sigurnosne opreme. Potrebno je provjeriti temperature tereta kao i tlak tereta koji mora biti u razinama koje zahtjeva iskrcajni terminal. Uspostavlja se komunikacija između broda i terminala slično kao i prije ukrcaja tereta kako bi se potvrdio plan iskrcaja i sigurnosne procedure.

Prije nego brod pristane na terminal potrebno je ohladiti cjevovode kako bi se pripremili za iskrcaj hladnog tereta. To se obavlja na način da se kondenzant pošalje kroz sustav iskrcajnog cjevovoda. Teretne pumpe potrebno je testirati kako bi se provjerila njihova ispravnost za rad.

Kada su obavljene sve pripreme za iskrcaj i kada se spoji linija za iskrcaj i linija za ispuštanje para na manifold, iskrcaj može započeti. Za iskrcaj tereta koriste se teretne pumpe koje će raditi zasebno ili u paraleli sa booster pumpama. Kako bi se spriječila oštećenja na pumpama potrebno ih je pokrenuti sa poluotvorenim ventilima za iskrcaj ili potpuno zatvorenim ventilima, kako bi se smanjilo početno opterećenje na pumpe. U početnim fazama iskrcaja ventil se polako otvara kako bi se pravilno povećavalo opterećenje na iskrcajne pumpe.

Iskrcavanjem tekućeg tereta u spremnicima dolazi do smanjenja tlaka. Isparavanje tereta zbog prolaza topline kroz izolaciju spremnika dovodi do konstantnog stvaranja para tereta. [1] Isparen teret nije dovoljan za održavanje dovoljnog tlaka u spremnicima za

iskrcaj tekućine. Zbog toga se u spremnik dodaju dodatne pare tereta kako bi se povisio tlak. Para se može dovesti tako da se odvaja tekući teret iz iskrcajne linije i u isparivačima pretvori u paru i šalje u spremnike. Pare tereta je moguće dopremiti sa terminala ako je spojena linija za pare na manifold broda. Sljedeći način je dopremanje para tereta iz drugog spremnika na brodu. Kompresorom se iz spremnika izvlači para tereta i prebacuje se u spremnik koji trenutno iskrcava tekući teret. U spremniku koji služi za izvlačenje pare dolazi do nezasićenosti atmosfere u spremniku i isparavanja tekućine koja će zamjeniti odvedenu paru.



Slika 18. Iskrcaj stvaranjem pritiska pomoću para iz drugog spremnika [2]

Kako se smanjuje razina tekućine u spremniku potrebno je usmjeriti pažnju na iskrcajni pritisak kao i na rad iskrcajne pumpe. Kada se se javi upozorenje za slabo usisavanje i kada imamo nagle promjene u vrijednosti rada pumpe tereta potrebno je malo zatvoriti iskrcajni ventil kako bi se omogućio ravnomjeran i konstantan dotok tereta na pumpu. Ponekad je potrebno i djelomično otvoriti ukrcajni ventil kako bi se poboljšao protok tereta prema pumpi.[2]

Iskrcaj na ovaj način je moguć do visine tereta od otprilike 15 cm kada se iskrcajna pumpa teško može kontrolirati i osigurati njen siguran rad. Pumpa se tada treba zaustaviti ako se nije automatski isključila. Ta mala količina tereta i para ostavlja se u spremnicima i koristi se za uplinjavanje i hlađenje spremnika za vrijeme balastnog putovanja, dok brod ne dođe do sljedećeg ukrcajnog terminala.

Ako se iskrcaje teret sa potpuno hlađenog LPG tankera na terminal koji ima potpuno stlačene spremnike, teret je potrebno zagrijavati prilikom iskrcaja. Temperatura tereta treba iznositi oko 0°C. Iskrcaj se u ovome slučaju vrši uz pomoć booster pumpe i grijača tereta koji rade u seriji sa iskrcajnim pumpama.[1]

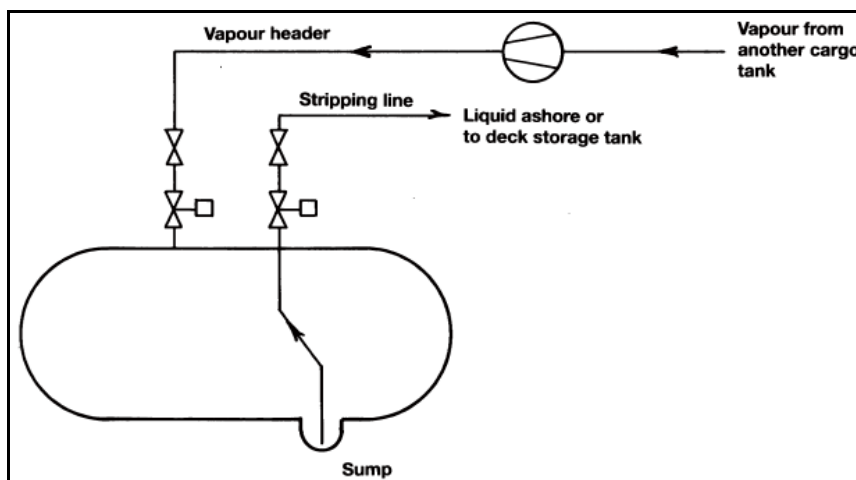
Na kraju iskrcajne operacije potrebno je isprazniti cijevovode koji su korišteni za vrijeme iskrcaja teret od zaostalog tekućeg tereta. Taj teret se može poslati u smjeru terminala ili natrag u spremnike tereta. Pražnjenje cijevovoda u smjeru od broda prema terminalu se obavlja brodskim kompresorom dok se u suprotnom smjeru koristi dušik za upuhivanje ostataka tereta natrag u spremnike. Nakon pražnjenja cijevovoda potrebno ih je inertirati i nakon toga je moguće odvojiti iskrcajna crijeva sa manifolda.

4.4.1. Priprema broda za promjenu tereta ili za suhi dok

Kada sljedeći teret nije kompatibilan sa prijašnjim teretom ili kada se priprema brod za ulazak u suhi dok potrebno je ukloniti sav tekući teret koji je ostao u spremnicima i osloboditi spremnike od zaostalih para tereta.

Prvo će biti potrebno potpuno ukloniti svu zaostalu tekućinu u spremnicima, zatim u nekim slučajevima potrebno je zagrijati teretni prostor, a nakon toga se spremnici inertiraju i na kraju se potpuno ventiliraju uvođenjem zraka.

Uklanjanje preostale tekućine se može obaviti stlačivanjem teretnog prostora, normalnim uklanjanjem ili kod potpuno hlađenih LPG tankera korištenjem zavojnica za grijanje tereta. Brojni LPG brodovi imaju posebne tlačne spremnike ugrađene na palubi kako bi se olakšalo potpuno uklanjanje ostataka tekućine u spremnicima nakon iskrcaja tereta. Kod spremnika tereta tipa C uklanjanje tekućine se izvršava povećavanjem tlaka unutar teretnog prostora dovođenjem para tereta iz drugog spremnika ili iz posebnog spremnika na palubi. Tekućina se tako potiskuje do usisa linije za posušivanje.



Slika 19. Uklanjanje ostataka tekućeg tereta stlačivanjem [1]

Kod spremnika tereta tipa A ili B uklanjanje ostataka tekućeg tereta se ne može obaviti stlačivanjem tekućine prema usisu već se ta tekućina zagrijava preko posebnih zavojnica za zagrijavanje ostataka tereta (engl. *Puddle heating coils*). Zagrijavanjem ovim zavojnicama potiče se isparavanje ostatka tereta i u isparenom obliku se odvodi van broda. Kompresor izvlači pare tereta koje se nalaze u spremniku, komprimira ih i na taj način ih zagrijava. Zagrijana para nakon prolaska kroz kompresor se direktno dovodi do zavojnica za zagrijavanje ostataka tereta i tu predaje energiju ostatku tekućeg tereta koji će ispariti. Para koja je prošla kroz zavojnice se kondenzira zbog izmjene topline sa tekućim teretom i direktno se iskrcava sa broda ili se ukrcava u posebni spremnik na brodu.

Nakon uklanjanja ostataka tekućeg tereta, u slučaju da je potrebno u spremnicima stvoriti atmosferu pogodnu za ulazak ljudi, potrebno je prije inertiranja i prozračivanja zagrijavati spremnike. Zagrijavanje se obavlja na način da se kompresorom omogući kruženje toplije pare tereta do nižih dijelova spremnika. Ovime će se polako zagrijavati teretni spremnici i ispariti tekući teret koji je možda još ostao na dnu spremnika. Ubrzavanje zagrijavanja je moguće ako na brodu ima grijač zraka.

Nakon zagrijavanja spremnici se inertiraju kako bi se prilikom prozračivanja spriječio stvaranje zapaljive smjese ugljikovodika i kisika. Inertiranje je potrebno i ako se mjenja teret. Zahtjevana koncentracija ugljikovodika prije prozračivanja ovisi o vrsti i sastavu tereta. Potrebno je smanjiti koncentraciju ugljikovodika na 2% prije nego je moguće započeti prozračivanje spremnika.[1]

Posljednji korak nakon inertiranja, kada se spremnici pripremaju za inspekciju je prozračivanje. Prozračivanjem je potrebno stvoriti atmosferu unutar tanka koja sadržava 21% kisika kako bi se moglo pristupiti spremnicima bez posebne opreme za disanje. Prozračivanje se obavlja uz pomoć kompresora pomoću kojih se u spremnike ispušta zrak i postupno se istiskuju inertni plinovi i plinovi tereta. Proces se izvodi ne samo dok se postigne 21% kisika već i dok se razina ugljikovodika ne dovede na 0%. Problemi kod procesa prozračivanja mogu nastati ako se nije pravilno obavio postupak zagrijavanja spremnika tereta do ambijentalne temperature. Ako su spremnici hladni, a započne se proces prozračavanja, tada može doći do kondenziranja vlage na stjenkama spremnika. Vлага stvara probleme u kasnijim pripremama spremnika za teret.[1]

5. ZAKLJUČAK

Naftni plinovi zbog svojih svojstava i zbog manjeg zagađenja okoliša njihovim izgaranjem predstavljaju dostatnu zamjenu sa tradicionalnim energentima. Zbog manjeg utjecaja na klimatske promjene dolazi do porasta u potražnji za naftnim plinom u industriji. Time dolazi do potražnje za korištenjem LPG tankera za distribuciju ukapljenog naftnog plina na tržištu. Stoga je od velike važnosti poznavati pravilne procedure za siguran prijevoz morem. Potrebno je poznavati postupke za sigurno rukovanje teretom kao i poznavanje rada opreme za teret koja se nalazi na brodu.

Namjena ovoga rada je pokazati postupke koji se obavljaju na brodovima za prijevoz ukapljenog naftnog plina, od izlaska broda iz suhog doka i pripreme za prvi teret, zatim briga o teretu tokom prijevoza sve do iskrcaja broda i pripreme za novi teret ili priprema spremnika za pregled. Operacije rukovanja teretom spadaju među najopasnijim operacijama na tankerima stoga je od velike važnosti poznavati postupke za sigurno obavljanje ukrcaja, prijevoza i iskrcaja tereta. Prije samog tereta potrebno je stvoriti sigurne uvjete na brodu i pripremiti tankove tereta na ukapljeni naftni plin. Prilikom prijevoza tereta morem potrebno je konstantno provjeravati vrijednosti temperature i tlaka u spremnicima. Također prilikom transporta morem dolazi do isparavanja tereta koji se u brodskom postrojenju za ponovno ukapljivanje kondenzira i vraća u spremnike tereta. Tijekom iskrcaja tereta treba paziti na brzinu iskrcaja tereta, vrijednosti tlaka i temperature unutar spremnika kao i ispravnost rada iskrcajnih pumpi. Nakon iskrcaja tereta brod se priprema za sljedeći teret prilikom balastnog putovanja ili se priprema za odlazak u suhi dok.

LITERATURA

- [1] White, B.: Liquefied Gas Handling Principles: On Ships and in Terminals, Witherby & Co Ltd., London, 2000.
- [2] Woolcott, T. M. V.; McGuire, G.: *Liquefied petroleum gas tanker practice*, Brown and Ferguson, 1977.
- [3] Elbadawy, K. B.; Teamah, M. A.; Shahata, A.; Hanafy, A. : Simulation of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Production from Natural Gas Using Fractionation Towers, 2018.
- [4] Jasem, H. K.: LNG, LPG and CNG Comparison Study, 2021.
- [5] Cargo tank inerting prior to gassing up-LPG tanker procedure,
URL: <http://www.liquefiedgascarrier.com/LPG-tank-inerting.html> (pristupljeno 27.04.2021)
- [6] Fully pressurized, URL: <https://citadelshipping.wordpress.com/2014/06/16/for-sale-cs00059-5000-cbm-lpg-tanker-fully-pressurized/> (pristupljeno 18.02.2021.)
- [7] Fully refrigerated tankers that carry LPG, Ammonia & Vinyl chloride
URL: <http://www.liquefiedgascarrier.com/Fully-Refrigerated-Ships.html>
(pristupljeno 21.02.2021.)
- [8] Gas carrier, URL: <http://marineexamdoc.blogspot.com/2018/>
(pristupljeno 18.02.2021.)
- [9] IGC-Code Int. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (MSC.177(79)), URL: https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_2389_14/7/
(pristupljeno 27.04.2021)
- [10] Inert Gas on board Tankers – All you need to know!
URL: <https://cultofsea.com/tanker/inert-gas/> (pristupljeno 09.03.2021.)
- [11] Japanese Yards Win LPG Carrier Newbuild Orders from Petredec,
URL: <https://gcaptain.com/japanese-yards-carrier-newbuild/>
(pristupljeno 21.02.2021.)
- [12] Lower and Upper Explosive Limits for Flammable Gases and Vapors,
URL: http://www.wermac.org/safety/safety_what_is_lel_and_uel.html
(pristupljeno 07.04.2021)
- [13] LPG Tanker, URL: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/lpg-tanker>
(pristupljeno 27.04.2021)

- [14] Phase-Out of R-22 Refrigerant in Maritime Industry, URL: <https://www.wilhelmsen.com/marine-products/refrigeration-solutions/phase-out-of-r-22-refrigerant-in-maritime-industry/>, (pristupljeno 28.04.2021)
- [15] Ukapljeni naftni plin, URL: https://hr.wikipedia.org/wiki/Ukapljeni_naftni_plin (pristupljeno 18.02.2021)
- [16] Understanding The Design of Liquefied Gas Carriers
URL:<https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/> (pristupljeno 19.02.2021.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Kritične temperature i tlakovi za ugljikovodike [1]	5
Slika 2. Prikaz dobivanja naftnog plina iz sirove nafte [1].....	6
Slika 3. Sastav prirodnog plina [1]	7
Slika 4. Tip C neovisni tankovi tereta kod potpuno stlačenih tankera [8]	9
Slika 5. Potpuno stlačeni LPG tanker [6].....	9
Slika 6. Izgled tankova tereta kod polu-hlađenih tankera [16]	10
Slika 7. Potpuno hlađeni LPG tanker [11]	11
Slika 8. Prizmatični oblik teretnog tanka [7]	11
Slika 9. Cjevovodni sustav LPG broda [1].....	12
Slika 10. Vijčani kompresor [1]	16
Slika 11. Separator [2].....	17
Slika 12. Shematski prikaz grijača tereta [1]	18
Slika 13. Sljed operacija rukovanja teretom [1]	20
Slika 14. Isušivanje zraka [1]	22
Slika 15. Inertiranje metodom razrjeđivanja [10].....	24
Slika 16. Inertiranje metodom istisnine [10]	24
Slika 17. Kaskadni sustav ponovnog ukapljivanja [2].....	30
Slika 18. Iskrcaj stvaranjem pritiska pomoću para iz drugog spremnika [2]	31
Slika 19. Uklanjanje ostataka tekućeg tereta stlačivanjem [1]	32

POPIS TABLICA

Tablica 1. LEL i UEL za naftne plinove [12]	3
Tablica 2. Svojstva ukapljenih naftnih plinova [15]	4

POPIS KRATICA

BOG gas (engl. <i>Boil-off gas</i>)	Ispareni teret
ESD system (engl. <i>Emergency shut down</i>)	Sustav isključivanja u slučaju opasnosti
IGC Code (engl. <i>International Gas Carrier Code</i>)	Međunarodni kod za brodove za prijevoz plina
LEL (engl. <i>Lower Explosive Limit</i>)	Donja granica eksplozivnosti
LNG (engl. <i>Liquefied Natural Gas</i>)	Ukapljeni prirodni plin
LPG (engl. <i>Liquefied Petroleum Gas</i>)	Ukapljeni naftni plin
UEL (engl. <i>Upper Explosive Limit</i>)	Gornja granica eksplozivnosti