

PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA

UDK 656.614.3+656.61]:66.078

Stručni rad

Sažetak

Tankeri za prijevoz ukapljenih plinova brodovi su s vrlo složenim sustavom za rukovanje teretom. Nigdje u trgovačkoj mornarici ne može se naići na takvu koncentraciju raznih uređaja unutar sustava za rukovanje teretom. U ovom radu obrađene su operacije koje prethode ukrcaju tekućih plinova, ukrcaj, prijevoz morem, s naglaaskom na osobitosti prijevoza ukapljenih prirodnih plinova (LNG), iskrcaj, balastno putovanje, izmjena tereta i priprema tankova za pregled. Zbog same opsežnosti teme naglasak je na rukovanju sustavom za teret.

Cjelokupnim spomenutim operacijama na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova rukovode časnici palube. Zbog neodgovarajućeg ili nikakva predznanja iz termodinamike, pomoćnih brodskih uređaja i drugih brodstrojarskih kolegija, časnici su palube suočeni s određenim teškoćama prilikom ukrcaja na takve brodove.

Svrha ovog rada je da upravo časnicima palube olakšava razumijevanje za njih ove složene materije, te da im na što jednostavniji mogući način dade prikaz dijela posla što ih čeka na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova.

Ključni pojmovi : tanker za prijevoz ukapljenog plina, ukapljeni prirodni plin (LNG), ukapljeni naftni plin (LPG), pothlađivanje, ukapljivanje.

Uvod

Ako se pođe od svih operacija prije ukrcaja ukapljenih plinova, počevši od brodogradilišta ili doka pa do prijevoza i iskrcaja tereta, onda se prema redosljedu izvođenja nameće ova podjela radnih postupaka:

1. Sušenje (*Drying*)

Sušenjem se odstranjuje vlaga iz tankova i cjevovoda da bi se smanjila mogućnost zaleđivanja.

2. Inertiranje (*Inerting*)

Inertiranjem se smanjuje sadržaj kisika u tankovima da bi se spriječio nastanak eksplozivne atmosfere u njima.

3. Ispiranje (*Purging*)

Ovom operacijom zamjenjuje se inertni plin u samom tanku parama tereta koji će se krcati.

4. Pothlađivanje (*Cooldown*)

Pothlađivanjem se spušta temperatura u tanku prije ukrcaja tereta da bi se spriječilo termičko naprezanje i isparivanje tekuće faze tereta.

5. Ukrcaj (*Loading*)

Prilikom ukrcaja može se istodobno obavljati i ponovno ukapljivanje i hlađenje tereta.

6. Putovanje s teretom (*Loaded passage*)

Ono uključuje održavanje tlaka i temperatura tereta.

7. Iskrcaj (*Discharge*)

Iskrcaj može uključiti i zagrijavanje para tereta kako bi se povećao tlak u tankovima.

8. Balastno putovanje (*Ballast passage*)

Tijekom balastnog putovanja tankovi se mogu pripremiti za izmjenu tereta.

9. Izmjena tereta (*Changing cargo*)

U ovu operaciju može se uvrstiti degazacija, inertiranje i uvođenje pare tereta koji će se krcati.

10. Priprema za pregled ili dok (*Preparation for inspection or drydocking*)

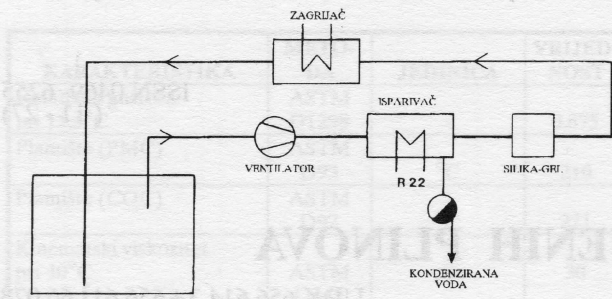
Priprema obuhvaća inertiranje i degazaciju.

1. Sušenje (*Drying*)

Sušenje ili odvlaživanje tankova teretnog sustava prijeko je potrebna procedura koja se mora obavljati da bi brod uopće mogao biti pripravan za ukrcaj, ukapljenog plina. Razlog zbog kojeg se ta operacija izvodi je sljedeći. U brodu volumena tankova od 30 000 m³ može u njima samima, iako su degazirani zaostati neka količina vodene pare, pa će se ona prilikom pothlađivanja tankova izlučiti u obliku vode. Ovisno o temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka u tankovima takvog broda može se prosječno pronaći više od 400 kg vode. To ne uključuje vodu koja je zaostala unutar tankova u tekućoj fazi. Ta voda i voda iz vodene pare može izazvati stvaranje leda i hidrata u tankovima i cjevovodima.

Sušenje se izvodi na više načina, a najčešći su uz pomoć više raznih sušila zraka. Način sušenja prikazan je na slici 1. Zrak se iz teretnih tankova usisava ventilatorima ili kompresorima, i nakon toga prolazi kroz sušilo, koje radi s pomoću kompresorskog rashladnog uređaja (u kojem je freon 22). Dakle, zrak iz tanka struji preko isparivača i hladi se, a vodena se para izlučuje u

* Željko Kurtela, dipl. inž.
Pomorski fakultet Dubrovnik, Dubrovnik



Slika 1. Sušenje (odvlaživanje) tankova

obliku kapljica na isparivaču. Voda se drenira iz uređaja drenažnom linijom. Zrak koji napušta prostor isparivača ima nižu točku rosišta. Nakon toga on prolazi kroz drugo sušilo, u kojemu je silikagel i nakon kojega je točka rosišta još niža. Takav zrak vraća se u tank preko zagrijača koji ga zagrijava na temperaturu okoline. Proces se nastavlja za sve tankove i cjevovode dok se točka rosišta zraka ne spusti nešto niže od temperature prijevoza tereta (ukapljenog plina) koji će se krcati.

Sušenje se može obavljati paralelno s inertiranjem, bilo da se rabi dušik s kraja ili inertni plin iz generatora. Iza generatora obično se nalazi sušilo s freonom 22 i sušilo sa silikagelom. Takav sustav može spustiti točku rosišta na -50°C pri atmosferskom tlaku.

Kvarovi na sisaljka i ventilima uzrokovani naslagama hidrata ili leda mogu se često pojaviti samo zbog nepravilno izvedene operacije sušenja. Metanol koji se dodaje u sisaljke prilikom upućivanja, ne može biti zamjena za operaciju sušenja. On se upotrebljava da se spriječi zaleđivanje unutar sisaljki na temperaturama do -48°C , a propanol do -108°C . Ispod tih temperatura nema sredstva koje bi bilo djelotvorno.

2. Inertiranje (Inerting)

Inertiranje tankova i sustava cjevovoda obavlja se kako bi se spriječio nastanak eksplozivne koncentracije para tereta. Inače je dostatno da se sadržaj kisika u tankovima spusti ispod 5% iako se u praksi zahtijevaju mnogo niži postoci. Za neke reaktivne kemijske plinove, npr. VCM ili butadien, sadržaj kisika u tankovima mora biti niži od 0,1% da bi se spriječila kemijska reakcija kisika i para tereta.

U uporabi su dvije metode inertiranja: potiskivanje i razrjeđivanje.

2.1. Inertiranje potiskivanjem

Kad se inertira potiskivanjem, inertni plin, koji je teži od zraka ulazi u tank malom brzinom da bi se spriječile turbulencije. Kako u tank inertni plin ulazi s pomoću generatora (ili linije s obale), on postupno istiskuje zrak

u atmosferu. U idealnim uvjetima, kad ne bi uopće bilo turbulencije, odnosno miješanja nadolazećeg inertnog plina s parama plina koji je otprije u tankovima, bilo bi dostatno dovesti u tank onoliko inertnog plina koliki je i njegov volumen. Budući da se u praksi miješanje ne može izbjeći, obično u tank treba dovesti od 1,25 do 4 puta veću količinu inertnog plina od obujma tanka. Ta količina varira ovisno o izvedbi cjevovoda i o masi inertnog plina. Naime, inertni plin dobiven iz generatora ima nešto veću masu od zraka dok je dušiku nešto manja masa.

Teorijski je inertiranje potiskivanjem ekonomičnije od razrjeđivanja, ali u praksi ono ima prednost samo onda ako je moguće izbjeći velika miješanja inertnog plina i para u tanku. Metodom potiskivanja inertira se uvijek više tankova paralelno. Inertni plin ulazi u više tankova istodobno malom brzinom. Ta mala brzina inertnog plina onemogućuje miješanje s parama u tanku. Pare plina koje su otprije zaostale u tanku istiskuju se nadolazećim inertnim plinom u atmosferu kroz ventilacijsku liniju (slika 2). Operacija je završena kad u tanku više nema para prijašnjeg plina ili zraka ako je tank bio degaziran.

Inertiranje razrjeđivanjem

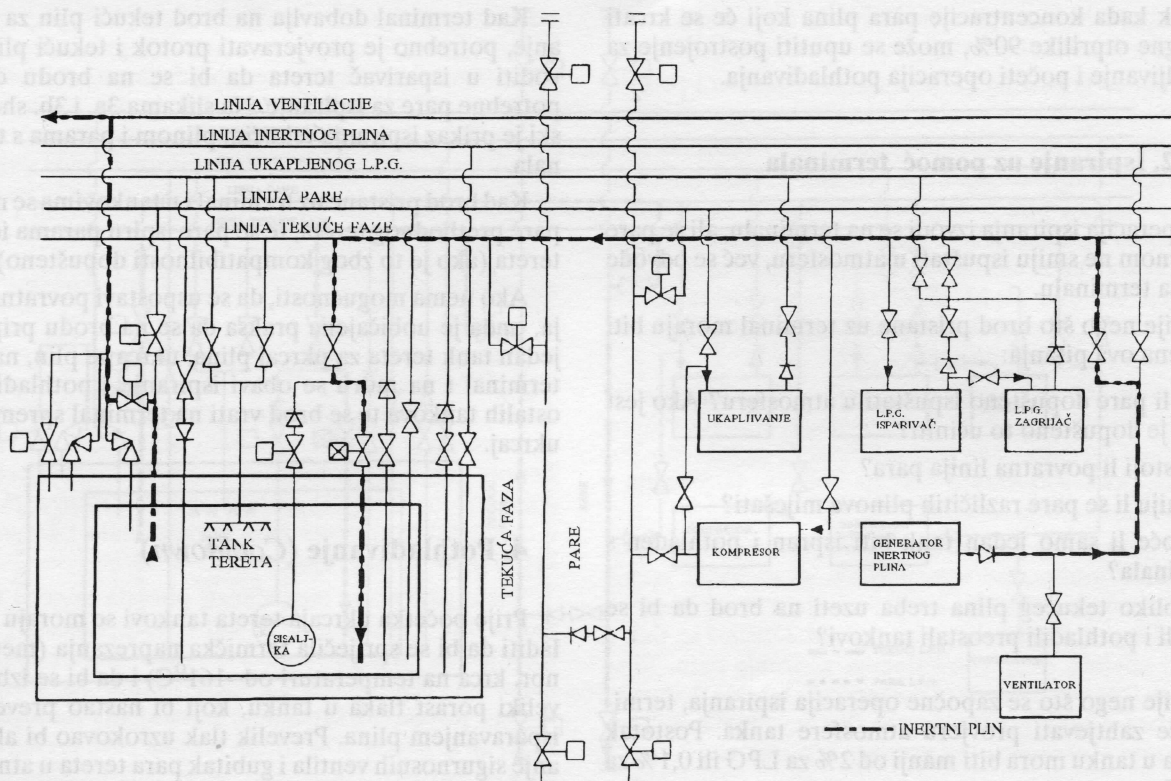
Uz pomoć ove metode inertni plin ulazi u tankove većom brzinom i miješa se s parama plina koje su otprije u tanku. U literaturi se ova metoda ponegdje naziva inertiranje miješanjem. Operacija inertiranja razrjeđivanjem može se izvoditi na dva načina: inertiranjem s uzastopnim tlačenjem i inertiranjem s uzastopnim vakuumiranjem.

Inertiranje uzastopnim tlačenjem

Na tankerima koji su projektirani za prijevoz ukapljenih plinova na temperaturi okoline (i pri maksimalnom tlaku do 17 bar) inertiranje razrjeđivanjem obavlja se uzastopnim tlačenjem tankova. Naime, tu su brodovi opremljeni kompresorima za inertni plin koji ga tlače u tankove. Nakon tlačenja sadržaj tanka (inertni plin i pare plina koji je tu otprije) ispušta se preko ventilacijske linije u atmosferu. Svakim ponovljenim tlačenjem i ispuštanjem u atmosferu sadržaj atmosfere tanka sve se više približava samom inertnom plinu koji se uvodi u tank. Svako iduće tlačenje izvodi se pri tlaku nižem od prethodnoga.

Inertiranje s uzastopnim vakuumiranjem

Tankovi tankera koji prevoze ukapljene plinove na temperaturi okoline obično su projektirani tako da mogu podnijeti od 30 do 70% vakuuma. Inertira se tako da se tank vakuumira s pomoću kompresora tereta, a onda se u vakuumirani tank uvodi inertni plin. Operacija se ponavlja dok u tanku ne ostane čisti inertni plin. Ovaj je način ekonomičniji od uzastopnog tlačenja zato jer je potrebna manja količina inertnog plina. Ukupno vrijeme izvedbe ovog načina inertiranja ipak je duže od uzastopnog tlačenja zbog dužine vremena potrebnoga da kompresor tereta ostvari određeni vakuum u tanku.



Slika 2. Shema inertiranja potiskivanjem

2.2. Zaključna razmatranja

Na odabir metode kojom će se inertirati utječe više faktora, kao što su: izvedba tanka, izvedba cjevovoda, karakteristike kompresora tereta i kompresora inertnog plina, vrsta inertnog plina i plina zaostalog u tanku koji se inertira. Iako je metoda inertiranja potiskivanjem ekonomičnija od metode razrjeđivanjem, potiskivanje može doći u obzir samo kad se može izbjeći veliko miješanje inertnog plina sa zrakom ili zaostalim plinom u tanku. U praksi svaki tanker, na osnovi svojih konstrukcijskih odlika i iskustva posade, ima razrađenu metodu inertiranja.

Bez obzira na to kojom metodom će se koristiti, važno je mjeriti sadržaj kisika u tanku na više mjesta s vremena na vrijeme. Također je važno mjeriti zaostali plin na što je više moguće mjesta.

U pripremi za ukrcaj reaktivnih kemijskih plinova kao što su VCM (vinil klorid monomer), etilen ili butadien zahtjeva se vrlo nizak postotak kisika u inertnom plinu (oko 0,1%). Budući je to donja granica koju može postići generator inertnog plina, treba posvetiti veliku pažnju njegovu radu. Naravno, ako je to moguće, u pripremi za ukrcaj reaktivnih kemijskih plinova trebalo bi se koristiti dušikom s terminala.

Inertni plin iz generatora se ne smije rabiti za pripremu tanka za ukrcaj amonijaka, zato jer amonijak kemijski reagira s CO₂ (kojega u inertnom plinu ima oko 14%) formirajući karbonate. Tekući amonijak nikad se ne smije raspršivati u tanku zbog rizika od elektrostatičke iskre koja može nastati raspršivanjem. U pripremi tanka za ukrcaj amonijaka koristi se dušik.

3. Ispiranje (Purging)

Dušik i ugljični dioksid kao glavni sastojci inertnog plina ne mogu se ukapiti s pomoću postrojenja za ukapljivanje koje se nalazi na većini LPG (*Liquefied Petrol Gas*) tankera. Kritične temperature ukapljenih naftnih plinova su više od temperature plinova koji čine inertni plin. Operacija ispiranja zapravo je zamjenjivanje inertnog plina koji je u tankovima parama plina koji će se krcati. Ako pri promjeni tereta nije bilo potrebno inertiranje, onda se operacijom ispiranja zamjenjuju pare prethodnog tereta parama tereta koji će se krcati.

3.1. Ispiranje po moru

Ispiranje po moru obavlja se s pomoću para koje se u tekućem stanju nalaze u palubnim tankovima. Palubnim tankovima opremljeni su samo veći potpuno pothlađeni (*fully refrigerated*) ili polupothlađeni (*semi-refrigerated*) tankeri.

Tekući plin dovodi se izravno iz tankova na raspršivače (iznimka je amonijak) i pažljivo se nadzire protok izbjegavajući naglo hlađenje strukture tanka. Mješavina inertnog plina i plina koji se dovodi, odvodi se u druge tankove ili se uz pomoć ventilacijske linije ispušta u atmosferu.

Drugi način je da se ukapljeni plin iz palubnih tankova vodi do isparivača tereta i pare se ubacuju ili na vrh ili na dno tanka (ovisno o njihovoj masi) tako da one istiskuju pare prethodnog tereta u druge tankove ili u atmosferu.

Tek kada koncentracije para plina koji će se krcati dosegne otprilike 90%, može se uputiti postrojenje za ukapljivanje i početi operacija pothlađivanja.

3.2. Ispiranje uz pomoć terminala

Operacija ispiranja izvodi se na terminalu, ali se pare uglavnom ne smiju ispuštati u atmosferu, već se odvođe prema terminalu.

Prije nego što brod pristane uz terminal moraju biti riješena ova pitanja:

1. Je li pare dopušteno ispuštati u atmosferu? Ako jest kako je dopušteno to učiniti?
2. Postoji li povratna linija para?
3. Smiju li se pare različitih plinova miješati?
4. Hoće li samo jedan tank biti ispran i pothlađen s terminala?
5. Koliko tekućeg plina treba uzeti na brod da bi se isprali i pothladili preostali tankovi?

Prije nego što se započne operacija ispiranja, terminal će zahtijevati provjeru atmosfere tanka. Postotak kisika u tanku mora biti manji od 2% za LPG ili 0,1% za VMC.

Ako ispuštanje para u atmosferu nije dopušteno, povratna linija para prema terminalu mora biti instalirana. Mnogi terminali dopuštaju ispuštanje inertnog plina u atmosferu. Znači, ako se ispiranje izvodi potiskivanjem, može se u atmosferu ispuštati inertni plin koji potiskuje pare tereta koji će se krcati. Kad se pare tog tereta pojave u ventilacijskoj liniji, onda se otvara povratna linija pare prema terminalu, a zatvara se ventilacijska linija.

Kad terminal dobavlja na brod tekući plin za ispiranje, potrebno je provjeravati protok i tekući plin odvoditi u isparivač tereta da bi se na brodu dobile potrebne pare za ispiranje. Na slikama 3a. i 3b. shematski je prikaz ispiranja tekućim plinom i parama s terminala.

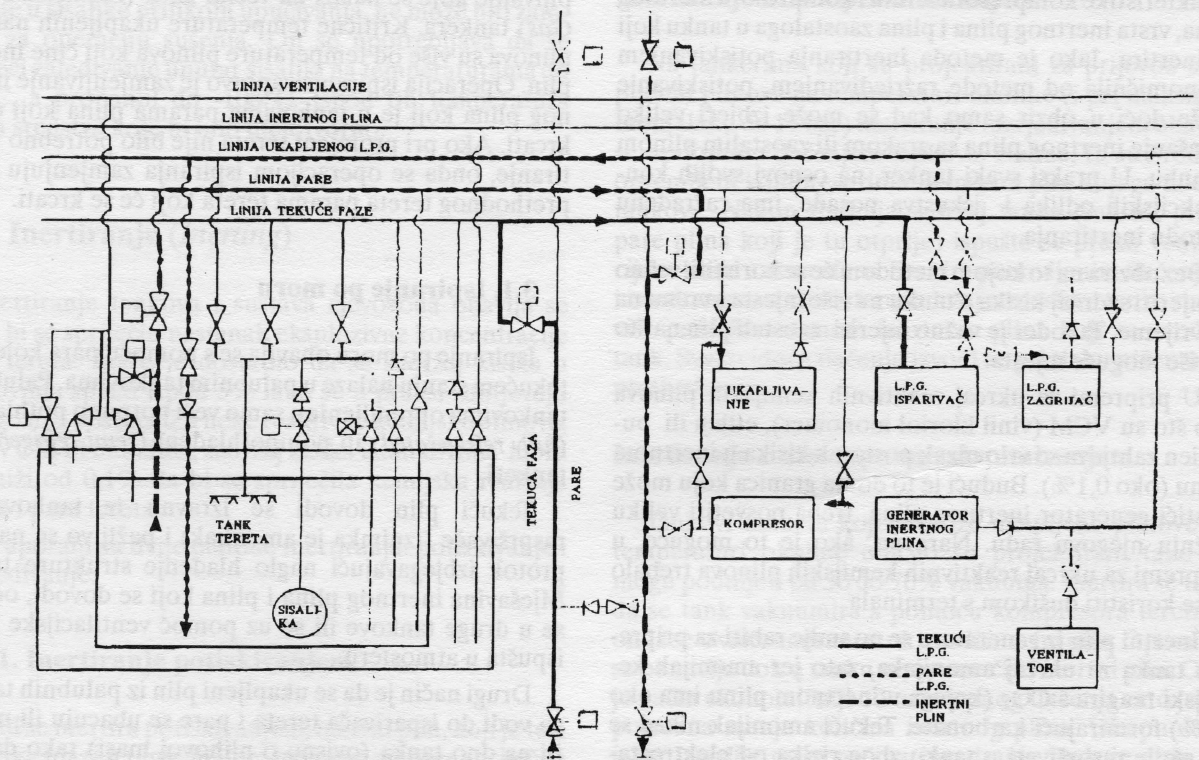
Kad brod pristane uz terminal i u tankovima se nalaze pare prethodnog tereta, te se pare ispiru parama idućeg tereta (ako je to zbog kompatibilnosti dopušteno).

Ako nema mogućnosti, da se uspostavi povratna linija, onda je uobičajena praksa da se na brodu pripremi jedan tank tereta za ukrcaj plina, ukrcava se plin, napusti terminal i na moru se obavi ispiranje i pothlađivanje ostalih tankova te se brod vrati na terminal spreman za ukrcaj.

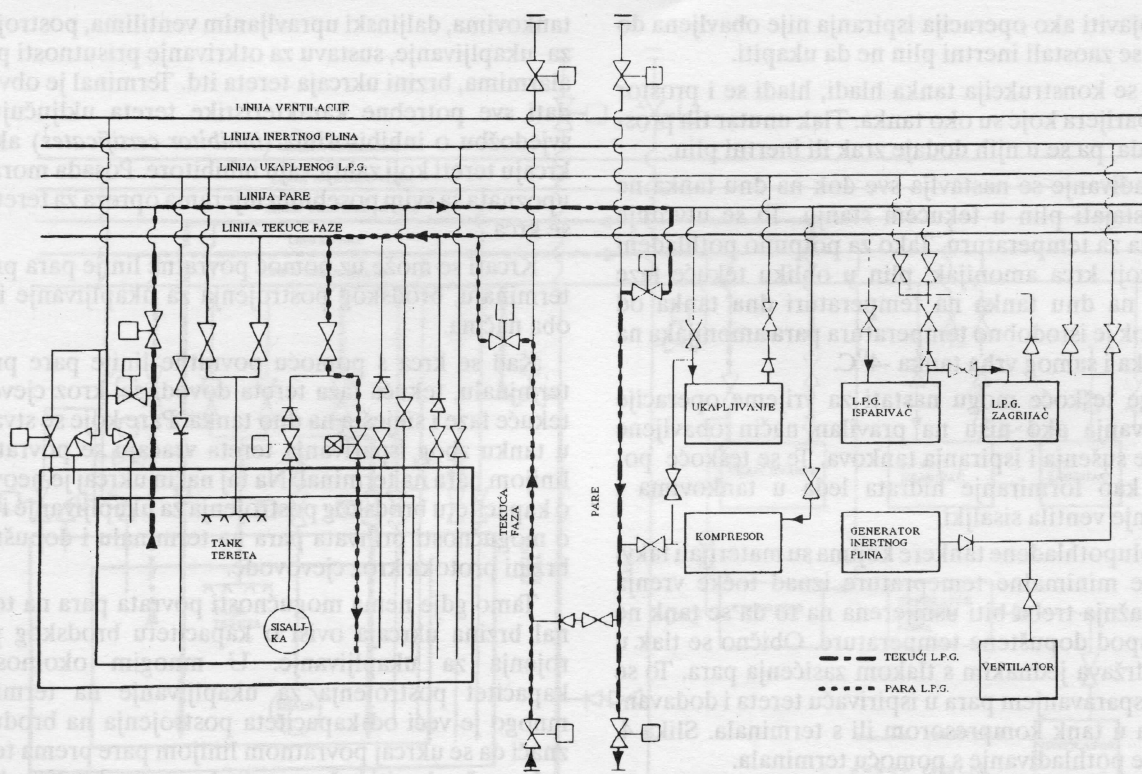
4. Pothlađivanje (Cooldown)

Prije početka ukrcaja tereta tankovi se moraju pothladiti da bi se spriječila termička naprezanja (metan se npr. krca na temperaturi od -161°C) i da bi se izbjegao veliki porast tlaka u tanku, koji bi nastao prevelikim isparavanjem plina. Prevelik tlak uzrokovao bi aktiviranje sigurnosnih ventila i gubitak para tereta u atmosferu. Do te pojave moglo bi doći ako bi tekući plin koji je na niskoj, temperaturi u ukapljenom stanju došao u doticaj s relativno toplim stijenkama tanka. Što je temperatura tereta koji se krca niža, to je važnije da se operacija pothlađivanja izvede pravilno i do određene temperature.

Brzina kojom se tankovi tereta mogu hladiti ovisi o konstrukciji i materijalu tanka, te o vrsti tereta i karakteristikama postrojenja. U praksi je uobičajeno da se



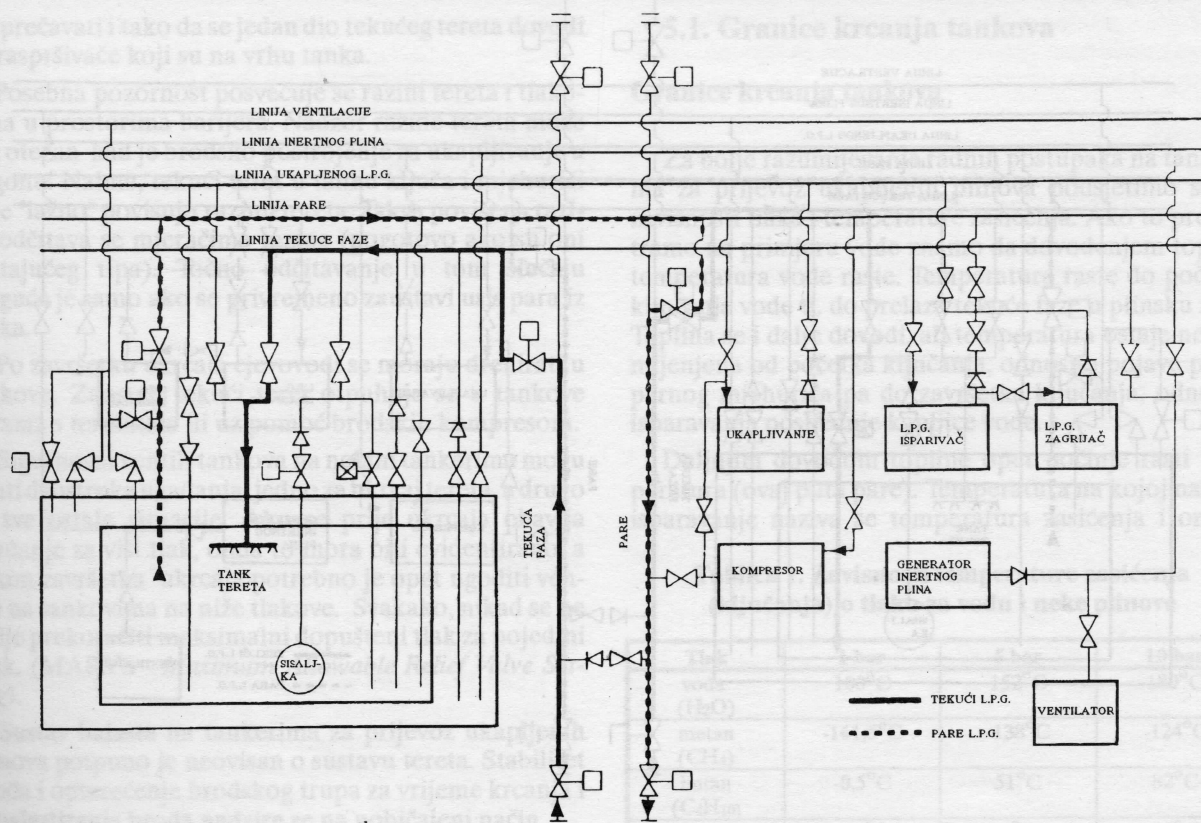
Slika 3a. Shema ispiranja tekućim plinom s terminala



Slika 3b. Shema ispiranja parama s terminala

temperatura ne spušta više od 10°C na sat. Tekući plin dovodi se s terminala ili iz brodskeg tanka u tank koji se pothlađuje. Plin dolazi na raspršivače koji su na vrhu tanka, a može se dovoditi i linijom tekuće faze na dno tanka. Pare koje nastaju zbog isparivanja plina odvo-

se na terminal preko povratne linije para ili se ukapljuju na brodu i ponovno vraćaju u tank kao tekući plin. Ako se pare ukapljuju na brodu s pomoću postrojenja za ukapljivanje, posebnu pažnju treba posvetiti radu kompresora, tj. njegovu izlaznom tlaku. Naime, teškoće se



Slika 4. Shema pothlađivanja dovodenjem tekućeg plina s terminala i odvođenjem pare na terminal

mogu pojaviti ako operacija ispiranja nije obavljena do kraja pa se zaostali inertni plin ne da ukapiti.

Kako se konstrukcija tanka hladi, hladi se i prostor između barijera koje su oko tanka. Tlak unutar tih prostora opada, pa se u njih dodaje zrak ili inertni plin.

Pothlađivanje se nastavlja sve dok na dnu tanka ne počne ostajati plin u tekućem stanju. To se utvrđuje osjetilima za temperaturu. Tako za potpuno pothlađeni tanker koji krca amonijak, plin u obliku tekuće faze zaostaje na dnu tanka na temperaturi dna tanka od -34°C , dok je istodobno temperatura para amonijaka na vrhu tanka i samog vrha tanka -4°C .

Mnoge teškoće mogu nastati za vrijeme operacije pothlađivanja ako nisu na pravilan način obavljene operacije sušenja i ispiranja tankova. Te se teškoće pojavljuju kao formiranje hidrata leda u tankovima i zaleđivanje ventila sisaljki.

Za polupothlađene tankere kojima su materijali takvi da izdrže minimalne temperature iznad točke vrenja tereta, pažnja treba biti usmjerena na to da se tank ne ohladi ispod dopuštene temperature. Obično se tlak u tanku održava jednakim s tlakom zasićenja para. To se postiže isparavanjem para u ispirivaču tereta i dodavanjem para u tank kompresorom ili s terminala. Slika 4. prikazuje pothlađivanje s pomoću terminala.

5. Ukrcaj (Loading)

Prije nego što započne ukrcaj, brod i terminal moraju usaglasiti liste za provjeru (check list). Posebna pažnja poklanja se stanju ugođenosti sigurnosnih ventila po

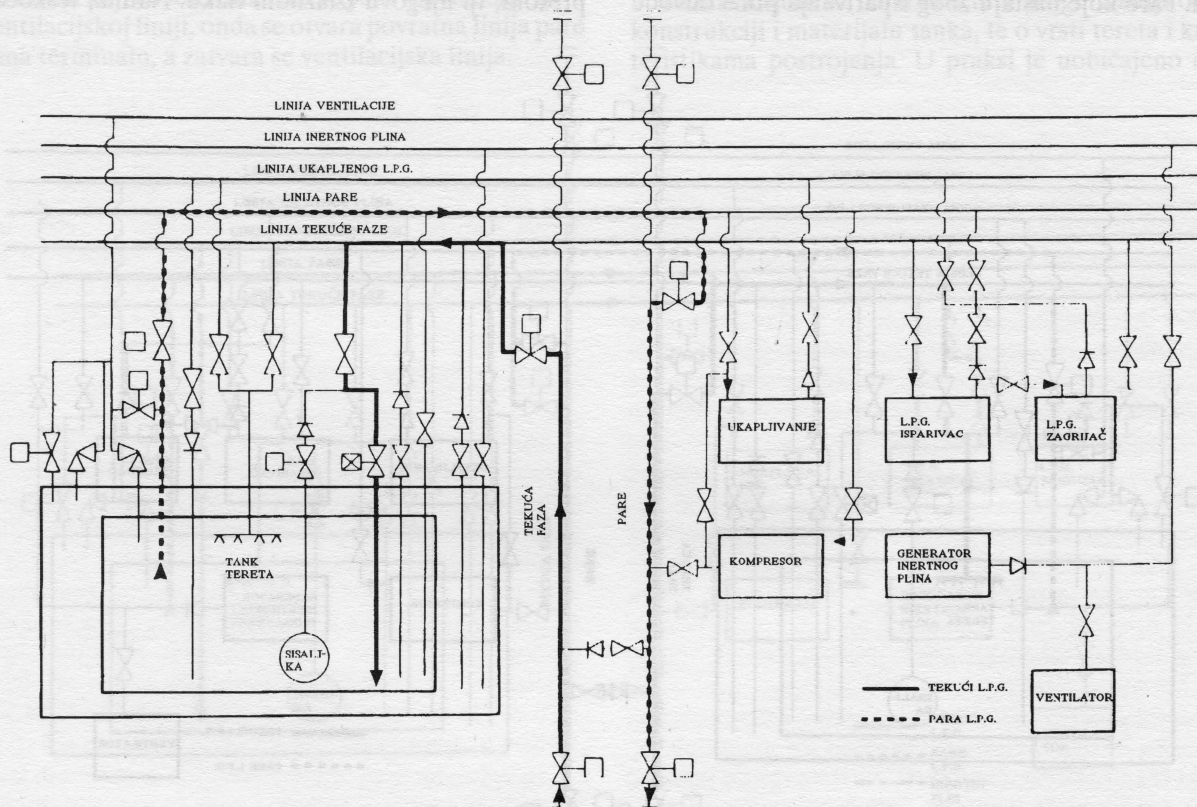
tankovima, daljinski upravljanim ventilima, postrojenju za ukapljivanje, sustavu za otkrivanje prisutnosti plina, alarmima, brzini ukrcaja tereta itd. Terminal je obavezan dati sve potrebne karakteristike tereta uključujući i svjedožbu o inhibitorima (inhibitor certificates) ako se krcaju tereti koji zahtjevaju inhibitore. Posada mora biti upoznata sa svim posebnim mjerama opreza za teret koji se krca.

Krcati se može uz pomoć povratne linije para prema terminalu, broskog postrojenja za ukapljivanje ili na oba načina.

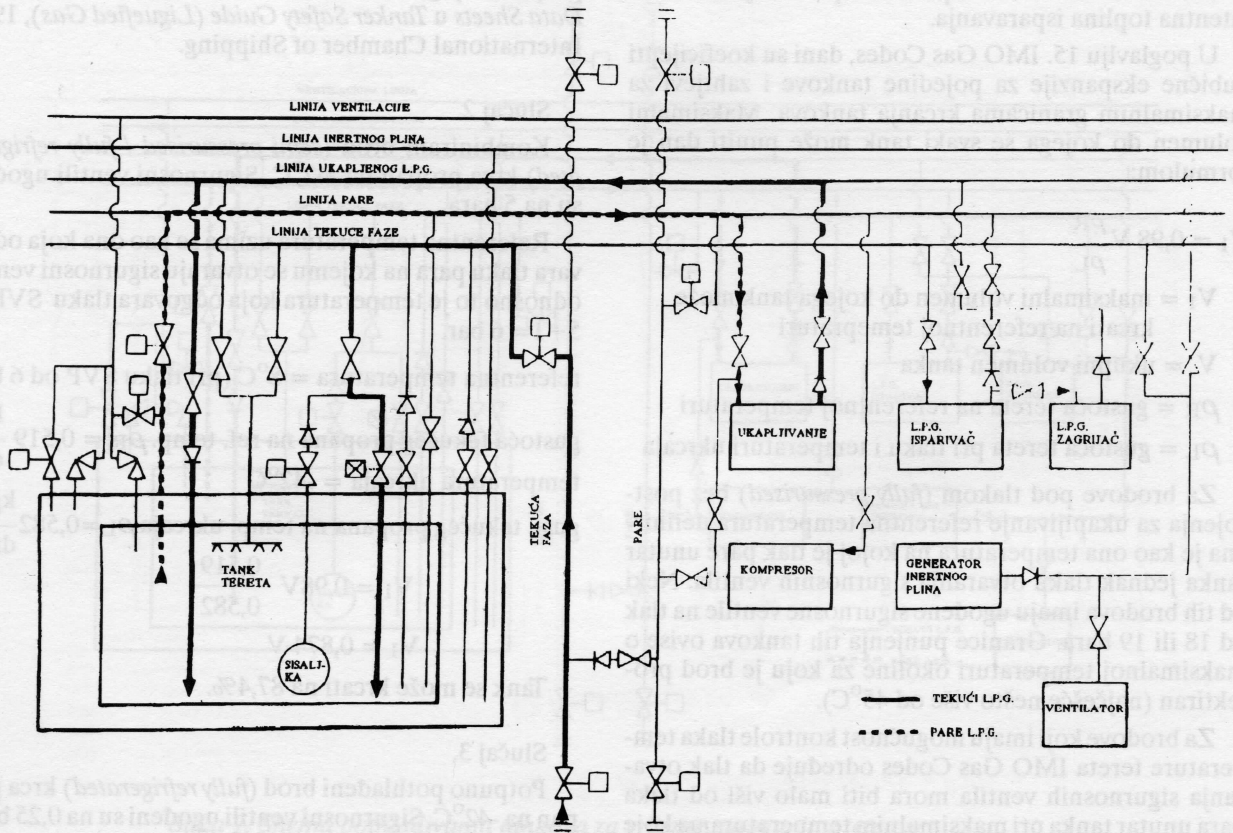
Kad se krca s pomoću povratne linije pare prema terminalu, tekuća faza tereta dovodi se, kroz cjevovod tekuće faze i smješta na dno tanka. Pare koje se stvaraju u tanku zbog isparivanja tereta vraćaju se povratnom linijom para na terminal. Na taj način ukrcaj je neovisan o kapacitetu broskog postrojenja za ukapljivanje i ovisi o mogućnosti prihvata para na terminalu i dopuštenoj brzini protoka kroz cjevovode.

Tamo gdje nema mogućnosti povrata para na terminal brzina ukrcaja ovisi o kapacitetu broskog postrojenja za ukapljivanje. U mnogim okolnostima kapacitet postrojenja za ukapljivanje na terminalu mnogo je veći od kapaciteta postrojenja na brodu. To znači da se ukrcaj povratnom linijom pare prema terminalu može obaviti brže nego kad se pare ukapljaju broskim postrojenjem.

Za vrijeme ukrcaja potrebno je pripaziti na tlak i temperaturu tereta u tanku. Početak ukrcaja kritična je faza. Brzina ukrcaja mora se smanjiti, a ako se ni tada ne može održati željeni tlak unutar tanka, ukrcaj se mora zaustaviti. U početnoj fazi ukrcaja veći porast tlaka može



Slika 5. Shema ukrcaja s pomoću povratne linije pare



Slika 6. Shema ukrcaja bez povratne linije pare

se sprečavati i tako da se jedan dio tekućeg tereta dovodi na raspršivače koji su na vrhu tanka.

Posebna pozornost posvećuje se razini tereta i tlakovima u prostorima barijera. Nadzor razine tereta može biti otežan kad je brodsko postrojenje za ukapljivanje u pogonu. Naime, tekući teret u tanku ključa i mjehurići pare "lažno" povišuju razinu tereta. Takva povišena razina odčitava se mjeračima razine (pogotovo ako su oni plutajućeg tipa). Točno odčitavanje u tom slučaju moguće je samo ako se privremeno zaustavi usis para iz tanka.

Po završetku ukrcaja cjevovodi se moraju drenirati u tankove. Zaostali tekući teret otpuhuje se u tankove parama s terminala ili uz pomoć brodskih kompresora.

Sigurnosni ventili tankova na nekim tankerima mogu imati dvostruka ugađanja: jedno za ukrcaj tereta, a drugo za sve ostale situacije. Ako se prije ukrcaja obavlja ugađanje za viši tlak, onda to mora biti evidentirano, a nakon završetka ukrcaja potrebno je opet ugoditi ventile na tankovima na niže tlakove. Svakako, nikad se ne smije prekoračiti maksimalni dopušteni tlak za pojedini tank. (MARVS - Maximum Allowable Relief Valve Setting).

Sustav balasta na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova potpuno je neovisan o sustavu tereta. Stabilitet broda i opterećenje broskog trupa za vrijeme krcanja i debalastiranja broda nadzire se na uobičajeni način.

5.1. Granice krcanja tankova

Granice krcanja tankova

Za bolje razumijevanje radnih postupaka na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova podsjetimo se na zavisnosti tlaka i temperature zasićenja. Ako to promatramo na primjeru vode znamo da dovođenjem topline temperatura vode raste. Temperatura raste do početka ključanja vode tj. do prelaza tekuće faze u plinsku fazu. Toplina se i dalje dovodi, ali temperatura ostaje nepromijenjena od početka ključanja, odnosno pojave prvog parnog mjehurića pa do završetka ključanja, odnosno isparavanja posljednje kapljice vode.

Daljnijim dovodom topline opet počinje rasti temperatura (ovaj puta pare). Temperatura na kojoj nastaje isparavanje naziva se temperatura zasićenja i ona je

Tablica 1. Zavisnosti temperature zasićenja (ključanja) o tlaku za vodu i neke plinove

Tlak	1 bar	5 bar	10 bar
voda (H ₂ O)	100°C	152°C	180°C
metan (CH ₄)	-161,5°C	-138°C	-124°C
butan (C ₄ H ₁₀)	-0,5°C	51°C	82°C
amonijak (NH ₃)	-33°C	4°C	25°C

ovisna o tlaku. Utrošena toplina za isparavanje naziva se latentna toplina isparavanja.

U poglavlju 15. IMO Gas Codes, dani su koeficijenti kubične ekspanzije za pojedine tankove i zahtjevi za maksimalnim granicama krcanja tankova. Maksimalni volumen do kojega se svaki tank može puniti dan je formulom:

$$V_1 = 0,98 V \frac{\rho_R}{\rho_L}$$

V_1 = maksimalni volumen do kojega tank može krcati na referentnoj temepraturi

V = ukupni volumen tanka

ρ_R = gustoća tereta na referentnoj temperaturi

ρ_L = gustoća tereta pri tlaku i temperaturi ukrcaja

Za brodove pod tlakom (*fully pressurised*) bez postrojenja za ukapljivanje referentna temperatura definirana je kao ona temperatura na kojoj je tlak pare unutar tanka jednak tlaku otvaranja sigurnosnih ventila. Neki od tih brodova imaju ugođene sigurnosne ventile na tlak od 18 ili 19 bara. Granice punjenja tih tankova ovise o maksimalnoj temperaturi okoline za koju je brod projektiran (najčešće nešto više od 45°C).

Za brodove koji imaju mogućnost kontrole tlaka temperature tereta IMO Gas Codes određuje da tlak otvaranja sigurnosnih ventila mora biti malo viši od tlaka para unutar tanka pri maksimalnim temperaturama koje se mogu pojaviti tijekom cjelokupnog ciklusa ukrcaja, prijevoza i iskrcaja tereta. Granice krcanja moraju biti takve da, nastane li požar, ne bude "preljevanja" tankova prije nego što se aktiviraju sigurnosni ventili. Znači, količina ukrcanog tereta koja se krca ispod ili iznad uobičajenih razina ovisi o ugođenosti sigurnosnih ventila i maksimalnom predviđenom tlaku za vrijeme cjelokupnog ciklusa s teretom.

Primjeri:

Slučaj 1. Brod pod tlakom (*fully pressurised*) krca propan na 20°C. Sigurnosni ventil ugođeni su na 16 bara.

$$V_1 = 0,98 V \frac{\rho_R}{\rho_L}$$

referentna temperatura = 49°C (pri tlaku SVP* od 16+1=17 bar)

gustoća tekućeg propana na refer. temp. $\rho_R = 0,452 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$
temperatura ukrcaja = +20°C

gustoća tekućeg propana na temp. ukrcaja $\rho_L = 0,02 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$$V_1 = 0,98 V \frac{0,452}{0,502}$$

$$V_1 = 0,882 \cdot V$$

Tank se može krcati na 88,2%.

Napomena: Svi podaci odčitavaju se iz dijagrama ovisnosti tlaka zasićenja pare SVP, entalpije i gustoće za

* SVP Saturated Vapour Pressure -Tlak zasićenja para

propan. Dijagrami za sve terete nalaze se kao ICS Cargo Data Sheets u Tanker Safety Guide (*Liquefied Gas*), 1978, International Chamber of Shipping.

Slučaj 2.

Kombinirani brod (*semi-pressurised / fully refrigerated*) krca propan na -42°C. Sigurnosni ventili ugođeni su na 5 bara.

Referentna temperatura uzima se kao ona koja odgovara tlaku para na kojemu se otvaraju sigurnosni ventili, odnosno to je temperatura koja odgovara tlaku SVP od 5+1=6 bar.

referentna temperatura = 8°C (pri tlaku SVP od 6 bar)

gustoća tekućeg propana na ref. temp. $\rho_R = 0,519 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

temperatura ukrcaja = -42°C

gust. tekućeg propana na temp. ukrcaja $\rho_L = 0,582 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$$V_1 = 0,98 V \frac{0,519}{0,582}$$

$$V_1 = 0,874 \cdot V$$

Tank se može krcati na 87,4%.

Slučaj 3.

Potpuno pothlađeni brod (*fully refrigerated*) krca propan na -42°C. Sigurnosni ventili ugođeni su na 0,25 bara.

referentna temperatura = -37° (pri tlaku SVP od 0,25+1=1,25 bar)

Gustoća tekućeg propana na $\rho_R = 0,5765 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

temperatura ukrcaja = -42°C

gustoća tekućeg propana na $\rho_L = 0,582 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$$V_1 = 0,98 \frac{0,5765}{0,582}$$

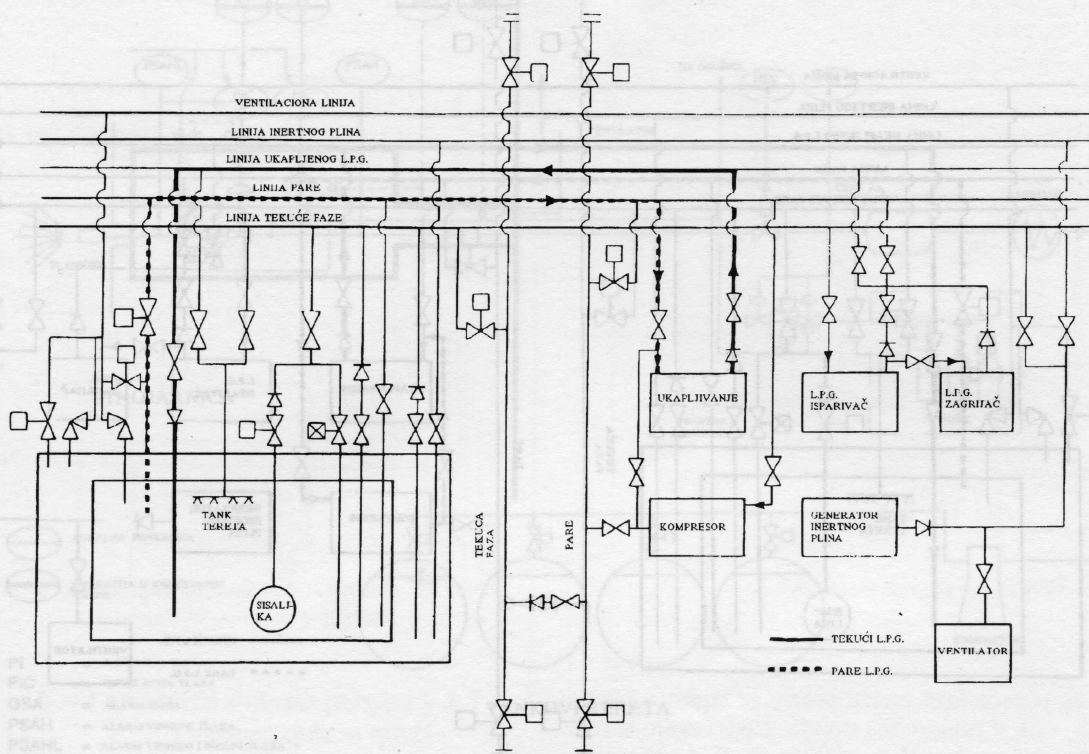
$$V_1 = 0,97 \cdot V$$

Tank se može krcati na 97%.

6. Putovanje s teretom (*Loaded passage*)

Za sve polupothlađene i potpuno pothlađene tankove prijeko je potreban strogi nadzor temperature i tlaka za vrijeme putovanja s teretom. Na brodovima za prijevoz ukapljenih naftnih plinova (*LPG ships*) pare tereta ponovno se ukapljaju u postrojenju za ukapljivanje i vraćaju kao tekući plin natrag u tankove. Na brodovima za prijevoz ukapljenih prirodnih plinova (*LNG ships*) izgaraju se pare tereta u brodskim kotlovi-ma gdje služe kao pogonsko gorivo.

Kod LPG-tereta valjanje broda može izazvati teškoće prilikom ukapljivanja. Iako je kompresor zaštićen od usisa tekućine, uvijek postoji opasnost da nešto tekućeg plina dospije u kompresor za vrijeme jačeg brodskog valjanja. Zbog tog razloga ne preporučuje se uporaba kompresora kad se brod valja. U takvoj okolnosti "višak" para koji bi stvorio prevelik tlak ispušta se u atmosferu.



Slika 7. Shema pothlađivanja tankova za vrijeme putovanja s teretom

Kad je more relativno mirno, relativno mala količina pare u tanku usisava se kompresorom, ukapljuje i vraća u tank preko raspršivača na vrhu tanka. Na vrhu tanka formira se sloj hladnijeg tereta. Nakon nekoliko sati rada obično se može sniziti tlak pare u tankovima premda se cijela količina tereta još nije potpuno pothladila. Da bi se to izbjeglo, pare svakoga tanka ukapljuju se zasebno i tekuća faza plina vraća se na dno tanka, omogućujući na taj način cirkulaciju tereta unutar tanka. Nakon što je teret pothlađen, kapacitet postrojenja za ukapljivanje smanjuje se da bi se uspostavila ravnoteža s gubitkom topline kroz izolacije tanka, odnosno ravnoteža između isparivanja i ukapljivanja. Na slici 7. prikazana je shema pothlađivanja tankova za vrijeme putovanja s teretom.

Ako se ukapljivanje izvodi istodobno iz više tankova, potrebno je paziti na povrat tekućeg plina u tankove kako bi se spriječilo prekrćavanje tankova.

Kad se prevozi butadien, temperatura na izlazu iz kompresora ne smije prekoračiti 60°C. Kod VCM temperatura na izlazu ograničena je na 90°C kako bi se spriječila polimerizacija. Slika 8. prikazuje shemu ukapljivanja s kompresorom para u radu.

6.1. Rukovanje postrojenjem za ukapljivanje

Za vrijeme ukrcaja tereta postrojenje za ukapljivanje (ako radi), radi obično punim kapacitetom. Na putovanju s teretom ovisno o temperaturi tereta i temperaturi okoline, te izolaciji tankova, postrojenje može raditi

povremeno ili stalno. Ako prije dolaska na terminal iskrcaja treba sniziti temperaturu tereta, onda se zahtjeva konstantni rad. Na balastnom putovanju s praznim tankovima tereta, u kojima je ostavljeno tek nešto tekuće faze plina da bi se tankovi održavali pothlađenim, postrojenje radi povremeno.

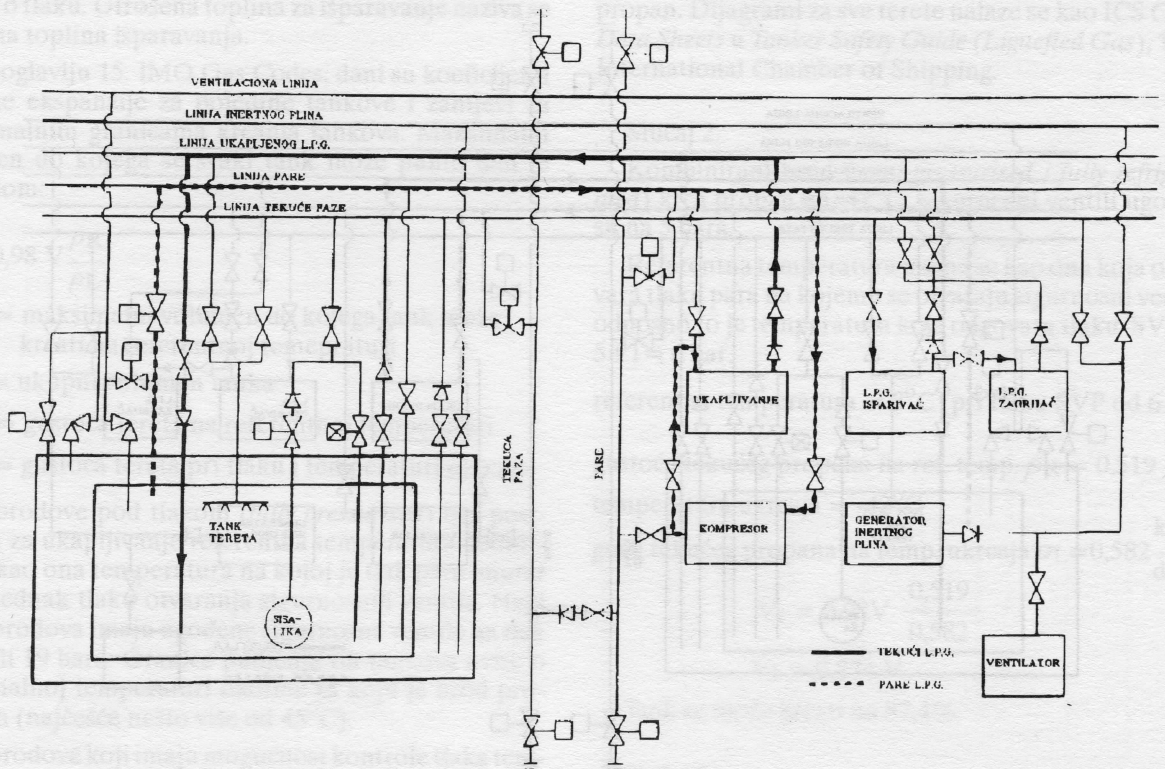
Prije starta postrojenja za ukapljivanje treba provjeriti razinu ulja u kompresorima, te zatvoreni sustav glikol/voda (upotrebljava se u bezuljnim kompresorima za zagrijavanje kad kompresor ne radi i za hlađenje kad on radi).

Ulje za podmazivanje mora biti kompatibilno s teretom, a ako to nije, mora biti izmjenjeno prije rada. Prije upućivanja kompresora mora se uspostaviti hlađenje kondenzatora. Tlačni ventil kompresora treba biti otvoren dok se usisni otvara postupno, da bi se spriječilo eventualni ulazak tekuće faze plina u cilindre.

Općenito se za vrijeme upućivanja, rada i zaustavljanja kompresora strogo treba pridržavati uputa proizvođača. Za vrijeme rada potrebno je provjeriti:

- tlak na usisu, tlak između stupnjeva kompresora i tlak na izlazu;
- tlak ulja;
- temperaturu plina na usisu, i na tlačnoj strani kompresora (kompresor je zaštićen sigurnim prekiđačem visoke temperature);
- propuštanja ulja kroz šupernicu;
- temperaturu rashladne vode.

Po zaustavljanju kompresora tlačni i usisni ventili se zatvaraju, a sustav glikol/voda ostavlja se u radu da bi se



Slika 8. Shema održavanja tlaka i temperatura na putovanju s teretom

omogućilo grijanje kućišta, (drugim tipovima kompresora uključuju se grijači ulja).

6.2. Uporaba LNG kao pogonskog goriva

Iako je tehnički moguće ukapiti pare prirodnih plinova (LNG), takva postrojenja bila bi izuzetno glomazna i skupa, pa se zbog toga ne instaliraju na brodovima. Umjesto da budu ponovno ukapljene, pare LNG upotrebljavaju se kao pogonsko gorivo u brodskim kotlovima. Takav način uporabe pare tereta ujedno i određuje vrstu pogona. Naime, na LNG - brodovima obično se ugrađuju turbinska propulzijska postrojenja (postoje i dizelski motori koji rade na teško gorivo i metan).

Prevladavajuća komponenta LNG je metan, i to je upravo jedini ukapljeni plin koji se smije rabiti kao pogonsko gorivo, jer su njegove pare na temperaturi okoline lakše od zraka. Pare svih LPG - tereta teže su od zraka. Znači, prilikom eventualnih propuštanja u strojnici pare metana će se relativno lako sustavom ventilacije odvoditi u atmosferu.

Kad se pare metana upotrebljavaju kao gorivo, valja osigurati sve potrebne sigurnosne mjere.

Tijekom putovanja s teretom tekući metan isparava, i pare metana povišuju tlak u tankovima. Budući da se metan prevozi na temperaturi od oko -161°C i gotovo atmosferskom tlaku, pare metana se usisavaju da se ne bi tlak prekomjerno povišio. Taj usis obavlja se kompresorom (slika 9.). Hladne pare metana dovode se do parnih grijača, potom u tank za izjednačavanje tlaka, a odatle u prostor ispred kotla. Taj se prostor stalno ventilira usisnim ventilatorom. Metan se dovodi u prstenas-

tu cijev s malim provrtima. Ta cijev se nalazi oko plamenika na naftu. Kako pare metana izlaze kroz provrte, tako se odmah i pale (plamenom plamenika na naftu). Izgaranje metana u kotlovima dopušteno je samo uz istodobni rad plamenika na naftu. Kad dođe do izbacivanja iz rada plamenika na naftu, metanske se pare automatski odvođe kroz odušnik u atmosferu. Cjevovod plina mora se prije i poslije uporabe propuhati inertnim plinom.

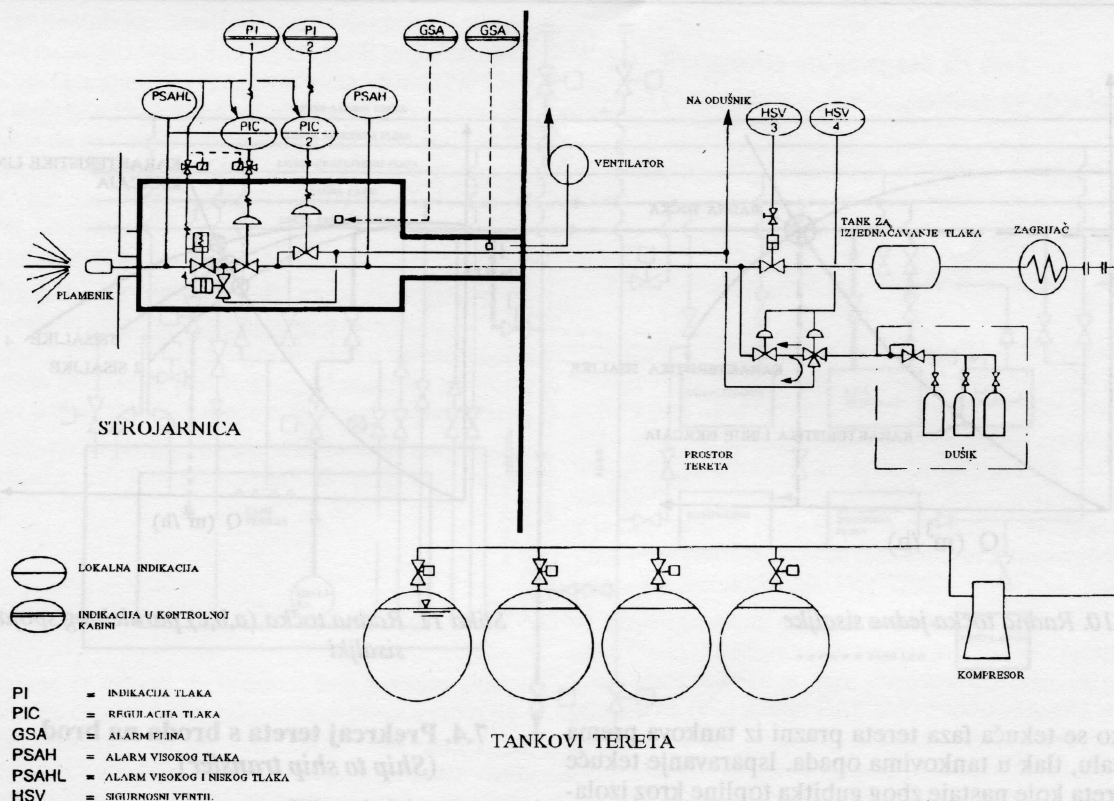
Količina isparenih para ovisi o barometarskom tlaku, temperaturi okoline i stanju mora (jače valjanje broda ubrzava isparavanje). Nikad se ne smije dopustiti da tlak u tankovima tereta padne ispod atmosferskoga. Prosječne količine para koje se rabe kao gorivo kreću se oko 0,2% tereta dnevno za putovanje s teretom i 0,11% dnevno za balastno putovanje.

Kompresori koji se upotrebljavaju na LNG-brodovima obično imaju šupernice koje su pod tlakom dušika, tako da je za vrijeme rada kompresora potrebno osigurati i dobavu dušika.

Za vrijeme uporabe metanskih para kao goriva potrebno je posebnu pažnju obratiti tlaku unutar tankova, temperaturi i u prostorima između barijera tankova.

7. Iskrcaj (Discharging)

Kad brod pristane u terminal, tlakovi i temperature tereta moraju biti na onim vrijednostima koje odgovaraju zahtjevima terminala. Prije iskrcaja zahtijeva se uobičajena razmjena informacije, sigurnosnih lista i poduzimanje odgovarajućih sigurnosnih mjera.



Slika 9. Shema uporabe LNG kao goriva

Metode iskrcaja razlikuju se ovisno o tipu broda, vrsti tereta i mogućnostima terminala. U praksi su obično tri različite metode iskrcaja:

- isrcaj s pomoću tlaka para;
- iskrcaj centrifugalnim sisaljka s dobavnim sisaljka (booster pumps) u serijskom radu ili bez njih;
- iskrcaj centrifugalnim sisaljka kroz dobavne sisaljke (booster pumps) i zagrijač tereta.

7.1. Iskrcaj s pomoću tlaka para

Iskrcaj tereta s pomoću tlaka para istoga tog tereta obavlja se preko isparivača tereta tako da se tekuća faza tereta isparava u isparivaču, a pare koje pri tome nastaju i koje su pod povišenim tlakom odvođe se u tank tereta. Drugi način je da se kompresorom usisavaju pare tereta i pod povišenim se tlakom vraćaju natrag u tank. Povišeni tlak u tankovima omogućuje istiskivanje tekućeg tereta kroz iskrcajnu liniju prema terminalu. To znači da ova metoda uopće ne zahtjeva uporabu sisaljki. Međutim, ovakav iskrcaj ograničen je samo na male brodove koji prevoze ukapljene plinove na temperaturi okoline i pod tlakom.

7.2. Iskrcaj centrifugalnim sisaljka s dobavnim sisaljka u serijskom radu ili bez njih

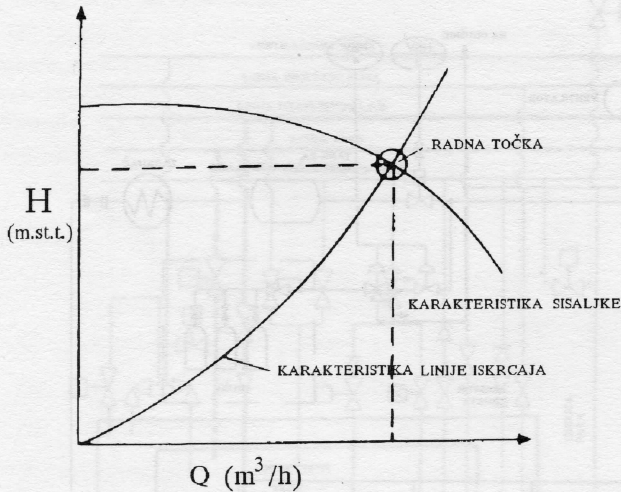
Ova je metoda uobičajena na mnogim brodovima. Za njezino razumijevanje bitno je poznavati karakteristike

sisaljki (sl. 10). Karakteristika sisaljke pokazuje ovisnost dobavnog tlaka (H) o kapacitetu sisaljke (Q). Radna točka sisaljke je u sjecištu karakteristike linije iskrcaja i karakteristike sisaljke.

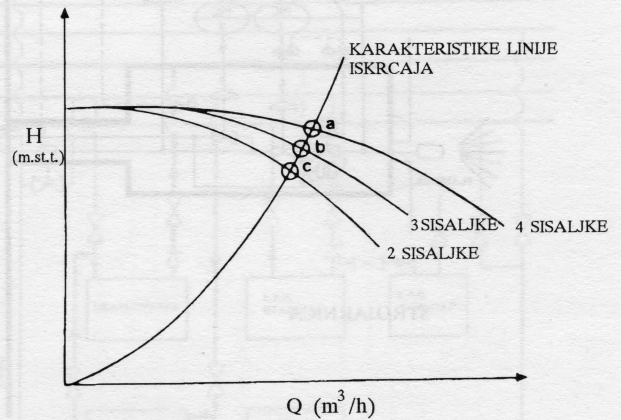
Prilikom iskrcaja normalno je da sisaljke rade u paralelnom radu. Na slici 11. prikazan je paralelni rad dvije, tri i četiri sisaljke. Iz prikaza se vidi kako se malo povećao protok (Q) ako rade paralelno tri ili četiri sisaljke.

Paralelni rad više sisaljki uzrokuje zagrijavanje tereta, što opet ima za rezultat pojava viška para u tankovima na terminalu. Taj višak tlaka ukapljuje se s pomoću kompresora terminala na terminalu. Ako kompresori nisu u stanju održati željeni tlak u obalnim tankovima, onda se pribjegava smanjenju brzine iskrcaja na brodu, kako se na obalnim tankovima ne bi aktivirali sigurnosni ventili. Sve to upućuje na zaključak da u nekim okolnostima paralelni rad četiri ili više pumpa može smanjiti brzinu iskrcaja, a mjesto da se poveća.

Brzina iskrcaja ne bi se smjela smanjivati prigušivanjem ventila na liniji iskrcaja ako terminal ne može prihvatiti brzinu iskrcaja broda. Jedino za tankere s ograničenom recirkulacijom može se smanjivati prigušivanjem ventila. U serijskom radu centrifugalne sisaljke s dobavnom sisaljkom treba paziti na to da pretjerano smanjenje kapaciteta centrifugalne sisaljke ne izazove kavitaciju u dobavnoj sisaljki. Promjena brzine iskrcaja, odnosno protoka, obavlja se prigušivanjem dobavne sisaljke, recirkulacijom centrifugalne sisaljke ili kombinacijom ta dva načina. Na slici 12. prikazan je paralelni rad centrifugalnih sisaljki koje sa dobavnom sisaljkom rade u seriji.



Slika 10. Radna točka jedne sisaljke



Slika 11. Radna točka (a,b,c) paralelnog spoja više sisaljki

Kako se tekuća faza tereta prazni iz tankova prema terminalu, tlak u tankovima opada. Isparavanje tekuće faze tereta koje nastaje zbog gubitka topline kroz izolaciju tankova u nekim je slučajevima nedostatan da bi održalo potreban tlak u tanku. Taj tlak para pomaže sisaljka pri iskrcaju i sprečava rad pumpa u kavitacijskom području. Pare se tereta vraćaju u tankove povratnom linijom para kako bi omogućile otprilike ujednačenu brzinu iskrcaja. One se mogu vraćati u tank povratnom linijom para s terminala ili se mogu proizvoditi na brodu u isparivaču tereta. Tekuća faza tereta uzima se iz iskrcajne linije tekuće faze i odvodi u isparivač tereta. Slika 13. prikazuje iskrcaj bez povrata para, a slika 14. iskrcaj s povratom para.

7.3. Iskrcaj centrifugalnim sisaljka kroz dobavne sisaljke (booster pumps) i zagrijač tereta

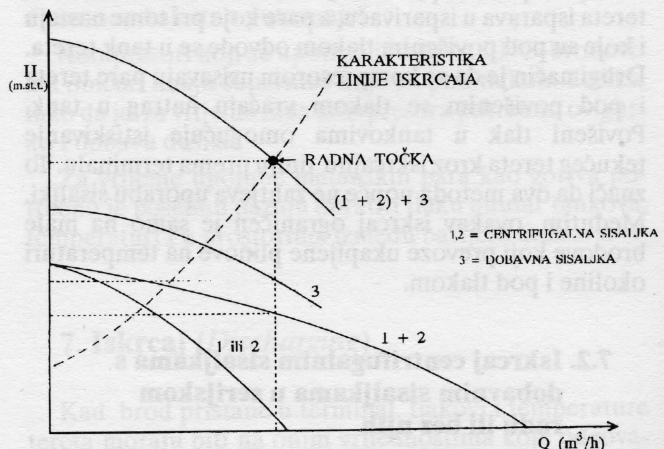
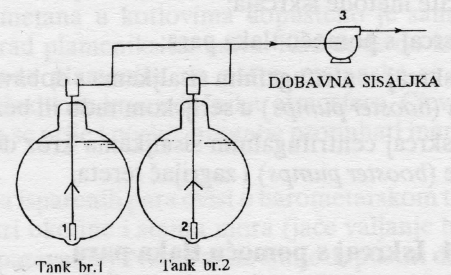
Kad se teret iskrca iz brodova koji su potpuno ili djelomično pothlađeni (*full/semi refrigerated*) u obalne tankove koji su pod višim tlakom nego što je tlak u brodskim tankovima, mora se zagrijavati teret kako bi mu se povisio tlak. U tom slučaju u seriji rade centrifugalne sisaljke, dobavna sisaljka i zagrijač tereta. Prije nego što se uputi dobavna sisaljka potrebno je stabilizirati protok morske vode kroz zagrijač.

Nakon toga dobavne sisaljke i zagrijač lagano se pothlađuju. Kad se dosegne željena temperatura može početi rad. Važno je omogućiti da centrifugalna sisaljka dobavlja dostatne količine tekuće faze za rad dobavne sisaljke.

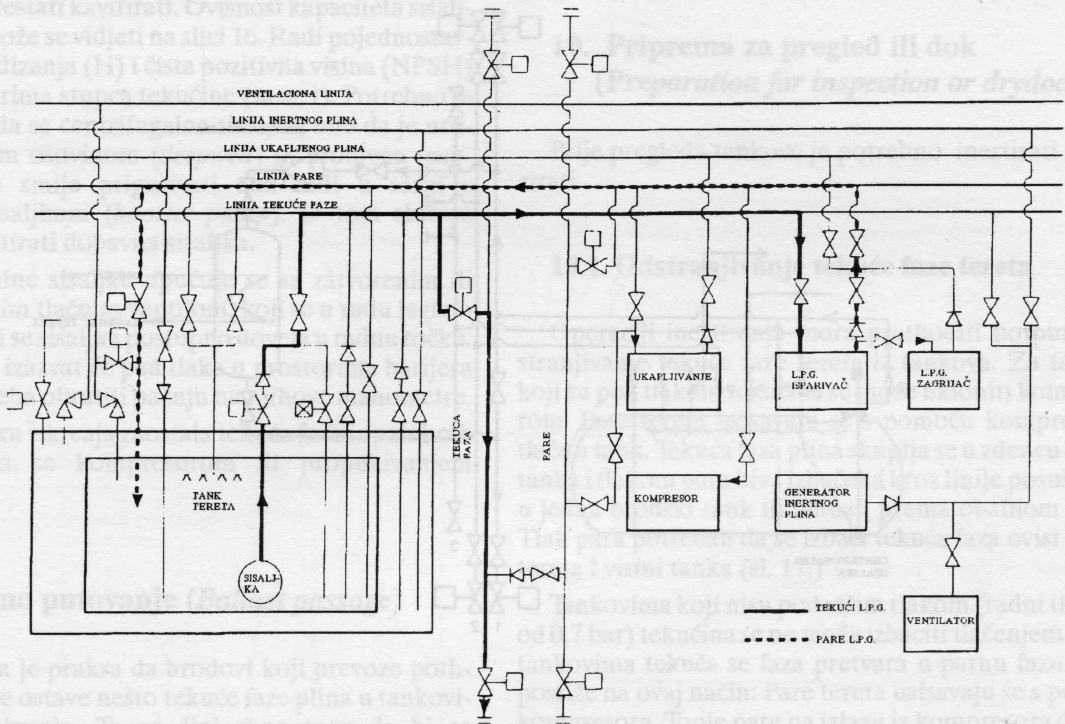
Zagrijavanje tekuće faze u zagrijaču uvijek sa sobom nosi opasnosti od zaleđivanja morske vode u zagrijaču. Tijekom izvođenja te operacije puna pažnja mora se usmjeriti na temperature i tlakove ulaza i izlaza morske vode iz zagrijača, na temperaturu tereta u iskrcajnoj liniji i na usis dobavne sisaljke. Operacija je prikazana na slici 15.

7.4. Prekrcaj tereta s broda na brod (Ship to ship transfer)

U novije vrijeme prekrcaj tereta s broda na brod radi se uglavnom s LPG, ali i s LNG-teretima. Vrlo detaljne upute o ovoj operaciji mogu se naći u Ship-to-Ship Transfer Guide (*Liquefied Gases*), koji je izdala Medun-



Slika 12. Radna točka dviju paralelno vezanih centrifugalnih sisaljki koje rade u seriji s dobavnom sisaljkom



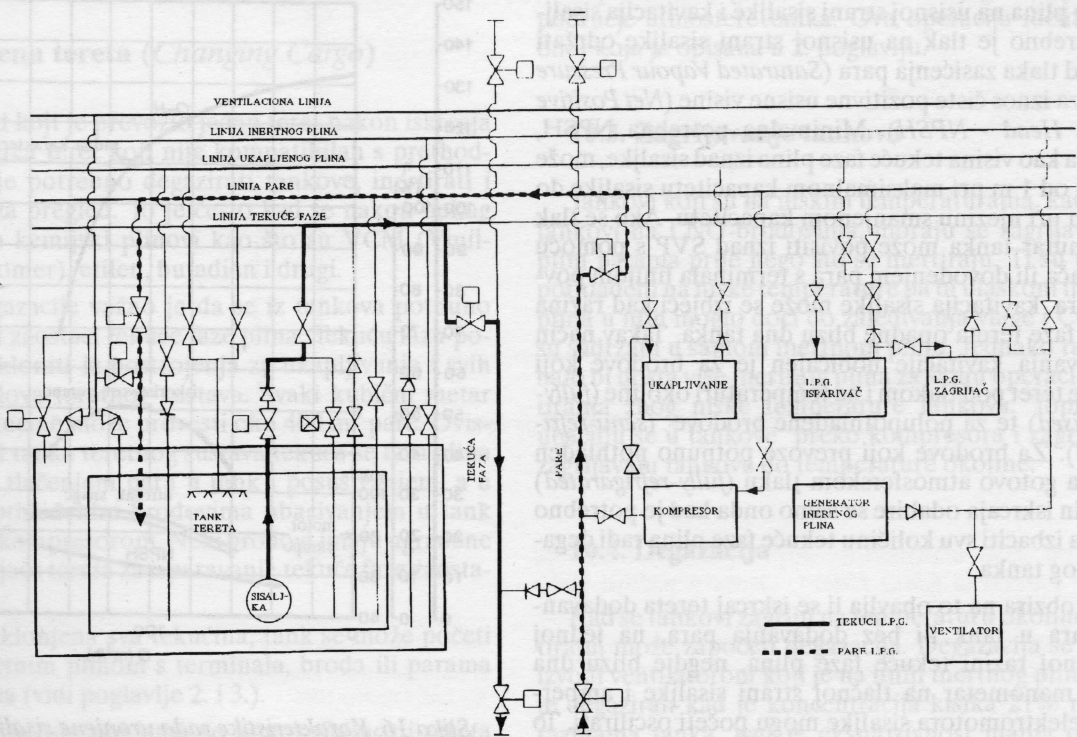
Slika 13. Iskrcaj tereta bez povratne linije pare

arodna brodska komora (*International Chamber of Shipping*).

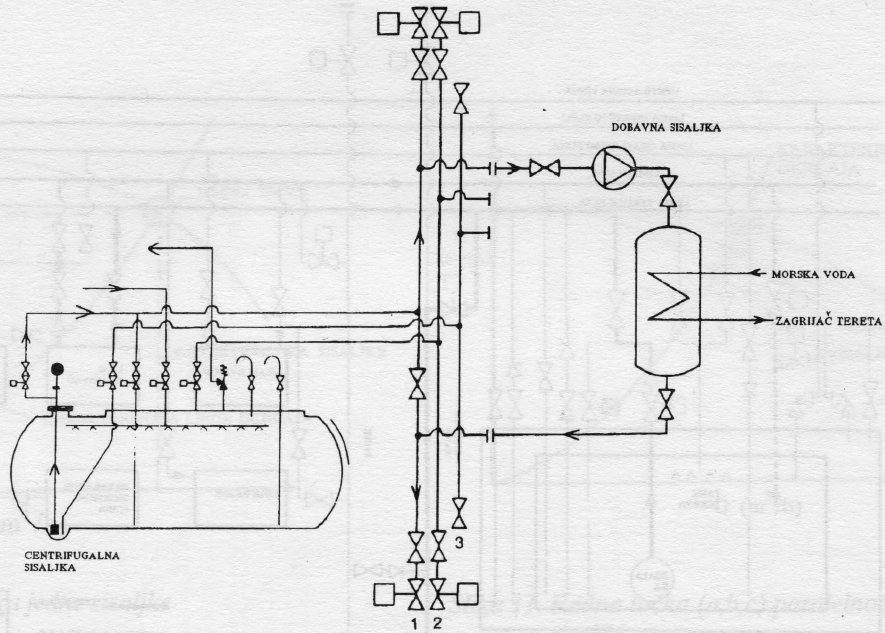
Za ovu operaciju uobičajeno je da veći brod iskrcava teret u manji brod. Veći je brod usidren, a manji je vezan za veći. Dva se broda oslanjaju jedan o drugoga preko velikih elastičnih pneumatskih bokobrana robustne

konstrukcije. Bokobrani su vezani za manji brod i on ih tegli do spajanja s većim brodom. Prekrcaj se obavlja fleksibilnim cijevima koje su spojene na oba brodska manifolda.

Sve mjere opreza, sigurnosne mjere, izmjena lista provjere i druge predradnje potrebne u konvencional-



Slika 14. Iskrcaj tereta s povratnom linijom pare



- 1 - LIJNIJA TEKUĆE FAZE
- 2 - LIJNIJA PARE
- 3 - DRENAŽNA LINIJA

Slika 15. Iskrcaj tereta centrifugalnim sisaljka kroz dobavne sisaljke i zagrijač tereta

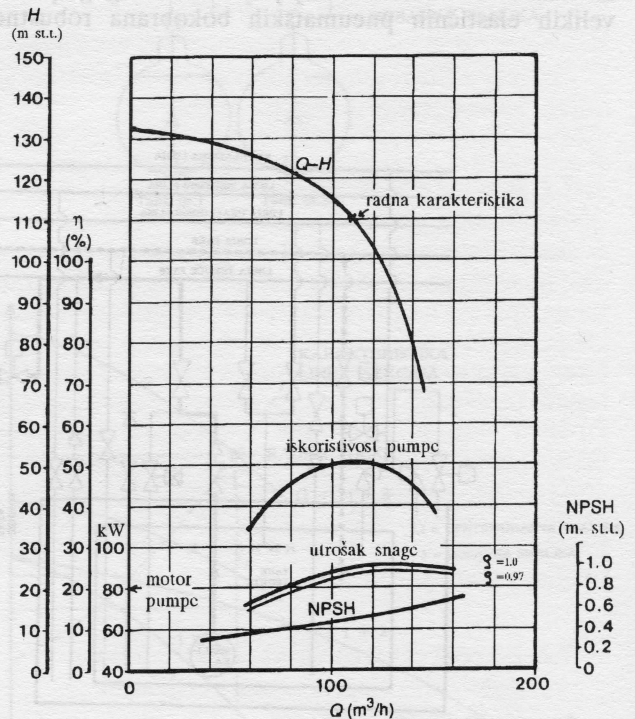
nom iskrcaju na terminalu, vrijede u ovom prekrcaju tereta. Neke mjere su pooštrene i proširene.

7.5. Zaključna razmatranja

Prilikom iskrcaja, da bi se spriječilo isparavanje ukapljenog plina na usisnoj strani sisaljke i kavitacija sisaljke, potrebno je tlak na usisnoj strani sisaljke održati višim od tlaka zasićenja para (*Saturated Vapour Pressure - SVP*) za iznos čiste pozitivne usisne visine (*Net Positive Suction Head - NPSH*). Minimalna potrebna NPSH, izražena kao visina tekuće faze plina iznad sisaljke, može varirati od 1 m pri maksimalnom kapacitetu sisaljke do 200 mm pri njezinu smanjenom kapacitetu. Ako se tlak pare unutar tanka može povisiti iznad SVP s pomoću isparivača ili dovodenjem para s terminala linijom povrata para, kavitacija sisaljke može se izbjeći kad razina tekuće faze tereta opadne blizu dna tanka. Takav način izbjegavanja kavitacije uobičajen je za brodove koji prevoze teret pod tlakom i na temperaturi okoline (*fully-pressurised*) te za polupothlađene brodove (*semi-refrigerated*). Za brodove koji prevoze potpuno pothlađen teret na gotovo atmosferskom tlaku (*fully-refrigerated*) taj način iskrcaja odabire se samo onda kad je potrebno iz tanka izbaciti svu količinu tekuće faze plina radi degazacije tog tanka.

Bez obzira na to obavlja li se iskrcaj tereta dodavanjem para u tank ili bez dodavanja para, na jednoj određenoj razini tekuće faze plina, negdje blizu dna tanka, manometar na tlačnoj strani sisaljke i ampermetar elektromotora sisaljke mogu početi oscilirati. To znači da je sisaljka počela raditi u kavitacijskom

području. U takvim okolnostima potrebno je smanjiti količinu iskrcaja sisaljke prigušivanjem ventila na iskrcajnoj liniji (ako to nije moguće izvesti na drugi način). Smanjeni kapacitet sisaljke smanjit će potrebnu NPSH



Slika 16. Karakteristike rada uronjene sisaljke s dugom osovinom (deepwell pump)

i sisaljke će prestati kavitirati. Ovisnost kapaciteta sisaljke o NPSH može se vidjeti na slici 16. Radi pojednostavljenja, visina dizanja (H) i čista pozitivna visina (NPSH) dani su u metrima stupca tekućine (m st. t). Potrebno je napomenuti da se centrifugalna sisaljka, bilo da je uronjena s dugom osovinom (*deepwell*) ili uronjena (*submersible*), ne smije prigušivati ako radi u seriji s dobavnom sisaljkom (*booster pump*). U tom slučaju mogla bi kavitirati dobavna sisaljka.

Centrifugalne sisaljke upućuje se sa zatvorenim ili malo otvorenim tlačnim ventilom, koji se u radu lagano otvara kako bi se sisaljka postupno dovela u radnu točku. Iskrcaj tereta izazvat će pad tlaka u prostorima barijera tankova pa treba obratiti pažnju na njihove manometre.

Po završetku iskrcaja zaostala tekuća faza iz palubnih linija uklanja se kompresorom ili propuhivanjem dušikom.

8. Balastno putovanje (*Ballast passage*)

Uobičajena je praksa da brodovi koji prevoze pothlađene plinove ostave nešto tekuće faze plina u tankovima nakon iskrcaja. To se čini zbog toga da bi se isparavanjem tekuće faze plina na balastnom putovanju održavala struktura tanka na potrebnoj sniženoj temperaturi. Kod velikih LNG-brodova na balastnom putovanju može ostati između 2000 i 3000 m³ tekuće faze tereta. Ti brodovi opremljeni su sustavom sisaljki za pothlađivanje s raspršenim plinom. Za LPG-terete mala količina faze plina bit će dostatna da omogući pothlađivanje tankova. Na tim brodovima tankovi se u pothlađenom stanju održavaju povremenim uključivanjem u rad postrojenja za ukapljivanje plina.

9. Izmjena tereta (*Changing Cargo*)

Ako brod koji je prevezio jedan teret nakon iskrcaja tog tereta krca teret koji nije kompatibilan s prethodnim, onda je potrebno degazirati tankove, inertirati i pripremiti za pregled. To je često kad se nakon nekog LPG krcaju kemijski plinovi kao što su VCM (Vinilklorid-monomer), etilen, butadien i drugi.

Prije degazacije važno je da se iz tankova potpuno odstrane svi zaostaci tekuće faze plina. Tekuću fazu potrebno je ukloniti iz postrojenja za ukapljivanje i svih ostalih dijelova teretnog sustava. Svaki kubični metar zaostale tekućine može provesti oko 400 m³ pare. Ovisno o izvedbi tanka teretnog sustava tekuća se faza plina odstranjuje tlačenjem para u tank i posušivanjem, a u potpuno pothlađenim brodovima ubacivanjem u tank toplih para kompresorom. Neki brodovi imaju ugrađene posebne grijače tereta za isparavanje tekuće faze zaostalog tereta.

Kad je uklonjena sva tekućina, tank se može početi ispirati inertnim plinom s terminala, broda ili parama idućeg tereta (vidi poglavlje 2. i 3.).

Posebna pažnja poklanja se kompatibilnosti tereta pri istovremenom ukrcaju različitih tereta.

10. Priprema za pregled ili dok (*Preparation for inspection or drydocking*)

Prije pregleda tankove je potrebno inertirati i degazirati.

10.1. Odstranjivanje tekuće faze tereta

Operaciji inertiranja mora prethoditi potpuno odstranjivanje tekuće faze tereta iz tankova. Za tankove koji su pod tlakom tekućina se može ukloniti kompresorom. Pare tereta usisavaju se s pomoću kompresora i tlače u tank. Tekuća faza plina skuplja se u zdencu na dnu tanka i tlakom para biva izbačena kroz linije posušivanja u jedan brodski tank ili odmah prema obalnom tanku. Tlak para potreban da se izbaci tekuća faza ovisi o masi tereta i visini tanka (sl. 17.).

Tankovima koji nisu pod višim tlakom (radni tlak niži od 0,7 bar) tekućina se ne može izbaci tlačenjem. U tim tankovima tekuća se faza pretvara u parnu fazu. To se postiže na ovaj način: Pare tereta usisavaju se s pomoću kompresora. Tople pare na izlazu iz kompresora dovode se na dno tanka, gdje zagrijavaju tekuću fazu tereta, koja zbog toga isparava. Pare koje su nastale isparavanjem odvođe se u atmosferu ventilacijskom linijom (kad je brod u plovidbi) ili se ukapljuju brodskim postrojenjem i šalju kao tekuća faza na terminal (sl. 18.).

10.2. Inertiranje

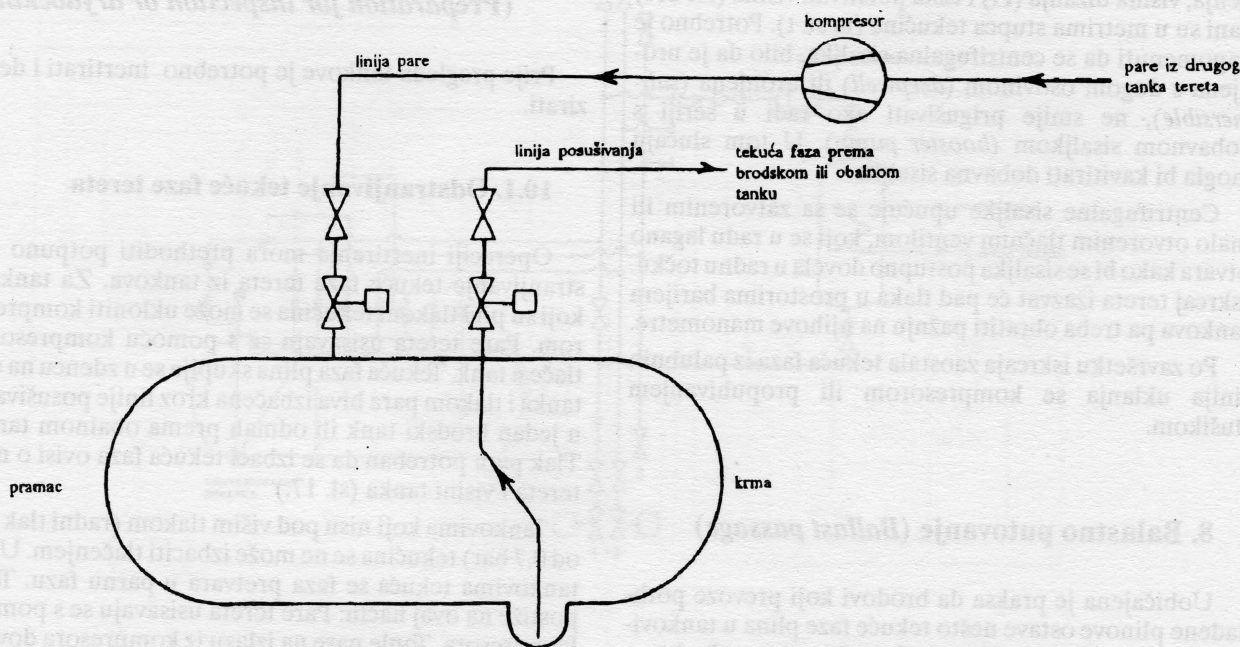
Inertiranje tankova zapravo je zamjena para tereta inertnim plinom. Operacija inertiranja potrebna je kako bi se prilikom degazacije tankova izbjeglo eksplozivno područje atmosfere tanka. Ova operacija identična je onoj koja je opisana u 2. poglavlju.

10.3. Zagrijavanje tankova

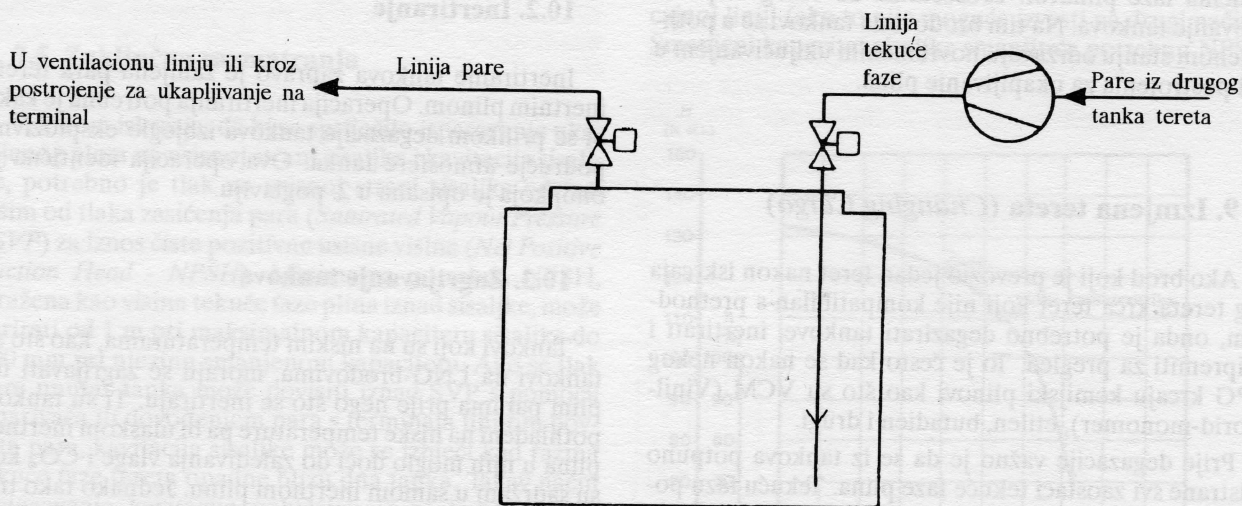
Tankovi koji su na niskim temperaturama, kao što su tankovi na LNG-brodovima, moraju se zagrijavati toplim parama prije nego što se inertiraju. Ti su tankovi pothlađeni na niske temperature pa bi ulaskom inertnog plina u njih moglo doći do zaleđivanja vlage i CO₂ koji su sadržani u samom inertnom plinu. Jednako tako trebalo bi dosta više inertnog plina za samu operaciju inertiranja zbog niske temperature tankova. Tople pare ubacuju se u tankove preko kompresora i zagrijača te zagrijavaju tankove do temperature okoline.

10.4. Degazacija

Kad se tankovi zagriju na temperaturu okoline i inertiraju, može započeti degazacija. Degazacija se obično izvodi ventilatorom koji je na liniji inertnog plina. Tank je degaziran kad je koncentracija kisika 21% na svim razinama tanka, kad je eksplozivnost manja od 25% donje granice eksplozivnosti tog plina i kad je otrovnost



Slika 17. Odstranjivanje tekuće faze tereta tlačanjem tanka



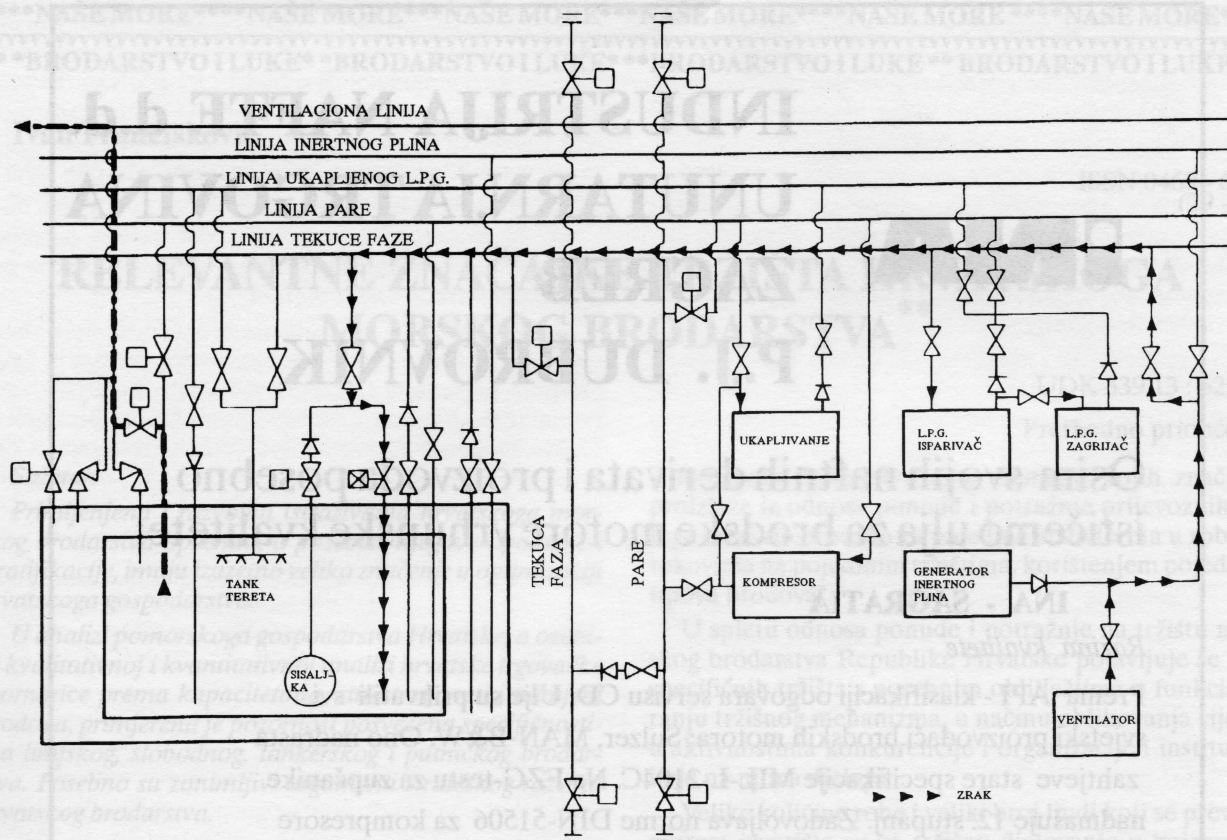
Slika 18. Odstranjivanje tekuće faze tereta isparavanjem

manja od 25% maksimalne dopuštene koncentracije (TLV - Threshold Limit Value). Osobitu pažnju treba posvetiti mjerenju TLV koja je kod nekih plinova izuzetno mala (npr. Klorin Cl₂ - 1 ppm, sumporni dioksid SO₂ - 5 ppm, vinil klorid monomer C₂H₃Cl-1 ppm).

Degazacija tankova prikazana je na slici 19.

LITERATURA

1. Advanced Training Programme On Liquefied Gas Tanker Operations, IMO, London 1991
2. Liquefied Gas Handling Principles, McGuiere and White Witherby Co Ltd, London 1986.
3. Liquefied Gas Tanker Familiarization, IMO, London 1991.



Slika 19. Degazacija tankova

4. Liquefied Petroleum Gas Tanker Practice, TWV Woolcot, Glasgow 1987.)
5. Tanker Safety Guide (Liquefied Gas), I.C.S., London 1978.
6. The Motorship, "Choice of LNG Carrier design Widens", September, 1993.
7. The Motorship, "LNG carrier pioneers Containment System", December, 1993.
8. "Technical Review", Mitsubishi Heavy Industries, Vol. 21, Tokyo 1984.

LIQUEFIED GAS TRANSPORT

Summary

Liquefied Gas Tankers are vessels with a complex cargo handling system. Nowhere in merchant navy is to be found such a concentration of various cargo handling devices. The paper deals with operations proceeding loading of liquefied gas, sea transport, discharge, ballast passage,

changing cargo and preparations for the inspection of tanks. Owing to a comprehensive subject an emphasis has been put on cargo handling system. All the above mentioned operations on liquefied gas tankers are the responsibilities of deck officers. Because of very poor or no basic knowledge of thermodynamics, auxiliary machinery and other marine engineering information, the deck officers encounter difficulties when embarked on such vessels.

The purpose of the paper is to facilitate and enable the deck officers to comprehend this complex matter.

A review of some operations on Liquefied Gas Tankers, which are expected to be experienced by the deck officers themselves, has also been pointed out in the simplest possible way.

Key words: Liquefied Gas Tanker, Liquefied Natural Gas (LNG), Liquefied Petroleum (LPG), Cooldown, Liquefaction.

Rukopis primljen: 20. 2. 1994.