

TERETNI SUSTAV TANKERA ZA PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA

THE CARGO SYSTEM OF LIQUIFIED GAS CARRIERS

UDK 621.642.2 : 661.91-404

Stručni rad

Professional paper

Sažetak

Rukovanje teretnim sustavom na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova zahtijeva poznavanje pojedinih elemenata sustava. U ovom radu obrađeni su svi važniji elementi sustava, kao što su cjevovodi, ventili, sigurnosni uređaji, zagrijači, isparivači, kompresori i pumpe. Dana su načela rada jednostepenog, dvostepenog i kaskadnog načina ponovnog ukapljivanja plina na brodu. Rad je namijenjen časnicima koji plove na takvim brodovima i naglasak je dat na praktičnu primjenu sustava.

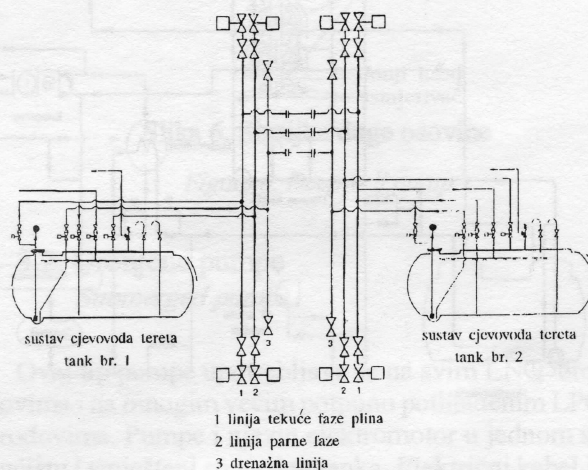
Ključni pojmovi: tanker za prijevoz ukapljenog plina, cjevovod, kompresor, pumpa tereta

1. Cjevovodi i ventili

Pipework and valves

Brodovi za prijevoz ukapljenih plinova opremljeni su složenim cjevovodima za rukovanje teretom. Sustav cjevovoda sastoji se od cjevovoda odušnih para, cjevovoda za iskrcaj tekuće faze plina, cjevovoda za posušivanje tankova, cjevovoda za iskrcaj parne faze plina, cjevovoda za pothlađivanje tankova, cjevovoda za ukrcaj tekuće faze plina i cjevovoda inertnog plina. Izvedba sustava cjevovoda ovisi o tipu tankera (LNG, LPG, ili LCG) i o načinu prijevoza odnosno konstrukcije tankera (potpuno pothlađeni - *fully refrigerated*, polupothlađeni - *semi-refrigerated* i pod tlakom - *fully pressurized*). Pojednostavljeni prikaz sustava prikazan je na slici 1.

Cjevovod za ukrcaj tekuće faze plina dosiže do dna tanka, a cjevovod za pothlađivanje tanka s mlaznicama smješten je na vrhu tanka kako bi pothlađivanje bilo efikasno. Na polupothlađenim ili potpuno pothlađenim LPG tankerima pare tereta (nastaju zbog isparavanja



Slika 1. Pojednostavljeni prikaz sustava cjevovoda

Figure 1. A simplified arrangement of the pipework

tekuće faze plina koji se tako pothlađuje) izazvale bi prekomjerno povećanje tlaka u tanku. Naime, potpuno pothlađeni tanker prevoze teret gotovo na atmosferskom tlaku, ali na temperaturi vrenja (propan - 42,3°C, etilen - 103,9°C). Maksimalni tlak u tanku potpuno pothlađenih tankera ograničen je na 0,7 bar. Da ne bi došlo do gubitka tereta kroz cjevovod odušnih para, na LPG brodovima ugrađeni su sustavi za ponovno ukapljivanje tereta. Pare tereta usisavaju se kompresorom putem cjevovoda para kroz odjeljivač tekućine. Nakon prvog stupnja kompresora pare ulaze u drugi stupanj kroz međuhladnjak i dalje se vode u kondenzator, gdje se ukapljuju. Nakon kondenzatora odvođe se u tank kroz spremnik i termoekspanzijski ventil kao

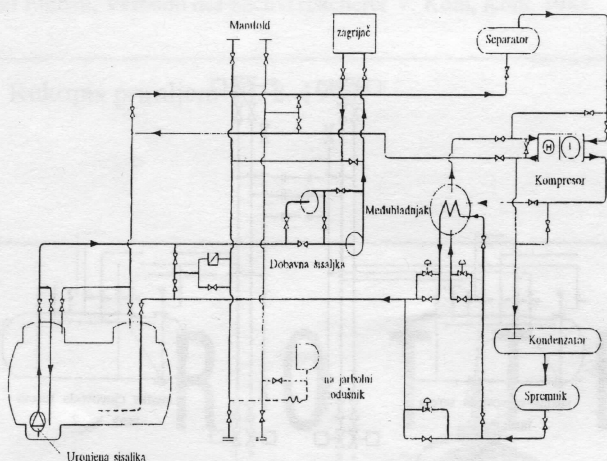
*Željko Kurtela, dipl. inž.
Pomorski fakultet Dubrovnik
Dubrovnik

pothlađena tekuća faza plina. Prikaz je na slici 2. Kompresor se upotrebljava prilikom ukrcaja plina, kad zbog povećanja tlaka nastaje "višak" parne faze plina ili tijekom putovanja s teretom.

Ukoliko se operacija degazacije tankova izvodi metodom uzastopnog vakuumiranja, tankovi se vakuumiraju s pomoću kompresora.

Iskrcaj tereta uronjenom pumpom koja je u serijskom redu s dobavnom pumpom uobičajena je metoda na mnogim brodovima. Ako je tlak u obalnim tankovima veći od onoga u brodskim, onda se tlak tereta mora povećati vođenjem tekuće faze plina kroz zagrijač tereta.

(Za detaljnije opise operacija s teretom vidi Prijevoz ukapljenih plinova, Ž. Kurtela, Naše more 1-2/1994.)



Slika 2. Prikaz sustava cjevovoda s pripadajućim uređajima za jedan tank

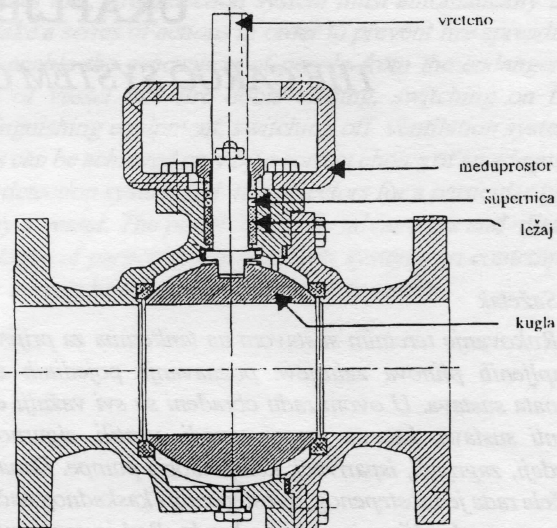
Figure 2. Arrangement of the pipes and valves of one cargo tank

Ugradnja cjevovoda tereta ispod palube nije dopuštena, odušni ventili postavljeni su na kupoli tanka, a kraj cjevovoda odušnih para mora biti postavljen na sigurnoj visini i udaljenosti od nastamba u skladu s IMO propisima.

Posebna pozornost mora biti posvećena konstrukciji i montaži cjevovoda kako bi se omogućilo termičko širenje i savijanje koje nastaje zbog velikih promjena temperatura. To se postiže ugradnjom ekspanzijskih mjehova, ekspanzijskih petlji ili samim konstrukcijskim oblikovanjem cjevovoda.

Svi ventili moraju biti izvedeni u skladu s IMO propisima. Na glavnim palubnim cjevovodima ventili moraju biti udvostručeni, i mora biti omogućeno

daljinsko upravljanje izolacijskih ventila spojenih u seriju s ručno zatvaranim ventilima. Također mora biti omogućeno daljinsko zatvaranje ventila u slučaju nužde (*emergency shut-down*). Ti se ventili moraju ručno zatvarati. Ventili mogu biti izvedeni kao: zaporni ventili, leptir-ventili i kuglasti ventili, koji su najčešće u uporabi. Prikaz kuglastog ventila dat je na slici 3.



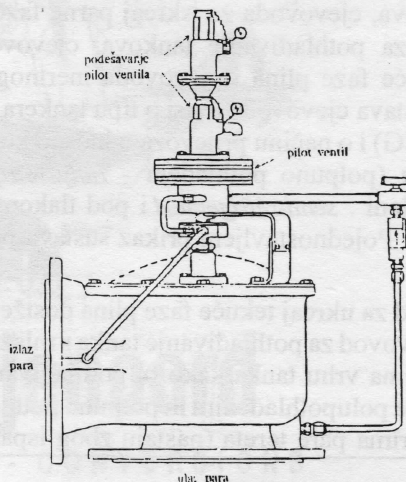
Slika 3. Izvedba kuglastog ventila

Figure 3. A ball valve design

2. Odušni ventili

Safety relief valves

Odušni ventili izvode se kao: odušni ventili s oprugom ili pilot-odušni ventili. Pilot-odušni ventili omogućuju precizniju kontrolu pri manjim tlakovima. Pilot-odušni ventil prikazan je na slici 4.

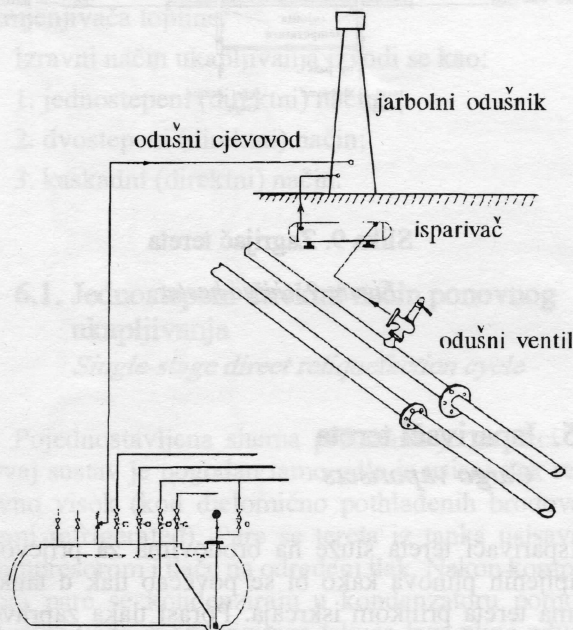


Slika 4. Pilot-odušni ventil

Figure 4. A cargo tank safety pilot-relief valve

Prilagodivi pilot-odušni ventili rabe se da bi se omogućio veći tlak u tankovima tereta. Svaka promjena ugođenosti ventila mora biti naznačena na pločici ventila.

Na slici 5. je shema odušnog cjevovoda s odušnim ventilima. Na tankovima se nalaze pilot-odušni ventili, a na cjevovodima su odušni ventili s oprugom. Vidi se da nakon oduška tekuće faze plina kroz ventil s oprugom treba omogućiti isparavanje plina u isparivaču kako bi kao parna faza dospio u jarbolni odušnik.



Slika 5. Shema izvedbe odušnog ventila

Figure 5. Schematic diagram of a pressure-relief system

3. Pumpe tereta

Cargo pumps

Pumpe tereta koje se rabe na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova su centrifugalnog tipa a mogu biti izvedene kao:

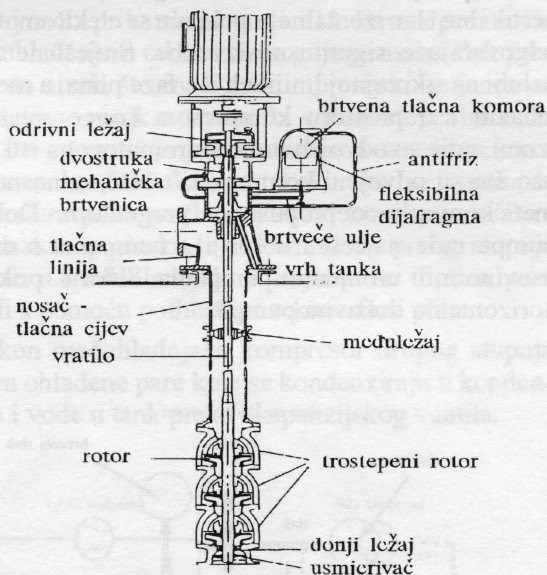
1. pumpa duge osovine (*deepwell pump*);
2. uronjena pumpa (*submerged pump*)
3. dobavna pumpa (*booster pump*).

3.1. Pumpa duge osovine

Deepwell pump

Pumpe duge osovine češće su na LPG brodovima. Slika 6. prikazuje njihovu tipičnu izvedbu. Pumpa je pogonjena elektromotorom ili hidrauličkim motorom smještenim izvan tanka na broskoj palubi. Sustav brtvljenja sastoji se od: brtvene tlačne komore, fleksibilne dijafragme, prostora s antifrizom, prostora s uljem i dvostruke mehaničke brtvenice. Brtveće ulje dovodi se na tlak koji vlada u tanku tereta i potpomaže brtvljenje dvostruke brtvenice. Ležajevi duge osovine

u radu se hlade protokom tereta jer su smješteni u tlačnoj cijevi koja je ujedno i nosač rotora s kućištem. Pumpa se izvodi kao dvostepena ili trostepena. Smještaj pumpe smanjuje potrebnu NPSH, odnosno mogućnost kavitacije.



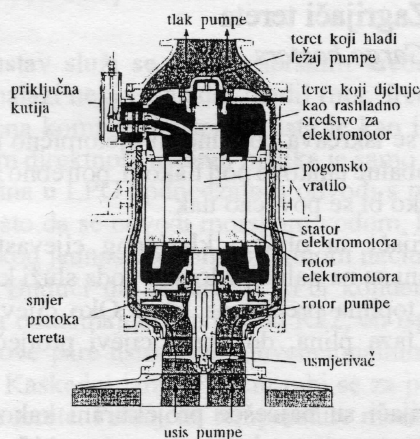
Slika 6. Sisaljka duge osovine

Figure 6. Deepwell pump

3.2. Uronjene pumpe

Submerged pumps

Ovaj tip pumpe upotrebljava se na svim LNG brodovima i na mnogim većim potpuno pothlađenim LPG brodovima. Pumpe i njezin elektromotor u jednom su kućištu i smješteni su na dnu tanka. Električni kabel je posebne izvedbe. On je vođen unutar izolacijske cijevi od nehrđajućeg čelika, koja povezuje priključnu kutiju na pumpi s plinonepropusnom brtvenicom na vrhu tanka. Uronjena pumpa i njen elektromotor hlade se protokom samog tereta, i zbog toga imaju ugrađenu zaštitu od "suhog rada".

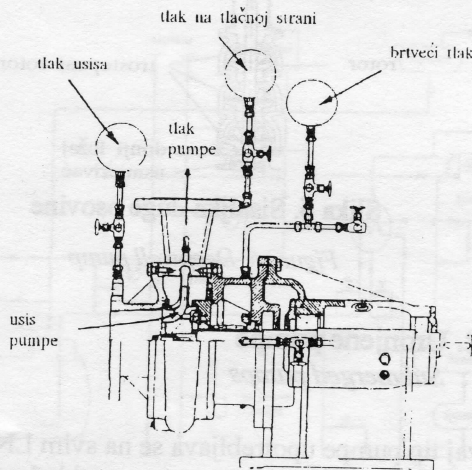


Slika 7. Uronjena pumpa

Figure 7. Submerged pump

3.3. Dobavne pumpe *Booster pumps*

Ove pumpe također su centrifugalne, izvode se kao vertikalne i horizontalne, a pokreću se elektromotorom odgovarajuće sigurnosne izvedbe. Smještene su na palubi na iskrcajnoj liniji tekuće faze plina, a mogu se nalaziti i u prostoru kompresora (*cargo compressor room*), gdje su odvojeni od elektromotora na isti način kao što su odvojeni kompresori tereta, odnosno hermetičkom plinonepropusnom pregradom. Dobavne pumpe rade najčešće u seriji s pumpama s dugom osovinom ili uronjenim pumpama. Slika 8. prikazuje horizontalnu dobavnu pumpu.



Slika 8. Horizontalna dobavna pumpa
Horizontal booster pump

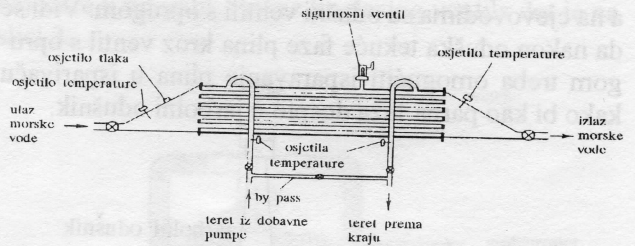
4. Zagrijači tereta *Cargo heaters*

Kad se iskrcava potpuno ili djelomično rashlađeni teret u obalne tankove pod tlakom, potrebno je zagrijati teret kako bi se povećao tlak.

Zagrijači su obično klasičnog cijevastog tipa i smješteni su na palubi. Morska voda služi kao medij s kojega toplina prelazi na teret. Oko cijevi cirkulira tekuća faza plina, dok kroz cijevi protječe morska voda.

Zagrijači su najčešće projektirani kako bi mogli podići temperaturu tekućeg propana sa -45 na -5°C , ali treba napomenuti da taj porast može biti manji kada se brod nalazi u zonama hladnih mora.

Na slici 9. prikazan je zagrijač tereta s temperaturnim osjetilima. osjetila su povezana s alarmom koji upozorava na nisku temperaturu mora.



Slika 9. Zagrijač tereta

Figure 9. Cargo heater

5. Isparivači tereta *Cargo vaporisers*

Isparivači tereta služe na brodovima za prijevoz ukapljenih plinova kako bi se povećao tlak u tankovima tereta prilikom iskrcaja. Porast tlaka zapravo povećava NPSH te se tako izbjegava rad pumpe u kavitacijskom području. Isparivači se rabe tijekom operacije ispiranja (*purging*), kod koje se obavlja zamjena para prethodnog tereta parama tereta koji će se krcati. U uporabi su okomiti ili vodoravni isparivači u kojima je medij, s kojega prelazi toplina, para ili morska voda.

6. Postrojenje za ponovno ukapljivanje *Reliquefaction Plant*

Na LPG brodovima, osim na brodovima koji prevoze teret pod tlakom i temperaturom okoline (*fully pressurised*), mora biti ugrađeno postrojenje za ponovno ukapljivanje pare tereta. Zadaće ovog postrojenja su:

- prije ukrcaja pothlađuje tankove i cijevovod;
- tijekom ukrcaja, kad se ukrcaj obavlja bez povratne linije para prema terminalu, ukapljivati pare tereta koje nastaju zbog isparavanja tekuće faze plina; pretjerana isparivanja povećala bi tlak u tanku i teret bi se počeo gubiti kroz odušne ventile;
- tijekom putovanja pod teretom održava se tlak i temperatura tereta u željenim granicama kako ne bi došlo do gubitka tereta.

Dvije su izvedbe postrojenja za ponovno ukapljivanje:

a) izravni način - kad se kompresorom pare tereta iz tanka, kondenziraju i vraćaju u tank; ovaj je način čest, ali se ne može primijeniti za sve plinove

b) neizravan način - kad se rabi drugi kompresorski rashladni uređaj kako bi se kondenzirao teret, a pare tereta se ne komprimiraju; ovaj je način dosta nepraktičan, jer da bi bio djelotvoran zahtijeva rashladni medij na vrlo niskim temperaturama i velike površine izmjenjivača topline.

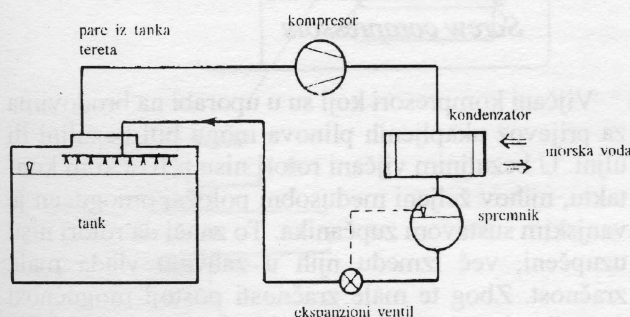
Izravni način ukapljivanja izvodi se kao:

1. jednostepeni (direktni) način;
2. dvostepeni (direktni) način;
3. kaskadni (direktni) način.

6.1. Jednostepeni direktni način ponovnog ukapljivanja

Single-stage direct reliquefaction cycle

Pojednostavljena shema prikazana je na slici 10. Ovaj sustav je pogodan tamo gdje je usisni tlak relativno visok (kod djelomično pothlađenih brodova - semi refrigerated). Pare se tereta iz tanka usisavaju kompresorom i tlače na određeni tlak. Nakon kompresora pare se kondenziraju u kondenzatoru pomoću morske vode. Kondenzirana tekuća faza plina odvodi se u tank kroz ekspanzijski ventil. Mješavina tekuće faze i parne faze plina dovodi se u tank na raspršivače ili linijom tekuće faze do dna tanka, kako bi se spriječilo isparavanje. S uporabom raspršivača može se sniziti tlak para u tanku i na vrhu tanka formira se sloj hladnih para. Nakon uporabe raspršivača plin se može voditi linijom tekuće faze do dna tanka, što omogućuje prirodnu cirkulaciju tereta u tanku.



Slika 10. Jednostepeni izravni način ponovnog ukapljivanja

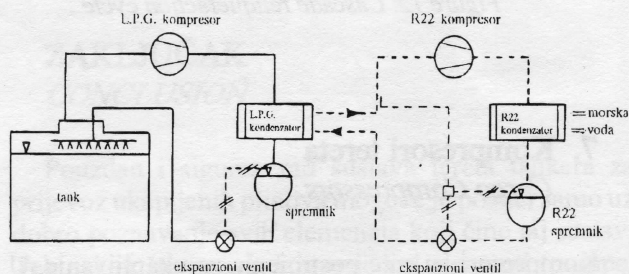
Figure 10. Single-stage direct reliquefaction cycle

6.2. Dvostepeni izravni način ponovnog ukapljivanja

Two stage direct reliquefaction cycle

Ovaj način prikazan je na slici 11. Dvostepeni način s međuhlađenjem rabi se tamo gdje je usisni tlak pare relativno nizak, što znači da kompresijski omjer mora biti relativno visok u usporedbi s jednostepenim načinom. Zbog toga je prijeko potrebna dvostepena kompresija s međuhlađenjem, kako bi se smanjila temperatura plina na tlačnoj strani kompresora. Pare tereta nakon prolaska kroz kompresor prvog stupnja vode se u međuhladnjak, u kojemu se toplina para dovodi s pomoću pothlađene tekuće faze plina.

Nakon međuhladnjaka kompresor drugog stupnja usisava ohlađene pare koje se kondenziraju u kondenzatoru i vode u tank preko ekspanzijskog ventila.



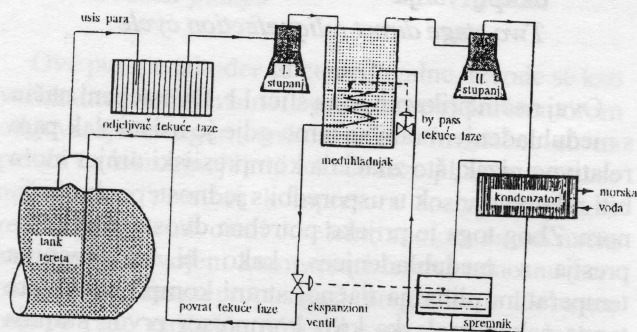
Slika 11. Dvostepeni izravni način ponovnog ukapljivanja

Figure 11. Two-stage direct reliquefaction cycle

6.3. Kaskadni izravni način ponovnog ukapljivanja

Cascade reliquefaction cycle

Ovaj sustav služi se kompresorskim uređajem u kojem se nalazi neki rashladni medij (npr. freon 22). Jednostepena kompresija (tereta) ista je kao i u jednostepenom direktnom načinu; razlika je samo u tome što se toplina u LPG kondenzatoru odvodi s pomoću R22, umjesto da se odvodi morskom vodom, kao što je slučaj kod jednostepenom direktnom načinu (vidi sliku 10). Budući da se teret u LPG kondenzatoru kondenzira oduzimajući toplinu od R22, on isparava, pa se njegove pare usisavaju konvencionalnim kompresorom. Kaskadni izravni način rabi se za potpuno pothlađene terete. Promjena temperature mora manje utječe na promjenu kapaciteta ovoga postrojenja nego što je to slučaj u jednostepenom i dvostepenom izravnom načinu.



Slika 12 Kaskadni način ponovnog ukapljivanja plinova

Figure 12. Cascade reliquefaction cycle

7. Kompresori tereta Cargo Compressors

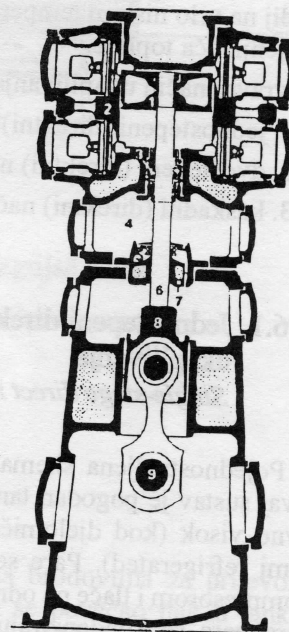
Kompresori su srce postrojenja za ukapljivanje. U uporabi su dva tipa kompresora: stapni i vijčani.

7.1. Stapni kompresori Reciprocating compressors

Većina stapnih kompresora su bezuljnog tipa (*oil-free type*). U Sulzer-ovu kompresoru bezuljnog tipa (slika 13) brtvljenje između stapa i stijenki cilindra i između stapajice i šupernice izvedeno je labirintnim brtvenicama. U onim prostorima kompresora gdje su prisutne pare tereta podmazivanje se vrši tim parama. Karter kompresora, u kojemu se obavlja podmazivanje letećih ležajeva koljeničastog vratila, temeljnih ležajeva i križne glave uljem, odijeljen je strugačima ulja "5" od bezuljne strane kompresora. Strugači ulja pričvršćeni su za stapajicu "6". Prodor molekularnog uljnog filma u međuprostor "4" spriječen je posebnim prstenom smještenim na stapajici. Hod stapnog mehanizma tako je izveden da onaj dio stapajice koji dolazi u doticaj s uljem ne ulazi u šupernicu "3". Ako nastane propuštanje para kroz šupernicu iz međuprostora "4", pare se vraćaju na usisnu stranu kompresora. U karteru kompresora i međuprostoru "4" za vrijeme rada kompresora vlada isti tlak kao i na usisu. Kapacitet kompresora mijenja se s rasterećenjem usisnih ventila za vrijeme takta kompresije.

Kad je kompresor zaustavljen postoji opasnost od kondenzacije para tereta u karteru. Da bi se to izbjeglo, karter se grije kad kompresor ne radi. U radu kompresora karter, križna glava "8" i vodeći ležaj se hlade. Grijanje i hlađenje kompresora izvodi se s pomoću zatvorenog sustava u kome kao medij cirkulira mješavina glikola i vode.

1. labirintni stap
2. cilindar
3. šupernica
4. međuprostor
5. strugač ulja
6. stapajica
7. vodeći ležaj
8. križna glava
9. koljenčasto vratilo

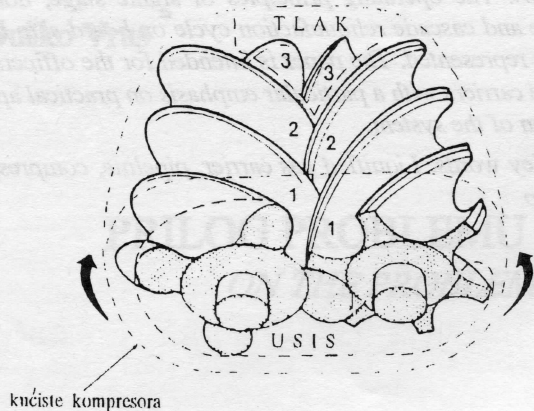


Slika 13. Sulzerov stapni kompresor bezuljnog tipa s križnom glavom

Figure 13. Sulzer oil-free reciprocating compressor with crosshead

7.2. Vijčani kompresori Screw compressors

Vijčani kompresori koji su u uporabi na brodovima za prijevoz ukapljenih plinova mogu biti bezuljni ili uljni. U bezuljnim vijčani rotori nisu u fizičkom kontaktu, njihov željeni međusobni položaj omogućen je vanjskim sustavom zupčanika. To znači da rotori nisu uzupčeni, već između njih u zahvatu vlada mala zračnost. Zbog te male zračnosti postoji mogućnost propuštanja para. Da bi se to izbjeglo, kompresori rade s vrlo velikim brojem okretaja (oko 12000 $^{\circ}$ /min). Slika 14. prikazuje tipičnu izvedbu vijčanog kompresora bezuljnog tipa. Lopatice vijčanih rotora se u radu preklapaju te se pare komprimiraju u prostorima "1, 2 i 3" koji se smanjuju kako se rotori okreću.

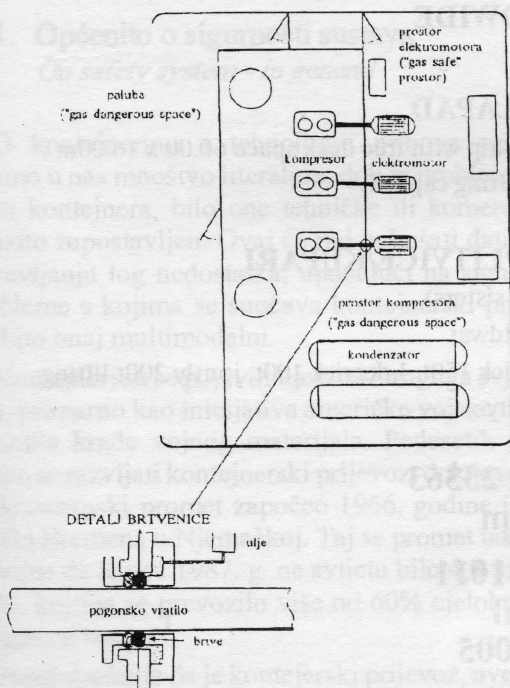


Slika 14. Vijčani kompresor bezuljnog tipa

Figure 14. Oil-free screw compressor

Kod vijčanih kompresora uljnog tipa vijčani se rotori podmazuju. Jedan od vijčanih rotora pogonjen je elektromotorom, a drugi rotor se okreće zbog toga što je u zahvatu s prvim. Budući da ulje ujedno i brtvi prostor dodirnih površina između rotora, ovi kompresori mogu imati dosta manji broj okretaja od bezuljnih (oko 3000 /min).

Kapacitet vijčanih kompresora može se regulirati na više načina, a najčešći je ugradnja otpusnog ventila



Slika 15. Izvedba prostorije kompresora (Compressor room)

Figure 15. Arrangement of a deck-house (Compressor room)

para na kućistu kompresora. S takvom izvedbom zapravo se smanjuje efektivna duljina vijčanog rotora. Vijčani kompresori inače troše više energije od stapnih.

Kompresori su smješteni na palubi u posebnom zatvorenom prostoru koji se zove prostor kompresora (Compressor room), slika 15. Ona se sastoji od prostora elektromotora i drugog prostora gdje se nalaze kompresori, kondenzatori i ostala oprema koja je u kontaktu s teretom. Ta dva prostora međusobno su fizički odijeljena radi sprečavanja opasnosti od eksplozije. Naime, u prostor u kome se nalaze elektromotori onemogućen je ulazak parama tereta. Posebna pozornost posvećuje se izvedbi brtvenice pogonskog vratila kompresora. Ona se nalazi pod stalnim tlakom ulja nadoljevnog tanka ulja sa strane elektromotora. Ako i dođe do propuštanja brtvi onda će doći do propuštanja ulja, a ne para tereta, čiji je tlak manji od tlaka ulja.

ZAKLJUČAK CONCLUSION

Pouzdan i siguran rad sustava tereta tankera za prijevoz ukapljenih plinova moguće je postići samo uz dobro poznavanje svih elemenata koji čine taj sustav. Tek nakon što se svladaju pojedini elementi (pumpe, kompresori, isparivači, zagrijači, sigurnosni uređaji, itd.), može se uz primjenu nekih pojmova iz termodinamike razumjeti cjelovitost i složenost svakodnevnih operacija na brodu. U ovome radu dane su samo osnovne rada elemenata sustava tereta. Naravno, brodska praksa između ostaloga od časnika zahtijeva da se velika pozornost posveti održavanju sustava, kako bi se na najmanju moguću mjeru sveli kvarovi. Samo uz dobru prevenciju i poštovanje svih mjera sigurnosti prilikom rukovanja sustavom, moći će se održati relativno mali broj nesreća i kvarova koji su se dosada dogodili na tankerima za prijevoz ukapljenih plinova.

LITERATURA LITERATURE

1. Advanced training Programme on Liquefied Gas Tanker Operations, IMO, London 1991
2. Liquefied Gas Handling Principles, McGuire and White Withery Co. Ltd 1986
3. Liquefied Gas Tanker Familiarization, IMO, London 1991
4. Liquefied petroleum Practice, TWV Woohot, Glasgow 1987
5. The Motorship, "Choice of LNG Carrier designs widens", September 1993
6. Prijevoz ukapljenih plinova, Ž. Kurtela, "Naše more" 41(1-2/94), Dubrovnik

THE CARGO SYSTEM OF LIQUIFIED GAS CARRIERS

Summary

Cargo handling system of Liquefied gas carriers requires a through knowledge of special elements system. The paper deals with all important elements such as pipelines, valves, safety devices, heaters, evaporators, compressors and

pumps. The operating principles of single stage, double stage and cascade reliquefaction cycle on board ship have been represented. The paper is intended for the officers on these carriers with a particular emphasis on practical application of the system.

Key words: Liquefied gas carrier, pipeline, compressor, pump

Rukopis primljen: 31.5.1995.



armacon
ocean transport bv
ROTTERDAM

AGENTS FOR ATLANT HEAVY LIFT DUBROVNIK

REGULARLY SAILING BETWEEN NORTH CONTINENT/MEDITERRANEAN VV
ALSO TRADING WORLDWIDE

m/v GRUŽ

Multipurpose ro-ro/lo-lo/flo-flo vessel
4,000 tdwat
2 x 200t lifting capacity/combined 400t

m/v SLANO

2,850 tdwat
2 x 180t lifting capacity/combined 360t

m/v LAPAD

ro-ro ship with free deck space 60.00 x 16.00m
300t lifting capacity

m/v PLITVICE/KUPARI

(exact sisters)
2,720 tdwat
1 derrick 150t, 1 derrick 100t, jointly 200t lifting capacity

56, Glashaven, PO box 23363
3001 KJ Rotterdam

Telephone: 31-10-4141011

Telex: 21224 aot nl

Telefax: 31-10-4130005