

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**Darija Vukman**

**ZNAČAJKE PLANIRANJA UKRCAJA TERETA NA LNG  
BRODOVIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**RIJEKA, 2013**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**ZNAČAJKE PLANIRANJA UKRCAJA TERETA NA LNG**  
**BRODOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Planiranje prijevoza tereta morem

Mentor: dr. sc. Renato Ivče

Student: Darija Vukman

Matični broj: 0171227050

Studij: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

Rijeka, rujan, 2013

# SADRŽAJ

1	Uvod .....	1
2	Svojstva tereta .....	2
2.1	Karakteristike ukapljenih plinova i njihovih para .....	2
2.2	Karakteristike kapljevine .....	5
2.3	Ostale značajke LNG-a .....	6
2.4	Ekstremno niske (Cryogenic) temperature .....	7
2.4.1	Krhki lom (Brittle Fracture) .....	7
2.4.2	Propuštanje (Spillage) .....	7
2.4.3	Pothlađivanje (Cool-Down) .....	8
2.4.4	Hladna mjesta (Cold Spots) .....	8
2.4.5	Nakupljanje leda (Ice Formation) .....	8
3	Konstruktivna izvedba brodova i teretnih prostora .....	10
3.1	Vrste brodova .....	10
3.2	Teretni prostori .....	12
3.2.1	Moss teretni tankovi .....	13
3.2.2	Membranski tankovi .....	15
4	Oprema teretnog sustava .....	19
4.1	Teretne pumpe .....	19
4.2	Sprej pumpa .....	20
4.3	Kompresori tereta .....	21
4.4	LNG isparivač .....	23
4.5	Prisilni isparivač (Forcing Vaporiser) .....	24
4.6	Odvajač kapljica u plinskoj fazi (Mist Separator) .....	25
4.7	Grijači plina (Gas Heaters) .....	25
4.8	Postrojenje za ukapljivanje isparenog plina .....	26
4.9	Pomoćni sustavi .....	28
4.9.1	Sustav inertnog plina .....	28
4.9.2	Grijanje koferdama .....	29
4.9.3	ESDS (Emergency Shut-Down System) sklopka .....	31
5	Teretne operacije .....	33
5.1	Sušenje (Drying) .....	33
5.2	Inertiranje (Inerting) .....	34

5.3	Gassing-up operacija .....	36
5.4	Pothlađivanje (Cool-down) .....	37
5.5	Ukrcaj tereta (Loading) .....	39
6	IGC pravilnik .....	40
7	Zaključak.....	42
	Literatura .....	43
	Popis ilustracija.....	44

# 1 UVOD

Zbog brojnih prednosti u odnosu na naftu (rezerve i zagađenje okoliša), ukapljeni prirodni plin postao je vodeći energent budućnosti. Eksploatacija i tržna potražnja za LNG-ijem, potiče gradnju LNG brodova (jeftiniji način transporta) koja započinje porinućem broda Methane Princess 1964. godine, te je do današnjih dana izgrađeno preko 300-tinjak LNG brodova.

Prijevoz ukapljenih plinova je samo jedan segment u industriji ukapljenih plinova koja obuhvaća ukapljivanje i skladištenje kod proizvođača, transport plina u koji spada i prijevoz brodovima, te prihvatanje skladištenje, isparavanje i isporuka potrošaču. Sami prijevoz brodovima uz popratne postupke npr. u LNG industriji čini 25 do 35% ukupnog troška cijelog projekta.

Brodovi za prijevoz ukapljenih plinova već sada spadaju među najsofisticiranije brodove današnjice, a daljnjim razvojem kemijske industrije i sve većom primjenom prirodnog plina kao sveobuhvatnog izvora energije budućnosti, usavršavati će se postojeći i razvijati novi specijalizirani tipovi brodova prema novim saznanjima i vrstama tereta kojeg prevoze.

Ovim radom obradit će se tematika vezana za ukrcaj ukapljenog plina, te će obuhvaćati teorijska objašnjenja i shematske prikaze.

Svojstva tereta približit će pojam prirodnog ukapljenog plina, zajedno sa njegovim djelovanjem na okolinu.

Tehnologija gradnje brodova za prijevoz prirodnog ukapljenog plina, ukazuje da su to brodovi vrhunskih tehnologija, posebice konstrukcija teretnih tankova i njihove izolacije.

Oprema teretnog sustava obuhvaća opremu i postrojenja potrebnu za sigurnu manipulaciju teretom.

Opis teretnih operacija ukazuje na njihovu važnost izvršenja s aspekta sigurnosti, kao i svih radnji i postupaka koji se obavljaju s maksimalnom pažnjom, izbjegavajući moguće rizične situacije tijekom manipulacije s teretom.

Međunarodni pravilnik ukratko objašnjava važnost poštivanja zakona i pravilnika koje izdaje Međunarodna pomorska organizacija (IMO).

## 2 SVOJSTVA TERETA

### 2.1 Karakteristike ukapljenih plinova i njihovih para

Najčešći plinovi koji se prevoze LPG (eng. Liquefied Petroleum Gas) i LNG (eng. Liquefied Natural Gas) tankerima su prirodni i kemijski plinovi. Prirodni plinovi nazivaju se ugljikovodici jer su tvoreni od najmanje jednog atoma ugljika (C) i nekoliko atoma vodika (H).

Zasićeni i nezasićeni ugljikovodici razlikuju se po strukturi veze između atoma koji ih tvore. Zasićeni ugljikovodici imaju jednostruku vezu između atoma koji ih tvore. Nezasićeni ugljikovodici nemaju jednostruku vezu između atoma u strukturi iz razloga što na jednom ili više mjesta ta veza prelazi na susjednu i tvori dvostruku vezu. Dvostruka veza znatno je slabija od jednostruke, stoga valja zaključiti kako su nezasićeni ugljikovodici znatno nestabilniji od zasićenih.

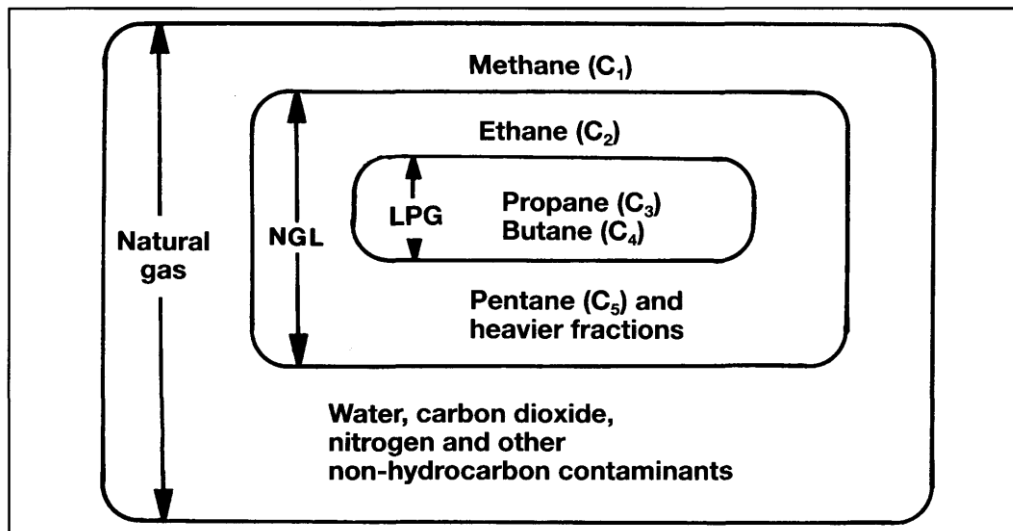
Zasićeni ugljikovodici su metan, etan, propan, butan, pentan, heksan, itd. To su plinovi bez boje i okusa, te izrazita mirisa. Nezasićeni ugljikovodici su etilen, propilen, butilen, butadien, izopren, itd. To su plinovi bez boje, slatkasta okusa i izrazita mirisa.

Prema IMO-u ukapljeni plin je plinovita smjesa pri normalnoj temperaturi i atmosferskom tlaku, ali prelazi u tekućinu stlačivanjem ili rashlađivanjem-ponekad kombinacijom obiju operacija. U prirodi svi plinovi su ugljikovodici i zapaljivi.

Plinovi se dobivaju iz podzemnih bazena kao relativno čisti ili se rafiniraju iz sirove nafte. Podzemni bazeni smješteni su ispod i/ili morskih površina. Razumijevanje dobivanja plinova zahtijeva pojašnjenje sastavnih dijelova prirodnog plina.

Prirodni plinovi (eng. Natural Gas – NG) mogu se pronaći u podzemnim bazenima pomiješani sa sirovom naftom ili poviše nje, u bazenima kondenzata ili velikim naftnim bušotinama. NG se transportira plinovodima ili se prevozi ukapljen na tankerima pri atmosferskom tlaku ili pri atmosferskoj temperaturi. Slika prikazuje sastav prirodnog plina.

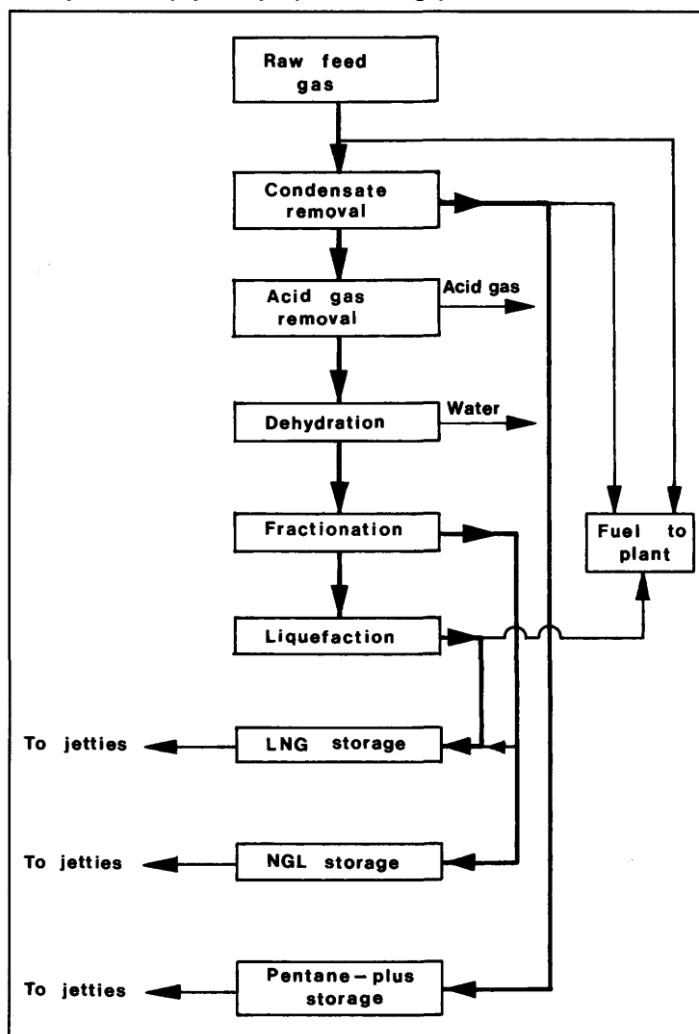
**Slika 1.** Sastav prirodnog plina



**Izvor:** „Liquefied Gas Handling Principles On Ships and in Terminals“, McGuire and White, Witherby Publishers, Bermuda, 2000., str. 3.

NG se sastoji od manjih količina težih ugljikovodika koje se naziva prirodnim plinovima u tekućem stanju (eng. Natural Gas Liquids – NGL). Količina NGL-a u ovisnosti je o količini vode, ugljičnog dioksida, dušika i ostalih tvari izvan ugljikovodične skupine. Udio NGL-a različit je na različitim bušotinama. Veći udio NGL-a dobije se iz rezervoara kondenzata ili kad se odijeli iz sirove nafte, nego iz bušotina prirodnog plina.

**Slika 2.** Proizvodnja i ukapljivanje prirodnog plina



**Izvor:** „Liquefied Gas Handling Principles On Ships and in Terminals“, McGuire and White, Witherby Publishers, Bermuda, 2000., str. 4.

Prirodni plin dobije se postupkom uklanjanja kondenzata i otrovnih plinova. Daljnjim odstranjivanjem vodene pare, te kasnije frakcijskom destilacijom vrši se postupak ukapljivanja plina. Prirodni plinovi odvajaju se i ukapljaju u postrojenju za ukapljivanje te ih se transportira u skladišta ukapljenog prirodnog plina (eng. Liquefied Natural Gas – LNG). Kemijski sastav LNG-a varira ovisno o izvoru i procesu ukapljivanja, ali glavni element je metan s drugim sastavnim dijelovima malih postotaka težih ugljikovodika kao što su etan, propan, butan, pentan i dušika u tragovima.



**Slika 3.** Sastav LNG-a s obzirom na izvor

LNG compositions (%mol)						
	CH <sub>4</sub> (Methane)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Ethane)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (Propane)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (Butane)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (Pentane)	N <sub>2</sub> (Nitrogen)
Arzew (Algeria)	87.1	8.6	2.1	0.05	0.02	0.35
Bintulu (Malaysia)	91.23	1.3	2.95	1.1	0	0.12
Bonny (Nigeria)	90.1	5.2	2.8	1.5	0.02	0.07
Das Island (UAE)	81.83	13.39	1.31	0.28	0	0.17
Arun (Indonesia)	89.33	7.14	2.22	1.17	0.01	0.08
Kenai (Alaska)	99.8	0.1	0	0.1	0	0.1
Lumut (Brunei)	89.4	6.3	2.8	1.3	0.05	0.05
Marsa El Brega (Libya)	70	15	10	3.5	0.6	0.9
Point Fortin (Trinidad)	96.2	3.26	0.42	0.07	0.01	0.008
Ras Laffan (Qatar)	90.1	6.17	2.27	0.6	0.03	0.25
Skikda (Algeria)	91.5	5.61	1.5	0.5	0.01	0.85
Withnell (Australia)	89.02	7.33	2.56	1.03	0	0.06

Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 1, str.12.

Danas se koriste tri različita postupka dobivanja LNG-a:

- Kaskadni postupak čistog pothlađivanja (eng. pure refrigerant cascade process) u kojem se u tri faze pothlađuje plin. U svakoj fazi koriste se uređaj za pothlađivanje, kompresor i izmjenjivač topline. U prvoj fazi odvaja se propan, u drugoj fazi etilen, a u trećoj fazi metan.
- Miješani postupak pothlađivanja (eng. mixed refrigerant process) kroz jednu fazu ostvaruje odvajanje metana, etana, propana i dušika. Ovu jednu fazu čini niz odvojenih postupaka, a nedostatak ovog postupka je veliki utrošak energije.
- Pred-pothlađeni miješani postupak (pre-cooled mixed refrigerant process) obično se naziva višekomponentno pothlađivanje (eng. Multi – Component Refrigerant – MCR process). To je kombinacija prva dva postupka i danas se najčešće koristi.

## 2.2 Karakteristike kapljevine

U potpuno zatvorenim sustavima brodskih tankova teret ispunjava cjelokupni prostor tanka. Jedan dio tereta se nalazi u ukapljenom stanju (tekućina), a drugi dio u plinovitom stanju (para). U kojem omjeru će se pojaviti teret u plinovitom ili tekućem stanju ovisi o točki vrenja, trenutnoj temperaturi i trenutnom tlaku tereta.

Općenito se može kazati da odnos volumena tekućine i pare određuje ona količina tekućine (izražena u  $\text{dm}^3$ ) pri atmosferskoj točki vrenja koja će kondenzirati (vezati na sebe) 1  $\text{m}^3$  pare pri temperaturi od  $0^\circ\text{C}$  i trenutnom tlaku od 1 bar.

Nakon završetka ukrcaja ukapljenog plina, pare tereta zauzimaju više prostora u tanku nego nakon nekoliko sati. Vrijeme koje je potrebno da se određeni dio pare u tanku ukaplji i pređe u tekuće stanje ovisi o temperaturi u tanku i temperaturi atmosfere tj., o unutarnjim i vanjskim uvjetima.

Za vrijeme ukrcaja tlak u tanku stalno raste i dovodi do povećanja temperature tereta. Nakon što je ukrcaj završen, tlak u tanku postaje stalan i radi niske temperature u tanku nakon određenog vremena počinje opadati, što dovodi do kondenzacije određenog dijela para (pretvaranje u tekuće stanje). Radi toga razina tekućine koja se mjeri u tanku nakon završetka ukrcaja nije ista kao razina koja se mjeri nakon nekog vremena (nekoliko sati nakon ukrcaja je veća radi ponovnog ukapljivanja).

Valja zaključiti kako je odnos volumena tekućine i pare nestabilna odnosno, dinamička veličina koja se stalno mijenja ovisno o temperaturi i tlaku tereta u tanku.

## 2.3 Ostale značajke LNG-a

Kada se ukapljeni plin prolije po vodi:

- Isparavanje tekućeg LNG-a je brzo zbog velike temperaturne razlike između produkta i vode.
- LNG se neprekidno širi po neograničenom području, što rezultira povećanu brzinu isparavanja.
- Na površinskom sloju vode stvara se sloj nepovezanog sloja leda.
- U određenim uvjetima, kada je koncentracija kisika ispod 40% u volumenu plina, mogu se dogoditi eksplozije bez prisutnosti plamena kada tekući LNG udari o vodenu površinu. Prilikom kontakta tekućeg LNG i vode, tekući metan se ugrijava velikom brzinom, čime se dodatno povećava brzina isparavanja, a samim time i eksplozivna smjesa.
- Zapaljivi oblak tekućo/plinske faze ukapljenog plina i zraka širiti će se velikom brzinom i zahvaćati veliko okolno područje pri površini (samo metan na temperaturi od  $-110^\circ\text{C}$  je lakši od zraka), te u ovisnosti od hidrometeoroloških uvjeta ovisit će zapaljiva koncentracija izlivenog tekućeg plina.

## 2.4 Ekstremno niske (Cryogenic) temperature

Ukapljeni plin uglavnom se prevozi ukapljen pri atmosferskom tlaku i pri niskoj temperaturi. Niska temperatura predstavlja potencijalnu opasnost za brod i posadu. Prema Međunarodnim pravilniku o konstrukciji i opremi brodova koji prevoze ukapljene plinove u rasutom stanju, opasnosti se razvrstavaju na:

- požar,
- otrovnost,
- korozivnost,
- reaktivnost,
- Nisku temperaturu,
- pritiska (tlak).

Učinci niskih temperatura ogledaju se kroz:

- krhki lom,
- propuštanje,
- pothlađivanje,
- hladna mjesta,
- nakupljanje leda.

### 2.4.1 Krhki lom (Brittle Fracture)

Mnogi metali i legure pri niskim temperaturama postaju tvrdi i manje elastični (materijal postaje lomljiv i unutarnji otpor se smanjuje), jer pad temperature mijenja kristalnu strukturu materijala. Čelici koji se upotrebljavaju u brodogradnji ispod 0°C naglo gube elastičnost i čvrstoću. Zbog toga valja spriječiti dodir hladnog tereta sa metalnim površinama jer naglim hlađenjem metal postaje krhak i dolazi do naprezanja uslijed kontrakcije. Pod takvim uvjetima metal ne može podnijeti kombinirana statička, dinamička i termička opterećenja, te dolazi do loma. Ti se lomovi nazivaju krhkim lomovima, događaju se iznenada, sa vrlo malom plastičnom deformacijom, a na površini loma jasno se uočava kristalična struktura.

Međutim, elastičnost i unutarnji otpor, kod materijala kao što su aluminij, specijalne legure čelika, bakar i nikal, rastu kod niskih temperatura. Takvi se materijali upotrebljavaju tamo gdje dolazi do izravnog dodira s hladnim teretom.

### 2.4.2 Propuštanje (Spillage)

Propuštanje tereta pri niskim temperaturama mora se spriječiti zbog opasnosti za osoblje i krhkog loma. Razlivena tekućina isparava, a prisutnost para uvjetuje upotrebu aparata za disanje. Ako se propuštena tekućina skuplja u sakupljaču

tekućine (eng. drip tray), posuda se mora poklopiti kako bi se spriječio neželjeni dodir. U tom slučaju treba omogućiti isparavanje, osim ako posuda sadrži sustav za odvođenje tekućine. Ukapljeni plinovi brzo postižu ravnotežu (zasićenje) i vidljivo ključanje prestaje. Postoji opasnost da se ta bezbojna, mirna tekućina u sakupljaču zamijeni s vodom.

Prilikom pretovara tereta uvijek treba pod razne spojeve postaviti odgovarajuće sakupljače tekućine.

Ako se ukapljeni plin razlijeva u more, zbog egzotermne reakcije, oslobađa se velika količina para. Ove pare mogu izazvati požar i ugroziti zdravlje ljudi. Posebno treba paziti da se spriječi ovakvo izlijevanje, osobito prilikom rastavljanja cijevi za pretovar.

#### 2.4.3 Pothlađivanje (Cool-Down)

Sustavi tereta su konstruirani tako da mogu podnijeti odgovarajuće radne temperature. Ako se teret prevozi pri niskoj temperaturi, sustav prije ukrcaja mora biti pothlađen na temperaturu tereta. Naglim pothlađivanjem sustava dolazi do naprezanja uslijed termičkog šoka što može izazvati krhki lom. Pothlađivati treba oprezno, poštujući norme propisane u uputstvima.

#### 2.4.4 Hladna mjesta (Cold Spots)

Izolacija koja okružuje prostore tereta dijelom sprečava prijenos temperature iz tanka na susjedne čelične dijelove broda. Hladna mjesta i formiranje snijega na tim čeličnim površinama ukazuju na lokalno oštećenje izolacije. Redovitim nadzorom može se ustanoviti da li je došlo do takvih oštećenja. Ako se utvrdi postojanje hladnih mjesta, čelični limovi se zaštićuju održavanjem odgovarajuće temperature, izravnim zalijevanjem vodom, a ako to nije efikasno, treba susjedni prostor ispuniti balastom. Ako postoji sustav za grijanje takvog prostora mora se uključiti.

#### 2.4.5 Nakupljanje leda (Ice Formation)

Niska temperatura tereta može zamrznuti vodu u sustavu što dovodi do blokiranja i oštećenja pumpi, ventil, itd. Led se formira radi prisustva vlage u sustavu, pare za propuhivanje ili vode koja je otopljena u teretu. Posljedice djelovanja nakupljenog leda slične su djelovanju hidrata. Nakupljanje leda sprečava se dodavanjem antifrizu ili alkohola u sustavu. Nakupljanje leda prvenstveno se sprečava pravilnim posušivanjem tankova i cjevovoda prilikom izlaska broda iz

brodogradilišta ili sa remonta. Pri tome treba posvetiti pažnju očitavanju točke rosišta (eng. dew point).

Direktni kontakt čovjeka (bez zaštitnog odijela) s tekućim LNG-om ili materijalima ohlađenim na temperaturi nižim od  $-160^{\circ}\text{C}$ , trajno mogu oštetiti ljudsko tkivo (opekotine), a inhalacija para metana u većoj koncentraciji dovodi do oštećenja vitalnih životnih funkcija (gubitak svijesti, govora, grčenje mišića i sl.).

### **3 KONSTRUKCIJSKA IZVEDBA BRODOVA I TERETNIH PROSTORA**

#### **3.1 Vrste brodova**

Brodove za prijevoz ukapljenih plinova može se općenito podijeliti na brodove za prijevoz ukapljenog prirodnog plina (LNG) i brodove za prijevoz ukapljenog naftnog plina (LPG). LNG tankeri prevoze plinove na temperaturi od  $-161,5^{\circ}\text{C}$  pri atmosferskom tlaku.

LNG brodovi grade se prema međunarodnom pravilniku za gradnju i opremanje brodova za prijevoz plinova (eng. „The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Gases in Bulk“ – IGC Code) koji detaljno propisuje smjernice za gradnju.

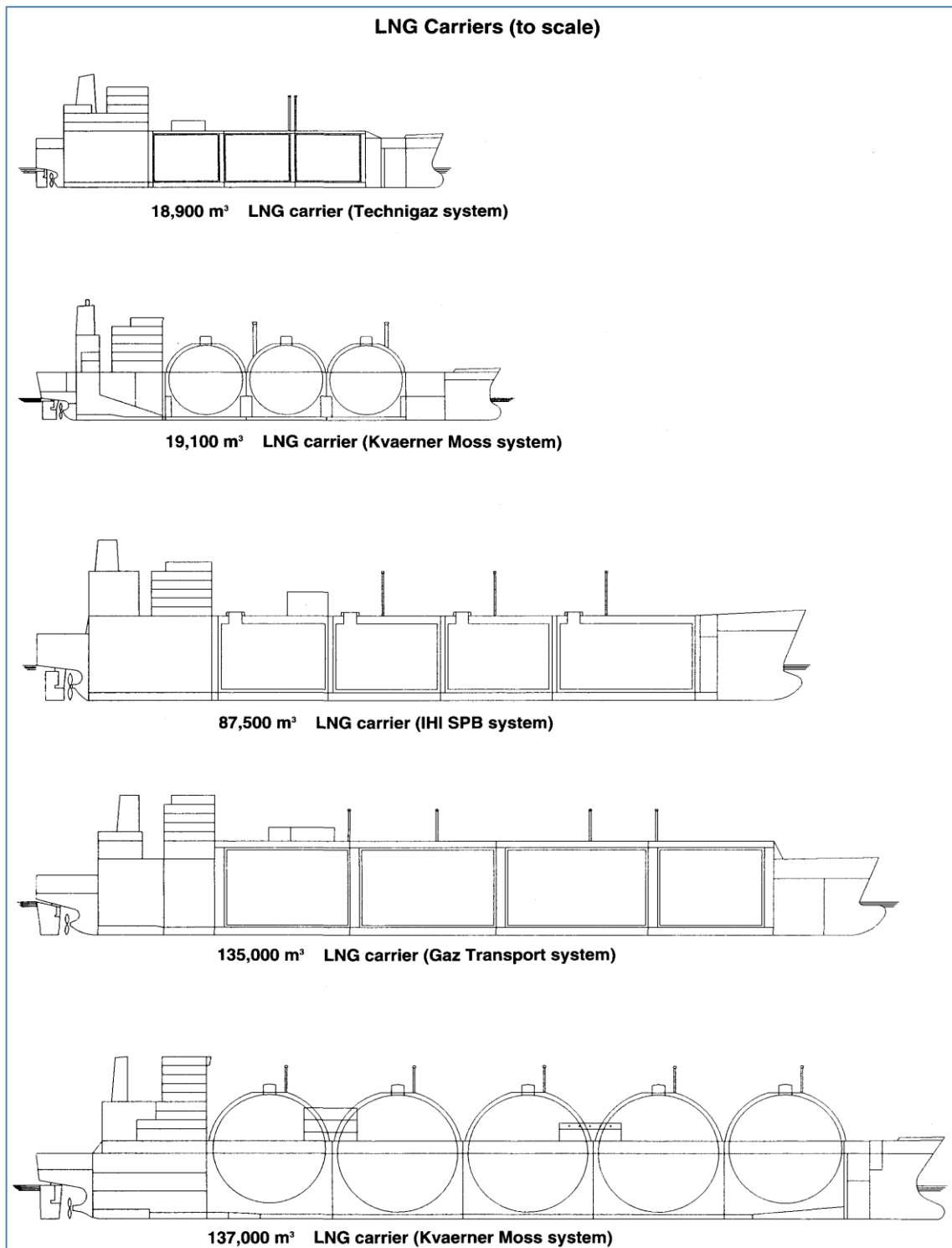
Ovo su specijalizirane vrste brodova izgrađenih za prijevoz velikih količina LNG-a sa kapacitetom između 125 000 i 135 000 m<sup>3</sup>. Radni vijek im je od 20 do 25 godina ili više.

Svi LNG brodovi imaju duplu oplatu cijelom duljinom teretnog prostora koja pruža dovoljno prostora za balast. Brodovi sa membranskim sustavom imaju punu sekundarnu barijeru i tankove tipa 'B' sa drip-pan zaštitom. Zajednička karakteristika svim LNG brodovima jest da dio tereta koji isparava za vrijeme putovanja koriste kao gorivo.

Prazni prostori oko tankovima kontinuirano se inertiraju, osim u slučaju sfernih tankova tipa „B“ gdje su ti prostori ispunjen suhim zrakom pod uvjetom da postoji adekvatna sustav inertiranja za takve prostore u slučaju ispuštanja tereta. Potrebno je kontinuirano praćenje svih suhih prostora oko tankova.

Općenito, postrojenja za ukapljivanje plina na brodu jako malo se koriste na LNG brodovima, ali treba napomenuti da je vrlo mali broj LNG brodova opremljen jednim ovakvim postrojenjem.

**Slika 4. Različite izvedbe LNG tankera**



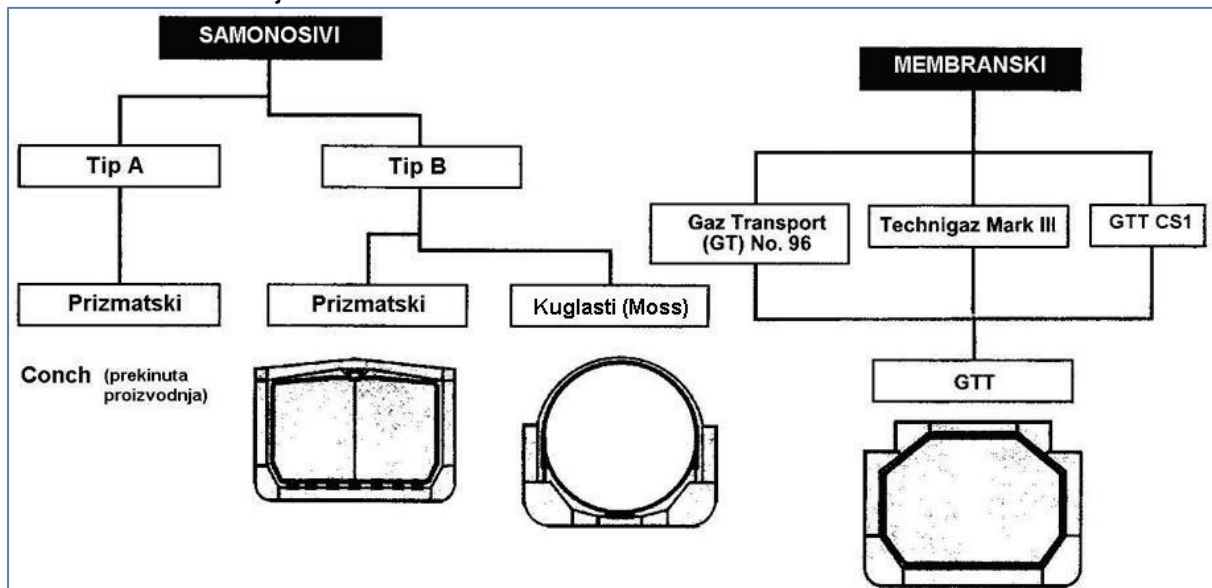
**Izvor:** „Liquefied Gas Handling Principles On Ships and in Terminals“, McGuire and White, Witherby Publishers, Bermuda, 2000., str. b.

### 3.2 Teretni prostori

Brodovi za prijevoz plinova opremljeni su teretnim tankovima koji se općenito dijele na:

- Nezavisne
- Membranske

Slika 5. Podjela teretnih tankova



Izvor: D. Posavec, K. Simon, M. Malnar: „Brodovi za ukapljeni prirodni plin“, <http://hrcak.srce.hr/file/92363>, 05.08.2013., str. 55-62

LNG brodovi obično su opremljeni jednim od dva glavna tipa teretnih tankova:

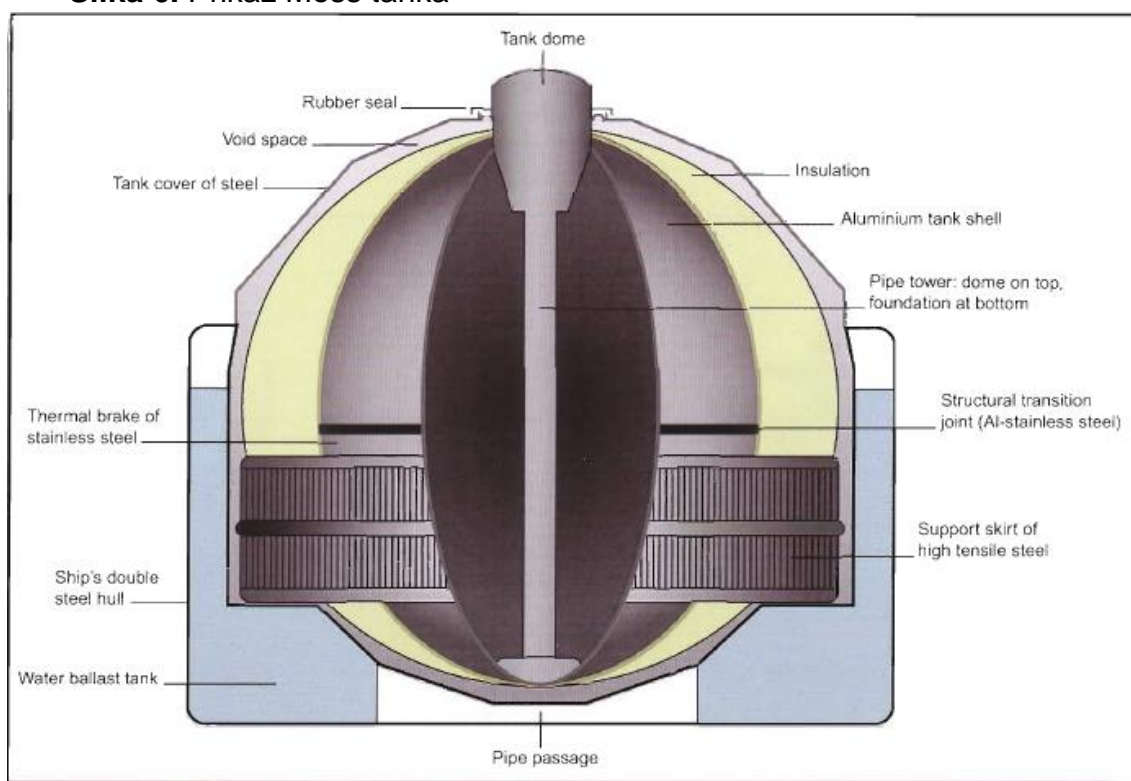
- Moss tankovi = nezavisni tip B (sferni)
- Gaz Transport/Technigaz = membranski



### 3.2.1 Moss teretni tankovi

Moss tankovi su samonosivi tankovi sferičnog oblika. Na brodu obično postoji 4 – 5 ovakvih tankova. Tank je pojačan u svom najširem dijelu s ekvatorijalnim prstenom zavarenim za koncentrični aluminijski nosač (eng. stiff ring) koji se, preko posebne bimetalne spojke, varenjem spaja s čeličnom brodsom konstrukcijom. Zadaća bimetalne spojke je da osigura kontakt između aluminija i čelika, i da smanji grijanje tanka vođenjem topline kroz cilindrični nosač..

**Slika 6.** Prikaz Moss tanka



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 3.

Ovi tankovi zahtijevaju samo djelomičnu sekundarnu izolaciju koja se sastoji od posude za sakupljanje prelijevane tekućine i zaštitne pregrade protiv prskanja, a standardno su izolirani s oko 215 mm polistirenske pjene. Tijekom izrade izolacije, postavljaju se dva sloja izolacijskih ploča od poliuretanske pjene između kojih se postavlja sloj staklene vune koji sprečava pojavu pukotina u izolaciji. Izolacijske ploče nisu spojene direktno za površinu tanka što omogućuje ubacivanje dušika između izolacije i tanka.

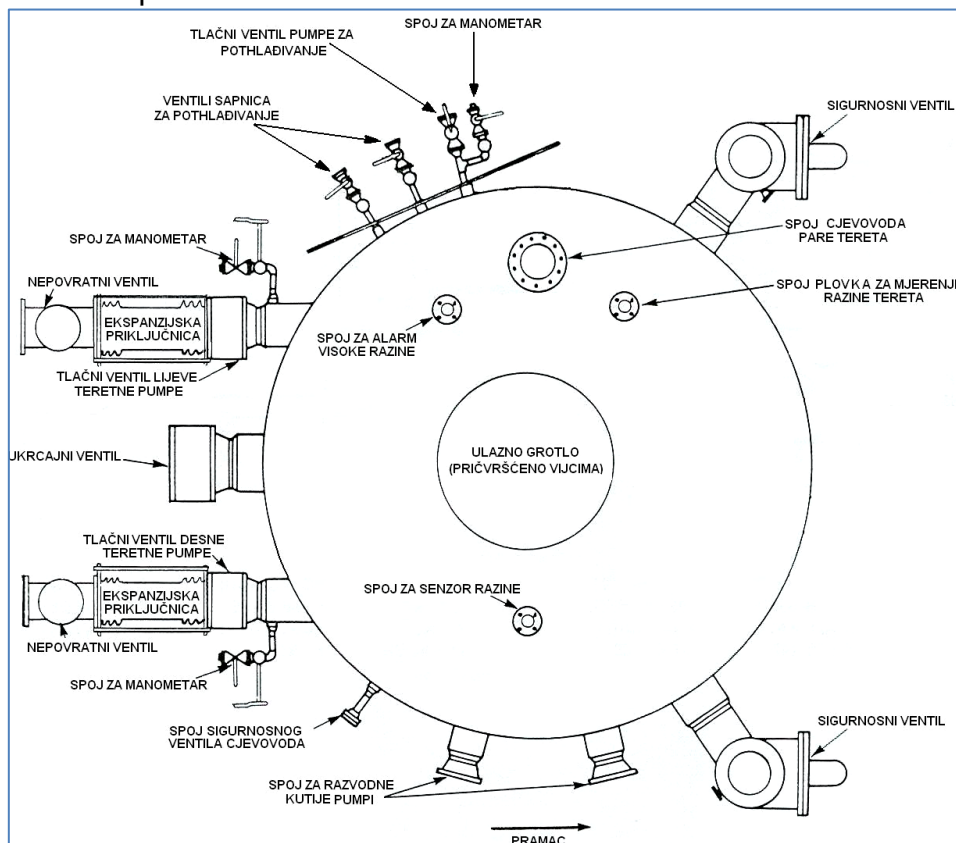
Radi efekta niske temperature svi spojevi tanka sa cijevima moraju biti fleksibilni.

U praksi se kod tankera sa Moss sferičnim tankovima nakon iskrcaja ostavlja oko 5-10% tereta u jednom tanku, koji kasnije služi za pothlađivanje ostalih tankova i sustava tereta prije ukrcaja da ne bi došlo do napreznja materijala uslijed velikih i naglih promjena temperatura.

Unutar tanka nalazi se toranj promjera 2,5 m koji služi za podržavanje pumpi i teretnih cjevovoda. Toranj je zavaren za dno tanka i proteže se cijelom njegovom visinom, sve do kupole na vrhu. Unutar tornja nalaze se među platforme i stepenice, preko kojih je omogućen pristup unutrašnjosti tanka. Sapnice za pothlađivanje oplata tanka nalaze se na vanjskom obodu tornja.

Na vrhu tornja je kupola kroz koju prolaze svi cjevovodi i razvodne kutije za napajanje teretnih pumpi (eng. main cargo pump)i pumpi za pothlađivanje (eng. spray pump). Na vrhu kupole su i dva sigurnosna ventila, te ispušni ventil cjevovoda pare (eng. vapour line) tereta kojima se kontrolira tlak u praznom prostoru tanka.

**Slika 7. Kupola Moss tanka**



Izvor: G. Belamarić: „Teretni sustav LNG tankera“, <https://www.pfst.hr/old/data/materijali/TERETNI%20SUSTAV%20LNG%20TANKERA.pdf>, 05.08.2013.

### 3.2.2 Membranski tankovi

Membranski sustav bazira se ne vrlo tankoj primarnoj izolaciji, „membrani“, koja je zaštićena slojem izolacije unutar oplata broda. Ova vrsta tankova mora imati i drugu izolaciju kako bi spriječila istjecanje tereta u slučaju propuštanja primarne izolacije. Prema IGC pravilniku, sekundarna izolacija mora zadržati ispuštanje tereta do 15 dana.

Izolacija membranskog tanka mora:

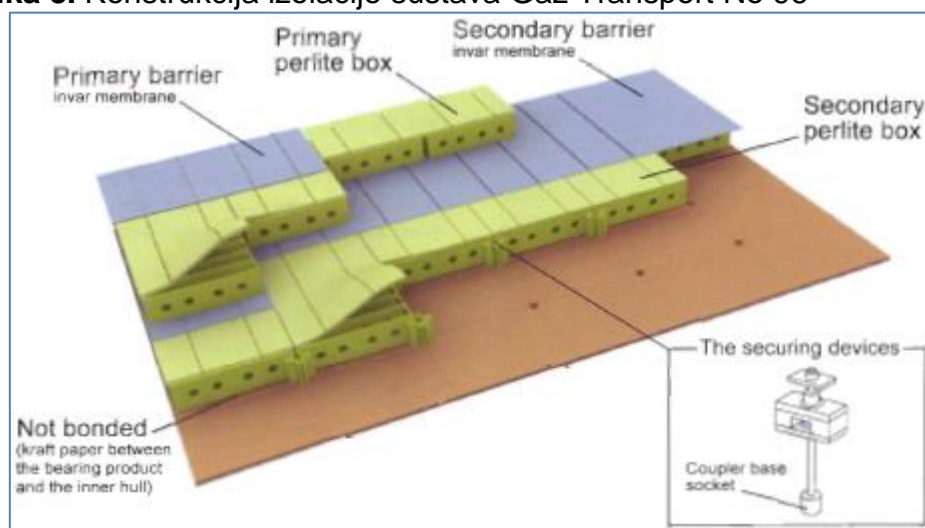
- Održavati temperaturu tereta na  $-161,5^{\circ}\text{C}$
- Osigurati da temperature kojima je podvrgnuta oplata broda ne budu niža od  $-30^{\circ}\text{C}$ , kako bi se mogao koristiti čelik normalnog stupnja
- Oduprijeti se naprezanjima zbog prevelikog tlaka u tanku uzrokovanog nevremenom

Postoje dva tipa membranskih sustava, a to su Gaz Transport i Technigaz (danas su se ove tvrtke spojile i tvore Gaz Transport Technigaz GTT).

#### 3.2.2.1 Gaz Transport

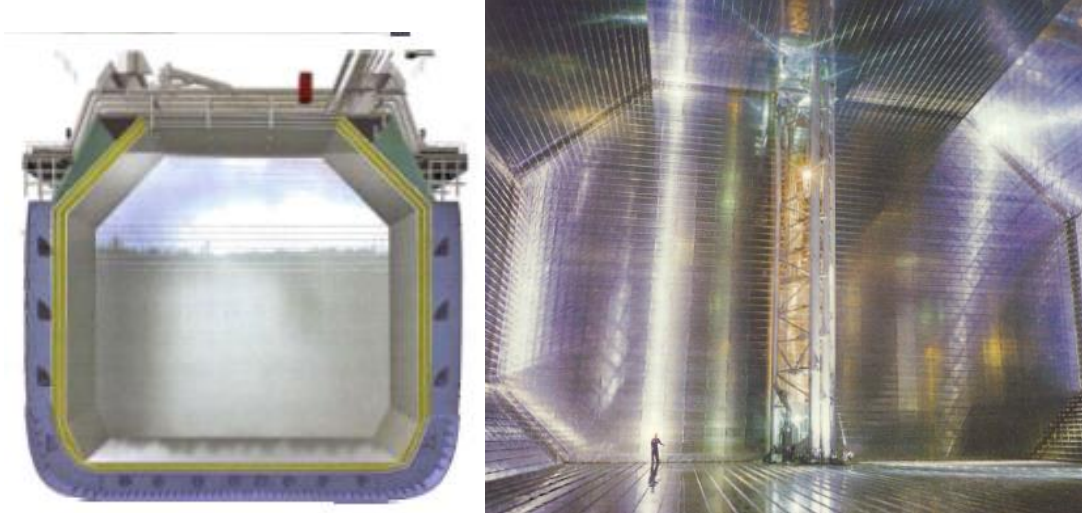
Ovi tankovi su ugrađeni na većinu membranskih brodova danas. Primarna i sekundarna izolacija su potpuno identične što pruža potpunu sigurnost. Konstruirane su od istog materijala, odnosno od invara debljine 0,7 mm i kutija od iverice koje su punjene perlitom debljine 200 mm. Perlit je pomiješan sa silikonom kako bi bio otporan na vodu ili vlagu. Kutije su učvršćene za unutarnju oplatu s letvom od nehrđajućeg čelika i zavareni spojcicama. Izolacijski prostori inertirani su dušikom.

**Slika 8.** Konstrukcija izolacije sustava Gaz Transport No 96



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 25.

**Slika 9.** Prikaz Gaz Transport tanka



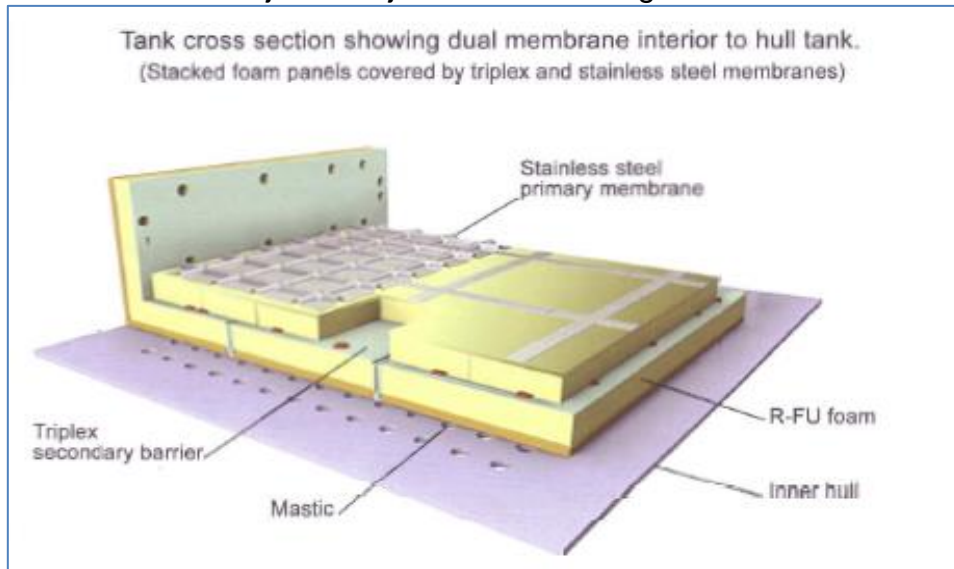
Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 25. i 27.

Oprema tanka smještena je u plinskoj i tekućoj kupoli. Plinska kupola (eng. Gas dome) opremljena je cjevovodima odvoda/dovoda plinske faze u tankove, sprej cjevovodima (eng. spray line) za pothlađivanje tankova i teretnih linija, te ispušnim sigurnosnim ventilima. Tekuća kupola (eng. liquid dome) nosi tronožni toranj (eng. tripod mast) na koji su pričvršćeni glavni iskrcajni cjevovodi, pumpe tereta, sprej pumpa, sustav za mjerenje količine tereta u tanku, te senzori temperature i kontrole tlaka u tankovima.

### 3.2.2.2 Technigaz

Primarna izolacija kod ovih tankova je od nehrđajućeg čelika sa žljebovima što omogućuje širenje i skupljanje površine tanka. Primarna izolacija je konstruirana od sloja pojačane stanične pjene. Između slojeva izolacije nalazi se tkanina od laminirane stakloplastike i aluminija koja se ponaša kao sekundarna izolacija. Ova sekundarna izolacija može zadržati propuštanje tereta do 15 dana.

**Slika 10.** Konstrukcija izolacije sustava Technigaz Mark III



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 29.

**Slika 11.** Prikaz unutrašnjosti Technigaz Mark III tanka



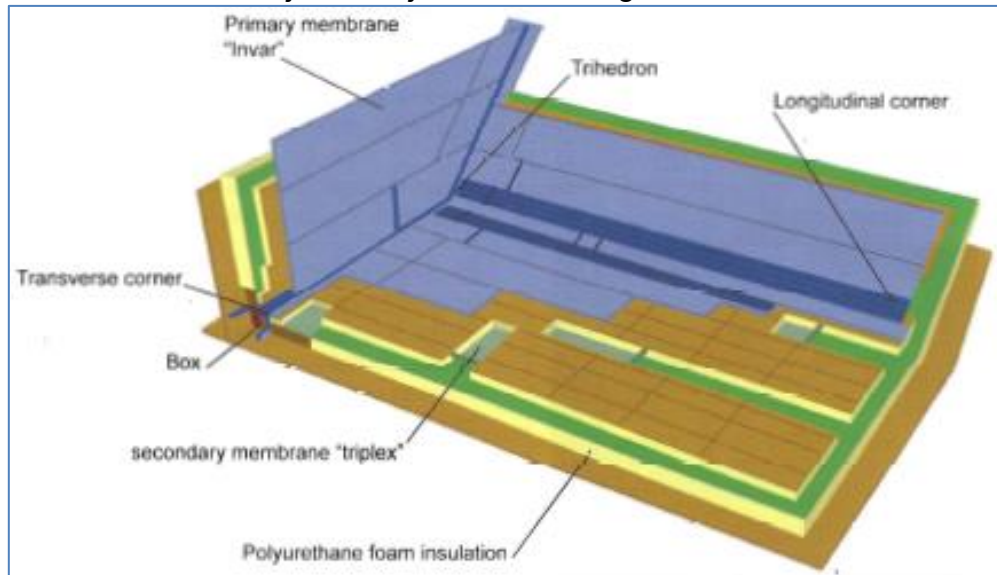
Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 23.



### 3.2.2.3 Gaz Transport Technigaz kombinirani sustav 1 „CS1“

Ovaj sustav je hibrid koji kombinira prednosti postojećih sustava, Gaz Transport Technigaz, odnosno No.96 (glatke površine) i Mark III (žljebovi).

**Slika 12.** Konstrukcija izolacije kombiniranog sustava „CS1“



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 32.

Koristi dvije izolacije. Prva je invar debljine 0,7 mm. Druga izolacija je mješavina aluminija i stakloplastike poznata kao „Triplex“. Izolacija je osigurana poliuretanskom pjenom.

**Slika 13.** Prikaz unutrašnjosti tanka kombiniranog sustava „CS1“



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 31.

## 4 OPREMA TERETNOG SUSTAVA

### 4.1 Teretne pumpe

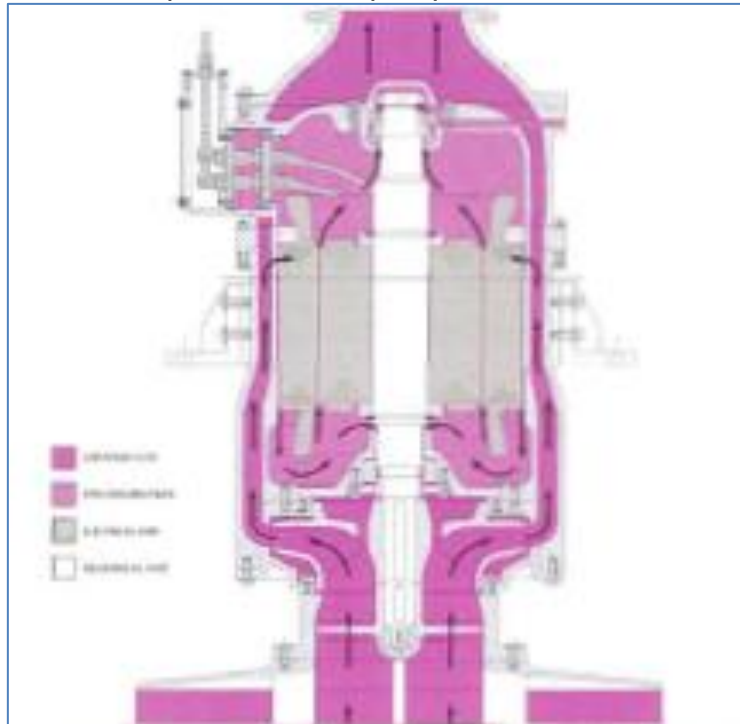
Svaka teretna pumpa iskrcajnog je kapaciteta od 1 500 m<sup>3</sup>/h ukapljenog plina, te maksimalni iskrcajni kapacitet za jedan tank, koristeći istovremeno obje teretne pumpe iznosi 3 000 m<sup>3</sup>/h.

Uz pomoć iskrcajnog ventila na pumpi tereta regulira se iskrcajni tlak u iskrcajnom cjevovodu (eng. liquid line), a samim time i kapacitet iskrcaja. Za vrijeme iskrcaja, promjene u iskrcajnom kapacitetu teretne pumpe ovisit će o nivou ukapljenog plina u teretnim tankovima, stoga će se iskrcajni ventili na teretnim pumpama morati prigušivati (smanjiti iskrcajni kapacitet) pred kraj iskrcaja.

U normalnim uvjetima moguće je održati najveći iskrcajni kapacitet sve dok razina ukapljenog plina u teretnom tanku ne dostigne nivo (eng. level) od 2,3 m nakon čega pumpa tereta postupno gubi na iskrcajnom tlaku, te rad teretne pumpe počinje varirati (oscilacije vrijednosti iskrcajnog tlaka i ampermetra) i postoji opasnost da se pumpa zbog sigurnosti sama zaustavi (eng. trip). Takve oscilacije pumpe smanjujemo na najmanju moguću mjeru, odnosno parametri iskrcajnog tlaka na pumpi i ampermetar se stabiliziraju na način postupnog prigušivanja iskrcajnog ventila na pumpi ili ako i takvo prigušivanje i dalje pokazuje variranje tlaka na pumpi i ampermetra, tada se jedna od teretnih pumpi u tanku zaustavlja i nastavlja se iskrcaj tereta s jednom teretnom pumpom.

Također, pri kraju iskrcaja tereta, brod se postavlja u uvjete krmenog trima od 3 m, što omogućava teretnim pumpama maksimalan iskrcaj tereta po tankovima.

**Slika 14.** Shematski prikaz teretne pumpe



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 125.

## 4.2 Sprej pumpa

Sprej pumpa postavljena je u svakom teretnom tanku i namijenjene su za pothlađivanje tankova, za napajanje isparivača (eng. vaporiser) i prisilnog (eng. forcing vaporizer) isparivača tekućim metanom. Sprej pumpa je malog kapaciteta (50 m<sup>3</sup>/h) u odnosu na teretnu pumpu, a pokreću se i zaustavljaju iz teretne kontrolne sobe, dok se u slučaju nužde zaustavljaju aktiviranjem ESDS (eng. Emergency Shut Down System) sklopke.

Također, sprej pumpa se često koristi prije početka teretnih operacija za pothlađivanje tekuće linije (eng. liquid line) i manifolda, u cilju izbjegavanja mogućih propuštanja ukapljenog plina prilikom povećanja ukrcajno/iskrcajne brzine tijekom teretnih operacija.



**Slika 15.** Sprej pumpa

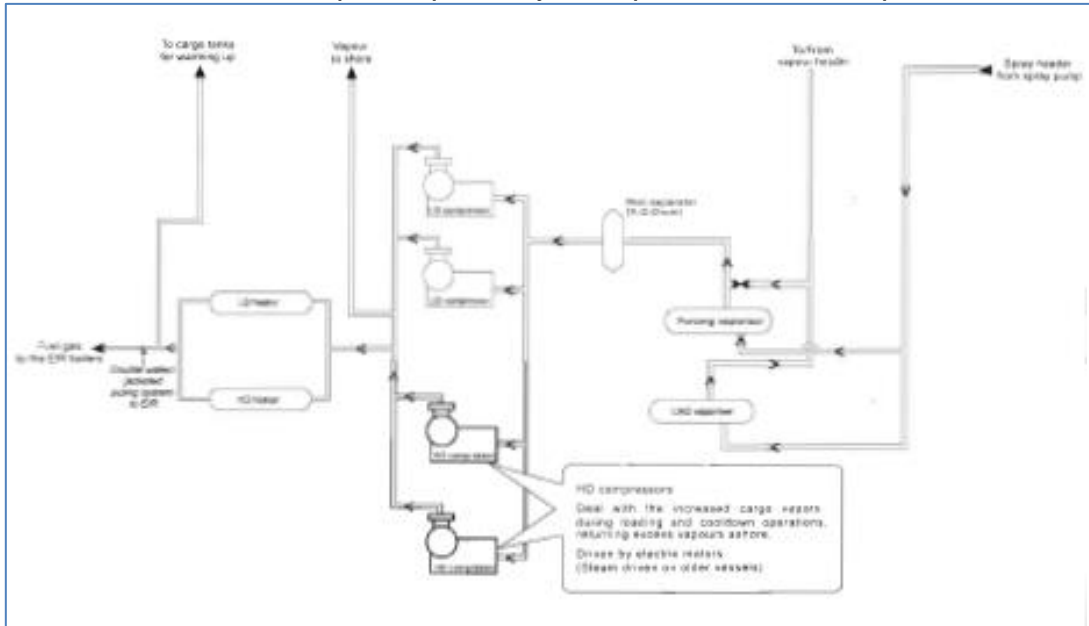


Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 137.

### **4.3 Kompresori tereta**

Dva kompresora velikog kapaciteta (eng. High Duty - HD) postavljena su u prostoriji kompresora na zatvorenom dijelu vanjske palube, a koriste se za održavanje određenog tlaka u teretnim tankovima, za gassing up i gas free operacije.

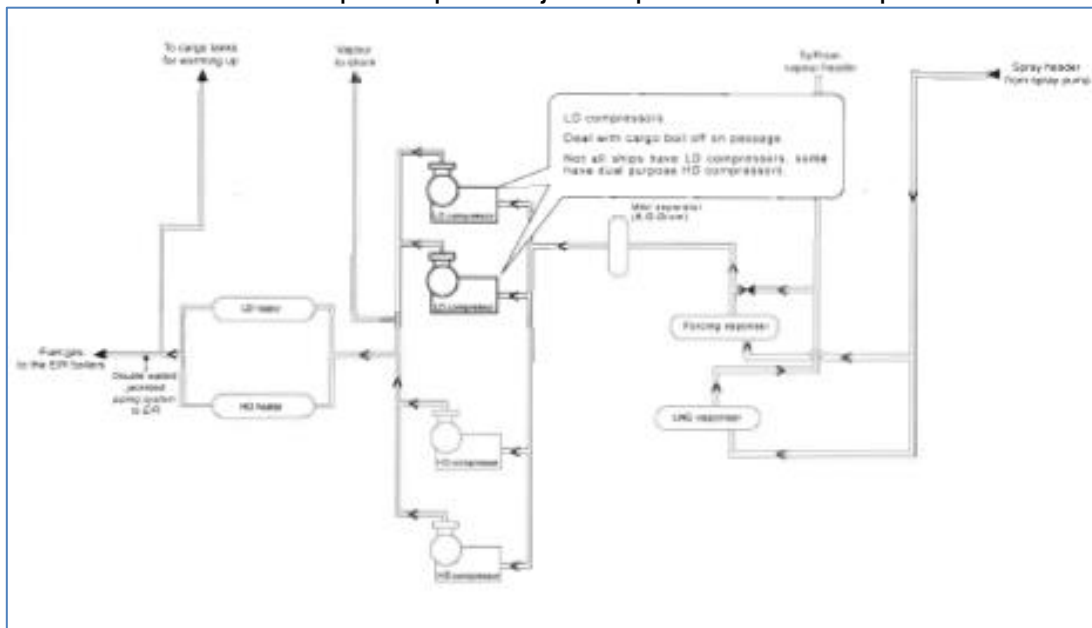
**Slika 16.** Shematski prikaz prostorije kompresora i HD kompresora



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 85.

Dva kompresora manjeg kapaciteta (eng. Low Duty - LD) također su ugrađena u prostoriji kompresora na zatvorenom dijelu vanjske palube, a namijenjeni su za slanje (viška) LNG para prema kotlovima u strojarnici, koje se koriste se kao pogonsko gorivo.

**Slika 17.** Shematski prikaz prostorije kompresora i LD kompresora



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 97.

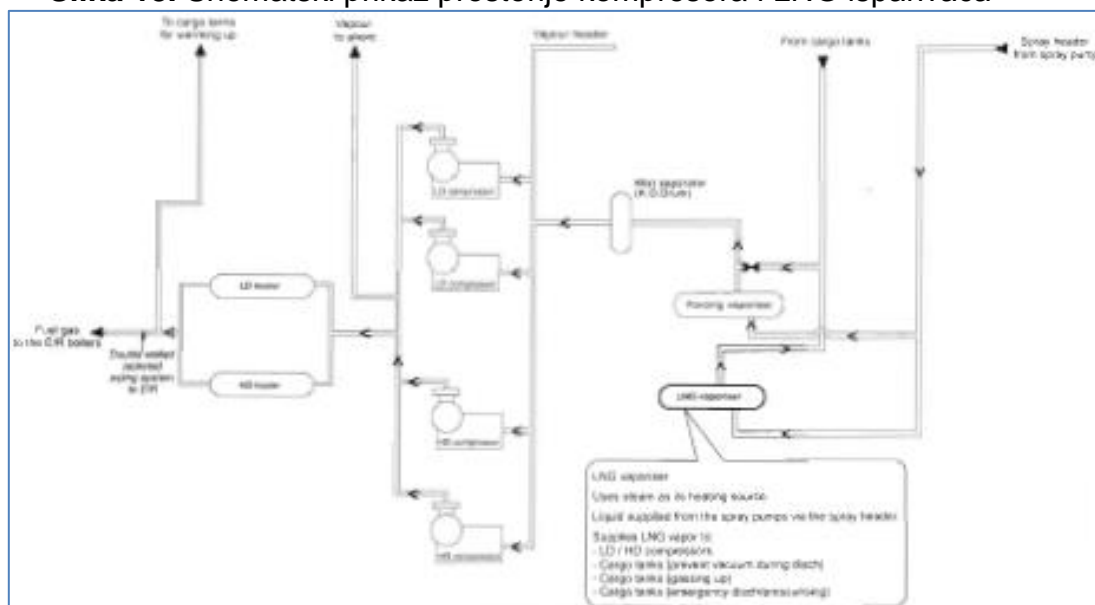
HD i LD kompresori pokreću se elektromotorima smještenim u prostoriji elektromotora koja je plinonepropusnom pregradom odvojena od prostorije kompresora (osovina elektromotora prolazi kroz pregradu s plinonepropusnom brtvom).

#### 4.4 LNG isparivač

LNG isparivač smješten je u prostoriji kompresora i koristi se za isparavanje LNG-a kod zamjene atmosfere u tanku (inertnog plina sa LNG parom), te za prisilno isparavanje tekućeg metana u tankovima za vrijeme Liquid Free operacije.

Korištenje isparivača dozvoljeno je samo kad je zagrijan na radnu temperaturu prije dovođenja LNG-a.

**Slika 18.** Shematski prikaz prostorije kompresora i LNG isparivača



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 77.

**Slika 19.** LNG isparivač



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 78.

#### **4.5 Prisilni isparivač (Forcing Vaporiser)**

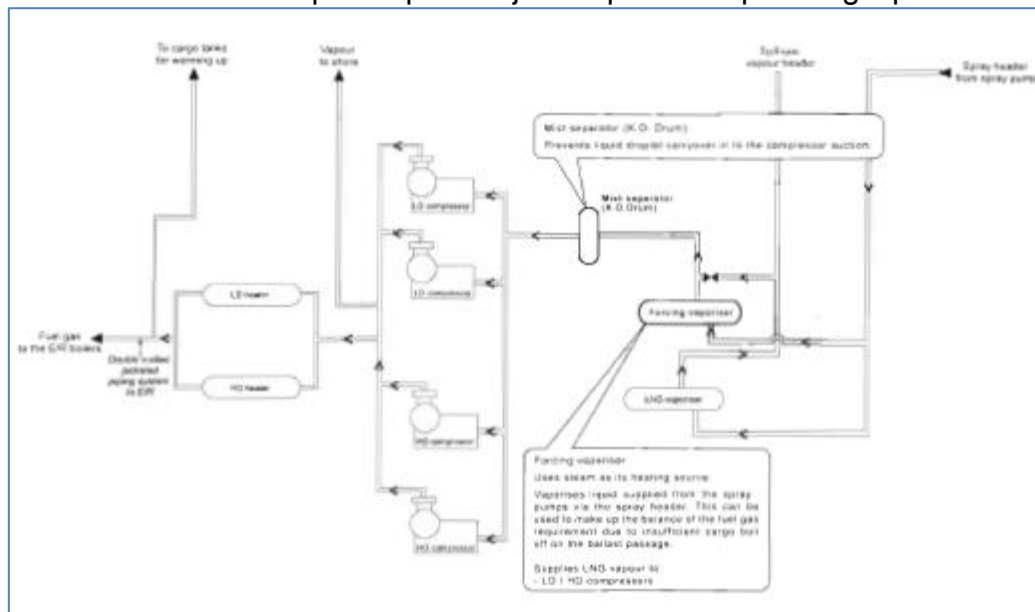
Prisilni isparivač koristi se za isparavanje LNG tekućine kako bi se osigurala dovoljna količina para metana koje kotlovi u strojarnici koriste kao gorivo za pogon LNG tankera.

LNG se dovodi u prisilni isparivač uz pomoć pumpe za posušivanje, a protok tekućeg metana se kontrolira automatskim dobavnim ventilom koji prima signal od sustava upravljanja plinskom kotlovima, odnosno regulacijom vrijednosti tlaka u tankovima i raspoloživosti plinske faze metana koji se šalje uz pomoć LD kompresora prema kotlovima.

Prisilni isparivač opremljen je sustavom kontrole temperature koji održava konstantnu i stabilnu iskrcajnu temperaturu prema LD kompresorima u raznim fazama operacija.

Temperatura proizvedene plinske faze namješta se raspršivanjem određene količine preusmjerene LNG u izlaznu stranu prisilnog isparivača kroz kontrolni ventil temperature i sapnice ubrizgavača.

**Slika 20.** Shematski prikaz prostorije kompresora i prisilnog isparivača



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 117.

#### 4.6 Odvajač kapljica u plinskoj fazi (Mist Separator)

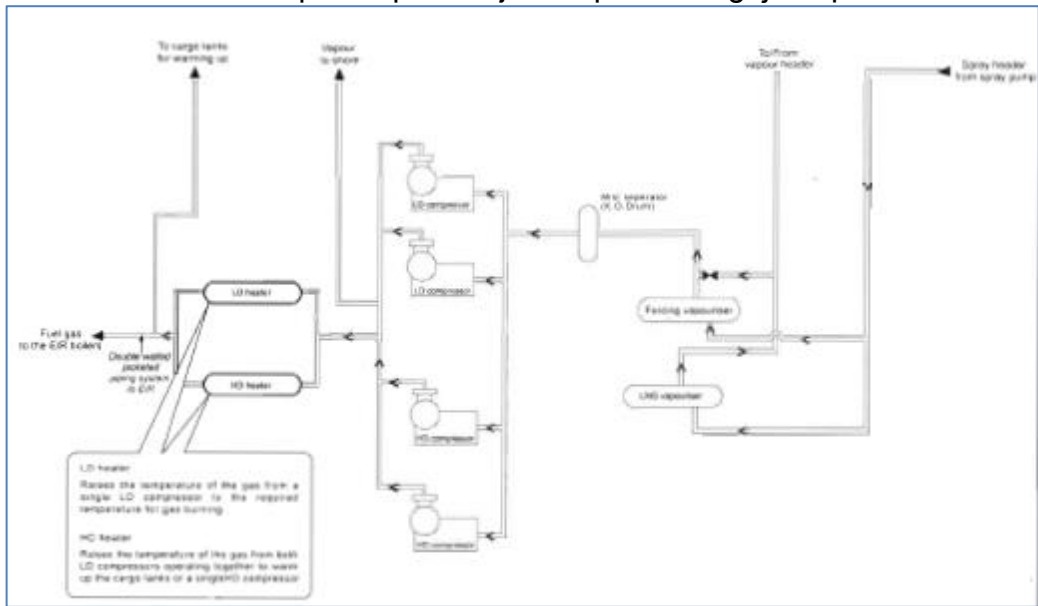
Odvajač kapljica LNG-a u plinskoj fazi koristi se kao sigurnosna oprema kroz koji prolazi para LNG-a na temperaturi od prosječno  $-90^{\circ}\text{C}$ , prije ulaska na lopatice HD i LD kompresora. Obzirom da lopatice turbine HD i LD kompresora rotiraju velikom brzinom, ulaskom mješavine plinske faze LNG-a i njegovih kapljica moglo bi oštetiti lopatice turbine, pa je kapljice plinske faze LNG-a potrebno odvojiti prije ulaska u kompresore.

#### 4.7 Grijači plina (Gas Heaters)

Grijači plina cijevnog su oblika i koriste se za sljedeće:

- za grijanje LNG para iz HD kompresora na određenu temperaturu ( $+30$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ ) za grijanje teretnih tankova prije inertiranja;
- za prisilno (ubrzano) evaporiranje LNG-a i generiranje plina za pogon kotlova u strojarnici, za prisilnu evaporaciju LNG-a u tankovima tereta tijekom Liquid free operacije i za zagrijavanje atmosfere u tankovima prije operacije inertiranja

**Slika 21.** Shematski prikaz prostorije kompresora i grijača plina

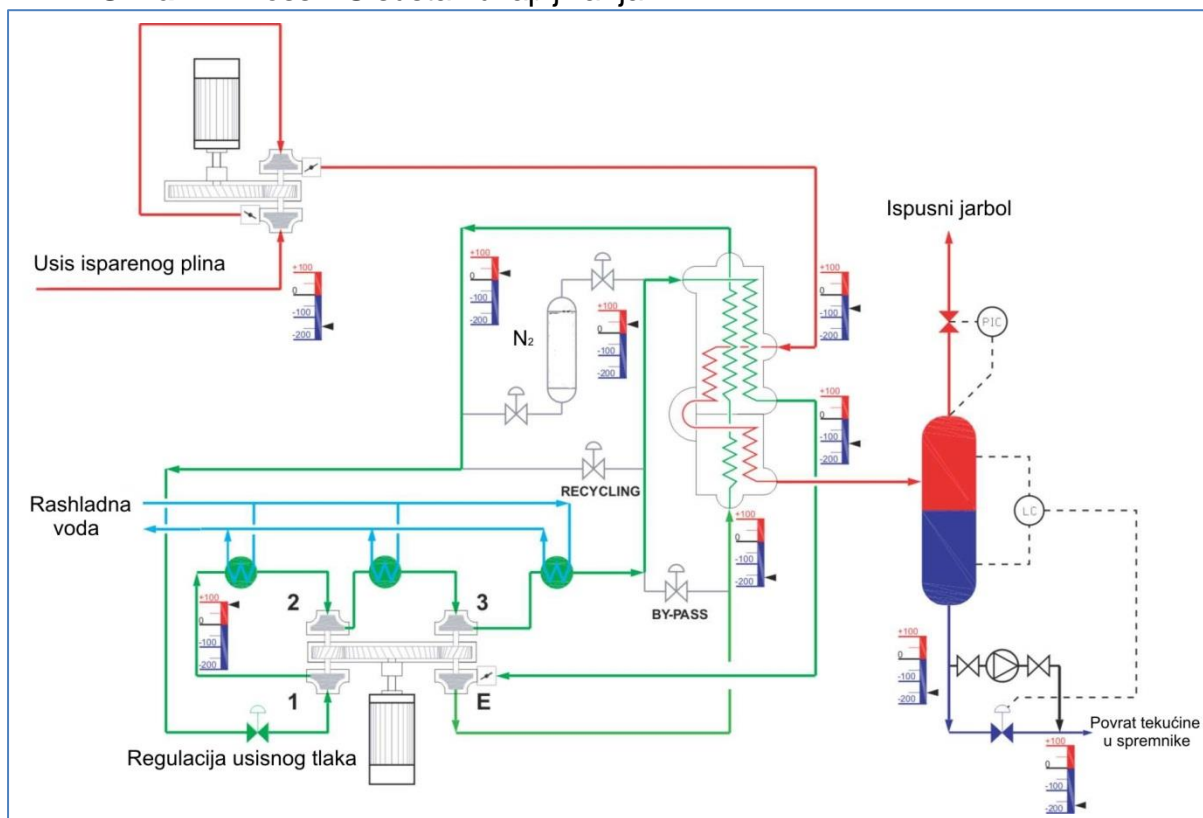


Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 109.

#### 4.8 Postrojenje za ukapljivanje isparenog plina

LNG brodovi obično su bili pogonjeni parnim turbinama unatoč učinkovitijim dizelskim motorima. Sve je to bilo zbog isparavanja plina tijekom plovidbe koje se koristilo kao gorivo za turbine. Također, taj dio tereta koji ispari može se ponovno ukapljiti i vratiti u tankove.

**Slika 22.** Moss RS sustav ukapljivanja



Izvor: Brodski sustavi za transport ukapljenog plina – prezentacija, Tehnički fakultet u Rijeci, [http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_teh\\_term\\_energ/katedra3/Brodski\\_sustavi/15\\_Sustavi%20na%20LNG%20tankerima.ppt](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra3/Brodski_sustavi/15_Sustavi%20na%20LNG%20tankerima.ppt), 05.08.2013.

Dvostupanjski kompresor usisava ispareni plin i vodi ga u dvostupanjski izmjenjivač topline (eng. „Cold Box“). S druge strane nalazi se zatvoreni krug dušika, u kojem se dušik najprije tlači u trostupanjskom kompresoru sa vodenim međuhlađenjem, nakon čega odlazi u kondenzator smješten unutar «cold boxa».

Kondenzirani dušik se zatim odvodi u ekspanzijsku turbinu smještenu na istoj osovini s trećim stupnjem kompresora, kako bi se povratio znatni dio rada uloženog pri kompresiji.

Ekspanzirani dušik odlazi zatim u dio «cold boxa» iza isparavanja u kojem hladi ispareni prirodni plin i ponovno ga ukapljuje.

## 4.9 Pomoćni sustavi

### 4.9.1 Sustav inertnog plina

Inertni plin je svaki plin koji sadrži manje od 5% kisika, ne gori i ne podržava gorenje, a upuhuje se u tankove kako bi stvorio inertnu, tj. neeksplozivnu atmosferu.

Prema izvoru dobivanja inertnog plina razlikuje se:

- Inertni plin dobiven sa kopna (dušik)
- Inertni plin proizveden u brodskom generatoru inertnog plina

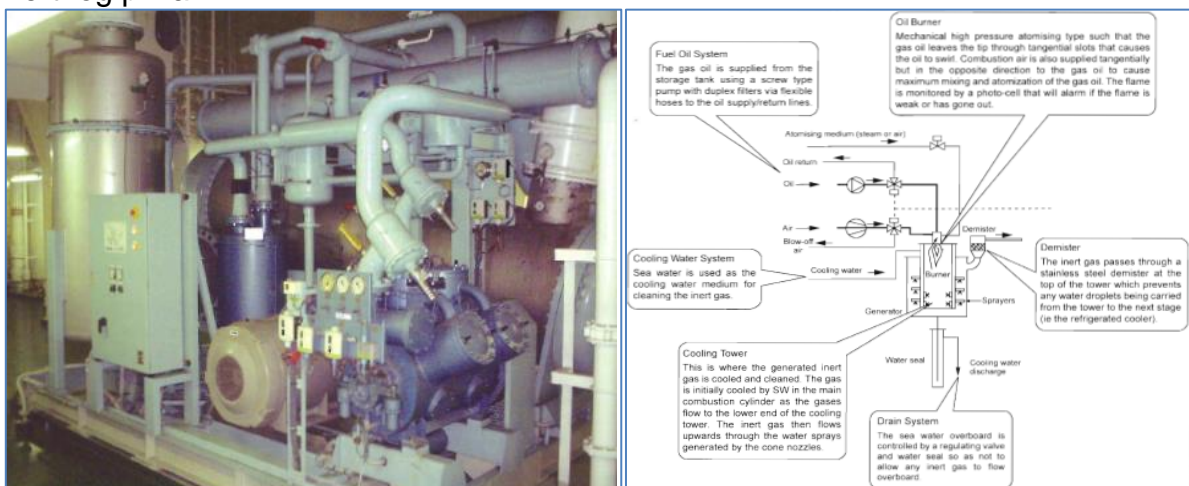
Na tankerima postoji pogon za proizvodnju inertnog plina. Prema načinu proizvodnje inertnog plina razlikuje se:

- Generator inertnog plina (eng. Inert Gas Generator)
- Inertni plin dobiven iz brodskih kotlova (eng. Funnel Gas Inerting System)

Generatori inertnog plina koriste poseban sustav izgaranja goriva pomoću kojeg stvaraju inertni plin ili se koriste ispušni plinovi dobiveni iz porivnog stroja.

Inertni plin dobiven izgaranjem goriva u brodskim kotlovima karakterističan je način proizvodnje za brodove na turbinski pogon ili za brodove koji imaju ugrađene centrifugalne pumpe za teret pogonjene parom.

**Slika 23. a)** Generator inertnog plina (Teekay); **b)** Glavni dijelovi generatora inertnog plina



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 2, str. 53. i 56.



Dušik se dobiva tlačenjem zraka (od 5 do 12 bara), filtriranjem te propuštanjem kroz propusnu membranu. Tako dobiveni plin sadrži iznad 99,8% dušika, a ostatak je u najvećem dijelu kisik te drugi sastojci zraka. Uobičajeni kapacitet generatora dušika kreće se oko 150 m<sup>3</sup>/h na membranskim tankovima i oko 15 m<sup>3</sup>/h na Moss tankovima.

Posebno zahtjevno je inertiranje tankova u pripremi broda za odlazak u dok ili za rad u tanku. Postoje dva načina inertiranja tankova:

- Razrjeđivanjem (eng. Dilution)
- Potiskivanjem (eng. Displacement)

Dušik se osim inertiranja koristi i za stvaranje zaštitnog prostora između dijelova sustava i atmosfere (spojevi cjevovoda i pokrova tanka, razvodne kutije električnih instalacija, kupole tanka, tunel osovine kompresora iz prostorije s motorom i prostorije s kompresorima), održavanje tlaka u primarnoj i sekundarnoj barijeri, itd.

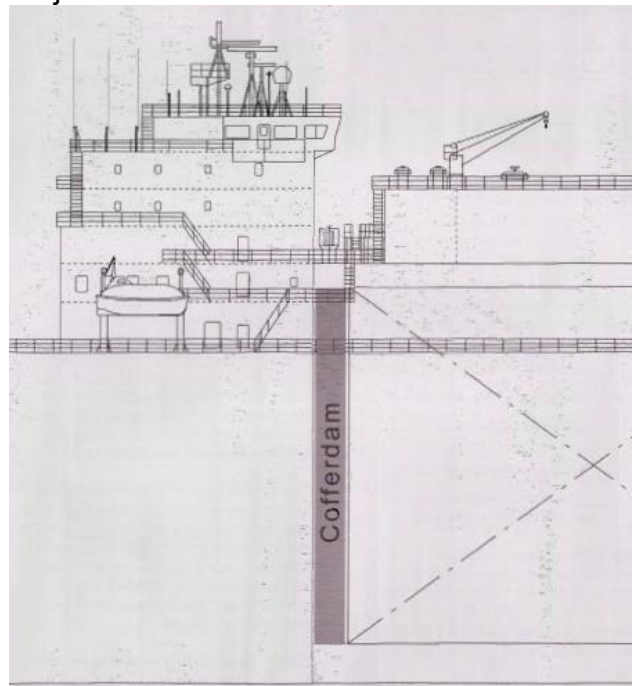
Inertiranje tanka razrjeđivanjem odvija se na dva načina. Prvi obuhvaća upuhivanje inertnog plina velikom brzinom pri vrhu tanka, a drugi način podrazumijeva upuhivanje pri dnu tanka. Za vrijeme upuhivanja potrebno je otvoriti odušnik na vrhu tanka vodeći pri tome računa da se u okolini odušnika ne smije stvoriti eksplozivna atmosfera.

Kod potiskivanja inertni plin se upuhuje manjom brzinom pri vrhu tanka, dok se odušni izlaz nalazi na dnu tanka preko cijevi koja prolazi tankom od njegova dna do otvora odušnika na vrhu tanka. Inertiranje tankova potiskivanjem je u načelu prihvaćeniji model jer zahtijeva manju količinu inertnog plina koja se upuhuje u tank (oko 1,3 volumena prostora kojeg se inertira). Međutim, ako je inertiranje tanka potrebno izvršiti u što kraćem vremenu, tada će se primijeniti metoda razrjeđivanja (potrebno je proizvesti inertnog plina u količini 3 do 4 volumena prostora kojeg se inertira). Tijekom cijelog procesa inertiranja potrebno je vršiti mjerenja prisutnosti eksplozivnih plinova, te voditi evidenciju.

#### 4.9.2 Grijanje koferdama

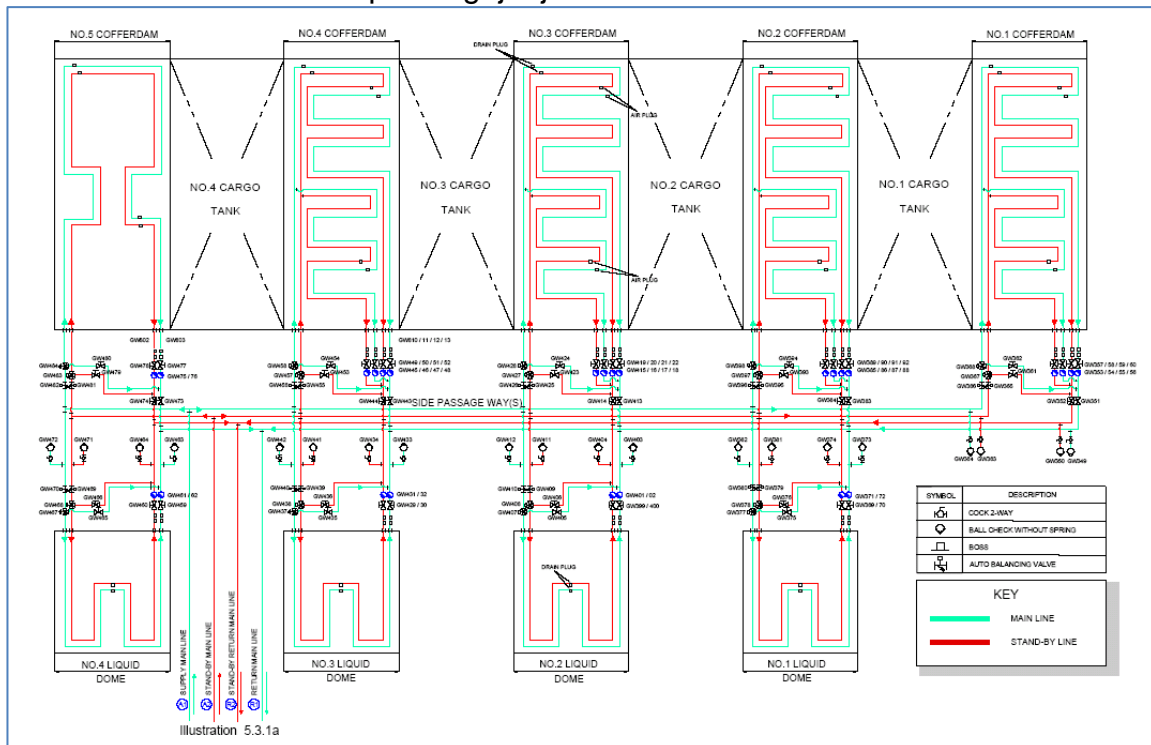
Sustav grijanja koferdama održava stalnu temperaturu koferdama od +20° C do +30°C. Svaki koferdam može se grijati sa dvije neovisne linije, tako da linija koja nije u upotrebi stoji u stanju pripravnosti (eng. stand by) i spremna je za upotrebu u slučajevima propuštanja prve, odnosno pojave gubitka tlaka u sistemu glikola. Bilo kakav kvar sustava grijanja koferdama na brodu se tretira kao ozbiljan problem i odmah se prilazi istraživanju uzroka kvara u sistemu i njegovog popravka, kako temperatura koferdama ne bi pala ispod +8°C.

Slika 24. Položaj koferdama na brodu



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 3, str. 7.

Slika 25. Shematski prikaz grijanja koferdama



Izvor: LNG Advanced Competency Course – Training book, V.Ships, 2005.

Grijač glikola smješten je u posebnom dijelu prostorije kompresora, te uz pomoć elektromotorne pumpe ugrijani glikol se tlači kroz cirkularni cjevovod glikola i distribuira temperaturu u svih pet koferdama istovremeno, kako bi se održavala potrebna temperatura unutar tih prostora.

Sustav glikola se sastoji od:

- dvije cirkulacijske elektromotorne pumpe;
- dva grijača glikola;
- jednog pomoćnog električnog grijača glikola;
- jednog ekspanzionog tanka;
- jednog skladišnog tanka za metanol;
- jednog tanka za miješanje glikola (metanola i destilirane vode);
- jedne pneumatske pumpe za dopunjavanje ekspanzijskog tanka.

Grijači glikola zagrijavaju se uz pomoć vodene pare iz strojarnice, a kondenzat se odvodi natrag u strojarnicu preko drenažnog sustava za kontaminiranu paru i vraća ponovno u sustav grijanja.

Na izlaznoj strani svakog grijača glikola nalazi se temperaturni mjerač koji mjeri trenutnu temperaturu glikola i signal šalje IAS-u (eng. Integrated Automation System) u kontrolnu sobu za upravljanje teretom. Ovaj signal se dalje obrađuje i korektivna vrijednost se šalje natrag kontrolnom ventilu koji regulira brzinu protoka glikola kroz grijač, te brzinom protoka održavao konstantnu izlaznu temperaturu glikola.

#### 4.9.3 ESDS (Emergency Shut-Down System) sklopka

Tijekom ukrcaja ili iskrcaja ESD sklopka štiti teretni sustav na brodu i na kopnu. To je poveznica putem koje se na siguran način prekida rad s broda ili kopna, ručno ili automatski. Prekida se protok LNG-a i pare gašenjem pumpi i kompresora, te zatvaranjem manifolda i brodskih ventila.

Sustav je uvijek aktivan, bilo na moru ili u luci. Postoje dva tipa ESD sklopke, ESD1 i ESD2.

Sklopka ESD1 pokreće se ili s broda ili iz luke, te se testira po dolasku u luku i prije početka teretnih operacija. U slučaju nužde kao što je požar ili povećano istjecanje tereta, časnik na straži će odmah pokrenuti ESD1 pritiskom na jedno od ESD sklopki rasprostranjenih po brodu.

**Slika 26.** ESD dugme



Izvor: LNG Shipping Knowledge, SIGTTO, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008, Vol. 3, str. 29.

ESD2 pokreće se samo sa terminala kada brod ima pomake na mjestu priveza zbog djelovanja vanjskih sila te kad se kreće izvan sigurnosnih okvira za ukrcajne ruke. Uobičajeno je da se aktivira ako se brod pomakne 1 m naprijed ili natrag od pozicije na vezu. Rezultat je isti kao kod aktiviranja ESD1 sklopke, s dodatkom odvajanja ukrcajnih ruku od brodskih manifolda putem PERC (eng. Powered Emergency Release Coupling) spojke.

## 5 TERETNE OPERACIJE

Pod pretpostavkom da brod dolazi direktno iz brodogradilišta ili suhog doka, teretne operacije idu ovim slijedom:

- Pripreme za ukrcaj
  - Sušenje
  - Inertiranje
  - Gassing-up
  - Pothlađivanje (eng. Cooling-down)
- Ukrcaj
- Putovanje s teretom
- Iskrcaj
- Putovanje u balastu
- Pripreme za dokovanje
  - Grijanje tankova (eng. Warming-up)
  - Inertiranje
  - Aeracija tankova

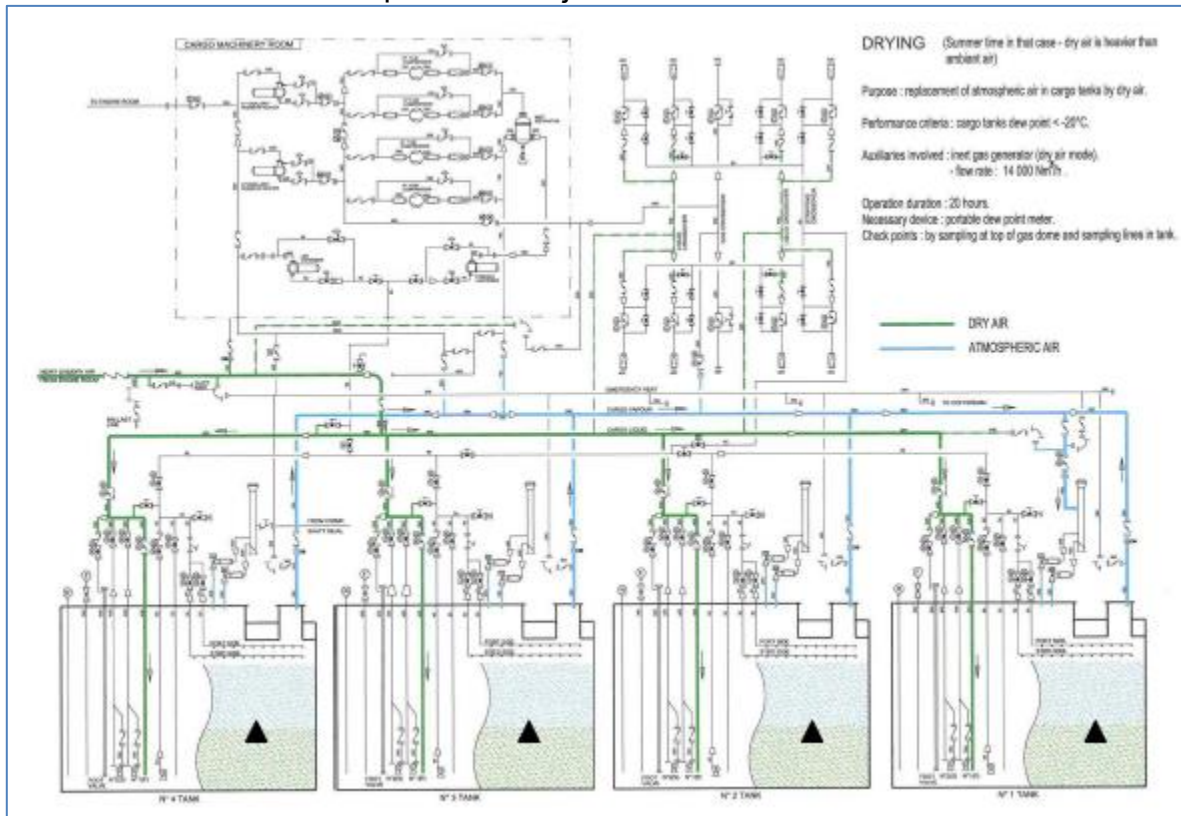
Budući su za ovaj rad bitne značajke planiranja ukrcaja tereta, prikazat će se samo operacije koje prethode ukrcaju i sam ukrcaj, odnosno od sušenja tankova do ukrcaja.

### 5.1 Sušenje (Drying)

Isušivanje tankova i cjevovoda potrebno je kako bi se uklonili ostaci vodene pare i vode iz sustava. U protivnom, zaostala vlaga može uzrokovati probleme sa zaleđivanjem unutar tankova i cjevovoda. Svrha isušivanja jest da se postigne temperatura rosišta oko  $-45^{\circ}\text{C}$ . Isušivanje tanka može se postići na nekoliko načina:

- korištenjem inertnog plina sa kopna
- korištenjem inertnog plina iz brodskog postrojenja
- korištenjem brodskih sustava sa isušivanje

**Slika 27.** Shematski prikaz sušenja tankova

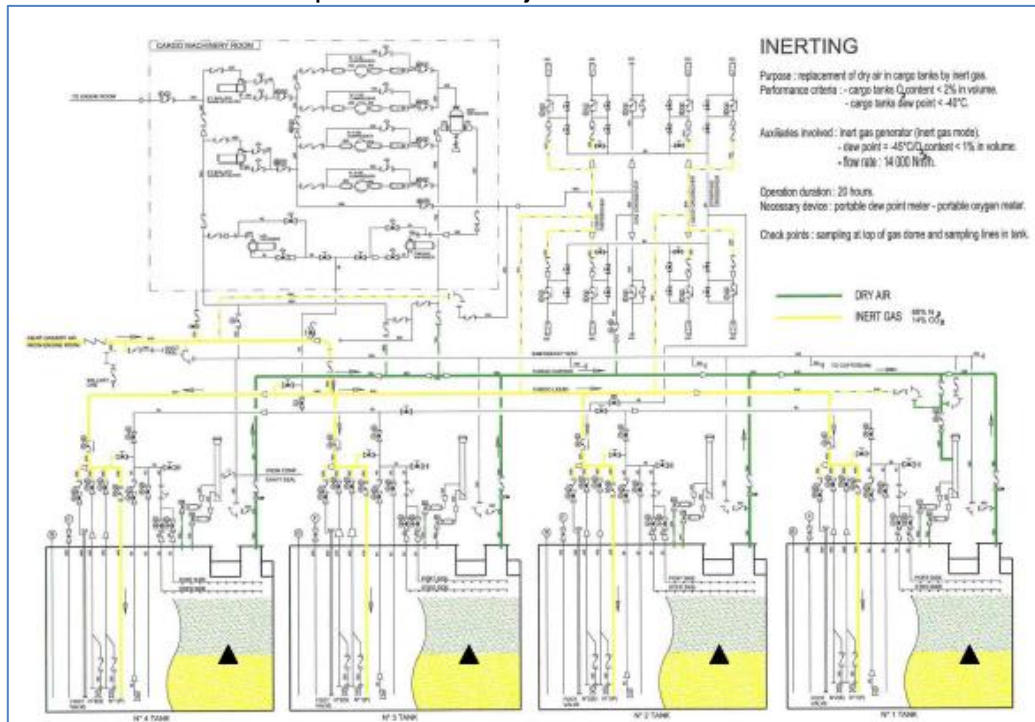


Izvor: Cargo Handling System – Training presentation, GazTransport and Technigaz, 2005.

## 5.2 Inertiranje (Inerting)

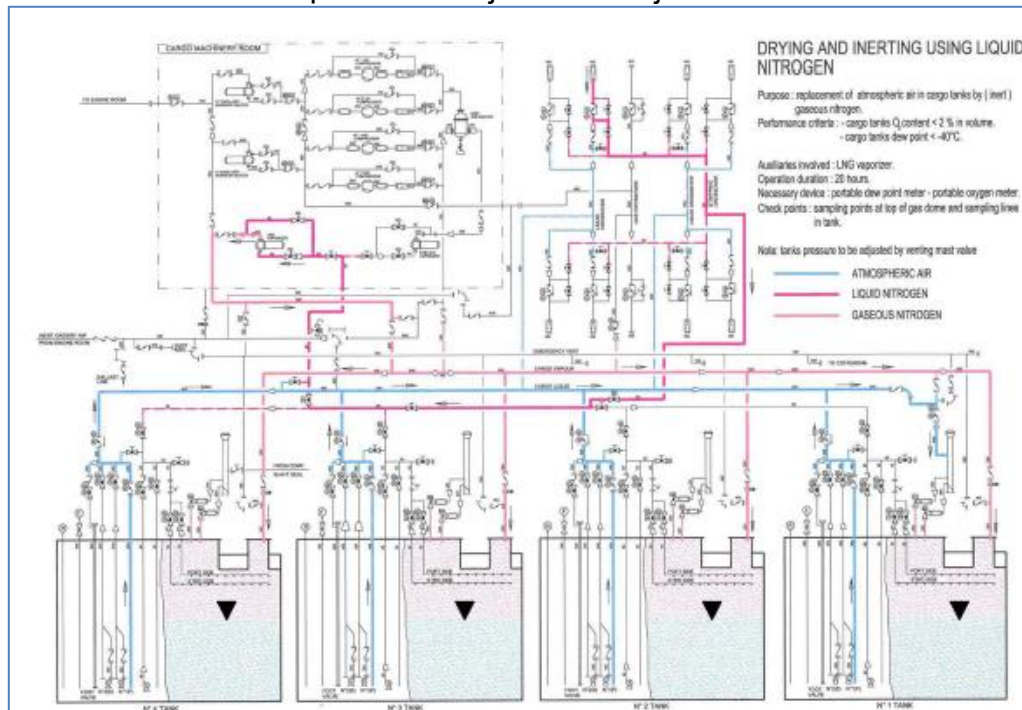
Inertiranje se provodi kako bi se spriječilo stvaranje zapaljive atmosfere u tanku i cjevovodima. Najčešće se koristi inertni plin sa broda, ali ukoliko je potrebna atmosfera bez kisika, tada se dovodi dušik sa kopna. Udio kisika u tanku mora biti manji od 2% po volumenu tanka.

**Slika 28.** Shematski prikaz inertiranja tankova



Izvor: Cargo Handling System – Training presentation, GazTransport and Technigaz, 2005.

**Slika 29.** Shematski prikaz sušenja i inertiranja tankova tekućim dušikom



Izvor: Cargo Handling System – Training presentation, GazTransport and Technigaz, 2005.

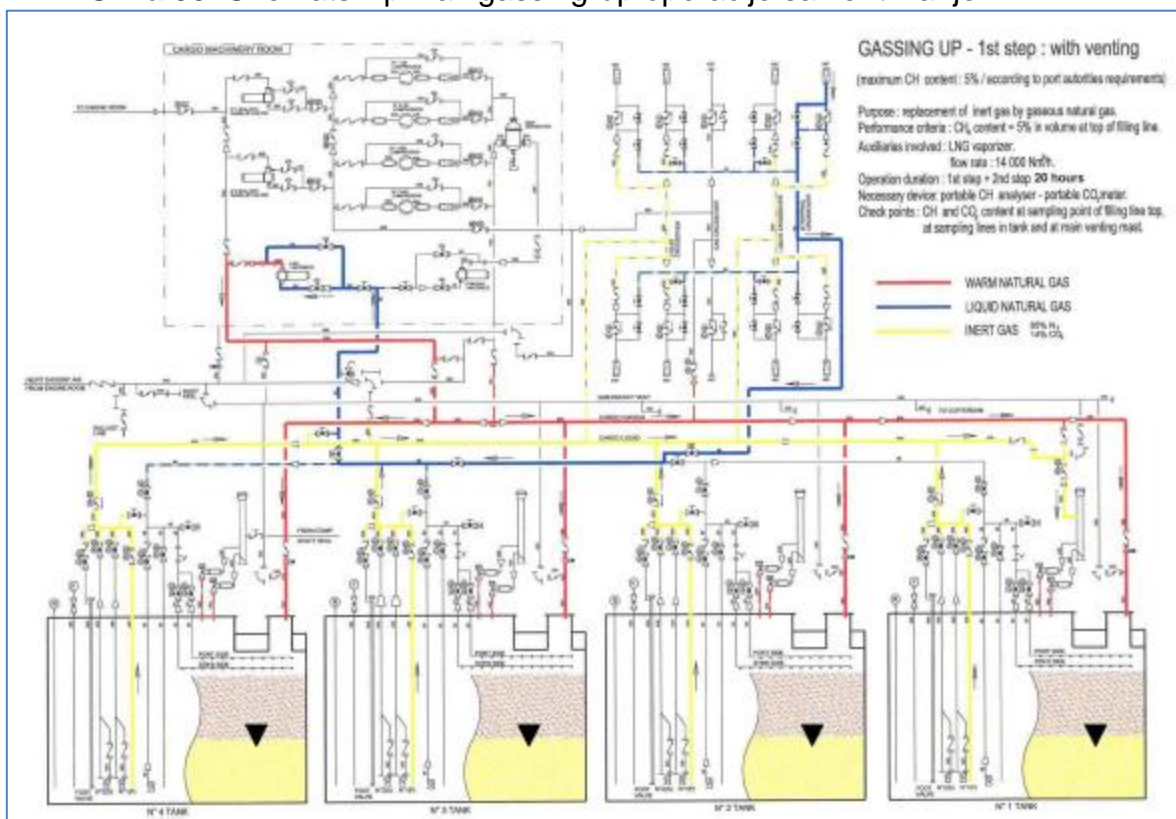


### 5.3 Gassing-up operacija

Inertni plin sadrži 14% ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) koji se smrzava na temperaturi od -60°C i nastaje bijeli prah koji često blokira (smanjuje funkcionalnost) ventile, filtere i mlaznice za pothlađivanje tankova. Da bi se to spriječilo, inertirana atmosfera unutar teretnih tankova zamjenjuje se s toplim parama LNG-a i takvu operaciju nazivamo Gassing up operacijom.

Da bi se proizvela dovoljna količina plinske faze LNG-a, potreban je tekući ukapljeni prirodni plin koji se dovodi s terminala na brodski manifold gdje ulazi u tekući cjevovod i na spoju tekućeg i sprej cjevovoda, tekući LNG usmjerava se kroz sprej liniju prema LNG isparivaču gdje se tekuća faza LNG-a pretvara u plinsku fazu s izlaznom temperaturom od +30°C do +60°C (maksimalna dozvoljena temperatura grijanja para je +80° C), te se pare LNG-a usmjeravaju prema parnoj kupoli preko kojeg ulazi u teretni tank.

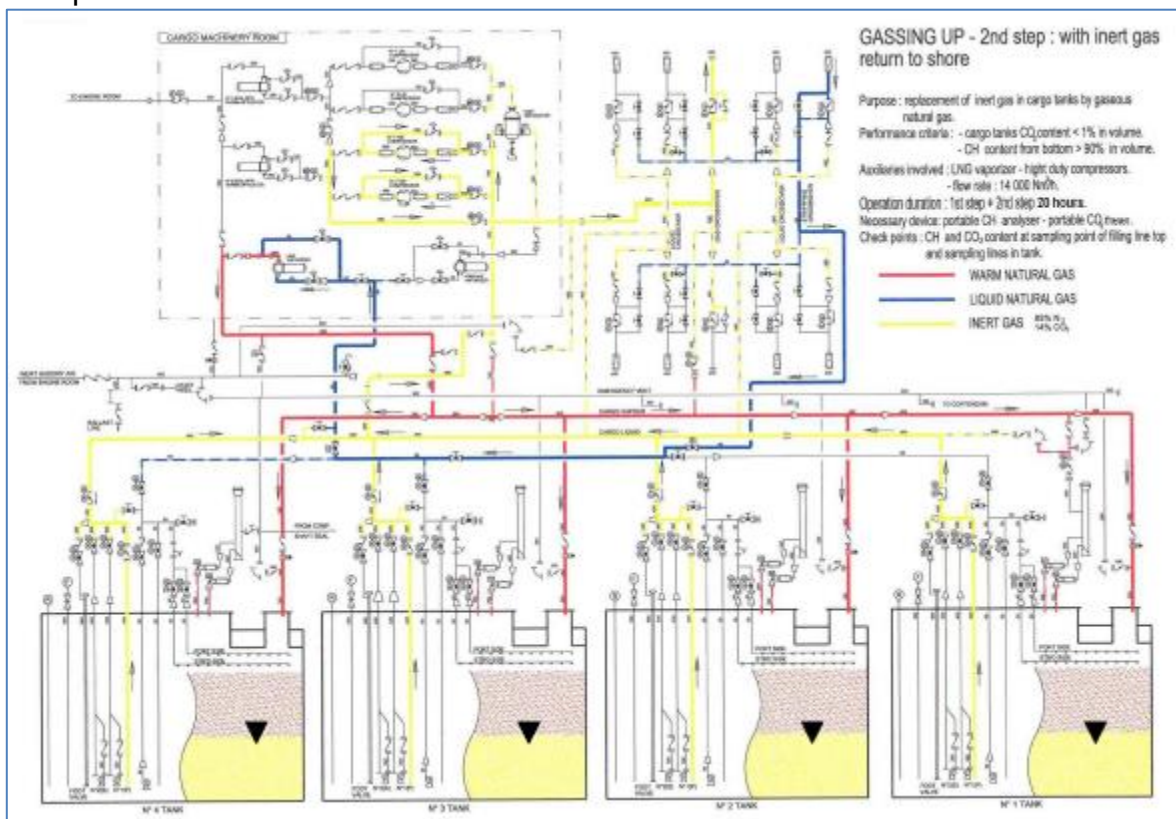
**Slika 30.** Shematski prikaz gassing-up operacije sa ventiliranjem



Izvor: Cargo Handling System – Training presentation, GazTransport and Technigaz, 2005.



**Slika 31.** Shematski prikaz gassing-up operacije sa povratom inertnog plina na kopno



Izvor: Cargo Handling System – Training presentation, GazTransport and Technigaz, 2005.

#### 5.4 Pothlađivanje (Cool-down)

Kao i prethodne dvije teretne operacija (inertiranje i Gassing up), pothlađivanje teretnih tankova izvodi se zbog pripreme tankova za ukrcaj ukapljenog prirodnog plina. Cilj operacije pothlađivanja tankova je postupno snižavanje temperature u unutrašnjosti tanka.

Brzina pothlađivanja ograničena je zbog sljedećeg:

- kako bi se izbjegle nagle promjene temperatura stijenke tanka, te kućišta teretnih i sprej pumpi;
- proizvodnja pare (prirodno isparavanje ukapljenog prirodnog plina) mora ostati u granicama usisnog kapaciteta HD kompresora kako bi se jednostavno kontrolirao tlak u tankovima, te održao na maksimalni od 20 kPa;
- kako bi se sustav napajanja dušika prema primarnoj i sekundarnoj barijeri, održao u okviru kapaciteta radnog tlaka i zbog održavanja izolacijskih prostora na zadanom tlaku.

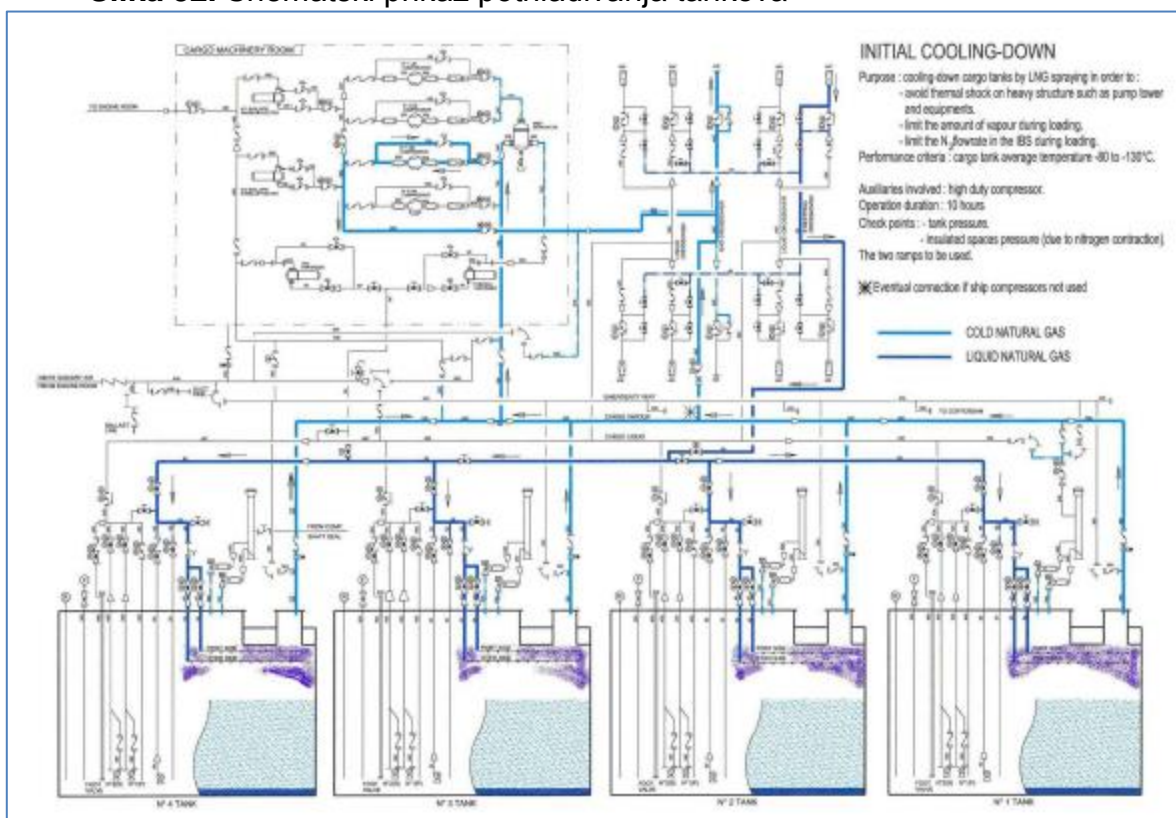
Za razliku od kruto dizajniranih teretnih tankova i mnajih operacijskih ograničenja kod ostalih vrsta tankera, vertikalni termalni gradijent u stijenkama tankova i opreme (tronogi toranj, cjevovodi, pumpe tereta, sprej pumpa i dr.) je važan za brzinu pothlađivanja tankova kod LNG tankera.

LNG se dovodi sa terminala do manifolda tekućeg cjevovoda i dalje preko sprej cjevovoda direktno u parni razdjelnik raspršivača (eng. spray nozzles) u tanku.

Hlađenje tankova smatra se završenim kada temperatura u svakom tanku iznosi  $-130^{\circ}\text{C}$  (dno tanka) i niže, odnosno  $-90^{\circ}\text{C}$  (vrh tanka). Kada se dosegne tražena temperatura i CTMS (eng. Cargo Transfer Measurement System) registrira prisutnost tekućine, tada se pristupa pothlađivanju teretnih cjevovoda.

Para proizvedena za vrijeme hlađenja tankova vraća se na terminal preko HD kompresora ili slobodnim tokom (eng. by gravity) kroz parni manifold.

**Slika 32.** Shematski prikaz pothlađivanja tankova

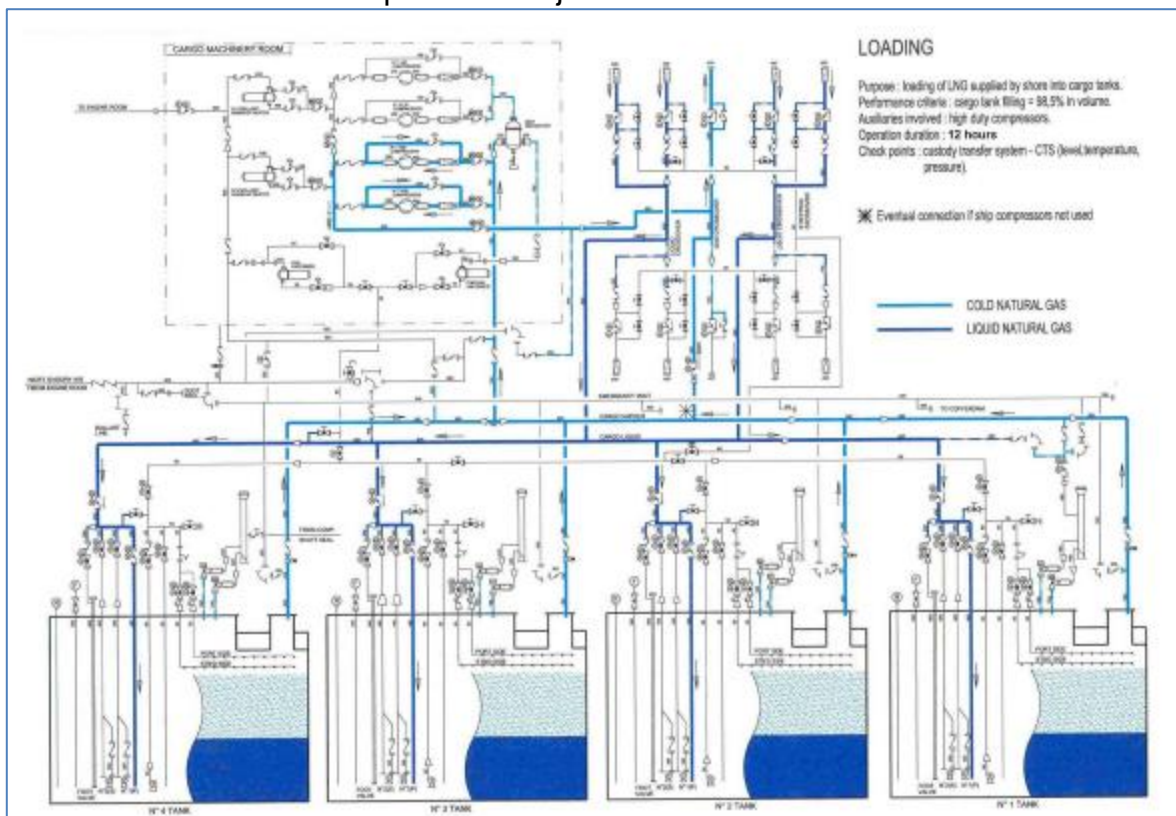


Izvor: Cargo Handling System – Training presentation, GazTransport and Technigaz, 2005.

## 5.5 Ukrcaj tereta (Loading)

Ukrcaj se odvija u „zatvorenom krugu“, što znači da LNG dolazi sa terminala, a pare nastale prilikom ukrcaja se vraćaju na kopno. Ukrcaj započinje malom brzinom kako bi se pothladili cjevovodi i provjerilo moguće propuštanje tereta. Obično je pothlađivanje cjevovoda zasebna operacija koja traje oko sat vremena. Nakon toga se brzina ukrcaja može postepeno povećavati do maksimalne brzine ukrcaja, te je potrebno održavati tlak u tankovima na radnoj razini.

Slika 33. Shematski prikaz ukrcaja LNG-a



Izvor: Cargo Handling System – Training presentation, GazTransport and Technigaz, 2005.

## 6 IGC PRAVILNIK

Međunarodni pravilnik o konstrukciji i opremi brodova za prijevoz ukapljenih plinova (International Code for the Construction and Equipment of Ships for Carrying Liquefied Gases in Bulk – IGC Code) temelj je normi koje obuhvaćaju opremanje LNG i LPG tankera odobrenom sigurnom opremom.

Pravilnik pod gornjim naslovom usvojen je kao preporuka na Generalnoj skupštini IMCO-a u studenom 1975. godine. Svrha mu je utvrđivanje međunarodnih normi sigurnog prijevoza ukapljenih plinova i drugih plinovitih tvari propisivanjem konstrukcijskih svojstava brodova i opreme u cilju minimiziranja rizika za brod, posadu i morski okoliš.

Od trenutka usvajanja kao preporuke, IGC pravilnik se primjenjuje na sve nove brodove. Glavni nedostatak cijele akcije krio se u činjenici da je IGC pravilnik imao samo karakter preporuke, stoga za niti jednu zemlju nije bio obvezan. Tada se počelo razmišljati o njegovoj obveznoj primjeni, što je usvojeno 1983. godine. Od tada postaje sastavni dio SOLAS konvencije i kao takav obvezatna je njegova primjena od 1. Srpnja 1986. godine.

IGC pravilnik primjenjuje se na sve brodove, bez obzira na veličinu, koji su namijenjeni prijevozu ukapljenih plinova sa apsolutnim tlakom pare većim od 2,8 bara na temperaturi od 37,8°C i ostalih tereta koji se prevoze takvim brodovima.

Usklađenost broda i brodskih pripadaka sa IGC pravilnikom dokazuje se Međunarodnom svjedodžbom o sposobnosti za prijevoz ukapljenih plinova u rasutom stanju (eng. International Certificate of Fitness for the Carriage of Liquefied Gases in Bulk). U svjedodžbu se upisuju svi plinovi koje je brod osposobljen prevoziti, grafički prikaz rasporeda skladišta s popisom plinova koji se mogu prevoziti u svakom skladištu, te tablica kompatibilnosti za nabrojane plinove.

IGC pravilnik sastoji se od 19 glava i priloga:

- Glava 1 – Opće odredbe (Primjena, definicija, nadzor i svjedodžbe)
- Glava 2 – Otpornost broda na oštećenje i razmještaj tankova za teret (Nadvođe, uvjeti krcanja, pretpostavke o oštećenju u naplavlivanju broda, standardizacija mogućih šteta)
- Glava 3 – raspored prostora na brodu (odjeljivanje teretnih tankova, prostor za smještaj posade, prostor za rukovanje teretom, pristupi, pregrade)
- Glava 4 – Prostor za smještaj tereta (definicije vrsta tankova, standardi čvrstoće njihove konstrukcije, izvedbeni materijali, testiranja)
- Glava 5 – brodovi s uređenjem za tlačenje tereta, tlačni vodovi, vodovi za tekuće i plinovite tvari (testiranje vodova i zapornih ventila, metode za premještaj tereta na brodu)

- Glava 6 – materijali za izvedbu
- Glava 7 – kontrola tlaka i temperature tereta (posebno u sustavima za hlađenje tereta)
- Glava 8 – sustavi za ventiliranje tankova tereta
- Glava 9 – kontrola tankova i prostora oko njih zbog zaštite okoliša (posebno inertiranju i proizvodnji inertnog plina na brodu)
- Glava 10 – električne instalacije
- Glava 11 – zaštita od požara i gašenje požara (voda, pjena, prah, oprema vatrogasne ekipe)
- Glava 12 – mehanička ventilacija teretnog prostora
- Glava 13 – instrumenti – mjerenja i utvrđivanje prisutnosti plina (indikatori razine tereta, kontrola prelijevanja, mjerenja tlaka, temperature i prisutnosti plina)
- Glava 14 – osobna zaštita (zaštitna oprema, pribor za prvu pomoć)
- Glava 15 – granica krcanja tereta (apsolutne granice, podaci o teretu koje je zapovjednik dužan pribaviti)
- Glava 16 – upotreba tereta za gorivo
- Glava 17 – posebni uvjeti (odredbe o samostalnim tankovima, palubni vodovi za teret, maksimalno dozvoljena količina tereta po tanku, posebni zahtjevi za neke plinove)
- Glava 18 – Obvezni radni postupci (informacije o teretu, provjera kompatibilnosti tereta, obuka posade, ulazak u teretne tankove, prijevoz tereta na niskim temperaturama, zaštitna oprema, kontrola, prekrcajne operacije, posebni zahtjevi)
- Glava 19 – sažetak minimalnih uvjeta
- Prilog – svjedodžba o sposobnosti broda za prijevoz ukapljenih plinova u rasutom stanju (koju izdaje državna uprava na temelju izvršenog pregleda)

## 7 ZAKLJUČAK

LNG flota je u stalnom usponu, a jedan od presudnih faktora za tu tvrdnju je cijena nafte koja raste (umjesto najčešće građenih LNG tankera do 150 000 m<sup>3</sup>, u novije vrijeme sve su brojnije narudžbe LNG tankera kapaciteta od preko 200 000 m<sup>3</sup>).

U prilog ovome idu i činjenice da su LNG tankeri kvalitetno izrađeni, te se tijekom njihove eksploatacije posebna pažnja posvećuje njihovom održavanju, te se mijenja psihološki pristup prema brodovima takvog tipa kao nesigurnima i opasnim. S druge strane LNG kao gorivo je ekološki prihvatljivo zbog smanjene emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>), u odnosu na ostale izvore naftnih produkata.

Brodovi za prijevoz ukapljenih plinova su vrlo složeni sustavi gdje se nalazi velika koncentracija raznih uređaja unutar sustava za rukovanje teretom. Ovim radom su se približile neke od značajki bitnih za ukrcaj ukapljenog prirodnog plina, od svojstava tereta koji se ukrcava, preko opreme kojom se vrši ukrcaj, do teretnih operacija. Svako poglavlje objašnjava jedan dio sustava. Međutim, potrebno je poznavanje svih karakteristika kako bi se ukrcaj izvršio pouzdano i sigurno.

## LITERATURA

1. Belamarić, G.: Teretni sustav LNG tankera,  
<https://www.pfst.hr/old/data/materijali/teretni%20sustav%20lng%20tankera.pdf>, 05.08.2013.
2. Bronzan, B.: LNG, Energetika marketing, Zagreb, 1999.
3. Komadina, P., Lovrović, M., Martinović, D., Matković, M., Stanković, P., Vranić, D., Zorović, D.: Prijevoz ukapljenih plinova morem, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka, 1992.
4. McGuire and White, Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals, Witherby Publishers, Bermuda, 2000
5. Posavec, D., Simon, K., Malnar M.: Brodovi za ukapljeni prirodni plin,  
<http://hrcak.srce.hr/file/92363>, 05.08.2013., str. 55-62
6. GazTransport and Technigaz: Cargo Handling System – Training presentation, 2005.
7. SIGTTO: LNG Shipping Knowledge – Underpinning knowledge to the SIGTTO 2005 standards, Vol. 1-6, Witherby Seamanship International Ltd, Livingston, 2008
8. Tehnički fakultet u Rijeci: Brodski sustavi za transport ukapljenog plina – prezentacija,  
[http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_teh\\_term\\_energ/katedra3/Brodski\\_sustavi/15\\_Sustavi%20na%20LNG%20tankerima.ppt](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra3/Brodski_sustavi/15_Sustavi%20na%20LNG%20tankerima.ppt), 05.08.2013.
9. V.Ships Group: LNG Advanced Competency Course – Training book, 2005.

## POPIS ILUSTRACIJA

SLIKA 1. SASTAV PRIRODNOG PLINA.....	3
SLIKA 2. PROIZVODNJA I UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA .....	4
SLIKA 3. SASTAV LNG-A S OBZIROM NA IZVOR .....	5
SLIKA 4. RAZLIČITE IZVEDBE LNG TANKERA .....	11
SLIKA 5. PODJELA TERETNIH TANKOVA .....	12
SLIKA 6. PRIKAZ MOSS TANKA.....	13
SLIKA 7. KUPOLA MOSS TANKA .....	14
SLIKA 8. KONSTRUKCIJA IZOLACIJE SUSTAVA GAZ TRANSPORT NO 96.....	15
SLIKA 9. PRIKAZ GAZ TRANSPORT TANKA.....	16
SLIKA 10. KONSTRUKCIJA IZOLACIJE SUSTAVA TECHNIGAZ MARK LLL.....	17
SLIKA 11. PRIKAZ UNUTRAŠNOSTI TECHNIGAZ MARK LLL TANKA .....	17
SLIKA 12. KONSTRUKCIJA IZOLACIJE KOMBINIRANOG SUSTAVA „CS1“ .....	18
SLIKA 13. PRIKAZ UNUTRAŠNOSTI TANKA KOMBINIRANOG SUSTAVA „CS1“ .....	18
SLIKA 14. SHEMATSKI PRIKAZ TERETNE PUMPE .....	20
SLIKA 15. SPREJ PUMPA.....	21
SLIKA 16. SHEMATSKI PRIKAZ PROSTORIJE KOMPRESORA I HD KOMPRESORA .....	22
SLIKA 17. SHEMATSKI PRIKAZ PROSTORIJE KOMPRESORA I LD KOMPRESORA.....	22
SLIKA 18. SHEMATSKI PRIKAZ PROSTORIJE KOMPRESORA I LNG ISPARIVAČA .....	23
SLIKA 19. LNG ISPARIVAČ .....	24
SLIKA 20. SHEMATSKI PRIKAZ PROSTORIJE KOMPRESORA I PRISILNOG ISPARIVAČA .....	25
SLIKA 21. SHEMATSKI PRIKAZ PROSTORIJE KOMPRESORA I GRIJAČA PLINA .....	26
SLIKA 22. MOSS RS SUSTAV UKAPLJIVANJA.....	27
SLIKA 23. A) GENERATOR INERTNOG PLINA (TEEKAY); B) GLAVNI DIJELOVI GENERATORA INERTNOG PLINA .....	28
SLIKA 24. POLOŽAJ KOFERDAMA NA BRODU.....	30
SLIKA 25. SHEMATSKI PRIKAZ GRIJANJA KOFERDAMA .....	30
SLIKA 26. ESD DUGME .....	32
SLIKA 27. SHEMATSKI PRIKAZ SUŠENJA TANKOVA .....	34
SLIKA 28. SHEMATSKI PRIKAZ INERTIRANJA TANKOVA.....	35
SLIKA 29. SHEMATSKI PRIKAZ SUŠENJA I INERTIRANJA TANKOVA TEKUĆIM DUŠIKOM.....	35
SLIKA 30. SHEMATSKI PRIKAZ GASSING-UP OPERACIJE SA VENTILIRANJEM .....	36
SLIKA 31. SHEMATSKI PRIKAZ GASSING-UP OPERACIJE SA POVRATOM INERTNOG PLINA NA KOPNO .....	37
SLIKA 32. SHEMATSKI PRIKAZ POTHLAĐIVANJA TANKOVA.....	38
SLIKA 33. SHEMATSKI PRIKAZ UKRCAJA LNG-A.....	39