

# Analiza i specifičnosti inert postrojenja i samog inertnog plina na različitim vrstama tankera

---

Marević, Ivan-Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:644642>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-29**

*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**IVAN – MARIN MAREVIĆ**

**ANALIZA I SPECIFIČNOSTI INERT  
POSTROJENJA I SAMOG INERTNOG  
PLINA NA RAZLIČITIM VRSTAMA  
TANKERA**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2022.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA**

**ANALIZA I SPECIFIČNOSTI INERT  
POSTROJENJA I SAMOG INERTNOG  
PLINA NA RAZLIČITIM VRSTAMA  
TANKERA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**

**Doc. dr. sc. Rino Bošnjak**

**STUDENT:**

**Ivan – Marin Marević  
(MB:0171278795)**

**SPLIT, 2022.**

## SAŽETAK

*Tri uvjeta su potrebna da bi vatra ili eksplozija bila moguća. Ta tri uvjeta su goriva tvar, toplina i odgovarajući udio kisika. Ti uvjeti poznati su kao „trokut vatre“. Kao što trokut nije trokut bez jedne od svoje tri stranice, tako vatra i eksplozija ne mogu nastati ako nisu sva tri uvjeta ispunjena. Uvođenjem inertnog plina u brodski sustav eliminiramo mogućnost vatre uklanjanjem određenog udjela kisika. Inertni plin može se definirati kao plin koji nema dovoljno kisika da bi podržavao gorenje. Ovaj rad bavi se upravo inertnim plinom. Objasnit ćemo kako sustav inertnog plina funkcionira na brodu, njegovu eksploataciju i sve elemente sustava. Posebna pažnja je posvećena elementima sustava i opisu rukovanja inertnim plinom pri radnim operacijama na tankerima.*

**Ključne riječi:** *sustav inertnog plina, vatra, eksplozija, tanker*

## ABSTRACT

*Three conditions must be fulfilled so that fire or explosion can occur. Those three conditions are fuel, heat and sufficient amount of oxygen. These conditions are known as „fire triangle“. As the triangle is not triangle without one of its three sides, neither is fire or explosion possible if all three conditions are not fulfilled. Entering of inert gas in the system eliminates possibility of fire by removing of certain amount of oxygen. Inert gas can be defined as gas which does not have enough oxygen to support burning. This paper deals right with inert gas. We will explain how system of inert gas works on ship, his exploitation and all elements of the system. Special attention is paid to elements of the system and to description of inert gas handling operations on tankers.*

**Keywords:** *inert gas system, fire, explosion, tanker*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. POVIJESNI ASPEKT INERTNOG PLINA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. OPASNOSTI OD EKSPLOZIJE</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1. IZGARANJE</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2. EKSPLOZIJA</b> .....	<b>8</b>
<b>3.3. GRANICE EKSPLOZIVNOSTI</b> .....	<b>8</b>
<b>3.4. TOČKA ISKRENJA</b> .....	<b>11</b>
<b>3.5. IZVORI PALJENJA</b> .....	<b>11</b>
<b>4. NAČINI DOBIJANJA INERTNOG PLINA</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1. DOBIVANJE INERTNOG PLINA POMOĆU ISPUŠNIH PLINOVA IZ STROJARNICE</b> .....	<b>12</b>
<b>4.2. GENERATOR INERTNOG PLINA</b> .....	<b>13</b>
<b>4.3. ZAHTJEVI ZA SUSTAV INERTNOG PLINA</b> .....	<b>14</b>
<b>4.4. INERTIRANJE TANKOVA</b> .....	<b>15</b>
<b>4.4.1. INERTIRANJE TANKOVA POTISKIVANJEM</b> .....	<b>15</b>
<b>4.4.2. INERTIRANJE TANKOVA MIJEŠANJEM</b> .....	<b>15</b>
<b>5. INERT POSTROJENJE</b> .....	<b>17</b>
<b>5.1. PREČISTAČ DIMNIH PLINOVA</b> .....	<b>17</b>
<b>5.2. GLAVNI ZAPORNI VENTIL</b> .....	<b>21</b>
<b>5.3. PALUBNA VODENA BRTVA</b> .....	<b>21</b>
<b>5.4. VENTILATORI</b> .....	<b>23</b>
<b>5.5. CJEVOVODI</b> .....	<b>24</b>
<b>5.6. MJERNI INSTRUMENTI I ALARMI</b> .....	<b>25</b>
<b>5.6.1. Mjerač temperature i tlaka</b> .....	<b>26</b>
<b>5.6.2. Analizator kisika</b> .....	<b>26</b>
<b>6. UPRAVLJANJE INERTNIM PLINOM TIJEKOM RADNIH OPERACIJA NA TANKERU</b> .....	<b>28</b>
<b>6.1. PUNJENJE PRAZNOG BRODA INERTNIM PLINOM</b> .....	<b>28</b>
<b>6.2. UKRCAJ TERETA</b> .....	<b>29</b>
<b>6.3. PRIJEVOZ TERETA</b> .....	<b>30</b>
<b>6.4. ISKRCAJ TERETA</b> .....	<b>30</b>

<b>6.5. UKRCAJ BALASTA .....</b>	<b>31</b>
<b>6.6. PRANJE TANKOVA TERETA .....</b>	<b>32</b>
<b>6.6.1. Pranje tanka sirovom naftom .....</b>	<b>32</b>
<b>6.6.2. Pranje vodom .....</b>	<b>32</b>
<b>6.7. OSLOBAĐANJE PLINOVA U TANKU .....</b>	<b>33</b>
<b>6.8. ODRŽAVANJE SUSTAVA INERTNOG PLINA.....</b>	<b>33</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>34</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>35</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>36</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>37</b>
<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>38</b>

# 1. UVOD

Da bi požar, odnosno vatra bila moguća, moraju biti ispunjena tri uvjeta: dovoljna količina kisika, goriva tvar te dostatna toplina. Ova tri uvjeta poznata su kao “vatreni trokut” ili “trokut izgaranja”. Ključna riječ je “trokut” jer, kao što mu samo ime govori sastoji se od tri kuta tj. tri stranice te bi se uklanjanjem bilo koje od tih stranica gubio pojam i smisao trokuta. Na taj način funkcionira i vatra. Ona je moguća jedino i isključivo u slučaju da su sva tri uvjeta “vatrenog trokuta” ispunjena. Naravno, vatra, eksplozija, odnosno požar ili nekontrolirano gorenje, na brodu je strah svakog pomorca pogotovo na brodovima s opasnim i lako zapaljivim teretima kao što su tankeri. Taj neželjeni ishod sprječava se uništenjem “vatrenog trokuta” na način da se ukloni jedna njegova stranica – kisik. Ona se uništava uz pomoć inertnog plina. Upravo je inertni plin središnja tema ovoga rada. Inertni plin definiran je kao plin, ili mješavina plinova koja sadrži nedovoljno kisika za mogućnost izgaranja ugljikovodika.

U drugom poglavlju opisane su nesreće koje su prethodile uvođenju inertnog plina. Nažalost, kao i većina velikih izuma i promjena današnjice, ni inertni plin nije izuzet ljudskih žrtava te je njegovom obaveznom uvođenju na brodove prethodilo stradanje većeg broja pomoraca.

Treće poglavlje bavi se općenito pojmovima kao što su izgaranje, eksplozija i ostali slični pojmovi koji se moraju poznavati kako bi lakše shvatili princip funkcioniranja sustava inertnog plina na brodovima.

U četvrtom poglavlju opisuju se načini dobijanja inertnog plina na brodovima te se potanko objašnjavaju. Objašnjeni su i zahtjevi koje inertni plin mora ispunjati na brodovima kao i dva osnovna principa inertiranja tankova miješanjem i potiskivanjem.

Peto poglavlje objašnjava svaki element sustava inertnog plina, obrađuje ih i predstavlja izvedbe tih uređaja kao i njihovu funkciju u sustavu inertnog plina.

U šestom poglavlju detaljno objašnjavamo rukovanje inertnim plinom pri raznim operacijama teretom na brodu. Ovom poglavlju je dana posebna pažnja jer je poznavanje ovog poglavlja ključno za sigurno rukovanje inertnim plinom na brodu.

Sedmo poglavlje je zaključak u kojem je sažet cijeli rad.

## 2. POVIJESNI ASPEKT INERTNOG PLINA

Velika većina inovacija i novih tehnologija u svijetu pomorstva, kao i u ostalim vrstama prijevoza, dolazile su kao posljedica nesreća koje su nerijetko imale i smrtne ishode. Ni upotreba inertnog plina nažalost nije izuzetak.

Godine 1969. dogodile su se četiri velike pomorske nesreće od toga tri su bile u razmaku od samo 17 dana. 24. Srpnja 1969. godine u 4 sata i 15 minuta po lokalnom vremenu, u blizini francuskog grada Marseillea dogodila se serija eksplozija na norveškom brodu “MV Silja” uzrokovanih sudarom s francuskim brodom “Ville de Majunga”. Eksplozije su bile toliko jake da su probudile ljude na obali. Poginulo je 20 članova posade, a 19 ih je spašeno. [1]



**Slika 1. MV Silja [1]**

Na putu od Rotterdama prema Perzijskom zaljevu, na brodu pod nizozemskom zastavom “SS Marpessa” oko podneva 12. prosinca 1969. na približno sto nautičkih milja od Dakra, izbija požar potaknut eksplozijom u centralnom tanku broj 5. Nastao je tijekom završne faze čišćenja tog tanka, što je bila redovna procedura. Eksplozija je uništila sve palubne pregrade pa je lokaliziranje i gašenje požara postalo nemoguće te je brod potonuo. [2]





**Slika 2. SS Marpessa prije nesreće [2]**



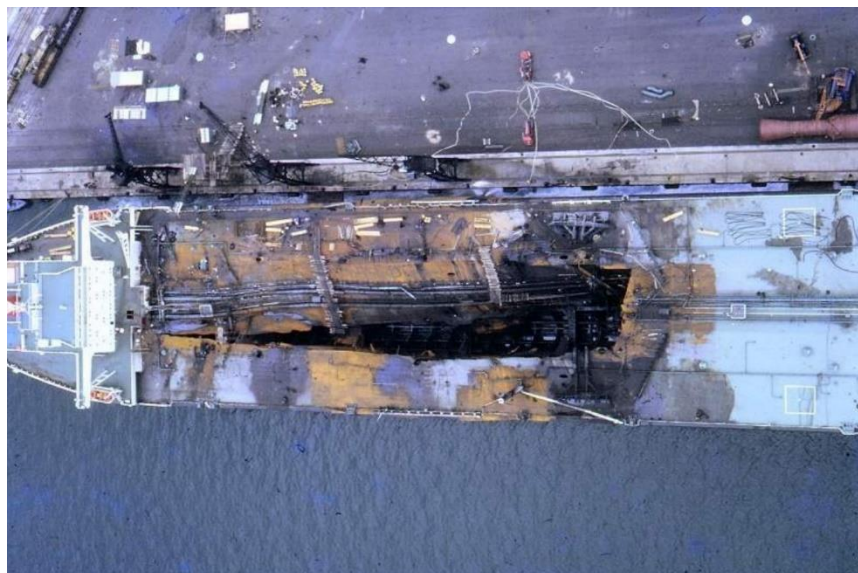
**Slika 3. Potonuće broda SS Marpessa [2]**

Iako je brod izgubljen za sva vremena u bespućima morskih dubina, na sreću nije bilo ljudskih žrtava što se nažalost ne može reći za sljedeće slučajeve.

29. prosinca 1969. godine, događa se eksplozija na brodu "SS Mactra" u vlasništvu ugledne britanske kompanije "Shell". Nesreća se dogodila u centralnom tanku broj 4 i od siline eksplozija je raznijela također i centralne tankove 3 i 5. Za razliku od prijašnjeg slučaja, eksplozija nije nanijela značajnija oštećenja strojarnicu te je trup izdržao udar i tako održao brod na površini mora. U nesreći su nastradala dva pomorca, a četvorica su pretrpili ozljede uslijed zadobivenih opekline. [3]



**Slika 4. SS Mactra prije nesreće [4]**



**Slika 5. SS Mactra nakon eksplozije [4]**

Nakon samo nekoliko sati još jedna eksplozija se dogodila na brodu “Kong Haakon VII” u vlasništvu norveške kompanije A/S Julian. Brod se nalazio u blizini Liberije kada se dogodila eksplozija koja je uništila sredni dio palube i koja je odnijela dva života. Brod je privremeno popravljen u gradu Dakar krajem ožujka 1970-e godine odakle je otišao u brodogradilište Lisnave u Portugalu gdje je nakon osam mjeseci vraćen u aktivnu službu. [5]



**Slika 6. Kong Haakon VII [5]**



**Slika 7. Kong Haakon VII nakon eksplozije [5]**

Dvije i pol godine iza, 21. Kolovoza 1972-e godine događa se još veća, do tada nezapamćena tragedija. U blizini Stillbaia u Južnoj Africi nakon sudara prouzročenog maglom i nestručnim ili neprofesionalnim motrenjem časnika na straži, dolazi do sudara dva tankera “SS Texanita” i “SS Oswego – Guardian” nakon čega slijedi eksplozija na tankeru “SS Texanita” uzrokovana miješanjem para iz praznih teretnih tankova. Eksplozija cijepa brod na dva dijela, prouzročivši potonuće istog u samo četiri minute. Posljedice ovog nesretnog događaja su bile katastrofalne. Poginulo je 47 članova posade s broda Texanita,

kao i jedna osoba s Oswego – Guardian te je prouzročena ekološka katastrofa zbog izlivanja nafte.

Nakon ovih nesreća pokrenute su velike istrage na nagovor velikih brodarskih kompanija. Jedno od ishoda tih istraga bilo je obavezno uvođenje inert postrojenja te inertnog plina na tankerima. [6]

### 3. OPASNOSTI OD EKSPLOZIJE

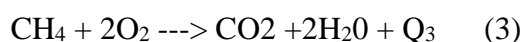
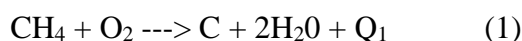
Brodovi kod kojih je izražena opasnost od eksplozije i požara su tankeri. To su brodovi koji služe za prijevoz nafte i naftnih preradevina, to jest, tereta koji u pravilu oslobađaju eksplozivne pare ugljikovodika što dovodi do rizika prilikom rukovanja s takvim teretima. Najveći rizik postoji prilikom operacija kod iskrcavanja tereta gdje se opasne pare tereta miješaju sa zrakom i tako stvaraju eksplozivnu smjesu plinova. Do eksplozije u takvoj smjesi može doći ukoliko postoji izvor paljenja dovoljne energije, a to može biti otvoreni plamen, iskre statičkog elektriciteta kao i električne i mehaničke iskre, dodir s toplim površinama itd. To se može izbjeći uklanjanjem svih izvora paljenja iz prostora gdje se eksplozivne pare nalaze, a to nije uvijek moguće ostvariti prvenstveno zbog operacija rukovanja teretom i pranja tankova gdje postoji mogućnosti stvaranja statičkog elektriciteta.

U praksi se eksplozija spriječava kontrolom atmosfere u tanku koja se postiže inertiranjem jer se tim načinom smanjuju koncentracije para tereta i kisika ispod granice koja bi bila pogodna za eksploziju ili vatru. [7]

#### 3.1. IZGARANJE

Izgaranje je kemijski proces vezivanja gorive tvari s kisikom pri čemu se oslobađaju toplina i plamen. To je egzotermna reakcija kisika i goriva, odnosno gorive tvari te može biti više ili manje potpuno, a to ovisi o količini kisika. Kod izgaranja metana, ukoliko je izgaranje nepotpuno, oksidirati će vodik stvarivši vodenu paru, a ugljik će se pronaći u obliku čađe uz oslobađanje određene topline  $Q_1$ . Dovedemo li još malo kisika metanu vodik će se povezati s kisikom i oksidacija ugljika će stvoriti ugljični monoksid te će se stvoriti veća toplina  $Q_2$ . Ukoliko dovedemo stehiometrijsku količinu kisika (dovoljnu za potpuno izgaranje gorive tvari), gorenjem će nastati ugljikov dioksid i vodena para te će se osloboditi najveća količina topline  $Q_3$ . [7]

Ovo se može prikazati u sljedeće tri kemijske jednadžbe:



### 3.2. EKSPLOZIJA

Kemijska eksplozija je brza egzotermna reakcija spajanja gorive tvari s kisikom koju karakterizira nagli porast temperature i tlaka. Razlikuje se od izgaranja upravo u brzini širenja reakcije. Kod izgaranja brzina širenja reakcije je ustaljena te je dostatna da podrži proces izgaranja, a kod eksplozije se naglo povećava oslobođena energija kao i porast temperature.

Brzina kojom se širi fronta eksplozije za plinove iznosi oko 300m/s. Ukoliko je brzina širenja fronta paljenja kroz eksplozivnu smjesu brža od brzine zvuka tada govorimo o detonaciji.

Brzina detonacije za propan i druge zasićene ugljikovodike u smjesi sa zrakom iznosi oko 1700m/s, a inače može iznositi čak do 3000m/s. [7]

### 3.3. GRANICE EKSPLOZIVNOSTI

Dokazano je da do eksplozije može doći, osim ako je zadovoljen trokut zapaljivosti, u slučaju kada je kisik prisutan u točno određenom omjeru koji je povoljan za održavanje gorenja.

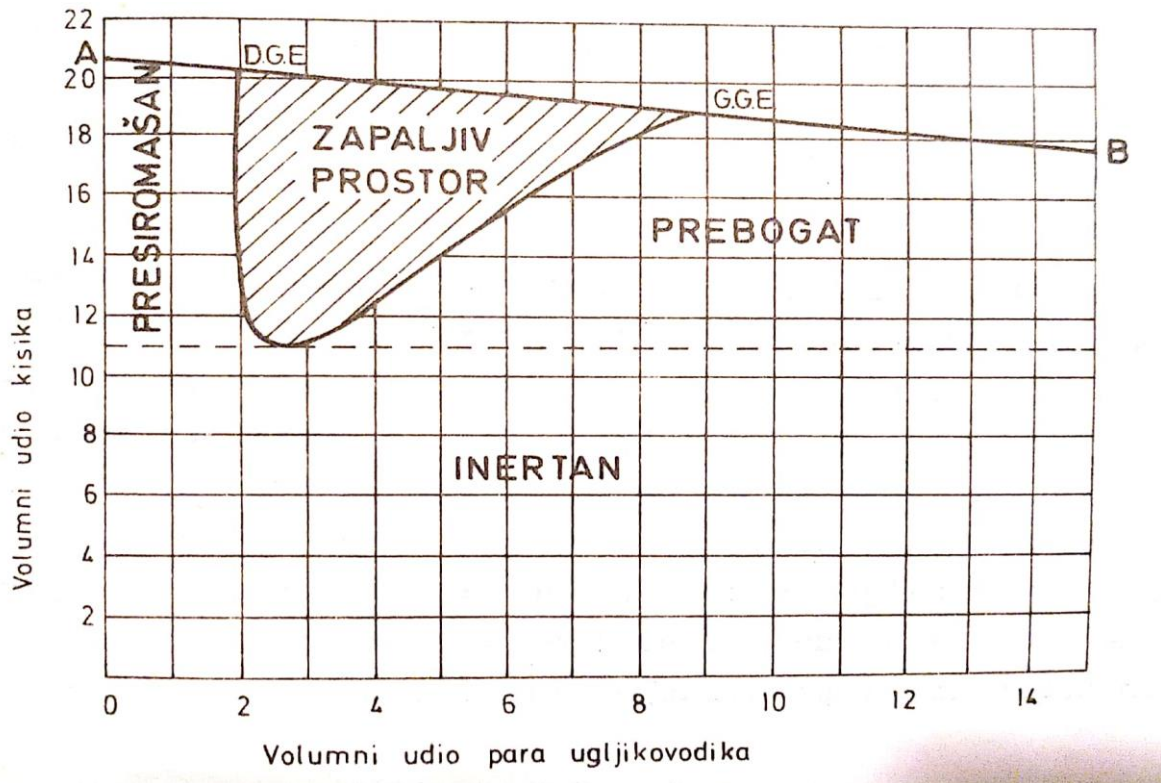
Ukoliko kisika ima previše ili premalo u odnosu na eksplozivne pare, do eksplozije ne može doći.

Donja granica eksplozivnosti je najniža koncentracija eksplozivnih para i plinova kod kojih može doći do eksplozije, a gornja granica eksplozivnosti je najviša koncentracija eksplozivnih para i plinova do koje je eksplozija moguća. Područje zapaljivosti nalazi se upravo između donje i gornje granice eksplozivnosti.

Plin	Granice zapaljivosti, postotak zapremnine ugljikovodika u zraku (%)	
	Gornja	Donja
Propan	9.5	2.2
Butan	8.5	1.9
Pentan	7.8	1.5

**Tablica 1. Granice zapaljivosti [7]**

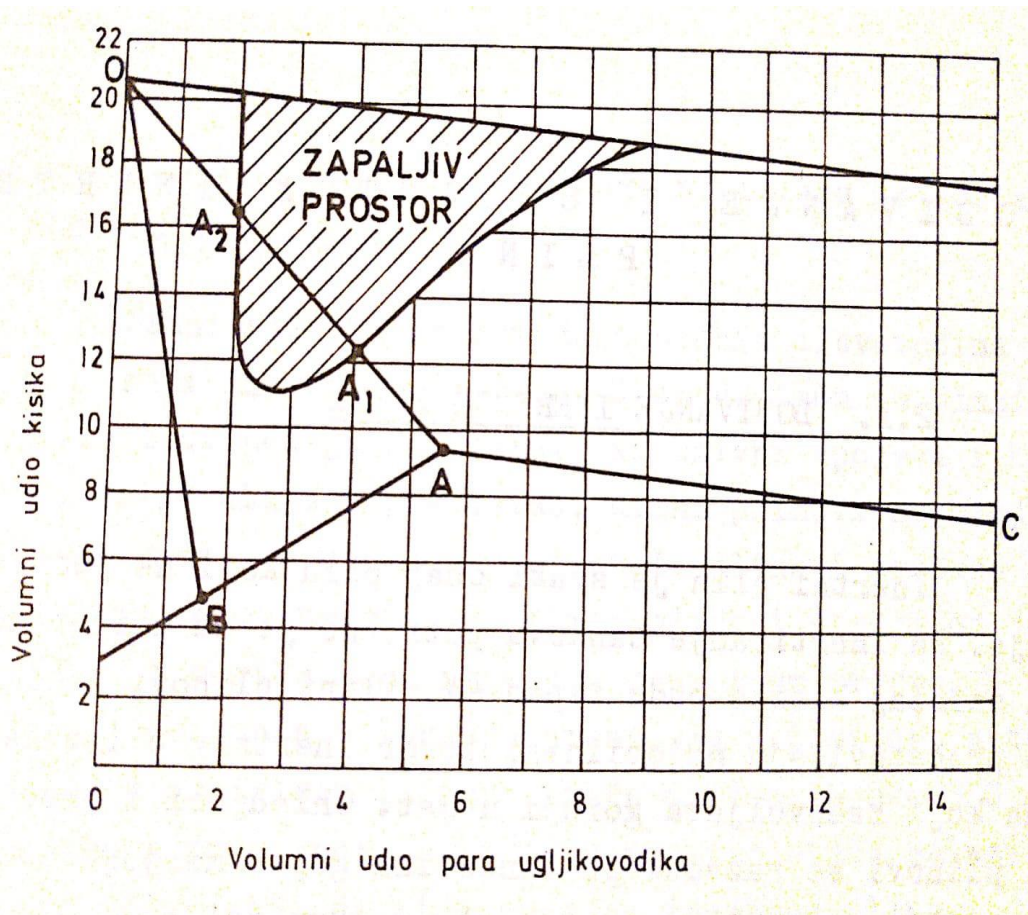
Područje eksplozivnosti prikazuje se dijagramom koji se još i naziva dijagram zapaljivosti.



**Slika 8. Dijagram zapaljivosti [7]**

Smjesa plinova je presiromašna kada u njoj nema dovoljne koncentracije zapaljivih para za eksploziju. Na slici se to područje nalazi ispod razine para ugljikovodika od 2%. Prebogata je kada u smjesi ima previše zapaljivih para u odnosu na količinu kisika da bi se eksplozija dogodila. Upravo zbog toga je područje eksplozivnosti puno veće kod miješanja para ugljikovodika s čistim kiskom jer se gornja granica eksplozivnosti drastično povećava, a donja ostaje približno ista. Dakle, veći sadržaj kisika u tanku značajno povećava opasnost od eksplozije. Ukoliko je razina kisika u tanku sa slike ispod 11% onda je tank inertan bez obzira na količinu para ugljikovodika jer je ta razina kisika premala da bi podržala gorenje u ovom tanku.

Kako bi pokazali praktičnu upotrebu dijagrama zapaljivosti i njenu korisnost, za primjer ćemo uzeti sljedeći dijagram:



**Slika 9. Dijagram zapaljivosti, praktična primjena [7]**

Točkom A označena je početna koncentracija zapaljivih para tereta tj. ugljikovodika.

Kada bi željeli ući u tank zbog pranja ili nekih drugih radova u tanku, moramo uvesti u graf točku O koja predstavlja atmosferski zrak. Pravac AO predstavlja promjenu koncentracije para tereta i kisika u tanku prilikom otvaranja poklopca tanka bez inertiranja. Primjećujemo da taj pravac prolazi kroz područje zapaljivosti te uvodimo točke A<sub>1</sub> i A<sub>2</sub> koje nam predstavljaju granične vrijednosti na tom pravcu u kojima bi došlo do eksplozije. Inertiranjem snižavamo razinu kisika kao i zapaljivih para te se time dobije točka B. Pravac AB predstavlja proces inertiranja kao promjenu odnosa koncentracije kisika i para tereta. Tek kada se tank inertira i stanje u tanku bude u točki B može se pustiti atmosferski zrak u tank što je prikazano pravcem BO i to se onda može uraditi bez straha za eksplozijom. Pravac AC prikazuje porast para ugljikovodika u tanku do kojeg dolazi prilikom ispiranja sirovom naftom ili zbog isparavanja ostataka tereta. [7]



### **3.4. TOČKA ISKRENJA**

Donja točka paljenja je temperatura za koju je koncentracija pare iznad tekućeg goriva jednaka donjoj granici eksplozivnosti.

Gornja točka paljenja je temperatura za koju je koncentracija pare iznad tekućeg goriva jednaka gornjoj granici eksplozivnosti.

Kada govorimo o točki iskrenja obično se referiramo na donju granicu paljenja. [7]

### **3.5. IZVORI PALJENJA**

Izvori paljenja su uz kisik i gorivu tvar uvjet za nastanak eksplozije. Ti izvori mogu biti u obliku otvorenog plamena, tople površine, mehaničke iskre, električne iskre i statičkog elektriciteta.

Otvorena vatra može biti u obliku upaljene šibice, upaljača, plamena u peći, plamen kod zavarivanja itd.

Tople površine koje mogu uzrokovati eksploziju na brodu mogu biti ispušne cijevi, rasvjetna tijela, loše izolirani parovodi itd.

Mehaničke iskre su uzrokovane trenjem tvrdih materijala, pretežito metala, a javljaju se u obliku sitnih užarenih čestica. Nastaju uslijed brušenja, rezanja metala itd.

Električne iskre su jedan od češćih izvora paljenja kod eksplozivnih smjesa. Nastaju prilikom zatvaranja ili otvaranja električnog kruga i to u prekidačima, kratkim spojevima itd.

Statički elektricitet na tankerima nastaje prilikom prekrcaja tereta te pranja tankova. Teorijski on nastaje dodiranjem dvaju tijela te se u svakom stvara određeni naboj, jedan pozitivan drugi negativan, ali istih veličina. Odvajanjem dva statička, nabijena tijela između njih nastaje električno polje do čijeg neutraliziranja dolazi pražnjenjem koje je popraćeno elektrostatičkim iskrama. Te iskre spadaju među najsnažnije izvore paljenja te su bile uzrok velikih pomorskih katastrofa kroz povijest. Opasnost od statičkog elektriciteta se smanjuje na način da se uspoji brzina strujanja tereta kroz cjevovode ili dodavanjem antistatika koji povećavaju električnu provodljivost. [7]

## 4. NAČINI DOBIJANJA INERTNOG PLINA

Inertni plin se na brodovima dobija na dva načina. Prvi način je dobijanje inertnog plina pomoću ispušnih plinova iz strojarnice, a drugi način je pomoću generatora inertnog plina koji se koristi u slučajevima kada se zahtjeva kvalitetniji inertni plin, kao što je na primjer kod brodova za prijevoz kemikalija.

### 4.1. DOBIVANJE INERTNOG PLINA POMOĆU ISPUŠNIH PLINOVA IZ STROJARNICE

Dimni plinovi iz strojarnice su najoblniji izvor plinova koji zadovoljavaju uvjete inertnog plina tj. da sadrže udio kisika koji je manji od 4%. Na izlazu iz broskog kotla temperatura ispušnih plinova iznosi oko 400°C. Potom se oni posebnim cjevovodima sa zapornim ventilima provode do prečistača (engl. *scrubber unit*) gdje se hlade uz pomoć morske vode, koja se dovodi u prečistač posebnim sisaljkama, te im se uklanjaju štetni, korozivni spojevi i krute čestice. Na izlazu iz prečistača temperatura plina bude otprilike 5°C viša od temperature morske vode i tamo se nalazi filter koji uklanja čestice vode iz inertnog plina. Princip rada svih prečistača je isti, a eventualne razlike se očituju u detaljima koji se odnose na načine dovodenja dimnih plinova, njihovo miješanje s vodom i na načine uklanjanja čestica vode iz dobivenog inertnog plina.

Sljedeća tablica prikazuje promjenu sastava plina prije i nakon prolaska kroz prečistač:

	<b>PRIJE</b>	<b>POSLIJE</b>
<b>KISIK O<sub>2</sub></b>	2-4%	2-4%
<b>UGLJIČNI DIOKSID CO<sub>2</sub></b>	12-14%	12-14%
<b>SUMPORNI DIOKSID SO<sub>2</sub></b>	0,2%	0,02%
<b>KRUTE ČESTICE</b>	300mg/m <sup>3</sup>	8mg/m <sup>3</sup>
<b>DUŠIK N<sub>2</sub></b>	ostatak	ostatak

**Tablica 2. Sastav plina pri prolasku kroz prečistač [7]**

Nakon prolaska ispušnih plinova kroz prečistač ukloni se 90% sumpornog dioksida, 97% krutih i korozivnih čestica i gotovo u potpunosti sadržaj vodenih čestica, a temperatura

plina bude oko 5°C veća nego temperatura morske vode. Ova metoda dobijanja inertnog plina svoju upotrebu pronalazi kod tankera s turbinskim pogonom, kao i kod motornih tankera koji moraju imati pomoćne kotlove. Pomoćni kotlovi tijekom plovidbe obično ne rade te je zbog toga potrebno nadomjestiti inertni plin. Upravo zbog toga je uobičajeno da se u sustav ugrade posebni gorači ili generator inertnog plina koji će proizvoditi dimne plinove kada kotlovi nisu u funkciji. [7]

#### 4.2. GENERATOR INERTNOG PLINA

Generator inertnog plina služi za dobijanje inertnog plina vrhunske kvalitete što je potrebno prvenstveno kod tankera za prijevoz kemikalija, ali i kod ostalih tankera koji zahtijevaju inertni plin visoke kakvoće. Ovim načinom dobiveni inertni plin sadrži jako male razine sumpornog dioksida i ostalih štetnih tvari a razina kisika bude tek oko 1%. U ovim generatorima se događa kontrolirano izgaranje lakih dizel goriva čije se pare cjevovodima dovode u prečistač.

Sastav tvari nakon prolaska kroz prečistač, izražen u volumnim udjelima, prikazuje sljedeća tablica:

<b>KISIK O<sub>2</sub></b>	1%
<b>UGLIČNI DIOKSID CO<sub>2</sub></b>	200ppm
<b>DUŠIKOVI OKSIDI NO<sub>x</sub></b>	200ppm
<b>SUMPORNI DIOKSID SO<sub>2</sub></b>	2ppm
<b>VODIK H<sub>2</sub></b>	100ppm
<b>DUŠIK N<sub>2</sub></b>	ostatak

**Tablica 3. Sastav plina nakon prolaska kroz prečistač [7]**

Svaki generator inertnog plina sadrži sisaljku goriva i rasprskivač koji rasprskuje sitne čestice goriva u obliku magle s kojom se miješa kontrolirana količina zraka te se odvodi u prečistač.

Glavna razlika ove dvije metode se očituje u specijalnom goraču, a nakon prolaska kroz prečistač nema većih razlika u izvedbi sustava za dobijanje inertnog plina.

### 4.3. ZAHTJEVI ZA SUSTAV INERTNOG PLINA

Međunarodni zahtjevi propisuju minimalne uvjete koje moraju zadovoljavati svi sustavi inertnog plina. Oni se uglavnom odnose na kapacitet sustava, sadržaj kisika, mjerne instrumente i sustave alarmiranja.

Sadržaj kisika se mjeri iza puhalo i on ne smije biti veći od 5%. Iza puhalo se također nalaze i alarmi koji se zvučnim i vizuelnim signalima oglašavaju ukoliko izmjereni sadržaj kisika dosegne 8%.

S obzirom da količina inertnog plina mora biti dostatna za inertiranje tankova tijekom svih operacija s teretom, zahtjeva se da zajednički kapacitet puhalo sustava inertnog plina mora biti 25% veći od maksimalnog kapaciteta pumpi tereta.

Također, svaki sustav inertnog plina mora imati nepovratne ventile koji sprječavaju prodiranje plinova natrag u strojarnicu kao i vodenu brtvu koja može biti u prečistaču ili na palubi. U slučaju da se vodena brtva nalazi na palubi potrebno je za nju imati i grijače koji bi spriječili zaleđivanje vode u zimskim uvjetima rada.

Zaustavni ventili se nalaze na ulasku u svaki tank, a njihova je uloga sprječavanje razvijanja visokog tlaka ili stvaranje vakuuma u tanku. Ovi ventili ne dopuštaju tlak viši od 24kPa i niži od 7kPa. Uobičajeni tlak koji se stvara prilikom rukovanja teretom iznosi otprilike 20kPa.

Sustav inertnog plina mora minimizirati šansu stvaranja statičkog elektriciteta.

Svaki sustav inertnog plina mora kontinuirano mjeriti sadržaj kisika i tlak na tlačnoj strani puhalo i te vrijednosti bilježiti.

Obavezni alarmi koje svaki sustav inertnog plina mora imati su:

- za visok sadržaj kisika u inertnom plinu na tlačnoj strani puhalo,
- za visoku temperaturu inertnog plina na tlačnoj strani puhalo,
- za nizak pritisak inertnog plina na tlačnoj strani puhalo,
- za nizak pritisak i razinu vode u prečistaču,
- za nizak pritisak vode na ulazu u palubnu vodenu brtvu,
- za nisku razinu vode u palubnoj vodenoj brtvi.

Inertni sustav se automatski mora zaustaviti u sljedećim slučajevima:

- kada je temperatura na tlačnoj strani puhalo previsoka,
- kada je nizak pritisak vode na ulazu u prečistač,
- kada je nizak pritisak vode na ulazu u palubnu vodenu brtvu.

Također, za svaki sustav inertnog plina nužno je imati način za oslobađanje plinova radi mogućnosti sigurnog ulaska u skladišni tank.

#### 4.4. INERTIRANJE TANKOVA

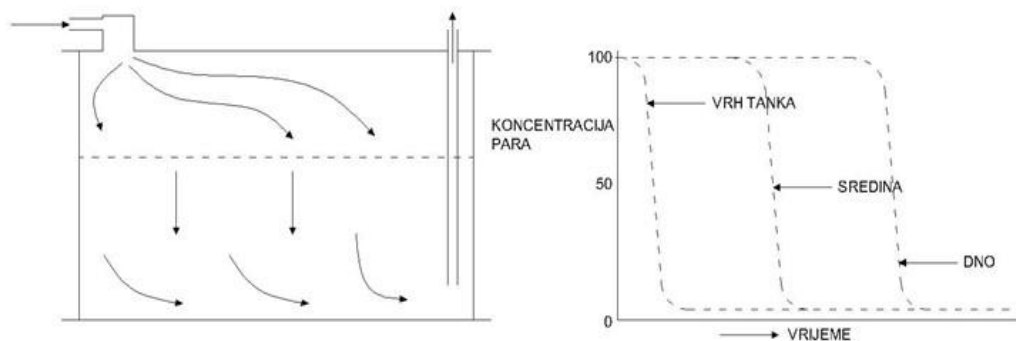
Dva su osnovna načina kojima se taknovi mogu inertirati:

- potiskivanjem i
- miješanjem.

##### 4.4.1. INERTIRANJE TANKOVA POTISKIVANJEM

Ovaj način inertiranja radi na principu puštanja inertnog plina u tank malom brzinom i na taj način on potiskuje eksplozivne pare tereta koje izlaze iz tanka kroz ventilacijski otvor.

Prilikom obavljanja inertiranja bitno je da brzina kojom inertni plin ulazi u tank bude mala kako ne bi došlo do miješanja para inertnog plina s parama tereta. S obzirom da su pare inertnog plina lakše od para ugljikovodika, inertni plin se zadržava na vrhu tanka i potiskuje pare ugljikovodika na dno gdje se nalazi ventilacijski otvor kroz koji one izlaze van tanka. Prednost ovog načina inertiranja se očituje u tome što je potrebna minimalna količina inertnog plina da bi tank bio inertiran i spreman za daljne operacije. Također moguće je ovom metodom inertirati više tankova istovremeno.

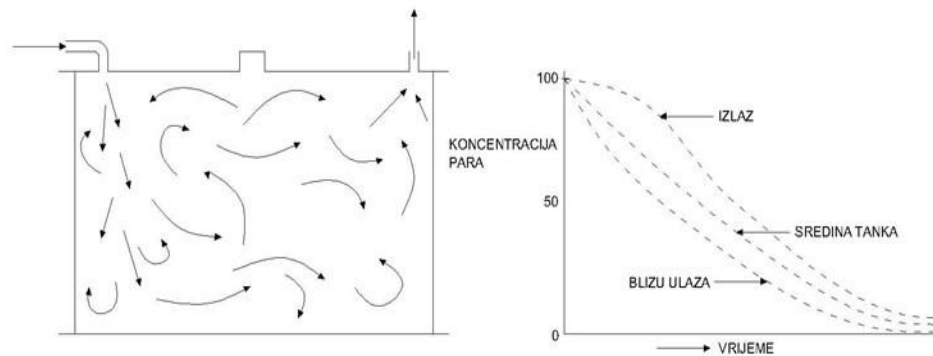


Slika 10. Inertiranje potiskivanjem [7]

##### 4.4.2. INERTIRANJE TANKOVA MIJEŠANJEM

Ovaj način se poprilično razlikuje od inertiranja potiskivanjem jer se inertni plin upućuje u tank velikom brzinom koja mora biti dovoljna da inertni plin dođe do dna tanka. Tako se miješanjem postiže homogena smjesa para tereta i inertnog plina koja daljnim upuhivanjem izlazi kroz ventilacijski otvor koji se nalazi na vrhu tanka, a ne na dnu kao što

je slučaj kada se koristi metoda potiskivanja. Vremenom se koncentracija para tereta smanjuje te se postupak završava kada izmjerene vrijednosti para u tanku budu zadovoljavajuće. Inertiranje tankova miješanjem je brža metoda, ali se istovremeno njom može inertirati manje tankova te je potrebna veća količina inertnog plina da bi se postigao željeni rezultat.



**Slika 11. Inertiranje miješanjem [7]**

Tijekom inertiranja potrebno je mjeriti koncentraciju plinova u tanku na više mjesta te na svakom mjestu na više visina. Tri se visine obično uzimaju za mjerenje i to na dnu, sredini i pri vrhu tanka. [7]

## 5. INERT POSTROJENJE

U prošlom poglavlju smo objasnili načine dobijanja inertnog plina i time završili prvu fazu sustava inert postrojenja. Daljnja konfiguracija objasniti će se u ovom poglavlju, a odnosi se na prečistač, brtve, ventilatore, sustave cjevovoda i mjerne uređaje.

### 5.1. PREČISTAČ DIMNIH PLINOVA

Ispušni dimni plin koji dolazi iz strojarnice odgovarajući je po pitanju razine kisika, ali je pretopao i pun štetnih plinova i korozivnih čestica te je potreban prečistač kako bi se poboljšala kakvoća tih plinova. U prečistaču se plinovi hlade pomoći rashladne vode, čiste od pepela, čađe i drugih krutih čestica, odstranjuju se korozivne čestice prije svega sumpor i njegovi spojevi. Prečistač mora biti otporan na koroziju i poželjno što manjih dimenzija.

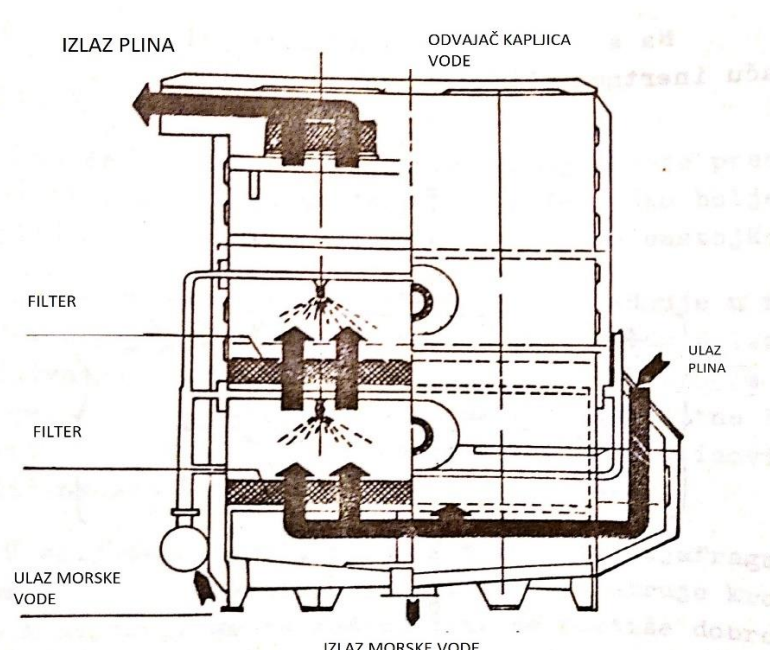
Postoje četiri vrste prečistača:

- kupola s rasprskivačima,
- kupola s ispunama,
- kupola s podnicama,
- venturi prečistač.

Kod kupole s rasprskivačima plin ulazi te se obrađuje prvo pod mlazom vode kada se plin hladi i spaja sitne čestice (čađa) i nečistoće u veće čestice koje se uklanjaju drenažom vode. Zatim plinovi dijafragmom putuju u suprotnom smjeru od mlaznica vode i prolaze kroz filtere za odvajanje primarno supornih oksida i ostalih nečistoća. Na kraju plin dolazi do separatora gdje se kapljice vode uklanjaju iz plina te iz prečistača izlazi pročišćeni inertni plin koji dalje cjevovodima putuje do tankova.

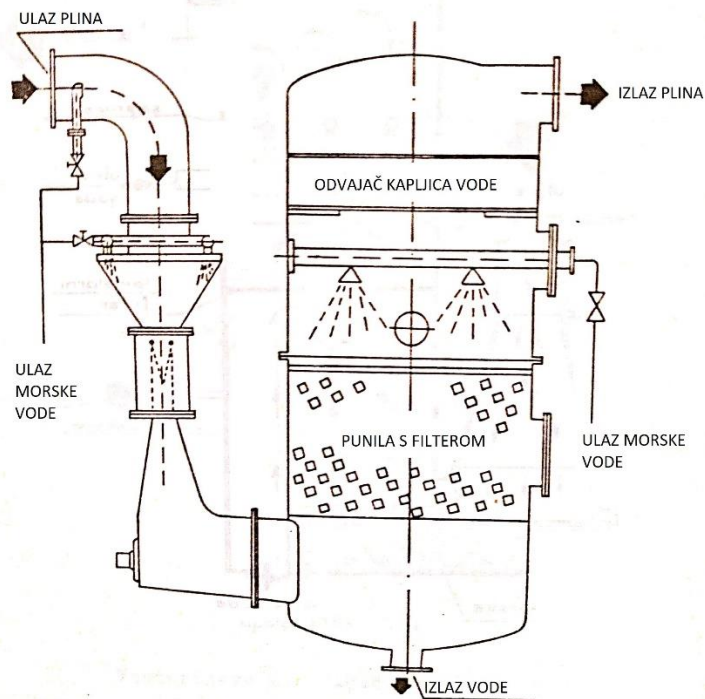
Konstrukcija mora omogućiti stalan protok plina i vode kroz prečistač.

Ovaj sustav se koristi kod protoka do 150000 m<sup>3</sup>/h plina. Mali nedostatak ovog sustava je nepraktičnost kod zamjene filtera. [7]



**Slika 12. Prečistač s rasprskivačima [7]**

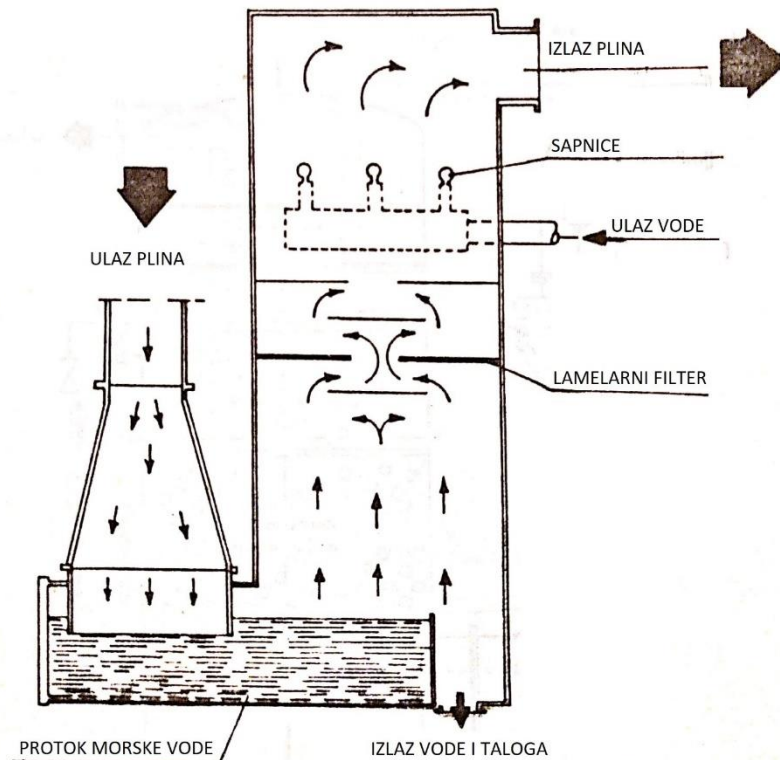
Kod prečistača s ispunama ideja je da plin koji struji dođe u površinski što veći dodir s rashladnom vodom iz suprotnog smjera, a ispune zbog sastava ispušnog plina, moraju biti otporne na sumporne kiseline. Mana ovog sustava je gubitak tlaka plina i problematična zamjena ispuna.



**Slika 13. Prečistač s ispunama [7]**

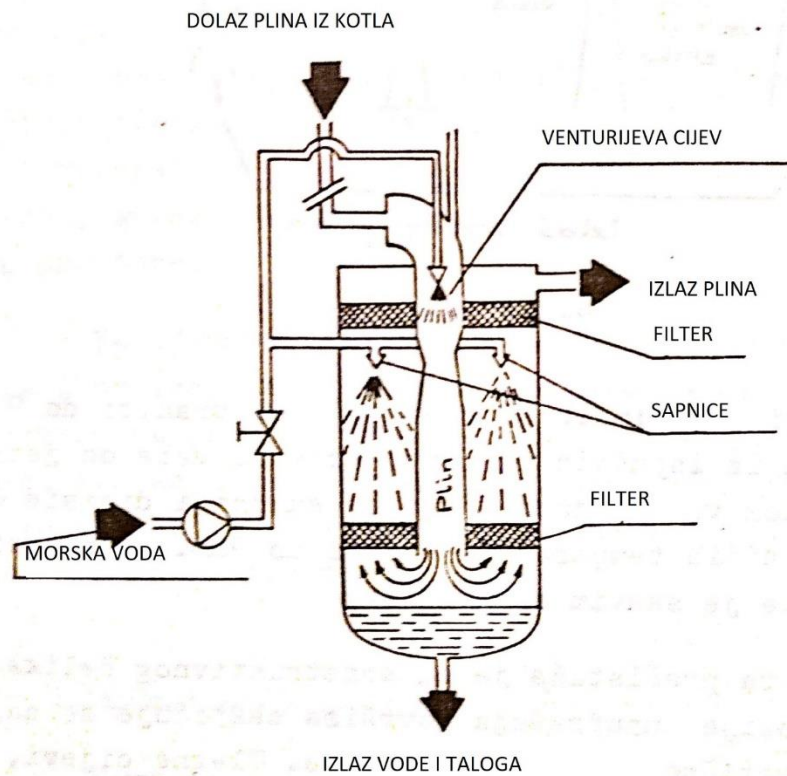


Kolona s podnicama je jednostavan sustav prečistača u kojem je tlak plina minimalan, a protok rashladne vode i plina optimalan. Problem ovog sustava je taj što je osjetljiv na valjanje broda pa se u tim slučajevima ne može upotrebljavati.



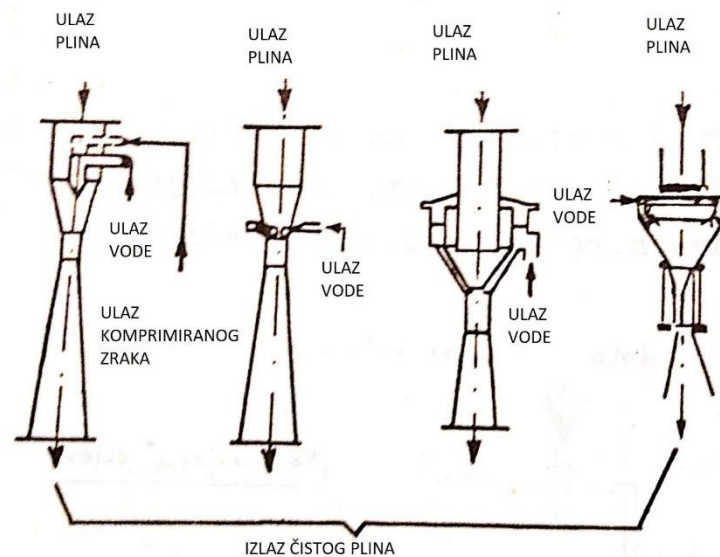
**Slika 14. Prečistač kolona s podnicama [7]**

Venturijev prečistač koristi venturijevu cijev gdje se voda miješa s ispušnim plinom te stvara ubrzano kretanje. To ubrzano kretanje stvara veće brzine te se na taj način teže čestice odvajaju i padaju na dno jer je kretanje prema dolje gdje je morska voda u koju se talože otpadne čestice, a plin prolazi kroz filter i hladi se pod mlazom vode nakon čega prolazi kroz još jedan filter i dalje u cjevovode kao inertan plin. Venturijev prečistač je najučinkovitiji od navedenih, ali i troši najviše energije.



**Slika 15. Venturi prečistač [7]**

Ovisno o potrebi postoji više izvedbi venturijevih mlaznica, a one ovise o mjestu ugradnje i tipu prečistača. [7]



**Slika 16. Venturijeve mlaznice [7]**

## 5.2. GLAVNI ZAPORNI VENTIL

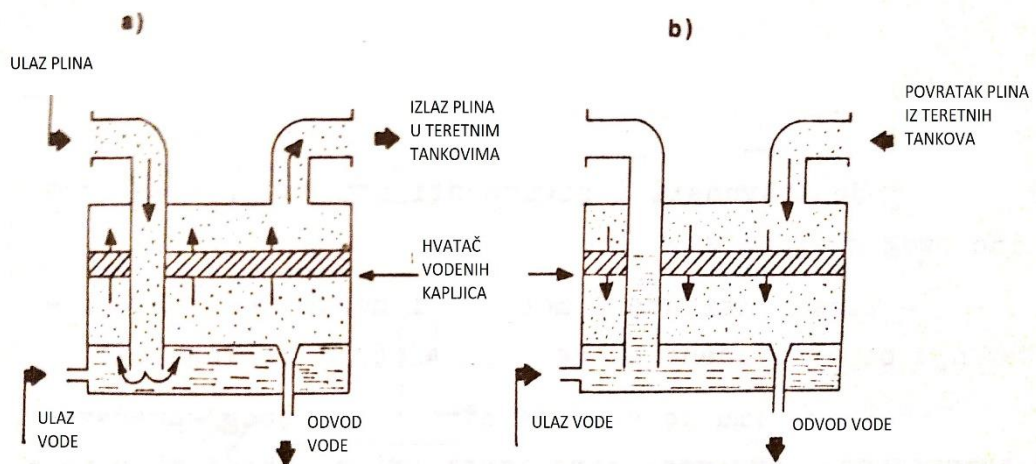
Svrha glavnog zapornog ventila je automatsko gašenje protoka plina između palube i strojarnice u slučaju pada tlaka plina ili rashladne vode. Ugrađuje se u prostoriji generatora plina, na mjestu pregrade kroz koju prolazi tlačni cjevovod inertnog plina. U slučaju da prostor u kojem se nalazi generator inertnog plina ne graniči s pramčanom pregradom onda se ventil postavlja na granici najbližeg prostora. Njime se može upravljati električno, pneumatski ili hidraulično. [7]

## 5.3. PALUBNA VODENA BRTVA

Palubna vodena brtva je sigurnosna naprava koja sprječava povratak zapaljivih, eksplozivnih para tereta iz tanka natrag u strojarnicu gdje bi njihovo prisustvo dovelo u opasnost čitav brod i posadu. Nalazi se na glavnoj palubi i postoje tri vrste ovih brtvi:

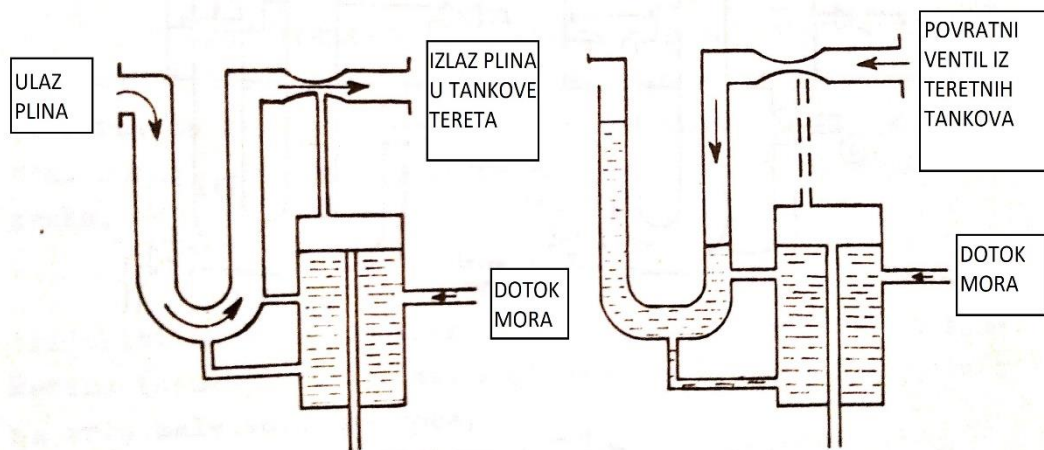
- mokre,
- polumokre,
- suhe.

Mokre vodene brtve rade na jednostavnom principu gdje je kraj cijevi kroz koju se upuhuje plin uronjen u vodu te u mjehurićima izlazi iz vode, prolazi kroz hvatač kapljica gdje se ostatak vode uklanja te izlazi iz sustava. U slučaju povratka plina on ne može proći kroz vodu natrag u cijev prema strojarnici nego se zadržava iznad te vode. U slučaju hladnih uvjeta voda se treba grijati da bi se spriječilo njeno smrzavanje, a to se najčešće postiže pomoću pare. Zbog svoje jednostavnosti jako je česta upotreba ovog tipa vodene brtve.



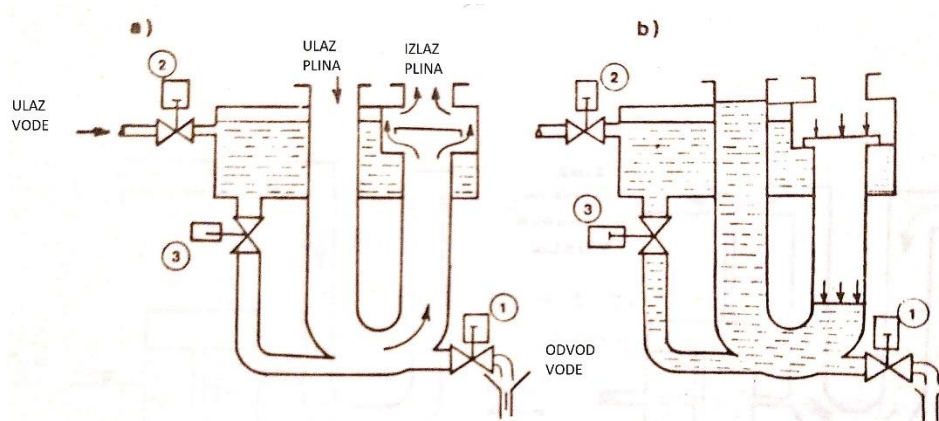
Slika 17. Mokra vodena palubna brtva [7]

Princip venturijeve cijevi se također koristi i kod polumokre palubne brtve. Ona je sastavljena na način da postoji cijev kroz koji prvenstveno prolazi plin, ali i određena količina vode koja se odvaja u prostor za vodu zbog podtlaka, a plin nastavlja putovati kroz cijev do izlaza iz brtve. Prestankom rada ventilatora javlja se depresija plina kada se određena količina plina počne vraćati u suprotnom smjeru i tada voda iz vodnog prostora ulazi u cijev i sprječava vraćanje plina u smjeru strojarnice. Mana ovog sustava palubne brtve je ta što pri svakom novom pokretanju ventilatora plin sa sobom ponese određenu količinu vode koja se nalazila u cijevi kao pregrada povratnim parama plina.



**Slika 18. Polumokra vodena palubna brtva [7]**

Suha palubna vodena brtva je dobila takvo ime jer u ovom tipu palubne brtve plin ne dolazi u doticaj s vodom. Ovaj sustav radi pomoću tri ventila. Pokretanjem ventilatora zatvara se ventil broj 3, a otvara ventil broj 1 i time se isprazni višak vode koji bi utjecao na kakvoću inertnog plina. Prestankom rada ventilatora automatski se otvaraju ventili broj 2 i 3 i tako se sustav ispuni vodom što sprječava povratak plinova u sustav. Suha vodena brtva zbog svog smještaja na otvorenoj palubi mora imati parne grijače da ne bi došlo do zamrzavanja vode u hladnijim uvjetima. Najveća primjena ovog sustava nalazi se na tankerima za prijevoz kemikalija zbog osjetljivosti tereta koje prevoze i na najmanje količine vode.



**Slika 19. Suha vodena palubna brtva [7]**

#### 5.4. VENTILATORI

U sustavu inertnog plina moraju biti postavljena minimalno dva ventilatora koji u istovremenom radu moraju osigurati najveću proizvodnju inertnog plina. Najveći tlak koji proizvode ne smije biti veći od 0,24 bara. Svaki od postavljenih ventilatora mora imati ventil na usisnoj i tlačnoj strani. Na tlačnoj strani često se ugrađuje recirkulacijski cjevovod radi ujednačenog rada sustava, a na usisnoj strani se ugrađuje usisni otvor za zrak.

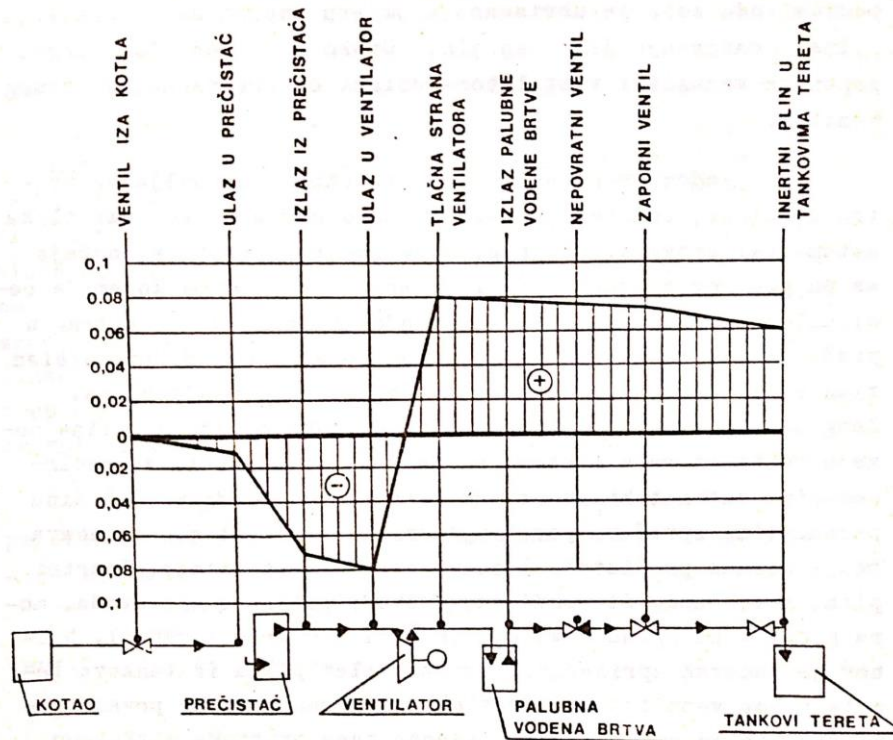
Ventilatori moraju biti od kvalitetnih materijala koji su otporni na koroziju i eroziju i njihov kapacitet mora biti 25% veći od kapaciteta pumpi tereta i predviđen je u tri alternative:

- dva ventilatora istih karakteristika i to da svaki ima 100% kapaciteta sustava (jedan radi, drugi rezerva),

- dva jednaka ventilatora, svaki po 50% kapaciteta sustava (oba rade istovremeno),
- jedan ventilator 100% kapaciteta, drugi 50%.

Mogu biti na elektro-motorni, hidro-motorni pogon ili na pogon parne turbine.

Sljedeća slika prikazuje tlakove kod uređaja inertnog plina:



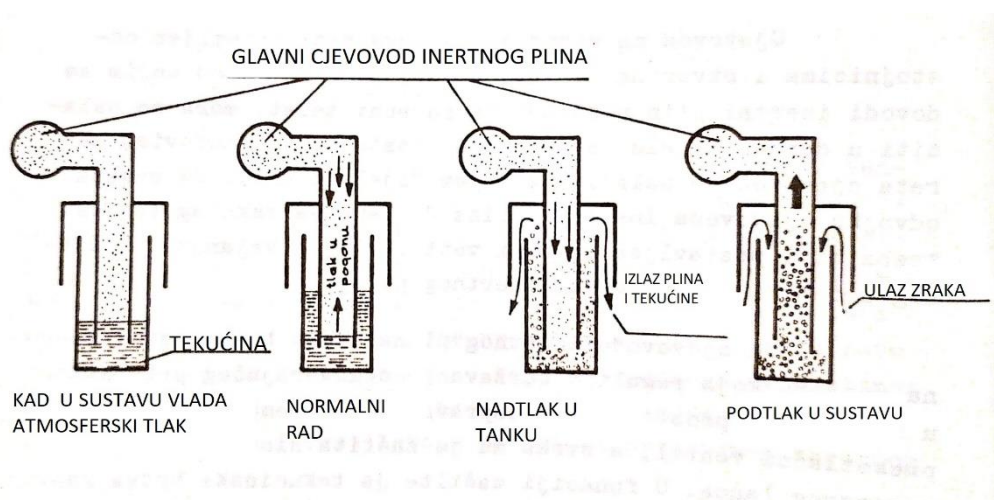
Slika 20. Promjene tlakova kod raznih uređaja sustava inertnog plina [7]

## 5.5. CJEVOVODI

Kao što je već objašnjeno, ispušni plinovi se pomoću ventilatora usisavaju u cjevovod inertnog plina, ulaze u prečistače te dolaze do zapornog ventila kojim se upravlja s kontrolne ploče. Prije glavnog zapornog ventila nalazi se recikularni cjevovod na kojem je recirkulacijski ventil gdje plin prolazi u slučaju da je potrebna manja količina plina. Tlak tako raste te se recirkulacijski ventil automatski otvara te propušta određenu količinu plina i tako drži tlak u sustavu relativno stalnim. Potom plin dolazi do palubne vodene brtve i nepovratnog ventila iza čega slijedi daljna eksploatacija kroz palubni cjevovod.

Palubni cjevovod mora biti opremljen odstojećima i otvorima za odvod kondenzata, a cjevovod kojim se dovodi inertni plin u tank mora biti u donjem dijelu zaštićenog prostora. Između cjevovoda inertnog plina i zaštićenog prostora mora postojati zaporni ventil. Osim toga, na cjevovodu inertnog plina mora biti naprava za regulaciju tlaka u zaštićenom prostoru, vakuumsko - prekotlačni ventil, čija je svrha zaštita sustava na kraju procesnog lanca. Zaštita se postiže uz pomoć tekućine koja se nalazi u tom ventilu. Ta tekućina mora biti otporna na niske temperature pa se u tu svrhu koristi ulje ili antifriz. [7]

Njegovu funkciju će nam najbolje objasniti sljedeća slika:



Slika 21. Vakuumsko – prekotlačni ventil [7]

## 5.6. MJERNI INSTRUMENTI I ALARMI

Kako bi mogli biti sigurni u ispravnost sustava inertnog plina nužni su nam mjerni instrumenti i alarmi u slučaju nepravilnosti u sustavu. Tri su ključne stvari na koje moramo obraćati pozornost što se tiče mjerenja kod inertnog plina, a to su:

- mjerenje temperature inertnog plina,
- mjerenje tlaka inertnog plina,
- mjerenje udjela kisika u inertnom plinu (%).

Na nužnim mjestima mjerni uređaji su fiksni, a postoje i prijenosni koje koristimo prema potrebi kao na primjer prilikom ulaženja u tank.

### 5.6.1. Mjerač temperature i tlaka

Izlaz iz ventilatora je najpogodnije mjesto za instalaciju mjerača temperature. On kontinuirano očitava temperaturu te posjeduje uređaj za uzbunjivanje koji se oglašava ukoliko temperatura inertnog plina dosegne 60°C. Tada se automatski otvara premosnica koja vraća plin natrag u prečistač na dodatno hlađenje. Ukoliko to ne uspije i temperatura dosegne 80°C, sustav se zaustavlja te je potrebno utvrditi izvor problema na način da se provjeri prečistač.

Mjerač tlaka ugrađuje se iza zapornog i nepovratnog ventila. Također sadrži i uređaj za uzbunjivanje koji se aktivira kada se stvori podtlak u sustavu i kada dođe do ulaska atmosferskog tlaka koji može stvoriti zapaljivu smjesu s parama ugljikovodika. Nadtlak može nastati uslijed greške u sustavu funkcije dišnog ventila, sigurnosnog ventila, vakuumsko - prekotlačnog ventila ili rasta temperature u tanku tijekom ukrcaja tereta. Do pada tlaka u sustavu tijekom iskrcavanja može doći zbog zapornih elemenata u tanku ili zakazivanja rada dišnog ventila i vakuumsko - prekotlačnog ventila. [7]

### 5.6.2. Analizator kisika

Ovaj uređaj služi za mjerenje udjela kisika u inertnom plinu koji mora biti ispod 5%. Radi na principu magnetskih svojstava kisika. Sadrži dva alarma od kojih se jedan oglašava na 5% kisika, a drugi na 8%. Ti alarmi su vizuelni i zvučni, a njihovu ispravnost provjeravamo prijenosnim analizatorima kisika.

Uz navedena tri mjerača postoje još:

- analizator kisika u cjevovodu ispušnih plinova,
- daljinski upravljani ventili ispušnih plinova na ulazu u prečistač,
- alarm vodostaja u prečistaču,
- mjerač protoka,
- ventili na usisnoj i tlačnoj strani ventilatora,
- termostat na izlazu iz prečistača,
- glavni zaporni ventil,
- indikator temperature i zraka,
- ventil premosnice,
- indikator protoka vode u vodenoj brtvi,
- alarm vodostaja u vodenoj brtvi,
- mjerač tlaka na palubnom cjevovodu,



- diferencijalni presostat plina,
- indikator temperature.

## **6. UPRAVLJANJE INERTNIM PLINOM TIJEKOM RADNIH OPERACIJA NA TANKERU**

Postoje dvije varijante sustava inertiranja. Prvi je sustav koji je odvojen od sustava tereta, a drugi je sustav inertnog plina koji je premosnicom spojen sa sustavom tereta. Oni se razlikuju u načinu dovoda svježeg zraka u tankove. Obje varijante imaju svoje prednosti i mane, a koji će se sustav koristiti na brodu ovisi o zahtjevu brodovlasnika prilikom izgradnje broda.

U prvoj navedenoj varijanti potreban je prijenosni ili ugrađeni ventilator koji može biti usisni, koji je najčešće prijenosni, ili tlačni. On se tijekom upotrebe nalazi u grotlu tanka i povezan je s cjevovodom koji je na dnu tanka. Ako je ventilator tlačni on se ugrađuje u sustav cjevovoda. Nedostatak ovog sustava je taj ako je ventilator izvan strojarnice, on ne smije biti pokretan elektro-motorom, nego na zračni ili hidraulički pogon. Također, prijenosni ventilator nema veliki kapacitet i potrebno ga je prije svake upotrebe montirati i demontirati nakon završetka operacije. Prednost ovog sustava je jednostavno održavanje i nije skup.

Sustav koji je spojen premosnicom sa sustavom tereta je složeniji, ali i rasprostranjeniji. Ventilator na usisnoj strani ima otvor za svjež zrak koji se šalje u tank i premosnicom u cjevovod tereta kroz usisno tlačni cjevovod, ulazi u tank i tlači inertni plin koji izlazi kroz otvoreno grotlo ili krov cjevovod čiji je otvor na dnu tanka.

### **6.1. PUNJENJE PRAZNOG BRODA INERTNIM PLINOM**

Nakon iskrcaja tereta, tank ostaje ispunjen opasnim parama ugljikovodika. Tank se zatim mora inertirati. To će se raditi na sljedeći način:

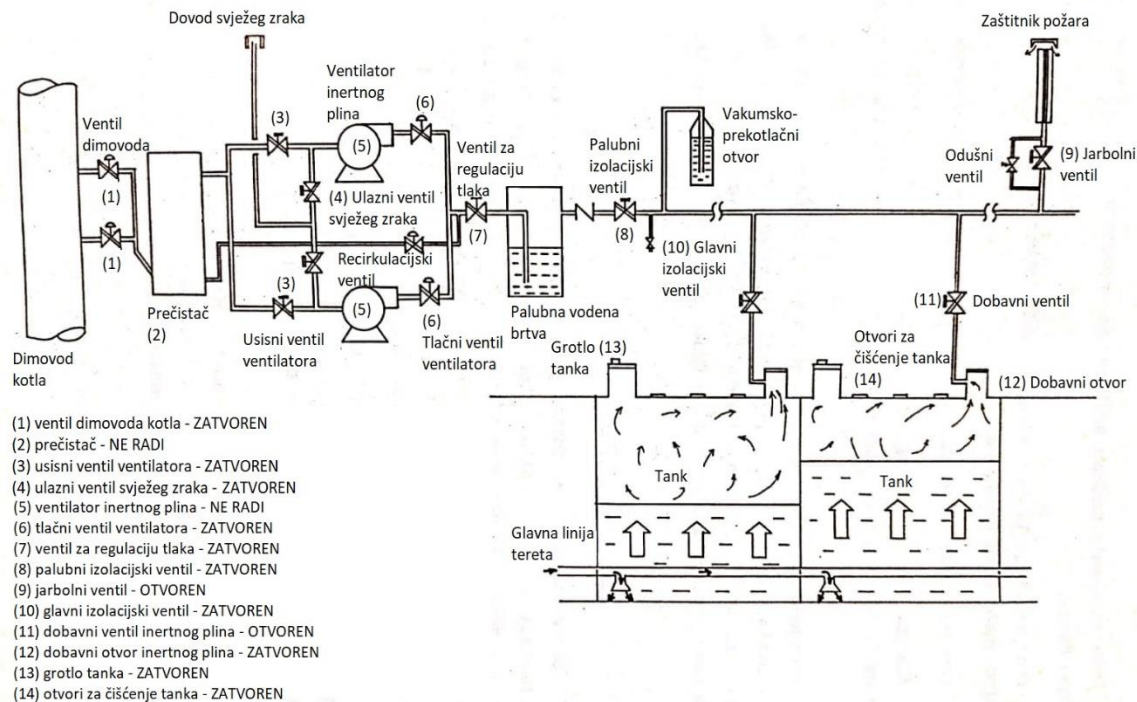
- počinjemo s prvim tankom. Potrebno je otvoriti ventile u svakom tanku i zatvoriti i osigurati poklopce tankova,
- otvoriti odušnike kroz koje će izlaziti zrak iz tanka,
- kontinuirano puniti tank inertnim plinom i mjeriti sadržaj kisika na izlazu iz odušnika. Ako taj sadržaj nakon određenog vremena bude iznad 5% treba obavijestiti strojarnicu da podese izgaranje jer kakvoća dobivenog inertnog plina nije zadovoljavajuća.

- Kada se zadovolje uvjeti kakvoće inertnog plina i napuni tank njime, osiguravaju se odušnici i te se isti postupak ponavlja na iduće tankove.
- Kada se posljednji tank ispuni inertnim plinom zatvara se glavni izolacijski ventil, zaustavljaju se ventilatori i osigurava se sustav.

Tijekom cijele operacije treba palubni brtveni uređaj puniti vodom po potrebi. [8]

## **6.2. UKRCAJ TERETA**

Nakon punjenja inertnog plina potrebno je, kao što smo već ustanovili, zaustaviti dovod inertnog plina i osigurati sustav kako bi se stvorili uvjeti za uspješno krcanje tereta. Prije samog krcanja tereta moraju se otvoriti ventilacijski otvori kako bi teret zamjenio inertni plin u tanku istim volumenom bez tlačnih opterećenja na cijeli sustav. Također potrebno je provjeriti ventile, tlačno-vakuumski otvor, razinu vode u vodenoj brtvi i podesiti alarmni uređaj visokog tlaka na 0.18 bara i provjeriti je li povezan sa zapovijedničkim mostom i kontrolnom sobom tereta. Tijekom ukrcaja dio inertnog plina će izići kroz ventilacijski otvor tako da u tanku može doći do prebogate, eksplozivne ili presiromašne koncentracije, a kako bi se to spriječilo inertni plin se upumpava cijelo vrijeme tijekom krcanja tereta. On stvara predtlak koji ne dozvoljava stvaranje eksplozivne smjese plinova, a sadržaj prebogate koncentracije ovisi o tlaku u tanku, temperaturi tereta i vanjskim uvjetima.



**Slika 22. Shema inertiranja pri ukrcaju tereta [8]**

### 6.3. PRIJEVOZ TERETA

Teoretski, tijekom prijevoza nije potrebno napodunjavati tank inertnim plinom. Međutim, praksa nas uči da je moguće propuštanje koje može biti uzrokovano lošim brtvljenjem sonde, odušnika ili poklopaca grotla tanka. Najčešći uzrok propuštanja je nedovoljno zatvoren sigurnosni ili prenosni ventil odušnika. Dodatno punjenje inertnog plina u tankove se radi ukoliko nadtlak padne na 0,01 bar ili niže i ukoliko se utvrdi da je udio kisika u tanku iznad prihvatljive granice. Tada se teži dostizanju tlaka na minimalno 0,02 bara i sadržaju kisika, ovisno o teretu, ali u svakom slučaju ne većem od 5%.

U tijeku vožnje se ta dva parametra moraju kontinuirano pratiti i podatke unositi na dijagram zapaljivosti da bi mogli utvrditi je li stanje u tanku optimalno. [8]

### 6.4. ISKRCAJ TERETA

Operacija iskrcaja tereta je posebno opasna jer može doći do stvaranja eksplozivne smjese u tanku pražnjenjem tereta. Kako bi se to spriječilo, bitno je da sustav inertnog plina radi punim kapacitetom, koji mora biti veći od maksimalnog kapaciteta pumpi tereta za 25%,

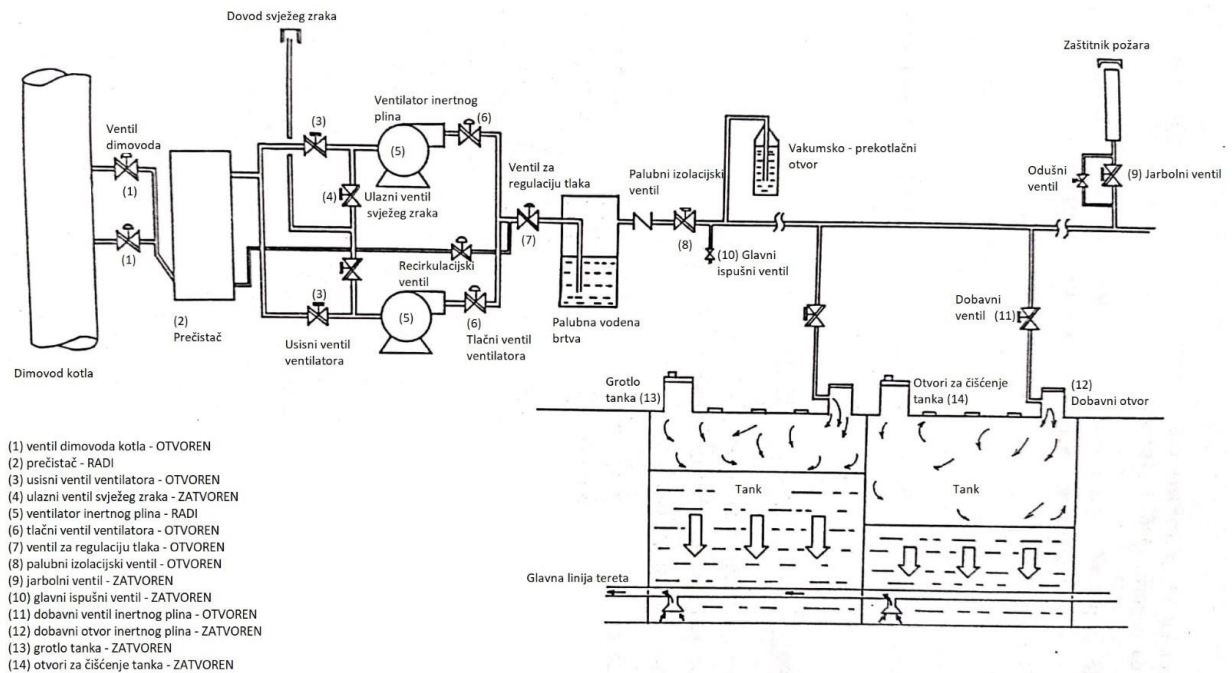
kako u cjevovodu i tanku ne bi došlo do ulaska zraka i povećanja razine kisika u parama tereta.

Inertni plin se uvodi laganim nadtlakom i zatvara se jarbolni ventil, a otvara glavni izolacijski ventil.

Potrebno je provjeriti razine vode u vodenoj brtvi i tlačno-vakuumskom otvoru.

Manometar s pokazivačem tlaka ne smije pokazivati negativan tlak.

Mora se zatvoriti i osigurati svaki mogući dovod svježeg zraka jer bi, u slučaju propuštanja, zrak ulazio u inertni plin i povećao razinu kisika u njemu.



**Slika 23. Shema inertnog plina pri iskrcaju tereta [8]**

## 6.5. UKRCAJ BALASTA

Prije nego što započne operacija ukrcanja balasnih voda potrebno je isključiti dovod inertnog plina u tankove i zaustaviti sustav inertnog plina. Jarbolni ventilacijski ventil se otvara kako bi se tank ventilirao. Operacijom balastiranja voda zamjenjuje volumen inertnog plina i tereta u mjeri koja je potrebna. Kada se završi ukrcaj balasta zatvara se jarbolni ventil i gasi se ventilator te se ostatak prostora u tanku koji nije ispunjen balasnim vodama inertira. Zatim se zatvaraju palubni izolacijski ventili i isključu sustav inertnog plina. Shema ukrcanja balasta ista je kao i shema za ukrcaj tereta, a iskrcaj balasta se vrši na isti način kao i iskrcaj tereta. [8]

## 6.6. PRANJE TANKOVA TERETA

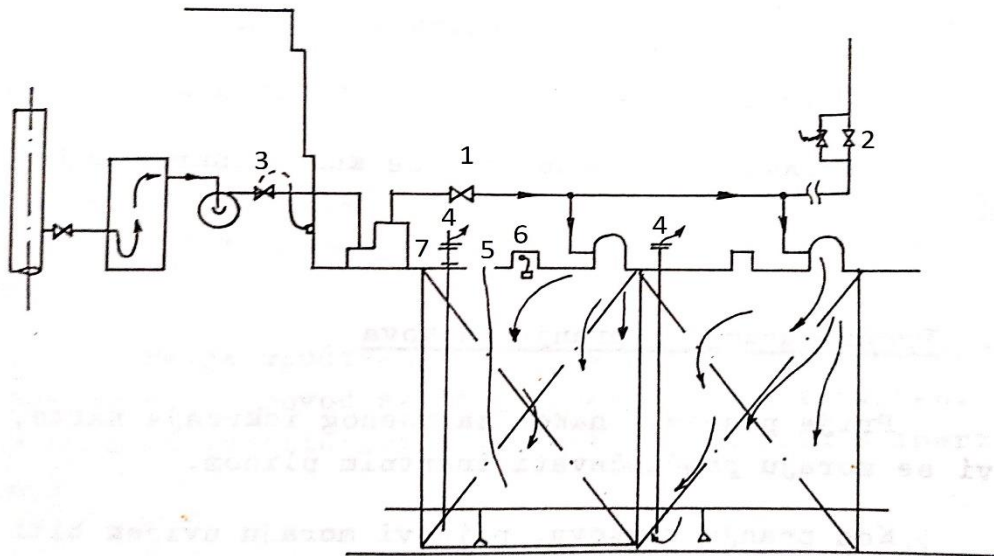
### 6.6.1. Pranje tanka sirovom naftom

Kako se balasna voda ne smije stavljati u neoprane tankove potrebno ih je oprati prije ukrcaja balasne vode. Na tankerima koji prevoze sirovu naftu u tu svrhu se vrši pranje tankova sirovom naftom (engl. *Crude Oil Wash – COW*). Voda koja je oprana sirovom naftom, ali ne i vodom smatra se nečistim balastom. Bitno je napomenuti kako nijedan tank ne treba prati sirovom naftom više od jednom u četiri mjeseca. [8]

### 6.6.2. Pranje vodom

Prije pranja i nakon iskrcaja tankovi se moraju inertirati jer plinovi u tanku moraju biti ispod granice zapaljivosti. Sve ventilacijske otvore potrebno je otvoriti kako bi se sustav rasteretio od prevelikog tlaka, ali za vrijeme obavljanja operacije pranja tanka mora biti prisutan lagani nadtlak koji se postiže inertiranjem. Kada se voda odstrani zatvara se ventilacija.

Postupak pranja vodom prikazan je na sljedećoj slici:



Slika 24. Pranje tanka [7]

- otvoren izolacijski ventil (1),
- zatvoren jarbolni ventil (2),
- ventil za kontrolu pritiska (3),
- odušne cijevi otvorene (4),
- otvori za pranje (5),

- naprava za mjerenje razine tekućine (6),
- odušna cijev za sondiranje (7).

## **6.7. OSLOBADANJE PLINOVA U TANKU**

Ovu radnju potrebno je izvršiti kako bi se omogućio siguran ulazak u tank tereta prilikom opravaka ili nekih drugih radnji za koje je potreban ulazak posade ili osoblja u tank.

Potrebno je povećati razinu kisika u tanku na 21%, a to se postiže na sljedeći način:

- sustav čistog zraka preosnicom spojiti s cjevovodom terete,
- izolirati tankove od inertnog plina i otvoriti poklopce,
- otvoriti ulaz svježeg zraka u ventilator i zatvoriti izlazni ventil na prečistaču,
- pokrenuti ventilator i otvoriti ventil na ulazu u tank i glavni izolacijski ventil,
- provjeravati atmosferu u tanku i uvjeriti se da je povoljna za siguran ulaz.

Bitno je naglasiti da inertni plin nije otrovan, ali je opasan ukoliko se udišu velike količine, tako da je dobro ventilirani tank uvjet za sigurnost posade. [7]

## **6.8. ODRŽAVANJE SUSTAVA INERTNOG PLINA**

Preventivno periodično ispitivanje i održavanje uređaja koji sudjeluju u proizvodnji i distribuciji inertnog plina ključno je za dugovječno, ispravno i sigurno korištenje sustava. Pod periodično ispitivanje i održavanje podrazumijevamo ispitivanje alarmnih sustava, propusnost cjevovoda, ispravnost brtvi, ventilatora, prečistača, pumpi itd. Posebnu pažnju bitno je posvetiti brtvljenju zapornih ventila kao i redovnom pregledavanju razine vode u palubnom brtvenom uređaju. Prije svake operacije održavanja sustava bitno ga je dobro ventilirati i paziti da svaki rad na sustavu bude kratkotrajan. Po završetku rada na sustavu nužno je ispitati ispravnost sustava. Pri svakom rukovanju s elementima sustava inertnog plina neophodno je upoznati se s uputama u knjizi proizvođača i strogo ih se držati jer i najmanji kvar, nepravno rukovanje ili previd mogu dovesti brod i njegovu posadu u životnu opasnost. [7]

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu smo imali priliku vidjeti kakve su se nesreće događale prije nego što je sustav inertnog plina postao obavezan na tankerima te nam to može poslužiti kao dokaz kojim možemo prikazati koliko je ovaj sustav nužan za sigurnost broda i posade kao i pravilno rukovanje njime kako bi se takve i slične posljedice ne bi događale u budućnosti.

Bitno je također poznavati osnove inertnog plina i nastanka vatre ili eksplozije jer, poznavajući ih, možemo znati kako ih spriječiti.

Poznavanjem osnovnih pojmova možemo prilagoditi sustav inertnog plina na brod na kojem se nalazimo i na zadane uvjete te primjenjivati odgovarajuće načine inertiranja.

Iznimno je bitno upoznati se sa svakim uređajem u sustavu inertnog plina i njegovim karakteristikama. Lista provjere (engl. *Checklist*) kao i uputstva proizvođača su od velike vrijednosti u slučaju kvara ili nekih drugih poteškoća u radu sustava.

Bez obzira na liste provjere koje osiguravaju siguran rad i rukovanje inertnim plinom, nužno je obratiti pozornost na svaku radnu operaciju koja se poduzima da se izvodi u skladu s pravilima jer je statistički dokazano da je većinski uzrok svih nesreća na brodovima upravo ljudski faktor. Upravo zbog toga bitno je redovno održavati cijeli sustav i njegove elemente kako bi se operacije s njima izvodile što sigurnije i učinkovitije.



## LITERATURA

- [1] Wrecksite  
<https://wrecksite.eu/wreck.aspx?224671> (pristupljeno 22.7. 2022.)
- [2] Wrecksite  
<https://www.wrecksite.eu/wreck.aspx?207181> (pristupljeno: 19.7.2022.)
- [3] Thuishaven Vierpolders  
<https://thuishavenvierpolders.files.wordpress.com/2020/06/mactra.pdf>  
(pristupljeno: 16.7.2022.)
- [4] Cnooks  
<https://www.cnooks.nl/Jubileum/2%20%20Other%20documents/2%20%20History/Mactra%20-%20explosion/Mactra%20explosie.pdf> (pristupljeno: 16.7.2022.)
- [5] Aukevisser  
<http://www.aukevisser.nl/supertankers/VLCC%20I-K/id1027.htm>  
(pristupljeno: 19.7.2022.)
- [6] Wikipedia  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Oswego-Guardian%E2%80%93Texanita\\_collision](https://en.wikipedia.org/wiki/Oswego-Guardian%E2%80%93Texanita_collision)  
(pristupljeno: 17.7.2022.)
- [7] Kaluđerić A.; Martinović D.; Stanković P.; Stipanić Lj.: *Inertni plin*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka, 1983.
- [8] Kaluđerić A.; Martinović D.; Stanković P.; Stipanić Lj.; *Sigurnost na tankerima*, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj, Rijeka, 1983.
- [9] Belamarić G.; *Autorizirana predavanja: Rukovanje teretom II*, Pomorski fakultet, Split
- [10] Wrecksite  
<https://wrecksite.eu/wreck.aspx?197912> (pristupljeno: 17.7.2022.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. MV Silja.....	2
Slika 2. SS Marpessa prije nesreće.....	3
Slika 3. Potonuće broda SS Marpessa.....	3
Slika 4. SS Mactra prije nesreće.....	4
Slika 5. SS Mactra nakon eksplozije.....	4
Slika 6. Kong Haakon VII.....	5
Slika 7. Kong Haakon VII nakon eksplozije.....	5
Slika 8. Dijagram zapaljivosti.....	9
Slika 9. Dijagram zapaljivosti, praktična primjena.....	12
Slika 10. Inertiranje potiskivanjem.....	15
Slika 11. Inertiranje miješanjem.....	16
Slika 12. Prečistač s rasprskivačima.....	18
Slika 13. Prečistač s ispunama.....	18
Slika 14. Prečistač kolona s podnicama.....	19
Slika 15. Venturi prečistač.....	20
Slika 16. Venturijeve mlaznice.....	20
Slika 17. Mokra vodena palubna brtva.....	21
Slika 18. Polumokra vodena palubna brtva.....	22
Slika 19. Suha vodena palubna brtva.....	23
Slika 20. Promjene tlakova kod raznih uređaja sustava inertnog plina.....	24
Slika 21. Vakuumsko – prekotlačni ventil.....	25
Slika 22. Shema inertiranja pri ukrcaju tereta.....	28
Slika 23. Shema inertnog plina pri iskrcaju tereta.....	30
Slika 24. Pranje tanka.....	31

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Granice zapaljivosti.....	8
Tablica 2. Sastav plina pri prolasku kroz prečistač.....	12
Tablica 3. Sastav plina nakon prolaska kroz prečistač.....	13

## POPIS KRATICA

COW (engl. *Crude Oil Wash*)

Pranje tankova sirovom naftom