

# Sustav inertnog plina na brodovima za prijevoz sirove nafte s osvrtom na inertiranje balastnih prostora

---

**Stankić, Leonardo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:827943>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-07**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**LEONARDO STANKIĆ**

**Sustav inertnog plina na brodovima za prijevoz sirove nafte s  
osvrtom na inertiranje balastnih prostora**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**SUSTAV INERTNOG PLINA NA BRODOVIMA ZA  
PRIJEVOZ SIROVE NAFTE S OSVRTOM NA  
INERTIRANJE BALASTNIH PROSTORA  
INERT GAS SYSTEM ON CRUDE OIL TANKERS WITH  
REFERENCE TO BALLAST TANKS**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Tehnologija prijevoza tekućih tereta

Mentor: dr. sc. Igor Rudan

Student: Leonardo Stankić

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082811

Rijeka, srpanj 2023.

Student: Leonardo Stankić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082811

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom  
*Sustav inertnog plina na brodovima za prijevoz sirove nafte s osvrtom na inertiranje  
balastnih prostora*

izradio samostalno pod mentorstvom *dr. sc. Igora Rudana*

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezoao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Leonardo Stankić

Student: Leonardo Stankić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112082811

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student - autor

*Leonardo Stankić*

## **SAŽETAK**

Sustav inertnog plina jedan je od ključnih sustava za operativnost broda, odnosno za pravilno izvođenje operacija sa teretom kod brodova za prijevoz sirove nafte radi niza faktora. Ovim radom obrađena je tema sustava inertnog plina na tankerima za prijevoz sirove nafte. Objašnjeni su razlozi inertiranja brodskih prostora, uključujući posebni osvrt na inertiranje balastnih prostora. Sukladno tome navedeni su zahtjevi, odnosno propisi vezani za sustav inertnog plina, metode inertiranja, a opisani su i pojedinačni dijelovi sustava (uređaji i oprema).

Ključne riječi: tankovi balasta, IGS, inertiranje, tankeri za prijevoz sirove nafte

## **SUMMARY**

Inert gas system is one of the key ship systems for operability, that is for the proper execution of cargo operations on crude oil transporting ships due to several factors. This paper deals with the topic of the inert system on crude oil tankers. Explanation of the reasons for the inerting of ship spaces is given, including a special reference to the inerting of ballast spaces. Accordingly, the requirements and regulations related to the inert gas system, and methods of inerting are listed, also, individual parts of the system (devices and equipment) are described.

Keywords: ballast tanks, IGS, inerting, crude oil tankers

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>I</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>II</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PUBLIKACIJE I PROPISI VEZANI ZA SUSTAV INERTIRANJA</b>	<b>3</b>
2.1. SOLAS KONVENCIJA .....	4
2.1.1. <i>Primjena</i> .....	4
2.1.2. <i>Opći zahtjevi za sustave inertnog plina</i> .....	4
2.1.3. <i>Zahtjevi za ekvivalentne sustave</i> .....	5
2.1.4. <i>Inertiranje, pročišćavanje i oslobađanje od plinova (gas freeing)</i> .....	5
2.1.5. <i>Mjerenje plinova</i> .....	6
2.1.6. <i>Uređaji za mjerenje plinova u prostorima dvostrukog trupa i prostora dvostrukog dna (balastni prostori)</i> .....	6
2.1.7. <i>Fiksni sustavi za otkrivanje plina ugljikovodika u prostorima dvostrukog trupa i dvostrukog dna tankera za prijevoz sirove nafte</i> .....	6
2.2. FSS KODEKS.....	7
2.2.1. <i>Opći zahtjevi IGS-a – sposobnosti sustava</i> .....	7
2.2.2. <i>Zahtjevi komponenti IGS-a – opskrba inertnim plinom</i> .....	8
2.2.3. <i>Zahtjevi instalacije IGS-a</i> .....	8
2.2.4. <i>Zahtjevi za rad i kontrolu</i> .....	10
<b>3. SUSTAV INERTNOG PLINA</b> .....	<b>13</b>
3.1. DIJELOVI SUSTAVA INERTNOG PLINA .....	14
3.1.1. <i>Jedinica za proizvodnju inertnog plina</i> .....	15
3.1.2. <i>Pročistač (Scrubber)</i> .....	16
3.1.3. <i>Ventilatori (puhala) inertnog plina</i> .....	17
3.1.4. <i>Palubni izolacijski ventil i nepovratni ventil</i> .....	18
3.1.5. <i>Palubna (vodena) brtva</i> .....	19
3.1.6. <i>Ventili za regulaciju tlaka (P/V ventil)</i> .....	20
3.1.7. <i>P/V breaker</i> .....	21
3.1.8. <i>Opskrba inertnim plinom u izvanrednom stanju</i> .....	23

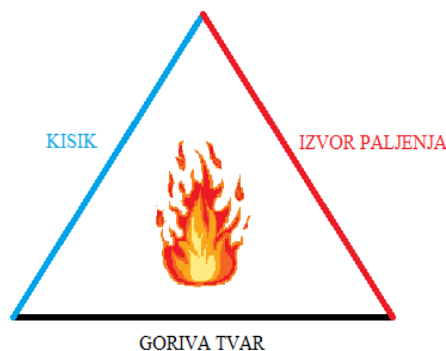
3.2.	KORIŠTENJE SUSTAVA INERTNOG PLINA .....	23
3.2.1.	<i>Inertiranje praznih tankova .....</i>	25
3.2.2.	<i>Ukrcaj tereta ili balasta u inertirane tankove .....</i>	26
3.2.3.	<i>Istodobne operacije teretom i balastom .....</i>	26
3.2.4.	<i>Ukrcajno stanje i putovanje u balastu .....</i>	26
3.2.5.	<i>Iskrcaj tereta ili balasta iz inertiranih tankova .....</i>	27
3.2.6.	<i>Pranje tankova (pranje sirovom naftom - COW) .....</i>	28
3.2.7.	<i>Pročišćivanje tankova (purging) prije oslobađanja od plinova .....</i>	28
3.2.8.	<i>Oslobađanje tankova od plinova (gas freeing) .....</i>	29
3.2.9.	<i>Priprema za ulazak u zatvorene prostore .....</i>	29
<b>4.</b>	<b>INERTIRANJE BALASTNIH PROSTORA .....</b>	<b>31</b>
4.2.	DIJELOVI SUSTAVA INERTIRANJA BALASTNIH TANKOVA .....	32
4.3.	PROCES INERTIRANJA BALASTNIH PROSTORA .....	33
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>34</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>36</b>
	<b>POPIS ILUSTRACIJA .....</b>	<b>38</b>



## 1. UVOD

Tankerima za prijevoz sirove nafte radi tereta koji prevoze podložni su raznim opasnostima pri operacijama sa teretom (ukrcaj i iskrcaj tereta), ali i pri samom transportu tereta, te ostalim operacijama kao što je ulazak u tankove radi pregleda ili popravka. Jedna od najvećih opasnosti među ostalima na tankerima za prijevoz sirove nafte jest požar, odnosno mogućnost eksplozije.

Požar, odnosno potencijalna eksplozija moraju imati određene uvijete kako bi se mogli manifestirati, pa tako poznajemo takozvani trokut gorenja koji je model pomoću kojega prikazujemo da su za gorenje potrebni: goriva tvar, kisik te izvor paljenja (toplina).



**Slika 1.** Trokut gorenja

Izvor: izradio student

Gorivu tvar nije moguće ukloniti iz trokuta gorenja zato što brod prevozi sirovu naftu koja je po svome svojstvu goriva tvar i isparava zapaljive plinove koji stvaraju zapaljivu atmosferu unutar prostora tereta (tanka). Toplina koja bi mogla poslužiti kao izvor paljenja može se u svakodnevnim okolnostima pojaviti spontano, pa ni nju ne možemo ukloniti iz trokuta gorenja, jedino što nam preostaje, a što sa sigurnošću možemo kontrolirati unutar tankova jest upravo količina kisika, pa nju nastojimo smanjiti ispod određenih granica.

Sustav inertnog plina koristi se na brodovima za prijevoz sirove nafte upravo u tu svrhu, kako bi smanjili količinu kisika ispod donje granice eksplozivnosti (lower explosion limit - LEL), i na taj način unutar tanka spriječili nastajanje atmosfere koja je povoljna za požar ili eksploziju.

Inertni plin je plin ili mješavina plinova, kao što je dimni plin, koji ne sadrži dovoljnu količinu kisika u svom sastavu da bi podržavao izgaranje ugljikovodika koje ispušta teret [1].

Također, sustav inertnog plina koristimo i radi upravljanja tlakom unutar tankova, kako bi spriječili oštećenja strukture tanka uslijed nadtlaka i podtlaka tijekom operacija sa teretom pošto se radi o zatvorenom sustavu bez ulaska vanjske atmosfere u uobičajenim radnim okolnostima.

Kod brodova sa dvostrukom oplatom, bokovi broda i dno sastoje se od dva sloja trupa odvojena prostorom dovoljnim da se smanji mogućnost probijanja oba sloja oplata broda u slučaju nezgode. U povijesti, kod tankera sa jednostrukom oplatom, u slučaju nezgode bi pri prodoru trupa došlo do izljeva tereta u more, pa su tako nakon 1996. prema odredbama MARPOL-a, svi novi tankeri bili su isporučeni s dvostrukim trupom ili nekom alternativom [2]. Danas, pri puštanju tanka, teret ne izlazi u more, već u prostor dvostruke oplata. Kako se prostor dvostruke oplata uobičajeno koristi za balast, takav prostor sadrži kisik zato što je izravno povezan sa atmosferom putem odušnika na palubi. Dakle, pri puštanju tanka tereta, u prostorima dvostruke oplata se vrlo lako može stvoriti zapaljiva, odnosno eksplozivna atmosfera. Dovođenjem gorive tvari u prostor ispunjen kisikom, za zatvaranje trokuta gorenja potreban je samo izvor paljenja što predstavlja nedopustiv rizik. Balastni prostori u pravilu se inertiraju samo kada teret dospije unutar tih prostora zato što u ostalim okolnostima nema gorive tvari, pa tako ni mogućnosti zatvaranja trokuta gorenja. Kako bi znali da li je došlo do prodora tereta u prostore dvostruke oplata, tankeri moraju (ovisno o veličini) biti opremljeni sa prijenosnim, ili fiksnim sustavom za detekciju ugljikovodika u balastnim tankovima, praznim prostorima dvostrukih trupova i dvostrukog dna uz tankove tereta, uključujući pramčani tank i sve druge tankove i prostore ispod pregradne palube uz tankove tereta.

Inertni plin također se može koristiti i kao metoda usporavanja korodiranja balastnih tankova. Održavanjem kisika ispod 4% brzina korodiranja drastično se smanjuje (tzv. „oxygen stripping“) [3].

## **2. PUBLIKACIJE I PROPISI VEZANI ZA SUSTAV INERTIRANJA**

Kako bi sustav inertiranja na tankerima za prijevoz sirove nafte radio pravilno i u skladu sa standardima postoje određeni propisi i zahtjevi kojima takvi sustavi moraju udovoljavati. Međunarodna pomorska organizacija (IMO) kao krovna organizacija propisuje zahtjeve i propise putem Međunarodne konvencije o zaštiti ljudskih života na moru (SOLAS - Safety of Life at Sea 1974.) u poglavlju II-2, dijelu B „Prevention of Fire and Explosion“, te FSS kodeksom (International Code for Fire Safety Systems) u poglavlju 15. „Inert Gas Systems“.

Također, na razini preporuke ali ne i obaveze postoji, i u praksi se koristi gotovo kao obavezna, publikacija ISGOTT (The International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals) koju izdaju OCIMF (Oil Companies International Marine Forum), ICS (the International Chamber of Shipping Limited) te IAPH (International Association of Ports and Harbors). ISGOTT sadrži sveobuhvatno i detaljno usmjeravanje pri korištenju sustava inertnog plina i operativnih postupaka.

MARPOL navodi u Annex-u I (MARPOL 73/78 - Regulations for the Prevention of Pollution by Oil and Unified Interpretation of Annex I) u „Regulation 13B“ pod sekcijom „Requirements for crude oil washing“ u odredbi (3). da sustav inertnog plina mora biti osiguran u svakom tanku tereta i slop tanku u skladu s odgovarajućim propisima poglavlja II-2 SOLAS-a (Međunarodne konvencije o zaštiti ljudskih života na moru, 1974.), kako je izmijenjena i nadopunjena Protokolom iz 1978. koji se odnosi na Međunarodnu Konvenciju o zaštiti ljudskih života na moru, 1974. i koja se može dalje mijenjati.

Postoji i publikacija: „Inert gas systems (1990 edition) - IMO-86OE“, a sadrži smjernice i relevantne IMO dokumente o sustavima inertnog plina, uključuje odredbe SOLAS konvencije 1974. koje pokrivaju primjenu i tehničke zahtjeve za sustave inertnog plina, zajedno s razvojem propisa za sustave inertnog plina na tankerima za kemikalije.

## **2.1. SOLAS KONVENCIJA**

Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru (SOLAS 1974.) u poglavlju II-2, dijelu B „Prevention of Fire and Explosion“ sadrži odredbe „Inert gas systems“ te „Inerting, purging and gas-freeing“ te u njima navodi uvijete za sustav inertnog plina tijekom transporta i operacija sa teretom.

### **2.1.1. Primjena**

Odmah na početku navodi se kako na tankerima od 20 000 tona i tankerima sa većom nosivosti zaštita teretnih tankova mora biti postignuta fiksnim sustavom inertnog plina u skladu sa zahtjevima FSS Kodeksa.

Tanker koji moraju biti opremljeni sustavima inertnog plina moraju ispunjavati sljedeće odredbe:

1. Prostori dvostrukog trupa moraju biti opremljeni odgovarajućim priključcima za dovod inertnog plina;
2. tamo gdje su prostori trupa spojeni na trajno ugrađen distribucijski sustav inertnog plina, moraju se osigurati sredstva za sprječavanje ulaska plinova ugljikovodika iz tankova u prostore dvostrukog trupa; te
3. gdje takvi prostori nisu trajno spojeni na distribucijski sustav inertnog plina, potrebno je osigurati odgovarajuća sredstva koja će omogućiti priključak na glavni dovod inertnog plina.

### **2.1.2. Opći zahtjevi za sustave inertnog plina**

SOLAS propisuje i opće zahtjeve za sustave inertnog plina koji navode kako:

Sustav inertnog plina mora biti sposoban inertirati, pročišćavati i oslobađati od plinova prazne tankove te održavati atmosferu u tankovima tereta u skladu sa zahtjevanim sadržajem kisika, te kako tankeri opremljeni fiksnim sustavom inertnog plina moraju imati zatvoreni „ullage system“, odnosno sustav za mjerenje razine tereta u tanku.

### **2.1.3. Zahtjevi za ekvivalentne sustave**

Za tankere nosivosti 8 000 tona i više, ali manje od 20 000 tona nosivosti, umjesto fiksnih instalacija, mogu biti prihvaćeni i drugi ekvivalentni aranžmani ili sredstva zaštite. Ekvivalentni sustavi ili aranžmani moraju:

1. Biti sposobni spriječiti opasno nakupljanje eksplozivnih smjesa u neoštećenim tankovima tereta tijekom normalne uporabe, kroz balastno putovanje te obavljanje potrebnih operacija u tanku; te
2. biti projektiran tako da minimizira rizik od zapaljenja uzrokovanog nakupljanjem statičkog elektriciteta od strane samog sustava.

### **2.1.4. Inertiranje, pročišćavanje i oslobađanje od plinova (gas freeing)**

Uređaji za pročišćavanje (purging) i/ili oslobađanje od plina (gas freeing) moraju biti takvi da minimiziraju opasnosti koje mogu nastati zbog raspršivanja zapaljivih para u atmosferi, te raspršivanja zapaljivih smjesa plinova u tanku tereta.

Postupak pražnjenja tanka tereta i/ili oslobađanja plina provodi se u skladu s pravilima SOLAS-a koja se odnose na pražnjenje i oslobađanje od plinova.

Sustavi za inertiranje, pročišćavanje ili oslobađanje praznih tankova od plina moraju biti zadovoljavajući, te moraju biti takvi da nakupljanje para ugljikovodika u „džepovima“ formiranim od strane unutarnjih strukturnih elemenata u tanku bude minimizirano, te da:

1. Na pojedinačnim tankovima tereta, izlazna cijev plina, ako je ugrađena, bude postavljena što je dalje moguće od ulaza inertnog plina ili zraka, i ulaz takvih izlaznih cijevi može se nalaziti ili na razini palube ili ne više od 1 metar iznad dna tanka;
2. površina poprečnog presjeka takve izlazne cijevi za plin mora biti takva da je omogućeno održavanje izlazne brzine od najmanje 20 m/s pri opskrbljivanju bilo koja tri tanka istovremeno inertnim plinom. Njihovi izlazi se moraju protezati ne manje od 2 metra iznad razine palube; te
3. svaki navedeni izlaz plina mora biti opremljen odgovarajućim sustavom zatvaranja.

### **2.1.5. Mjerenje plinova**

Tankeri moraju biti opremljeni najmanje jednim prijenosnim instrumentom za mjerenje kisika i jednim za mjerenje koncentracije zapaljivih para, zajedno s kompletom rezervnih dijelova. Moraju biti osigurana i odgovarajuća sredstva za kalibraciju takvih instrumenata kako bi davali pouzdana mjerenja u svakoj situaciji .

### **2.1.6. Uređaji za mjerenje plinova u prostorima dvostrukog trupa i prostora dvostrukog dna (balastni prostori)**

Moraju se osigurati prikladni prijenosni instrumenti za mjerenje koncentracije kisika i zapaljivih para u prostorima dvostrukog trupa i prostorima dvostrukog dna. Prilikom odabira ovih instrumenata potrebno je posvetiti dužnu pozornost njihovoj upotrebi u kombinaciji s fiksnim sustavima cjevovoda.

Tamo gdje se atmosfera u prostorima dvostrukog trupa ne može pouzdano testirati pomoću savitljivih cijevi za ispitivanje plina, moraju postojati trajni cjevovodi za ispitivanje plina. Konfiguracija cjevovoda za ispitivanje plina mora biti prilagođena dizajnu ovih prostora.

Materijali izrade i dimenzije cjevovoda za ispitivanje plina moraju biti takvi da spriječe restrikcije (ograničenje/začepljenje). Pri uporabi plastičnih materijala, oni moraju biti električki vodljivi.

### **2.1.7. Fiksni sustavi za otkrivanje plina ugljikovodika u prostorima dvostrukog trupa i dvostrukog dna tankera za prijevoz sirove nafte**

Naftni tankeri nosivosti 20 000 tona i više, moraju biti opremljeni fiksnim sustavom detekcije ugljikovodika (u skladu s FSS Kodeksom) za mjerenje koncentracija plinova ugljikovodika u svim balastnim tankovima, praznim prostorima dvostrukih trupova i dvostrukog dna uz tankove tereta, uključujući pramčani tank (forepeak) i sve druge tankove i prostore ispod pregradne palube uz tankove tereta.

Tankeri za prijevoz sirove nafte opremljeni stalno operativnim sustavima za inertiranje takvih prostora ne moraju biti opremljeni fiksnom opremom za detekciju ugljikovodika.

## **2.2. FSS KODEKS**

FSS kodeks (International Code for Fire Safety Systems) u poglavlju 15. „Inert Gas Systems“ precizira potrebne specifikacije i uvjete sustava inertnog plina u skladu sa Međunarodnom konvencijom o zaštiti ljudskih života na moru (SOLAS Konvencijom) u poglavlju II-2. Pored općih zahtjeva i zahtijevanih funkcija, dati su i zahtjevi vezani za komponente sustava, zahtjevi instalacije te zahtjevi za rad i kontrolu sustava inertnog plina.

### **2.2.1. Opći zahtjevi IGS-a – sposobnosti sustava**

Sustav inertnog plina projektira se, konstruira i testira tako da zadovoljava određene uvijete. Biti će tako dizajniran i raditi tako da u svakom trenutku čini i održava atmosferu u tankovima tereta nezapaljivom, osim kada se zahtijeva da takvi spremnici budu bez plina. U slučaju da sustav inertnog plina ne može ispuniti prethodno navedeni operativni zahtjev i utvrđeno je da je neizvedivo izvršiti popravak, iskrcaj tereta, iskrcaj balasta i potrebno čišćenje spremnika, nastavit će se samo kada se pridržavamo smjernica "izvanrednih uvjeta" navedenih u „Smjernicama o sustavu inertnog plina“.

Prema FSS kodeksu IGS mora biti sposoban za:

1. Inertiranje praznih tankova tereta smanjivanjem sadržaja kisika u atmosferi svakog tanka do razine na kojoj izgaranje nije moguće;
2. održavanje atmosfere u bilo kojem dijelu bilo kojeg tanka tereta takvom da sadržaj kisika ne bude veći od 8% volumena tanka, te da bude u nadtlaku cijelo vrijeme u luci i na moru osim kada je potrebno da takav spremnik bude bez plina;
3. uklanjanje potrebe za ulaskom zraka u tank tijekom normalnih operacija osim kada potrebno je da takav spremnik bude bez plina; i

4. pročišćavanje praznih tankova tereta od plina ugljikovodika, tako da kasnije operacije oslobađanja tanka od plina (gas freeing) niti u jednom trenutku neće stvoriti zapaljivu atmosferu unutar tanka tereta.

### **2.2.2. Zahtjevi komponenti IGS-a – opskrba inertnim plinom**

Inertni plin može biti pročišćeni dimni plin iz glavnog ili pomoćnih kotlova. Administracija može prihvatiti sustave koji koriste dimne plinove iz jednog ili više zasebnih generatora plina ili iz drugih izvora ili bilo koja njihova kombinacija, pod uvjetom da je postignut ekvivalentan standard sigurnosti.

Sustavi koji koriste pohranjeni ugljični dioksid neće biti dopušteni osim ako je Administracija zadovoljena time da je rizik od zapaljenja stvaranjem statičkog elektriciteta od samog sustava sveden na minimum.

Sustav inertnog plina mora biti u stanju isporučiti inertni plin u tankove tereta brzinom od najmanje 125 % najveće rate kapaciteta iskrcavanja tereta s broda (izražene kao volumen). Također, mora biti sposoban isporučiti inertni plin s udjelom kisika od najviše 5 % po volumenu u glavnom dovodu inertnog plina u tankove tereta pri bilo kojoj potrebnoj brzini protoka.

Na generator inertnog plina moraju se postaviti dvije pumpe za gorivo. Administracija može dopustiti samo jednu pumpu za gorivo pod uvjetom da ima dovoljno rezervnih dijelova za tu pumpu. Propisani su još i zahtjevi za pročištače i puhalo plinova kao i za vodene brtve koje se koriste u samom sustavu inertnog plina.

### **2.2.3. Zahtjevi instalacije IGS-a**

Zahtjevi instalacije dijele se na sigurnosne mjere u sustavu inertnog plina i na zahtjeve vezane za cjevovode inertnog plina.



Sigurnosne mjere u sustavu inertnog plina provode se zahtjevima za:

1. Izolacijske ventile dimnih plinova - zaporni ventili za dimne plinove moraju se ugraditi u cjevovod za dovod inertnog plina između otvora kotla i pročistača dimnih plinova, ovi ventili moraju biti opremljeni indikatorima koji pokazuju jesu li su otvoreni ili zatvoreni, te se moraju poduzeti mjere opreza da budu nepropusni za plin i da zadrže ležišta čista od čađe. Potrebno je osigurati da puhala čađe iz kotla ne mogu raditi kada je odgovarajući dimovodni ventil otvoren;
2. prevenciju puštanja takvih plinova - posebnu pozornost treba posvetiti dizajnu i položaju pročistača i puhala s odgovarajućim cjevovodima i priključcima kako bi se spriječilo istjecanje dimnih plinova u zatvorene prostore. Kako bi se omogućilo sigurno održavanje, mora biti ugrađena dodatna vodena brtva ili drugi učinkovit način brtvljenja između izolacijskih ventila dimnih plinova i pročistača ili takav sustav mora biti ugrađen na ulazu plina u pročistač;
3. ventilima regulacije plina - mora biti ugrađen u glavni dovod inertnog plina, ovaj ventil će automatski zatvarati kad je potrebno, također će biti sposoban za automatsko reguliranje protoka inertnog plina u tankove tereta osim ako nije predviđeno sredstvo za automatsko kontroliranje brzine puhala inertnog plina;
4. nepovratnim uređajima dimnih plinova - najmanje dva nepovratna uređaja, od kojih jedna mora biti vodena brtva, moraju biti postavljeni u glavni dovod inertnog plina, kako bi se spriječilo vraćanje para ugljikovodika u prostore stroja ili u bilo koje prostore koji su „gas-safe“ u svim normalnim uvjetima trima, nagiba i gibanja broda. Moraju se nalaziti između automatskog ventila i zadnjeg priključka s bilo kojim spremnikom tereta ili cjevovodom tereta;
5. automatskom sustavu gašenja, te zraku bogatom kisikom koji navodi da je ukoliko količina kisika pređe 8% po volumenu, potrebna neposredna radnja kako bi se poboljšala kvaliteta inertnog plina, a ako se ne uspije poboljšati rad sustava se mora obustaviti.

Zahtjevi vezani za cjevovode navode kako se glavni dovod inertnog plina može podijeliti u dvije ili više grana ispred do sad navedenih nepovratnih elemenata. Glavni dovod inertnog plina mora biti opremljen cjevovodom koji vodi do svakog tanka tereta. Ogranci cjevovoda za inertni plin moraju biti opremljeni zapornim ventilima ili ekvivalentnim sredstvima za izolaciju svakog spremnika. Tamo gdje su ugrađeni zaporni ventili, oni moraju imati mogućnost blokiranja koja će biti pod kontrolom odgovornog broskog časnika.

Kontrolni sustav kojim se upravlja mora pružati nedvosmislene informacije o radnom statusu takvih ventila. Moraju biti dostupna sredstva za zaštitu tankova tereta od utjecaja nadtlaka ili vakuuma uzrokovanih variranjem topline kada su tankovi tereta izolirani od cjevovoda inertnog plina. Sustavi cjevovoda moraju biti projektirani tako da spriječe nakupljanje tereta ili vode u cjevovodima u svim normalnim uvjetima. Moraju se osigurati uređaji koji omogućavaju spajanje glavnog cjevovoda inertnog plina na vanjski dovod inertnog plina. Sustav će se sastojati od 250 mm velike pričvršćene prirubnice (nominalna veličina cijevi), izolirane od glavnog cjevovoda inertnog plina pomoću ventila i smještena ispred nepovratnog ventila. Dizajn prirubnice treba odgovarati odgovarajućoj klasi prema standardima usvojenim za projektiranje vanjskih priključaka na brodski sustav cjevovoda za teret. Ako je postavljen spoj između glavnog dovoda inertnog plina i sustava cjevovoda za teret, potrebno je osigurati učinkovitu izolaciju s obzirom na veliku razliku tlaka koja može postojati između sustava. Sastoji se od dva zaporna ventila sa uređajem za sigurnu ventilaciju prostora između ventila ili uređajem koji se sastoji od tzv. „spool-piece“. Ventil koji odvaja glavni dovod inertnog plina od glavnog cjevovoda tereta i koji je na strani glavnog cjevovoda tereta mora biti nepovratni ventil.

#### **2.2.4. Zahtjevi za rad i kontrolu**

Dio FSS Kodeksa koji se odnosi na zahtjeve za rad i kontrolu navodi zahtjeve za indikacijske uređaje (kao i za uređaje za bilježenje), zvučne i vizualne alarme te za instruktorske priručnike.

Zahtjevi za indikacijske uređaje (i uređaje za bilježenje) propisuju obavezu da se osiguraju sredstva za kontinuirano pokazivanje temperature i tlaka inertnog plina na ispusnoj strani plinskih puhala, kad god plinska puhala rade. Oprema mora biti postavljena za kontinuirano prikazivanje i trajno bilježenje (pri dovodu inertnog plina):

1. tlaka glavnog dovoda inertnog plina ispred nepovratnih uređaja
2. sadržaja kisika u inertnom plinu u opskrbnom cjevovodu inertnog plina na ispusnoj strani plinskih puhala

Uređaji za indikaciju (i bilježenje) moraju biti smješteni u prostoriji za upravljanje teretom (Cargo Control Room - CCR) gdje je tako i predviđeno. Tamo gdje nema kontrolne prostorije za teret (CCR-a), postavljaju se na mjesto lako dostupno časniku zaduženom za operacije s teretom. Osim toga, moraju se ugraditi brojila:

1. na zapovjedničkom mostu kako bi u svakom trenutku pokazivao tlak u tankovima
2. u kontrolnoj prostoriji strojeva ili u prostoru strojeva za prikaz sadržaja kisika

Prijenosni instrumenti za mjerenje koncentracije kisika i zapaljivih para moraju biti dostupni. Osim toga, za svaki tank tereta treba se omogućiti da se stanje atmosfere u tanku može provjeriti pomoću prijenosnih instrumenata. Moraju se osigurati i prikladna sredstva za kalibraciju nule i raspona fiksnih i prijenosnih instrumenata za mjerenje koncentracije plinova.

Za sustave inertnog plina tipa ispušnih dimova i tipa plina dobivenog iz generatora inertnog plina, moraju se osigurati zvučni i vizualni alarmi koji pokazuju:

1. Nizak tlak vode ili niska brzina protoka vode u pročištaču dimnih plinova;
2. visoka razina vode u pročištaču dimnih plinova;
3. visoka temperatura plina;
4. kvar puhala inertnog plina;
5. sadržaj kisika veći od 8% volumena;
6. kvar napajanja automatskog upravljačkog sustava za ventile za regulaciju plina i mjernih uređaja;
7. niska razina vode u vodenoj brtvi;
8. tlak plina manji od 100 mm vodenog stupca;
9. visoki tlak plina.

Za sustave koji dobivaju inertni plin putem generatora inertnog plina, dodatni zvučni i vizualni alarmi moraju se dati za označavanje:

1. Nedovoljna opskrba gorivom;
2. kvar napajanja generatora;
3. kvar napajanja automatskog upravljačkog sustava generatora.

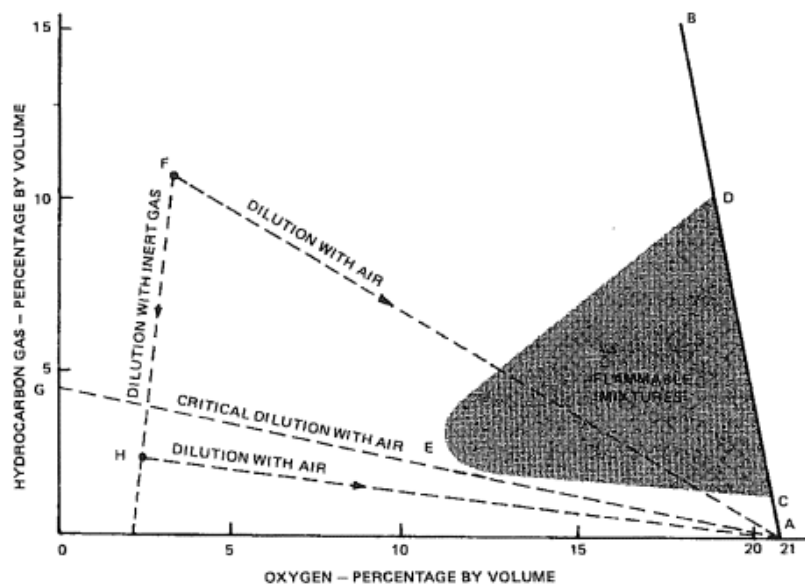
Alarmi koji se zahtijevaju moraju biti ugrađeni u prostor strojeva i prostor za upravljanje teretom (CCR), ako je predviđeno, ali u svakom slučaju na takvom položaju da ih odmah primaju odgovorni članovi posade. Zvučni sustav alarma neovisan o onom koji se zahtijeva drugim stavkama, mora se osigurati da radi na temelju unaprijed određenih granica niskog tlaka koje se jave u glavnom cjevovodu inertnog plina.

Na brodu se moraju nalaziti i detaljni priručnici s uputama koji pokrivaju operacije, sigurnost i zahtjeve održavanja i opasnosti za zdravlje na radu a koje su relevantne za sustav inertnog plina i njegovu primjenu na sustav tankova tereta. Priručnici će sadržavati smjernice o postupcima koje treba slijediti u slučaju neke greške ili kvara sustava inertnog plina.

### 3. SUSTAV INERTNOG PLINA

Sustav inertnog plina je sustav uređaja i opreme koje koristimo kako bi spriječili mogućnost nastajanja požara ili eksplozije na brodu za prijevoz sirove nafte ubacivanjem plina osiromašenog kisikom (inertnog plina) u brodske prostore, na taj način smanjujući postotak kisika u atmosferi unutar tanka ispod granice zapaljivosti.

Mješavina para ugljikovodika i zraka ne može se zapaliti osim ako njen sastav nije unutar raspona koncentracija plina u zraku poznatog kao „raspon zapaljivosti“. Donja granica ovog raspona poznata kao „donja granica zapaljivosti“ je svaka koncentracija ugljikovodika ispod koje nema dovoljno ugljikovodika za održavanje izgaranja, dok je „gornja granica zapaljivosti“ svaka koncentracija ugljikovodika iznad koje nema dovoljno ugljikovodika za održavanje izgaranja [4].



**Slika 2.** Dijagram zapaljivosti

Izvor: Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., 2011, INERT GAS SYSTEM, System type FIn 15.000 – 0.1 QS, INSTRUCTION MANUAL, Alfa Laval Aalborg K. K., Japan. [4]

Kada se mješavini zraka i ugljikovodika doda inertni plin, rezultat je povećanje donje granice zapaljivosti i smanjenje gornje granice zapaljivosti. Raspon zapaljivosti progresivno dodavanjem inertnog plina opada sve dok sadržaj kisika ne dosegne razinu koja se općenito smatra 11% po volumenu, pri kojoj ni jedna smjesa ne može gorjeti. Unatoč tome IMO

propisuje granicu od 8% kako je već spomenuto, a većina terminala zahtjeva da u inertiranoj atmosferi unutar tanka ne bude više od 5% kisika [4].

Najopasnije operacije na brodu za prijevoz sirove nafte predstavljaju nam iskrcaj tereta, te pranje tankova nakon prijevoza tereta, zato što se tad zapaljive pare u tanku miješaju sa zrakom na taj način stvarajući smjesu zraka koja je pogodna za požar ili eksploziju, a kod pranja tanka sirovom naftom može doći do iskrenja radi trenja između tereta i stijenki tanka.

Inertni plin je takav plin koji ne gori niti podržava gorenje, a za njegovu proizvodnju koriste se ispušni plinovi dobiveni iz brodskih motora ili turbina pri čemu je plin potrebno pročistiti u pročistaču i hladiti, ili su to plinovi dobiveni iz generatora inertnog plina kojem je proizvodnja takvog plina osnovna namjena.

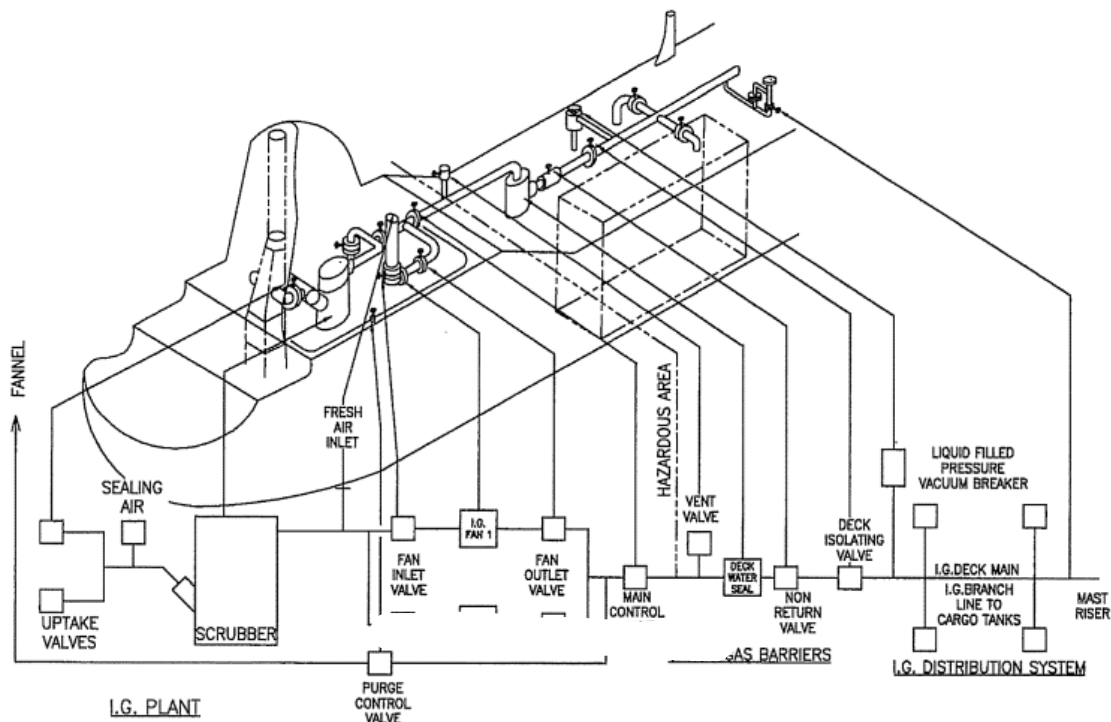
### **3.1. DIJELOVI SUSTAVA INERTNOG PLINA**

Sustav inertnog plina uključuje postrojenje za inertni plin i distribucijski sustav inertnog plina zajedno sa sredstvima za sprječavanje povratnog toka plinova tereta do prostorija strojeva, te fiksne i prijenosne mjerne instrumente i kontrolne uređaje [1].

Postrojenje za inertni plin predstavlja svu opremu za opskrbu, hlađenje, čišćenje, stvaranje tlaka, nadzor i kontrolu isporuke inertnog plina do tankova tereta.

Glavne komponente sustava inertnog plina su: Pročistač (Scrubber), ventilatori (puhala) inertnog plina, ventili za regulaciju tlaka, palubna (vodena) brtva, palubni izolacijski ventil i nepovratni ventil, te P/V braker [4].

Inertni plin se proizvodi u generatoru inertnog plina ili u kotlovima (dimni plin), zatim prolazi kroz pročistač inertnog plina (scrubber) koji ga čisti i hladi, uređaj koji uklanja vlagu iz plina (demister) gdje se iz plina izdvajaju kapljice vode, zatim se pomoću ventilatora plin upuhuje kroz cjevovod, na palubi prolazi palubnu (vodenu) brtvu, nepovratni ventil i glavni zaporni ventil (palubni izolacijski ventil), nakon toga se plin raspoređuje na svaki tank tereta posebno do dobavnog (zapornog) ventila (za svaki tank), te nakon toga ulazi u tank, osim toga na glavni cjevovod na palubi također su spojeni i P/V breaker te mast riser.



**Slika 3.** Tipičan raspored sustava inertnog plina

Izvor: Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., 2011, INERT GAS SYSTEM, System type FlN 15.000 – 0.1 QS, INSTRUCTION MANUAL, Alfa Laval Aalborg K. K., Japan. [4]

### 3.1.1. Jedinica za proizvodnju inertnog plina

Ovisno o vrsti IGS-a, jedinica za proizvodnju inertnog plina može biti:

- Sustav dimnih plinova: gdje se jedinica za proizvodnju plina sastoji se od ekonomizatora dimnih plinova, pročistača i puhalo. Dimni plin nakon izlaska iz brodskih kotlova ili druge opreme za izgaranje goriva se hladi, zatim čisti u pročistačima, a nakon toga se takav čisti plin dovodi u tankove tereta u svojstvu inertnog plina. To mogu biti sustavi sa kotlovima velikog kapaciteta koji se uglavnom koriste na tankerima za prijevoz sirove nafte, ili generatori inertnog plina, koji su u principu isti sustav, ali sa manjim kotlovima koji su integrirani u cjelokupnu IGS jedinicu. Ne proizvode pare pa se najčešće koriste na tankerima za prijevoz naftnih produkata, i na tankerima za prijevoz kemikalija.

- Sustav membranskog tipa: gdje se jedinica za proizvodnju plina sastoji od zračnih kompresora, zračnih filtera i membrana za odvajanje plina. Zračni kompresori dovode komprimirani zrak u jedinicu za odvajanje plina, gdje se dušik odvaja i dovodi u tankove tereta ili druge prostore u svrhu smanjivanja postotka kisika. Ovakvi se sustavi rijetko ili gotovo nikada ne koriste na tankerima za prijevoz sirove nafte, već na tankerima za prijevoz ukapljenog prirodnog plina za pročišćavanje cijevi (purging) te za punjenje međubarijernih prostora tankova.

### **3.1.2. Pročistač (Scrubber)**

Kako bi inertni plin dobiven od ispušnih plinova (dimni plin) imao odgovarajuće karakteristike potrebno ga je prethodno obraditi. Pojam prethodne obrade inertnog plina podrazumijeva pročišćavanje i hlađenje. Dimni plinovi iz kotla čiste se i hlade morskom vodom u pročistaču, gdje se uklanja čađa te sumporni spojevi (SOx) koji se nalaze u plinu. Sustav obično uključuje odmagljivače (demister) ili filtre kojim se odvija učinkovito odvajanje vodene magle (vlage), te čistače za uklanjanje nečistoća poput čađe, sumpornih spojeva i raznih čestica iz plina.

Proces pročišćavanja kreće tako da dimni plin visoke temperature koji sadrži nečistoće ulazi u sustav za pročišćavanje. Prije ulaska u glavnu sekciju za čišćenje, dimni plin može proći procese prethodne obrade, odnosno hlađenja dimnog plina kako bi se smanjila njegova temperatura i kako bi se uklonile velike čestice pomoću odmagljivača ili filtera. Zatim plin dolazi do glavne sekcije za ispiranje koja se sastoji od jednog ili više podsustava u kojima dimni plin dolazi u kontakt s medijem za ispiranje. Medij za pranje je obično voda ili otopina na bazi vode. Dimni plin i medij za čišćenje zatim dolaze u kontakt sa različitim mehanizmima poput mlaznica za raspršivanje, sabijenih slojeva ili ploča za povećanje površine radi učinkovitijeg kontakta plina i tekućine, a sve u svrhu poboljšanja upijanja nečistoća. Nečistoće u dimnom plinu poput sumpornog dioksida (SO<sub>2</sub>) i kiselih plinova, mogu biti podvrgnute kemijskim reakcijama s medijem za čišćenje. Nakon što je dimni plin očišćen, prolazi kroz proces odvajanja kako bi se uklonile sve preostale kapljice tekućine ili magla. To se postiže odmagljivačima (demisterima), gdje plin prolazi kroz mrežicu ili lopatice koje skupljaju čestice tekućine, dopuštajući im da se ocijede natrag u



čistač za ponovnu upotrebu. Takav, pročišćeni dimni plin sa smanjenim nečistoćama izlazi iz sustava za ispiranje i dalje se obrađuje ili pomoću ventilatora upuhuje u tankove tereta.

Tijekom cijelog procesa pročišćavanja, sustav čišćenja također može sadržavati uređaje za nadziranje, kao što su senzori ili mjerači zamućenosti, kako bi se osigurala optimalna izvedba procesa.



**Slika 4.** Pročistač

Izvor: Kashinawa Tech Co., Ltd., '*Inert Gas System (IGS)*', online, <https://kashiwa-tech.co.jp/en/inert-gas/inert-gas-d1/>, (12.7.2023.) [5]

### **3.1.3. Ventilatori (puhala) inertnog plina**

Ventilatori, odnosno puhala inertnog plina se koriste u svrhu postizanja potrebnog kapaciteta inertnog plina. Uloga ventilatora jest da usisavaju inertni plin iz pročistača i da ga tlače, odnosno upuhuju u tankove tereta [6]. Svoju namjenu vrše kroz cijeli proces rada sustava inertnog plina, nakon što se inertni plin proizvede i ako je to potrebno, pročisti i ohladi, ventilatori se koriste za dovod do tankova tereta, te kruženje (cirkulaciju) plina unutar tankova tereta. Ventilatori pomažu u ravnomjernoj distribuciji inertnog plina kroz tank, osiguravajući učinkovito istiskivanje kisika. Također, pomažu u održavanju željenog tlaka unutar tankova tereta, podešavanjem brzine rada ventilatora može se regulirati tlak unutar spremnika kako bi se postigli zadovoljavajući uvjeti.

Sustav inertnog plina sadrži minimalno dva ventilatora koji pri zajedničkom radu osiguravaju maksimalnu proizvodnju inertnog plina. Kapacitet njihovog rada mora biti za

25% veći od najvećeg iskrcajnog kapaciteta pumpi tereta kako se u tanku ne bi stvorio podtlak i na taj način oštetio sam tank. Tlak plina koji ventilatori u tankovima tereta stvaraju iznosi oko 600 mm vodenog stupca (H<sub>2</sub>O). [7. p. 9.]

Ventilatori (puhala) su opremljeni raznim sigurnosnim značajkama, npr., protu eksplozivne su izvedbe kako bi se spriječilo paljenje zapaljivih plinova. Osim toga, opremljeni su sustavima nadzora za otkrivanje i alarmiranje bilo kakvog neispravnog rada ili detektiranih neuobičajenih uvjeta.

Dvije vrste ventilatora koje se najviše koriste su ventilatori pogonjeni parnom turbinom te ventilatori pogonjeni električnim motorom.



**Slika 5.** Puhala inertnog plina

Izvor: Flebu, 'High Pressure Fans', online,

<https://www.flebu.com/kopi-av-high-pressure-fans-1>, (12.7.2023.) [8]

#### **3.1.4. Palubni izolacijski ventil i nepovratni ventil**

Palubni izolacijski ventil i nepovratni ventil su uređaji iste namjene kao palubna (vodena) brtva, odnosno služe sprječavanju povrata para ugljikovodika prema prostorima strojarnice (izvoru inertnog plina), gdje povratkom takvih plinova nastaje atmosfera koja bi

se potencijalno mogla zapaliti što dovodi do opasnosti od požara ili eksplozije, pa su iz tog razloga nepovratni ventil, uz palubni izolacijski ventil i palubnu brtvu ključne sigurnosne značajke. Materijal koji se koristi u konstrukciji nepovratnih uređaja trebao bi biti otporan na vatru i na korozivno djelovanje kiselina koje stvara plin. [9. p. 15.]

Nepovratni ventil (Non-Return Valve - NRV) radi tako da dopušta plinu tok kroz palubni cjevovod u samo jednom smjeru, prema tankovima, na taj način blokirajući povrat plina u strojarnicu.

### **3.1.5. Palubna (vodena) brtva**

Palubna vodena brtva važna je komponenta sustava inertnog plina koja sprječava povrat lako zapaljivih plinova (para ugljikovodika) do prostora strojarnice, ili bilo kojeg sigurnog prostora tijekom svih uobičajenih uvjeta trima, nagiba i kretanja broda. Obično je to mehanička brtva ili vodena brtva koja se nalazi na palubi broda. Postoji više vrsta palubnih brtvi, no općenito ih možemo podijeliti na mokre, polu-mokre te suhe brtve.

Mokre su najjednostavniji i najčešće korišten tip palubne brtve, kada postrojenje inertnog plina radi, plin prolazi kroz vodu u obliku mjehurića iz uronjene ulazne cijevi inertnog plina, ako je pozitivan ili uzvodni tlak plinova veći od hidrauličkog tlaka vodenog stupca, sve je u redu, međutim u obrnutom slučaju, kada izlaz ima viši tlak ili rezultatni negativni tlak, plinovi imaju tendenciju teći natrag, a tada vodeni stupac djeluje kao barijera, sprječavajući rizično povratno strujanje plinova u ulazni vod. Voda djeluje kao „čep“ protiv plinova održavajući pozitivnu razliku tlaka. Nedostaci uključuju učinke korozije, manje brzine protoka inertnog plina kroz vodove zbog ograničenja vode, a često i kapljice vode i čestice koje prolaze zajedno s plinovima, što, iako ne narušava kvalitetu inertnog plina, može povećati koroziju [9. p. 13.]

Polu-mokri tip umjesto protokom plina kroz vodu u obliku mjehurića, radi tako da prolaz inertnog plina od izvora do palubnih prostora i tankova ostaje suh bez ikakvih prepreka, voda se nalazi u odjeljku koji je spojen na ovaj cjevovod, tijekom pozitivnog protoka zraka kada plin teče od izvora do tankova tereta voda ostaje u svojoj namjenskoj komori. U slučaju povratnog toka ili negativne razlike tlaka, voda iz se iz te komore uvlači ili usisava zbog djelovanja vakuuma, pa taj vodeni stupac djeluje kao barijera i sprječava povratni tok kao i kod mokre brtve. [9. p. 14.]

Suhi tip radi tako da prolaz inertnih plinova kroz cjevovod uglavnom ostaje suh. Voda se nalazi u zasebnom spremniku. U slučaju podtlaka ili obrnutog protoka, aktiviraju se senzori za otkrivanje koji zauzvrat aktiviraju mehanizam za otpuštanje vode, sustav je automatiziran. Nedostatak bi mogao biti rizik od kvara automatski kontroliranih ventila što može učiniti vodenu brtvu neučinkovitom[9. p. 14., 10, 11].



**Slika 6.** Palubna (vodena) brtva

Izvor: Kashinawa Tech Co., Ltd., '*Inert Gas System (IGS)*', online, <https://kashiwa-tech.co.jp/en/inert-gas/inert-gas-d1/>, (12.7.2023.) [5]

### **3.1.6. Ventili za regulaciju tlaka (P/V ventil)**

Ventil za regulaciju tlaka je ventil koji održava tlak u tanku unutar dozvoljenih granica. Pa tako možemo reći da mu je uloga spriječavanje nastanka pre velikog tlaka ili podtlaka (vakuuma) unutar tankova, ili drugih zatvorenih prostora uslijed operacija teretom (pri ukrcaju ili iskrcaju), pri inertiranju tankova ili zbog ekspanzije tereta radi promijene temperature, kako bi se izbjegle potencijalne deformacije ili štete na tankovima tereta, pošto se radi o zatvorenom sustavu. Ventil osigurava protok malih volumena pare, zraka ili inertnog plina uzrokovanih toplinskim varijacijama tereta u tanku. Vakuumski ventil se otvara ako tlak u spremniku padne ispod prethodno postavljene razine kako bi uvukao zrak u tank, tako održavajući tlak u granicama. U slučaju pre velikog tlaka, otvaraju se ventili za ispušt na tlačnoj strani kako bi se osiguralo da je izlaz plina usmjeren prema gore, ispuštanje atmosfere iz tanka se mora odvijati velikom brzinom kretanja plina kako bi se izbjegle

koncentracije plina na palubi. P/V ventili se nalaze na svakom tanku zasebno kako bi lakše kontrolirali tlak atmosfere u tanku koji je samo dio volumena cijelog sustava [12].

Najčešće izvedbe P/V ventila su sa utegom, oprugom ili magnetom, ventil djeluje na principu da tlak koji je veći od dopuštenog savladava određenu težinu utega, podešenu silu opruge ili magneta te na taj način izjednačava tlakove [13].

Važno je osvrnuti se i na to da postoje prijenosni P/V ventili. Prijenosni P/V ventili stavljaju se na balastne tankove u slučaju neke izvanredne situacije pri kojoj se balastni tankovi moraju inertirati [13].

P/V ventil je uobičajeno podešen da se otvori pri nižem tlaku od P/V breaker-a, koji su napunjeni tekućinom, a u slučaju podtlaka obično se otvaraju pri malo nižim ili istim vrijednostima kao i P/V breaker-i [14].



**Slika 7.** P/V ventili

Izvor: WÄRTSILÄ Encyclopedia of Marine and Energy Technology, 'Pressure-vacuum valve (P/V valve)', online: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/pressure-vacuum-valve-%28p-v-valve%29>, (12.7.2023.)

### **3.1.7. P/V breaker**

P/V breaker (pressure/vacuum), kao i P/V ventil, ima ulogu prevencije nastanka pre velikog tlaka ili podtlaka u glavnom cjevovodu radi varijacije u toplini tereta u tankovima

(ekspanzije), te radi operacija ukrcaja i iskrcaja tereta i inertiranja tankova tereta u slučaju da P/V ventili zakažu ili da se pomoću njih ne mogu dovoljno brzo izjednačiti tlakovi. [12] Povezani su na glavnu dobavnu cijev na koju su povezani svi tankovi. Na brodove za prijevoz sirove nafte postavljaju se jedan ili više ovakvih uređaja kapaciteta 25% većeg od maksimalnog iskrcajnog kapaciteta.

U većini slučajeva djeluju kada se teret treba iskrcevati sa maksimalnim kapacitetom pumpi i iznenada puhalo inertnog plina zakaže stvarajući negativni tlak veći od dozvoljenog, ili tijekom operacija ukrcaja gdje se tankovi tereta trebaju napuniti maksimalnim kapacitetom, a svi su otvori ostavljeni zatvoreni i/ili mast riser (palubni odušnik) ne radi, stvarajući tlak veći od dopuštenog [14].

P/V breaker je napunjen tekućinom koja je najčešće mješavina vode i antifrizna kako pri niskim temperaturama ne bi došlo do smrzavanja i nemogućnosti rada sustava. Da bi radili ispravno moraju biti napunjeni točno određenom količinom i gustoćom tekućine. Na samom uređaju pišu granične vrijednosti tlaka i podtlaka, datum zadnje inspekcije, tip antifrizna koji se koristi, te najnižu temperaturu pri kojoj može raditi ispravno.

Za razliku od P/V ventila koji se automatski otvaraju i zatvaraju, kada P/V breaker izbaci tekućinu potrebno ju je ručno nadomjestiti kako bi uređaj opet pravilno vršio funkciju brtve.



**Slika 8.** P/V breaker

Izvor: Shafran, D., 'What Is PV Valve And PV Breaker On Ships?', Maritime Page, online:

[https://maritimepage.com/pv-valve-and-pv-breaker-on-ships/?utm\\_content=cmp-true](https://maritimepage.com/pv-valve-and-pv-breaker-on-ships/?utm_content=cmp-true)

(12.7.2023.) [5]

### **3.1.8. Opskrba inertnim plinom u izvanrednom stanju**

Međunarodna konvencija o zaštiti života na moru (SOLAS 1974.) zahtijeva da se osiguraju prikladni uređaji koji omogućuju spajanje sustava inertnog plina na vanjski izvor inertnog plina.

Sustav bi se trebao sastojati od prirubnice s vijcima nominalne veličine cijevi od 250 mm koja je izolirana od glavnog cjevovoda inertnog plina pomoću ventila smještenog ispred nepovratnog ventila. Dizajn prirubnice treba biti kompatibilan s dizajnom drugih spojeva u brodskom sustavu cjevovoda za teret. [1. p. 191.]

### **3.2. KORIŠTENJE SUSTAVA INERTNOG PLINA**

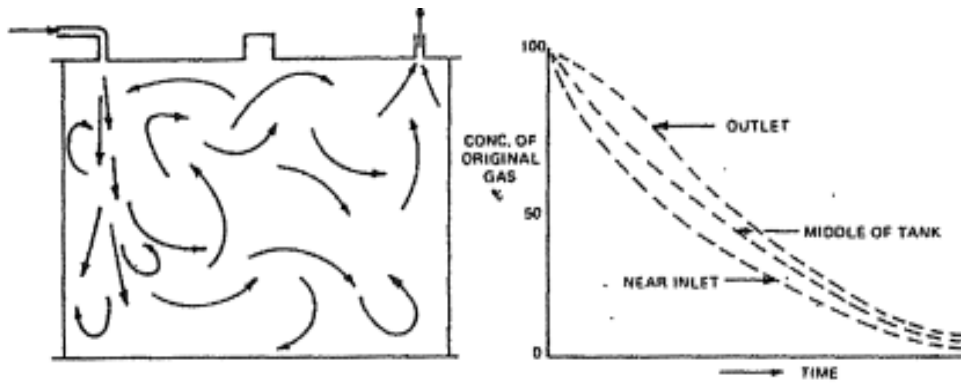
Sada kada smo u upoznati sa namjenom i dijelovima sustava inernog plina, možemo objasniti postupak korištenja sustava u svim slučajevima. Postoje tri operacije koje uključuju zamjenu plina u tankovima tereta:

1. Inertiranje
2. Pročišćavanje
3. Degaziranje / oslobađanje od plina (svježim zrakom)

U svakoj od ovih operacija može prevladavati jedan od dva načina izvođenja procesa:

1. Razrjeđivanje, što je proces mješanja
2. Potiskivanje, što je proces slojevitog upuhivanja

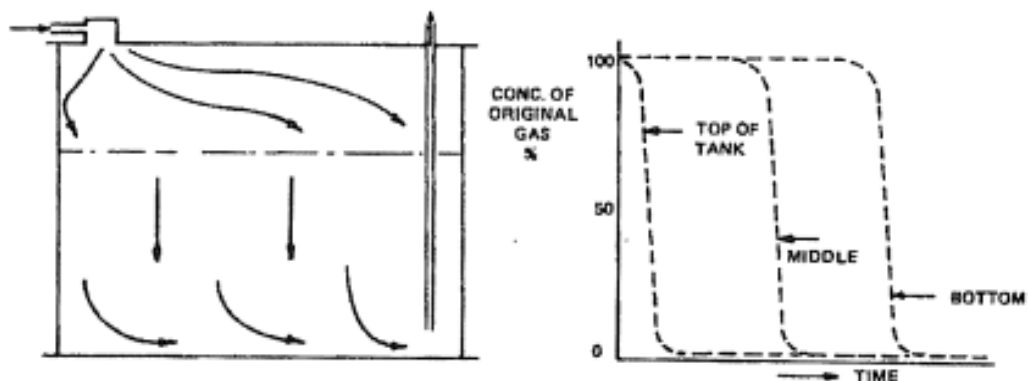
Razrjeđivanje se događa kada se inertni plin pri ulasku u tank pomiješa s izvornom atmosferom spremnika te tako formira homogenu smjesu u tanku tako da, kako se proces nastavlja, koncentracija izvornog plina progresivno opada. Važno je da dolazni inertni plin ima dovoljnu ulaznu brzinu da prođe do dna spremnika. Kako bi se to osiguralo mora se ograničiti broj tankova koji se mogu inertirati istovremeno. Ukoliko to nije jasno navedeno u operativnom priručniku, samo jedan tank treba biti inertiran ili pročišćavan odjednom [1. p. 182.]



**Slika 9.** Metoda razrjeđivanja

Izvor: Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., 2011, INERT GAS SYSTEM, System type FIn 15.000 – 0.1 QS, INSTRUCTION MANUAL, Alfa Laval Aalborg K. K., Japan. [4]

Potiskivanje ovisi o činjenici da je inertni plin nešto lakši od ugljikovodika tako da, dok inertni plin ulazi na vrhu spremnika, teži plin ugljikovodika izlazi s dna kroz odgovarajuće cijevi. Pri korištenju ove metode, važno je da inertni plin ima vrlo malu ulaznu brzinu kako bi se omogućilo stabilno vodoravno sučelje koje se razvije između ulaznog i izlaznog plina. Međutim, u praksi, mala količina razrjeđivanja je ipak neizbježna zbog turbulencije uzrokovane strujanjem inertnog plina. Ova metoda općenito dopušta da nekoliko tankova budu inertirani ili pročišćavani istovremeno. [1. p. 182.]



**Slika 10.** Metoda potiskivanja

Izvor: Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., 2011, INERT GAS SYSTEM, System type FIn 15.000 – 0.1 QS, INSTRUCTION MANUAL, Alfa Laval Aalborg K. K., Japan. [4]



Bez obzira na to koja se od ovih dviju metoda koristi, i bilo da se radi o inertiranju ili pročišćavanju, bitno je da se mjerenja kisika ili drugih plinova vrše se na nekoliko visina i vodoravnih položaja unutar tanka radi provjere učinkovitosti operacije. Mješavina inertnog plina i naftnog plina, kada se pomiješa sa zrakom, može postati zapaljiva. Uobičajene sigurnosne mjere kada se naftni plin potisne iz tanka ili razrijedi stoga ne smiju biti ublažene. [1. p. 182.]

Ova dva procesa imaju značajan utjecaj na metodu praćenja atmosfere unutar tanka i na tumačenje rezultata. Razumijevanje prirode procesa zamjene plina je neophodno za pravilno tumačenje očitanih vrijednosti sa odgovarajućih instrumenata za ispitivanje atmosfere [4].

### **3.2.1. Inertiranje praznih tankova**

Tankovi koji su prethodno pročišćeni i oslobođeni od plinova (gas freed) trebali bi biti ponovno inertirani po mogućnosti tijekom plovidbe broda u balastu kako bi se ostvarila mogućnost testiranja sustava inertnog plina prije operacija sa teretom u tom tanku. Dakle, prije nego što se sustav inertnog plina pokrene, moraju se izvršiti ispitivanja koja su zahtijevana priručnikom ili uputama proizvođača. Treba testirati i (fiksni) uređaj za mjerenje količine kisika, te prijenosne uređaje za mjerenje količine kisika i ugljikovodika u atmosferi.

Kod inertiranja praznih tankova koji su bez plina (gas free), na primjer nakon suhog doka ili ulaska u tank, inertni plin trebalo bi uvodi kroz distribucijski sustav, uz istovremeno ventiliranje tanka. Za vrijeme trajanja procesa inertiranja treba se izbjegavati mjerenje razine tekućine u tanku, uzimanje uzoraka tereta, i korištenje ostale slične opreme, osim ako je utvrđeno da je tank u inertnom stanju, odnosno da je sadržaj kisika u tanku manji od 8% volumena (ili manji ovisno o zahtjevima). Razina kisika u tanku održava se pozitivnim tlakom te korištenjem sustava inertnog plina za uvođenje dodatnog inertnog plina kada je to potrebno.

Kada su svi tankovi inertirani, trebali bi biti izjednačeni sa glavnim cjevovodom inertnog plina, a sustav bi trebao biti pod tlakom, s minimalnim pozitivnim tlakom od najmanje 100 mmWG (milimetara vodenog mjerila).

### **3.2.2. Ukrcaj tereta ili balasta u inertirane tankove**

Prema zahtjevima SOLAS konvencije, poglavlje II-2 u dijelu B pri ukrcaju tereta palubni izolirajući ventil treba biti zatvoren, postrojenje za inertni plin treba biti ugašeno osim u slučaju istovremenog iskrcaja balasta, a tankovi trebaju biti ventilirani odgovarajućim ventilacijskim sustavom. Svi otvori prema tankovima tereta, osim cjevovoda prema palubnom odušniku (mast riser-u) ili ekvivalentnom sustavu trebaju biti zatvoreni kako bi se minimiziralo nakupljanje zapaljivih para na palubi.

Po završetku ukrcaja sirove nafte ili balasta, a kada je izvršeno mjerenje razine tekućine, tankovi se trebaju zatvoriti i sustav inertnog plina ponovno pokrenuti i sustav treba biti vraćen pod pritisak ako je potrebno. Sustav tada treba isključiti i osigurati sve sigurnosne izolirajuće ventile. Lokalni propisi mogu zabraniti odzračivanje nakon ispiranja sirovom naftom.

### **3.2.3. Istodobne operacije teretom i balastom**

U slučaju istodobnih operacija ukrcaja i iskrcaja koje uključuju teret ili balast, ispuštanje atmosfere iz tanka u okolnu atmosferu može se svesti na minimum ili možda čak i potpuno izbjeći međusobnim povezivanjem tankova u kojima se vrše operacije prekrcaja preko glavnog cjevovoda inertnog plina.

Ovisno o relativnoj brzini prekrcaja, odnosno prekrcajnoj rati, tlak u tankovima se može povećati ili se može stvoriti podtlak (vakuum), stoga može biti potrebno prilagoditi protok inertnog plina u skladu sa prekrcajnom ratom radi održavanja tlaka u tankovima u granicama normale.

### **3.2.4. Ukrcano stanje i putovanje u balastu**

Pozitivan tlak inertnog plina iznad razine tereta u slobodnom prostoru treba održavati tijekom cijelog vremena kada su tankovi u ukrcanom stanju kako bi se spriječio mogući prodor zraka. Ako tlak padne ispod razine alarma niskog tlaka, pokretanjem postrojenja za inertni plin se ponovo uspostavlja odgovarajući tlak u sustavu. Kada se ponovno uspostavlja

odgovarajući tlak upuhivanjem dodatnog inertnog plina, važno je posvetiti pažnju održavanju količine kisika ispod 5% u dovodu inertnog plina prije nego što se dovede u tank.

Gubitak tlaka obično je povezan s curenjem plina iz otvora tanka te sa padanjem temperature zraka i mora pri čemu se teret skuplja. U tim je slučajevima još važnije osigurati da su spremnici nepropusni za plin. Curenje plina obično se lako otkriva po zvuku curenja i potrebno je učiniti sve što je moguće da bi se spriječilo curenje na otvorima tanka, poklopcima grotla, otvorima za mjerenje razine tekućine, otvorima uređaja za pranje tankova, ventilima, itd.

Propuštanja koja se ne mogu ukloniti trebaju biti označena i evidentirana kako bi se uklonila tijekom sljedećeg balastnog putovanja ili nekom drugom prikladnom prilikom.

Tijekom putovanja u balastu, tankovi tereta (osim onih koji moraju biti bez plina), trebaju ostati u inertnom stanju i pod tlakom kako bi se spriječio prodor zraka u tankove. Kad god tlak padne do razine na kojoj se javlja alarm za niski tlak, postrojenje za inertni plin treba ponovno pokrenuti kako bi se ponovno uspostavio tlak, pri čemu se sadržaju kisika u isporučenom inertnom plinu posvećuje dužna pažnja.

### **3.2.5. Iskrcaj tereta ili balasta iz inertiranih tankova**

Opskrba inertnim plinom mora se održavati kroz operacije iskrcaja tereta ili balasta kako bi se spriječio ulazak zraka u spremnike. Mjerenje razine tereta u tanku trebalo bi se vršiti uređajima zatvorenog tipa, no ako po dolasku u luku inertni plin mora biti od tlačen (de-pressurised) kako bi se izmjerila razina tereta otvaranjem otvora za mjerenje razine tereta ili kako bi se uzeo uzorak tereta, to može biti teško zbog niskog opterećenja kotla koji bi trebao ponovno povišati tlak inertnim plinom koji ima dovoljno niski sadržaj kisika. U ovom slučaju moglo bi biti potrebno stvoriti opterećenje na kotlu korištenjem glavnih teretnih pumpi za cirkuliranje tereta kroz brodske cjevovode sve dok kvaliteta inertnog plina ne bude zadovoljavajuća. Potrebna je velika pažnja kako bi se osiguralo da pumpe koje se koriste za cirkulaciju tereta ne uzrokuju preljev. Tijekom iskrcaja tereta, posebno kada je opterećenje kotla nisko ili varira, sadržaj kisika u dovodu inertnog plina mora se jako pažljivo pratiti.

Ako je potrebno ručno uranjanje u tank, tlak se može smanjiti dok su otvori za uranjanje otvoreni, mora se paziti da se ne stvori vakuum koji bi povukao zrak u tank. Kako

bi se to spriječilo, potrebno je smanjiti ratu (stopu) pumpanja tereta, a postoji li opasnost od nastajanja vakuuma u tanku, iskrcaj treba odmah zaustaviti.

Sadržaj kisika i tlak u glavnom cjevovodu inertnog plina trebaju biti kontinuirano nadgledani i bilježeni tijekom cijelog iskrcaja.

### **3.2.6. Pranje tankova (pranje sirovom naftom - COW)**

Prije pranja svakog tanka, količina kisika mora se provjeriti na dva mjesta, jedan metar ispod palube i na srednjoj razini praznog prostora od razine tereta do vrha tanka (ullage space). Ni na jednoj razini količina kisika ne smije biti veća od 8% volumena. Ako tankovi imaju pregrade, mjerenje treba izvršiti na sličnim razinama u svakom dijelu tanka. Količina kisika i tlak inertnog plina koji se isporučuje tijekom procesa pranja tankova treba kontinuirano bilježiti.

Ako tijekom pranja razina kisika u tanku premaši 8% volumena ili tlak atmosfere u tankovima više nije pozitivan, pranje se mora prekinuti sve dok se ponovo ne uspostave zadovoljavajući uvjeti.

### **3.2.7. Pročišćivanje tankova (purging) prije oslobađanja od plinova**

Nakon pranja je potrebno osloboditi tank od plinova, no prvo ga je potrebno pročistiti inertnim plinom kako bi se smanjio sadržaj ugljikovodika na 2% ili manje po volumenu. Time se osigurava da tijekom operacije oslobađanja tanka od plina, niti jedan dio atmosfere tanka nije u riziku od zapaljenja.

Sadržaj ugljikovodika mora se mjeriti odgovarajućim mjeračem posebno namijenjenim za mjerenje postotka ugljikovodika u atmosferi s nedostatkom kisika, uobičajeni uređaj za mjerenje zapaljivih plinova nije prikladan za korištenje u ovu svrhu.

Ako se koristi metoda pročišćavanja s razrjeđivanjem, treba je provesti sustavom inertnog plina postavljenim na maksimalni kapacitet kako bi se stvorila maksimalna turbulencija unutar spremnika. Ako se koristi metoda potiskivanja ulazna brzina plina trebala bi biti niža kako bi se spriječile nepotrebne turbulencije.

### **3.2.8. Oslobađanje tankova od plinova (gas freeing)**

Oslobađanje tankova od plinova trebalo bi se vršiti samo u slučaju kada je ulazak u tankove neophodan, npr. radi izvođenja bitnih popravaka. Ne smije se započeti prije no što je utvrđeno da se kao posljedica u tanku neće stvoriti zapaljiva atmosfera, sadržaj ugljikovodika mora biti prethodno smanjen.

Prije početka oslobađanja tanka od plina, spremnik treba izolirati od ostalih tankova. Za oslobađanje tankova od plinova mogu se koristiti pneumatski, hidraulični, ili parno pogonjeni ventilatori, te fiksna oprema za tu namjenu. Kada se za uvođenje zraka u tank koriste ventilatori koji su spojeni na sustav cjevovoda tereta, ulaz inertnog plina treba biti izoliran. Ako se za uvođenje svježeg zraka u tank koristi ventilator sustava inertnog plina, onda i linija koja vodi do izvora inertnog plina i linije za ulaz inertnog plina u svaki tank koji se inertira trebaju biti izolirane.

Oslobađanje tanka od plinova trebalo bi se provoditi sve dok u svakom dijelu tanka količina kisika ne iznosi 21% po volumenu, te dok se ne očitava manje od 1% LFL (donje granice zapaljenja) na indikatoru zapaljivih plinova.

### **3.2.9. Priprema za ulazak u zatvorene prostore**

Ulazak osoblja u zatvorene prostore vrši se nakon što je tank oslobođen od plinova. Kako bi se osiguralo razrjeđivanje toksičnih komponenti inertnog plina ispod njihove granične vrijednosti (TLV – Treshold Limit Values), oslobađanje tankova od inertnog plina vrši se sve dok ispitivanja s analizatorom kisika ne pokazuju stabilno očitavanje kisika od 21% po volumenu, i testovi s indikatorom zapaljivog plina pokazuju ne više od 1% LFL. Ako se sumnja na prisutnost otrovnog plina, poput benzena ili hidrogen sulfida, oslobađanje tankova od plina treba nastaviti sve dok testovi ne pokažu da je njegova koncentracija ispod njegove TLV. [1. p. 187.]

Pozitivna ventilacija svježim zrakom treba se održavati tijekom cijelog razdoblja u kojem se osoblje nalazi u tanku i potrebno je provoditi česta ispitivanja sadržaja kisika i ugljikovodika atmosfere u tanku.

Kada su drugi spremnici u inertnom stanju koji su susjedni ili međusobno povezani (npr. cjevovod) sa tankom u koji se ulazi, osoblje treba biti na oprezu radi mogućnosti curenja inertnog plina u tank bez plina kroz, na primjer, pukotine na pregradama ili neispravni ventil.

Kada se spremnik bez plina ponovno spoji na glavni cjevovod inertnog plina, trebao bi se odmah ponovno inertirati, kako bi se spriječilo širenje zraka u druge tankove.

## 4. INERTIRANJE BALASTNIH PROSTORA

Sustavi inertnog plina na tankerima za prijevoz sirove nafta prvenstveno se koriste za tankove tereta u svrhu održavanja atmosfere koja radi nedostatka kisika ne podržava gorenje niti eksploziju. Nije uobičajeno imati takav sustav ugrađen posebno, samo za balastne tankove. Balastni tankovi koriste se prvenstveno za stabilizaciju broda te podešavanje gaza i trima tijekom teretnih operacija. Međutim, u određenim slučajevima, inertni plin se može unijeti u balastne tankove za neke posebne namjene.

Primjeri u kojima se inertni plin može koristiti u balastnim tankovima:

- Propuštanje tereta u tankove balasta: pri puštanju tanka, teret može ovisno o položaju tankova procuriti u tankove balasta. Balastni prostor u uobičajenim okolnostima sadrži kisik zato što je izravno povezan sa atmosferom putem odušnika na palubi, pa se tako vrlo lako može stvoriti zapaljiva ili eksplozivna atmosfera. Pa mora postojati mogućnost inertiranja balastnih prostora u slučaju da je sustavom detekcije u tankovima balasta utvrđeno prisustvo ugljikovodika.
- Usporavanje korodiranja balastnih tankova: Održavanjem kisika ispod 4% brzina korodiranja se iznimno smanjuje (tzv. „oxygen stripping“) [3].

American Bureau of Shipping (ABS) 2004. godine izdaje „Guide for inert gas system for ballast tanks“, u kojem su navedene tehničke smjernice za sustave inertnog plina za balastne tankove, što je predstavljalo veliki korak naprijed u sigurnosti rada tankera. ABS je prvo društvo koje je postavilo standarde i ponudilo dokumentaciju za usklađenost s projektnim kriterijima i postupcima za inertiranje balastnih tankova na tankerima s dvostrukom oplatom. Usklađenost sa smjernicama dovodi do oznake klase „IGS-Ballast“. Pored projektnih kriterija za sustave i postupaka navođenja za pravilno inertiranje i oslobađanje balastnih tankova od plina, još jedna važna sekundarna prednost dobivena tim smjernicama je kontroliranje korozije u balastnim tankovima zato što je korozija u osnovi proces oksidacije, pa se uvođenjem inertnog plina koji sadrži smanjenu razinu kisika smanjuje i stopa korozije. Smjernice zajedno sa dodatkom pokrivaju dizajn namjenskih sustava inertnog plina, kao i uobičajenih sustava inertnog plina za balastne tankove i tankove tereta, ventiliranje balastnih tankova, sustave za otkrivanje plinova u balastnim tankovima, te zahtjeve za preglede [15].

European Maritime Safety Agency (EMSA) je okupila skupinu stručnjaka 2005. godine koji su prema izvješću utvrdili prednosti i nedostatke sustava inertnog plina u balastnim prostorima. Prema njima, prednosti uključuju smanjenje mogućnost eksplozije u prostorima dvostrukog trupa te u prostorima dvostrukog dna uslijed istjecanje ugljikovodika iz teretnih prostora, te smanjivanje korozije u balastnim prostorima u određenim slučajevima npr., kada je inertni plin dušik. Utvrđeni nedostaci navode kako povratne informacije primljene od brodova u službi pokazuju da curenje tereta u prostore dvostrukog trupa i dvostruko dno nisu pokazali značajnim problem, zatim, inertiranje prostora dimnim plinovima u slučaju da postoje zaostale čestice izgaranja, može potaknuti koroziju unutar prostora dvostrukog trupa i dvostrukog dna, osim toga navode da bi inertiranje obeshrabilo inspekcije prostora dvostrukog trupa i dvostrukog dna zbog procedura oslobađanja tih prostora od plina (gas freeing) koji bi se morali izvršiti prije ulaska u navedene prostore. [16. p. 16.]

#### **4.2. DIJELOVI SUSTAVA INERTIRANJA BALASTNIH TANKOVA**

Ukoliko se radi o trajno ugrađenoj izvedbi sustava za inertiranje balastnih prostora, na glavnoj dobavi inertnog plina postoji ogranak cjevovoda kojim se inertni plin može dovesti u takve prostore.

U slučaju da se balastni prostori mogu inertirati, ti tankovi moraju imati i P/V ventil koji može biti trajno ugrađen no postoje i prijenosne izvedbe koje se na tank stavljaju samo kada se taj tank inertira. Prijenosni ventili koriste se zato što se balastni tankovi uglavnom inertiraju samo u izvanrednim okolnostima.

Ostali dijelovi sustava inertiranja balastnih tankova su isti kao i kod uobičajenog sustava inertiranja tankova tereta, odnosno u oba slučaja se koristi isti sustav koji dovodi inertni plin u tankove.





**Slika 11.** Prijenosni P/V ventil

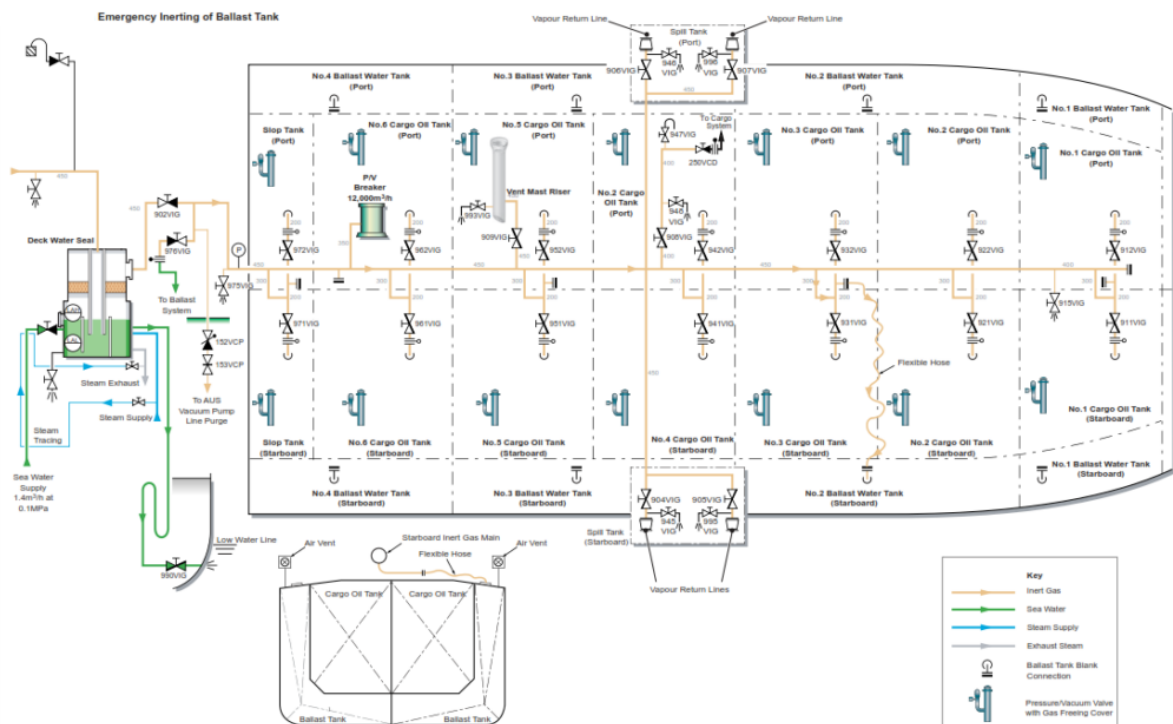
Izvor: Right Marine, '*High Speed Pressure Vacuum Valve with Heat Devices*',  
online: <https://www.rightmarine.com/product/high-speed-pressure-vacuum-valve/> ,  
(12.7.2023.) [17]

### **4.3. PROCES INERTIRANJA BALASTNIH PROSTORA**

Prostori dvostrukog trupa i balastni prostori uobičajeno su ispunjeni zrakom, odnosno vanjskom atmosferom. Ako je zapaljivi plin detektiran u takvim prostorima, prostori se moraju inertirati, dakle mora postojati mogućnost inertiranja tih prostora kako bi održali atmosferu u granicama manjim od granica eksplozivnosti.

Operativni postupci za inertiranje takvih prostora gotovo su isti kao i kod inertiranja tankova tereta. Prvo je bitno pripremiti sustav i prostor za proces inertiranja, što znači da treba osigurati da su balastni tankovi čisti, bez ikakvih zapaljivih ili opasnih tvari i da su u dobrom radnom stanju, odnosno da nisu oštećeni, zatim se vrši provjera kojom se utvrđuje da je sustav inertnog plina u ispravnom stanju, s osvrtom na mogućnost dobave inertnog plina u odgovarajućoj količini. Važno je i pridržavanje svih dostupnih smjernica i uputa za takve procedure prema odgovarajućim propisima i uputama proizvođača. Potrebno je zatvoriti sve otvore tankova ako već nisu zatvoreni, uključujući ventile, otvore i grotla. Provjeriti je li tank zabrtvljen i hermetički zatvoren kako bi se spriječio ulazak zraka tijekom procesa inertiranja. Kako bi se započeo proces inertiranja, nakon provjera, cjevovod za inertiranje balasta (mogu biti fleksibilne cijevi) spaja se na glavni dovod inertnog plina, pokreće se sustav inertnog plina uz prilagodbu protoka prema veličini tanka i metodi inertiranja, prate se razine kisika u tanku pomoću detektora, nastavlja se s inertiranjem sve

dok u se sadržaj kisika u tanku ne smanji na željenu razinu, obično ispod 5%. Kontinuirano se prate razine kisika, temperature i tlak unutar balastnog tanka tijekom cijelog procesa. Povremeno treba provjeriti ima li curenja ili šteta na tanku. Održavaju se zapisi o procesu inertiranja, uključujući brzine protoka plina, razine kisika, te trajanje procesa. Nakon što je balastni tank inertiran, održava se opskrba inertnim plinom po potrebi, kako bi se održala inertna atmosfera tijekom željenog perioda ili putovanja. Kada više nije potrebno da tank bude inertiran, vrši se proces oslobađanja tanka od plinova isto kao i kod tankova tereta.



**Slika 12.** Shematski prikaz inertiranja „No.2 Ballast Watter“ tanka (Starboard)

Izvor: KNOWLEDGE OF SEA, 2023., *‘EMERGENCY INERTING OF BALLAST TANKS’*,

June 24., online: <https://knowledgeofsea.com/emergency-inerting-of-ballast-tanks/> ,

(12.7.2023.) [18]

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj sustava inertnog plina na brodovima za prijevoz sirove nafte je povećanje razine sigurnosti na tim brodovima sprječavanjem nastanka okolnosti pogodnih za požar ili eksploziju oduzimanjem kisika iz zraka i na taj način onemogućavanjem zatvaranja trokuta gorenja. Prema tome, zadatak ovog završnog rada je opisati sustav, njegove dijelove i zahtjeve, te se posebno osvrnuti na primjenu takvog sustava kod balastnih prostora.

Počevši od publikacija i propisa vezanih za sustav inertnog plina na tankerima za prijevoz sirove nafte koji daju temeljne zahtjeve za rad sustava, te zahtjeve za izvedbe sustava možemo zaključiti kako su ne samo sustavi inertnog plina, nego i procesi upotrebe, postupci i ciljevi IGS sustava vrlo detaljno razrađeni propisima, zahtjevima i publikacijama. Nadalje, radi istaknute važnosti sustava inertnog plina, ovim završnim radom razrađene su informacije o dijelovima, te njihove osnovne namijene u procesu rada sustava inertnog plina. Osim toga bitno je znati, pa su opisane i koje su to sve situacije koje uključuju operacije inertiranja. Istaknuto je na koji se način sustav inertiranja koristi u određenim situacijama, odnosno čemu posvetiti posebnu pažnju u pojedinoj situaciji.

Uzevši sigurnost na tankerima za prijevoz sirove nafte kao osnovni parametar razvitka sustava inertnog plina, možemo zaključiti da je nužna dodatna mjera sigurnosti na takvim brodovima, pored mogućnosti inertiranja tankova tereta što je osnovna namjena sustava, i mogućnost inertiranja prostora balasta te prostora dvostrukog trupa broda radi potencijalnih izvanrednih okolnosti pri kojima se u navedenim prostorima može stvoriti zapaljiva, odnosno eksplozivna atmosfera, čemu je u ovom završnom radu pridana posebna pažnja. Navedeni su određeni slučajevi u kojima se inertni plin unosi u tankove balasta kao što je puštanje tanka tereta pri kojem teret dolazi u prostore balasta u kojima je prisutan kisik. Spomenut je „Guide for inert gas system for ballast tanks“ izdan od strane ABS-a, koji navodi smjernice za sustave inertnog plina za balastne tankove, predstavivši znatno unaprijeđenije sigurnosti tankera, a dat je i osvrt na izvješće EMSA-e kojim su stručnjaci utvrdili bitne prednosti i nedostatke sustava inertiranja balastnih prostora. Na samom kraju navedeni su dijelovi i proces rada sustava inertiranja balastnih prostora.

Na temelju istraživanja u svrhu izrade ovog završnog rada, osobno zaključujem da sustav inertiranja balastnih prostora ima istaknutu važnost u sigurnosti kako brodova za prijevoz sirove nafte, tako i okoliša.

## LITERATURA

- [1] OCIMF, 2020, *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, 6. izdanje, Witherby Publishing Group Ltd, Scotland UK.
- [2] Augustyn, A., The Editors of Encyclopedia Britannica, 2023, 'Tanker', Encyclopedia Britannica, Jun 12, online: <https://www.britannica.com/technology/tanker#ref1178401> (10.7.2023.)
- [3] Wankhede, A., 2021, 'A Guide To Ballast Tanks On Ships', marine insight, May 16, online: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/a-guide-to-ballast-tanks-on-ships/> (15.5.2023.)
- [4] Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., 2011, *INERT GAS SYSTEM, System type Fln 15.000 – 0.1 QS, INSTRUCTION MANUAL*, Alfa Laval Aalborg K. K., Japan.
- [5] Kashinawa Tech Co., Ltd., 'Inert Gas System (IGS)', online, <https://kashiwa-tech.co.jp/en/inert-gas/inert-gas-d1/>, (12.7.2023.)
- [6] Kingsley, J., 2017, 'What i san Inert Gas or IG System on Ships?', LinkedIn, September 25, online: <https://www.linkedin.com/pulse/what-inert-gas-ig-system-ships-john-kingsley> (18.5.2023.)
- [7] Martinović, D., Stanković, P., 1995, *SUSTAV INERTNOG PLINA, Međunarodni Propisi, Dobivanje, svojstva i primjena*, 4. izmijenjeno izdanje, Pomorski fakultet Rijeka, Rijeka.
- [8] Flebu, 'High Pressure Fans', online, <https://www.flebu.com/kopi-av-high-pressure-fans-1>, (12.7.2023.)
- [9] International Maritime Organization, 1990, *INERT GAS SYSTEMS* treće izdanje, IMO, London.
- [10] CULT OF SEA, 'Deck Water Seal – Inert Gas System on Tankers', Cult of sea, online: <https://cultofsea.com/tanker/deck-water-seal-inert-gas-system-on-tankers/> (12.6.2023.)
- [11] Subhodeep, G., 2023., 'What Are Deck Seals?', marine insight, May 18, online: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/what-are-deck-seals> (12.6.2023.)
- [12] WÄRTSILÄ Encyclopedia of Marine and Energy Technology, 'Pressure-vacuum valve (P/V valve)', online: [https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/pressure-vacuum-valve-\(p-v-valve\)#:~:text=P%2FV%20valve%20provides%20for,tank%20through%20a%20flame%20Otrap.](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/pressure-vacuum-valve-(p-v-valve)#:~:text=P%2FV%20valve%20provides%20for,tank%20through%20a%20flame%20Otrap.)

- [13] Rudan, I., *nastavni materijali – Tehnologija prijevoza tekućih tereta*, Pomorski Fakultet u Rijeci
- [14] Shafran, D., '*What Is PV Valve And PV Breaker On Ships?*', Maritime Page, online: [https://maritimepage.com/pv-valve-and-pv-breaker-on-ships/?utm\\_content=cmp-true](https://maritimepage.com/pv-valve-and-pv-breaker-on-ships/?utm_content=cmp-true) (12.6.2023.)
- [15] Marine Link, 2004, '*ABS Guidance for Ballast Tank Inert Gas Systems*', Marine Link, June 18, online: <https://www.marinelink.com/news/guidance-ballast-systems322608> (4.7.2023.)
- [16] European Maritime Safety Agency, 2005, '*Double Hull Tankers: High Level Panel of Experts REPORT*', 3. June, EMSA
- [17] Right Marine, '*High Speed Pressure Vacuum Valve with Heat Devices*', online: <https://www.rightmarine.com/product/high-speed-pressure-vacuum-valve/> , (12.7.2023.)
- [18] KNOWLEDGE OF SEA, 2023., '*EMERGENCY INERTING OF BALLAST TANKS*', June 24., online: <https://knowledgeofsea.com/emergency-inerting-of-ballast-tanks/> , (12.7.2023.)

## POPIS ILUSTRACIJA

<b>Slika 1.</b> Trokut gorenja.....	1
<b>Slika 2.</b> Dijagram zapaljivosti .....	13
<b>Slika 3.</b> Tipičan raspored sustava inertnog plina.....	15
<b>Slika 4.</b> Pročistač .....	17
<b>Slika 5.</b> Puhala inertnog plina.....	18
<b>Slika 6.</b> Palubna (vodena) brtva .....	20
<b>Slika 7.</b> P/V ventil .....	21
<b>Slika 8.</b> P/V breaker.....	22
<b>Slika 9.</b> Metoda razrjeđivanja.....	24
<b>Slika 10.</b> Metoda potiskivanja .....	24
<b>Slika 11.</b> Prijenosni P/V ventil .....	33
<b>Slika 12.</b> Shematski prikaz inertiranja „No.2 Ballast Watter“ tanka (Starboard) .....	34