

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
MERENKULUN KOULUTUSOHJELMA

Jani Leppä

ÖLJYSÄILIÖALUKSEN SUOJAKAASUJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

Leppä, Jani	Öljysäiliöaluksen suojakaasujärjestelmä
Opinnäytetyö	30 sivua + 3 liitesivua
Työn ohjaaja	Timo Alava
Marraskuu 2010	
Avainsanat	merenkulku, suojakaasut, säiliöalukset, onnettomuudet, merionnettomuudet

1960-luvun lopussa säiliöaluksilla sattui räjähdysonnettomuuksia lähes viikoittain. Tuolloin alettiin miettiä erilaisia ratkaisuja säiliöalusten turvallisuuden parantamiseksi. Ratkaisuksi ongelmaan kehitettiin suojakaasujärjestelmä, jolla alennetaan lastitankkien happipitoisuutta niin matalalle tasolle, että räjähdys lastitankissa on teoriassa mahdoton.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tietopaketti, joka käsittelee öljysäiliöaluksen suojakaasujärjestelmää sekä siihen olennaisesti liittyviä kansainvälisiä sääntöjä ja määräyksiä. Lisäksi työssä käydään läpi öljykuljetusten historiaa sekä palamisen teoriaa, jotta ymmärretään, miksi suojakaasujärjestelmää tarvitaan.

Tutkimuksessa tuotiin esiin suojakaasujärjestelmän toiminta ja laitteiston rakenne sekä asiaan liittyvät kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO) sopimukset soveltuvien osien. Lähteinä työssä käytettiin alan kirjallisuutta, IMO:n sopimuksia ja internet-lähteitä, joista on saatu muun muassa osa kuvamateriaaleista.

Työssä käytiin läpi suojakaasujärjestelmän käyttöönottoon johtaneet syyt. Itse järjestelmän toiminta on kuvattu yksittäisten laitteiden osalta. Laitteiston käyttö ja huolto laivalla on kansi- ja konehenkilöstön yhteistoimintaa. Koko henkilökunnan on hyvä ymmärtää, miten suojakaasujärjestelmä toimii, miksi se on rakennettu juuri kyseisellä tavalla ja mitä on otettava huomioon, jotta laitteistoa voidaan käyttää turvallisesti.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Technology

LEPPÄ, JANI

Inert Gas System on Oil Tanker

Bachelor's Thesis

30 pages + 3 pages of appendices

Supervisor

Timo Alava, Training Manager

November 2010

Keywords

inert gas, tanker, accident

Tank explosion accidents occurred on tankers almost weekly in the late 1960's. Accidents were investigated and it was found that static electricity together with cargo vapors caused the explosions. Solution to the problem was an invention of inert gas system. With inert gas, cargo tank oxygen level is lowered so that explosion or ignition is impossible even in theory.

The object of this thesis was to create a guide which would cover oil tanker inert gas system as well as international laws, regulations and recommendations which relate to inert gas system. In addition, the history of oil transportation and theory of combustion are briefly explained.

The operation of and equipment's structure of inert gas system are explained in this thesis. Also, inert gas system related regulations from International Maritime Organization (IMO) were studied. IMO conventions, maritime literature and internet based documents were used as sources.

In this thesis, the reasons which led to the implementation of inert gas system on tankers are explained. The operation of inert gas plant and its separate units is described. The use and maintenance of inert gas system is the responsibility of deck and engine crew. Due to the shared responsibility between the staff, it is important that the whole crew understand how the system operates. It is also important to understand why it is constructed the way it is and what should be taken into account in order to use the system safely.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TERMEJÄ 6

LYHENTEITÄ 7

1 JOHDANTO 8

2 SÄILIÖALUSTEN HISTORIA 8

3 PALAMISEN TEORIAA 12

 3.1 Syttyminen 12

 3.1.1 Syttymisrajat 12

 3.1.2 Syttymislähteet 13

 3.2 Palamisen edellytykset 14

4 SUOJAKAASUJÄRJESTELMÄ 15

 4.1 Laitteiston perusrakenne 17

 4.2 Suojakaasun tuottaminen 17

 4.2.1 Typpi suojakaasuna 19

 4.3 Suojakaasupesuri 20

 4.4 Tuuletin 21

 4.5 Vesilukko 21

 4.5.1 Märkä vesilukko 21

 4.5.2 Puolikuiva vesilukko 22

 4.5.3 Kuiva vesilukko 23

 4.6 P/V-breaker ja tankkikohtaiset P/V-venttiilit 23

 4.7 Esimerkki suojakaasujärjestelmän toiminnasta 24

5 TURVALLISUUS 25

6 SUOJAKAASUJÄRJESTELMÄN TULEVAISUUS 26

7 ARVIOINTI 28

7.1 Aiheen rajaus	28
7.2 Itsearviointi	28

LÄHTEET	29
---------	----

LIITTEET

Liite 1. Säiliöalusten räjähdysonnettomuuksia ennen toista maailmansotaa

Liite 2. Säiliöalusten räjähdysonnettomuuksia vuosilta 1960 - 1970

Liite 3. Suojakaasujärjestelmä kaaviokuva

TERMEJÄ

Huuhtelu tarkoittaa suojakaasun johtamista jo inertoituun tankkin tarkoituksena:

- a) alentaa tankin ilmatilan happipitoisuutta
- b) alentaa tankin ilmatilan hiilivetyypitoisuutta sellaiselle tasolle, jossa sytyminen on mahdotonta vaikka tankkiin pääsisi ilmaa.

Inertointi tarkoittaa suojakaasun johtamista tankkiin.

Inertoitu tila tarkoittaa olosuhdetta, jossa tankin ilmatilan happipitoisuus on laskenut suojakaasun vuoksi 8 %:n tai alhaisemmaksi.

Kaasuvapaaksi tekeminen tarkoittaa ilman johtamista tankkiin tarkoituksena poistaa syttyvät ja myrkylliset kaasut tankista sekä nostaa tankin happipitoisuus 21 tilavuusprosenttiin.

Suojakaasu tarkoittaa kaasua tai kaasuseosta, kuten pakokaasua, jonka happipitoisuus on liian pieni hiilivety-yhdisteiden sytyttämiseksi.

Suojakaasujärjestelmä tarkoittaa suojakaasulaitteiston lisäksi putkistoa ja venttiileitä, joilla estetään lastikaasujen virtaus lastitankeista konehuoneeseen päin

Suojakaasulaitteisto tarkoittaa laitteistoa, joka on tarkoitettu tuottamaan, jäähdyttämään, puhdistamaan ja toimittamaan suojakaasua lastitankkeihin.

LYHENTEITÄ

dwt	deadweight tons; kuollut paino
FSS	Fire Safety Systems Code
IAPH	International Association of Ports and Harbours
ICF	International Chamber of Shipping
IMO	International Maritime Organization; kansainvälinen merenkulku- järjestö
mmWG	millimeter water gauge; millimetri vesipatsas
OCIMF	Oil Companies International Marine Forum
ppm	parts per million; miljoonasosa
STCW	Standards of Training, Certification and Watchkeeping
SOLAS	Safety of Life at Sea
VLCC	Very Large Crude Carrier

1 JOHDANTO

Räjähdyks on yksi vaarallisimmista onnettomuustilanteista, mitä laivalla voi tapahtua. Säiliöaluksilla, joilla kuljetetaan helposti syttyviä lasteja, pienikin tulipalo aiheuttaa aina vakavan vaaratilanteen. Lastien luonteen vuoksi säiliöaluksille on kehitetty erityinen suojajärjestelmä estämään tulipalot ja räjähdykset lastitankeissa. Suojakaasujärjestelmän avulla aluksen lastitankit pidetään tilassa, jossa lastin tai lastihöyryjen syttyminen on käytännössä mahdotonta. Järjestelmän turvallinen käyttö edellyttää, että ymmärretään öljylastien kuljettukseen liittyvät vaarat sekä itse suojakaasun käyttöön liittyvät vaaratekijät.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tietopaketti, joka käsittelee öljysäiliöaluksen suojakaasujärjestelmää sekä siihen olennaisesti liittyviä kansainvälisiä sääntöjä ja määräyksiä. Opinnäytetyössä käydään läpi säiliöalusten historiaa tuomalla esille muutamia onnettomuuksia, jotka johtivat suojakaasujärjestelmän käyttöönottoon. Suojakaasujärjestelmän perusrakenne kuvaillaan sekä selvitetään, mistä eri lähteistä löytyy suojakaasujärjestelmään liittyviä määräyksiä.

Olen työskennellyt lähes koko lyhyen merimiesurani säiliöaluksilla ja tätä kautta suojakaasujärjestelmä on tullut tutuksi niin miehistö- kuin päällystötehtävien osalta. Koulutusta suojakaasujärjestelmään voi saada säiliöalusten lisäpätevyyteen johtavalla Crude oil Washing & Inert Gas Systems –kurssilla. Pääasiassa oppi suojakaasujärjestelmän käyttöön saadaan kuitenkin laivalla.

Työn edetessä oppinut lisääsuojakaasujärjestelmästä ja toivon, että tämä työ selventää myös muille lukijoille perusteet suojakaasujärjestelmän käyttöön.

2 SÄILIÖALUSTEN HISTORIA

Säiliölaivojen historia alkaa vuodesta 1886 ja Glückauf-nimisestä, nykymittakaavassa varsin pienestä laivasta. Öljyä oli kuljetettu meriteitse laivoilla tätä aiemminkin, mutta ainoastaan tynnyreihin valmiiksi pakattuna. Glückaufissa oli säiliöaluksille tunnusomaiset lastitankit, lastiputkisto ja käsikäyttöiset lastiventtiilit kannella.(Woodman 1997, 177.) Tällöin oli jo yleisesti tiedossa öljyn kul-

jettamiseen liittyvät riskit, ja Glückaufin henkilökunta nimittikin laivaa nimellä Fliegaufl (vapaa suomennos räjähtää, lentää taivaan tuuliin). Glückauf oli kuitenkin onnekas, ja sille ei sattunut mitään onnettomuuksia. Sen sijaan Glückaufin sisaralus Vorwärts räjähti ja upposi neljän vuoden käytön jälkeen (Devaney 2010, 1). Vuosien saatossa erilaisia räjähdysonnettomuuksia sattui säiliöaluksilla lähes vuosittain, vaikka alusten lukumäärä oli vielä 1900-luvun alussa hyvin pieni (Liite 1); ensimmäisen maailmansodan alkaessa on arvioitu, että aluksia oli satakunta (Woodman 1997, 177).

Öljy-yhtiö Sun Oil sai tarpeekseen näistä onnettomuuksista, ja vuoteen 1933 mennessä kaikkiin sen operoimiin aluksiin oli asennettu suojakaasujärjestelmä, jossa pakokaasuja johdettiin lastitankkeihin ja tankkien happipitoisuus pyrittiin alentamaan noin viiteen prosenttiin. Yhtiön Bidwell-nimisellä aluksella sattui suojakaasujärjestelmän asentamisen jälkeen tulipalo lastitankissa, mutta järjestelmän ansiosta palo ei levinnyt muihin tankkeihin. Myöhemmin toisessa maailmansodassa samaiseen kovan onnen laivaan osui torpedo, ja osumakohdalla sijainnut lastitankki vaurioitui. Laivan henkilökunta sai palon sammumaan ja se ei päässyt leviämään muihin lastitankkeihin suojakaasujärjestelmän ansiosta. Bidwell pääsi omin avuin satamaan korjattavaksi. (Devaney 2010, 2.)

Sota-ajan ja teollistumisen myötä öljyn kysyntä lähti voimakkaaseen kasvuun ja samalla rahtihinnat nousivat. Varsinainen säiliöalusbuumi alkoi vuonna 1956, kun öljykuljetusten rahtihinnat kolminkertaistuivat yhdessä yössä laivaliikenteen keskeydyttyä Suezin kanavassa Suezin kriisin seurauksena. Lähi-idästä lähteneet alukset joutuivat kiertämään koko Afrikan matkoillaan Amerikkaan ja Eurooppaan. Samalla hetkellä kanavan asettamat kokorajoitukset aluksille menettivät merkityksensä ja suuruuden ekonomia astui kuvaan. Oli huomattavasti kannattavampaa rakentaa lastikapasiteetiltaan mahdollisimman suuri alus, joka kuljetti yhdellä matkalla mahdollisimman paljon lastia. Säiliöalusten koko kasvoi 20 000 dwt:stä 200 000 dwt:iin vuosikymmenessä. Vuonna 1966 valmistunut Idemitsu Maru oli lastikapasiteetiltaan jo 206 000 tonnia (Devaney 2006, 29). Samaan aikaan säiliöalusten räjähdysonnettomuudet jatkoivat kasvuaan. Yhä suurempia laivoja räjähti ja upposi. Onnetto-

muuksissa kuoli aiempaa enemmän laivojen henkilökuntaa sekä suurempia määriä öljyä joutui mereen (Liite 2).

Joulukuussa vuonna 1969 tapahtui yhden kuukauden aikana kolmella aivan uudella VLCC-luokan säiliöaluksella räjähdys lastitankissa. Marpessa-niminen alus upposi ensimmäisellä painolastimatkallaan Dakarin edustalla. Kaksi miehistön jäsentä kuoli onnettomuuden seurauksena. Pari viikkoa myöhemmin Mactralla ja Kong Haakon VII:lla tapahtui lastikannella voimakas räjähdys. Molemmat alukset selvisivät kuitenkin räjähdysten jäljiltä hätäsatamaan muiden laivojen avustuksella. (Devanney 2006, 29.)



Kuva 1. Mactra tankkiräjähdyksen jälkeen (Grindle)



Kuva 2. Kong Haakon VII (Center For Tankship Excellence)

Onnettomuuksia alettiin tutkia laivojen omistajien aloitteesta, ja lopulta selvisi, että tyhjiä lastitankkeja pestäessä tankkeihin kovalla paineella suihkutettu vesi synnytti tankkiin staattisen sähkövarauksen. Purkautuessaan hallitsemattomasti staattinen sähkövaraus sytytti lastitankkiin jääneen hiilivetyseoksen aiheuttaen räjähdys. Tutkimusten perusteella todettiin, että suojakaasun käyttö olisi yksinkertaisin ja helpoin vaihtoehto vastaavanlaisten onnettomuuksien estämiseksi jatkossa. (Devaney 2006, 29.) Tämän seurauksena laivojen omistajat alkoivat vähitellen tilata suojakaasujärjestelmiä uusiin laivoihinsa.

1970-luvun lopulla sellaisten vanhojen säiliöalusten, joihin ei ollut asennettu suojakaasujärjestelmää, räjähdysonnettomuudet olivat lähes viikoittaisia uutisia. Vasta tässä vaiheessa YK:n alainen merenkulkujärjestö, International Maritime Organization, ryhtyi asiassa toimiin. Vuonna 1978 pidetyssä Tanker Safety and Pollution Prevention -kokouksessa tehtiin päätös säiliöalusten uusista rakenteellisista määräyksistä, jotka tulivat voimaan vuonna 1981. Pääpiirteisään määräykset tarkoittavat sitä, että suojakaasujärjestelmä tuli pakolliseksi uusiin yli 20 000 dwt:n säiliöaluksiin, vanhoihin yli 70 000 dwt:n raakaöljytankkereihin toukokuun alussa 1983 ja 20 000 dwt:n säiliöaluksiin toukokuun 1985 alusta (SOLAS II-2/5.5). IMO:n säännöt vain vahvistivat sen käytännön, joka oli ollut käytössä säiliöaluksissa jo vuosikymmenen ajan.

3 PALAMISEN TEORIAA

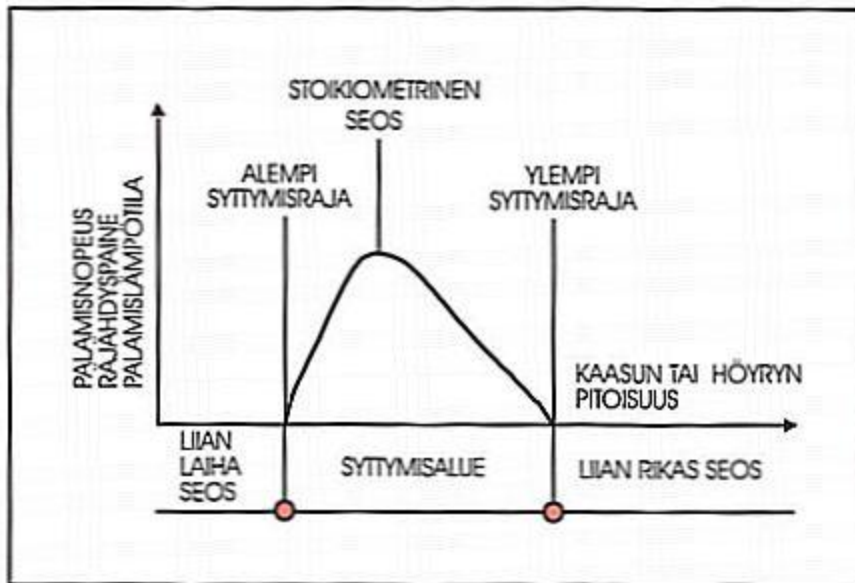
Säiliöaluksilla kuljetetaan suuria määriä helposti syttyviä ja palavia aineita. Tulipalo on monivaiheinen ja monimutkainen kemiallinen ilmiö, mutta onneksi tulipalon riskiä voidaan alentaa suhteellisen yksinkertaisin keinoin. Suojakaasujärjestelmän vaikutuksen ymmärtämiseksi on syytä selittää syttymisen sekä palamisen perusteita.

3.1 Syttyminen

Syttyminen on palamista edeltävä tapahtuma. Nestemäisillä aineilla syttymisen edellytyksenä on, että nesteen pinnasta erottuu riittävä määrä höyryä. Tämän höyryn syttyä palaminen voi jatkua, mikäli palamisen perusedellytykset (riittävä lämpötila, happi, syttyvä aine, häiriintymätön ketjureaktio) ovat olemassa. Syttyminen on monivaiheinen tapahtuma, joka käsittää useita osaluokkia, kuten syttymisrajat ja syttymislähteen (Hyttinen, Tolonen, Väisänen 2008, 32).

3.1.1 Syttymisrajat

Jotta kaasu tai nesteen höyry syttyisi, on sen oltava sekoittuneena ilmaan ennen syttymistä. Nämä ilman ja kaasun seokset syttyvät ja palavat ennalta tiedetyillä pitoisuusalueilla. Alempi ja ylempi syttymisraja ilmoitetaan syttävän aineen määränä tilavuusprosentteina. Mikäli polttoaineena olevaa höyryä on sekoittuneena ilmaan liian vähän, puhutaan liian laihasta seoksesta. Vastavasti jos höyryn pitoisuus on liian suuri, puhutaan liian rikkaasta seoksesta. Liian laihan ja liian rikkaan seoksen välissä on syttymisväli, siis pitoisuus, jolla höyryn ja ilman seos syttyy. (Hyttinen ym. 2008, 39 – 40.) Syttymisrajat ovat ainekohtaisia; esimerkiksi etyleenioksidilla alempi syttymisraja on 3,0 tilavuusprosenttia ja ylempi 100 tilavuusprosenttia, kun taas petroleilla vastaavat rajat ovat noin 0,7 – 5,0 tilavuusprosenttia (Luettelo yleisimmistä palavista nesteistä 1999).



Kuva 3 Kaasu-ilmaseosten syttyminen (Hyttinen ym. 2008, 39)

3.1.2 Syttymislähteet

Syttymislähde määritellään ilmiöksi, tapahtumaksi tai välineeksi, joka aiheuttaa syttymisen (Hyttinen ym. 2008, 32). Säiliöaluksilla lasti kuljetaan erityisesti nestemäisten aineiden kuljettamiseen tarkoitetuissa suljetuissa lastitankeissa. Näin ollen normaalissa operoinnissa lastin ei pitäisi päästä kosketuksiin syttymislähteiden kanssa.

Syttymislähteistä merkittävimmän riskin säiliöaluksilla aiheuttaa staattinen varautuminen. Se tarkoittaa aineeseen tai kappaleeseen muodostuvaa varausyliäämää, joka aiheuttaa jännite-eron muihin kappaleisiin tai aineisiin nähden. Kun varautunut energiamäärä purkautuu hallitsemattomasti, niin sanottu kipinälyönti, voi se aiheuttaa palavan aineen syttymisen. (Hyttinen ym. 2008, 133.) Säiliöaluksilla tätä varautumista tapahtuu virtausesteissä, kuten nesteen virratessa lastiputkistoissa suurella nopeudella. Lisäksi tankissa oleviin rakenteisiin, kuten pesutykit, voi muodostua varaus. Eri laatua olevien nesteiden sekoittuessa toisiinsa tapahtuu staattista varautumista, ja erittäin voimakkaasti nesteet varautuvat nestesuihkun hajotessa pieniksi pisaroiksi. Näistä staattisen sähkön ominaisuuksista johtuen monet säiliöalusten räjä-

dykset ovatkin tapahtuneet joko lastitankkien pesun tai raakaöljy pesun yhteydessä (Liite 2).

3.2 Palamisen edellytykset

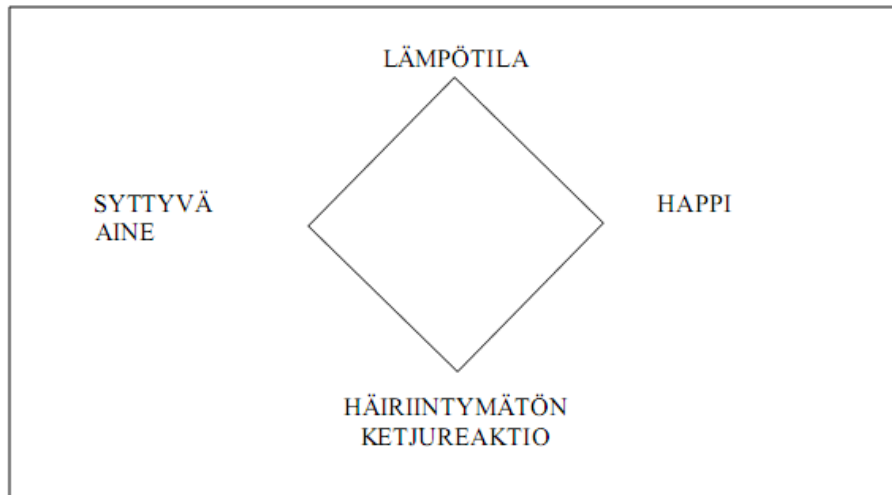
Palaminen määritellään aineen yhtymiseksi happeen siten, että syntyy korkea lämpötila ja valoilmio (Hyttinen ym. 2008, 14). Palamiseen liittyy olennaisena osana palava aine eli polttoaine. Polttoaineet ovat yleensä jossain kolmesta olomuodosta: jähmeänä, nesteenä tai kaasuna.

Jotta tapahtuisi liekehtivää palamista, josta on kyse kaasujen palamisessa, on niin sanottujen palamisen perusedellytysten oltava samanaikaisesti voimassa. Mikäli yksikin perusedellytyksistä puuttuu tai se poistetaan, palaminen estyy.

Palamisen perusedellytykset ovat

- riittävä lämpötila
- happi
- syttyvä aine
- häiriintymätön ketjureaktio. (Hyttinen ym. 2008, 17.)

Riittävän korkea lämpötila on edellytys sille, että nesteestä muodostuu höyrystymisen kautta palavaa höyryä ja kaasua. Happi vaikuttaa palamisnopeuteen. Mitä suurempi happipitoisuus on, sitä nopeammin palaminen tapahtuu. Vastaavasti hapen vähentäminen hidastaa palamista. Normaalin ilman, joka on 20,9 tilavuusprosenttia, pieneneminen noin 12 tilavuusprosenttiin sammuttaa tavanomaiset pienet palot. Palamisen edettyä täyden palon vaiheeseen, jossa palo on levinnyt palavan tilan kaikille palaville pinnoille, palon sammuminen vaatii, että happipitoisuus on huomattavasti edellä mainittua 12 tilavuusprosenttia alempi. Syttyvällä aineella tarkoitetaan hiilivetyjä, esimerkiksi puuta tai polttoöljyä. Neljäs liekehtivän palon edellytys on häiriintymätön ketjureaktio. Palaminen muodostuu useista osareaktioista, ja jos joku näistä onnistutaan poistamaan, palaminen estyy. (Hyttinen ym. 2008, 18.)



Kuva 4 Liekehtivän palon perusedellytykset (Hyttinen ym. 2008, 14)

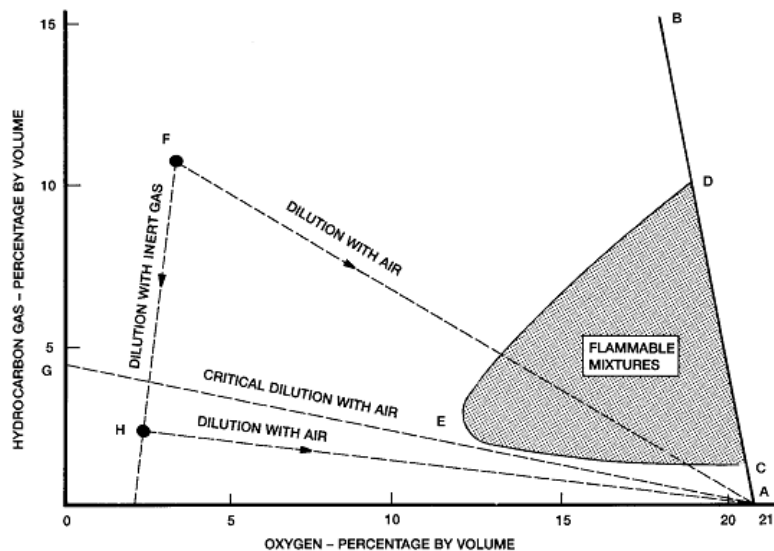
Tankkilaivoilla kuljetettavat lastit ovat neste- ja / tai kaasumuodossa ja palaminen tapahtuu tällöin liekehtivänä palamisena. Liekehtivää palamista edeltää nesteen höyrystyminen ja kaasuuntuminen. Kaasun palaessa syntyy lämpösäteilyä ja palamiseen tarvittava lämpö siirtyy lämpösäteilyn kautta takaisin nesteeseen ja siitä höyrystyy uutta palavaa kaasuseosta.

4 SUOJAKAASUJÄRJESTELMÄ

IMO on ohjeistanut suojakaasujärjestelmän ja sen rakenteen hyvin tarkkaan. SOLAS-sopimuksen palontorjuntaa koskevassa osiossa on määräyksiä tankkilaivojen rakenteellisista ominaisuuksista. SOLAS-sopimuksessa määritellään, että suojakaasujärjestelmä vaaditaan yli 20 000 dwt:n aluksille sekä kaikille aluksille, joilla on mahdollisuus raakaöljyvesuun. Samassa säännössä esitetään perusvaatimus järjestelmälle ” *The inert gas system shall be capable of inerting, purging and gas-freeing empty tanks and maintaining the atmosphere in cargo tanks with the required oxygen content.* ” (SOLAS II-2/5.5). Järjestelmällä täytyy pystyä inertoimaan, huuhtelemaan ja tarvittaessa tekemään tankit kaasuvapaiksi. Lisäksi järjestelmän tulee pystyä ylläpitämään lastitankkien ilmatila vaaditussa happipitoisuudessa.

Suojakaasun käytön tarkoituksena on luoda tankkeihin ilmatila, jossa lastin ja lastikaasujen palaminen tai edes syttyminen on mahdotonta. Suojakaasua

käytetään yleisnimityksenä kaikille kaasuille ja kaasuseoksille, jotka eivät muodosta räjähtäviä seoksia. Sen vuoksi suojakaasussa ei teoriassa voi olla happea. Käytännössä happea voi olla lastitankissa niin pieniä määriä, ettei lastitankin happipitoisuus ylitä kuljetettavan lastin alempaa syttymisrajaa. Lastit, joita öljysäiliöaluksilla normaalisti kuljetetaan, eivät syty mikäli lastitankin happipitoisuus laskee alle 11 prosentin. (ISGOTT 2006, 119). IMO on omissa säännöissään mennyt vielä tätäkin pidemmälle ja vaatimuksena on, että lastitankin ilmatilan happipitoisuus ei saa ylittää kahdeksaa prosenttia (FSS Code 2007, Chapter 15.2.3.1.2). Satamilla, terminaaleilla ja rahtaajilla on usein tiukempia vaatimuksia, yleensä edellytetään alle 5 prosentin happipitoisuutta (Alava 2010)



Kuva 5 Suojakaasu-ilma-hiilivetyseoksen syttyvyys (ISGOTT 1996, 120)

Öljysäiliöaluksilla tarvittavan suojakaasun määrät ovat niin suuria, että yksinkertaisinta ja edullisinta on tuottaa kaasu laivassa suojakaasugeneraattorilla.

Suojakaasun tuottamiseksi on käytössä kaksi menetelmää. Ensinnäkin suojakaasu voidaan ottaa putkiyhteen kautta laivan pää- tai apukattilan pakoputkistosta. Raskasöljykäyttöinen kattila toimii noin 3 - 5 prosentin happiylimäärällä, kevyttä polttoöljyä käytettäessä saavutetaan noin kahden prosentin happiylimäärän taso. Toinen vaihtoehto on käyttää laivan dieselmoottoreiden pakokaasuja suojakaasuna. Nykyiset laivamoottorit ovat käytännössä kaikki ahdet-

tuja dieselmoottoreita ja toimivat isolla ilmaylimäärällä. Näiden moottoreiden pakokaasujen happipitoisuus on noin 12 – 15 prosenttia. (Helle 2010.) Näitä pakokaasuja ei luonnollisestikaan voi käyttää suojakaasuna sellaisenaan, koska IMO:n vaatimuksena on, että suojakaasun happipitoisuus saa olla enintään 5 prosenttia (FSS Code 2007, Chapter 15 2.2.1.3). Suojakaasugeneraattorilla, jossa on jälkipoltin, ylimääräinen happi poltetaan pois. Tämän jälkeen diesel-moottoreidenkin pakokaasua voidaan käyttää inertoimiseen.

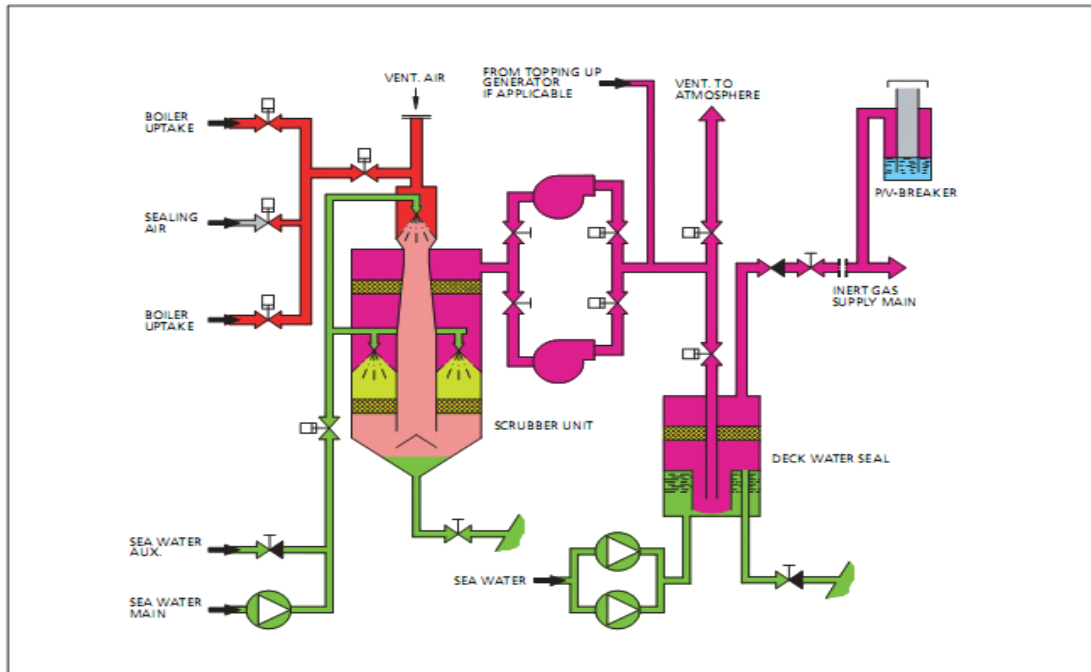
Yksityiskohtaisemmat määräykset järjestelmän rakenteesta ovat FSS-koodissa, jossa suojakaasujärjestelmä käydään läpi osa osalta.

4.1 Laitteiston perusrakenne

Vaikka säiliöalusten koot vaihtelevat paljon, on laitteiston perusrakenne silti sama (Liite 3). Suojakaasujärjestelmä on mitoittettava niin suureksi, että se on vähintään 125 prosenttia aluksen kaikkien lastipumppujen yhtäaikaaisesta purkaustehosta (FSS Code 2007, Chapter 15 2.2.2.1), koska laitteiston on kyettävä pitämään lastitankeissa vähintään 100 mmWG:n ylipaine (FSS Code 2007, Chapter 15 2.4.3.1.8).

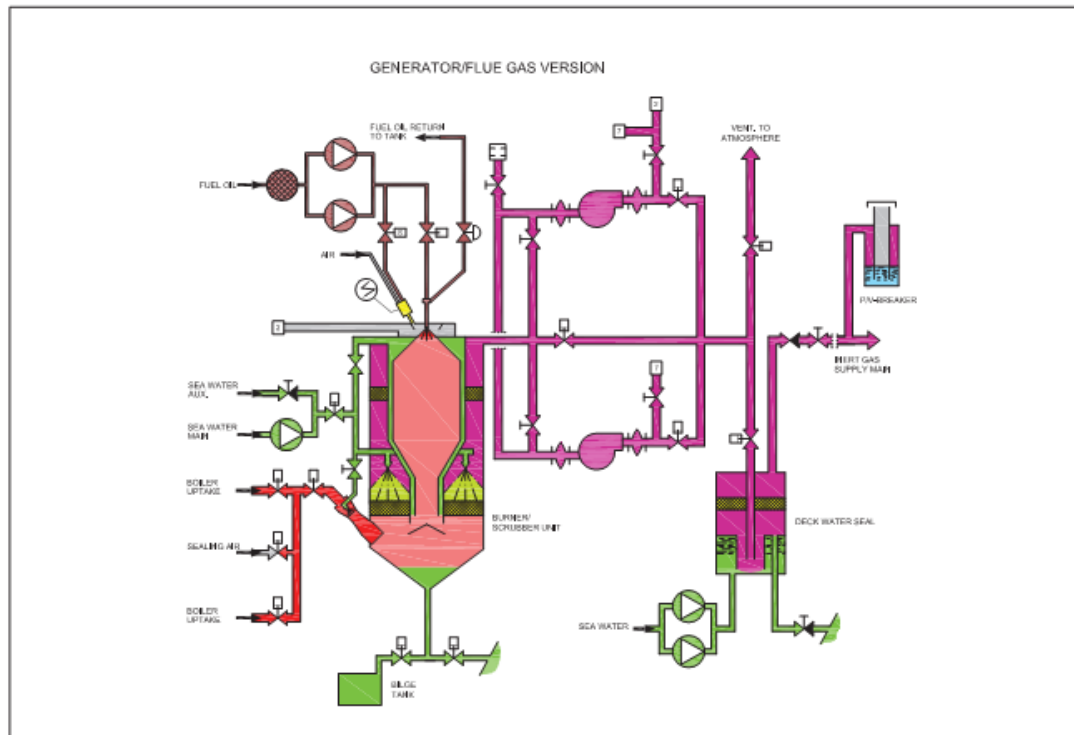
4.2 Suojakaasun tuottaminen

IMO:n vaatimuksen (FSS Code 2007, Chapter 15 2.2.1.1) mukaan suojakaasuna voidaan käyttää aluksen pää- tai apukattiloiden käsiteltyjä pakokaasuja. Pakokaasut otetaan putkiyhteen kautta kattiloiden pakokaasukanavista ja johdetaan pesun sekä viilennyksen jälkeen läpi lastitankkiin. Näin tuotettuna suojakaasun happipitoisuus saadaan laskettua noin viiden prosentin tasolle ja rikkidioksidi saadaan puhdistettua noin 3000 ppm tasolle (Hamworthy), mikä on useimmiten riittävä taso inertin puhtaudelle.



Kuva 6 Suojakaasugeneraattorin kaaviokuva (Hamworthy)

Suojakaasugeneraattorina voidaan käyttää myös niin sanottua yhdistelmägeneraattoria. Siinä inerttiä voidaan tuottaa vastaavalla tavalla kuten tavalliselakin suojakaasugeneraattorilla. Mikäli jostain syystä ei pystytä käyttämään kattiloiden pakokaasuja tai on tarvetta suojakaasulle, jonka rikkidioksidipitoisuus on normaalia pienempi, yhdistelmägeneraattorin öljypolttimella on mahdollista tuottaa suojakaasua kevyttä polttoöljyä polttamalla. Tällöin suojakaasun rikkidioksidipitoisuus voi laskea jopa 100 ppm:ään (Hamworthy). Käytettäessä tällaista yhdistelmägeneraattoria on järjestelmän oltava yhtä turvallinen sekä suojakaasun tuottamisen että sen laadunkin suhteen (FSS Code 2007, Chapter 15 2.2.1.1).



Kuva 7 Yhdistelmägeneraattorin kaaviokuva (Hamworthy)

4.2.1 Typpi suojakaasuna

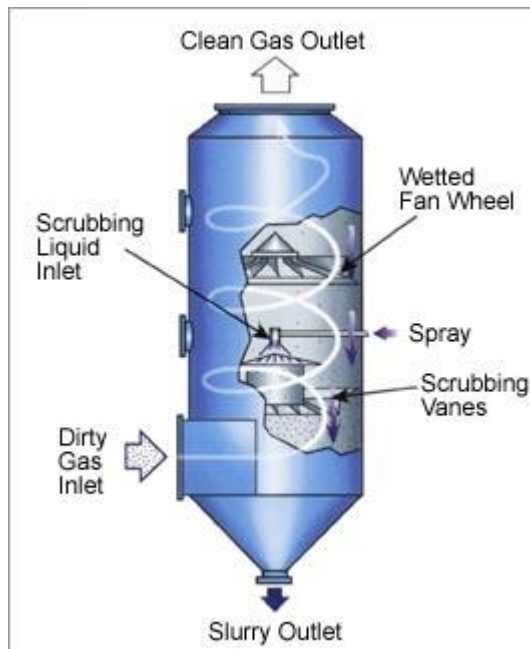
Kuljetettaessa kemikaaleja tai kaasua pakokaasuista tuotettu inertti on liian rikkipitoista, ja vaarana on lastin pilaantuminen. Typen ominaisuutena on myös kuivattaa lastitankin ilmatilaa. Kaasulasteissa, jotka kuljetetaan alle nolla-asteina, käyttämällä typpeä saadaan kastepistettä alennettua niin että lastitankkiin ei muodostu ylimääräistä kosteutta.

Pääsääntöisesti lastitankkeihin ajetaan typpeä purkaussatamassa maasäiliöstä, mutta sitä voidaan toimittaa myös rekka-autoilla tai rautateitse säiliövaunuilla. Ongelmaksi kuitenkin jäi tankinpesussa tarvittava suojakaasu. Typpeä voidaan tuoda laivalle kaasupulloihin pakattuna, mutta tämä ei ole sopiva ratkaisu, kun on kyse kaikkien tankkien inertoinnista. Laivakäyttöön ensimmäiset typpigeneraattorit kehitettiin 1990-luvulla. Typpigeneraattori valmistaa typpeä ilmasta poistamalla siitä hapen, jolloin jäljellä jää typpeä sekä hyvin pieniä määriä hiilidioksidia ja muita ilman sisältämiä kaasuja. Nykyaikainen typpilaitos voi tuottaa jopa 4000 m³/h typpeä. (Hamworthy).

4.3 Suojakaasupesuri

Suojakaasupesurissa pakokaasu työstetään lopulliseen muotoonsa suojakaasuna. Tässä vaiheessa merivedellä pestään pakokaasusta pois ylimääräiset partikkelit ja rikkiyhdisteet. Samalla merivesi jäädyttää kuuman pakokaasun suojakaasuksi sopivaan lämpötilaan.

Kuuma pakokaasu viilennetään aluksi merivesisuihkuilla tai vaihtoehtoisesti vesilukon läpi (Inert Gas Systems 3.2.2). Pakokaasu kulkee ”pesutornissa” erilaisten suodattimien läpi, jotta se puhdistuisi mahdollisimman hyvin ylimääräisistä aineksista. Kirjattuna minimivaatimuksena on, että suojakaasupesuri poistaa rikkiyhdisteitä vähintään 90 prosenttia ja muita ylimääräisiä partikkeleita ”tehokkaasti” (Inert Gas systems 3.3.2). Pesurin tornin muotoilulla ja erilaisilla levyillä voidaan pakokaasun virtausta ohjata puhdistuksen ja jäähdytyksen kannalta mahdollisimman edulliseksi. Pesun lopuksi pakokaasu kulkee kuivaimen läpi. Kuivain voi olla puhallintyyppinen tai rakenteeltaan kosteutta poistavaa ainetta, kuten polypropyleeniä, jonka läpi kostea suojakaasu kulkeutuu (Inert Gas Systems 3.2.4).



Kuva 8 Suojakaasupesurin kaaviokuva (MikroPul)

4.4 Tuuletin

Suojakaasujärjestelmään kuuluvien tuulettimien tehtävänä on toimittaa pesurissa puhdistettu suojakaasu lastitankkeihin. Järjestelmässä tulee olla vähintään kaksi tuuletinta, ja niiden yhteenlasketun kapasiteetin on oltava vähintään 125 prosenttia lastipumppujen purkausnopeudesta (Inert Gas Systems 3.4.1). Tuulettimien jälkeen konehuoneen ja lastikannen välisessä laipiossa tulee olla automaattiventtiili, joka sulkeutuu suojakaasulaitteiston häiriötilanteessa (FSS Code 2007, Chapter 15 2.3.1.3.1). Tuulettimissa, joissa ei ole automaattista nopeudensäätöä, sama automaattiventtiili säätelee tankkeihin menevän suojakaasun painetta etukäteen määritellyn asetuksen mukaisesti. Ylimääräinen suojakaasu johdetaan tällöin korsteenin kautta taivaalle (FSS Code 2007, Chapter 15 2.3.1.3.2)

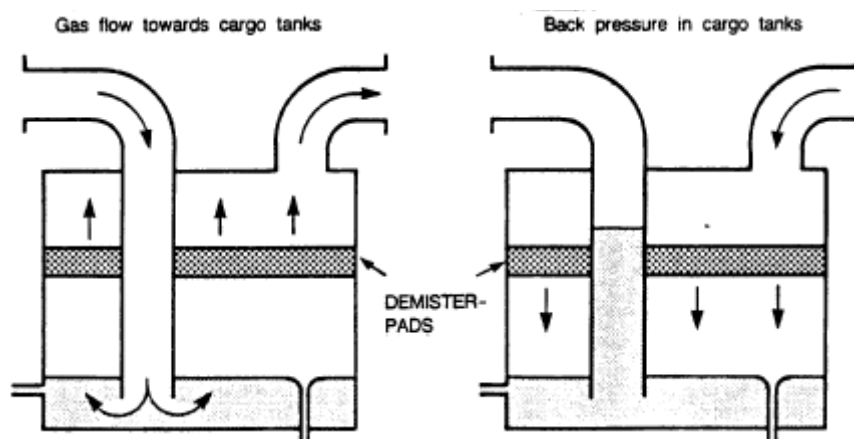
4.5 Vesilukko

Vesilukon tarkoituksena on estää hiilivetyjä ja räjähdyskaasuja sisältävien lastikaasujen virtaus suojakaasugeneraattorin ja konehuoneen suuntaan. Tämän takia vesilukon pitää sijaita fyysisesti lastikannella konehuoneen ulkopuolella (FSS Code 2007, Chapter 15 2.3.1.4.2). Sen on kyettävä estämään kaasun virtaus tankeista konehuoneeseen päin myös silloin, kun suojakaasujärjestelmä on pois käytöstä. Tämä tarkoittaa sitä, että vesilukossa tulee olla vettä niin paljon, että se kestää ja näin ollen pystyy estämään kaasun virtauksen väärään suuntaan lastitankkien suurimman testatun paineen mukaisesti (FSS Code 2008, Chapter 15 2.2.4.5). Tankin ylitäyttötilanteissa on vaarana lastin kulkeutuminen suojakaasuputkistoa pitkin vesilukkoon ja siitä eteenpäin aina konehuoneeseen. Ylitäyttötilanteita varten vesilukon ja lastitankkien välissä täytyy olla vielä mekaaninen takaiskuventtiili, joka estää nesteen virtaamisen väärään suuntaan (Inert Gas Systems 3.6.3). Vesilukkoja on kolmea tyyppiä: märkä, puolikuiva ja kuiva.

4.5.1 Märkä vesilukko

Märkä vesilukko on tekniseltä ratkaisultaan yksinkertainen. Ajettaessa suojakaasua tankkiin kaasu kulkeutuu vesipatsaan läpi ja siitä edelleen lastitank-

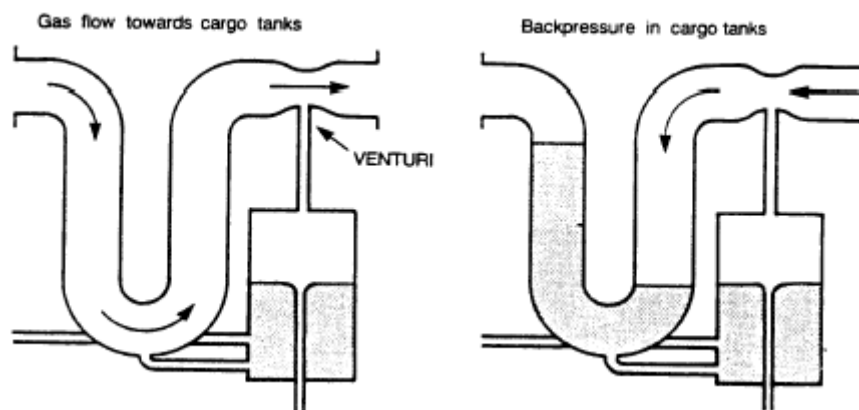
keihin. Tilanteessa, jossa lastitankkien vastapaine on suurempi kuin paine suojakaasulinjassa ja kaasu alkaa virrata väärään suuntaan, vesilukon vesipatsas nousee ja estää virtauksen eteenpäin kohti konehuonetta.



Kuva 9. Märkä vesilukko (Inert Gas Systems 3.6.2.1)

4.5.2 Puolikuiva vesilukko

Puolikuiva vesilukko koostuu kahdesta osasta: suojakaasulinjasta, jossa suojakaasu kulkee, sekä siihen yhdistetystä vesisäiliöstä. Puolikuivan vesilukon toiminta perustuu venturi-ilmiöön, joka tarkoittaa, että aineen kulkiessa kaventetun putken kohdalla sen virtausnopeus kasvaa ja vastaavasti paine pienenee. Suojakaasun virratessa puolikuivan vesilukon linja tyhjenee vedestä. Vesi pakenee venturi-ilmiön johdosta suojakaasulinjasta vesisäiliöön. Suojakaasujärjestelmän lakatessa toimimasta paine normalisoituu säiliössä ja vesi virtaa takaisin suojakaasulinjaan muodostaen vesilukon (OCIMF).

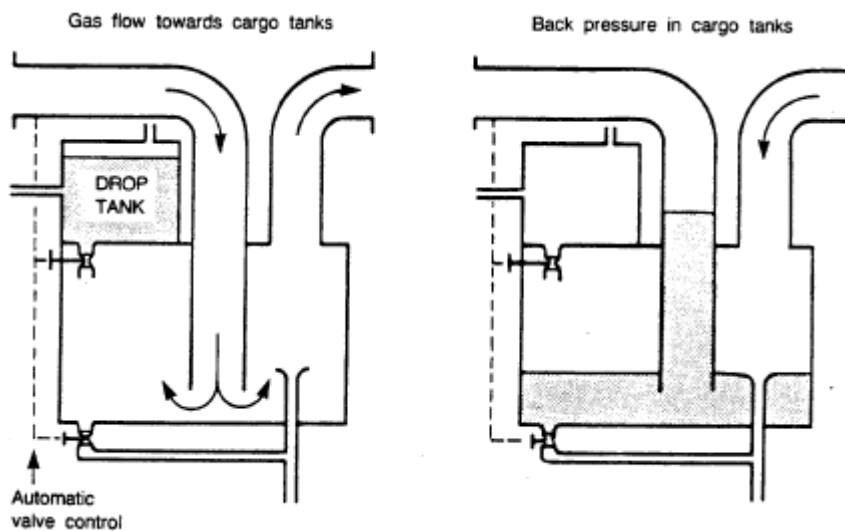


Kuva 10. Puolikuiva vesilukko (Inert Gas Systems 3.6.2.2)

4.5.3 Kuiva vesilukko

Kuiva vesilukko koostuu kahdesta erillisestä säiliöstä, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Toimintaa säätelee automaattiventtiili, joka laskee veden varastosäiliöstä vesilukkoon, kun suojakaasujärjestelmä on pois käytöstä. Molemmissa säiliöissä on vedenpinnantason mittaukseen anturit. Kun suojakaasujärjestelmä kytketään pois päältä, venttiiliautomaatiikka annostelee riittävän määrän vettä vesilukkoon ja vastaavasti järjestelmän käynnistyessä vesi poistuu vesilukosta.

Kuiva vesilukko on näistä kolmesta erityyppisestä ratkaisusta riskialttein. Se perustuu antureihin, jotka ohjaavat venttiilien automaattista toimintaa. Anturin vioittuessa vesilukko ei toimi ja riski lastikaasun virtaukseen kohti konehuonetta kasvaa. (OCIMF).

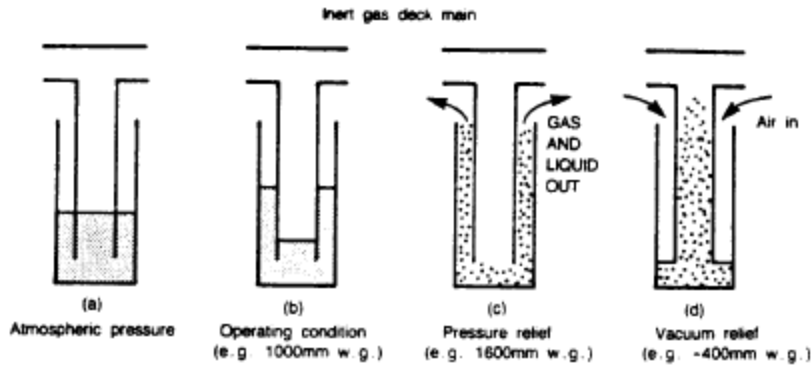


Kuva 11. Kuiva vesilukko (Inert Gas Systems 3.6.2.3)

4.6 P/V-breaker ja tankkikohtaiset P/V-venttiilit

Suojakaasulinjaan tulee asentaa vähintään yksi P/V-breaker (Inert Gas Systems 3.13.1), joka suojaa järjestelmää liialliselta yli- ja alipaineelta. P/V-breaker on käytännössä suojakaasujärjestelmän päälinjaan liitetty nestettä sisältävä säiliö. Sen kautta purkautuu liiallinen yli- tai alipaine niin, ettei järjestelmä vaurioidu. Koska P/V-breaker sijaitsee ulkotiloissa kannella, on siinä

käytettävä veden ja glykolin sekoitusta, jotta se ei jäädy kylmissä oloissa. Lisäksi nesteen määrää on tarkkailtava, jotta P/V-breaker toimisi oikeiden painerajojen sisällä (Inert Gas Systems 3.13.2). Nesteen määrä voi vähetä esimerkiksi haihtumisen seurauksena.



Kuva 12. P/V-breakerin toimintaperiaate (Inert Gas Systems 3.13.3)

Järjestelmään kuuluu lisäksi tankkikohtaiset P/V-venttiilit, jotka säätelevät yksittäisen tankin yli- ja alipainetta.

Järjestelmä on suunniteltava niin, että liiallinen ylipaine pääsee purkautumaan ennen kuin paine ylittää lastitankkien testatun maksimipaineen ja vastaavasti järjestelmän on kestävä 700 mmWG:n alipaine tilanteessa, jossa lastia puretaan maksimivauhdilla ja järjestelmän toiminta lakkaa jostain syystä.

4.7 Esimerkki suojakaasujärjestelmän toiminnasta

Laivan tankit inertoidaan purkaussatamassa. Kattiloiden pakokaasukanavista pakokaasu johdetaan pesutorniin. Pesutorniin pumpataan varta vasten suojakaasujärjestelmään liitetyllä pumpulla merestä jatkuvasti puhdasta ja viileää vettä. Pakokaasu viilentyy lähelle meriveden lämpötilaa ja se puhdistuu samalla epäpuhtauksista. Pesun jälkeen pakokaasu läpäisee pesutorniin kuuluvan kuivaimen, joka poistaa pakokaasuun pesussa kertyneen kosteuden. Pesutorni on erotettu pakokaasukanavista sulkuventtiileillä. Niillä estetään pakokaasun pääsy pesutorniin ja pidemmälle suojakaasujärjestelmään, kun suojakaasua ei tarvita.

Pesutornista pakokaasu jatkaa matkaansa tuulettimille. Tuulettimiin on mahdollista johtaa myös puhdasta ilmaa tilanteissa, joissa lastitankit on tarkoitus tuulettaa ja tehdä kaasuvapaiksi. Tuulettimet puhaltavat pakokaasun kannelle päälinjaa pitkin. Vaihtoehtoisesti kaasu on mahdollista vielä tässä vaiheessa ohjata korsteeniin. Kannella pakokaasu menee ensin vesilukkoon. Mikäli vesilukossa on vettä liian vähän, sitä saadaan lisää samalla pumpulla, jota käytetään pesutornissa. Vesilukon ja mekaanisen takaiskuventtiilin jälkeen suojakaasulinja haarautuu jokaiseen tankkiin. Niistä tankeista, joita aiotaan inertoida, käydään avaamassa tankkikohtaiset venttiilit.

Inertoinnin aloituksessa suojakaasua johdetaan ensin hetken aikaa korsteeniin. Kun suojakaasun happipitoisuus asettuu alle viiden prosentin tasolle, pärmies ohjaa suojakaasun päälinjaan. Tämän jälkeen automatiikka säätelee päälinjaan johdettavan suojakaasun painetta halutusti. Itse suojakaasujärjestelmä on mitoitettu niin, että se pystyy tuottamaan suojakaasua 125 prosentin verran aluksen pumppujen maksimipurkausnopeuteen nähden. Tilanteissa, jolloin maksimipurkausnopeuteen ei päästä osa suojakaasusta on johdettava suoraan korsteeniin, ettei tankkipaine nouse liian suureksi suojakaasujärjestelmän vuoksi.

Laitteiston häiriötilanteissa, kuten esimerkiksi silloin, kun suojakaasun lämpötila on pesun jälkeen liian korkea tai happipitoisuus on liian suuri, automaattiventtiili ohjaa suojakaasun korsteeniin.

5 TURVALLISUUS

Suojakaasun ja suojakaasulaitteiston käyttö on erittäin turvallista, mikäli laitteiston huoltoon ja käyttöön kiinnitetään asianmukaisesti huomiota. IMO on määritellyt laitteiston rakenteen teknisesti sellaiseksi, että sen vikaantuessa ei aiheudu henkilökunnalle eikä alukselle vaaraa. Kaikki laitteiston pumput ja turvalaitteet on kahdennettu, toisen vikaantuessa järjestelmä toimii silti. Laitteistoon kuuluu vesilukko, joka estää lastikaasujen virtaamisen väärään suuntaan. Lisäksi putkistoon vaaditaan vähintään yksi takaiskuventtiili, jolla estetään las-

tin virtaaminen väärään suuntaan. Tilanteessa, jossa paine laitteistossa kasvaa liian suureksi, P/V-breaker päästää suojakaasun taivaalle, vastaavasti lastitankkeja liialta paineelta suojaavat tankkikohtaiset P/V-venttiilit. Järjestelmään kuuluu myös happianturi, joka on sijoitettava putkistoon tuulettimen jälkeen (Inert Gas Systems 3.14.7.1). Anturi mittaa suojakaasun happipitoisuutta koko ajan, jotta lastitankkiin ajetaan riittävän matalahappista suojakaasua. Happipitoisuutta ja suojakaasulinjan painetta valvova piirturi sijaitsee lastivalvomossa (FSS Code 2007, Chapter 15 2.4.2.2). Laitteiston toimintaa on siis helppo valvoa lastioperaation yhteydessä ja mikäli järjestelmä jostain syystä ei toimi oikein voidaan lastin purkaus pysäyttää tarvittaessa nopeasti.

Suojakaasun tarkoituksena on alentaa ilman happipitoisuutta. Kun aluksella on tarve tuulettaa tankeista lastikaasuja pois inertoimalla tai puhaltamalla, laivan kannella esiintyy suuria määriä lastikaasuja sekä suojakaasua. Nämä operaatiot on suunniteltava etukäteen huolellisesti ja henkilökunnalle on tiedotettava tuuletuksesta sekä turhaa oleskelua ulkona kannella tulee välttää.

Tankkitarkastusten yhteydessä, tankin tuuletuksen jälkeen, on aina mitattava tarkastettavan tankin ilmatilan happi- ja räjähdyskaasupitoisuudet. Ennen tankkiin menoa on täytettävä ”Lupa suljettuun tilaan menosta” kaavake, johon kirjataan mitatut arvot, nimetään tankkiin menevät henkilöt, luukkuvahgina toimiva henkilö ja operaatiosta vastuullinen perämies, lisäksi päällikön on hyväksyttävä aiottu toimenpide. Jos mittauksissa ilmenee normaaleista arvoista poikkeavia lukemia eli happipitoisuus on vähemmän kuin 20,9 % tai mittari ilmoittaa räjähdyskaasuista, ei tankkiin saa mennä ja tuuletusta on jatkettava. Hapenpuute voi johtaa tajunnanmenetykseen jo muutamassa kymmenessä sekunnissa ja avun saaminen voi kestää parhaassakin tapauksessa useita minutteja.

6 SUOJAKAASUJÄRJESTELMÄN TULEVAISUUS

Suojakaasujärjestelmä, kuten monet muutkin merenkulun turvallisuuteen liittyvät säännöt, on kehitetty onnettomuuksien seurauksena. Säiliöaluksilla on koko niiden historian aikana sattunut lukuisia lastitankeissa tapahtuneita räjähdysonnettomuuksia. Viimein 1960-luvun lopulla kolmen VLCC-tankkerin

onnettomuudet muutaman viikon sisällä saivat IMO:n pohtimaan ongelmaan ratkaisua. IMO isona ja hitaana organisaationa sai 1980-luvun alussa voimaan suurimpia säiliöaluksia koskevan sääntelyn suojakaasujärjestelmästä. Säännöissä oikeastaan vain kirjattiin jo alalla vallinnut käytäntö, sillä öljy-yhtiöiden oma järjestö, OCIMF, oli 1970-luvulla yhdessä vakuutusyhtiöiden kanssa puuttunut näihin onnettomuuksiin omilla ohjeistuksillaan (Devaney 2010, 11 - 12).

Alun perin vuonna 1981 suojakaasujärjestelmä vaadittiin vain uusiin yli 20 000 dwt:n säiliöaluksiin, vuonna 1983 järjestelmä laajeni koskemaan jo olemassa olevia yli 70 000 dwt:n raakaöljylaivoja ja kahta vuotta myöhemmin laitteisto vaadittiin myös eräisiin pienempiin laivoihin. Edelleenkin IMO ei edellyttä, että suojakaasujärjestelmä pitäisi olla alle 20 000 dwt:n säiliöaluksissa. Parin viimeksi kuluneen vuoden aikana suojakaasujärjestelmän pakollisuudesta kaikkiin öljytuotteita kuljettaviin aluksiin on keskusteltu IMO:ssa (Safety at Sea International 2007, 15), ja onkin vain ajankysymys, milloin jonkinlainen suojakaasujärjestelmä on oltava kaikilla öljytuotteita kuljettavilla aluksilla.

Varsinainen suojakaasulaitteistokin on kokenut muutoksia vuosikymmenten aikana. Raakaöljyä kuljettavilla laivoilla suojakaasun puhtauteen ei tarvinnut kiinnittää huomiota, koska itse lastikin sisälsi paljon epäpuhtauksia. Vuodesta 1985 alkaen, kun suojakaasujärjestelmää edellytettiin myös isommilta tuotelaivoilta, piti kehittää kokonaan uudenlaisia ratkaisuja. Laivoihin rakennettiin yhdistelmägeneraattoreita, joissa kevyttä polttoöljyä poltetaan generaattorin omalla öljypolttimella, ja näin saadaan puhtaampaa suojakaasua. Tämäkään suojakaasun puhtaus ei riitä kaikkein herkimmille lasteille, kuten kemikaaleille, joten suunnittelijoiden piti lähestyä ongelmaa kokonaan uudella tavalla. Ratkaisuna oli tyypin käyttö suojakaasuna. Nykyään useimmilla laivoilla on käytössä typpigeneraattoreita, jotka tuottavat paineilmaa tyypeä johtamalla paineilmaa membraanifiltterin läpi (Airproducts).

Tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä siirrytään yhä laajemmin typpigeneraattoreiden käyttöön; vielä nykyään ne ovat liian tehottomia käytettäväksi suurimmilla aluksilla. Typpigeneraattoreiden rakenne on varsin yksinkertainen ja niiden huoltaminen on siten helpompaa. Kuumaa ja rikkiä sisältävää pako-

kaasua käyttävä suojakaasujärjestelmä joutuu erittäin kovalle rasitukselle, joten niissä materiaalit on valittava siten, että ne kestävät sekä korkeita lämpötiloja että korroosiota. Sen sijaan typpigeneraattori valmistaa typpeä ilmasta, joten siinä materiaali ei joudu niin kovalle rasitukselle.

7 ARVIOINTI

7.1 Aiheen rajaus

Aiheena öljysäiliöaluksen suojakaasujärjestelmä oli mielestäni selkeästi rajattu. Nykyisin järjestelmä liittyy olennaisena osana säiliöalusten operointiin, ja IMO on säätänyt sen selkeäksi asiakokonaisuudeksi. IMO:n öljysäiliöalusten suojakaasujärjestelmää koskevia sääntöjä ollaan myös laajentamassa. Aiheesta on pidetty konferensseja ja säännöstöä ollaan laajentamassa koskemaan nykyistä pienempiä säiliöaluksia, joten siinä mielessä aihe on ajankohtainen.

7.2 Itsearviointi

Mielestäni olen onnistunut tuomaan työssäni esille syyt suojakaasujärjestelmän käyttöön. Sinänsä työssä ei tuoda esiin mitään uutta tai luoda mitään suosituksia, mutta tämä opinnäyte toivottavasti helpottaa löytämään suojakaasujärjestelmään liittyvää säännöstöä - se kun on hajautettu loogisesti, mutta tietoa etsivän kannalta myös äärimmäisen hankalasti useaan IMO:n sopimukseen, suositukseen ja lisäpöytäkirjaan. Itse kirjoitusprosessi venähti luvattoman pitkäksi toisaalta aikataulusyistä, toisaalta lähdemateriaalin osittaisen niukkuuden vuoksi. Kirjallisuudessa aihetta ei juuri käsitellä tekniseltä kannalta. Suuri osa laitteiston rakennetta käsittelevää osiota perustuukin tämän vuoksi laitevalmistajien nettisivuilta saatuihin mainosmateriaaleihin.

LÄHTEET

Airproducts

<http://www.airproducts.com/Products/Equipment/PRISMMembranes/page01.htm> Viitattu 9.10.2010

Alava, T. Koulutuspäällikkö, KYAMK. Keskustelu / kommentti opinnäytetyöhön
21.11.2010

Center For Tankship Excellence. <http://www.c4tx.org/> Viitattu 18.4.2010

Crawford, J. 1981. Marine and Offshore Pumping and Piping Systems (Marine Engineering Series). Butterworth-Heinemann

Devanney, J. 2006. The Tankship Tromedy, The Impending Disasters in Tankers. Tavernier: The CTX Press

Devanney, J. 2010. The Strange History of Tank Inerting. Saatavissa
<http://www.c4tx.org/ctx/pub/igs.pdf>. Viitattu 18.6.2010

FSS Code. 2007: International Code For Fire Safety Systems. IMO

Grindle, Chris. <http://www.mowbars.plus.com/Pictures/mactra.html> Viitattu
18.4.2010

Hamworthy <http://www.hamworthy.com/en/Products-Systems/Hamworthy-Marine/> Viitattu 4.11.2010

Helle, A. Lehtori, KYAMK. Keskustelu / kommentti opinnäytetyöhön
21.10.2010

Hyttinen, V. 2000. Palofysiikka. Helsinki: Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö

Hyttinen, V., Tolonen, P., Väisänen T. 2008. Palofysiikka. Helsinki: Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö

Inert Gas Systems. 1990. IMO

ISGOTT. 1996. International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals, fourth edition. ICS, OCIMF, IAPH

ISGOTT. 2006. International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals, fifth edition. ICS, OCIMF, IAPH

Luettelo yleisimmistä palavista nesteistä. 1999. TUKES. Saatavissa http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/7_99.pdf Viitattu 2.7.2010

MikroPul <http://www.mikropul.com/products/wscrubber/mikrovane.html> Viitattu 9.11.2010

OCIMF. Inert Gas Systems Dry Type Deck Water Seals. PDF-tiedosto saatavissa <http://www.ocimf.com/Library/Information-Papers> Viitattu 10.11.2010

OCIMF. Inert Gas Systems, Semidry Type Deck Water Seals. PDF-tiedosto saatavissa <http://ocimf.com/Library/Information-Papers> Viitattu 10.11.2010

Safety at Sea International. 2007. What lies inside the tanker. 07.2007

SOLAS, consolidated edition 2009. Fifth edition. IMO

Woodman, R. 1997. The History of the Ship. Conway Maritime Press

Liite 1

Säiliöalusten räjähdysonnettomuuksia ennen toista maailmansotaa (Devanney 2010, 1)

Some pre-WWII, non-War Tanker Explosions			
Year	Ship	Dead	Vol (m3) Synopsis
1890	Vorwarts		Gluckauf sister, fire at Savona, towed out, sunk
1892	Petrolea		Struck by lightning, blew up, cargo kerosine
1902	Bakunin		Loaded Callao, fire, some says repairing
1907	Silverlip	5	Explosion in no. 4 tank, Bay of Biscay, petrol, sunk
1910	Manhattan	5	Sailed from NY to Algier, loaded. Not heard of since.
1914	Kometa	15	Tank explosion
1926	Phoenix	2	Riveted tank leak, explosion
1928	Chuky		Internal explosion, loaded, sank,
1932	Bidwell	18	Tank cleaning, last cargo crude
1933	C.S.Petrol	3	Internal explosion, sank
1934	Lacrescenta	29	Suddenly disappeared

Liite 2

Säiliöalusten räjähdysonnettomuuksia vuosilta 1960 – 1970 (Devanney 2010, 7)

Sixties Casualties where inerting probably would have helped

Date	Ship	Dead	Vol(m3)	Synopsis
26.1.1961	Esso Durham	0	0	Tank cleaning, explosion off. Gibraltar
6.3.1964	Bunker Hill	5	0	Explosion while tank cleaning, broke in two, sank
25.3.1964	San Jacinto	1	0	Explosion in ballast, blamed on falling magnesiumanode
5.6.1965	Luisa	32	24000	Explosion loading Iran
5.8.1965	Kaizo Maru	13	0	Explosion loading Saudi
23.9.1965	Barbaros	15	0	Explosion discharging gasoline Izmit
20.8.1966	British Crown	19	23000	Explosion topping off. Umm Said, prob. spark from A/C unit
11.12.1966	Iphigenia	3	0	Tank explosion in ballast, sank
3.1.1967	Esso Glasgow	0	600	Tank explosion loading Fawley
22.1.1967	Jacob Verolme	1	0	Ore / oil explosion, loading iron ore, hot work on deck, leak
22.3.1967	Circe	38	0	Tank explosion, possibly loose deck equipment, broke in two
26.4.1968	Assimi III	5	20000	ER fire out of Singapore, sank
6.5.1968	Isias Orcadas	4	13000	Ruptured hose, loading gasoline La Plata, 3 ships sunk
6.5.1968	Fray Luis Beltran	0	0	Ruptured hose, loading gasoline La Plata, 3 ships sunk
6.5.1968	Cutral Co	0	0	Ruptured hose, loading gasoline La Plata, 3 ships sunk
20.10.1968	Sitakund	3	526	Tank explosion in English Channel, ballast
6.10.1969	Seven Skies	4	0	Tank cleaning explosion NE of Singapore
12.12.1969	Marpessa	2	0	VLCC tank cleaning explosion off. Dakar, sank
29.12.1969	Maetra	2	0	VLCC tank cleaning explosion off. Mozambique
30.12.1969	Kong Haakon VII	0	0	VLCC tank cleaning explosion off. Liberia

Suojakaasujärjestelmä kaaviokuva (Crawford 1981, 66)

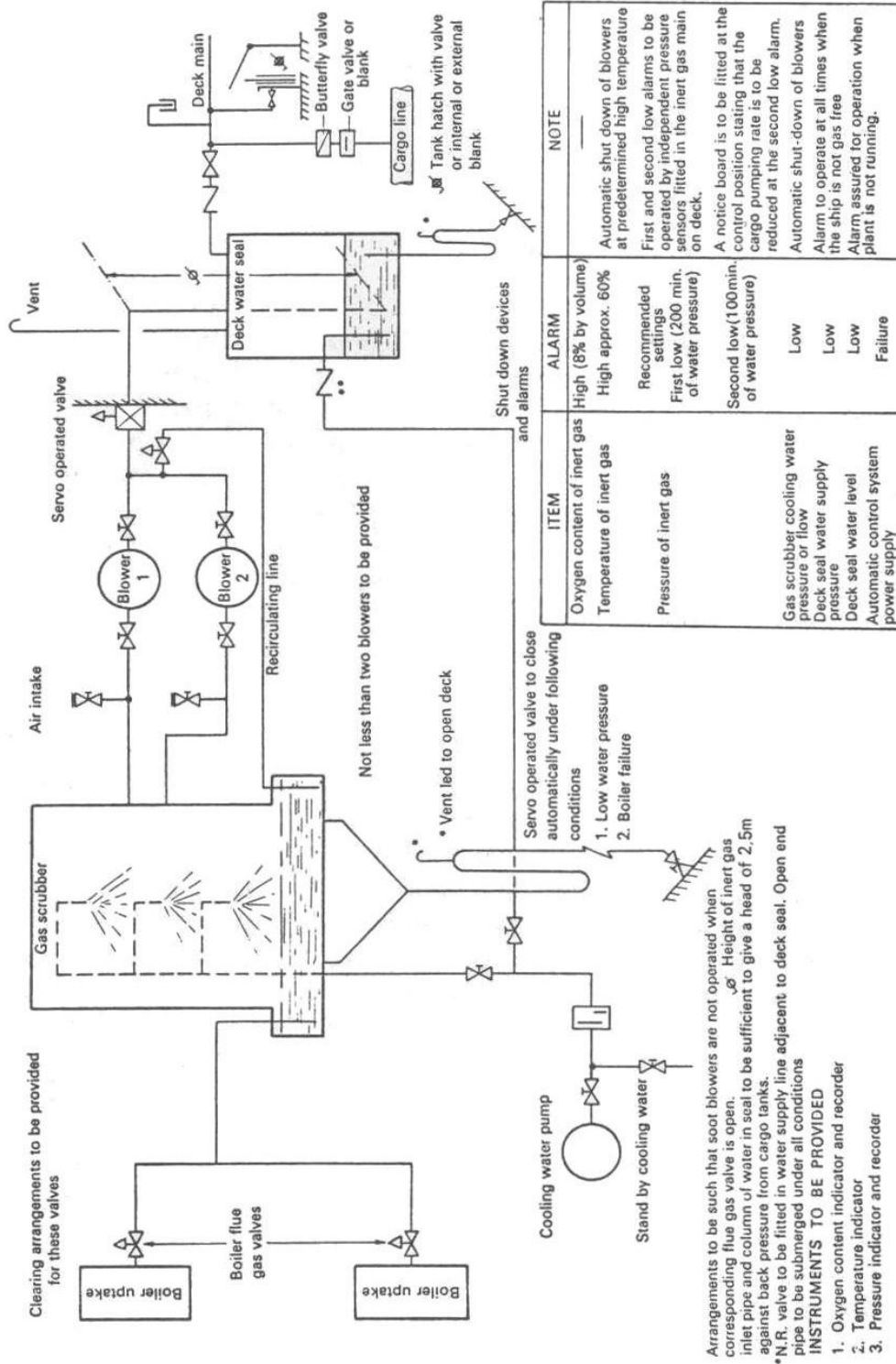


Figure 5.1 Inert gas system