

Opinnäytetyö AMK

LVI-tekniikka

2021

Niklas Sipilä

# INERTTIKAASUJÄRJESTELMÄ LNG-RISTEILYALUKSESSA

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

LVI-tekniikka

2021 | 40 sivua, 2 liitesivua

Niklas Sipilä

## INERTTIKAASUJÄRJESTELMÄ LNG-RISTEILYALUKSESSA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä nesteytettyä maakaasua käyttävän risteilijäaluksen inerttikaasujärjestelmä ja kehittää siinä olevaa ilmansyötön varajärjestelmää. Inerttikaasujärjestelmässä käytetään typpikaasua alentamaan järjestelmän ja määrättyjen tilojen happimäärä riittävän alas, jolloin palamista ei tapahdu. Järjestelmässä ei myöskään pääse syntymään jäätä, koska kastepiste laskee riittävän alas. Järjestelmän ongelmana on huono typen tuotto ja alhainen paine, kun ilmansyöttö typpigeneraattoreille tapahtuu risteilijän paineilmajärjestelmästä. Työ tehdään Turun telakalla yhteistyössä Meyer Turku Oy:n kanssa.

Työssä esitellään ensin yritys historiasta nykypäivään asti, jolle opinnäytetyö tehdään. Tämän jälkeen esitellään nesteytettyä maakaasua käyttävän risteilijän inerttikaasujärjestelmän toimintaperiaate sekä millä tavalla sitä käytetään ja miksi. Samalla perehdytään mitä riskejä nesteytetyn maakaasun käytön yhteydessä ilmenee ja miten niitä ennaltaehkäistään. Työssä kerrotaan myös kansainvälisen merenkulkujärjestön asettamia määräyksiä ja asetuksia sekä esitellään järjestelmän komponentit. Työn loppuosassa käsitellään varajärjestelmään liittyvät kehitysideat ja yhteenveto.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kehitysideat, joilla voi parantaa ilmansyötön varajärjestelmän typen tuottoa ja paineilmalinjaston painetta. Työilmän paineilmalinja voitaisiin haaroittaa ennen paineenalennusventtiilejä, joten typpigeneraattoreille saataisiin korkeampipaineista ilmaa. Samalla putkiston kokoa voisi muuttaa isommaksi, jolloin typpigeneraattorille virtaava ilmavirta saataisiin suuremmaksi ja painehäviöt pienemmiksi.

ASIASANAT:

LNG, typpi, inerttikaasujärjestelmä

BACHELOR´S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

HVAC Engineering

2021 | 40 pages, 2 pages in appendices

Niklas Sipilä

## INERT GAS SYSTEM IN AN LNG CRUISE SHIP

The purpose of this thesis is to present the inert gas system of a cruise ship using liquefied natural gas and to develop an air supply backup system. In an inert gas system nitrogen gas is used to reduce the amount of oxygen in the system and certain spaces sufficiently to prevent combustion. Also no ice can form in the system because the dew point drops low enough. The problem with the system is poor nitrogen output and low pressure when the air supply to the nitrogen generators is taken from the ship's compressed air system. The work is being done at the Turku shipyard in cooperation with Meyer Turku Oy.

The thesis first presents the history of the company to the present day for which the thesis is being done. After this the operating principle of the inert gas system of a cruiser using liquefied natural gas and how it is used and why. At the same time the risks associated with the use of liquefied natural gas and how to prevent them will be examined. The work also describes the regulations and ordinances set by the International Maritime Organization and introduces the components of the system. The rest of the work deals with the development ideas and summary related to the backup system.

As a result of the thesis development ideas were obtained that can improve the nitrogen production and the pressure of the compressed air line in the air supply backup system. The working air compressed air line could be branched before the pressure relief valves thus providing higher pressurized air for the nitrogen generators. At the same time the size of the piping could be made bigger which would make the air flow to the nitrogen generator higher and the pressure losses lower.

KEYWORDS:

LNG, nitrogen, inert gas system

# SISÄLTÖ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>                        | <b>7</b>  |
| <b>1 JOHDANTO</b>                                | <b>8</b>  |
| <b>2 TURUN TELAKKA</b>                           | <b>10</b> |
| 2.1 Historia                                     | 10        |
| 2.2 Nykytilanne                                  | 11        |
| 2.3 LNG ja Meyer Turku                           | 11        |
| <b>3 JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE JA KÄYTTÖ</b> | <b>12</b> |
| 3.1 Typpi  | 13        |
| 3.2 LNG-venttiilien ohjaus                       | 14        |
| 3.3 Suljetut tilat                               | 15        |
| 3.3.1 Tank Connection Space (TCS)                | 15        |
| 3.3.2 Cold Box (CB)                              | 16        |
| 3.3.3 Valvebox                                   | 16        |
| 3.3.4 Fuel Storage Hold Space                    | 17        |
| 3.4 Inertointi                                   | 17        |
| 3.5 Tuplaputket                                  | 18        |
| 3.6 Riskit                                       | 19        |
| <b>4 ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET</b>                 | <b>21</b> |
| 4.1 IGF-koodi                                    | 21        |
| 4.2 IMO  | 21        |
| 4.3 Luokituslaitokset                            | 21        |
| 4.4 Standardit                                   | 22        |
| <b>5 JÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT</b>                | <b>24</b> |
| 5.1 Ilmakompressorit                             | 24        |
| 5.2 Typpigeneraattorit                           | 25        |
| 5.2.1 Membraanit                                 | 26        |
| 5.3 Happitunnistimet                             | 28        |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 5.4 Kaasutunnistimet              | 28        |
| 5.5 Aktuaattorit                  | 29        |
| 5.6 Varoventtiilit                | 30        |
| 5.7 Typpisäiliöt                  | 30        |
| <b>6 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖNOTTO</b> | <b>32</b> |
| 6.1 Laiturikoe                    | 32        |
| 6.2 Kuivaus                       | 33        |
| 6.3 Jäähdytys                     | 35        |
| 6.4 Järjestelmän huolto           | 35        |
| <b>7 VARAJÄRJESTELMÄN KEHITYS</b> | <b>36</b> |
| <b>8 YHTEENVETO</b>               | <b>39</b> |
| <b>LÄHTEET</b>                    | <b>40</b> |

## **LIITTEET**

- Liite 1. Työilmajärjestelmän muutos perässä.  
Liite 2. Työilmajärjestelmän muutos keulassa.

## **KUVAT**

|  |    |
|--|----|
| Kuva 1. Historiallinen aikajana Turun telakasta.                       | 10 |
| Kuva 2. Inerttikaasujärjestelmän toimintaperiaate.                     | 13 |
| Kuva 3. Kryogeeninen LNG-venttiili aktuaattorilla. (Herose 2021)       | 14 |
| Kuva 4. Inertoinnin periaate.  | 17 |
| Kuva 5. Lower explosive limit asteikolla. (Wermac 2019)                | 20 |
| Kuva 6. Ilmakompressori laivan keulassa.                               | 24 |
| Kuva 7. Typpigeneraattori, jonka yhteydessä ovat membraanisuodattimet. | 26 |
| Kuva 8. Membraanisuodattimen toimintaperiaate. (PCI gases 2021)        | 27 |
| Kuva 9. Halkaistu membraani.   | 27 |
| Kuva 10. Happitunnistin TCS-tilassa.                                   | 28 |
| Kuva 11. Infrapuna kaasutunnistin TCS-tilassa.                         | 29 |
| Kuva 12. Typpilinjan venttiili, jossa on aktuaattori.                  | 30 |
| Kuva 13. Typpisäiliö typpigeneraattorin takana.                        | 31 |
| Kuva 14. Kastepisteen mittaamista GVU:lta laiturikokeessa.             | 33 |

|   |    |
|---|----|
| Kuva 15. Tankki, josta saatiin nestemäistä typpeä kuivaukseen ja jäähtymykseen.               | 34 |
| Kuva 16. Typpigeneraattori hätämoodilla, jossa kolmitieventtiili on auki poistoilmastointiin. | 37 |
| Kuva 17. Typpigeneraattori hätämoodilla, jossa kolmitieventtiili on auki typpisäiliölle.      | 38 |

## TAULUKOT

|   |    |
|---|----|
| Taulukko 1. Typen yleisiä fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia. (Työterveyslaitos 2017) | 13 |
| Taulukko 2. Suljettujen tilojen inertointiajat. (Meyer Werft 2020)                      | 18 |
| Taulukko 3. LNG-aluksen standardeja.  | 23 |
| Taulukko 4. Typpigeneraattorin teknisiä tietoja.  | 25 |

## KÄYTETYT LYHENTEET

|       |  |
|-------|--|
| GHR   | Gas Handling Room                                  |
| GVU   | Gas Valve Unit                                     |
| LNG   | Liquid Natural Gas                                 |
| GMACS | Gas monitoring alarm control system                |
| IAMCS | Integrated Alarm, Monitoring and Control System    |
| TCS   | Tank Connection Space                              |
| IGF   | International Code of Safety for Ships using Gases |
| ECR   | Engine Control Room                                |
| FSHS  | Fuel Storage Hold Space                            |
| ACH   | Air Change per hour                                |
| IMO   | International Maritime Organization                |
| LEL   | Lower Explosive Limit                              |
| UEL   | Upper Explosive Limit                              |

# 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen johdosta päästöihin kiinnitetään aiempaa enemmän huomiota ja tämä näkyy myös laivaliikenteen ympäristöystävällisten, erilaisten polttoaineiden kehittämisessä. Kansainvälisen merenkulkujärjestön asettamat rikki- ja typpipäästöjen rajoitukset pakottavat varustamoita kehittämään uusia innovaatioita nykyisille ja uusille laivoille, joten esimerkiksi uusia polttoainevaihtoehtoja mietitään tehokkaasti.

Nesteytetty maakaasu, LNG ei tuota rikkipäästöjä lähes ollenkaan ja hiukkaspäästöjen määrä on myös pienempi. LNG:tä käytettäessä hiilidioksidipäästöt ovat 30 % alhaisemmat polttoöljyyn verrattuna, mutta sen varastointiin sekä käyttöön liittyy suuria riskejä. Tätä varten laivassa on inerttikaasujärjestelmä, jolla pystytään turvaamaan ympäristö ja laitteet mahdollisen maakaasuvuodon sattuessa. Tyypeä käytetään myös huoltotöiden aikana, sillä putkistot ja laitteet pitää huuhdella räjähdysherkän kaasun takia ennen kuin mitään huoltoja voidaan tehdä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä nesteytetyllä maakaasulla toimivan risteilijäaluksen inerttikaasujärjestelmän toimintaperiaate ja miten sitä käytetään sekä kehitetään ilmansyötön varajärjestelmää toimimaan paremmin. Työhön kuuluu myös nesteytetyn maakaasun käyttöön liittyvät riskit ja niiden ennalta ehkäiseminen sekä rakennustapa, asetukset ja määräykset. Työ on toteutettu yhteistyössä Meyer Turku Oy:n kanssa ja kohteena toimii Costa Toscana-risteilijä.

Normaalitilanteessa ilmansyöttö typpigeneraattoreille tapahtuu ilmakompressoireiden avulla, jossa typpi erotetaan. Ilmakompressoireiden ollessa poissa käytöstä ilmansyöttö tapahtuu typpigeneraattoreille varajärjestelmän avulla, laivan työilman kautta. Laivan työilma vastaa normaalia paineilman laatua.

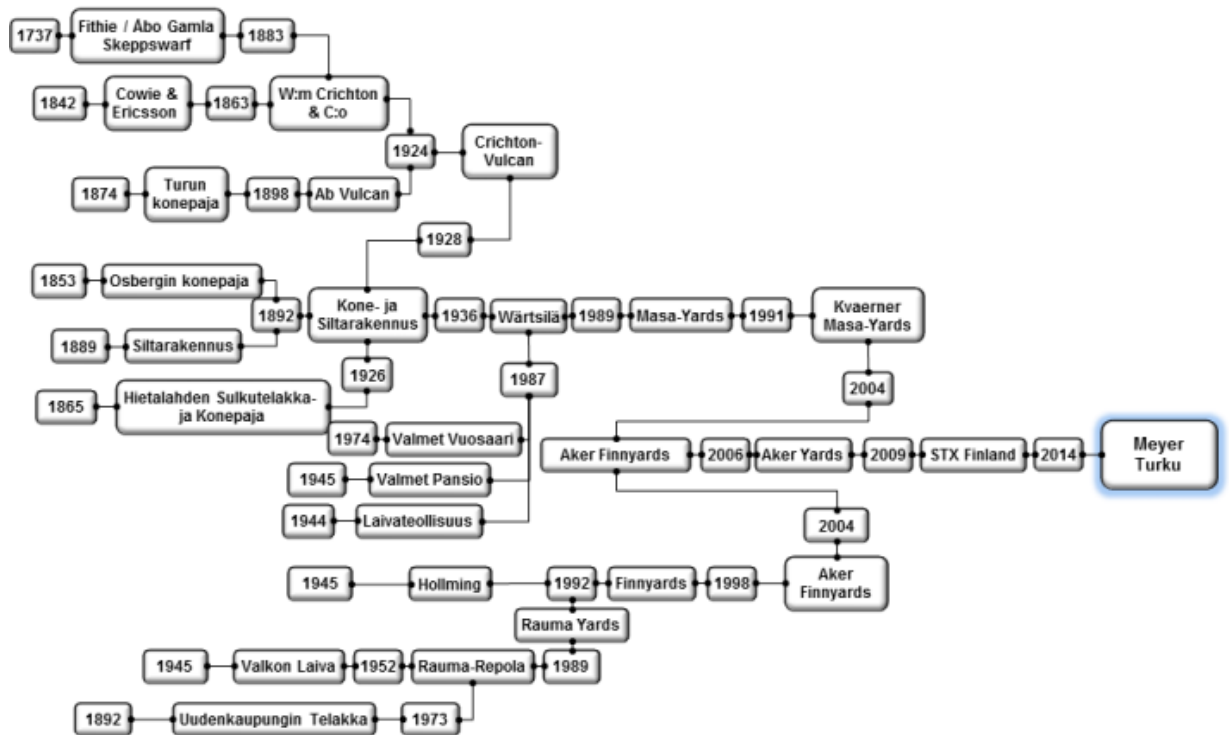
Ilmansyötön varajärjestelmän toimintaan saaminen on kuitenkin ollut hankalaa sekä typen tuotto ja paine heikkoa. Syötettävän ilman kastepistettä ei välttämättä

saada alas järkevässä ajassa, joten typpigeneraattoreita joudutaan ajamaan manuaalisesti. Välillä joudutaan myös säätämään laitteen parametrejä, kuten käyntiaikaa typen tuottamiseksi. Näiden lisäksi työilman paine on myös alhaisempi, joten tuotetulle typelle ei saada riittävää painetta, varsinkin kun typen kulutus on suurta.

## 2 TURUN TELAKKA

### 2.1 Historia

Turun telakan historia alkaa vuodelta 1737, kun liikemiehet Heinrich Remgean ja Esaias Wechter alkoivat valmistaa laivoja puusta Turun kaupungissa. Tällöin telakka sijaitsi Turun Aurajoen varrella. Vuosien varrella telakka on ollut useamman eri toimijan omistuksessa ja muuttanut Aurajoen varrelta Turun Pernoon seuraavlanlaisesti.



Kuva 1. Historiallinen aikajana Turun telakasta.

1970-luvun alussa telakka alkoi käydä vanhanaikaiseksi sekä sen sijainti alkoi olla ongelma kaupungin kasvaessa entistä tiheämmäksi. 1976 Wärtsilä otti käyttöön Pernon telakan, johon rakennettiin iso kuivatelakka sekä ikoninen Kone Oy:n valmistama 600 tonnin pukkinosturi. Uudella nosturilla mahdollistettiin isompien lohkojen siirtäminen verrattuna aikaisempaan 150tn nosturiin. Myöhemmin

vuonna 2017 telakalle rakennettiin toinen pukkinosturi Konecranesin toimesta. 1200tn nostokyvyltään oleva pukkinosturi on tällä hetkellä pohjoismaiden suurin.

## 2.2 Nykytilanne

Nykyään Turun telakka on perheyrietyksen Meyer Werft omistuksessa, jolla on johtava asema Euroopan laivanrakennusyrietyksistä. Meyer Turun ja Meyer Werftin lisäksi konserniin kuuluu myös Rostockissa sijaitseva telakka Neptun Werft. Meyer Turun toimitusjohtana on toiminut Tim Meyer vuodesta 2020 lähtien. (Meyer Turku 2021)

Meyer Turulla on tytäryrietyksiä, jotka ovat Piikkiön hyttitehdas Piikkiö Works Oy, Shipbuilding Completion Oy, joka on vaativien sisustusalueiden kokonaistoimitaja ja laivanrakennus sekä offshore-puolen suunnitteluyriety ENG'nD Oy. (Meyer Turku 2021)

## 2.3 LNG ja Meyer Turku

Meyer Turulla on kokemusta LNG:n käsittelystä jo 1980 luvulla, kun telakalla rakennettiin LNG-säiliöaluksia ja myöhemmin vuonna 2013 maailman ensimmäinen nesteytettyä maakaasua käyttävä matkustaja-alus, Viking Grace. Vuonna 2018 Meyer Werftiltä valmistui maailman ensimmäinen LNG-käyttöinen risteilijä AIDAnova, jonka LNG-järjestelmä on vastaavanlainen kuin Costa Smeraldassa ja Toscanassa. Costa Smeralda valmistui Turun telakalta vuonna 2019.

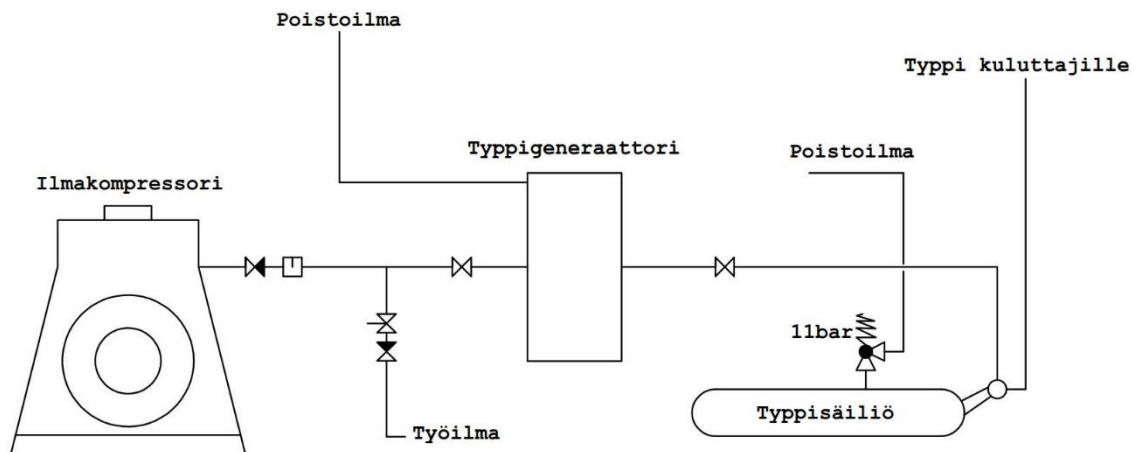
### 3 JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE JA KÄYTTÖ

Inerttikaasujärjestelmä on välttämätön laivalle, joka kuljettaa tai käyttää polttoaineena nesteytettyä maakaasua. Ilmakehään päästessään nesteytetty maakaasu höyrystyy välittömästi kaasuksi, joka vastaa syttymis/räjähdysominaisuuksiltaan metaania. Inerttijärjestelmä voidaan toteuttaa erillisenä inerttikaasulaitoksena tai aluksen kattilalta hyötykäyttöön otetulla savukaasulla.

Inerttikaasujärjestelmän päätarkoitus on alentaa tiettyjen tilojen ja putkien happipitoisuus määrättyyn lukemaan, jolloin syttymistä tai räjähdystä ei voi tapahtua. Tätä prosessia kutsutaan inertoinniksi. Järjestelmässä käytetään inerttikaasua eli kemiallisesti reagoimatonta ainetta. Inerttinä kaasuna käytetään tyypillisesti typpeä, sillä sen erottaminen paineilmasta on helppoa ja edullista.

Normaalisti LNG-järjestelmää käytettäessä typpijärjestelmä on aina valmiustilassa valmiina tuottamaan lisätyypeä tarpeen mukaan. Typpeä tarvitaan pääsääntöisesti myös bunkrauksen aikana, LNG-järjestelmässä olevien venttiilien ohjaamisessa ja pääkoneiden sekä kattiloiden kaasuventtiiliyksiköiden (GVU:iden) huuhtelemiseen vaaralliselta kaasulta. Bunkraus tarkoittaa laivan polttoainesäiliöiden täyttämistä.

Järjestelmän pääkomponentteihin kuuluu ilmakompressori, typpisäiliö ja typpigeneraattori, jonka sisällä ovat membraanisuodattimet. Ilmakompressori tuottaa paineilmaa, joka syötetään typpigeneraattoriin suodattimien ja kuivainten läpi membraaneille. Membraanit erittelevät ilmasta typen ja ohjaavat loput kaasuista ilmanvaihdon kautta ulkoilmaan.



Kuva 2. Inerttikaasujärjestelmän toimintaperiaate.

### 3.1 Typpi

Typpi on ilmaa kevyempi kaasu, joka on hajuton, mauton ja väritön. Typpi on inerttikaasu, joten se ei reagoi kemiallisesti muiden aineiden kanssa esimerkiksi syttymällä. Nestemäisessä muodossa typpi on tämän lisäksi hyvin kylmää. Litra nestemäistä typpeä vastaa 700 litraa kaasumuodossa. (Työterveyslaitos 2017)

Taulukko 1. Typen yleisiä fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia. (Työterveyslaitos 2017)

|  |  |
|--|--|
| <b>Molekyyli massa</b>                       | 28 g/mol   |
| <b>Nesteen tiheys</b>                        | 0,8 (vesi = 1 )  |
| <b>Sulamispiste</b>                          | -210 °C  |
| <b>Kiehumispiste</b>                         | -196 °C  |
| <b>Kaasuntiheys</b>                          | 0,97 (ilma = 1)  |
| <b>Liukoisuus</b>                            | veteen liukenematon (0,020 g/l)                                  |
| <b>Jakautumiskerroin P (n-oktanoli/vesi)</b> | log Pow = 0,92;<br>ei rasvahakuinen                              |
| <b>Muuntokertoimet (höyry) 20 °C:ssa</b>     | 1 ppm = 1,16 mg/m <sup>3</sup><br>1 mg/m <sup>3</sup> = 0,86 ppm |

Vaikka typpi ei ole palava tai myrkyllinen kaasu, sen käytössä on silti omat riskinsä. Suljetussa tilassa jossa ilmanvaihto on huonoa, typpi on vaarallinen tilassa oleville henkilöille, koska se syrjäyttää hapen. Tämä aiheuttaa tajunnan menetyksen ja lopulta kuoleman. (Työterveyslaitos 2017)

### 3.2 LNG-venttiilien ohjaus

Typpeä käytetään LNG-venttiilien ohjauskaasuna, koska typen puhtaus ja kuivuus on ilmaa parempi. LNG-venttiilejä ohjataan Gas monitoring Alarm Control System-järjestelmän (GMACS) kautta esimerkiksi laivan konevalvomossa (ECR). Venttiiliä suljettaessa tai avattaessa syötetään typpeä venttiilin aktuaattoriin, joka pakottaa venttiilin karan liikuttamaan venttiilissä sijaitsevaa palloa tai lautasta. LNG-venttiilit ovat yleensä "spring to close" tyyppisiä, eli ne ovat normaalisti kiinni kun aktuaattorilla ei ole painetta.



Kuva 3. Kryogeeninen LNG-venttiili aktuaattorilla. (Herose 2021)

### 3.3 Suljetut tilat

Suljetut tilat ovat alueita, joihin ei aluksen normaalissa käytössä ole tarvetta päästä. Näillä alueilla on kaasuvuotoriski, jonka vuoksi tilojen happitaso voidaan laskea tiettyyn prosenttiyksikköön tyypikaasun avulla. Näin voidaan valvoa tiloja tarkkaan kaasu- ja happiantureiden kanssa, joiden avulla saadaan selville pieninkin mahdollinen räjähdysherkän kaasun vuoto. Tämä auttaa ehkäisemään tilan komponenttien mahdollisia vaurioita.

Tiloissa on IGF-koodin mukainen ilmastointijärjestelmä, joka aktivoituu kaasuvuodon sattuessa. Muuten tilojen ilmastointi pidetään suljettuna, mutta tilan happitaso on alennettu.

Räjähdysvaaralliset tilat jaetaan kolmeen eri luokkaan, joissa jokaisessa on alennettu happipitoisuus tiettyyn lukemaan. Tilojen luokitus riippuu mahdollisten kaasuvuotojen määrästä ja todennäköisyydestä. Tilaluokat määritellään standardin SFS-EN IEC 60079-10-1:2021 mukaan:

- *Tilaluokka 0: tila, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai toistuvasti.*
- *Tilaluokka 1: tila, jossa räjähdyskelpoinen kaasuilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalikäytössä ajoittain.*
- *Tilaluokka 2: tila, jossa räjähdyskelpoinen kaasuilmaseos ei todennäköisesti esiinny normaalikäytössä, mutta mikäli sellainen kuitenkin esiintyy, sen esiintymisaika on lyhyt.*

Suljettuja tiloja ovat seuraavat:

#### 3.3.1 Tank Connection Space (TCS)

Kaasutiivis tila, jossa on tankkeihin ja tankkitiloihin menevät venttiilit ja putkien läpiviennit. Normaalikäytössä TCS-tilat ovat suljettuja ja niissä on alennettu happitaso alle 12 % lukemaan. Ilmastointi pidetään pois päältä, mutta kaasuvuodon

sattuessa se käynnistyy automaattisesti ja vaihtaa ilmaa 30 ACH (Air Change per hour) verran. Ilmastointi käynnistyy myös, jos happitaso ylittää 13 % lukeman. TCS-tilojen tilaluokitus on 1.

### 3.3.2 Cold Box (CB)

Cold Box on tila, jossa sijaitsee lämmönvaihdin, jonka avulla nestemäinen maa-kaasu höyrystetään kaasuksi. Itse tila ja sen laitteet ovat rakennettu ruostumattomasta teräksestä, jotta se kestää erittäin kylmiä lämpötiloja.

Tilasta löytyvät seuraavat komponentit:

- LNG-höyrystin
- säätöventtiilit
- kauko-/käsikäyttöiset sulkuventtiilit
- varoventtiilit
- puhdistusliitännät
- paikallinen/etä-instrumentointi

Normaalitilanteessa Molemmat Cold Box tilat ovat suljettuja ja niiden ilmastointi pidetään pois päältä happitason ollessa alle 12 %. Kaasun havaittua tilan ilmastointi lähtee käyntiin 30 ACH verran. Ilmastointi käynnistyy myös happitason ylittäessä 13%. Cold Boxien tilaluokitus on 1.

### 3.3.3 Valvebox

Valvebox on kaasutiivis tila, jossa on kaikki bunkkeriaseman neste- ja kaasuputkien sulkuventtiilit, jotka menevät TCS:ssään, Cold Boxiin ja kaasunhallintahuoneeseen GHR:ään. Valvebox sisältää seuraavat komponentit:

- kauko-ohjattavat sulkuventtiilit
- varoventtiilit
- puhdistusliitännät

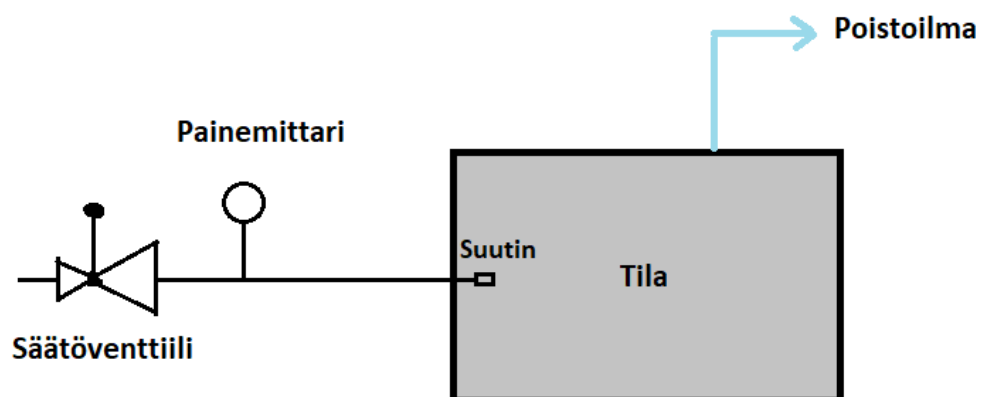
- Paikallinen/etä-instrumentointi

### 3.3.4 Fuel Storage Hold Space

Jokaiselle polttoainetankille on oma suljettu tilansa, jossa on happipitoisuus laskettu alle 17% normaalin käytön aikana. Tilat pidetään suljettuina ja ilmastointi pois päältä, mutta tilaan mentäessä ilmastointi tulee kytkeä päälle vähintään 6 ACH verran. Happitason noustessa 19% lukemaan, kytkeytyy ilmastointi automaattisesti päälle 6ACH verran.

### 3.4 Inertointi

Alhaisemman happitason luomiseksi on tilaan syötettävä typpeä samalla kun tilan ilmaston poistoilmaventtiili on auki ja tuloventtiili kiinni. Typpi syötetään kontrolloidusti suuttimen läpi ja tilan happitasoa valvotaan antureiden avulla. Kun happitaso on saatu riittävän alhaiseksi sulkeutuu poistoilmaventtiili ja typen syöttö.



Kuva 4. Inertoinnin periaate.

Esimerkiksi Cold Boxin inertointi kestää noin 30 minuuttia, kun typen virtaus on 50 m<sup>3</sup>/h ja tilan happipitoisuus aloittaessa 20,9 %. Inertointiajan laskelmat on

tehty Saksan Meyer Werftin telakalla 3,5 mm suuttimen mukaan. Lopullinen aika riippuu myös tilojen happiantureiden sijoituspaikasta sillä ne säätävät typen syötämistä.

Taulukko 2. Suljettujen tilojen inertointiajat. (Meyer Werft 2020)

| Tila                             | TCS, VB, CB          | FSHS 1 & 3            | FSHS 2                |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Tilan koko</b>                | 25 m <sup>2</sup>    | 1200 m <sup>2</sup>   | 1000 m <sup>2</sup>   |
| <b>Happipitoisuus</b>            | 21 %                 | 21 %                  | 21 %                  |
| <b>Virtaus</b>                   | 50 m <sup>3</sup> /h | 100 m <sup>3</sup> /h | 100 m <sup>3</sup> /h |
| <b>Virtauksen happipitoisuus</b> | 3 %                  | 3 %                   | 3 %                   |
| <b>Tavoite happipitoisuus</b>    | 11-12 %              | 16-17 %               | 16-17 %               |
| <b>Muotokerroin</b>              | 1,35                 | 1,35                  | 1,35                  |
| <b>Inertointi aika</b>           | 0,55 h               | 5,27 h                | 4,39 h                |

Tankkitilojen inertointia voidaan myös tehostaa tuplaamalla typen virtaama, jolloin inertointiaika saadaan puolitettyä. Varsinkin isoissa tankkitiloissa inertointi on haastavampaa, koska happianturit sijaitsevat tilan alaosassa, jossa myös typpi syötetään tilaan. Ilman kiertäessä happianturi voi saada väärienlaisia arvoja, kun yläpuolella happitasot ovat korkeammat kuin alhaalla.

### 3.5 Tuplaputket

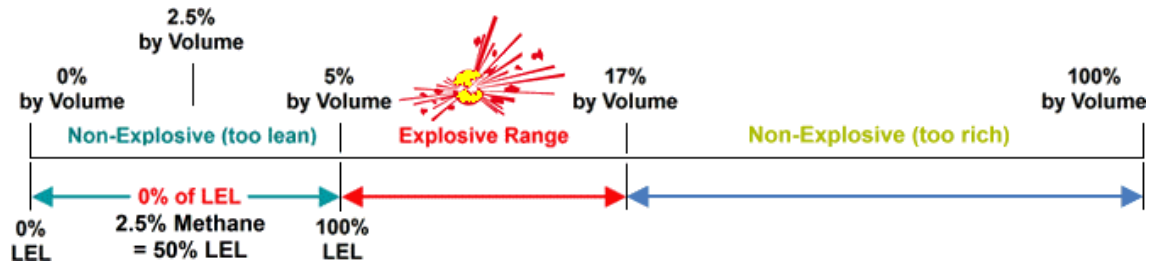
Kaasuturvallisten alueiden kaasupolttoaineputket tulee olla suljettuja kokonaan kaksoisputkella- tai kanavalla, joka täyttää yhden seuraavista ehdoista:

1. Kaasuputkiston on oltava kaksiseinäinen putkisto, jossa kaasupolttoaine on sisäputkessa. Putkien välinen tila on paineistettava inertillä kaasulla, jonka paine on suurempi kuin kaasupolttoaineen paine. Sopivat hälytykset on järjestettävä osoittamaan inertin kaasun paineen häviäminen put-

- kien välillä. Kun sisäputki sisältää korkeapaine kaasua, järjestelmä on järjestettävä siten, että pääkaasuventtiilin ja moottorin välinen putki tyhjenetään automaattisesti inertillä kaasulla, kun pääkaasuventtiili suljetaan.
2. Kaasupolttoaineputket on asennettava tuuletetun putken tai kanavan sisään. Kaasupolttoaineputken ja ulkoputken tai kanavan seinän välinen tila on varustettava mekaanisella alipainetuuletuksella, jonka kapasiteetti on vähintään 30 ilmanvaihtoa tunnissa. Tämä ilmanvaihtokapasiteetti voidaan vähentää 10 ilmanvaihtoon tunnissa edellyttäen, että kanavan automaattinen täyttö tyypellä kaasun havaitsemisen yhteydessä järjestetään. Puhaltimen moottoreiden on täytettävä vaadittu räjähdys suojaus asennusalueella. Ilmanvaihtoaukko on peitettävä suojaverkolla ja sijoitettava paikkaan, jossa mikään syttyvä kaasu-ilmaseos ei voi syttyä.
  3. Hallinto voi hyväksyä myös muita vastaavan turvallisuustason tarjoavia ratkaisuja. (IGF-koodi, 9.6.1.)

### 3.6 Riskit

Nestemäinen maakaasu on lämpötilaltaan  $-163\text{ °C}$ , joka on vaarallista pelkästään koskettamalla paleltumien takia. Höyrystyeässään se muodostaa hapen kanssa syttyvän seoksen, jonka takia se on räjähdysaltis. Kaasun ja ilman seokselle on määritetty rajat, jolloin se on räjähdysherkkää. Lower explosive limit (LEL) tarkoittaa, että kaasua on ilmassa 5 %. Alle tämän seos on liian laiha palaakseen. Upper explosive limit (UEL) tarkoittaa, että ilmassa on kaasua enintään 17 %. Tästä ylemmäs seos on liian rikasta syttyäkseen. Kaasua ei näe eikä haista, joten sen tunnistamiseen vaaditaan kaasuantureita. (Wermac 2019)



Kuva 5. Lower explosive limit asteikolla. (Wermac 2019)

Kaasutiloissa on myös erittäin tarkat kulku- ja työskentelysäännöt sekä protokollat. Kaikki operaatiot pitää suunnitella hyvin ennen kaasutiloihin menemistä koska on aina mahdollista, että kaasua on vuotanut tilaan. Tätä varten jokaisella henkilöllä pitää olla henkilökohtainen kaasumittari, joka hälyttää mahdollisen kaasun läsnäolosta.

## 4 ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET

### 4.1 IGF-koodi

IGF-koodin tarkoituksena on esittää tarpeelliset vaatimukset koneiden, laitteiden ja laitteiden järjestelyn sekä asennuksen, ohjauksen ja valvonnan järjestelmissä, joissa käytetään matalan leimahduspisteen polttoaineita. Tällä minimoidaan miehistölle ja alukselle sekä ympäristölle aiheutuvat riskit. (IGF-koodi)

- Järjestys ja asettelu (Vaarallisten alueiden suunnittelu, polttoaineen määritelmät ja käsittely tiloissa).
- Suunnittelu, tuotanto, testaus ja asennus (säiliösuunnittelu, putkisuunnittelu ja venttiilien sallitut jännitykset ja paineet sekä paloturvallisuus ja ilmanvaihto).
- Ohjaus- ja valvontajärjestelmä (peruskäsitteet, syyt ja seuraukset järjestelmän turvallisesta käytöstä). (IGF-koodi)

### 4.2 IMO

International Maritime Organization (IMO) tarkoittaa kansainvälistä merenkulkujärjestöä, joka vastaa kansainvälisen merenkulun turvallisuudesta ja sen parantamisesta sekä alusten päästöjen ehkäisemisestä. Järjestö on mukana myös oikeudellisissa asioissa esimerkiksi vastuu- ja korvausasiat sekä kansainvälisen meriliikenteen helpottaminen. Järjestö perustettiin Genevessä 17. maaliskuuta vuonna 1948. (IMO 2021)

### 4.3 Luokituslaitokset

Luokituslaitos vastaa aluksen turvallisuudesta yhdessä tilaajan kanssa, mutta luokituslaitos on perehtynyt pelkästään aluksen turvallisuuteen eikä esimerkiksi

puutu sisustukseen. Käytännössä asiakas ostaa luokituslaitokselta turvallisuus-konsultointia, joka täyttää alukselle kaupalliset tarkoitetut määräykset esimerkiksi minne alus liputetaan ja missä se risteilee. Costa Toscanassa toimii luokituslaitos Registro Italiano Navale, joka tunnetaan lyhenteellä RINA.

Merkittäviä luokituslaitoksia ovat:

- Bureau Veritas (BV)
- Lloyd's Register (LR)
- Registro Italiano Navale (RINA)
- DNV (Det Norske Veritas)

#### 4.4 Standardit

Risteilijän rakentamiseen on olemassa monta eri standardia, joilla varmistetaan aluksen turvallinen rakentaminen ja käyttö. Taulukko 3 kertoo joitakin yleisimpiä standardeja, jotka liittyvät LNG-käyttöiseen laivaan.

Taulukko 3. LNG-aluksen standardeja.

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>IGC-koodi</b>             | The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk |
| <b>IGF-koodi</b>             | The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels               |
| <b>SFS-EN ISO 20519</b>      | LNG:n bunkraus ja siihen kuuluva laitteisto  |
| <b>SFS-EN ISO 16903</b>      | LNG:n ominaispiirteet ja kryogeeniset materiaalit  |
| <b>SFS-EN IEC 60079-10-1</b> | Alueiden luokitus - Räjähdyksivaaralliset kaasu ympäristöt   |
| <b>SFS-EN 60079-14</b>       | Sähköasennusten suunnittelu, asennus ja tarkastus räjähdysvaarallisiin tiloihin                    |
| <b>SFS-EN 60079-0</b>        | Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteiden yleisvaatimukset   |
| <b>ISO/TS 16901</b>          | LNG-laitosten riskianalyysi  |
| <b>SFS-EN 12308</b>          | LNG-putkistossa käytettävien laippojen soveltuvuustestaus  |

## 5 JÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

### 5.1 Ilmakompressorit

Järjestelmän ensimmäinen laite on ilmakompressor, joka tuottaa tarvittavan paineilman typpigeneraattorille. Kompressor syöttää ilmaa 825,6 m<sup>3</sup>/h ja 11 barin paineella. Molemmille typpigeneraattoreille on oma ilmakompressor.

kompressorilla on 3 erilaista toimintatilaa:

- Automaattinen käynnistys ja pysäytys typpisäiliön painekeytkimeltä.
- Etäkäynnistys IAMCS:n (Integrated Alarm, Monitoring and Control System) kautta ja pysäytys typpisäiliön painekeytkimeltä.
- Manuaalinen käynnistys ja pysäytys kompressorin paneelista.



Kuva 6. Ilmakompressor laivan keulassa.

## 5.2 Typpigeneraattorit

Typpigeneraattorin raaka-aineena toimii paineilma, joka saadaan typpigeneraattorille tarkoitettulta ilmakompressorilta tai laivan työilmajärjestelmästä. Kuivan ilman typpipitoisuus on noin 78 prosenttia ja happipitoisuus 21 prosenttia. Generaattorin sisällä on paineilmalle 3 erilaista suodatinta, jotka suodattavat kompressorilta tulevat isot ja pienet partikkelit sekä mahdollisen öljyn. (CGT 2021)

Käynnistyessään typpigeneraattori ensin kalibroii anturin, joka tarkastelee ilman happipitoisuutta ja alkaa sen jälkeen ajamaan ilmaa typpisäiliön ohi poistoilmastointiin. Ilmaa syötetään kolmitieventtiililtä ohi niin kauan kunnes happiraja 3,5 % on saavutettu ja kolmitieventtiili kääntyy automaattisesti auki säiliölle, jolloin typpi on riittävän puhdasta.

Taulukko 4. Typpigeneraattorin teknisiä tietoja.

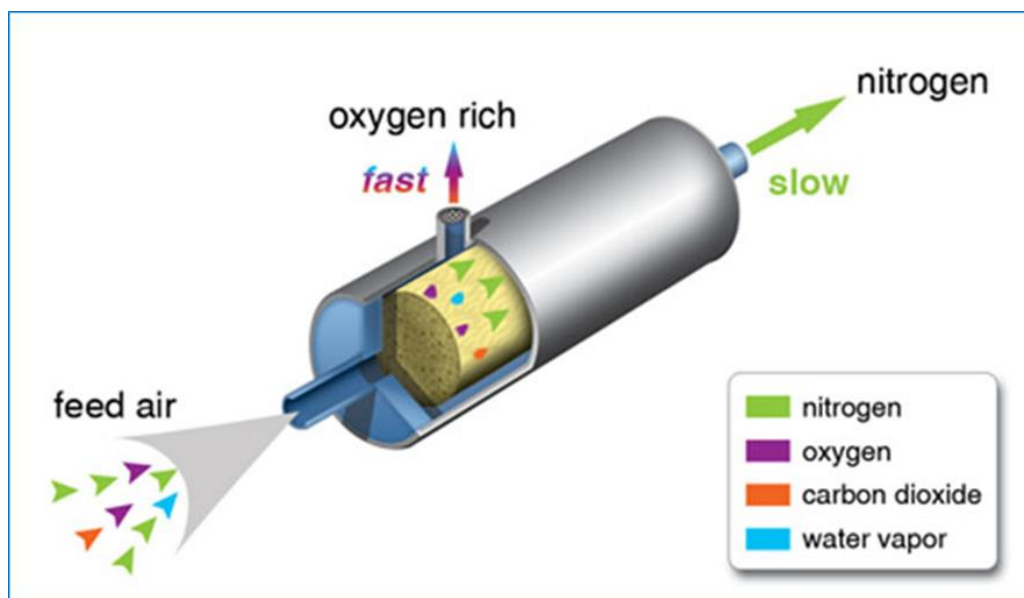
|                                   |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| <b>Suunniteltu typen virtaama</b> | 200 m <sup>3</sup> /h |
| <b>Typen puhtaus</b>              | 97 %                  |
| <b>Suunniteltu toimintapaine</b>  | 10-11 bar             |
| <b>Kastepiste</b>                 | -70 °C                |



Kuva 7. Typpigeneraattori, jonka yhteydessä ovat membraanisuodattimet.

### 5.2.1 Membraanit

Membraanit sijaitsevat typpigeneraattorissa ja ovat tärkeä komponentti typen erottamisessa ilmasta. Yhdessä membraanissa on miljoona pientä onttoa kuitua, jotka erittelevät hapen ja vesihöyryn pois paineilmasta membraanin sivusta ja ohjaavat ne poistoilmastoinnin kautta ulos. Typpi on kaasuna hitaampi kuin muut, joten se ei tunkeudu kuitujen läpi yhtä nopeasti kuin muut kaasut vaan poistuu alas pitkin kuitujen reikiä, josta se saadaan talteen. (PCI gases 2021)



Kuva 8. Membraanisuodattimen toimintaperiaate. (PCI gases 2021)

Alla olevassa kuvassa on esimerkki yhdestä membraanisuodattimesta, joka on halkaistu kahtia päästä. Tämä malli on pienempi mitä laivan typpigeneraattorissa käytetään, mutta tyyppi ja toimintaperiaate on sama. Yhdessä typpigeneraattorissa on yhteensä 14 membraanisuodatinta eli 28 kappaletta koko laivassa.



Kuva 9. Halkaistu membraani.

### 5.3 Happitunnistimet

Laivan eri riskialueita valvotaan happitunnistimien avulla, jotka tunnistavat happikaasujen lisäksi myös palavia ja myrkyllisiä kaasuja. Näiden antureiden etuna on lähettimen asennus jopa 30 metrin säteelle anturista, joka mahdollistaa anturin sijoittamisen vaikeammallekin paikalle, tai jos lähettimen on oltava eri tilassa kuin itse anturi. Käyttölämpötila -40 - +65 °C.



Kuva 10. Happitunnistin TCS-tilassa.

### 5.4 Kaasutunnistimet

Kaasutunnistimet ovat asennettu ideaaleille paikoille, joissa voidaan valvoa tilojen happi- ja kaasutasoja. Näitä valvotaan ECR:stä ja mahdollisten vuotojen sattuessa anturit aiheuttavat mahdollisia hälytyksiä, jotka suojaavat alusta.

Antureita käytetään myös tilojen typetyksessä IAMCS:n kautta, jotta tiedetään että happitasot ovat laskeneet riittävän alas.



Kuva 11. Infrapuna kaasutunnistin TCS-tilassa.

### 5.5 Aktuaattorit

Aktuaattorit ovat venttiilien toimielimiä eli ne ohjaavat venttiiliä auki tai kiinni. Inerttikaasujärjestelmän venttiilien aktuaattoreita ohjataan työilmalla. Aktuaattoreita käytetään myös esimerkiksi painesäädössä samalla kun virtausta säädetään, jotta saadaan ideaali virtaus-painesuhde.



Kuva 12. Typpilinjan venttiili, jossa on aktuaattori.

## 5.6 Varoventtiilit

Varoventtiilit ovat asennettu järjestelmään, jotta paine ei pääse kasvamaan liian korkeaksi. Tällä pyritään ehkäisemään järjestelmän hajoaminen sekä takaamaan sen jatkuva toiminta.

## 5.7 Typpisäiliöt

Ilmasta erotettu typpi varastoidaan typpisäiliöihin, josta se jaetaan eri kuluttajille LNG-järjestelmään. Säiliöt ovat tilavuudeltaan 7 m<sup>3</sup> ja niiden maksimipaine 10 baria. Molemmille typpigeneraattoreille on oma typpisäiliö. Säiliöiden paineen

laskiessa alle 8 barin lähtee typpigeneraattori tuottamaan lisätyppiä kunnes säiliöiden paine nousee takaisin 10 bariin. Molemmissa säiliöissä on varoventtiili, joka on asetettu 11 bariin.



Kuva 13. Typpisäiliö typpigeneraattorin takana.

## 6 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

Järjestelmän käyttöönotto on yksi hankalimmista vaiheista koko rakennusajalta. Käyttöönotto vaatii hyvän suunnitelman ja tarkan koordinaation sekä kommunikation eri osastojen välillä niin kuin myös laitetoimittajan puolelta, unohtamatta asiakasta ja luokituslaitosta. Tämä siksi, koska rakenteilla olevassa risteilijässä työskentelee useita työntekijöitä ja tyypeä pitää käsitellä varovasti, sillä suljetussa tilassa se on hengenvaarallinen.

### 6.1 Laiturikoe

Laiturikoe on suorituskykytesti, jossa järjestelmän toimivuus näytetään laivan tilaajalle ja luokituslaitos RINA:n edustajalle. Kokeessa on monta eri vaihetta, joilla osoitetaan järjestelmän oikeanlainen toiminta. Laivan keulan ja perän järjestelmien koe on samanlainen, koska järjestelmät ovat identtisiä. Hyväksytyt laiturikoe vaatii allekirjoitukset telakan edustajalta, luokituslaitokselta ja tilaajalta.

Vaiheet ovat seuraavanlaiset:

- Täytetään järjestelmä tyypellä.
- Mitataan kastepisteet säiliöiltä, GVU:lta, TCS2:sesta ja GHR1:sestä.
- Testataan hätäseis-painikkeiden toiminta.
- Tarkistetaan typen puhtaus ja virtaus molemmilta tyypigeneraattoreilta.
- Tarkistetaan ja tarvittaessa säädetään kompressoreiden käynnistys- ja pysäytyspaineet.
- Tarkistetaan kompressoreiden virrankulutus.
- Otetaan molemmilta tyypisäiliöiltä täyttymisaika.
- Katsotaan tilaajan valitsemien venttiilien toiminta.



Kuva 14. Kastepisteen mittaamista GVU:lta laiturikokeessa.

## 6.2 Kuivaus

Ennen LNG:n bunkraamista laivaan, pitää polttoaineputkistoista ja tankeista poistaa ilma sekä kosteus. Järjestelmässä oleva ilma on vaarallista sen happipitoisuuden takia, koska metaani ja happi muodostavat räjähtävän seoksen. Kosteus voi bunkrauksen yhteydessä jäättyä putkistoon ja aiheuttaa tukoksia. Kuivaus voidaan toteuttaa laivan omalla inerttikaasujärjestelmällä tai nestemäistä typpeä käyttäen laivan ulkopuolelta. Puhdistus nestemäisellä typellä on tehokkaampaa, koska höyrystimen kautta muutettu typpikaasu on lämpimämpää ja tuotto suurempaa verrattuna laivan omiin typpigeneraattoreihin.

Kuivaus aloitetaan syöttämällä nestemäistä typpeä höyrystimeen, jossa se muuttuu lämpimäksi typpikaasuksi. Lämmin typpikaasu ajetaan bunkkeriasemalta putkilinjoihin ja tankkeihin samalla päästään sitä vastakkaiselta bunkkeriasemalta ulos poistaen ilman ja kosteuden.

Kuivauksen tavoitteena on saada polttoaineputkistojen ja tankkien kastepiste  $-40$  °C, jolloin järjestelmässä olevat mahdolliset vesimolekyylit eivät voi enää yhdistyä toisiinsa.



Kuva 15. Tankki, josta saadaan nestemäistä typpeä kuivaukseen ja jäähdytykseen.

### 6.3 Jäähdytys

Kuivauksen jälkeen laivan putkistot ja tankit on esijäähdytettävä  $-130\text{ °C}$  ennen bunkrauksen aloittamista. Tämä tehdään, jotta nähdään putkistojen ja tankkien kylmyydenkesto sekä mahdolliset vuodot joita voi aiheutua kun järjestelmä altistetaan kryogeeniselle lämpötilalle.

Jäähdytys suoritetaan samalla nestemäisellä tyypellä jota käytetään kuivauksessa, mutta ilman höyrystintä jolloin tyyppi pysyy nestemäisenä. Nestemäinen tyyppi valutetaan hitaasti tankkeihin, jotta se höyrystyisi lopulta typpikaasuksi. Liian kovalla syötöllä tankkien pohjalle saattaa jäädä nestemäistä tyyppiä, joka voi aiheuttaa äkillisen lämpötilan laskun alle suunnittelulämpötilan  $-165\text{ °C}$ . Tankkien suositeltu jäähdytysnopeus on  $10\text{ °C/h}$  ja maksimissaan  $20\text{ °C/h}$ .

### 6.4 Järjestelmän huolto

Järjestelmää huoltaessa tulee aina tyhjentää putkilinjat ja komponentit paineesta. Linjoissa oleva typpikaasu voidaan tyhjentää laivan LNG-poistoilmastointiin joka johtaa typen ulkoilmaan.

Järjestelmän ilmakompressori ja typpigeneraattori vaativat ajoittaista suodattimien vaihtoa, jotta ne toimivat oikein ja kestävät pitkään. Ilmakompressorin ylläpitohuoltoon kuuluvat tuloilmansuodatin ja kompressoriöljyn vaihto. Oikeanlaisella huoltamisella voidaan kompressorin käyttöiäksi saada noin 20 vuotta.

Typpigeneraattorissa on 3 erilaista suodatinta tulevalle ilmalle, koska membraanit ovat erittäin herkkiä lialle ja kosteudelle. Nämä kaikki suodattimet on vaihdettava tietyin välein että membraanit kestävät niille suunnitellun käyttöiän eli käytännössä laivan eliniän.

## 7 VARAJÄRJESTELMÄN KEHITYS

Tilanteessa, jossa ei ole mahdollista käyttää typpigeneraattoreille tarkoitettuja ilmakompressoreita esimerkiksi laiterikon takia, käytetään ilmansyöttönä laivan työilmajärjestelmää. Työilmana on paineilmaverkko laivan konetiloissa ja kerroksissa.

Laivan työilmajärjestelmään kuuluu kaksi ilmakompressoria, jotka tuottavat paineilmaa omiin työilmasäiliöihin kuivainten kautta. Säiliöiden paine on noin 10 baria, joka alennetaan 7 bariin kun ilma syötetään verkostoon. Työilmaa käytetään laivassa erilaisten venttiilien ja laitteiden ohjaamiseen sekä paineilmatyökaluihin että paineilmapuhdistukseen.

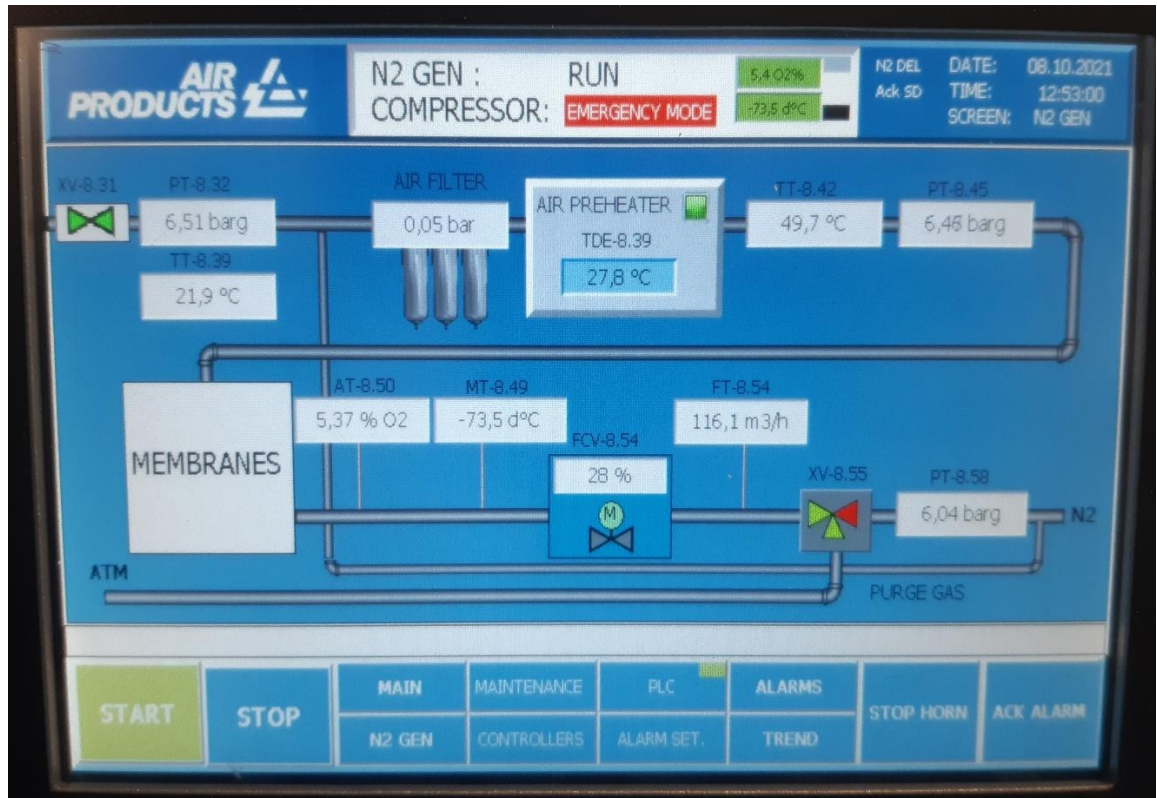
Työilman käyttäminen typpigeneraattoreissa on kuitenkin ongelmallista seuraavien asioiden johdosta:

- Työilman verkostonpaine on alennettu 7 bariin, joka on vähän verrattuna typpigeneraattoreiden normaaliin 11 barin paineeseen.
- Työilmajärjestelmästä lähtevät putkilinjat ovat pienempiä ja pidempiä kuin typpigeneraattorin omissa ilmakompressoreissa.
- Työilmakompressoreiden ilmantuotto on vähäisempää.

Heikko typen paine voi aiheuttaa esimerkiksi LNG-järjestelmän pysäyttämisen ESD-järjestelmän (Emergency Shutdown System) kautta, jos typpisäiliön paine laskee alle 6 barin. Tämä perustuu siihen, että tällä typpimäärällä voidaan vielä huuhdella LNG-järjestelmän putkistot ja laitteet puhtaaksi kaasusta, jotta järjestelmä saadaan turvalliseen kaasuttomaan tilaan. ESD tarkoittaa hätäpysäytysjärjestelmää, jonka aktivoituessa LNG-järjestelmän kaasunsyöttö keskeytyy ESD-venttiilien mennessä kiinni.

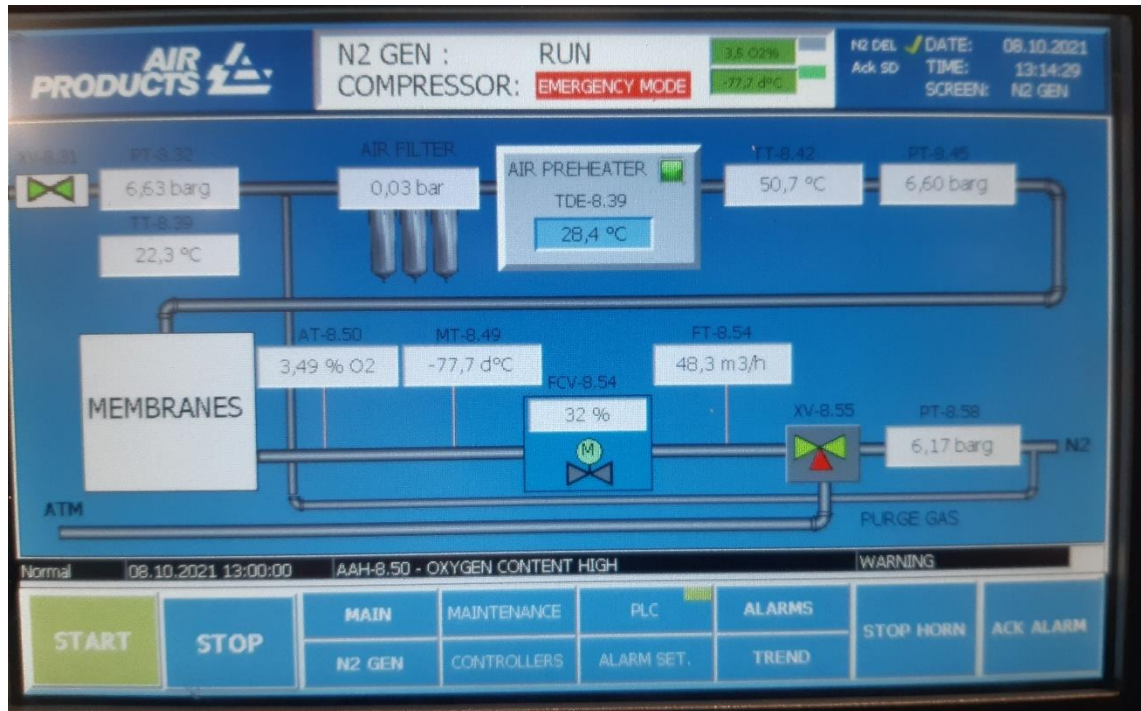
Varajärjestelmä otetaan käyttöön sulkemalla typpigeneraattorin oman ilmakompressorin syöttölinja ja avaamalla työilmajärjestelmässä oleva venttiili, josta lähtee putki suoraan typpigeneraattorille. Tämän jälkeen laitetaan typpigeneraattorista käsin hätätila päälle, jolloin ilma alkaa virtaamaan typpisäiliöltä ohi.

Järjestelmää käytettäessä hätätilassa työilman paine nousi vain hieman yli 6,5 bariin tilavuusvirran ollessa 116 m<sup>3</sup>/h. Tässä vaiheessa ilmaa ajettiin ohi säiliön, koska happitaso oli vielä 5,4 %. Työilma oli syötetty maista kompressoreiden huoltotöiden takia ja siksi verkoston paine ei saavuttanut ihan 7 baria.



Kuva 16. Typpigeneraattori hätämoodilla, jossa kolmitieventtiili on auki poistotilamastointiin.

Hätätilaa käytettäessä voidaan huomata kuinka typen tilavuusvirta on melkein puolet pienempi verrattuna normaaliin käyttötilanteeseen. Typpisäiliön täyttäminen kestää huomattavasti normaalia kauemmin, koska järjestelmän on vaikea tuottaa typpeä samaan tahtiin kun kulutus on suuri.



Kuva 17. Typpigeneraattori hätämoodilla, jossa kolmitieventtiili on auki typpisäiliölle.

Happitason laskiessa 3,5 % lukemaan vaihtaa kolmitieventtiili virtauksen typpisäiliölle. Tässä kohtaa voi huomata tilavuusvirran laskun 48 m<sup>3</sup>/h lukemaan, sillä typpisäiliön ja typpigeneraattorin paine-ero oli pieni. Normaalitylanteessa ilmakompressorit syöttää 11 barin paineella ilmaa typpigeneraattorille, jolloin paine-ero on suurempi ja näin ollen tuotto on noin 200 m<sup>3</sup>/h.

Työilmajärjestelmästä haarautuva linja inerttikaasujärjestelmälle voitaisiin toteuttaa ennen paineenalennusventtiilejä että saataisiin korkeampi paine typpigeneraattoreille. Samalla linjan kokoa voisi muuttaa isommaksi jolloin saadaan ilmapirta suuremmaksi ja painehäviöt pienemmiksi. Lisäksi voitaisiin harkita työilmakompressorien muuttamista suurempituottoisiksi.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä LNG-risteilijän inerttikaasujärjestelmä ja löytää kehitysideoita typpigeneraattoreiden ilmansyötön varajärjestelmään. Järjestelmä oli aluksi itselle täysin uusi, mutta tiedonhaku internetistä ja varsinkin kokemus työmaalta auttoivat hahmottamaan sen nopeasti. Työssä auttoi myös oma 6 vuoden kokemus laivanrakentamisesta.

LNG:n käyttö polttoaineena on toistaiseksi hyvä ratkaisu ilmaston kannalta, joten LNG-risteilijöitä tullaan rakentamaan tulevaisuudessa vielä monia. Inerttikaasujärjestelmä on LNG-laivan operoinnissa välttämätön, joten ilmansyötön varajärjestelmän toimiminen kunnolla on myös tärkeää vaikka onkin epätodennäköistä että molempien typpigeneraattoreiden ilmakompressorit olisivat samaan aikaan poissa käytöstä.

Varajärjestelmän kehitysideaksi saatiin työilman putkilinjojen haaroitus ennen paineenalennusventtiilejä sekä linjakoon suurentaminen. Putket voitaisiin haaroittaa heti työilmasäiliön jälkeen että saadaan korkeampipaineista ilmaa typpigeneraattoreille. Linjakoot voisi suurentaa painehäviöiden minimoimiseksi sekä ilmavirtauksen suurentamiseksi.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista ja opettavaa mutta valitettavasti itse kehitysideoita ei järjestelmään ehditty kokeilemaan. Työtä aloitettaessa laivan alueiden työilmaputkistot olivat jo valmiit, joten järjestelmän muokkaaminen sopivaksi olisi vaatinut työtä johon projektin aikataulu ei olisi riittänyt. Kehitysideoita oli tarkoitus testata merikokeella, mutta koronaviruksen takia laivan miehistö pidettiin minimissä mahdollisten tartuntojen ehkäisemiseksi. Kehitysideoita voidaan kuitenkin toteuttaa tulevissa laivaprojekteissa sillä inerttikaasujärjestelmä on periaatteessa samantyyppinen kaikissa laivoissa.

## LÄHTEET

Työterveyslaitos 2017. OVA-ohje: TYPPI. Viitattu 10.10.2021  
<https://www.ttl.fi/ova/typpi.html>

Meyer Turku 2021. Lähes 300 vuotta kokemusta ja perinteitä. Viitattu 18.10.2021  
[https://www.meyerturku.fi/fi/meyerturku\\_com/shipyard/company/company\\_history/company\\_history.jsp](https://www.meyerturku.fi/fi/meyerturku_com/shipyard/company/company_history/company_history.jsp)

CGT 2021. How Membrane Nitrogen Generators Work. Viitattu 1.12.2021  
<https://nitrogen-generators.com/nitrogen-generators-how-it-works/>

Meyer Turku 2021. Nestekaasun (LPG) ja nesteytetyn maakaasun (LNG) kuljetuskalusto. Viitattu 18.10.2021  
[https://www.meyerturku.fi/fi/meyer-turku\\_com/ships/gas\\_carriers/gas\\_carriers.jsp](https://www.meyerturku.fi/fi/meyer-turku_com/ships/gas_carriers/gas_carriers.jsp)

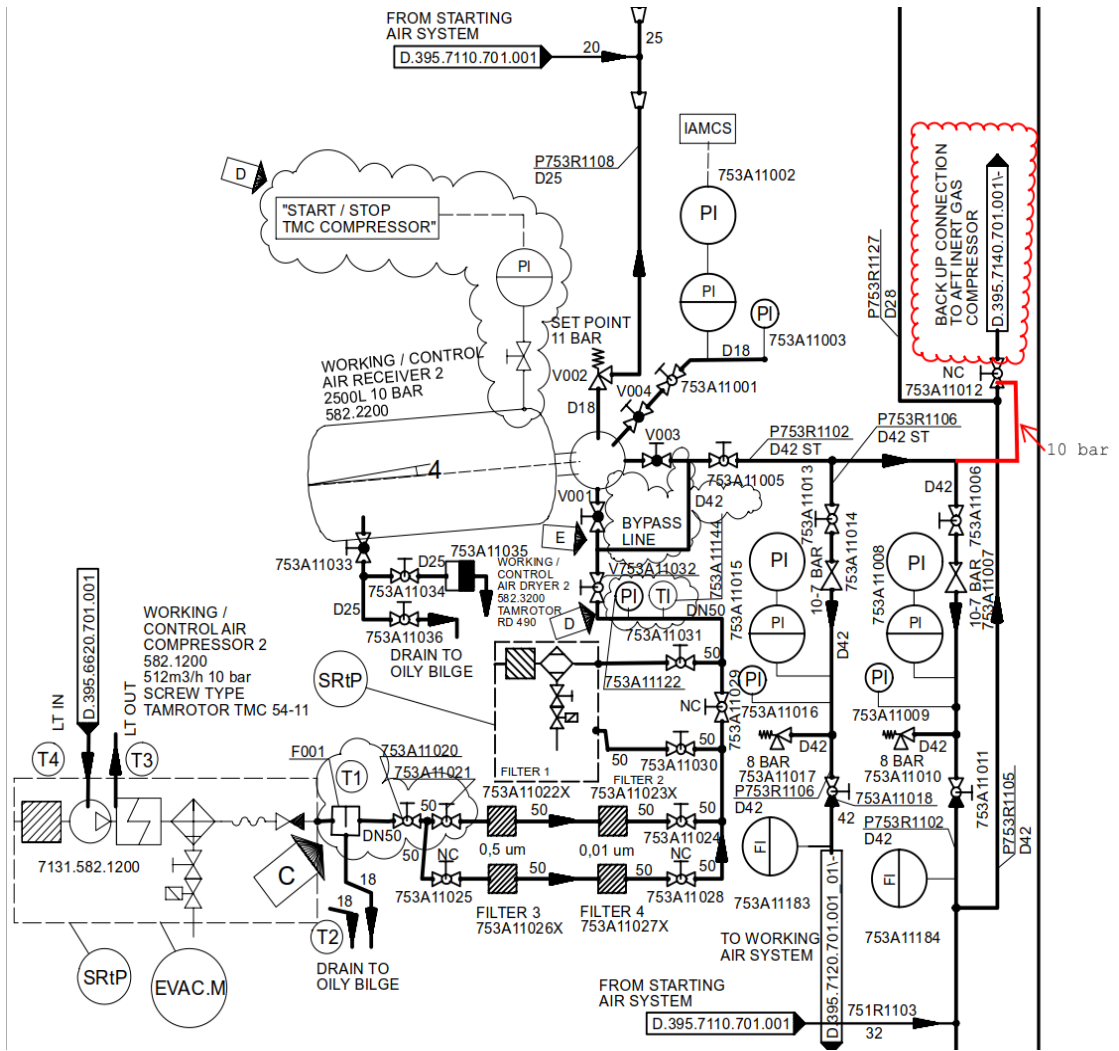
PCI gases 2021. Nitrogen Separation Membrane Technology. Viitattu 10.11.2021  
<https://www.pcigases.com/aerospace-and-defense/technology/membrane-technology/>

IGF code. International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels 2016. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, Lontoo. Viitattu 19.11.2021.

Wermac 2019. Lower and Upper Explosive Limits for Flammable Gases and Vapors. Viitattu 2.12.2021  
[https://www.wermac.org/safety/safety\\_what\\_is\\_lel\\_and\\_uel.html](https://www.wermac.org/safety/safety_what_is_lel_and_uel.html)

IMO. What exactly is IMO? Viitattu 1.12.2021. <https://www.imo.org/en/About/Pages/FAQs.aspx>

Liite 1. Työilmajärjestelmän muutos perässä (1)



Liite 2. Työilmajärjestelmän muutos keulassa (1)

