



TIMO HAKALA

LNG-järjestelmän käyttö ja ohjeistus

Käytännönläheinen ohjeistus M/T Haltin LNG-järjestelmään

MERENKULUN TUTKINTO-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Hakala, Timo: LNG-järjestelmän käyttö ja ohjeistus - Käytännönläheinen ohjeistus M/T Haltin LNG-järjestelmään
Opinnäytetyö, AMK
Merenkulun tutkinto-ohjelma, insinööri (AMK)
Toukokuu 2025
Sivumäärä: 47

Opinnäytetyön aiheena oli M/T Haltin LNG-järjestelmän toimintaohjeistus. Alukset, jotka käyttävät nesteytettyä maakaasua tai muita matalan leimahduspisteen polttoaineita ovat IMO:n (International Maritime Organization) IGF-koodin alaisuudessa. Näillä aluksilla on tietyt vaatimukset aluksen järjestelmän osalta. Opinnäytetyössä tarkastellaan mitä vaatimuksia IGF-koodin alaisuudessa olevilla aluksilla on, keskittyen LNG:tä käyttäviin aluksiin.

Työn tavoitteena oli kertoa nesteytetystä maakaasusta laivapolttoaineena ja järjestelmälle asetetuista vaatimuksia yleisesti. Yleisen katsauksen jälkeen esitellään M/T Haltin järjestelmä. Järjestelmän esittelyn jälkeen tutkittiin M/T Haltin järjestelmän toimintaa.

Tutkimuksen tuloksena syntynyt käytännönläheinen toimintaohjeistus on tehty vastaamaan M/T Haltin järjestelmää, joten toimintaohjeistusta ei sellaisenaan pysty käyttämään muissa aluksissa.

Avainsanat: Nesteytetty maakaasu, Merenkulku, LNG-järjestelmä

Abstract

Hakala, Timo: Operation and instructions of the LNG system - A Practical Guide to the LNG system of M/T Halti

Bachelor's thesis

Maritime Engineering, Bachelor of Maritime Management

May 2025

Number of pages: 47

The subject of the thesis was the operating instructions for the LNG system of the M/T Halti. Ships that use liquefied natural gas or other low-flashpoint fuels are subject to the IGO (International Maritime Organization) IGF code. These ships have certain requirements for the ship's system, which are reviewed in the thesis.

The aim of the thesis was to provide general information about liquefied natural gas as a marine fuel and the requirements set for the system. After a general overview, the system of the M/T Halti is presented. After the presentation of the system, the operation of the system of the M/T Halti was studied.

The practical operating instructions resulting from the study have been made to correspond to the system of the M/T Halti, so the operating instructions cannot be used as such on other ships.

Keywords: Liquefied natural gas, Shipping, LNG system

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUSKOHDDE	7
2.1 Tutkimusongelmat ja tavoitteet	8
3 LNG:N KÄYTTÖ LAIVAN POLTTOAINEENA	8
4 LNG-JÄRJESTELMÄN LAITTEISTO	9
4.1 LNG-järjestelmän toiminta	9
4.2 LNG tankit	10
4.2.1 A-tyyppin tankit	10
4.2.2 B-tyyppin tankit	10
4.2.3 C-tyyppin tankit	11
4.2.4 Kalvotankit	11
4.3 Polttoainekaasuputkisto ja ilmanvaihto	11
4.4 Höyrystimet ja polttoaineen lämmittimet	13
4.5 Konehuoneen luokittelu ja ilmalukot	14
4.6 Typpigeneraattori	17
4.7 Moottori ja kaasunkäyttöyksikkö	17
4.7.1 Dieselsytytteinen kaasumoottori	18
4.7.2 Kipinäsytytteinen kaasumoottori	20
4.8 Kaasunilmaisimet	21
5 HALTIN LNG JÄRJESTELMÄ	22
5.1 TGE Marine Gas Engineering	22
5.2 Wärtsilä kokonaisuus	23
5.3 Inertointi-kaasu generaattori	23
5.4 Typpi generaattori	24
6 TUTKIMUSOTE JA TUTKIMUSMENETELMÄ	25
6.1 Tutkimusote	26
6.2 Tutkimusmenetelmä	26
7 TUTKIMUS POLTTOAINEKAASUJÄRJESTELMÄN KÄYTÖSTÄ	27
7.1 Vesi-glykolijärjestelmän valmistelu ja tankin valinta	27
7.2 Polttoainekaasun syöttö pumpulla	28
7.3 Polttoainekaasun käyttö BoG:lla	28
7.4 LNG:n syöttö käyttäen tankin painetta	29
7.5 LNG-bunkrausoperaatio Ship to Ship	29
7.5.1 Valmistelut ennen bunkrausoperaatio	29
7.5.2 Valmistelut kiinnityksen jälkeen	30

7.5.3 LNG-bunkrausoperaatio	30
7.5.4 Toimenpiteet bunkrauksen jälkeen	31
8 TUTKIMUKSEN KESKEISET LÖYDÖKSET.....	32
8.1 Tutkimuksen luotettavuus ja mahdollinen jatkotutkimus	32
8.2 Tutkimuksen eettiset näkökohdat	32
LÄHTEET	34
LIITE 1: POLTTOAINEKAASUN SYÖTTÖJÄRJESTELMÄN OPEROINTI TARKASTUSLISTA	36
LIITE 2: ALUSKOHTAINEN LNG BUNKKERIOPERAATION TARKASTUSLISTA	38
LIITE 3: M/T HALTIN LNG BUNKRAUSOPERAATION OHJEISTUS.....	41

LYHENNE- JA TERMILUETTELO

BoG	Boil of Gas = LNG:stä höyrystynyt kaasu
BMEP	Break Mean Effective Pressure
Bunkkeri	Aluksen polttoaine
Bunkraus	Aluksen polttoaine täydennys
DF	Dual-Fuel
ESD	Emergency Shutdown
EX	Räjähdyksivaarallinen
GVU	Gas Valve Unit = Kaasu venttiili yksikkö
IAPH	International Association of Ports and Harbors
HFO	Heavy Fuel Oil
IGF	International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels
IMO	International Maritime Organization
JPBO	Joint Plan of Bunker Operation
LEL	Lower Explosion Limit
LT	Low Temperature, viileämpi moottorin jäähdytysvesi
MDO	Marine Diesel Oil
NO_x	Typpioksidit
SG	spark ignited gas engine, suunniteltu puhtaaksi kaasu moottoriksi
TCS	Tank Connection Space
YK	Yhdistyneet kansakunnat
WG	Water Glycol = Vesi-Glykoliseos
η_e	Tehokkuus

1 JOHDANTO

Alukset, jotka käyttävät LNG:tä polttoaineenaan tarvitsevat järjestelmäkokoisuuden polttoaineen turvalliseen käyttöön. IMO (International Maritime Organization) on asettanut yleisiä vähimmäisvaatimuksia laitteistoille, ja niiden sijoitukselle IGF-koodissa. Alukset, jotka käyttävät matalan leimahduspisteen polttoaineita ovat IGF-koodin alaisuudessa ja LNG:tä käyttävät alukset lukeutuvat näihin aluksiin. IMO:n IGF-koodin lisäksi IAPH (International Association of Ports and Harbors) on kehittänyt dokumentin koskien LNG:n siirto-operaatioita. Dokumenttien tarkoituksena on parantaa yleistä turvallisuutta, sekä toimia työkaluna aluksien henkilöstölle. IAPH:n kehittämän dokumentin lisäksi jokaisella laitevalmistajalla on omat dokumenttinsa laitteiden ja järjestelmien käyttöön, sekä operointiin. (IAPH, n.d.; IGF code, 2015.)

Kaikkien dokumenttien päivittäinen käyttäminen alkuperäisessä muodossa on miehistöä työllistävää. Liian pitkien ja itseään toistavien tarkastuslistojen käyttö johtaa tilanteeseen, missä tarkastuslistoja ei käytetä oikein tai laisinkaan. Tästä syystä opinnäytetyö tutkii M/T Haltin LNG-järjestelmän käyttö- ja operatiodokumentteja.

2 TUTKIMUSKOHDE

Opinnäytetyön tutkimuskohteena on M/T Haltin LNG-järjestelmä, jolloin opinnäytetyön tuloksena saatava tuotos ei käsittele kohtia, jotka eivät liity aluksen LNG-järjestelmään tai sen käyttöön. Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä OSM Ship Management Finlandin Oy:n kanssa, joka on M/T Haltin hoitovarustamo. Yrityksellä on kymmenen aluksen kokoinen laivasto Suomen lipun alla, ja se koostuu kahdesta Aframax kokoluokan aluksesta (80 000–120 000 tonnin

kantavuus), neljästä tuote-/kemikaalialuksesta, kolmesta hinaajasta sekä yhdestä proomusta. OSM Ship Management Finland Oy on osa OSM Thome-konsernia, joka on maailmanlaajuinen laivanhallintayhtiö, ja sillä on noin tuhat alusta laivastossaan. Alustyytit vaihtelevat tankkereista kuivarahtialuksiin, sekä offshore-aluksista risteilyaluksiin. (OSM Ship Management Finland Oy, n.d.; OSM Thome, n.d.)

2.1 Tutkimusongelmat ja tavoitteet

Lukuun 7 on kerätty ja analysoitu aineisto, joka koskee M/T Haltin LNG-järjestelmää sekä sen käyttöä. Analyysin perusteella on muodostettu kolme käytännönläheistä kokonaisuutta M/T Haltin LNG-järjestelmää koskeviin operaatioihin. Kokonaisuuksien tarkoituksena on helpottaa laivahenkilöstöä aluksen LNG-järjestelmän operoinnissa ja toimia muistilistana järjestelmää operoidessa. Opinnäytetyön tutkimuskysymykset olivat: Miten LNG-järjestelmä toimii? Millainen on M/T Haltin LNG-järjestelmä kokonaisuus? Kuinka operoida aluksen LNG-järjestelmää? Miten suorittaa LNG:n bunkraus operaatioon M/T Haltilla?

3 LNG:N KÄYTTÖ LAIVAN POLTTOAINEENA

LNG:n käyttö laivan polttoaineena on kasvattanut suosiotaan huomattavasti vuodesta 2010. Tämän suosion kasvu näkyy LNG:tä polttoaineenaan käyttävien alusten määrän kasvussa. LNG-käyttöisten alusten määrä on kasvanut tasaisesti 20 – 40 % vuosittain 2010 jälkeen (Ghelani, 2023). Tälle kehitykselle on useita syitä, joista merkittävin on IMO:n sitoutuminen YK:n tavoitteisiin vähentää kasvihuonepäästöjä ja hidastaa ilmaston muutosta sekä siten maapallon lämpenemistä (IMO, n.d.).

Kiristyvien päästövaatimusten myötä LNG:stä on tullut houkutteleva vaihtoehto perinteisille merenkulun polttoaineille, kuten MDO:lle ja HFO:lle.

Verrattaessa LNG:tä perinteisiin laivapolttoaineisiin voidaan havaita LNG:n päästövähennyspotentiaali. LNG:n käytön sekä teknisten ja operatiivisten parannusten avulla on mahdollista saavuttaa IMO:n 2030 hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoite. Käytettäessä LNG:tä modernin moottoritekniikan kanssa kasvihuonepäästöt voivat olla jopa 23 % pienemmät verrattuna HFO:hon. Tyypin oksidien päästöt LNG:tä käytettäessä laskevat jopa 80 %. Hiukkas- ja rikkipäästöt pystytään melkein kokonaan poistamaan käyttämällä LNG:tä HFO:n sijasta. (American Bureau of Shipping, 2022, s. 1; DNV, n.d.)

4 LNG-JÄRJESTELMÄN LAITTEISTO

Laivan LNG-polttoainejärjestelmä on kokonaisuus, joka tarvitsee monia erilaisia laitteita toimiakseen. Tämä kokonaisuus mahdollistaa LNG:n turvallisen varastoinnin, käsittelyn ja käytön laivan polttoaineena sekä propulsiovoiman tuottamisen. Propulsio voidaan toteuttaa joko mekaanisesti tai sähköisesti, jolloin moottoreilla tuotettu sähkö muunnetaan propulsioksi sähkömoottoreilla. (IGF code, 2015; TGE, 2019; Wärtsilä, n.d.)

IGF-koodi asettaa useita vaatimuksia laitteistolle ja niiden sijoitukselle aluksessa, jotta varmistetaan mahdollisimman turvallinen toiminta ja työskentely ympäristö LNG-aluksille. Tämän työn tarkoituksena ei kuitenkaan ole kerätä kaikkia vaatimuksia IGF-koodista, vaan tuoda esiin keskeisimmät vaatimukset laitteiston osalta sekä kertoa yleisesti laitteiden tehtävät järjestelmässä. (IGF code, 2015.)

4.1 LNG-järjestelmän toiminta

LNG:tä käytettäessä polttoaineena kaasu on nimensä mukaisesti nestemäisessä olomuodossa tankissa. Nesteytetyn maakaasun lämpötila on -162°C normaalissa ilmanpaineessa (ENERGY TRANSFER, n.d.). Käytettäessä LNG:tä polttoaineena, on olomuoto käytettäessä muutettava kaasumaiseen

olomuotoon. Olomuodonmuutos toteutetaan LNG-höyrystimellä. Höyrystämisen jälkeen kaasu johdetaan putkiston kautta kaasun lämmittimelle, jossa kaasun lämpötila nostetaan käyttölämpötilaan. Lämmityksen jälkeen kaasu johdetaan kaasun käyttäjien Gas Valve Unit:lle (GVU). Lopuksi käyttäjä hyödyntää kaasun voimanlähteenään. (TGE, 2019, Luku 2.)

4.2 LNG tankit

IGF-koodissa LNG-tankit ovat jaettu kolmeen (3) erilaiseen itsestään seisovaan tankkityyppiin ja kalvotankkiin, joka on tuettava laivan runkoon. Tankkityyppien välillä on eroja kaksoisseinämän osalta, ja jokaiselle tankkityypille on asetettu omat rakenteelliset vaatimuksensa. Näiden erojen lisäksi IGF-koodissa on määritetty, että tankkien ja rungon väliin on asetettava tarpeen mukaan eristettä suojaamaan laivan runkoa LNG:n kylmältä sekä estämään lämmön siirtymistä tankkeihin. (IGF code, 2015, Luku 6.)

4.2.1 A-tyyppin tankit

A-tyyppin tankki on itsestään seisova LNG-tankki, joka on ensisijaisesti suunniteltu perinteisillä laivanrakennuksessa käytettävillä rungon rakenneanalyysijä käyttämällä, sekä laskemalla tankkiin kohdistuvat stressit. IGF-koodissa on asetettu, että A-tyyppin tankit on varustettava kaksoisseinämällä, joka kattaa koko tankin. Näiden tankkien rakentamisessa ensisijaisesti on käytetty suoria tasopintoja, minkä vuoksi suunniteltu kaasun paine on oltava alle 0,7 bar. (IGF code, 2015, Luku 6.4.15.1.)

4.2.2 B-tyyppin tankit

B-tyyppin tankkien suunnitteluprosessissa on käytetty mallinnusta ja mallikoikeita, sekä edistyneitä analyysimenetelmiä, joissa määritetään tankin rakenteeseen kohdistuvat stressitasot, materiaalin väsyminen ja murtumien etene-
misen ominaispiirteet. B-tyyppin tankin kaasun paine on oltava pienempi kuin 0,7 bar. B-tyyppin tankit on varustettava osittaisella kaksoisseinämällä sekä

pienen kaasuvuodon havainnointi järjestelmällä IGF-koodin kohdan 6.4.5 mukaisesti. (IGF code, 2015, Luku 6.4.15.2.)

4.2.3 C-tyyppin tankit

C-tyyppin tankit on suunniteltu käyttämällä paineastioiden suunnittelukriteerejä. Nämä kriteerit sisältävät murtumismekaniikan ja halkeaman etenemisen kriteerit. Pienin suunniteltu käyttöpaine on laskettu kaavan avulla, joka löytyy IGF-koodin kohdasta 6.4.15.3.1.12. Pienimmän suunnitellun käyttöpaineen tarkoituksena on varmistaa dynaamisten rasitusten pysyvän tarpeeksi pieninä, jotta materiaalin alkuperäisten pinnan virheiden leviäminen jää alle puoleen materiaalin vahvuudesta tankin käyttöänsä aikana. C-tyyppin tankeilta ei vaadita kaksoiseinämää IGF-koodin 6.4.3 mukaisesti. (IGF code, 2015, Luku 6.4.15.3.)

4.2.4 Kalvotankit

Kalvotankit ovat nimensä mukaisesti kalvosta muodostettu neste- ja kaasutiivis tankki, mikä on tuettu eristyksen läpi ympäröivään runko rakenteeseen (IGF code, 2015, kohta 2.2.31). Suunnittelun perustana on kompensoida lämpölaajenemisen sekä muiden laajenemiseen tai supistumiseen liittyviä ilmiöitä, jotta kalvon tiiveys ei vaarannu. IGF-koodin mukaisesti kalvotankit on varustettava kaksoiseinämällä. Kalvotankeille suunniteltu paine täytyy olla alle 0,25 bar. Suunniteltu käyttöpainetta voidaan kuitenkin nostaa 0,7 bariin, mikäli rungon vahvuutta on vahvistettu tarpeeksi ja lämpöeristyksen lujuus sen sallii. (IGF code, 2015, Luku 6.4.15.4.)

4.3 Polttoainekaasuputkisto ja ilmanvaihto

IGF-koodi asettaa vaatimuksia polttoainekaasuputkistolle. Rakentaessa putkistoa on se suunniteltava siten, että estetään ylimääräisten kuormitusten kohdistuminen putkistoon lämpölaajenemisen, tankkien tai rungon liikkeiden vaikutuksesta. Putkisto on myös suojattava mekaanisilta vaurioilta IGF-koodin

kohdan 5.2.4 mukaisesti (2015). Putkiston kylmät osat on eristettävä viereisestä rungosta siellä, missä se on tarpeellista, estäen rungon materiaalin lämpötilan laskemisen alle suunnitellun käyttölämpötilan. Samalla eristyksen on estettävä ilmankosteuden jäätyminen putkiston ympärille. Eristetyt putkiston osat on maadoitettava asianmukaisesti estäen staattisen jännitteen muodostumisen. Maadoitus ja eristys koskee myös LNG-tankkeja. Putkiston minimisuunnittelupaine on oltava 10 bar, poikkeuksena putket, joiden toinen pää on avoin. Näiden putkien minimisuunnittelupaine on oltava vähintään 5 bar. (IGF code, 2015, Luku 7.2–7.3.)

Polttoainekaasun putkisto on suunniteltava ja rakennettava niin, että polttoaineen vuodoista aiheutuvat seuraukset ovat minimaaliset. Tämä tarkoittaa, että putkiston yhden seinämän rikkoutumisesta muodostuva kaasuvuoto ympäröivään tilaan ei aiheuta vaaraa ihmisille, ilmastolle tai alukselle. Kaikille kaasun kuluttajille meneviin syöttölinjoihin on asennettava pääsulkuventtiili. Pääsulkuventtiili toteutus voidaan tehdä asentamalla sarjaan manuaalinen ja automaattinen sulkuventtiili tai yksi pääsulkuventtiiliin, mitä voidaan operoida käsin, että etänä. Pääsulkuventtiilin sijoituksen tulee olla konetilojen ulkopuolella, joissa on kaasun käyttäjiä. Venttiilien sijoitus kuitenkin on oltava mahdollisimman lähellä kaasun höyrystintä. Pääkaasuventtiiliin on automaattisesti sulkeuduttava, kun turvajärjestelmät aktivoituvat IGF-koodin kohdan 15.2.2 mukaisesti. (IGF code, 2015, Luku 9.2–9.4.)

Polttoainekaasuputkiston ympärillä oleva tuplaputkisto ja kanavat on varustettava tehokkaalla mekaanisella ilmanvaihtojärjestelmällä. Ilmanvaihtojärjestelmän polttoaineputkiston ympäröivässä kanavassa on oltava vähintään 30 ilmanvaihtoa tunnissa, ja sen tulee olla erillinen järjestelmä muusta ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmanvaihtomäärä voi olla alle 30 kertaa tunnissa, jos taattu ilmavirtaus on vähintään 3 m/s. Ilman nopeus lasketaan, kun kanavaan on asennettu polttoaineputkisto ja muut toimintaan tarvittavat komponentit. (IGF code, 2015, Luku 13.8.)

Ilmanvaihdolle on asetettu yleisesti samat vaatimukset, kuin polttoainekaasuputkiston tuplaputkistolle. Näitä tiloja ovat esimerkiksi TCS (Tank Connection

Space); bunkrausasemien sisätilat; ESD-suojattu konehuone sekä polttoaineen valmistelutilat. Polttoaineen valmistelutilojen ilmanvaihdon on oltava alipaineinen ja käynnissä, kun pumput tai kompressorit ovat päällä. Ilmanvaihtokoneiston tuulettimien moottorien on oltava EX-tiloihin luokiteltuja laitteita, mikäli ne ovat sijoitettu kaasuvaaralliselle alueelle. Tuulettimet eivät saa aiheuttaa kipinäintiä EX-tiloihin tai ilmanvaihtokanaviin. (IGF code, 2015, Luku 13.3–13.7.)

4.4 Höyrystimet ja polttoaineen lämmittimet

LNG:tä käytettäessä polttoaineena, on sen olomuoto muutettava tankin nestemäisestä olomuodosta kaasuksi, jotta sitä voidaan käyttää polttoaineena. Tämä olomuodon muutos toteutetaan höyrystimen avulla. Höyrystin on yksinkertaisimmillaan lämmönvaihdin, johon nesteytetty kaasu johdetaan ja otetaan ulos kaasuna. Markkinoilla on monenlaisia vaihtoehtoja eri laitoksien tarpeisiin. Kuitenkin pääperiaate kaikissa höyrystimissä on sama toimintaperiaate, lämmönlähde vain vaihtelee eri höyrystimien välillä. Erilaisia höyrystintyyppisiä ovat esimerkiksi Cryonormin valmistamat mallit ja alla on listattu vaihtoehtoisia höyrystimiä, joita käytetään eri sovelluksissa ja tarpeissa (Cryonorm, n.d.)

- Ulkoilman lämpötilaa hyödyntävä höyrystin
- Höyryllä toimiva höyrystin
- Vedelle toimiva höyrystin
- Sähköllä toimiva höyrystin
- Polttoaineella toimiva höyrystin

Edellä mainituista vaihtoehtoista laivaympäristössä, yleisin on vesikiertoinen höyrystin. Vesikiertoista höyrystintä käytettäessä voidaan käyttää joko merivettä tai glykolivettä toimimaan väliaineena höyrystimessä. Glykolivesi on näistä vaihtoehtoista yleisempi. Huomioiden LNG:n matala lämpötila, on veden sekoitettava glykolia jäätyksen estämiseksi kiertovesipumpun mahdollisen pysähtymisen varalta. Glykolivesi lämmitetään käyttämällä

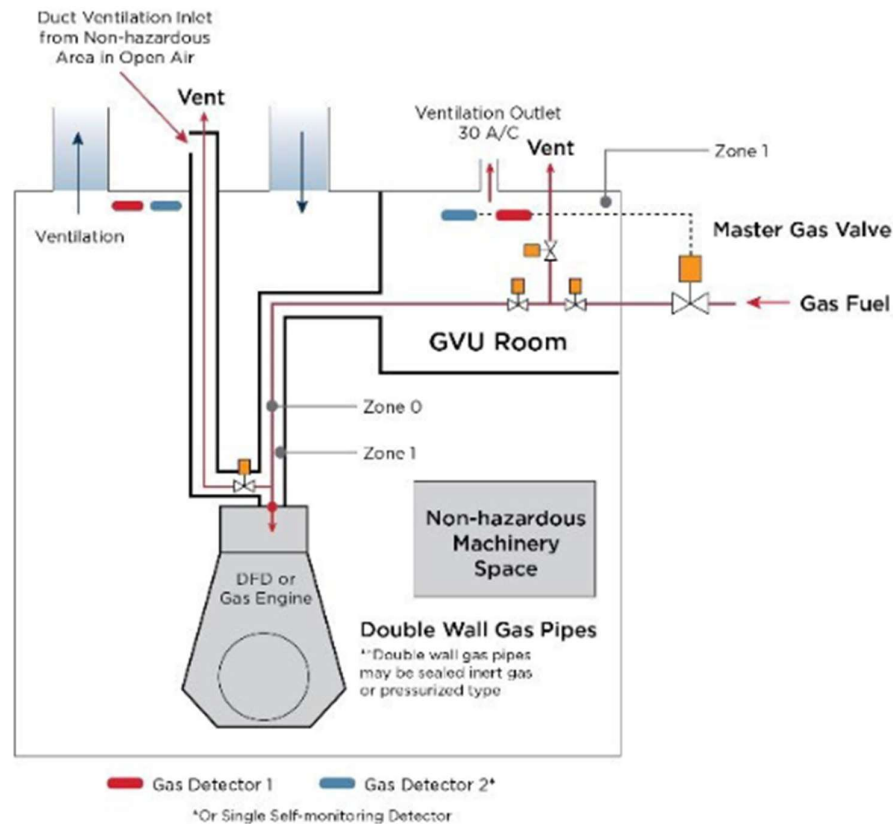
lämmönvaihdinta, jossa kiertää glykoliveden lisäksi moottorin tai moottorien LT-jäähdytysvesi. (Cryonorm, n.d.; TGE, 2019, Luku 2.5.)

LNG:n höyryttämisen jälkeen kaasu on edelleen liian kylmää käytettäväksi sellaisenaan käyttäjillä. Tämän vuoksi kaasun lämpötilaa on nostettava käyttölämpötilaan lämmittimen avulla. Kaasun lämmitin itsessään on myös lämmönvaihdin. Laivalla lämmönvaihdin voi usein olla vesiglykoli-lämmönvaihdin, jossa kiertää saman glykolivesi, joka kiertää höyryttimessä. (TGE, 2019, Luku 2.2.3.)

4.5 Konehuoneen luokittelu ja ilmalukot

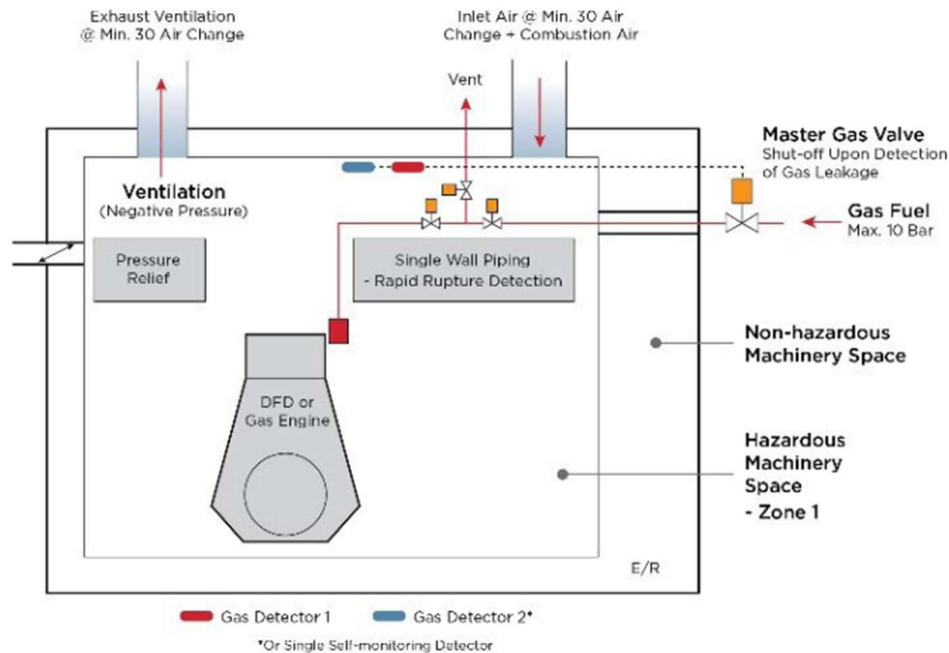
Kaasua polttoaineenaan käyttävän aluksen konehuoneen on noudatettava kahdesta vaihtoehdosta toista konehuonekonseptia kaasuräjähdyksen välttämiseksi. IGF-koodissa hyväksytyt konehuonekonseptit ovat täysin kaasuvapaa konetila ja Emergency Shutdown suojattu konetila (ESD-suojattu). (IGF code, 2015, Luku 5.4.1.)

Kaasuvapaassa konetilassa laitejärjestelyt ovat oltava sellaiset, että tila voidaan katsoa olevan polttoainekaasusta vapaa kaikissa olosuhteissa. Tämä tarkoittaa, että yksittäinen järjestelmän vikaantuminen ei saa aiheuttaa polttoainekaasun vapautumista konehuoneeseen. Näin ollen polttoainekaasuputkisto on sijoitettava kaasutiiviiseen kaksoisputkistoon ja koteloon, kuten kuvassa 1 havainnollistetaan. (IGF code, 2015, Luku 5.4.1.1; 5.5.)



Kuva 1. Kaasuturvallinen konehuone konsepti (American Bureau of Shipping, 2022, s. 5, kuvio 2).

ESD-suojattu konehuone on kaasuturvallinen normaaleissa olosuhteissa. Onnettomuustilanteessa on kuitenkin mahdollista, että ensimmäinenkin vaurio järjestelmässä päästää kaasua konehuoneeseen tehden tilasta kaasuvaarallisen. Polttoainekaasupitoisuuden havaitsemisen jälkeen laukeaa ESD-järjestelmä. ESD:n laukeamisen seurauksena sammuvat konehuoneessa kaikki laitteet, jotka eivät ole EX-luokiteltuja ja kykenevät toimimaan syttymislähteitä kaasulle. Pahimman teknisen vian varalle, kuten kaasuputken repeytyminen, konehuone on varustettu räjähdysluukuilla ja muilla ESD järjestelyillä. Yksi näistä järjestelyistä on konehuoneen tuuletus, joka on mitoitettava pahimman mahdollisen onnettomuuden varalta, jotta kaasupitoisuus saadaan turvalliselle tasolle ja estetään räjähdysvaara. Kuvassa 2 havainnollistetaan ESD-suojatun konehuoneen järjestelyä. (IGF code, 2015, Luku 5.4.1.2.)



Kuva 2. ESD-suojattu konehuone konsepti (American Bureau of Shipping, 2022, s. 5, kuvio 3)

IGF-koodissa on määritetty, että suora pääsy kaasuturvalliselta alueelta kaasuvaaralliselle alueelle ei ole sallittu. Mikäli laivan järjestelmän operointi vaatii suoran kulkuyhteyden kaasuturvallisesta tilasta kaasuvaaralliseen tilaan, on tilojen välinen kulkuyhteys varustettava ilmalukolla, joka noudattaa IGF-koodin 5.12 kohdan vaatimuksia. Tämä tarkoittaa, että kulku ESD-suojattuun konehuoneeseen on suoritettava ilmalukon läpi laivan sisätiloissa. Ilmalukkoa ei kuitenkaan tarvita, mikäli kulku ESD-suojattuun tilaan on avoimelta kannelta. Ilmalukko on suunniteltava siten, että kaasun pääsy kaasuvapaaseen tilaa estetään. Tämä toteutetaan mekaanisella tuuletuksella, joka ylipaineistaa ilmalukon kaasuvaarallista tilaa kohti. Ilmalukko on myös varustettava valo- ja äänimerkillä ilmalukon molemmille puolille. Hälytys aktivoituu, mikäli ilmalukossa on enemmän kuin yksi ovi samanaikaisesti auki. (IGF code, 2015, Luku 5.11-5.12.)

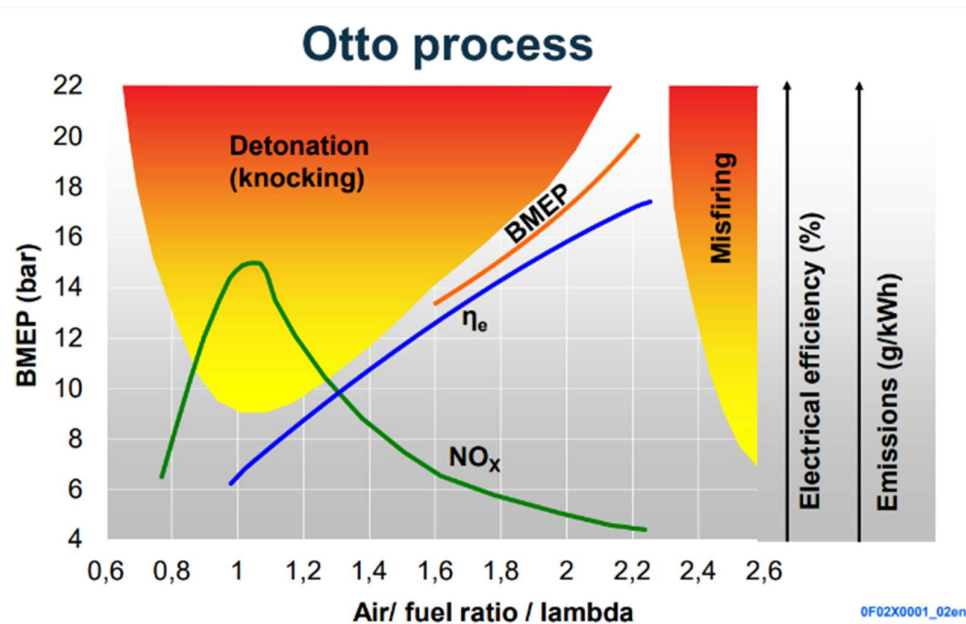
4.6 Typpigeneraattori

Typpigeneraattori on laitteisto, joka ympäröivästä ilmasta tuottaa puhdasta typpeä käytettäväksi eri tarkoituksiin. Typpigeneraattorille ja sen oheislaitteille on asetettu vähimmäisvaatimuksia IGF-koodissa. Järjestelmän on kyettävä tuottamaan typpikaasua, jonka happipitoisuus on enintään 5 %. Typpigeneraattori ja typen varastosäiliö on sijoitettava konehuoneen ulkopuolelle, ja tilalla on oltava oma ilmanvaihtojärjestelmä. (IGF code, 2015, kohta 6.14). Typpeä käytetään LNG-järjestelmässä inerttinä kaasuna. Typen ollessa inertti kaasu, sitä voidaan turvallisesti käyttää polttoainekaasuputkien tyhjentämiseen sekä LNG-järjestelmän paineilmaventtiilien ohjaamiseen ilman pelkoa siitä, että syntyisi kaasun syttymiselle ihanteellinen atmosfääri. Tarvittaessa typellä pystytään alentamaan happipitoisuutta suljetuista tiloista. (Compressed Gas Technologies INC., n.d.; TGE, 2019, Luku 3.6.2.)

4.7 Moottori ja kaasunkäyttöyksikkö

Laivalla kaasua käyttäviä laitteita voivat olla kattilat, suojakaasugeneraattorit ja moottorit. Kattiloiden ja suojakaasugeneraattorin osalta, kaasun käyttö on vain sen polttamista. Kattiloiden kohdalla tarkoituksena on tuottaa lämpöä höyryn tuottamiseen ja suojakaasugeneraattori tuottaa hiilidioksidia polttamalla maakaasua. (Alfa laval; Maritime Protection AS, 2019a; Wärtsilä, n.d.)

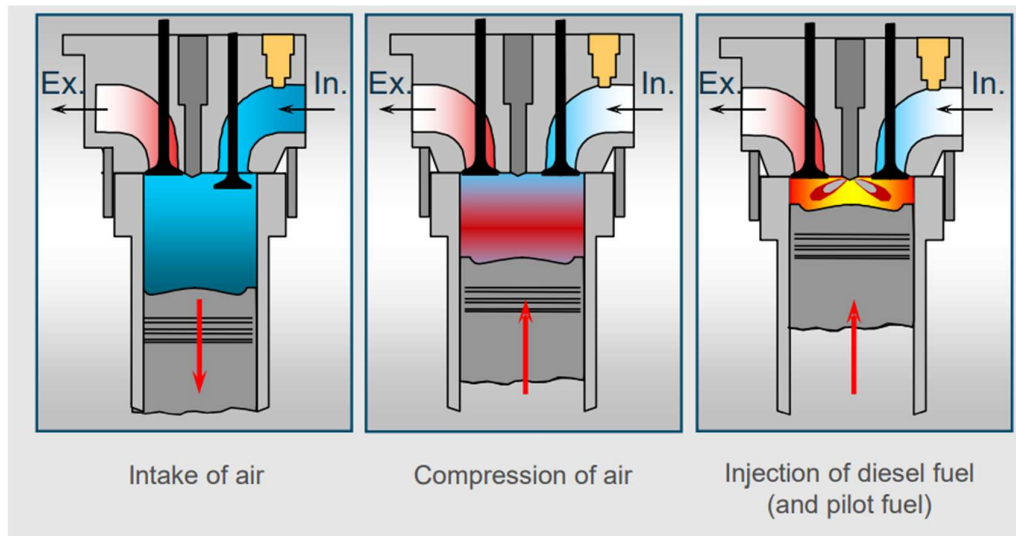
Moottorien osalta kaasun käyttö polttoaineena on monimutkaisempaa erilaisien ratkaisujen vuoksi. Tässä työssä keskitytään kuitenkin laivakäytössä oleviin polttomoottoreihin. Wärtsilän SG- ja DF-moottorit toimivat stoikiometrisesti laihalla seoksella. Laiha stoikiometrinen seos tarkoittaa, että palamisreaksi-
onessa on enemmän ilmaa kuin optimi palaminen tarvitsisi. Laihalla polttoaineseoksella saadaan nostettua 35 % sylinterin tehollista keskipainetta, mikä parantaa hyötysuhdetta ja vähentää NO_x-päästöjä, kuten kuvassa 4 on nähtävissä. (Wärtsilä, n.d.a, s. 4.)



Kuva 4. Polttoaineseoksen ja BMEP vaikutus päästöihin ja tehokkuuteen. (Wärtsilä, n.d.a, s. 2.)

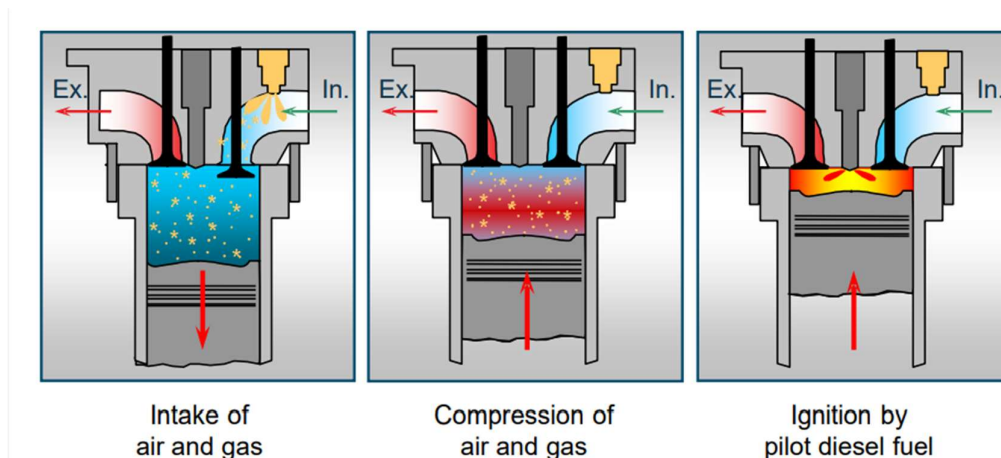
4.7.1 Dieselsyttyinen kaasumoottori

Dieselsyttyisen kaasumoottorin kaasun syöttö voi olla korkeapaineinen tai matalapaineinen. Kaasun sytytys kuitenkin toteutetaan pilottidieselin avulla. Diesel sytytetään dieselmoottorin toimintaperiaatteella. Dieselmoottorin periaatteen mukaisesti puristustahdin lopussa, kun ilmaseos on kuumentunut puristuksen vaikutuksesta, ruiskutetaan dieseliä sylinteriin. Ruiskutuksen jälkeen diesel syttyy kuumuuden vaikutuksesta ja toteuttaa työtahdin. Kuva 5 havainnollistaa dieselsytkin toimintaperiaatteen. (Wärtsilä, n.d.b, s. 10.)



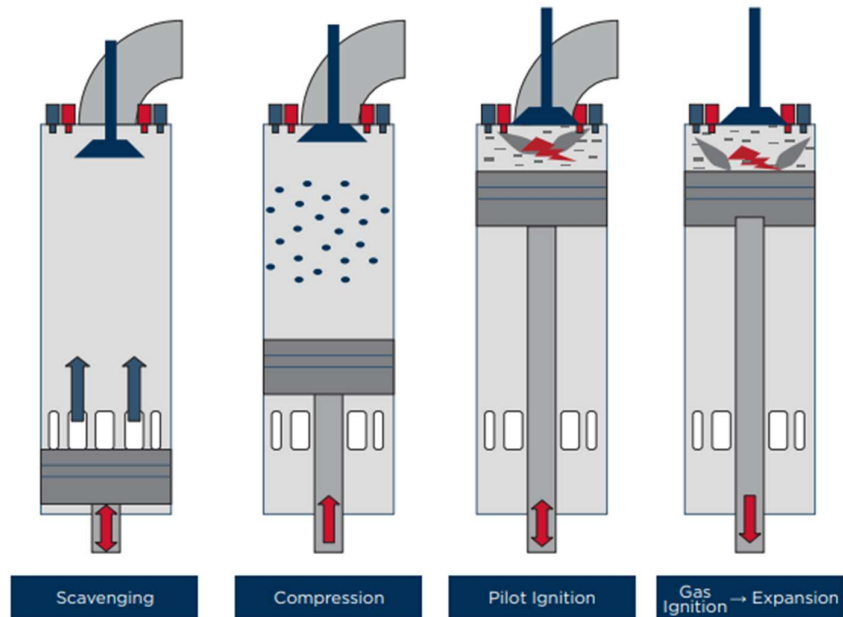
Kuva 5. Diesel moottorin toimintaperiaate. (Wärtsilä, n.d.b, s. 10.)

DF-moottoreissa polttoaine – ilmaseos muodostetaan imukanavassa, josta imutahdilla seos ohjataan sylinteriin. Seos sytytetään ruiskuttamalla pieni määrä pilottidieseliä puristustahdin lopussa, jolloin diesel syttyy ja sytyttää kaasun sylinterissä. Esimerkiksi Wärtsilän DF-moottorit toimivat tällä toimintaperiaatteella. (Wärtsilä, n.d.a, s. 6.)



Kuva 6. DF-moottorin toiminta kaasulla ajaessa. (Wärtsilä, n.d.a, s. 6.)

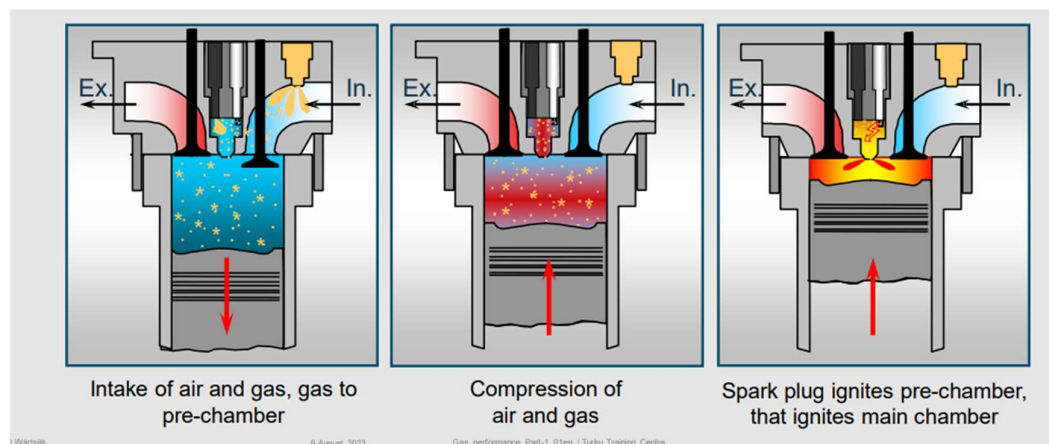
Dieselsytytteinen moottori, jossa kaasun syöttö tapahtuu korkealla paineella, ruiskutetaan kaasu suoraan moottorin sylinteriin. Ennen kaasun ruiskuttamista sylinteriin ruiskutetaan kuitenkin pilottidieseliä. Pilottidieselin syttyttyä ruiskutetaan itse kaasu sylinteriin. (American Bureau of Shipping, 2021, s. 4–5; Jääskeläinen) Kuvassa 7 havainnollistetaan prosessi.



Kuva 7. Korkeapaine kaasuruiskutus moottorin toiminta. (American Bureau of Shipping, 2021, s. 4.)

4.7.2 Kipinäsytytteinen kaasumoottori

Kipinäsytytteisessä kaasumoottorissa lauha kaasu – ilmaseos muodostetaan imukanavassa, josta se ohjautuu sylinteriin imutahdin aikana. Samanaikaisesti kaasua päästetään esikammioon, jossa muodostuu rikas kaasu – ilmaseos. Puristustahdin päätyttyä sytytystulppa sytyttää esikammiossa olevan kaasuseoksen, josta palaminen leviää sylinteriin aloittaen työtahdin. Prosessi on havainnollistettu kuvassa 8. (Wärtsilä, n.d.a, s. 5.)



Kuva 8. Esikammiosytytteisen kaasumoottorin toiminta. (Wärtsilä, n.d.a, s. 5.)

4.8 Kaasunilmaisimet

Kaasunilmaisimien asennuksesta on asetettu vähimmäisvaatimukset IGF-koodin kohdassa 15.8.1 (2015). Tässä kohdassa määritellään, missä kiinteiden ilmaisimien on vähintään sijaittava. Näitä sijainteja ovat:

- TCS (Tank Connection Space)
- Kaikki polttoainekaasua ympäröivät kanavat
- Konetiloihin, jotka sisältävät kaasuputkistoa, kaasunkäsittelylaitteita tai kaasun kuluttajia
- Tilat, jotka sisältävät kaasun käsittelyyn tai valmisteluun kuuluvia laitteita
- Suljetut tilat, joissa on kaasupolttoaineputkistoa tai kaasunkäsittelylaitteistoa ilman kaksoisputkistoa
- Muut suljetut tai osittain suljetut tilat, joihin polttoainekaasu voi kerääntyä, eikä pääse hajaantumaan luonnollisesti
- Ilmalukot
- Kaasunlämmittimen nesteen paisuntasäiliö
- Moottoritilat, joissa kulkee polttoainekaasua
- Asuintilojen ilmastointikanavat ja konetilojen ilmanotot, mikäli riskiarviossa on todettu tarvetta tähän.

Ilmaisimet on suunniteltava, asennettava ja testattava standardin IEC 60079-29-1 mukaisesti. Ilmaisimen havaitessa 20 % metaanin LEL-arvosta, on valo- ja äänihälytysten lauettava. Mikäli 40 % LEL-arvosta (Lower Explosion Limit) havaitaan kahdessa ilmaisimessa, on turvajärjestelmän aktivoitettava. (IGF code, 2015, Luku 15.8.)

5 HALTIN LNG JÄRJESTELMÄ

Haltin LNG-järjestelmä koostuu kolmen laitevalmistajan kokonaisuudesta. Kokonaisuus on rakennettu siten, että konehuone on kaasuvapaa. LNG:n varastointi, bunkraus, ja käsittely automaatioineen on TGE Marine Gas Engineering valmistama. Kaasun käyttäjinä on Maritime Protection AS tuottama inertti kaasugeneraattori ja Wärtsilä 9L34DF pääkone. LNG järjestelmän käyttämän tyypin tuottajana on Maritime Protection AS:n valmistama tyypigeneraattori. (Maritime Protection AS, 2019a, 2019b; TGE, 2019; Wärtsilä, n.d.)

5.1 TGE Marine Gas Engineering

TGE:n valmistama kokonaisuus Halti-aluksella sisältää LNG:n varastoinnin, polttoainekaasun tuotannon ja sen automaation. Polttoainekaasun tuotannon automaatio- ja ohjauskaappi sijaitsee konevalvomossa. LNG:n varastointiratkaisuna on kaksi sääkannella sijaitsevaa sylinterin muotoista C-tyypin LNG-tankkia. Nämä tankit ovat vakuumeristettyjä, ja niiden kapasiteetti 90 % täytöllä on 270m³ per tankki. Kummallakin tankilla on oma TCS, jossa polttoainekaasu tuotetaan. LNG:tä syötöstä huolehtii pumppu, joka sijaitsee TCS:ssä, tankin ulkopuolella sijaitsevasta imuastiassa. Imuastia on yhdistetty LNG-tankin pohjasyöttöön. Polttoainekaasun tuotannosta huolehtii vesiglykoli seoksella lämmitettävä höyrystin ja kaasun lämmitin. Höyrystimet ja kaasun lämmittimet ovat kierreputki- ja kuorirakenteella toteutettuja. Polttoainekaasun lämmittimen jälkeen johdetaan kaasu putkistoa pitkin käyttäjien pääkaasuventtiileille ja itse käyttäjille. Pääkaasuventtiilit sijaitsevat avoimella sääkannella, ja kummallekin kaasun käyttäjälle on oma pääkaasuventtiili. (TGE, 2019, Luku 2.1–2.2.)

Taulukko 1. LNG tankin pääparametrit

Tankin nettokapasiteetti	270 m ³ per tankki
maksimi käyttöpain	6.12 bar
Tankin varoventtiilin aukeamispaine	6.8 bar
Minimi tankin lämpötila	-196 °C

Maksimi LNG tiheys	500 kg/m ³
--------------------	-----------------------

Taulukko 2. LNG höyrytimen suunnitteluparametrit

	Kuorirakenne	Kierreputki
Neste	Vesi-glykoli seos	LNG / NG
Suunniteltu tulolämpötila	38 °C	-162 °C
Suunniteltu lähtölämpötila	31 °C	-60 °C
Virtaus	33000 kg/h	1050 kg/h

Taulukko 3. Polttoainekaasun lämmittimen suunnitteluparametrit

	Kuorirakenne	Kierreputki
Neste	Vesi-glykoli seos	NG
Suunniteltu tulolämpötila	40 °C	-60 °C
Suunniteltu lähtölämpötila	38 °C	35 °C
virtaus	33000 kg/h	1050 kg/h

5.2 Wärtsilä kokonaisuus

Wärtsilän kokonaisuus Haltilla sisältää pääkoneen ja sen käyttämiseen tarvittavat oheislaitteet, kuten GVU, sekä automaation niiden hallintaan. Aluksen pääkoneena ja suurimpana kaasun käyttäjänä on Wärtsilä 9L34DF-moottori. Päämoottori on Dual-Fuel käyttöinen, jolloin se kykenee toimimaan nestemäisellä laivapolttoaineella ja kaasulla. Kaasu syötetään GVU:lle, josta se menee edelleen moottorille. Kun kaasua käytetään polttoaineena, käyttää moottori dieselsytytystä. (Wärtsilä, n.d, Luku 1.)

5.3 Inertointi-kaasu generaattori

Inerttikaasu generaattori on Haltilla toinen kaasua käyttävä laite laivassa. Tuotukseen inerttikaasua, poltetaan nestemäistä polttoainetta tai polttoainekaasua ilman kanssa. Inertti kaasu generaattori koostuu polttoyksiköstä ja palokaasupesurista. Polttoyksikkö sisältää pilottipolttimen, pääpolttimen ja palotilan, joka on yhdistetty pesuriin, joka jäähdyttää ja pesee kuumat palokaasut. (Maritime Protection AS, 2019, Luku 3.3.1.)

Generaattoria voidaan käyttää kolmella eri käyttötilalla: Diesel, Kaasu ja Dual fuel. Dieselin ja kaasun käyttötilat ovat yksiselitteisiä, ja generaattori käyttää käyttötilan nimen mukaisesti polttoaineenaan kyseistä polttoainetta prosessissa. Käytettäessä Dual fuel käyttötilaa on pääasiallisena polttoaineena kaasu. Mikäli kaasun paine laskee hälytysrajan alapuolelle, järjestelmä automaattisesti asettaa kaasun syötön ilmakehään. Tämän jälkeen inerttikaasun tuotanto kääntyy kaasulta diesel käytölle. Järjestelmä on polttoaineen vaihdon jälkeen asetettava manuaalisesti syöttämään kaasua kannelle käytettäväksi. (Maritime Protection AS, 2019a, Luku 3.3.2.)

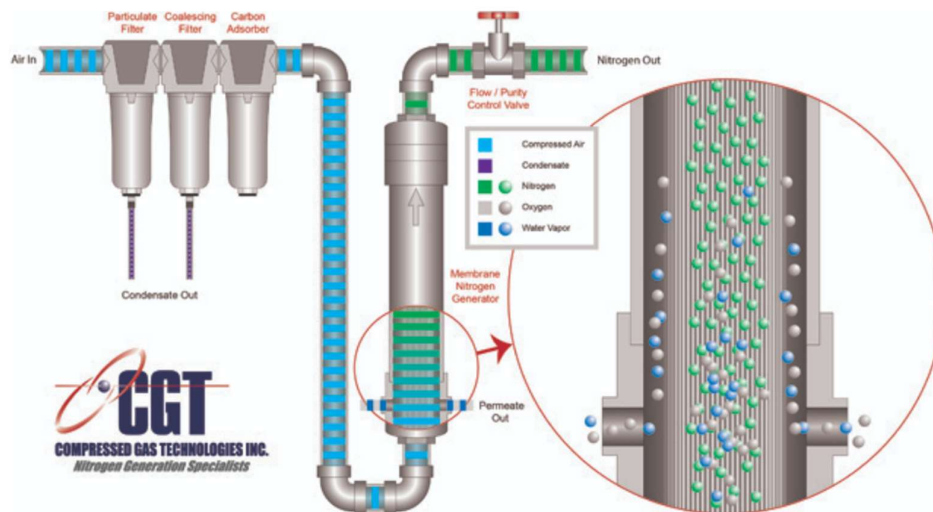
Generaattorin käynnistysvaiheessa pilottipoltin saa virtaa sytytystulppiin, jotka sytyttävät diesel/ilma seoksen. Polttokammion oveen kiinnitetty valokenno havaitsee palotapahtuman voimakkuuden. Kennolta lähtevän signaalin mukaan mitataan polttotapahtuman voimakkuus ohjausyksikölle, joka aloittaa pääpolttimen käytön muutaman sekunnin kuluttua pilottipolttimen palon jälkeen, mikäli palovoimakkuus on hyväksyttävä. Pääpoltin aktivoidaan, jonka jälkeen pilottipoltin sammutetaan muutaman sekunnin yhteisen paloajan jälkeen. Tämän jälkeen generaattori toimii vain pääpolttimen varassa. (Maritime Protection AS, 2019a, Luku 3.3.2.)

5.4 Typpi generaattori

Haltilla on Maritime Protection AS valmistama ja Wilhelmsen Technical Solutionsin suunnittelema typpigeneraattori. Tuottaakseen typpeä, erotetaan typpi ilmasta kalvon läpi. (Maritime Protection AS, 2019b, Luku 1). Järjestelmän teknisien tietojen kuvaus ei ole mahdollista, sillä lähde on tarkoitettu yksityiseen käyttöön.

Typen tuotanto prosessi kalvon läpi on seuraavanlainen: Typpi tuotetaan normaalista ilmasta, joka sisältää noin 78 % typpeä ja 21 % happea. Typen tuotanto kalvotypfigeneraattorissa alkaa ilman käsittelyllä. Käsittely sisältää ilman paineistamisen ja kuivaamisen. Seuraavaksi paineistettu ilman johdetaan kalvokimpun läpi, jossa typpi erottuu muusta ilmasta. Tämän jälkeen typpi

johdetaan typpijärjestelmään, mistä se on valmis käytettäväksi. Typen puhtauteen voidaan vaikuttaa paineella, virtausnopeudella sekä kalvokuitujen määrällä ja koolla. Kuvassa 3 visualisoidaan typen tuotanto. (Compressed Gas Technologies INC., n.d.)



Kuva 3. Typen tuotanto kalvo typpigeneraattorilla (Compressed Gas Technologies INC., n.d.).

6 TUTKIMUSOTE JA TUTKIMUSMENETELMÄ

Kvalitatiivinen tutkimusote on laadullinen tutkimuksen muoto. Tutkimuksessa tarkastellaan asioita laadullisten muuttujien avulla. Tällä tutkimusotteella pyritään kokonaisvaltaisen kuvan luomiseen, josta voidaan tehdä yleistyksiä ja päätelmiä tutkimusaineiston pohjalta. (Perkiö & Laine, 2014, s. 6.)

Konstruktiivinen tutkimusotetta on lopputulosta tavoitteleva tutkimuksen muoto. Tutkimuksessa voi olla ennalta määritelty lopputulos, mutta ei tiedetä, miten tulokseen päästää. Tällöin tarkoituksena on kuvata ja dokumentoida prosessi, kuinka haluttuun lopputulokseen päästää. On myös mahdollista tuottaa konstruktiivinen tutkimus, jossa lopputulosta ei ole tiedossa. Tässä

tapauksessa on myös selvítettävä haluttu lopputulos tutkimukselle. (Perkiö & Laine, 2014, Luku 2.3.)

Aineistoanalyysi on tutkimusmenetelmä, jota käytetään kvalitatiivisessa tutkimuksessa. Analyysissä pyritään pelkistämään ja ryhmittelemään kerätty aineisto. Tutkimuksessa tehdyn lähteiden ryhmittelyn jälkeen tarkastellaan niissä olevia väittämiä, jotka vastaavat tutkimuskysymykseen. Näiden väittämien avulla johtopäätösten tekeminen tutkimuksessa on mahdollista. (Perkiö & Laine, 2014, Luku 2.1.1.)

Haastattelu on tutkimusmenetelmä, jossa toiselta ihmiseltä kysytään asiasta. Tällä tavoin pystytään tuottamaan tutkimusaineistoa. Haastattelun jälkeen on tutkimuksessa analysoitava saatu aineisto, josta pystytään tekemään johtopäätökset tutkimukseen. (Hyvärinen ym. n.d.)

6.1 Tutkimusote

Opinnäytetyössä käytetty tutkimusote on rakentava konstruointi kvalitatiivisin piirtein. Konstruktivisen tutkimusote työssä on havaittavissa tutkimuksen tuloksena saaduista dokumenteista. Tutkimuksen alussa tiedossa oli lopputulos, mihin haluttiin päädyttävän. Tällöin valmistuneet dokumentit ohjeistavat miten lopputulokseen päästään. Dokumenttien työstämisen aikana on myös käytetty kvalitatiivista tutkimusotetta aineistoa analysoidessa.

6.2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen tekemisen aikana on haastateltu laivan konepäällikköä. Haastatteluilla kartoitettiin laajuus sekä tarkkuus, jolla dokumentit valmistetaan. Dokumentin valmistuksen aikana haastateltiin konepäällikköä uudestaan sekä muuta konepäällystä. Tämän tarkoituksena oli saada parannusehdotuksia dokumentin viimeisimpään versioon.

Aineistoanalyysiä työn valmistamisen aikana on käytetty eri lähteistä saadun tiedon varmistamiseen sekä tutkimuksen tuloksena syntyneiden dokumenttien tuloksien valmistamiseen. Dokumenttia on analysoitu valmistamisen aikana muiden tahojen dokumentteihin sekä verrattu varustamon omiin dokumentteihin. Näin on saavutettu haluttu laatu sekä yhtäläisyys muiden varustamon dokumenttien kanssa.

7 TUTKIMUS POLTTOAINEKAASUJÄRJESTELMÄN KÄYTÖSTÄ

Polttoainekaasu voidaan järjestelmässä syöttää suoraan BoG:sta tai LNG:stä haihduttimen avulla. Hallintajärjestelmä tarjoaa automaattiset asetukset ja ohjauksen BoG:n ja LNG:n käytön haihduttimen avulla, jossa LNG syötetään pumpulla. Järjestelmää pystyy myös ajamaan käyttämällä tankissa olevaa painetta syöttämään LNG:tä höyrystimelle. Tämä ajotapa ei ole täysin automatisoitu ja vaatii kaksi vaihetta. (TGE, 2019, Luku 3.5.1). Liite 1 on tarkastuslista polttoainekaasun syöttöjärjestelmän käyttöön normaaleissa olosuhteissa. Tarkastuslistassa kerrotaan, miten valmistellaan järjestelmä käyttöön ja kuinka päästä ajotapoihin. Listan kielenä on englanti, koska laivan virallinen työkieli on englanti. Tämä pätee myös muissa laivalla käytössä olevissa listoissa.

7.1 Vesi-glykolinjärjestelmän valmistelu ja tankin valinta

Tankin valinta suoritetaan vesi glykoli järjestelmän avulla. WG-järjestelmän valmistelut aloitetaan päättämällä, kumman tankin TCS:ään WG johdetaan. WG-järjestelmän valmistelun aikana avataan WG-syöttöventtiili halutussa TCS:ssä, sillä järjestelmä kykenee takaamaan riittävän nestekierron vain yhteen TCS:ään kerrallaan. Kun haluttu syöttöventtiili on avattu, siirrytään WG pumpun valintaan. Halutun WG-pumpun valinta tapahtuu järjestelmän automaatiokaapin kosketusnäytöltä. Valinta tehdään WG-järjestelmä sivulta, missä haluttu pumppu valitaan ja painamalla AUTO-nappia WG-järjestelmä jää

odottamaan, kunnes polttoainekaasun syöttö käynnistetään. (TGE, 2019, Luku 3.5.1.1.)

Tankki PS- tai SB- sivulta painamalla AUTO aloitetaan valitun tankin käyttö. AUTO-napin painamisen jälkeen, järjestelmän automaatio kääntää tankin venttiilit asentoon, jossa järjestelmä valmistautuu polttoainekaasun tuotantoon ja syöttöön. LNG-pumpun kaivo jäähdytetään tässä kohtaan päästämällä LNG:tä pumpun kaivoon. (TGE, 2019, Luku 3.5.1.1.)

7.2 Polttoainekaasun syöttö pumpulla

Pumppua käyttäessä pumppu tuottaa tarvittavan paineen käyttäjille. LNG:tä syötetään pumpulla tankista höyrystimelle ja kaasun lämmittimelle. Ennen polttoainekaasun syöttöä on WG-järjestelmän valmistelut ja tankin valinnan suoritettava. Valmisteluiden jälkeen tarkistetaan pumpun jäähtymisen tila SUPPLY PS tai SB-sivulta. Pumppua ei pysty käynnistämään ennen kuin sen lämpötila on laskenut alle -100 °C. On kuitenkin suositeltavaa odottaa, kunnes jäähtyminen on rauhoittunut ja lämpötilan heittely on tasoittunut. Kun lämpötila on laskenut tarpeeksi, voidaan aloittaa pumpun käyttö painamalla PUMP FG SUPPLY. (TGE, 2019, Luku 3.5.1.2.)

7.3 Polttoainekaasun käyttö BoG:lla

BoG:lla ajettaessa, kaasu käytetään suoraan tankin yläosasta. BoG:ia käyttämällä pystytään alentamaan tehokkaasti tankin paineita. Ennen BoG moodin käytön aloittamista on WG-järjestelmän valmistelut ja tankin valinta suoritettava. Ajotavan valinta toteutetaan SUPPLY PS tai SB-sivulta, jossa painamalla BOG FG SUPPLY automatiikka aloittaa tarvittavien toimenpiteiden suorittamisen WG-järjestelmän kanssa. Tämän jälkeen tankin yläosassa oleva venttiiliin aukeaa ja päästää kaasun virtaamaan kaasunlämmittimelle ja edelleen käyttäjille. Kun haluttu kaasun paine on saavutettu, järjestelmä on valmis käytettäväksi. Mikäli tankin paine ei riitä kuluttajille, kuluttaja poistuu kaasukäytöltä. (TGE, 2019, Luku 3.5.1.3.)

7.4 LNG:n syöttö käyttäen tankin painetta

Käytettäessä tankin painetta syöttämään LNG:tä, toimii järjestelmä kuin hydrofori. Tällä ajotavalla tankissa oleva paine työntää tankissa olevaan nestettä höyrystimelle ja kaasunlämmittimelle. Tätä ajotapaa on mahdollista käyttää korkeammilla tankkipaineilla, vähentäen LNG-pumpun käyttöä. (TGE, 2019, Luku 3.5.1.4.)

7.5 LNG-bunkrausoperaatio Ship to Ship

LNG-bunkraus on yksi normaaleista operaatioista, kun alus käyttää LNG:tä polttoaineenaan. Huolimatta operaation normaalisuudesta, LNG-bunkraus on kriittisin toimenpide turvallisuuskulmasta katsottuna. Tämän turvallisuuskulman kannalta on tärkeää, että aluksen miehistöllä on tarpeelliset ja toimivat listat operaation toteuttamiseen sekä dokumentointiin. (TGE, 2019, Luku 3.5.2.) Tutkimuksen tuotoksena on syntynyt Liite 2 ja 3 koskien LNG-bunkrausta. Liitettä 2 käyttämällä LNG-bunkrauksen johtaja pystyy tarkastamaan, että kaikki vaiheet on suoritettu turvallisen operaation toteuttamiseksi. Liite 3:n tarkoituksena on toimia täydentävänä dokumenttina liitteelle 2 ja kertoa, kuinka LNG-bunkrauksen vaiheet tehdään kohta kohdalta.

7.5.1 Valmistelut ennen bunkrausoperaatio

LNG-bunkrauksen valmistelut alkavat siitä hetkestä, kun konepäällikkö tekee bunkkeritilauksen. Valmisteluihin sisältyy paljon byrokratiaa ja paperitöitä, mitä konepäällikön tai bunkrauspäällikön on tehtävä LNG-bunkrauksen eteen ennen kuin bunkraus voidaan toteuttaa. Bunkkeritilauksen jälkeen, lähettää LNG-toimittaja laaditun JPBO:n (Joint Plan of Bunker Operation). Laivalla suunnitelma käydään läpi bunkraukseen osallistuvan henkilöstön toimesta, jolloin he tietävät mitä operaatio pitää sisällään. (TGE, 2019, Luku 3.5.2; A. Tukiainen, 2025.)

Laivalla tehtävien valmisteluiden tarkoituksena on nopeuttaa toiminnan aloittamista sekä keventää operaation rasittavuutta. Näihin valmisteluihin kuuluu erilaisia turvallisuuteen ja laitteistoon liittyviä tarkastuksia. Tarkastuksien lisäksi laitteistoja valmistellaan operaatioon tässä vaiheessa niin paljon kuin se on järkevästi mahdollista. Kun valmistelut ovat valmiit, on operaation aloittaminen nopeampaa. (IAPH, n.d.; A. Tukiainen, 2025.)

7.5.2 Valmistelut kiinnityksen jälkeen

Alusten kiinnityksen jälkeen, ennen operaation aloittamista tehdään viimeiset turvallisen bunkrausoperaation valmistelut. Näihin viimeisiin valmisteluihin kuuluu molemminpuolinen dokumenttien tarkastaminen ja allekirjoittaminen. Laivalla tapahtuu paperitöiden kanssa samanaikaisesti viimeiset valmistelut, ennen operaation aloittamista. (IAPH, n.d.; A. Tukiainen, 2025.)

7.5.3 LNG-bunkrausoperaatio

Bunkrausoperaatio aloitetaan bunkkeriaseman ja LNG-toimittajan välisen radioyhteyden tarkistuksella. Yhteyden toteamisen jälkeen bunkkerintoimittaja antaa LNG-letkun alukselle, ja se kiinnitetään bunkkerilinjaan. Bunkkeriletkun kiinnittämisen jälkeen luodaan ESD-yhteys aluksien välille ja tehdään ESD-koee, jolla todetaan yhteyden ja järjestelmän toiminta. (IAPH, n.d.; TGE, 2019, Luku 3.5.2; A. Tukiainen, 2025.)

Eri yhteyksien muodostamisen ja testauksen jälkeen on aika aloittaa bunkkeriletkun inertointi ja tiiveyden testaus. Kun tiiveystestaus on valmis, voidaan aloittaa bunkkerilinjan viilentäminen. (TGE, 2019, Luku 3.5.2.; A. Tukiainen, 2025.)

Bunkkerilinja viilentämisen jälkeen voidaan aloittaa LNG:n pumppaaminen sovitulla aloitusnopeudella. Tämän pienemmän pumppausnopeuden aikana tarkistetaan linja vuotojen varalta. Vuotojen tarkistamisen jälkeen voidaan nostaa pumppausnopeus sovittuun nopeuteen. Bunkrauksen aikana

bunkrauspäällikkö tarkkailee tankkien täyttöastetta sekä painetta. Tarkkailun yhteydessä hän myös säättää LNG:n virtausta tankin ylä- ja alaosan välillä, pitäen tankkien paineet hyväksyttävällä tasolla. Lähestyttäessä sovittua LNG:n toimitusmäärää lasketaan pumppausnopeutta sovittulle tasolle, kunnes sovittu LNG on pumpattu tankkeihin. (TGE, 2019, Luku 3.5.2; A. Tukiainen, 2025.)

Sovitun LNG:n toimittamisen jälkeen on tyhjennettävä bunkkeriletku ja inertoitava se. Inertointi on tehtävä, jotta letkun irrottaminen olisi turvallista. Letkun irrottamiseen luvan antaa toimittaja. Irrottamisen jälkeen palautetaan letku ja oheislaitteet toimittajalle, sekä otetaan laivan tarvikkeet takaisin.

Bunkrauksen aikana on pidettävä jatkuva molemminpuolinen yhteys bunkkeriaseman ja LNG:n toimittajan välillä. Tähän yhteydenpitoon kuuluu muutosten tekeminen ja välitietojen jakaminen. Näin yhteyttä pitämällä molemmilla osapuolilla on kokonaiskuva tilanteesta ja siitä, mitä toinen osapuoli on tekemässä. (TGE, 2019, Luku 3.5.2; A. Tukiainen, 2025.)

7.5.4 Toimenpiteet bunkrauksen jälkeen

Bunkrauksen jälkeen osapuolet vielä allekirjoittavat ja vaihtavat tarvittavat dokumentit, minkä jälkeen aluksien välinen kiinnitys voidaan irrottaa. Alusten irrottamisen jälkeen tyhjennetään tarvittavat putkistot LNG:stä ja inertoidaan liitännät. Kun tarvittavat toimenpiteet järjestelmässä on tehty, palautetaan se normaaliin operointitilaan. Bunkkeriasemalta puretaan operaation aikaiset järjestelyt ja varastoidaan tarvikkeet asianmukaisesti. Viimeiseksi tehdään merkinnät konepäiväkirjaan operaatiosta, merkiten vastaanotetun LNG:n määrä kuutioina ja tonneina. (IAPH, n.d.; TGE, 2019, Luku 3.5.2.; A. Tukiainen, 2025.)

8 TUTKIMUKSEN KESKEISET LÖYDÖKSET

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen tulos on selkeä ja käytännönläheinen M/T Haltin LNG-järjestelmän toimintaohjeistusta normaaleissa olosuhteissa. Työn tuloksena valmistuneet dokumentit tarjoavat konkreettisen työkalun aluksen henkilöstölle. Toimintaohjeiden kanssa pystytään parantamaan järjestelmän turvallista käyttöä ja vähentämään toimintavirheiden riskiä. Näin ollen tutkimuksen tulokset vastaavat opinnäytetyössä asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

8.1 Tutkimuksen luotettavuus ja mahdollinen jatkotutkimus

Tutkimuksen luotettavuudella viitataan siihen, kuinka johdonmukaista, toistettavaa ja uskottavaa tutkimus ja tutkimuksen tulokset ovat. Tutkimuksen luotettavuus on keskeinen arviointikriteeri tutkimuksen laadusta. (Eckel, 2025.)

Tutkimuksen luotettavuus perustuu kerätyn materiaalin luotettavuuteen. Materiaali on pääosin kerätty IMO:n IGF-koodista ja laitevalmistajien dokumentaatiosta. Luotettavuutta voi kuitenkin rajata se, että työ keskittyy yhden aluksen laitekokonaisuuteen. Muutoksien tarve ohjeistukseen on mahdollisia, mikäli muutoksia tulee lainsäädäntöön, yhtiön sisäiseen ohjeistukseen tai järjestelmää päivitetään. Tällöin on jatkokehitystä tehtävä ohjeistukselle. Muita jatkotutkimuksen aiheita ei ole löytynyt.

8.2 Tutkimuksen eettiset näkökohdat

Tutkimuksen eettisyydellä tarkoitetaan niitä eettisiä periaatteita ja ohjeita, jotka ohjaavat tutkinnan suunnittelua, toteutusta, raportointia ja julkaisua. Tutkimusetiikan tavoitteena on varmistaa tutkimuksen luotettavuus, rehellisyys ja tutkittavien oikeuksien kunnioittaminen. (Vuori, n.d.)

Tämän opinnäytetyön toteutuksessa on huomioitu hyvän tieteellisen käytännön ja tutkimuseettisten periaatteiden noudattaminen. Työ pohjautuu yhteistyöhön OSM Ship Management Finland Oy:n M/T Haltin kanssa. Kaikki

opinnäytetyössä käytetty tieto, mikä liittyy yrityksen toimintaan tai LNG-järjestelmän yksityiskohtiin, on kerätty luvanvaraisesti ja luottamuksellisesti.

Opinnäytetyö ei sisällä ihmisiin tai eläimiin kohdistuvaa tutkimusta, joten erillistä eettistä ennakkoarviointia ei ole katsottu tarpeelliseksi. Työssä on kuitenkin pyritty huolellisuuteen lähdeaineiston käytössä ja lainauksissa, ja kaikki ulkopuoliset lähteet on asianmukaisesti merkitty. Lähteiden valinnassa on painotettu luotettavuutta, ajantasaisuutta ja asiantuntijuutta.

LÄHTEET

Alfa laval. Marine boiler solutions for LNG as fuel. Haettu 14.5.2025 osoitteesta <http://www.alfalaval.com/co/boilersforlng/>

American Bureau of Shipping. (2021). ABS ADVISORY ON DECARBONIZATION APPLICATIONS FOR POWER GENERATION AND PROPULSION SYSTEMS. 80.

American Bureau of Shipping. (2022). LNG as Marine Fuel. Sustainability Whitepaper, 24.

Compressed Gas Technologies INC. (n.d.). Nitrogen Generators How It Works—Compressed Gas Technologies. Nitrogen Generators - Compressed Gas Technologies. Haettu 9.1.2025 osoitteesta <https://nitrogen-generators.com/nitrogen-generators-how-it-works/>

Cryonorm. (n.d.). Cryonorm products. Haettu 11.10.2024 osoitteesta <https://www.cryonorm.com/products>

DNV. (n.d.). LNG as marine fuel. Haettu 27.6.2024 osoitteesta <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/>

Eckel, J. (2025, huhtikuuta 4). Reliability in Research: Definition, Types & Examples. Haettu 18.5.2025 osoitteesta <https://studycrumb.com/reliability>

ENERGY TRANSFER. (n.d.). Properties and characteristics of LNG. Haettu 7.10.2024 osoitteesta <https://lclngmessenger.energytransfer.com/InfoPost/resources/documents/PropertiesofLNG.pdf>

Ghelani, S. (2023, heinäkuuta 7). The rise of alternative fuels in the shipping industry: LNG – Spectra Fuels. Haettu 27.6.2024 osoitteesta <https://www.spectrafuels.com/the-rise-of-alternative-fuels-in-the-shipping-industry-lng/>

Hyvärinen, M., Suoninen, E. & Vuori, J. Haastattelut. Tietoarkisto. Haettu 24.3.2025 osoitteesta <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/>

IAPH. (n.d.). LNG Bunker Checklist—Ship to Ship. Haettu 20.3.2025 osoitteesta https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/iaph_lng_bunker_checklist_ship_to_ship_final_v3.7a_incl_guidelines.pdf

IGF code. (2015). Adoption of the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code). International Maritime Organization. Haettu 15.7.2024 osoitteesta <https://dmr-regs4ships.com.lillukka.samk.fi/docs/international/imo/codes/igf.cfm>

IMO. (n.d.). IMO's work to cut GHG emissions from ships. Haettu 3.7.2024 osoitteesta <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>

Jääskeläinen, H. Natural Gas Engines. Haettu 21.1.2025 osoitteesta https://dieselnet.com/tech/engine_natural-gas.php

Maritime Protection AS. (2019a). Inert Gas System—Operating Manual.

Maritime Protection AS. (2019b). Instruction Manual—Nitrogen mambrane Inert Gas System.

OSM Ship Management Finland Oy. (n.d.). OSM Ship Management Finland Oy—About Us. About Us. Haettu 14.5.2025 osoitteesta <https://osmfinland.fi/about-us/>

OSM Thome. (n.d.). Ship Management. OSM Thome. Haettu 14.5.2025 osoitteesta <https://osmthome.com/ship-management/>

Perkiö, T. & Laine, K. (2014). TUTKIMUSVIESTINTÄ - Osa I, Tutkimusmenetelmät. Satakunnan ammattikorkeakoulu. https://moodle4x.samk.fi/pluginfile.php/224833/mod_resource/content/2/Tutkimusviestint%C3%A4%20moniste%20osa%20I%20-%20Menetelm%C3%A4t%20-%20Perki%C3%B6%20Laine.pdf

TGE, M. G. E. (2019). Operation Manual.

Tukiainen, A. (2025, toukokuuta). Asiantuntija lausunto [Keskustelu].

Vuori, J. (n.d.). Tutkimusetiikka ihmistieteissä—Tietoarkisto. Haettu 18.5.2025 osoitteesta <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusetiikka/tutkimusetiikka-ihmistieteissa/>

Wärtsilä. (n.d). 9L34DF Owner and maintenance manual. Wärtsilä.

Wärtsilä, training service. (n.d.a). Lean-burn concept with UNIC TSA.

Wärtsilä, training service. (n.d.b). Mechanical power to electrical power.

LIITE 1: POLTTOAINEKAASUN SYÖTTÖJÄRJESTELMÄN OPE- ROINTI TARKASTUSLISTA

 Ship Group Specific Instruction	Document ID:	
	Author:	

ECL-XX Operation of FGSS Standard Operation Check List

Scope

Complete Checklist for standard operation of FGSS

Responsibilities

Duty Engineer

Setup of WG system and LNG tank selection		
No	Description	Checked
1	Ensure that the WG supply valve WG4052 (PS) or WG4062 (SB) is open to the desired TCS and closed to TCS not intended for fuel gas operation. (Capacity of WG system is sufficient to deliver WG to one TCS at a time)	
2	Decide which WG pump is used, from WG system mimic.	
3	Select AUTO in WG system page and check that WG flow safety F9256 (PS) or F9266 (SB) is engaged -> WG system is ready for use	
4	Select AUTO from Tank PS or Tank SB mimic. -> Tank valves will be set for fuel gas supply and LNG pump will be cooled down	
5	For Pump fuel gas supply, jump to 6 For BoG fuel gas supply, jump to 8 For fuel gas supply by direct LNG supply, using tank pressure, jump to 9	

Fuel gas Supply by Pump		
No	Description	Checked
6	On SUPPLY PS or SB mimic, check that LNG supply pump is sufficiently cooled down by watching T8110 (PS) or T8210 (SB). The pump will be interlocked until the temperature is below -100 °C, but it is recommended to wait until temperature stabilizes. The stabilized temperature indicated on T8X10 is only a few degrees above T8X01.	
7	On SUPPLY PS or SB mimic, press PUMP FG supply. → The control system sets up AUX systems. Fuel gas is ready to use. <i>Note: Max idle time 30 mins</i> <i>Minimum LNG level in tank 850mm referred to user experiences</i> <i>NOTE: Vessel trim and weather conditions to be taken into consideration</i>	

Fuel Gas supply by BoG		
No	Description	Checked
8	<p>On SUPPLY PS or SB mimic, press BOG FG SUPPLY</p> <p>→ The Control system sets up AUX systems. Fuel gas is ready to use.</p> <p><i>Note: Minimum gas pressure is charge air pressure + 0,8 bars for normal operation</i></p>	

Fuel gas supply bypass mode		
No	Description	Checked
9	Before continuing, make sure that FGSS is in BoG mode.	
10	In TANK PS or SB mimic, switch mode to operator.	
11	On SUPPLY PS or SB mimic, select valve H8104 (PS) or H8204 (SB), change the operation mode from AUTO to MANUAL and open it.	
12	<p>On SUPPLY PS or SB mimic, select valve H8101 (PS) or H8201 (SB), change the operation mode from AUTO to MANUAL and close it.</p> <p><i>Note: Required tank pressure depends on engine load</i></p>	
13	<p>To exit LNG supply, using tank pressure. Reverse steps 12 to 10</p> <p><i>Note: Alternatively, in TANK PS or SB mimic switch mode back to AUTO, to return to BoG supply</i></p>	

Stopping of FGSS		
No	Description	Checked
14	Make sure there are no fuel gas consumers in use.	
15	In SUPPLY PS or SB mimic, select STOP	
16	In TANK PS or SB mimic, select OFF	

LIITE 2: ALUSKOHTAINEN LNG BUNKKERIOPERAATION TARKASTUSLISTA

 Ship Group Specific Instruction	Document ID:	
	Author:	

ECL-XX Ship – Ship: HALTI LNG – Bunkering Checklist - Without Vapor Return

Scope

Checklist for LNG-bunkering operation without vapor return on board MS Halti

Responsibilities

Chief Engineer – Duty Engineer – Crew members involved in operation

Note: For more comprehensive information for process, refer to document HALTI LNG bunkering operation guide

Date:	Port:	Commencing time:
Hose connected:	Hose disconnected	Completion time:

Specifics for this bunker operation					
Check LNG tanks pressure and level before and after bunkering:	PS-Side		SB-Side		MAX Pressure 6,1 Bar Level at 90% 4030mm volume at 90% 270m³
	Start	Stop	Start	Stop	
	Pressure				
	Level				
Volume					
Communication methods are agreed and checked with LNG supplier				VHF Ch:	
Comments:				UHF Ch:	
Quantity of LNG received, and logged to engine logbook				m ³ :	
Port authorities contact information:				Tons:	

Preparations – Before bunkering		
No	Description	Checked
1	Ship to Ship Safety Check list filled – Permission is granted and personnel informed	
2	SIMOP Risk assessment is filled in IRIS system, if applicable	
3	Toolbox talk with personnel partaking in the bunkering operation	
4	FGSS – machinery running on Diesel mode and FGSS not in use for machinery / other operations	
5	Check N2 system is fully functional - Kongsberg PMS system	N2 Rec. Pressure:
		N2 – O2 % :
6	Vessel ICCP -Cathodic hull protection switched OFF (Main Cabinet – Platform Deck PS)	
7	LNG Bunker station Dry powder and firefighting equipment checked and ready for use	
8	Inert / Purge selected Manifold for bunkering	
9	Prepare selected bunker station with correct size MANNTEK coupling and inline filter	

10	Inert / Purge prepared Manifold	
11	Prepare hull protection - water curtain and slide	
12	Close TCS bilge drain valves	
13	From FGSS main panel in ECR: Select Operator on TANK PS and / or TANKS SB to define which tank(s) are bunkered.	
14	From FGSS main panel in ECR: On BUNKER mimic select PS or SB to define which bunker manifold is being used for bunker operation	
15	Notify the crew of the LNG bunkering with appropriate means, and inform them about the dos and don'ts and means of escape	
16	Prepare the bunkering exclusion zone, and mark it appropriately	
17	Check bunker stations not in use, that all valves and flanges are closed	
18	Check that Bunkering signal is displayed	

Bunkering Without Vapor Return

Purging and pressure test		
19	Radio check between bunker station and bunker vessel	
20	Receive the bunker hose from bunker vessel with agreed method mentioned in JPBO <ul style="list-style-type: none"> • connect the hose to the manifold 	
21	Connect ESD-method agreed in JPBO (pendant or SSL-connection cable) <ul style="list-style-type: none"> • Note: On FGSS main panel in ECR Shore FGES Override key must be switched ON before connecting 	
22	Perform ESD-alarm test <ul style="list-style-type: none"> • NOTE: Depending on supplier, an ESD alarm test may be done while the system is warm and when it's cold 	
23	Purge bunker hose and perform pressure test with agreed method	
24	Open manual isolation valve PL7507 (PS) or PL7508 (SB)	

Bunkering		
25	Start water curtain, and adjust the flow using valve 813.199 (PS) or 813.200 (SB)	
26	Open valve H5505 (PS) and/or H5605 (SB) from FGSS Main Panel in ECR	
27	Change control to Bunker station LOP from FGSS Main Panel in ECR by selecting LOCAL OPERATION in BUNKER mimic	
28	Open manual manifold valve PL7505 (PS) or PL7506 (SB)	
29	Close and open tank top spray valve H5503 (PS) and/or H5603 (SB) to check the free movement of valve(s)	
30	Open and close bottom filling valve H5501 (PS) and/or H5601 (SB) to check the free movement of valve(s)	
31	Open ESD valve H7501 (PS) or H7502 (SB)	
32	Crosscheck bunker line lineup with ECR	
33	confirm with bunker vessel, that bunkering can start at an agreed cooling down rate	start time
34	When cooling has reached -140°C, check bunker station of unwanted icing and that flange connections are tight with portable gas detector <ul style="list-style-type: none"> ➔ Request LNG supplier to start liquid bunkering with agreed starting rate 	
35	Check that there are no leaks in bunkering line, and LNG goes to tank(s) <ul style="list-style-type: none"> ➔ Request that the bunkering rate to be raised to agreed full rate 	

36	Monitor tank level(s) and keep tank pressure(s) lower than delivery pressure by adjusting the flow between tank top spray and bottom fill	
37	When 90 % of the agreed bunker has been delivered, request delivery rate to be lowered to agreed topping up rate	
38	Confirm finishing of bunkering with bunker vessel, and close bottom filling valve H5501 (PS) and/or H5601 (SB)	Stop time

Purging and disconnecting		
39	Empty the bunker hose from LNG, with method agreed in JPBO	
40	Close the ESD valve H7501 (PS) or H7502 (SB) , if not closed in hose emptying method	
41	Purge the bunker hose, with method agreed in JPBO	
42	Confirm from bunker vessel that bunker hose can be disconnected	
43	Disconnect the bunker hose	Time disconnected
44	Stop the water curtain	
45	Disconnect ESD-connection <ul style="list-style-type: none"> Note: On FGSS main panel in ECR Shore FGES Override key must be switched ON before disconnecting 	

Wrap-up		
46	Close manual manifold valve PL7505 (PS) or PL7506 (SB)	
47	Open bunker line drain valve PL7509 (PS) or PL7510 (SB)	
48	Inert / purge manifold	
49	Open bunker vent valve IG7501 (PS) or IG7502 (SB)	
50	Let the bunker line warm until all LNG has evaporated inside bunker line	
51	Inert / purge manifold	
52	Disconnect MANNTEK, and attach blind flange to manifold	
53	Inert / purge manifold, and leave 1 bar pressure to manifold	
54	Close bunker line drain valve PL7509 (PS) or PL7510 (SB)	
55	Close manual isolation valve PL7507 (PS) or PL7508 (SB)	
56	Change control from Bunker station LOP to FGSS Main Panel in ECR by selecting REMOTE OPERATION in BUNKER mimic	
57	Open TCS bilge drain valves	
58	Close valve H5505 (PS) and/or H5605 (SB) from FGSS Main Panel in ECR	
59	From FGSS main panel in ECR: On BUNKER mimic select OFF	
60	From FGSS main panel in ECR: Select OFF on TANK PS and / or TANKS SB	
61	Vessel ICCP – Cathodic hull protection switched ON (Main cabinet – Platform deck PS)	
62	Dismantle bunkering arrangements, and store equipment	
63	Toolbox talk with personnel who took part in the bunker operation	

LIITE 3: M/T HALTIN LNG BUNKRAUSOPERAATION OHJEIS- TUS

 Ship Group Specific Instruction	Document ID:	
	Author:	

HALTI LNG Bunkering operation guide

Scope

This document is a guide for Ship-to-Ship LNG bunker operations and describes how processes are done on board MS Halti

Responsibilities

Chief Engineer – Duty Engineer-Crew members involved in operation

Specifics for this bunker operation

Fill out section **specifics for this bunker operation** as you are starting the bunker operation. By filling this section, you are checking the necessary information for bunkering. Also, by filling the LNG tank status before and after bunkering one can see the difference in status of LNG tanks before and after this LNG bunker operation.

The level and volume limits on LNG bunkering checklist are suggested maximum levels where to aim while planning and ordering bunkering.

The FGSS has warnings and alarms limits set to as follows:

1. Low level alarm: 800mm
2. High warning: 4000mm
3. High alarm: 4350mm

Preparations

1. Ship to Ship Safety Check list filled – Permission is granted and personnel informed
 - a. Fill Ship-to-Ship Safety Checklist provided by bunker vessel, if no Ship-to-Ship safety checklist has been provided, use latest version of IAPH LNG bunkering checklist
 - b. Inform crew about LNG bunkering, so crew is not surprised by bunkering operation
2. SIMOPS risk assessment filled in IRIS system, if applicable
 - a. Fill SIMOPS risk assessment for bunkering operation that happens in cargo loading and unloading harbours
 - SIMOPS risk assessment should be done before arriving to harbour, so all participants have the chance to consider risks that may affect the bunker operation
3. Toolbox talk with personnel partaking in the bunkering operation
 - a. In the toolbox talk, give personnel their jobs to do and discuss specifics of the operation, so there are no surprises
 - b. Topics suggestions:
 - Who leads in which part of operation
 - Bunkering rates
 - Divide tasks for personnel
 - Outline rough operation progress

4. FGSS – machinery running on Diesel mode and FGSS not in use for machinery / other operations
 - a. From FGSS main panel in ECR, check that Fuel Gas Supply System is stopped, and no fuel gas is produced
 - By stopping the use of LNG as fuel, it is possible to perform LNG bunkering operation
5. Check N2 system is fully functional - Kongsberg PMS system
 - a. From Kongsberg PMS, confirm that N2 is operational
 - N2 is used to inerting and purging of manifold and bunker hose as, nitrogen is inert gas and keeps operation safe as possible
6. Vessel ICCP -Cathodic hull protection switched OFF
 - a. Switch off vessel's ICCP-Cathodic protection by turning main power supply to system on main cabinet, which is located on port side on platform deck in engine room, next to bilgewater separator
 - ICCP-Cathodic protection is switched off, to minimize the risk of static sparks
7. LNG Bunker station Dry powder and firefighting equipment checked and ready for use
 - a. Check that dry powder firefighting equipment in vessel's trunk is in good condition and refresh memory of how to use them
 - In case of fire on bunker station, it is good to know where and how to use firefighting equipment, to minimize response time in emergency.
8. Inert / Purge selected Manifold for bunkering
 - a. Check that manifold valve **H7501 (PS)** or **H7502 (SB)** is closed
 - b. Connect N2 hose to N2 supply and manifold inerting connection
 - c. Open valve **377.071 (PS)** or **377.072 (SB)** -> N2 supply is behind valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
 - Located under bunker station
 - d. Open N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
 - e. Open manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - f. Raise the pressure inside the manifold to 5 bar -> See bunker line pressure from gauge **P7501-PI (PS)** or **P7502-PI (SB)**
 - g. Close manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - h. Release the pressure from manifold to Gast Mast via valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - i. Repeat steps d – g, 4 times
 - j. Close N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
9. Prepare selected bunker station with correct size MANNTEK coupling and inline filter
 - a. Check that manifold pressure is 0 from pressure gauge P7501-PI (PS) or P7502-PI
 - b. Disconnect blind flange from manifold
 - c. Place LNG gasket to manifold face,
 - make sure that LNG gaskets are in good condition
 - d. Insert inline filter to bunker line
 - e. Place LNG gasket to inline filter face
 - f. connect MANNTEK coupling
 - First tighten all bolts to 120 Nm, Second tighten all bolt to 240 Nm
10. Inert / Purge prepared Manifold
 - a. Open N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
 - b. Open manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - c. Raise the pressure inside the manifold to 5 bar -> See bunker line pressure from gauge **P7501-PI (PS)** or **P7502-PI (SB)**
 - d. Close manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - e. Release the pressure from manifold to Gast Mast via valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - f. Repeat steps b – e, 4 times
 - g. Close N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**

11. Prepare hull protection - water curtain and slide
 - a. Rig the
 - Water spray pipe on ship side and connect the hose
 - Water slide to bunker station drip tray
 - b. Line up the Emergency Fire Pump and test the water supply to Water spray system
 - Open – Valve marked with HULL PROTECTION PS or HULL PROTECTION SB located in vessel's trunk
 - Both valves are located on the Starboard side wall among pipes
 - Open – Valve 813.199 (PS) or 813.200 (SB), located under bunker station drip tray
 - Water flow adjustment is done by opening or closing valve 813.199 (PS) or 813.200 (SB)
 - For pressure control open anchor flushing valve(s)
 - Start Emergency fire pump
 - Stop the Emergency fire pump
 - In wintertime, keep in mind freezing factor. Possible solutions:
 - Start hull protection, when bunkering starts
 - Keep water flowing after test
12. Close TCS bilge drain valves
13. From FGSS main panel in ECR: Select Operator on TANK PS and / or TANKS SB to define which tank(s) are bunkered.
 - a. Selecting operator on TANK mimic(s), operator defines which tank(s) will be loaded during bunkering operation
 - Effect: The tank valves on the selected tank(s) are released for manual operation. Additionally, the Bunker mode selector software button group HY7500 is released on BUNKER mimic
14. From FGSS main panel in ECR: On BUNKER mimic select PS or SB to define which bunker manifold is being used for bunker operation
 - This step defines which bunker station is going to be used for bunkering, and connected to bunker facility
15. Notify the crew of the LNG bunkering with appropriate means, and inform them about the dos and don'ts and means of escape
 - By informing crew of LNG bunkering, they can be safe during operation even if they are not part of the operation
16. Prepare the bunkering exclusion zone, and mark it appropriately
 - Marking bunkering exclusion zone, gives people indication to keep away from bunker area
 - Keeping everyone safe
17. Check bunker stations not in use, that all valves and flanges are closed
 - By checking bunker station's valves, one can be certain that LNG doesn't go where it shouldn't
18. Check that Bunkering signal is displayed
 - Signal flag gives visual indication to other vessels that transfer of dangerous cargo is happening

Bunkering without vapour return

Purging and pressure test

19. Radio check between bunker station and bunker vessel
 - Performing radio check, person performing bunkering, can be sure that communication method works
20. Receive the bunker hose from bunker vessel in accordance with agreed method in JPBO and connect bunker hose to the manifold

21. Connect ESD-method agreed in JPBO (pendant or SSL-connection cable)
 - a. **SHORE FGES OVERRIDE** key must be switched **ON** and yellow **SHORE FGES OVERRIDE** indication light be illuminated
 - b. Connect agreed ESD-method to junction box in selected bunker station
 - SSL-connection is connected to SIGTTO FGES SHIP SHORE LINK SOCKET 1 or 2
 - **SHORE NORMAL** green indication light is illuminated on FGSS main panel
 - ESD-pendant is connected to PENDANT LINK SOCKET
 - **SHORE NORMAL** Green indication light is illuminated on FGSS main panel and on pendant
 - c. Press **SHORE FGES TEST** button continuously
 - For SSL: On the bunker vessel red Indication light for ESD / FGES system is illuminated and on FGSS Main panel in ECR red **SHORE FGES ESD** indicator light is lit, and alarm signal is on
 - For pendant: On FGSS Main panel in ECR red **SHORE FGES ESD** indicator is illuminated, and red indicator light on pendant is lit, and alarm signal is on
 - d. ESD-connection now connected correctly
 - e. Release **SHORE FGES TEST** button -> green **SHORE NORMAL** indication light is lit
 - f. Turn **SHORE FGES OVERRIDE** key to **OFF** position -> Yellow **SHORE FGES OVERRIDE** indication light turns off

NOTE: Only use one ESD-method at a time

22. Perform ESD-alarm test
 - a. Open ESD valve **H7501 (PS)** or **H7502 (SB)**
 - b. Open valve **H5505 (PS)** and/or **H5605 (SB)**
 - c. Press **ESD ENGINE CONTROL ROOM** button or any other **LNG ESD** button -> ESD trip and alarm
 - d. Reset pressed ESD button
 - e. Press **RESET ESD** button on **FGSS main panel** in ECR
 - f. Reset LNG pumps from frequency converters on the **GAS FUELLED SHIPS SWITCHBOARD**
 - g. Start **WG pump** from **WG SYSTEM** mimic using **FGSS main panel**
 - h. Turn on **TRACE HEATING** from **AUXILIARY** mimic using **FGSS main panel**
23. Purge bunker hose and perform pressure test with agreed method – Bunker vessel leads purging and pressure test operation
 - a. Bunker vessel supplies N2 to bunker hose, and raises the pressure
 - b. When desired pressure in the hose is reached, bunker vessel directs you to open bunker vent valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - c. When pressure is released, close valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - Repeat process 4 times
 - d. For pressure test, bunker vessel supplies N2 to hose and raises the pressure.
 - e. When desired pressure is reached, check for leaks by using portable gas detector or soapy water.
 - f. With N2 pressure test release the pressure to Gas mast using valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
24. Open manual isolation valve **PL7507 (PS)** or **PL7508 (SB)**
 - a. Open manual isolation located at midship near LNG tanks

Bunkering

25. Start water curtain, and adjust the flow using valve **813.199 (PS)** or **813.200 (SB)**
 - a. If Emergency fire pump is not on, start the pump
 - b. Adjust water flow using valve **813.199 (PS)** or **813.200 (SB)**, located under bunker station trip tray
26. Open valve **H5505 (PS)** and/or **H5605 (SB)** from **FGSS Main Panel** in ECR
 - a. On FGSS main panel screen, in **BUNKER** mimic select valve by pressing on it -> valve control window opens
 - b. Select **MANUAL** operating mode
 - c. Press **OPEN** on status -> valve opens
 - d. Select **AUTO** operating mode

- e. Close valve control window
- 27. Change control to Bunker station LOP from **FGSS Main Panel** in ECR by selecting **LOCAL OPERATION** in **BUNKER** mimic
 - This changes control from ECR **FGSS Main Panel** to bunker station LOP
- 28. Open manual manifold valve **PL7505 (PS)** or **PL7506 (SB)**
- 29. Close and open tank top spray valve **H5503 (PS)** and/or **H5603 (SB)** to check the free movement of the valve(s)
 - Use bunker station LOP to operate the valve(s)
- 30. Open and close bottom filling valve **H5501 (PS)** and/or **H5601 (SB)** to check the free movement
 - Use bunker station LOP to operate the valve(s)
- 31. Open ESD valve **H7501 (PS)** or **H7502 (SB)**
 - Use bunker station LOP to operate valve
- 32. Crosscheck bunker line lineup with ECR
 - Crosscheck with ECR, that all remotely operated valves are open that needs to be
 - At the same time, check manual valve positions
- 33. confirm with bunker vessel, that bunkering can start at an agreed cooling down rate
 - Start cooling down
- 34. When cooling has reached -140°C, check that bunker station of unwanted icing and that flange connections are tight with portable gas detector
 - a. After cooldown is complete request LNG supplier to start liquid bunkering with agreed starting rate
 - Starting rate is 50 m³/h
- 35. Check that there are no leaks in bunkering line, and LNG goes to tanks
 - Request LNG supplier to ramp up the delivery rate to agreed rate
- 36. Monitor tank level(s) and keep tank pressure(s) lower than delivery pressure by adjusting the flow between tank top spray and bottom fill
 - By adjusting how open bottom filling valve(s) is and opening and closing top spray, one can manage pressure in tank
- 37. When 90 % of agreed bunker has been delivered, lower delivery rate to agreed topping up rate
 - Topping up rate is 50 m³/h
- 38. Confirm finishing of bunkering with bunker vessel, and close bottom filling valve **H5501 (PS)** and/or **H5601 (SB)**

Purging and disconnecting

- 39. Empty the bunker hose from LNG, with method agreed in JPBO
- 40. Close the ESD valve **H7501 (PS)** or **H7502 (SB)**, if not closed in hose emptying method
- 41. Purge the bunker hose, with method agreed in JPBO
- 42. Confirm from bunker vessel that bunker hose can be disconnected
- 43. Disconnect the bunker hose
 - Use nitrogen to blow icing off the hose connection
- 44. Stop the water curtain
 - Ask bridge or ECR to stop the Emergency fire pump via radio
- 45. Disconnect ESD-connection
 - a. Turn **SHORE FGES OVERRIDE** key to **ON** position -> Yellow **SHORE FGES OVERRIDE** indication light is illuminated
 - b. Disconnect ESD-connection from junction box in bunker station -> Red **SHORE FGES ESD** indication light is illuminated

Wrap-up

- 46. Close manual manifold valve **PL7505 (PS)** or **PL7506 (SB)**
- 47. Open bunker line drain valve **PL7509 (PS)** or **PL7510 (SB)**
 - Open the liquid bunker line drain valve to prevent excess pressure rise between ESD- and manual manifold valve
 - At this point, Bunker vessel can be let go

48. Inert / purge manifold
- Check that manifold valve **H7501 (PS)** or **H7502 (SB)** is closed
 - Connect N2 hose to manifold inerting connection
 - Open N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
 - Open manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - Raise the pressure inside the manifold to 5 bar -> See bunker line pressure from gauge **P7501-PI (PS)** or **P7502-PI (SB)**
 - Close manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - Release the pressure from manifold to Gast Mast via valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - Repeat steps d – g, 4 times
 - Close N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
49. Open bunker vent valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
- Open bunker vent valve to prevent pressure rise in manifold
50. Let the bunker line warm until all LNG has evaporated inside bunker line
- This process takes time, for example: Bunkering ends at night, letting the bunker line warm up till next morning/day
51. Inert / purge manifold
- Check that manifold valve **H7501 (PS)** or **H7502 (SB)** is closed
 - Connect N2 hose to N2 supply and manifold inerting connection, if not connected
 - Close bunker vent valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - Open N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
 - Open manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - Raise the pressure inside the manifold to 5 bar -> See bunker line pressure from gauge **P7501-PI (PS)** or **P7502-PI (SB)**
 - Close manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - Release the pressure from manifold to Gast Mast via valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - Repeat steps d – g, 4 times
 - Close N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
52. Disconnect MANNTEK, and attach blind flange to manifold
- Check that manifold pressure is 0 from pressure gauge **P7501-PI (PS)** or **P7502-PI (SB)**
 - If pressure is present release pressure to gas mast via valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - Disconnect MANNTEK from manifold
 - Take out inline filter
 - Place LNG gasket to manifold face
 - Connect blind flange to manifold
 - Tighten bolts reasonably tight with hand tools
53. Inert / purge manifold, and leave 1 bar pressure to manifold
- Check that manifold valve **H7501 (PS)** or **H7502 (SB)** is closed
 - Connect N2 hose to N2 supply and manifold inerting connection, if not connected
 - Open N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
 - Open manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - Raise the pressure inside the manifold to 5 bar -> See bunker line pressure from gauge **P7501-PI (PS)** or **P7502-PI (SB)**
 - Close manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - Release the pressure from manifold to Gast Mast via valve **IG7501 (PS)** or **IG7502 (SB)**
 - Repeat steps d – g, 4 times
 - Open Manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)** and raise the pressure inside the manifold to 1 bar and leave it there
 - When 1 bar is reached close the manifold inerting valve **PL7501 (PS)** or **PL7502 (SB)**
 - Close N2 supply valve **IG4001 (PS)** or **IG4002 (SB)**
 - Disconnect N2 hose
 - Be careful while disconnecting N2 hose, if pressure has not been released from the hose

54. Close bunker line drain valve **PL7509 (PS)** or **PL7510 (SB)**
55. Close manual isolation valve **PL7507 (PS)** or **PL7508 (SB)**
56. Change control from Bunker station LOP to **FGSS Main Panel** in ECR by selecting **REMOTE OPERATION** in BUNKER mimic
57. Open TCS bilge drain valves
58. Close valve **H5505 (PS)** and/or **H5605 (SB)** from **FGSS Main Panel** in ECR
 - a. On FGSS main panel screen, in BUNKER mimic select valve by pressing on it -> valve control window opens
 - b. Select Manual operating mode
 - c. Press CLOSE on status -> valve closes
 - d. Select AUTO operating mode
 - e. Close valve control window
59. From FGSS main panel in ECR: On BUNKER mimic select OFF
60. From FGSS main panel in ECR: Select OFF on TANK PS and / or TANKS SB
61. Vessel ICCP – Cathodic hull protection switched **ON**
 - a. Switch on vessel's ICCP-Cathodic protection by turning main power supply to system on main cabinet, which is located on port side on platform deck in engine room, next to bilgewater separator
62. Dismantle bunkering arrangements, and store equipment
63. Toolbox talk with personnel who took part in the bunker operation
 - Have a discussion with personnel, who took part in the operation and discuss:
 - Lessons learned and best practices
 - Near misses
 - Suggestions for improvement