

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

2021

RISTEILYALUKSEN
NESTEYTETYN
MAAKAASUPOLTTOAINEEN
TUULETUSJÄRJESTELMÄ

Riku Höglund

RISTEILYALUKSEN NESTEYTETYN MAAKAASUPOLTTOAINEEN TUULETUSJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena on keskittyä tehostamaan jo olemassa olevaa risteilyaluksen LNG-polttoainejärjestelmän tuuletusta käyttöönoton näkökulmasta. Nestemäisen maakaasun tuuletusjärjestelmän tehokas ja oikeanlainen toiminta on tärkeää, jotta työntekijöiden turvallisuus voidaan taata ja jotta laitteiston toimintaa voidaan optimoida. Lisäksi opinnäytetyössä kerrotaan yleisesti nesteytetystä maakaasusta ja sen käytöstä polttoaineena risteilyaluksessa. Nestemäinen maakaasu on kasvattanut suosiotaan, sillä se on vähäpäästöisin käytössä oleva polttoaine tänä päivänä.

Työssä käsitellään myös nestemäiseen maakaasuun ja sen käyttöön liittyviä riskejä. Riskien minimoimiseksi ja turvallisen työympäristön takaamiseksi eri tahot ovat laatineet standardeja ja säädöksiä, jotka esitellään tässä opinnäytetyössä. Työn lopussa syvennytään nestemäisen maakaasun tuuletusjärjestelmään ja sen tehostamiseen.

Työn tuloksena syntyi parannusehdotuksia LNG-tuuletuksen putkikanaviin. Näillä muutoksilla pyritään parantamaan jo olemassa olevaa järjestelmää. Parannusehdotukset ovat yksikertaisia ja täten helposti toteutettavissa.

ASIASANAT:

nesteytetty maakaasu, tuuletus, risteilyalus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering

2021 | 34 pages

Riku Höglund

LNG VENTILATION SYSTEM IN CRUISE SHIP

The aim of this thesis was to enhance the current liquid natural gas ventilation plant in cruise ships. Ventilation in liquid natural gas fuel system ensures the safety of workers and helps the optimize operation of devices. In addition, this thesis covers the basics of liquid natural gas as a fuel in cruise ships, as the popularity of LNG rises due to its favorable emission profile.

In the beginning of this thesis the basic theory of LNG and its utilization as a fuel are presented. Possible risks of LNG fuel and different international rules and regulations for risk minimization are introduced. Finally, suggestions on how to increase ventilation airflow in a particular fan are introduced.

The result was improvement suggestions to pipelines in insufficient LNG ventilation system. Improvement suggestions are simple and thus possible to execute.

KEYWORDS:

Liquid natural gas, ventilation, cruise ship

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
JOHDANTO	7
1 LNG RISTEILYALUKSESSA	8
1.1 Yleistä	8
1.2 LNG polttoaineena	10
1.3 LNG-säiliöt	12
1.3.1 Irralliset säiliöt	13
1.3.2 Kiinteät runkosäiliöt	14
1.4 LNG-tankkaus	14
2 TURVALLISUUS JA RISKITEKIJÄT	16
2.1 LNG-tuuletuksen tavoitteet	16
2.2 Kaasuvuodot	16
2.3 Höyrystyvä kaasu	17
2.4 Kaasun kerrostuminen säiliössä	18
2.5 Säädökset	19
2.5.1 Luokituslaitoksen määräykset	19
2.5.2 IMO	20
3 LNG-TUULETUS	21
3.1 Komponentit	22
3.2 Tuuletusjärjestelmän käyttöönotto	24
3.3 Ilmamäärän säätö	27
5 TUULETUKSEN TEHOSTAMINEN	28
6 YHTEENVETO	31
LÄHDELUETTELO	1

LIITTEET

Liite 1. Kaasutiivisteiden vuoto.

KUVAT

Kuva 1. LNG Polttoainejärjestelmä.

Kuva 2. Toimintaperiaate kaasukoneella.

Kuva 3. Tankkien muodot.

Kuva 4. Kaasun kerrostuminen.

Kuva 5. Aksiaalipuhaltimen optimaalinen toiminta-alue.

Kuva 6. Keskipakopuhaltimen optimaalinen toiminta-alue.

Kuva 7. Puhaltimet

Kuva 8. Ylimääräinen putkilinja.

Kuva 9. Supistuskuva.

Taulukot

Taulukko 1. Maakaasun koostumus

Taulukko 2. Maakaasun ominaisuudet

Taulukko 3. Ilmamäärät

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

ACH	Ilmamäärän vaihtuvuus tunnissa (air changes per hour)
BOG	Höyrystyvä kaasu (Boil-Off-Gas)
EMSA	Euroopan meriturvallisuusvirasto
ESD	Hätäsammutusjärjestelmä (Emergency Shut Down)
FSHS	Polttoaineen säilytystila (Fuel Storage Hold Space)
GCU	Kaasun polttoyksikkö (Gas Combustion Unit)
GVU	Kaasuventtiiliyksikkö (Gas Valve Unit)
HFO	Raskas polttoöljy (Heavy fuel oil)
IGF	Kansainväliset turvallisuussäännöt kaasuille tai muille matalan leimahduspisteen polttoaineilla toimiville aluksille
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (International maritime organization)
LNG	Nesteytetty maakaasu (Liquid natural gas)
RPT	Nopea siirtymisvaihe (Rapid phase transition)
TCS	Tankin liitäntöjen tila (Tank connection space)

JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee risteilyaluksen nesteytetyn maakaasun eli LNG:n tuuletusjärjestelmää sekä kuvaa LNG:n käyttöä polttoaineena. Kaasumainen maakaasu nesteytetään, jolloin kaasun tiheys kasvaa noin 600-kertaisesti. Perinteisempiin polttoaineisiin verrattuna LNG on päästöiltään edullisin. Nesteytetty maakaasu täyttää alati tiukentuvat kansainväliset vaatimukset ollen samalla hinnaltaan hyvin kilpailukykyinen.

Käyttöönottovaiheessa laivan LNG-tuuletusjärjestelmässä ilmeni riittämätöntä tuottoa yhden puhaltimen osalta. Tässä opinnäytetyössä perehdytään riittämättömän tuoton vaikutuksiin sekä käsitellään tehostus ehdotuksia. Puhaltimien riittämätön tuotto heikentää kaasutilojen turvallisuutta, mikä voi aiheuttaa henkilö- ja materiaalivahinkoja. Puutteellinen LNG-polttoaineen tuuletus lisää riskiä helposti syttyvien höyry- ja kaasukertymien syntymiselle, mikä puolestaan lisää räjähdysriskiä laivassa. Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää jo olemassa olevaa risteilyaluksen LNG-tuuletusjärjestelmää, uuden järjestelmän luomisen sijaan. Kehitysideat keskittyvät systeemin rakenteelliseen puoleen, eivätkä niinkään sen toiminnalliseen osaan. Opinnäytetyössä keskitytään löytämään ratkaisuja tuuletusjärjestelmässä oleviin mahdollisiin ongelmakohtiin. Täten tulevissa laivaprojekteissa kyseiset ongelmat voidaan ratkaista tehokkaasti.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Meyer Turku OY kanssa. Opinnäytetyön työkohteena on Carnival Cruiselin risteilyalus Mardi Gras, joka luovutettiin tilaajalle joulukuussa 2020.

1 LNG RISTEILYALUKSESSA

1.1 Yleistä

LNG:n eli nesteytetty maakaasun kysyntä on kasvanut suuresti viime vuosina, sillä se on puhtain fossiilinen polttoaine verrattuna dieseliin ja raskaaseen polttoöljyyn. Alun perin LNG-polttoainetta käytettiin pääsääntöisesti vain LNG-tankkereissa, mutta nykyään kyseisen polttoaineen käyttö on yleistynyt muissakin laivatyypeissä. LNG koostuu suurimmaksi osaksi metaanista ja nestemäisistä hiilivedyistä. LNG:n tarkka koostumus riippuu kuitenkin sen lähteestä ja jalostusprosessista. Kiinteän maakaasun muuttaminen nestemäiseen muotoon on välttämätöntä, sillä kaasumaisessa muodossaan maakaasu vaatisi niin suuret tilat, että niitä ei ole mahdollista sijoittaa laivaan. Kuljetusta ajatellen kaasun muuttaminen kaasumaisesta nestemäiseksi vähentää kustannuksia ja lisää turvallisuutta. Maakaasun nestemäinen olomuoto saavutetaan, kun kiinteää maakaasua jäähdytetään -160 °C :n lämpötilaan ja varastoidaan samassa lämpötilassa. Tämän vuoksi LNG-systeemissä käytettyjen materiaalien onkin kestettävä kryogeenisiä lämpötiloja. Pelkkä metaanipitoisuuden vähentäminen ei riitä nestemäisen olomuodon saavuttamiseksi, vaan jäähdyttäminen on aina välttämätöntä. Nestemäisenä maakaasu vie noin 1/600 kiinteän maakaasun tilavuudesta. (unionsas 2017)

Taulukko 1. Esimerkkejä maakaasun koostumuksesta (Unionsas 2017).

Aineet	Kemiallinen kaava	Pitoisuus (mooli-%)
Metaani	CH_4	87 - 98
Etaani	C_2H_6	1,8 - 9,0
Propaani	C_3H_8	0,1 - 1,5
Butaani	C_4H_{10}	0,01 - 0,3
Pentaani	C_5H_{12}	0 - 0,14
Heksaani	C_6H_{14}	0 - 0,06
Happi	O	0 - 0,2
Typpi	N	0 - 0,5

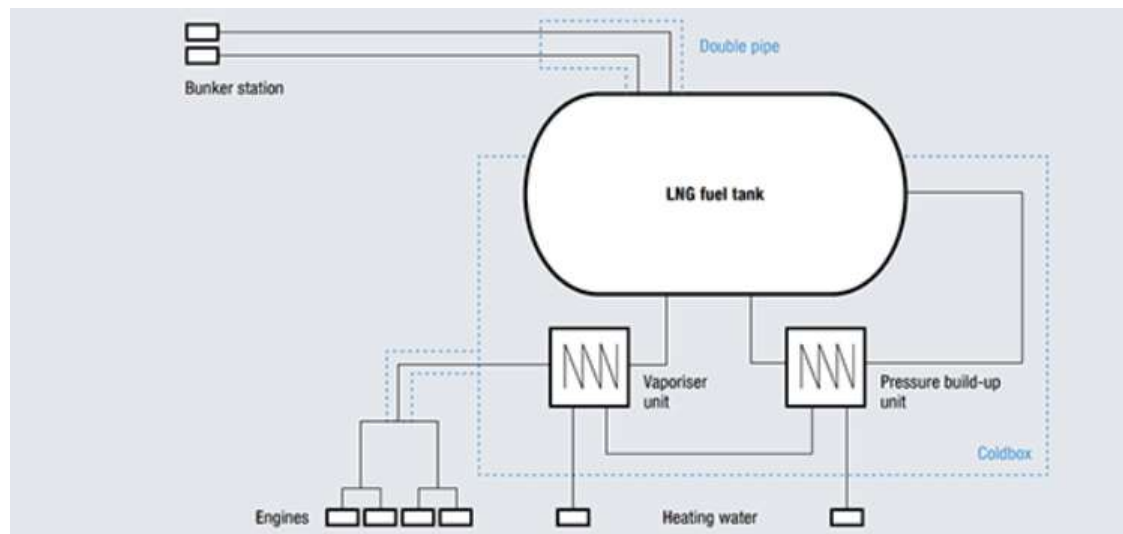
Verrattuna muihin fossiilisiin polttoaineisiin maakaasun käyttö vähentää huomattavasti hiukkas- ja hiilidioksidipäästöjä sekä hävittää lähes kokonaan rikki- ja hiilipäästöt. Maakaasu on lisäksi turvallinen, luotettava ja kustannustehokas polttoaine. Maakaasu on hajuton ja väritön, joka on tiheydeltään ilmaa pienempi. Vuototilanteissa se haihtuu nopeasti rakenteisiin ja täten takaa turvallisen työympäristön. (Nortegas,2017) Nykyään nesteytetty maakaasua voidaan hyödyntää monella eri alalla sen puhtaan palamisen vuoksi.

Taulukko 2. Tyypillisiä maakaasun ominaisuuksia (Uniongas 2017).

Syttymispiste	564°C
Syttymisraja (ilman tiheys %)	4 %-15 %
Teoreettinen liekin lämpötila	1953°C
Maksimi liekin nopeus	0,36 m/s

1.2 LNG polttoaineena

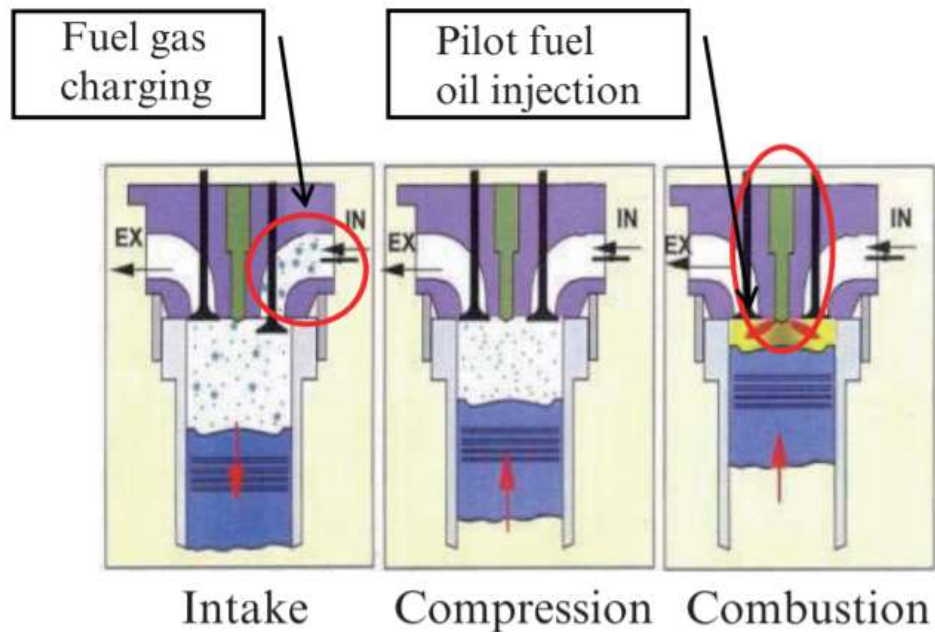
LNG-polttoaineesta voidaan tuottaa kahta erilaista kaasua: pakotettua BOG-kaasua sekä luonnollista BOG-kaasua. Nämä kaasut eroavat toisistaan sekä käyttökohteiden että valmistustapojen osalta. Nesteytetyn maakaasun ollessa tankissa luonnollinen BOG-kaasu otetaan talteen tankin yläosasta, sillä siellä olevalla kaasulla on suurempi metaanipitoisuus sekä pienempi typpipitoisuus. Tämä takaa paremman nakutuksen keston (knocking resistance). Polttoaineen nakutuksenkesto tarkoittaa sen kykyä olla



Kuva 1. LNG polttoainejärjestelmä (MAN)

syttymättä itsestään ja olla palamatta hallitsemattomasti, kun polttoaine on puristuksessa. Se myös tarkoittaa, että koneessa polttoaineen ja ilman sekoitus syttyy sekä kipinästä että puristuksesta. Tähän ilmiöön vaikuttaa oktaanien osuus polttoaineessa. Suuri oktaanimäärä voi tehostaa koneen tuoton hyötysuhdetta ja täten myös koneiden toimintakykyä. Pakotettu BOG-kaasu on puolestaan uutettu tankin pohjasta ja haihdutettu erikseen. (Marquard & Bahls, n.d)

Kaksipolttoainemoottori on pääosin kaasulla toimiva kone, jossa sytytys aloitetaan pienellä määrällä pilottipolttoainetta. Työntövaiheessa kaasun ja ilman seos syötetään sylinteriin, josta seos puristetaan sytytystä varten. Sytytys tapahtuu sylinterin puristusvaiheen, jolloin lisätään pieni määrä pilottipolttoainetta.



Kuva 2 Kaksipolttoainemoottorin toimintaperiaate sen toimiessa kaasulla (JFE 2014).

Korkeapaineisen dieselsyöttämisen etuja ovat parempi lämmön hyötysuhde ja koneen teho. Korkeapaineisilla dieselsyöttäisillä moottoreilla pyritään saavuttamaan parempi energiatehokkuus, polttoaineen korkean puristussuhteen avulla. Tämä puristussuhde, pyritään pitämään korkealla, koska se mahdollistaa koneen hyödyntämään enemmän mekaanista energiaa ilman ja polttoaineen sekoitusmassasta, Korkeapaineisessa moottorissa sytytys tapahtuu pilottipolttaineella, minkä jälkeen BOG-kaasu syötetään suoraan korkeapaineisena sylinterille. Paine näissä moottoreissa on 250-300 baarin luokkaa. Korkeapaineisessa syöttämisessä kaasun ei tarvitse olla niin korkealaatuista kuin matalasyöttäisessä. (Bakas ym. 2018).

Matalapaineisen moottorin etuja ovat typpioksidipäästöjen vähäisyys sekä pienet investointi- ja käyttökulut. Matalapaineisen dieselsyöttäisen moottorin kaasuseos on puhdas homogeeninen seos, joka palaa matalalla lämpötilalla kammiossa. Tämän seurauksena typpioksidipäästöjen määrä on vähäinen, jopa ilman jälkikäsitelystä. Koneelle syötettävän kaasuseoksen ilmamääräsuhte on melko

suuri. Kaasun syöttö koneelle tapahtuu pienellä n. 5-16 bar paineella. Kun sylinterin mäntä on noin puolessa välissä iskua, syöttöpaineen ei kuuluisi nousta missään vaiheessa yli 16 bar:in. Tällöin palokammiossa on suhteellisen pieni paine. (Huan, ym 2018).

1.3 LNG-säiliöt

Säiliöt, joissa LNG:tä säilytetään, ovat eristetty niin, että ne pysyvät -160 °C :n lämpötilassa. Tällöin voidaan varmistaa, että LNG pysyy nestemäisenä. Tankkien kuivaus ylimääreisestä vedestä sekä vesihöyrystä on pakollista, jotta vesi ei jäätyisi tankeissa ja LNG pysyisi nestemäisessä olomuodossaan. Lisäksi tankkien happipitoisuutta pitää laskea, sillä pitoisuuden tulee olla alle 8 % tankeissa, joissa säilytetään syttyviä aineita. Tämä tapahtuu syöttämällä tankeihin inerttiä kaasua, joka on tavallisimmin typpeä, Typpi on kevyempää kuin happi, minkä vuoksi happi laskeutuu tankin pohjalle, josta se pääsee putkien kautta pois. Kaasun syöttö tapahtuu pienellä kiihtyvyydellä, jotta syötössä ei synny turbulenttia virtausta

LNG-tankkeissa on aina niin sanottu TCS-tila (Tank Connection Space), joka sisältää kaikki tankin liitännät ja venttiilit. Tila on myös kaasutiivis suhteessa vieressä oleviin tiloihin. TCS-tilan tulee olla suunniteltu niin, että vuototilanteessa (IGF) se kestävä tankista tulevan maksimipaineen. LNG-säiliöt ovat aina sijoitettuna FSHS:ään, joka toimii polttoaineen säilytystilana kaasulle.

LNG-tankkeja on kolme erilaista tyyppiä: A-, B- ja C-tyypin tankit. Tämän lisäksi tankit voidaan jakaa paineistettuihin ja ei-paineistettuihin tankeihin. A- ja B-tyypin tankit ovat ei-paineistettuja ja ne eroavat toisistaan muodon ja rakenteen suhteen. Tyypin C tankit puolestaan ovat paineistettuja noin 10 bar:in paineeseen. Paineistuksen tarkoituksena on työntää LNG höyrystimen ja lämmitinyksikön läpi. Kaasu lämmitetään ja sen paine varmistetaan ennen kuin se voidaan syöttää koneelle (Rickhard Ternblom n.d).

1.3.1 Irralliset säiliöt

Irralliset säiliöt ovat tankkeja, jotka eivät ole osana laivan kiinteää runkoa. Täten ne eivät myöskään vaikuta keskeisesti laivan rungon vahvuuteen. IGF-koodin mukaan irralliset säiliöt jaetaan kolmeen eri ryhmään, joita ovat tyyppin A-, B- ja C-tankit.

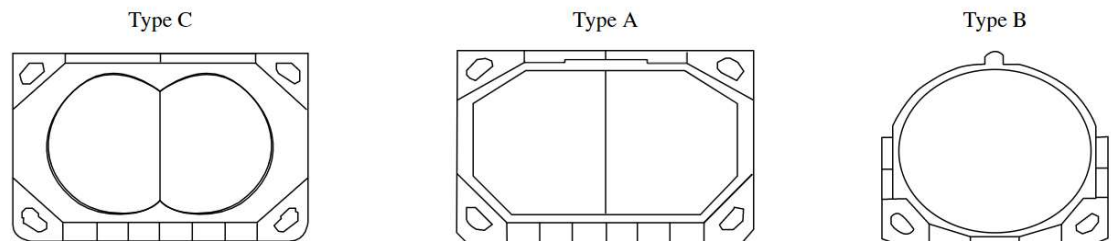
Muodoltaan tyyppin A tankki on kaikilta pinnoiltaan tasainen ja runkoon on asennettu koko tankin osalta kaksoisseinämä. A-tyypin tankit ovat usein sijoitettuna pitkittäissuuntaisesti laivan runkoon nähden, mikä vähentää tankissa syntyvien aaltojen määrää ja täten parantaa laivan poikittaissuuntaista vakautta. Tankkeihin on myös usein lisätty pienet väliläipiot aaltojen estämiseksi. A-tyypin tankeissa tulee lisäksi olla kaksoisseinämät, jotta mahdollisessa kaasuvuototilanteessa höyryntynyt kaasu pystytään keräämään hallittuun tilaan. Tyypillisesti A-tyypin tankit soveltuvat hyvin tankkaamiseen, sillä ne ovat kooltaan suurin tankkityyppi. (Chorowski, ym 2015)

B-tyypin tankit puolestaan ovat yleensä muodoltaan pallomaisia. Ne voivat kuitenkin A-tyypin tankkien tapaan olla suorista pinnoista koostuvia. Pallomainen tankki on sijoitettu laivan runkoon siten, että vähintään puolet tankin tilavuudesta on yli pääkannen. B-tyypin tankkien suunnittelukriteerit perustuvat tekijöihin, joita ovat materiaalin väsyminen, halkeamisen etenemisen ominaisuudet sekä kuormitustasot. Rakenteellisessa analyysissä huomioidaan staattisten ja dynaamisten kuormien vaikutussopivan rakennusmateriaalin määrittämiseksi. B-tyypin tankin suunnittelupaine ei saa nousta yli 1bar:in (Kokarakis 2015).

C-tyypin tankit muodostuvat kahdesta eri osasta, joiden väliin on jätetty toisiinsa nähden eristetty ja alipaineistettu tila. Muihin tankkeihin verrattuna ne ovat raskaampia ja varustettu paksummilla seinämillä. Paksumpien seinämien vuoksi kaksoisseinämä ei ole välttämätön tässä tankkityypissä. Kaasunvuototilanteessa vuodot ilmenevät TSC:ssä, johon ollaan syötetty yleensä tyyppiä ja asennettu anturi, joka arvioi tyyppien koostumusta tilassa. Suunnittelupaine on alle 10 bar. (Kokarakis, Ym 2015)

1.3.2 Kiinteät runkosäiliöt

Toisin kuin aiemmin mainitut säiliötyypit, runkosäiliöt ovat kiinteänä osana laivan runkoa. Membraanisäiliön ympärillä sijaitsevat kaksoisseinämät sekä 0,7–1,5 mm paksuinen ensisijainen kalvoseinä. Mahdollisessa ensisijaiseen kalvoon liittyvässä kaasuvuodossa kaksoisseinä takaa sen, että kaasu ei pääse etenemään muihin tiloihin. Kalvoon kohdistuva kuormitus ei saa vaikuttaa liiaksi kalvon ominaisuuksiin lämpölaajenemisen tai muun laajenemisenvälityksellä (GIIGNL 2014).



Kuva 3 Tankkien tyypilliset muodot (GIIGNL 2014)

1.4 LNG-tankkaus

LNG-tankkaus tarkoittaa vaihetta, jolloin laivan LNG-säiliöt täytetään. Ennen tätä vaihetta laivan kaasutilojen tuuletuksen pitää olla kunnossa. Tankkauksen yhteydessä pitää tuuletuksen lisäksi varmistaa myös laitteiden liittimien keskinäinen yhteensopivuus sekä tarkistaa, että ESD on linkitetty ERS:ään. (Slotte 2017)

Systeemi valmistellaan hitaasti tapahtuvalla esijäähdytyksellä. Hidas jäähdyttäminen takaa systeemin tasaisen jäähtymisen sekä ehkäisee putkien halkeilua. Tässä vaiheessa paineen ja lämmön tarkkailu on tärkeää, jotta maakaasu pysyy nestemäisenä. Jäähdytyksen jälkeen voidaan aloittaa inertin kaasun syöttäminen systeemin. Inertin kaasun tarkoituksena on poistaa tankeista ja putkista ylimääräinen kosteus ja happi. Tämä on tärkeää systeemin oikeanlaisen toiminnan ja turvallisuuden kannalta. Kosteus aiheuttaa tankeissa ja putkissa jäätymistä, mihin on vaikeaa puuttua jälkeenpäin. Ylimääräinen happi puolestaan on saatava pois systeemistä, jotta räjähdysvaaraa voidaan minimoida. Inertti kaasu poistetaan systeemistä tapahtuu syöttämällä LNG:tä siihen asti, että se täyttää systeemin tilavuudesta noin 98%. Täyttämisvaiheessa tankin paine pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, sillä paineen ollessa suuri pumppujen pitää tehdä enemmän työtä. Tällöin täyttäminen ei ole kustannustehokasta. Tankkien

täyttö aloitetaan siksi tankin yläpäästä ja pohjasta vasta, kun sopiva paine on saavutettu. Toimenpidettä jatketaan siihen asti, kunnes tankki on saavuttanut systeemille suunnitellun täyttörajan. Lopuksi venttiilit suljetaan ja ylimääräinen polttoaine poistetaan letkuista ennen liitinten poistamista (Emsa 2018). LNG:n tankkaustapoja ovat toisesta aluksesta, varastosta, rekasta säiliöstä sekä terminaalista tankkaaminen (työturvallisuuskeskus).

2 TURVALLISUUS JA RISKITEKIJÄT

2.1 LNG-tuuletuksen tavoitteet

Koneet vaativat riittävän ilmanvaihdon, jotta ne voivat toimia optimaalisesti ja turvalliset työtilatpuolestaan estävät mahdolliset henkilö- ja materiaalivahingot. Pelkkä luonnollinen ilmanvaihto, kuten tuulen tai lämmön aiheuttama ilmanvaihto, ei ole riittävää. Tämän vuoksi mekaanista ilmanvaihtoa tarvitaan aina, jotta tilojen turvallisuus voidaan varmistaa. Puhaltimilta on aina saatava riittävä ilmanvaihto niitä varten suunnitelluille tiloille, sillä alituotto lisää turvallisuusriskejä. Riittävä ilmanvaihto on tarjottava aina asianmukaisista niille suunnitelluista palopelleistä, jotka pystyvät toimimaan riippumatta niihin kohdistuvasta kuormasta tai sääoloista. Sopiva ilmavaihto takaa sen, että tiloihin ei synny räjähdysvaaraa aiheuttavia kaasu- tai höyrykertymiä. Tuuletussysteemiä suunniteltaessa huomioonotettavia seikkoja ovat tilojen paineet ja lämpötila, luokan säädökset, turvallisuus, sekä systeemin ylläpitoon liittyvät seikat.

Tuuletustilat ovat jaettu turvallisiin ja räjähdysherkkiin kaasutiloihin. Räjähdysherkät tilat sisältävät kolme luokkaa riippuen siitä, kuinka usein niissä ilmenee kaasua. Normaalisissa käytössä kaasutiloissa on oltava 15 ilmanvaihtoa tunnissa. Systeemiin on asennettu kaasuanturit, jotka ilmoittavat kaasuvuodoista. Kyseisissä tilanteissa tiloissa on suoritettava 30 ilmavaihtoa tunnissa (ACH). Koska kaasutilat vaativat mekaanisen tuuletuksen, niille on omat itsenäisesti toimivat tulopuhaltimet, jotka takaavat turvallisuuden kaasuvuototilanteessa.

2.2 Kaasuvuodot

LNG-vuodot voivat aiheuttaa monia vaaratilanteita johtaen esimerkiksi ympäristöhaittoihin, henkilövahinkoihin tai laivaan kohdistuviin vahinkoihin. Vuotojen paikantaminen voi olla vaikeaa, sillä LNG on hajutonta ja väritöntä. Tästä johtuen kaasunkäsittelytiloissa työskentelevien henkilöiden tulisi kantaa mukanaan kaasuhälytintä. Kaasuvuodon havaitsemisen helpottamiseksi kaasuun on myös mahdollista lisätä tuoksuja aineita, kuten tetrahydrotiofeeniä (GIIGNL 2014). Kun

LNG:tä pääse vuototilanteessa maahan, se absorboi lämpöä ja haihtuu nopeasti johtuen ilman ja LNG:n suuresta lämpöerosta. LNG:n haihtuessa hitaasti se muodostaa höyryä, joka korvaa ilman ja täten muodostaa tukahduttavan höyrypilven. Tämän höyryn vaikutus lakkaa vasta kun se nousee tilassa ylöspäin ja haihtuu lämmön vaikutuksesta. (De-zhi Zhu, 2014).

Kun LNG:tä vuotaa suuria määriä veteen, tapahtuu niin kutsuttu rapid phase transition (RPT), jossa maakaasu jää vettä kevyempänä veden pinnalle ja alkaa haihtua. Tämä voi pahimmillaan johtaa jopa räjähdykseen. Kun LNG levittyy veden pinnalle, aineiden väliin syntyy höyrykalvo, joka estää aineita koskettamasta toisiaan. Haihtumisprosessi hidastuu kalvon toimiessa eristeenä, eikä tällöin tapahdu räjähdystä. Räjähdys saa alkunsa vasta, kun kalvossa tapahtuu äkillinen muutos kiehumisessa. Mikäli LNG saa olla veden pinnalla liian pitkään, sen lämpötila nousee ja tapahtuu räjähdys (Sintef, 2018).

2.3 Höyrystyvä kaasu

Boil-off-kaasua (BOG) syntyy, kun nestemäinen maakaasu höyrystyy kaasuksi. Boil-off-kaasua esiintyy kovassa merenkäynnissä sekä tankkaus- ja säilytystilanteissa. LNG-aluksissa BOG-kaasun syntyminen on väistämätöntä ja BOG-kaasua höyrystyy säiliöiden nestetilavuudesta noin 0,15 % päivässä. Tämä höyrystyminen luo haasteita kaasunkäsittelyyn sekä maalla että merellä. Boil-off-kaasun määrään vaikuttavat sää- ja meriolosuhteet, tankin ympäröivästä tilasta tulevat lämpövuodot sekä alustyyppi. Nestemäistä maakaasua kuljetetaan säiliössä, joiden lämpötila on -160°C ja jolloin kaasu on melko lähellä höyrystymispistettä. Yleisin LNG:n säilytykseen liittyvä riski liittyy ulkoisen lämpötilan vaikutukseen. Tankin ulkopuolelta tuleva lämpö saattaa johtaa nesteen haihtumiseen. Lämpötilan noustessa neste muuttuu kaasuksi, minkä seurauksena tankin paineen hallinta voi vaikeutua. Kaasutankkien ympäröivien tilojen lämpötilojen hallinta sekä BOG-kaasun uudelleennesteytys ja palautus tankkeihin ovat tapoja, joilla painetta voidaan hallita. (Nygård, 2016)

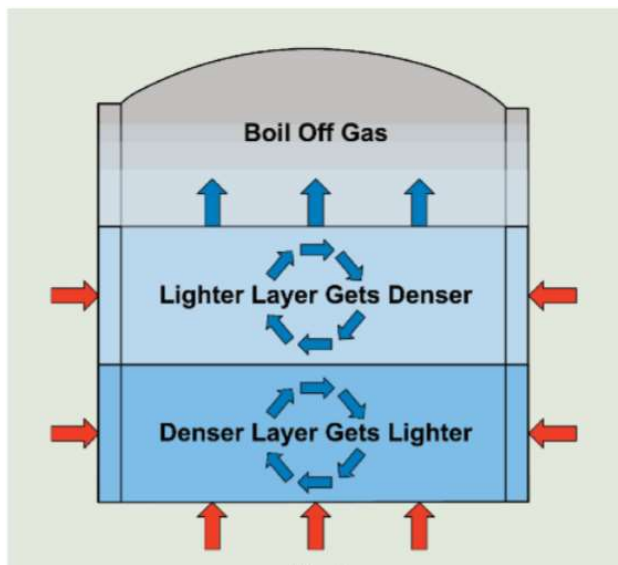
Edellä mainitun mekanismin lisäksi boil-off-kaasua voi syntyä, kun tankissa oleva neste liikkuu ja luo systeemille mekaanista energiaa. Tämä aiheuttaa energian haihtumista turbulenssin vaikutuksesta. Myös LNG-aluksen tankkauksessa voi syntyä boil-off-

kaasua. Tässä tilanteessa aluksen ja tankkausaseman välinen mahdollinen on paine-ero voi johtaa LNG:n lämpötilan laskuun ja BOG-kaasun muodostumiseen. (ascenz, n.d)

2.4 Kaasun kerrostuminen säiliössä

Rollover-termi kuvaa tilannetta, jossa nestemäistä maakaasua muodostuu säiliöön kahdeksi eri kerrokseksi, ja tuloksena voi muodostua boil-off-kaasua. Kerrostuminen on mahdollista vain, jos tankissa jo olevan kaasun tiheys on eri kuin sinne syötetyn uuden kaasun tiheys. Myös kaasujen lämpötilalla on vaikutusta. Tyypillisesti uuden kaasun tiheys on suurempi kuin tankissa jo ennestään olevan. Tankkiin tulevan uuden kaasun virtaus johdetaan yleensä tankin pohjasta, jolloin raskaampi uusi kaasu jää tankin pohjalle. (Rod Mclennan 2018)

Muodostuttuaan kaasukerrokset ovat vakaita ja voivat pysyä tässä muodossa pitkäänkin. Kerroksien lämpötilaltaan ja tiheydeltään erilaiset komponentit voivat siirtyä rajapintojen välillä. Ylempi kerros absorboi itseensä lämpöä sekä tankin sivuista että pohjasta johtaen pinnalla olevan kaasun haihtumiseen. Alempi kerros myös kerää lämpöä tankin sivuista ja pohjasta mutta se voi siirtää lämmön ainoastaan kerroksien väliin. Tämä johtaa pohjan lämpenemiseen, sillä systeemi siirtää enemmän lämpöä kuin mitä siitä poistuu haihtumalla



Kuva 4 Kaasun kerrostuminen (GIIGNL 2014)

Kerrostumista ei pystytä kokonaan estämään, mutta sitä pystytään hallitsemaan. Tankkien täyttövaiheessa voidaan vähentää kerrostumista esimerkiksi sekoittamalla. Tämä tapahtuu syöttämällä raskaampaa kaasua tankin yläosasta tai kevyttä kaasua tankin pohjasta. Mikäli mahdollista, LNG:tä voidaan myös säilyttää eritankeissa, jos kyseiset nestemäiset maakaasut eroavat toisistaan koostumuksiltaan. (GIIGNL 2014)

2.5 Säädökset

2.5.1 Luokituslaitoksen määräykset

Rina on italialainen luokituslaitos, jonka tehtävänä on varmistaa, että laivaprojektien laatu noudattaa säädöksiä ja standardeja.

Kaasunkäsittelytilat on jaettu Rinan toimesta kolmeen luokkaan riippuen niiden käyttötarkoituksesta. Luokittelu perustuu siihen, kuinka paljon tiloissa on kaasua ja kuinka suuri tilojen räjähdysriski on.

Zone 0 on tila, jossa kaasua esiintyy jatkuvasti ja räjähdysriski on suurentunut. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi LNG-bunkkeriasema sekä LNG-säiliöt.

Zone 1-tiloissa kaasua esiintyy vaihtelevasti riippuen järjestelmien normaalista toiminnasta. Näitä tiloja ovat TCS, FSHS sekä kaasukäsittelytilat.

Zone 2-tiloissa ei esiinny kaasua järjestelmien normaalissa toiminnassa. Esimerkkejä näistä tiloista ovat airlock ja LNG- puhallinhuone.

Kaasutiloihin yhteydessä olevat airlockit tulee aina olla ylipaineistettuja suhteessa niiden vieressä oleviin kaasutiloihin. Airlockit on suunniteltava niin, että kaasuvuodon yhteydessä kaasu ei pääse etenemään turvallisiin alueisiin, kuten esimerkiksi hyttikäytäviin. Uloskäyntien tulee olla sijoitettuna niin, että ne ovat vähintään 1,5 metrin, mutta enintään 2,5 metrin päässä toisistaan. Airlockin pitää olla muodoltaan yksikertainen, eikä kyseisiä tiloja saa käyttää muihin tarkoituksiin, kuten varastotiloina. (RINA Part C,2020)

2.5.2 IMO

IGF-säädökset koskevat aluksia, jotka toimivat kaasulla tai muulla matalan leimahduspisteen omaavalla polttoaineella. Säännöt koskevat konetilojen asennuksia, laitteita ja järjestelmiä. IGF-koodin tavoitteena on turvata miehistön ja matkustajien turvallisuus sekä pitää huolta ympäristövaikutuksista. Tässä kappaleessa käydään läpi tärkeimmät LNG-tuuletukseen ja LNG:hen liittyvät säädökset.

Kaasua sisältäville LNG-polttoainesäiliöille ja -putkille on asetettu tarkat säädökset asennusten ja käytettävien materiaalien suhteen. LNG-säiliöiden tulee olla riittävästi suojattuina ulkoisilta häirttekijöitä, kuten törmäyksiltä, tulipaloilta sekä muilta mahdollisilta tankin toimintakykyä heikentäviltä tekijöiltä. Myös säiliöt ja polttoaineputket on suunniteltava niin, että mahdolliset vuodot eivät vaaranna laivaa eivätkä sillä olevia ihmisiä. Mahdollisia vaaratekijöitä ovat polttoaineen leviäminen tiloihin, joissa on sytytyslähde tai materiaalien altistuminen lämpötilaan yli niiden hyväksyttävien rajojen. LNG-säiliöiden paineen ja lämpötilan on pysyttävä niille suunniteltujen rajojen sisällä, jotta LNG pysyisi nestemäisenä. Säiliöiden ja muiden kaasua sisältävien järjestelmien rakenteet tulee suunnitella niin, että ne kestävät niihin sekä testaus- että käyttövaiheessa kohdistuvia kuormia. Tällaisia kuormia ovat esimerkiksi dynaamiset, staattiset, ulkoiset ja sisäiset kuormat.

. Sähkömoottoreilla toimivat tuuletuksen puhaltimet eivät saa olla sijoitettuna samoihin tiloihin ilmanvaihtokanavien kanssa, ellei niillä ole samaa sertifikaattia kuin kanavilla. Vaarallisiin kaasutiloihin tuleva tulolima tulee tiloista, joissa tuloilman puuttuessa ne olisivat silti vaarattomia tiloja. (IGF-code part1-A, 2015)

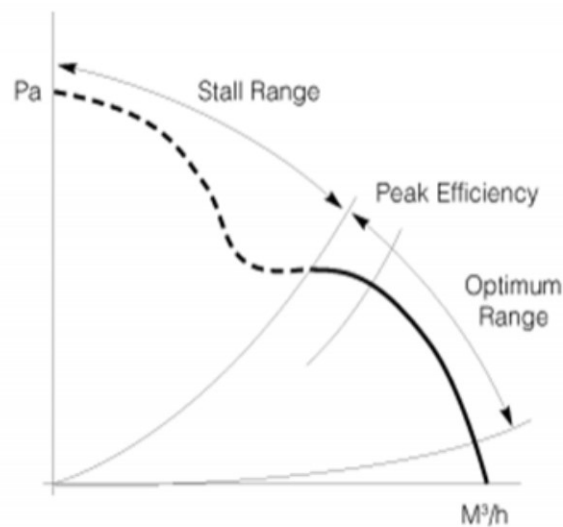
3 LNG-TUULETUS

LNG-tuuletus kattaa kaikki ne tilat, joissa käsitellään kaasua, tai jotka sisältävät kaasutilojen tuuletukseen liittyviä komponentteja. LNG tuuletusjärjestelmän toiminta perustuu huoneen tilavuuteen, josta voidaan arvioida tilaan riittävä ilmamäärä. Eri tilojen väliset paine-erot ovat tärkeitä riippuen tilojen käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi laivan kaasunkäsittelytilat ovat alipaineisia ympärillä olevien tilojen suhteen, jotta kaasuvuodon tapahtuessa kaasu ei pääse etenemään tilasta toiseen. Kaasunkäsittelytilojen uloskäyntejä ympäröivät airlockit, jotka toimivat suoja-alueena.

Yksinkertaisuudessaan LNG-tuuletussysteemi voidaan jakaa tulo- ja poisto-osaan. LNG-mastossa sijaitsee tulokammio, josta imetään raitista ilmaa järjestelmään. Ilman tultua tulokanaviin se kulkee LNG-puhallinhuoneeseen, minkä jälkeen ilma jaetaan eri tilojen puhaltimiin. Kaasutilojen poistoilma syötetään ulos yleensä LNG-savupiipun päästä. Kaasutiloihin puhaltavat LNG-puhallinhuoneen puhaltimet ovat kaasutiiviitä. Tämän vuoksi LNG-puhallinhuone ei ole kaasunkäsittelytila eikä sitä luokitella täten vaaralliseksi tilaksi. Kaasukäsittelytilat on jaettu eri vaarallisuusryhmiin riippuen niiden happipitoisuudesta sekä siitä, kuinka usein kyseisissä tiloissa esiintyy kaasua. Näissä tiloissa tuleekin pitää happimittaria aina mukana. Kaasutilojen happipitoisuuden säätely tapahtuu syöttämällä tilaan typpeä. Koska typpi on inerttiä kaasua, se ei yleensä aiheuta kemiallisia reaktioita, kuten palamista (EIGA,2009).

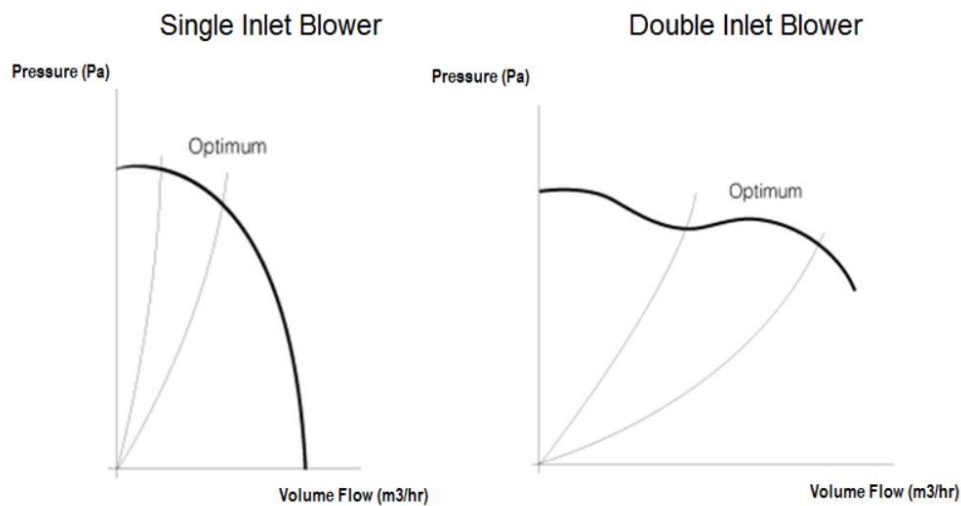
3.1 Komponentit

Aksiaaliset puhaltimet toimivat suurella virtausnopeudella, minkä ansiosta ne tuottavat suuren määrän ilmavirtaa. Näiden puhaltimen toimintaperiaate perustuu siihen, että ilma etenee yhdensuuntaisesti puhaltimen akselin lapojen pyörimissuunnan mukaisesti, eikä ilmavirta muuta suuntaa kuten keskipakopuhaltimessa. Puhaltimen lavat asennetaan tyypillisestisuoraan puhaltimen akseliin. Virtaus on aksiaalista sekä puhaltimen tulo- että sen poistopuolella. Puhallin toimii parhaiten, kun systeemissä ei ole suurta painetta ja kun siinä on paineeseen verrattuna suhteellisen suuri virtaus (kuva 4). Juoksupyörän lapojen tehokkuuden kannalta imupuolelta tuleva ilmavirran tulisi olla mahdollisimman tasaista ja laminaarista (Design spark, 2017). Aksiaalipuhallin on keskipakopuhaltimeen verrattuna huomattavasti kevyempi, pienempi ja edullisempi. Siinä on kuitenkin pienempi tuotto ja suurempi kulutus.



Kuva 5 Aksiaalipuhaltimien optimaalinen toimintalue (fanmandam, 2017).

Keskipakopuhaltimet puolestaan ovat tehokkaita ja ne soveltuvat käytettäviksi monipuolisesti eri ympäristöissä ja käyttökohteissa. Keskipakopuhaltimien optimaalinen käyttöalue sijaitsee suuremmassa paineessa kuin aksiaalipuhaltimilla. Keskipakopuhallin koostuu kiinteästä ja yleensä pyöreästä metallirungosta sekä akselista, johon on asennettu juoksupyörä, jonka lavat ovat pienessä kulmassa suhteessa itse akseliin. Puhallin toimii keskipakovoimalla. Kun tuloilmaa syötetään puhaltimelle aksiaalisessa suunnassa, kotelossa sijaitseva juoksupyörä pyörii ja johdattaa ilman poistupuolelle 90 asteen kulmassa keskipakovoiman avulla. Puhaltimen juoksupyörän tuottama liike-energia kasvattaa ilmavirran määrää. Keskipakopuhaltimet liikuttavat ilmaa nopeasti ja vaihtavat ilman suuntaa ennen sen lähtöä puhaltimesta poistokanavaa pitkin. Keskipakopuhaltimilla voi olla yksi tai kaksi tuloa. Kaksituloisessa puhaltimessa ilmaa tulee koteloon sen molemmilta puolilta. (Design spark 2017)



Kuva 6 Keskipakopuhaltimen optimaalinen toiminta-alue (fanmandam 2017).



Kuva 7 Puhaltimet (Savio n.d)

Puhaltimien moottorien toiminta voidaan yleisesti jaotella yksinopeuksisiin, moninopeuksisiin sekä nopeudeltaan vaihteleviin taajuusmuuntimella säädettäviin moottoreihin.

Palopellien tehtävänä on mahdollistaa systeemin sulku tulipalotilanteessa, jotta palon leviäminen saadaan estettyä. Tuuletusjärjestelmä sisältää manuaaliset säätöpellit, joilla voidaan säätää ilmamäärää ainoastaan paikallisesti. Automaattiset säätöpellit puolestaan seuraavat tilojen paineita muihin tiloihin verrattuna ja tätä kautta pyrkivät pitämään ilmamäärän vakiona.

3.2 Tuuletusjärjestelmän käyttöönotto

Ennen kuin voidaan aloittaa systeemin käyttöönotto, pitää systeemille kriittisten komponenttien ja alueiden kunto kartoittaa. Kanavien rakennustöiden vaiheet, mahdolliset kanavien puuttumiset ja huomautukset, kuten puuttuvat tarkastusluukut, käydään läpi alueittain. Ennen puhaltimien käyttöönottoa kanaviin pitää porata mittapisteet sekä tarkastuspisteet, joiden avulla voidaan todeta tulosten pätevyys. Mittauspisteen paikka ja koko riippuu putken halkaisijasta ja siitä, kuinka kaukana se on putken käyrästä. Suuremmissa putkissa tarvitaan kaksi mittapistettä 90 asteen päähän toisistaan, jotta ilmamäärä voidaan todentaa varmuudella.

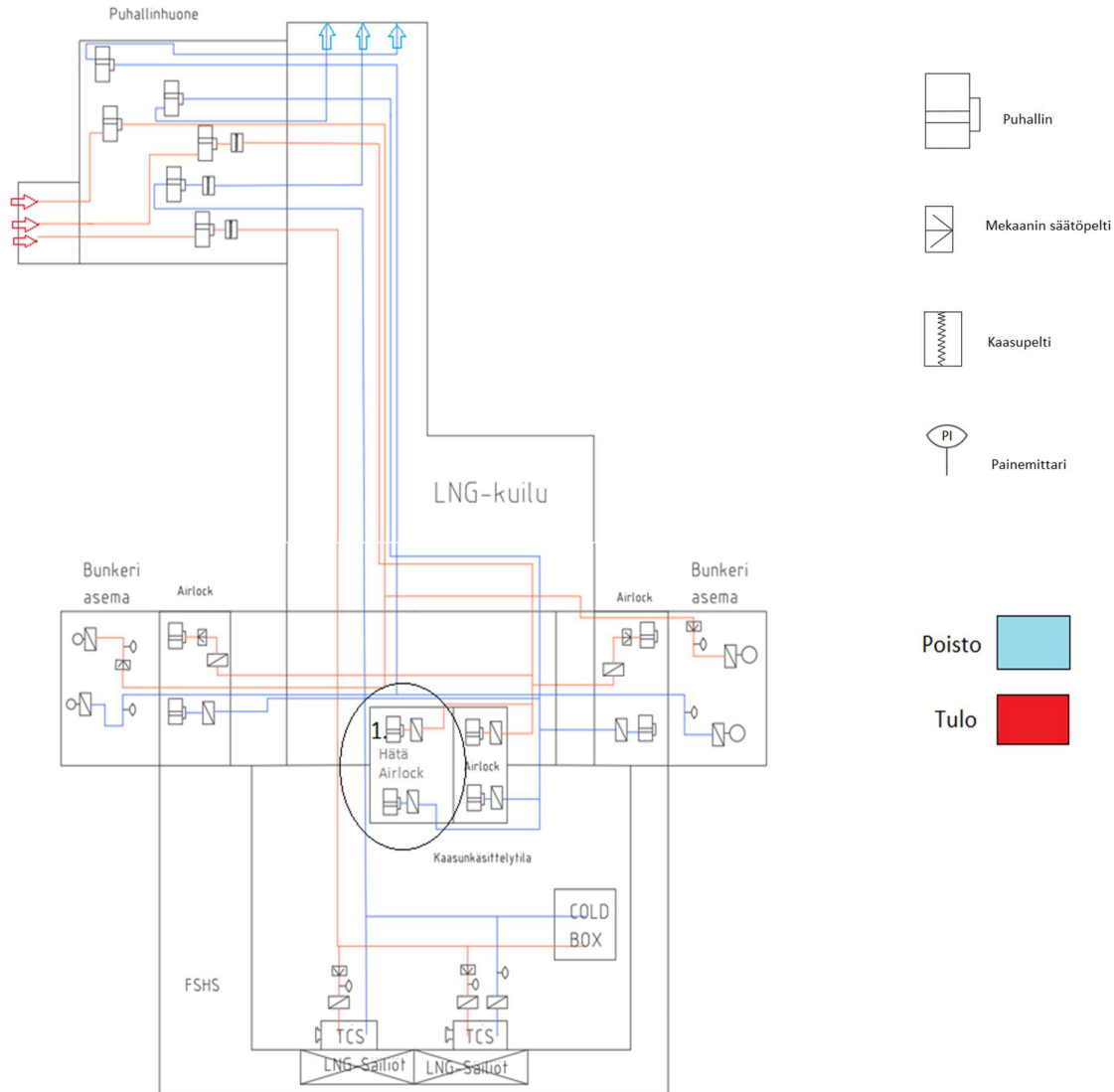
Puhaltimien osalta sekä tilaaja että luokka vaativat kaasutiiviiden puhaltimen toiminnan tarkastamisen ja tiivisteiden mahdollisten vuotojen mittaamisen ennen tuuletuksen

säätöä. Kaasutiiviiden puhaltimien tiivisteissä saa olla prosentuaalinen vuoto verrattuna ennen mittauksia laskettuun puhaltimen tuottoon. Puhaltimien toiminnallisessa tarkastuksessa varmistetaan puhaltimien käynnistyminen sekä koneelta että paikallisesti kytkimeltä. Lisäksi tarkastuksessa varmistetaan puhaltimen siipipyörän saumaton pyöriminen rungon sisällä oikeaan pyörimissuuntaan. Puhaltimien ulkoisessa kuntotarkastuksessa puhaltimista etsitään mahdollisia kolhuja sekä puhaltimien rättien kunto tarkastetaan.

Systeemin palopelleille tehdään sekä toiminnallinen tarkastus että ulkoinen kuntotarkastus. Pellit tulee sijoittaa aina mahdollisimman helposti saatavilla oleviin paikkoihin. Myös pellin oikea numero on merkittävä selkeästi (DNV GL 2017).. Kaasutiiviissä pellissä on paineilmalla toimiva magneettiventtiili, jonka toimivuus ja mahdolliset vuodot tarkastetaan. Palopellien ulkoiseen tarkastukseen sisältyvät peltien kytkentärasioiden indikaattorin suunnan sekä niiden ulkoisen kunnon tarkastus. Palopelleille, puhaltimille ja kaikille systeemiin kuuluville komponenteille on oltava oma kilpensä, jossa lukee laitteen systeeminumero sekä laitenumero.

Tuuletusjärjestelmä sisältää kaksi erilaista ilmamäärän säätöpeltiä. Nämä ovat mekaanisesti toimiva pelti sekä moottorilla toimiva pelti. Näistä jälkimmäinen seuraa huoneiden välistä painetta.

Tuuletusjärjestelmän sisältämä ilmamäärä on tarkastettava ennen säätämistä, jotta voidaan varmistaa, että ilma kulkeutuu systeemissä kaavioiden osoittamalla tavalla. Mikäli ilma ei kulkeudu systeemissä halutulla tavalla, on tarkistettava löytyykö kanavista tukoksia ja reikiä tai puuttuuko kanavista osia. Tarkastusvaiheessa on varmistettava, että ilma pääsee järjestelmän jokaiseen tilaan. Tässä vaiheessa kaasutilojen ei tarvitse olla vielä eroteltuina toisistaan. Tämän jälkeen puhaltimet voidaan käynnistää ja säätöpellit avata ääriasentoon. Lisäksi varmistetaan, että muut laitteet ovat auki systeemissä. Ilmamäärää voidaan tarkkailla laivan koneelta, mittauspisteistä ilmamäärämittarilla sekä systeemin omista ilmamääränsensoreista.



Kuva 8 Tuuletuskaavio, ympyrällä merkattu tehostusta tarvitseva puhallin (Karpinen. J)

3.3 Ilmamäärän säätö

Ennen kuin LNG-polttoainetta voidaan tankata, on varmistettava, että kaasutilat ovat suljettuina toisiinsa nähden. Lisäksi laipioiden energia-aukot ja muut mahdolliset työreiät suljetaan. Puhaltimien ilmamäärän tuotto tulee olla säädettyinä normaalin käyttötilaan, sekä hätätilaan jos kaasuvuotoja havaitaan. Tilaan tulevaa ilmamäärää määritellään sen perusteella, kuinka monta kertaa se vaihtuu tunnin sisällä tietyssä tilassa (ACH). Se, kuinka paljon ilmaa tietty tila vaatii, on määritelty IGF-säädöksissä ja tähän vaikuttavia tekijöitä ovat tilantilavuus, käyttötarkoitus ja vaarallisuusluokka. Kun ilma on saavuttanut systeemin kaikki tilat, voidaan ilmamäärän riittävyyttä kussakin tilassa arvioida. Halutun ilmamäärän saavuttamiseksi voidaan säätää taajuusmuuntajilla varustettujen puhaltimien taajuuksia. Taajuuksia säädettäessä on kuitenkin tarkkailtava, ettei puhallin ei mene ylivirralle, sillä tämä voi johtaa tulipaloihin ja muihin vaaratilanteisiin. Mikäli puhaltimien säädöt eivät riitä ilmamäärän nostamiseen, tulee systeemiä arvioida sekä rakenteellisesti että toiminnallisesti.

5 TUULETUKSEN TEHOSTAMINEN

Kaasunkäsittelytilan hätäpoistumistien airlockissa sijaitsevan puhaltimen numero 1, todettiin tuottavan liian vähän ilmaa. Puhaltimien on oltava ylituotolla 0-15% suhteessa puhaltimien pyyntöön. Puhaltimen 1 tuoton lisäksi myös tankkausaseman P- ja S-puolta, kaasukäsittelytilan airlockia sekä kaasukäsittelytilan hätäpoistumistien airlockien tuottoa pitää arvioida, sillä niiden kaikkien tulot ovat samassa linjassa (taulukko 3).

Taulukko 3 ilmamäärät

	Tulon ilmamäärä (m^3)	Pyyntö (m^3)	Osuus (%)
Tankkausasema airlock S-puoli	75 m^3 Redundant=71 m^3	70 m^3	7,14
Tankkausasema airlock P-puoli	77 m^3 Redundant=80 m^3	70 m^3	10
Kaasukäsittelytila Airlock	60 m^3	52 m^3	15
Kaasukäsittelytila hätäpoistumistie airlock (puhallin 1)	91 m^3	110 m^3	-18

Kuten taulukko 3 osoittaa, hätäpoistumistien airlock on ainut putkilinjan tila, jossa ilmamäärän tuotto on riittämätön.

Ongelma paikallistettiin puhaltimien ilmamääriä mitattaessa, jolloin ilmamäärä hätäpoistumistiessä todettiin riittämättömäksi. Linjat käytiin läpi endoskoopilla, jonka avulla etsittiin mahdollisia tukoksia tai puuttuvia linjan paloja. Putket todettiin tyhjiksi, joten riittämätön tuotto ei johtunut tukoksista linjoissa. Lisäksi puhaltimien räntien kunto tarkastettiin räteissä olevien mahdollisten reikien osalta. Myös räntien asennot tarkistettiin, sillä väärässä asennossa oleva räntä voi estää ilmaa pääsemästä kunnolla puhaltimen läpi. Puhallin ja räntä olivat kunnossa, joten syy riittämättömään ilmantuottoon johtui todennäköisesti linjojen rakenteellisista ongelmista. Linjojen rakenteellisia ongelmia ilmeni kaksi: kaasukäsittelytilassa oleva ylimääräinen lenkki (kuva 10) sekä kuilussa oleva supistus (kuva 11).

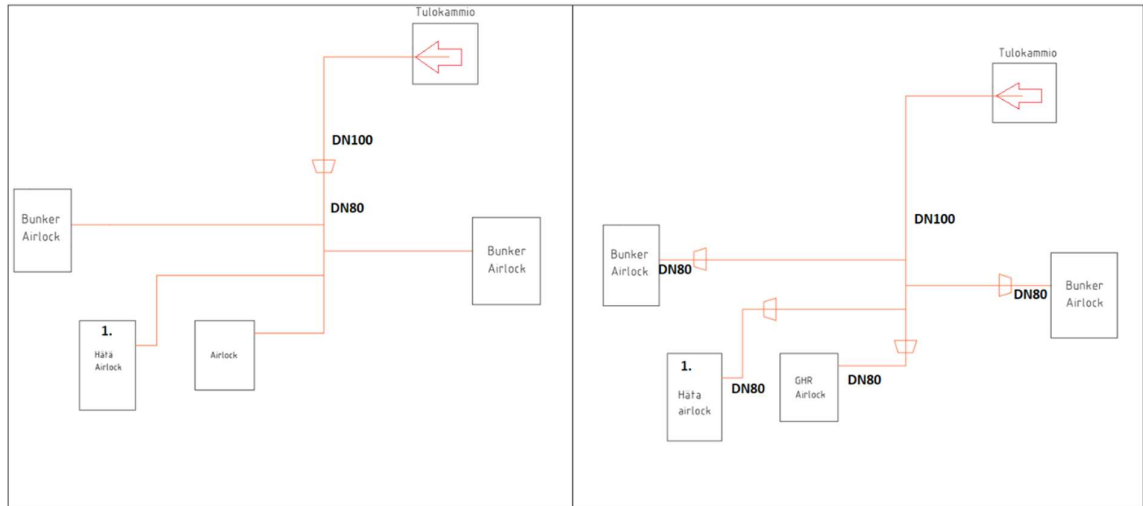


Kuva 10 Punaisella viivalla merkitty linja

LNG-mastossa on tuloilman otto, josta kanava johdetaan LNG-kuilun pohjalle. LNG-kuilussa putki haarautuu kahteen linjaan, josta toinen menee laivan perän kaasunkäsittelytilaan ja toinen keulan tankkausasemalle.

Ennen putkilinjan haarautumista kanavaan on asennettu supistus, jossa se muuttuu DN100:sta DN80:en kokoiseen putkeen. Tämä supistus heikentää nykyisellä paikallaan systeemin ilmamäärää. Sille optimalisempi sijainti olisi haarautumisen jälkeen mahdollisimman lähelle systeemin kaasupeltejä. Kaikki neljä haara sisältävät ensimmäisenä kaasupellin, sitten mekaanisen säätöpellin ja lopuksi puhaltimen. Perään etenevä haara nousee ylös kaasunkäsittelytilaan, jossa se tekee toisen kannen katonrajassa mutkan, jonka kautta se menee pellin kautta puhaltimelle. Tämä mutka (kuva 10) heikentää ilmamäärää ja on systeemin toiminnan kannalta tarpeeton. Mutkan poistaminen ja korvaaminen suoralla linjalla ei olisi tilan järjestelmän kannalta

ongelmallista. Puhaltimen sijainti hätäpoistumiestiessä olisi myös parempi sijoittaa perälaipion sijasta tilan keskilaivassa olevaan laipioon, näin sijoitettuna linjan kaksi kulmaa poistuisi ja mikä myös auttaisi ilmamäärän suhteen.



Kuva 11 Oikealla parannusehdotus supistuksille

Koska tarkkaa syytä ilmamäärän riittämättömyyteen ei tunneta, tulee kaikki rakenteelliset epäkohdat huomioida. Edellä mainitut parannusehdotukset eivät vaadi erillistä lupaa varustamolta tai luokituslaitokselta, sillä ne ovat rakenteellisia muutoksia, eivätkä siten muuta tuuletusjärjestelmän toimintaperiaatetta.

Tuuletuksen tehostaminen kyseisillä menetelmillä on telakan kannalta hyödyllistä kustannusten näkökulmasta. Materiaalikustannukset pienentyvät marginaalisesti hukkakulmien sekä tiettyjen kanavalinjojen poistuessa järjestelmästä. Tehostusehdotusten ollessa suhteellisen yksikertaisia, oletettu asennusaika sekä työn vaativuus alkuperäiseen verrattuna eivät muutu juuri lainkaan. Voidaan todeta, että parannusehdotusten hyödyt liittyvät enemmän järjestelmän toimivuuteen ja siten turvallisuuden parantamiseen, eivätkä niinkään kustannuksen vähentymiseen telakan kannalta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä risteilyaluksen LNG-tuuletusjärjestelmään ja kehittää kyseistä järjestelmää mahdollisuuksien mukaan. Työ sisälsi tuuletusjärjestelmän optimoinnin lisäksi tietopakettia LNG:stä polttoaineena, sekä antoi tietoa turvallisuusmääräyksistä. Puhaltimen tuoton parantamiseen liittyvät parannusehdotukset keskittyivät erääseen puhaltimeen, jonka tuotto jäi merkittävästi vajaaksi sen suunnitellusta määrästä. Ehdotukset ovat telakan kannalta yksinkertaisia sekä helposti toteuttavia. Parannusehdotukset keskittyvät lähinnä järjestelmän toimivuuden parantamiseen, eivätkä niinkään kustannuksiin. Ehdotusten tehokkuuden arviointi on vaikeaa, mutta on oletettavissa, että ehdotukset vievät järjestelmää eteenpäin lähemmäs tavoiteltuja arvoja. Puhaltimen tehokkuuden lisäämiseen olisi ollut saatavilla myös muita ratkaisuja, mutta tässä opinnäytetyössä esitellyt ehdotukset ovat yksinkertaisia ja helppoja toteuttaa. Mikäli kyseiset ehdotukset eivät toimi halutulla tavalla, on muita ratkaisuja pohdittava uudestaan. Tässä työssä ei keskitytty optimoimaan jo toimivia järjestelmän prosesseja, vaan niitä rakenteellisia muutoksia, jotka vaikuttavat puhaltimen 1 tuottoon.

Opinnäytetyö onnistui tarjoamaan perustietoa niin nesteytetystä maakaasusta, kuin sen käytössä tarvittavasta tuuleuksesta. Oman oppimisen kannalta LNG-tuuletusjärjestelmään perehtyminen oli mielenkiintoinen prosessi, sillä entuudestaan aihe oli itselleni melko tuntematon, sen ollessa erittäin ajankohtainen, oli asian omaksuminen tärkeää. Uusien parannuskeinojen etsiminen tuuletusjärjestelmään oli prosessina opettavainen, sillä järjestelmä sekä sen komponentit ja toimintaperiaatteet oli opittava. Lisäksi ratkaisujen etsiminen ongelmakohtiin harjaannutti ongelmanratkaisukykyäni, mikä on tärkeää tekniikan alan työtehtävissä.

LÄHDELUETTELO

ae-Woo Kim, Seul-Kee Kim, Seong-Bo Park, Jae-Myung Lee. Design of Independent Type-B LNG Fuel Tank: Comparative Study between Finite Element Analysis and International Guidance 2018, Viitattu 7.10.2020

Ascenz, Boil of gas management 2014, viitattu 25.10.2020
,<https://www.ascenz.com/solutions/boil-off-gas-management>

Chorowski, M. Duda , P. Polinski , J. Skrzypacz, J 2015. LNG systems for natural gas propelled. Viitattu 2.11.2020 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/101/1/012089/pdf>

Composition and properties of natural gas, Britannica n.d, viitattu 24.10.2020
<https://www.britannica.com/science/natural-gas/Composition-and-properties-of-natural-gas>,

De-zhi ,Z.2014, Example of Simulating Analysis on LNG Leakage and Dispersion. Viitattu 29.10.2020. Vol 71, 220-229

DNV GL Rules for Classification and Construction Ship Technology, 2017

EIGA 2009. Hazard of inert gases and oxygen depletion. Viitattu 24.1.2020. IGC Document 44/09/E

Emsa, 2018. Guide to lng bunkering, viitattu 28.10.2020
https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special_service/245_Guide_for_LNG_Bunkering/LNG_Bunkering_Guide_e-Mar18.pdf

fanmandam 2017, Fan Types - Why choose an Axial fan. Viitattu 2.12.2020.
https://www.rs-online.com/designspark/fan-types-why-choose-an-axial-fan?intcmp=TH-WEB-_BP-DS2-_DTC_061_0321_APAC-_ebm-papst

Gasum, meriliikenteen puhtain polttoaine, viitattu 29.10.2020

GIIGNL, 2012-2014, Rollover in lng storage tanks. Viitattu 26.10.2020

Hayward Walker, A. 2006, Response consideration for lng spills, viitattu 7.10.2020

Huan, T. Hongjun, F. Wei, L. Gouqiang, Z. Fan Hongjun, Lei Wei and Zhou Guoqiang, 2018. Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers

IGF-code, Part1-A SPECIFIC REQUIREMENTS FOR SHIPS USING NATURAL GAS AS FUEL, 2015

JFE Technical report; 2014 no 19. Dual Fuel Engine Gas Fuel Conversion Technology, Viitattu 30.10.2020

Juho Karppinen, Meyer Turku

Kokarakis, J. 2015. Standards and Guidelines for Natural Gas Fuelled Ship Projects, Viitattu 13.12.2020. <https://www.onthemosway.eu/wp-content/uploads/2015/06/Standards-and-Guidelines-for-Natural-Gas-Fuelled-Ship-Projects%E2%80%99.pdf>

Kongsberg. LNG Propulsio. viitattu 5.11.2020 <https://www.kongsberg.com/maritime/products/propulsors-and-propulsion-systems/lng-propulsion/>

MAN, LNG Fuel Gas system, viitattu 11.11.2020

Marquard & Bahl, Octane Number (RON, MON) & Knock Resistance, 2015 <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/octane-number-ron-mon-knock-resistance.html>

Nagata, Y. ; Tanoue, A. Kida, T. IHI-SPB Tank for LNG-Fueled Ship, Viitattu 1.10.2020. Vol 47, no 2, 2015

Nortegas, Features of natural gas, viitattu, 10.9.2020. <https://pinedalegas.com/natural-gas/properties-of-natural-gas>

Nygård, B. Boil-off gas handling onboard LNG fuel ships, 2016 Viitattu 20.11.2020.

Rina, Rules for the Classification of the ship, Viitattu 11.11.2020 part C, 2020

Rod McLennan, 2018. rollover risk of lng, viitattu 20.11.2020. <https://www.nepia.com/articles/rollover-risks-of-lng/>

Savio, Axial fans and Centrifugal fans comparison, viitattu 20.10.2020 <https://www.savioclima.com/en/axial-fans-and-centrifugal-fans-comparison/>.

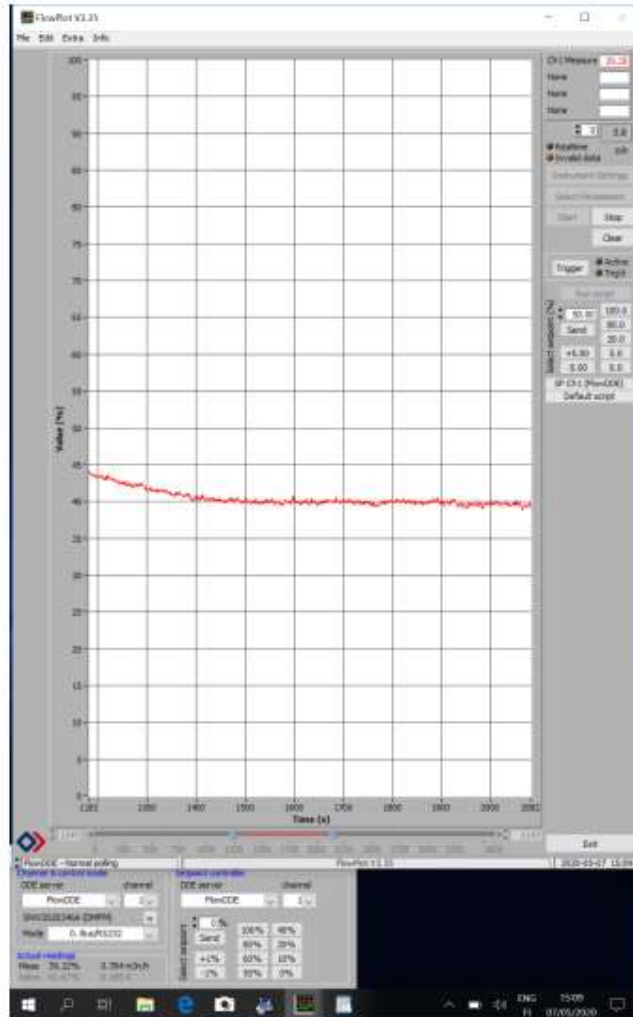
Sintef, 2018. Why LNG Rapid Phase transitions occur. Viitattu 19.11.2020.
<https://blog.sintef.com/sintefenergy/lng-rapid-phase-transition/>

Slotte, A. 2017, Safety manual on LNG bunkering procedures for the Port of Helsinki, viitattu 20.10.2020

Työturvallisuuskeskus, LNG – TURVALLINEN KULJETUSKETJU. Viitattu 4.1.2020.
1.painos 2020

Uniongas, Chemical Composition of Natural Gas, viitattu 27.9.2020
<https://www.uniongas.com/about-us/about-natural-gas/chemical-composition-of-natural-gas>

Fan Type: HNQD 900
 Sealing: EagleBurgmann WKA 300
 Leakage rate for sealing: 1,883 m³/h
 Measured leakage: 0,798 m³/h
 Pressure: 22 mbar
 Date: 7.5.2020



Liite 1 Tiivisteiden vuoto