

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2023

Juho Kurki

LNG-KAKSOISPUTKEN TUULETUKSEN OPTIMOINTI

Juho Kurki

LNG-KAKSOISPUTKEN TUULETUKSEN OPTIMOINTI

Tämä opinnäytetyö on tehty Deltamarin Oy:n toimeksiantona. Tarkoituksena on tutkia ja optimoida laivan LNG-kaksoisputken tuuletusta.

Työssä on ensin perehdytty maakaasuun ja nesteytettyyn maakaasuun ja sen jälkeen on esitelty laivanrakennuksen ja opinnäytetyön kannalta keskeinen järjestö, tärkeä sopimus, kaasua polttoaineena käyttävien laivojen standardi ja luokituslaitos. Opinnäytetyössä on avattu tarkemmin kaasua polttoaineena käyttävien laivojen polttoainetta koskevia sääntökohtia.

Sääntöjen mukaan laivan LNG-kaksoisputkessa tulee tuuletuksen olla toteutettu niin, että tuuletettavan tilan ilma vaihtuu 30 kertaa tunnissa tai kaksoisputken tuuletettavan tilan ilmanvirtaus on koko ajan 3 metriä sekunnissa. Tätä asiaa on tutkittu laivan pääkoneen LNG-kaksoisputkien kannalta tekemällä laskelmia ja vertailemalla laskelmasta saatuja tuloksia.

Opinnäytetyön aihevalinta osottautui tarpeelliseksi, sillä laskelmien tuloksien vertailusta voitiin huomata, että tuuletuksen toteutustapaa on kannattavaa vertailla LNG-kaksoisputkituuleutusta suunniteltaessa. Opinnäytetyön pohjalta on mahdollista ja tarpeellista jatkaa tuuletuksen optimoinnin tutkimista.

ASIASANAT:

maakaasu, nesteytetty maakaasu, kaksoisputki, tuuletus, kaksoisputkituuletus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2023 | 25 pages

Juho Kurki

OPTIMIZATION OF LNG DOUBLE WALL PIPING VENTILATION

This thesis was commissioned by Deltamarin Ltd. The purpose of the study was to investigate and optimize the ventilation of a ship's LNG double wall piping system.

The thesis begins with an examination of natural gas and liquefied natural gas. Then it introduces the essential organization, important agreement, standard for gas-fueled ships and classification society that are essential to shipbuilding and this thesis. In this thesis a more detailed explanation of the rules related to fuel for gas-fueled ships is also provided.

The ship's LNG double wall piping system must be ventilated in compliance with the rules, which require either 30 air exchanges per hour or a constant airflow of 3 meters per second in the ventilated space. This requirement was studied in terms of the ship's main engine's LNG dual pipes by performing calculations and comparing the results obtained from the calculations.

The topic of the thesis proved to be necessary because the comparison of the results from the calculations showed that it is worth comparing different ventilation methods when designing the the LNG double wall piping system. Based on the thesis, it is possible and necessary to continue researching the optimization of ventilation.

KEYWORDS:

natural gas, liquefied natural gas, double wall pipe, double wall pipe ventilation

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	6
1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja	6
2 NESTEYTETTY MAAKAASU	8
2.1 Maakaasu	8
2.2 Nesteytetty maakaasu	8
3 SÄÄNNÖT JA MÄÄRÄYKSET	10
3.1 IMO	10
3.2 SOLAS	11
3.3 IGF-Koodi	11
3.4 DNV	12
4 NESTEYTETTY MAAKAASU LAIVASSA	13
4.1 LNG-polttoaineen syöttö kuluttajille kaasuturvallisissa konetiloissa	13
4.2 Koneistotilojen ulkopuolelle sijoitetut LNG-polttoaineputket	14
4.3 Kaasunilmaisinlaitteiden sijoitus	14
4.4 Vaara-alueiden luokittelu	15
4.4.1 Vaara-alue 0	15
4.4.2 Vaara-alue 1	16
4.4.3 Vaara-alue 2	17
5 KAKSOISPUTKEN TUULETUKSEN OPTIMOINTI	18
5.1 Kaksoisputken tuuletuksen toteutus	18
5.2 IGF Koodi 13.8.1	18
5.3 Tuuletuksen tehon laskennan vaiheet	19
5.4 Tuuletuksen tehon laskenta	21
6 YHTEENVETO	24
LÄHTEET	25

KUVAT

Kuva 1 Tyypillinen kaksoisputki. Sisemmässä putkessa kaasu ja sinisellä merkattu osa on tuuletettava tila. (LR Marine n.d.)	14
Kuva 2 Gas Valve Unit. Alhaalla putkiliitännät (Wärtsilä 2023)	19
Kuva 3. Kaksoisputken tuuletus.	21
Kuva 4 Laskentatulosten vertailu pylväsdiagrammina.	23

TAULUKOT

Taulukko 1 Maakaasun koostumuksia tuotantomaittain (Suomen kaasuyhdistys ry 2014, 6)	8
Taulukko 2. Tulokset	22

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla ja optimoida laivassa käytettyjen LNG-kaksoisputkien tuuletettavan tilan tuuletustapoja sääntöjen kannalta. Tavoitteena on tutkia, miten eri putkiko'oissa eri sääntökohtien mukaan toteutettu tuuletus vaikuttaa puhaltimen kokoon. Säännöt mahdollistavat tuuletuksen toteuttamisen eri tavoin. Tätä varten työssä on esitelty siihen liittyviä sääntökohtia. Laivaa suunniteltaessa on tärkeää tuntea edellä mainitut sääntökohdat, sillä ne asettavat rajoitteita ja vaatimuksia järjestelmien toteutukselle. Tässä opinnäytetyössä keskitytään laivan pääkoneen LNG-putkiston tuuletukseen.

Opinnäytetyö on toteutettu Deltamarin Oy:n toimeksiantona, sillä aihe on kustannustehokkuuden ja energiansäästön vuoksi on tärkeä, jotta hankittavien tuulettimien koko voidaan optimoida. Lisäksi kaksoisputkituuletuksen optimointi on vielä kohtuullisen vähän tutkittu aihe, mutta on oletettavaa, että uusia LNG-aluksia tullaan suunnittelemaan tulevaisuudessa, ja tätä varten on hyvä, että tuuleutusta koskeva tieto on olemassa.

1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Deltamarin Oy on vuonna 1990 perustettu yritys, joka tarjoaa laivateollisuuden konsepti-, perus- ja detail-suunnittelua sekä projektinvalvontaa laivanrakennuksen eri vaiheissa. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Turussa ja muut kotimaan toimipisteet Raumalla ja Helsingissä. Deltamarin on kansainvälinen yritys: sen muut toimipisteet sijaitsevat Puolassa ja Kiinassa sekä tytäryhtiö Brodoplan Kroatiaassa. Henkilöstöä on kaikkiaan 400, ja suurin osa työntekijöistä työskentelee Suomessa. Deltamarinin liikevaihto vuonna 2019 oli 42,6 miljoonaa euroa. (Deltamarin 2021.)

Kolmenkymmenen vuoden aikana Deltamarin on osallistunut yli viiteentuhanteen toimialansa projektiin. (Deltamarin 2021) Yrityksen viimeaikaisista projekteista julkisuudessa on ollut Viking Linen uusi LNG-polttoaineella toimiva matkustaja-alus.

Deltamarinin vastuulla projektissa on ollut perus- ja detail-suunnittelu sekä myös projektinvalvonta Xiamenin telakalla Kiinassa. (Pänkäläinen & Pajula: 95)

2 NESTEYTETTY MAAKAASU

2.1 Maakaasu

Maakaasu on syvältä maanpinnan alapuolelta löytyvää fossiilista polttoainetta. Se koostuu suurimmaksi osaksi metaanista, mutta maakaasun tuotantomaaan mukaan koostumukset vaihtelevat. Alla olevassa taulukossa 1 on tietoa maakaasun koostumuksista tuotantomaittain. Maakaasu on muodostunut miljoonia vuosia sitten ja miljoonien vuosien aikana, kun eläinten ja kasvien jäänteet ovat maaperän kuumuuden ja anaerobisen bakteeritoiminnan vaikutuksesta muuntuneet maakaasuksi, öljyksi ja hiileksi.(U.S. Energy Information Administration 2022) Maakaasun palaessa muodostuu noin 15% vähemmän hiilidioksidia kuin käytettäessä öljyä polttoaineena. Maakaasun palaessa ei muodostu tuhkaa tai nokea, sekä myös typpioksidipäästöt ovat vähäisiä.(Viking Line 2022)

Taulukko 1 Maakaasun koostumuksia tuotantomaittain (Suomen kaasuyhdistys ry 2014, 6)

Kenttä		Venäjä Urengoi	Saksa Goldenstedt	USA Kansas	Hollanti Groningen	Norja Troll
Metaani	CH ₄	98%	88,0%	84,1%	81,3%	93,2%
Etaani	C ₂ H ₆	0,8%	1,0%	6,7%	2,8%	3,7%
Propani	C ₃ H ₈	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%	0,4%
Butaani	C ₄ H ₁₀	0,02%	–	–	0,4%	0,5%
Typpi	N ₂	0,9%	10,0%	8,4%	14,3%	1,6%
Hiilidioksidi	CO ₂	0,1%	0,8%	0,8%	0,9%	0,6%

2.2 Nesteytetty maakaasu

Maakaasu vaatii kaasumaisessa olomuodossaan paljon säilytystilaa. Tilan säästämiseksi maakaasu nesteytetään kaasulomuodosta nesteeksi, LNG:ksi (liquefied

natural gas). Kaasun nesteyttämiseksi maakaasu jäähdytetään alle -162 °C lämpötilaan, jolloin sen tilavuus pienenee kuusisataakertaisesti. Tämä prosessi on luotu jo 1800-luvulla. (U.S. Energy Information Administration 2022)

3 SÄÄNNÖT JA MÄÄRÄYKSET

Laivan rakennus on monimutkainen prosessi, joka vaatii erilaisten teknisten, turvallisuuteen ja ympäristönsuojelun vaatimusten huomioimista. Laivojen rakentamisessa käytetään erilaisia materiaaleja ja tekniikoita, jotka vaikuttavat laivan ominaisuuksiin ja suorituskykyyn.

Erilaiset säännöt ja luokituslaitokset määrittävät tarkat vaatimukset, joita laivan tulee täyttää, jotta se on turvallinen käyttää ja täyttää kansainväliset ja paikalliset standardit. Nämä vaatimukset liittyvät muun muassa laivan rakenteeseen, suunnitteluun, materiaaleihin, turvallisuusjärjestelmiin ja ympäristönsuojeluun.

Kaikkien näiden eri vaatimusten ja standardien noudattaminen on tärkeää, jotta laivan rakentaminen ja sen käyttö on turvallista ja ympäristöystävällistä.

3.1 IMO

The International Maritime Organization eli IMO on kansainvälinen merenkulun turvallisuusasioita hallinnoiva järjestö, jonka Yhdistyneet kansakunnat perusti kokouksessa Genevessä vuonna 1948. IMO tuli voimaan ensimmäistä kertaa vuonna 1958, ja se kokoontui ensimmäisen kerran vuonna 1959. Järjestön pääkonttori on Lontoossa. Vuoteen 1982 asti IMO tunnettiin nimellä the Inter-Governmental Maritime Consultative Organization, eli IMCO. IMO:n tarkoituksena on tarjota välineitä hallitusten väliselle yhteistyölle, kun kyseessä ovat merenkulkuun liittyvät tekniset kysymykset. Tarkoitus on kirjattu artiklaan 1a. IMO pyrkii edistämään korkeimpien standardien täyttymistä niin merenkulun, navigoinnin tehokkuuden kuin merten saastumisen ehkäisyn ja sen valvonnankin saralla. (Brief History of IMO.)

3.2 SOLAS

SOLAS eli Safety of Life at Seas on yleisesti tärkeimpänä pidetty kansainvälinen sopimus, joka koskee kaupallisten laivojen turvallisuutta. Sen ensimmäinen versio hyväksyttiin vuonna 1914 Titanicin onnettomuuden jälkeen. Nykyisin käytössä oleva versio on vuonna 1974 voimaan tullut versio, mutta sitä on muutettu ja päivitetty useita kertoja.

SOLAS-sopimuksen tärkein tavoite on määrittää rakentamisen, varustamisen ja laivojen toiminnan turvallisuuden vähimmäisvaatimukset. Sen maan viranomaiset, jonka lipun alla laivat toimivat, ovat velvollisia varmistamaan, että alukset noudattavat sopimuksen vaatimuksia. Valvontaa koskeviin säännöksiin kuuluu myös mahdollisuus, että mikäli on aihetta olettaa, että sopimukseen kuuluvan valtion lipun alla operoiva laiva ei täytä jotakin sopimuksessa mainittua kohtaa, on toisen maan viranomaisilla oikeus sopimuksen nojalla tehdä tarkastus laivassa. Nykyinen SOLAS-sopimus sisältää artikloja muun muassa yleisistä velvotteista sekä muutosmenetteystä. (IMO 2023.)

3.3 IGF-Koodi

IGF-koodin (eli International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels) tarkoituksena on määrittää kansainväliset standardit aluksille, jotka käyttävät polttoaineenaan kaasua tai matalan leimahduspisteen polttoainetta.

IGF-koodin perusajatuksena on asettaa pakollisia kriteereitä alusten laitteistojen, varusteiden ja järjestelmien sijoitteluun ja asennukseen, jotta käytetyn polttoaineen aiheuttamat riskit niin alusta itseään, miehistöä ja ympäristöä koskevia riskejä on mahdollista minimoida.

Koodi käsittelee aluksen kaikkia niitä alueita, jotka tarvitsevat erityistä huomiota käytettäessä kaasua tai matalan leimahduspisteen nestettä polttoaineena. (IMO 2023.)

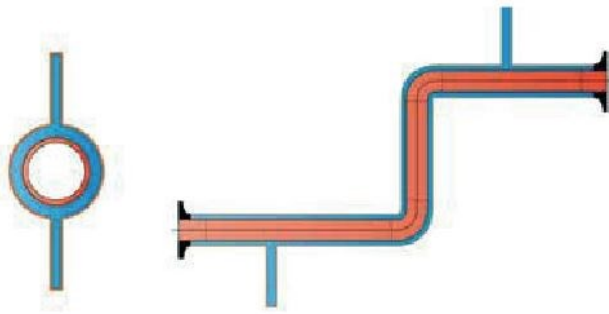
3.4 DNV

DNV eli Det Norske Veritas on vuonna 1864 Oslossa perustettu luokituslaitos. DNV on riippumaton asiantuntija vakuuttamisessa ja riskienhallinnassa. DNV:n tarkoituksena on suojella ihmishenkiä, omaisuutta ja ympäristöä. Se tarjoaa asiakkailleen ja sidosryhmilleen faktoja ja luotettavia näkemyksiä. DNV on maailman johtavin luokitusyhtiö ja tunnustettu neuvonantaja merenkulun alalla. DNV tarjoaa maailmankuuluja testaus-, sertifiointi- ja teknisiä neuvontapalveluita energia-arvoketjuun, mukaan lukien uusiutuvat energiamuodot, öljy- ja kaasualan sekä energianhallinnan. Se on yksi johtavista sertifiointiyrityksistä auttaen yrityksiä varmistamaan organisaatioidensa, tuotteidensa, henkilöstönsä, tilojensa ja toimitusketjujensa suorituskyvyn. DNV on myös maailman johtava digitaalisten ratkaisujen tarjoaja riskienhallintaan ja turvallisuuden parantamiseen sekä suorituskyvyn parantamiseen laivoille, putkistoille, prosessointilaitoksille, offshore-rakenteille, sähköverkoille, älykkäille kaupungeille ja muille. (DNV n.d.)

4 NESTEYTETTY MAAKAASU LAIVASSA

4.1 LNG-polttoaineen syöttö kuluttajille kaasuturvallisissa konetiloissa

Kaasuturvallisessa konetilassa sijaitsevien polttoaineputkistojen tulee olla suljettuna kanavoimalla tai kaksoisputkella siten, että ne täyttävät yhden seuraavista ehdoista: kaasuputken tulee olla kaksoisputki, jossa polttoainekaasu kulkee sisemmässä putkessa, kuten alla olevassa kuvassa 1 on esitetty. Tila samankeskisten putkien välissä tulee olla paineistettu palamattomalla suojakaasulla korkeammaksi kuin polttoainekaasun paine. Inerttikaasun paineen laskemiselle tulee olla asianmukaiset hälytykset. Kun polttoainekaasu on korkeapainesta, tulee järjestelmän olla sellainen, että kun pääkaasuventtiili on suljettu, koneen ja pääkaasuventtiilin välinen putki täyttyy automaattisesti inerttikaasulla. Toinen vaihtoehto on se, että polttoainekaasuputki asennetaan tuuletettuun putkeen tai kanavaan. Putkien välisessä tilassa tulee olla mekaaninen alipaineinen tuuletus, jossa ilmanvaihtokyky on vähintään 30 ilmanvaihtoa tunnissa. Kolmikymmenkertaisen ilmanvaihdon voidaan vähentää kymmeneen kertaan tunnissa, jos putkistossa on tunnistus kaasuvuodolle, joka mahdollisen vuodon tapahtuessa automaattisesti täyttää tilan typpikaasulla. Tuuletinmoottoreiden tulee olla asennustilan räjähdysvaaratilaluokan mukaiset. Suojaverkko tulee asentaa tuuletuksen poistoaukolle ja poistoaukko tulee sijoittaa niin, että poistuva kaasu ei ole vaarassa syttyä. Kahdesta edellämainitusta voidaan poiketa, jos järjestelmä on vähintään yhtä korkealla turvallisuustasolla ja lippuviranomaisen hyväksymä. (IGF-code.)



Kuva 1 Tyypillinen kaksioisputki. Sisemmässä putkessa kaasu ja sinisellä merkattu osa on tuuletettava tila. (LR Marine n.d.)

4.2 Koneistotilojen ulkopuolelle sijoitetut LNG-polttoaineputket

Laivan suljettujen tilojen läpi kulkevat polttoaineputket tulee suojata kaksoiskanavoinilla tai kaksioisputkella. Myös koneistilojen ulkopuolisten polttoaineputken ja kaksioisputken välisen tilan ilman tulee olla mekaanisesti tuuletettu siten, että ilma vaihtuu ainakin kolmekymmentä kertaa tunnissa ja putkessa tulee olla kaasutunnistus. (IGF-code.)

4.3 Kaasunilmaisinlaitteiden sijoitus

Pysyvästi asennetut kaasunilmaisinlaitteistot tulee asentaa seuraaviin tiloihin ja laitteistoihin:

- tankkiliitännätilat (tank connection space)
- kaikkin kanaviin, jotka ympäröivät polttoaineputkia
- koneistotiloihin, joissa on polttoaineakaasuputkia, polttoaineakaasulaitteita, eli laitteita jotka käyttävät kaasumaista polttoainetta tai kaasunkuluttajia
- kompessorihuoneisiin ja polttoaineen käsittelyhuoneisiin

-muihin suljettuihin tiloihin, joissa on kaasuputkia tai muita kaasulaitteita ilman kanavointia tai kaksoisputkea

-muihin suljettuihin tai osittain suljettuihin tiloihin, joissa kaasuhöyryä voi kertyä

-ilmalukkoihin

-kaasun lämmityslinjaston paisuntasäiliöihin

Kaasunilmaisuantureiden määrässä tulee ottaa huomioon tilan järjestely, koko ja tuuletus. Kaasunilmaisulaitteisto tulee olla tiloissa, joihin kaasua voi kerääntyä sekä tuuletuskanavoiden ulostuloissa. Antureiden parhaan sijoituksen löytämiseksi voidaan käyttää kaasun leviämisen CFD-mallintamista tai savukokeita.

Kaasuhälytysten tulee olla luettavissa komentosillalla ja konevalvomossa. Näkyvä ja kuuluva hälytys tulee antaa, kun kaasun pitoisuus on kaksikymmentä prosenttia alemmasta räjähdysrajasta. Kun kaasun pitoisuus on kahdella anturilla neljäkymmentä prosenttia, tulee turvajärjestelmän aktivoitua. Kaasuputkea ympäröivän kanavan tai kaksoisputken hälytysrajat voidaan asettaa korkeammaksi. Kolmekymmentä prosenttia on hälytyksen raja, ja turvajärjestelmän aktivoinnin raja on kuusikymmentä prosenttia. (IGF-code 15.8)

4.4 Vaara-alueiden luokittelu

Luokittelun tarkoituksena on analysoida ja luokitella alueita, joissa räjähtävä määrä kaasua voi esiintyä ilmassa. Tarkoituksena on luokitella, mitä sähkölaitteita voidaan käyttää turvallisesti näillä alueilla. Jotta voidaan valita sopivat sähkölaitteet ja suunnitella niihin sopivat sähköasennukset, jaetaan vaara-alueet kolmeen vyöhykkeeseen: 0, 1 ja 2. (IGF-code 12.4)

4.4.1 Vaara-alue 0

Tämä alue pitää sisällään, mutta ei rajoitu tankkien sisäpuoliseen tilaan, kaikki polttoainetankkien varoventtiilijärjestelmän putket ja muut ilmanvaihtojärjestelmät polttoainetankeille, putkistoille ja laitteille, joissa on polttoainetta. (IGF-code 12.5.1 .)

4.4.2 Vaara-alue 1

Vaara-alue 1 pitää sisällään, mutta ei rajoitu

- tankkiliitäntätilan (tank connection space), tilan johon polttoainetankit (lukuun ottamatta c-tyypin tankkeja) on sijoitettu ja interbarrier-tilan.
- polttoaineen käsittelyhuoneeseen, jossa on alipaineistettu ilmanvaihto, joka vaihtaa tilan ilman kolmekymmentä kertaa tunnissa.
- kolmen metrin säteellä avoimella ja osittain avoimella kannella oleviin tiloihin, joissa on polttoainetankin ulostulo, kaasu- tai höyryulostulo, laivan LNG-säiliön tankkausyhteen ulommainen sulkuventtiili tai jokin muu polttoainejärjestelmän venttiili, polttoaineenkäsittelyhuoneen ilmanvaihdon ulostulo ja polttoainetankin aukot, joista lämmönvaihtelun aikaan saamat kaasut tai kaasuseokset poistuvat.
- puolentoista metrin säteellä olevista avoimella tai osittain avoimella kannella sijaitsevista polttoainekäsittelyhuoneen sisäänkäynneistä, polttoainekäsittelyhuoneen ilmanvaihdon sisääntuloista ja muiden vaara-alueeseen kuuluvista aukoista.
- tankkausaseman roiskereunan sisäpuolella olevaan alueeseen sekä kolme metriä tämän alueen ulkopuolelle ja 2,4 metrin korkeuteen tämän alueen kannesta.
- suljettuun tai osittain suljettuun tilaan, jossa on polttoaineputkia, jotka eivät ole kaksoisputkessa, taikka osittain suljetuihin tankkausasemiin.

Lisäksi ESD-suojattu koneistotila, eli tila joka on suojattu staattisen sähköön purkauksien varalta, on normaalitilanteessa ei-räjähdysvaarallinen tila, mutta jos tilassa havaitaan kaasuvuoto, tila lukeutuu kuuluvaksi vaara-alue yhteen. Myös tila, jossa on ilmalukko, on normaalitilanteessa ei-räjähdysvaarallinen tila, mutta tilassa tulee olla vaara-alueyhteensopivat laitteet sen varalta, että tilojen välinen paine-ero jostain syystä häviää. Myös alue, joka on 2,4 metrin etäisyydellä ulkoilmassa sijaitsevien polttoainetankkeista, luetaan vaara-alueeseen 1, lukuunottamatta C-tyypin polttoainetankkeja. (IGF-code 12.5.2)

4.4.3 Vaara-alue 2

Tähän alueeseen kuuluvat alueet, jotka ovat 1,5 metrin etäisyydellä avoimesta tai osittain avoimesta tilasta vaara-alue yhdellä. Lisäksi alueeseen kuuluvat tankkiliitännättilan (tank connection space) pulttatut luukut. (IGF-code 12.5.3)

5 KAKSOISPUTKEN TUULETUKSEN OPTIMOINTI

5.1 Kaksoisputken tuuletuksen toteutus

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan laivaa, jossa on erilliset kaasuventtiiliyksiköt (gas valve unitit). Alla olevassa kuvassa 2 on nähtävissä Wärtsilän kaasuventtiiliyksikkö. Tällaisessa laivassa on usein kaksoisputken tuuletus toteutettu niin, että kaksoisputken tuuletuksen sisääntuloilmanotot ovat kaksoisputkien moottorin ja tankkiliitännättilan (tank connection spacen) puoleisten kauimmaisissa päädyissä. Tuuletusilman virtausta säädetään säätölaipoilla tuuletusilman sisääntulon yhteydessä. Tuuletuslinjoissa on virtauskytkimet, jotka tarkkailevat ilmavirtausta putkistossa. Kaksoisputken tuuletuksen poistoilma imetään kaasuventtiiliyksikön kautta puhaltimilla, joita on redundanttisuuden vuoksi kaksi.

5.2 IGF Koodi 13.8.1

IGF-koodin kohdan 13.8.1 mukaan laivan kanavassa tai kaksoisputkessa, jossa on kaasumaista polttoainetta, pitää olla poistotyyppinen mekaaninen tuuletus, jossa ilma vaihtuu 30 kertaa tunnissa. Tästä voidaan poiketa, kun kaksoisputken ilmavirta pysyy koko ajan vähintään 3 m/s. Tämä ilmavirtaus tulee mitata, kun kanavassa tai kaksoisputkessa on polttoaineputki ja kaikki muutkin komponentit asennettuna. Mitoitettavaan ilmatilaan kuuluvat: moottorin tai boilerin tuuletettava tila, kaasuventtiiliyksikön (gas valve unitin) tilavuus, tankkiliitännättilan (tank connection spacen) ja kaasuventtiiliyksikön välinen kaksoisputken tilavuus ja moottorin tai höyrykattilan ja kaasuventtiiliyksikön välisen kaksoisputken tilavuus. Tässä opinnäytetyössä käsitellään pääkoneen kaksoisputken tuuletusta.



Kuva 2 Kaasuventtiiliyksikkö eli Gas Valve Unit. Alhaalla putkiliitännät (Wärtsilä 2023)

5.3 Tuuletuksen tehon laskennan vaiheet

Jotta tuulettimen tarvittava koko saadaan selville, on ensiksi tiedettävä moottorin tuuletettavan tilan tilavuus. Tämän jälkeen on selvittävä tankkiliitäntätilan ja kaasuventtiiliyksikön välisen kaksoisputken tuuletettavan tilan tilavuus. Seuraavaksi on selvittävä kaasuventtiiliyksikön ja moottorin välisen kaksoisputken tuuletettavan tilan tilavuus. Sitten on selvitetään mikä on kaasuventtiiliyksikön tilavuus, minkä jälkeen lasketaan ilmavirtaus tankkiliitäntätilan sisääntulossa. Seuraavaksi selvitetään ilmavirtaus moottorin puoleisen tuuletusilman sisääntulossa. Tämän jälkeen saadaan selvitettyä tuulettimen minimiteho 30-kertaisessa ilmanvaihdossa laskemalla yhteen ilmavirtaus tankkiliitäntätilan puoleisen tuuletusilman sisääntulossa sekä ilmavirtaus moottorin puoleisen tuuletusilman sisääntulossa. Lopuksi lasketaan tuulettimen

minimiteho vertailuksi putkeen, jossa on ilmavirtaus on koko ajan 3 metriä sekunnissa. Alla olevassa listauksessa ja kuvassa 3 on selitetty lyhenteet ja laskentakaavat.

Laskennassa käytetyt lyhenteet ja kaavat:

V_0 = moottorin tuuletettavan tilan tilavuus

V_1 = TCS ja GVU:n välisen putken tuuletettavan tilan tilavuus, joka saadaan kaavalla $X * L$, missä

X = tuuletettavan kaksoisputken tilavuus metriltä

L = tuuletettavan kaksoisputken pituus TCS:ltä GVU:lle

V_2 = GVU:n ja moottorin välisen putken tuuletettavan tilan tilavuus, joka saadaan kaavalla $X * L_2$, missä

X = tuuletettavan kaksoisputken tilavuus metriltä

L_2 = tuuletettavan kaksoisputken pituus GVU:lta moottorille

V_3 = Gas Valve Unitin tuuletettava tilavuus (m^3)

V_4 = ilmavirtaus TCS:n puoleisen tuuletusilman sisääntulossa, joka saadaan kaavalla $30 * (V_1 + 0,8 * V_3)$. (m^3/h)

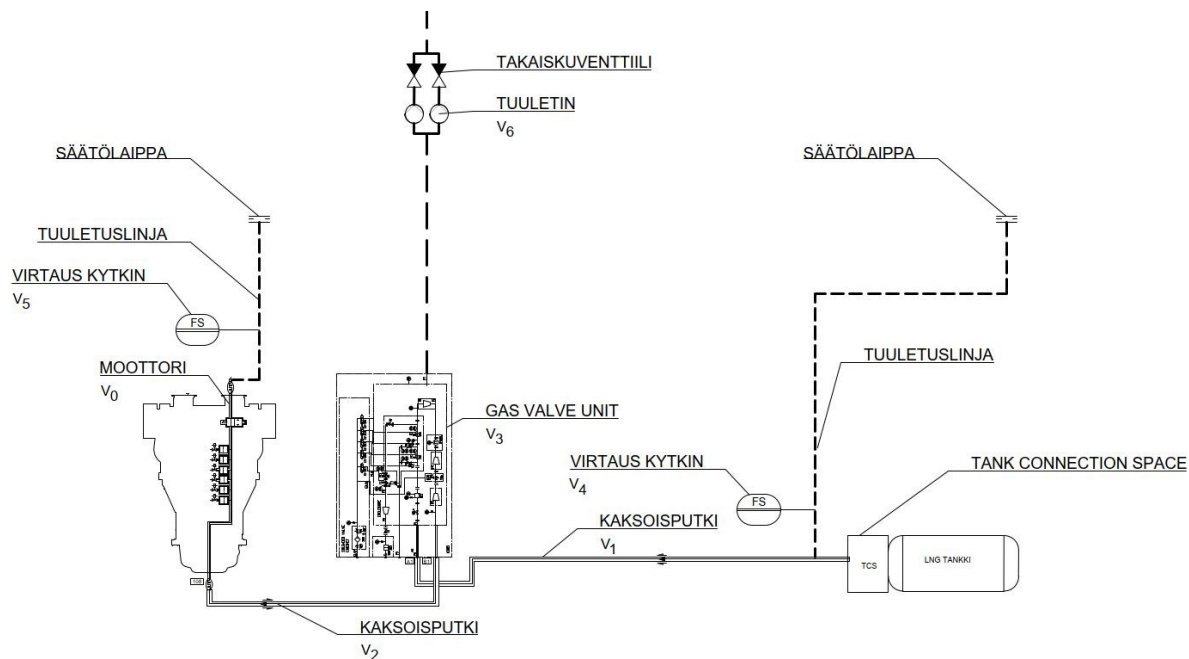
V_5 = ilmavirtaus moottorin puoleisen tuuletusilman sisääntulossa, joka saadaan kaavalla $30 * (V_2 + 0,2 * V_3 + V_0)$. (m^3/h)

V_6 = ilmavirtaus GVU:n tuuletusilman poistossa, joka saadaan kaavalla $V_4 + V_5$. Tämä arvo on tuulettimen minimiteho. (m^3/h)

V_7 = Tarvittava tuulettimen minimiteho (m^3/h) käytettäessä jatkuvaa 3 m/s, joka saadaan kaavalla $(vA) * 3600$, missä

$v = 3 \text{ m/s}$

$A = (\pi * R_1^2) - (\pi * R_2^2)$, jossa R_1 on ulkoputken säde ja R_2 on sisäputken säde.



Kuva 3. Kaksoisputken tuuletus.

5.4 Tuuletuksen tehon laskenta

Ensimmäiseksi lasketaan pääkoneiden ME1 ja ME2 tarvittavat tuuletintehot, kun kaksoisputken ulkoputken halkaisija on 165 mm ja seinämävahvuus 3,4 mm ja sisäputken ulkohalkaisija on 114 mm. Tällöin saadaan tuuletettavan osan pinta-alaksi 9449 mm² eli noin 0,00945 m². Tämän jälkeen lasketaan tuuletettavien putkien tilavuudet. Putkien tilavuuden laskemiseen tarvitsee tietää putkien pituus. Tässä opinnäytetyön esimerkkitapauksessa on käytetty ME1:n kaasuventtiiliyksikön ja tankkiliitännättilan välisen putken pituutena 50 metriä ja ME2:n vastaavan putken pituutena on 70 metriä. Näin saadaan laskettua aikaisemmassa listauksessa olevan V₁:n eli, ME1:n kaasuventtiiliyksikön ja tankkiliitännättilan välisen putken tuuletettava tilavuus, joka on noin 0,4725 m³ ja ME2:n vastaavan tuuletettavaksi tilavuudeksi saadaan noin 0,6615 m³. Tämän jälkeen selvitetään kaasuventtiiliyksikön ja pääkoneen välisen putken tuuletettavan tilan tilavuus, eli V₂. Tässä esimerkkitapauksessa molempien pääkoneiden etäisyys kaasuventtiiliyksiköstä on sama 9,5 metriä. Tällöin saadaan lasketuksi molempien pääkoneiden ja kaasuventtiiliyksiköiden väliseksi tilavuudeksi 0,0898 m³. Laskentaa tehdessä tulee selvittää pääkoneen tuuletettavan tilan tilavuus, eli V₀ sekä kaasuventtiiliyksikön tuuletettavan tilan tilavuus, eli V₂. Tässä esimerkkitapauksessa on

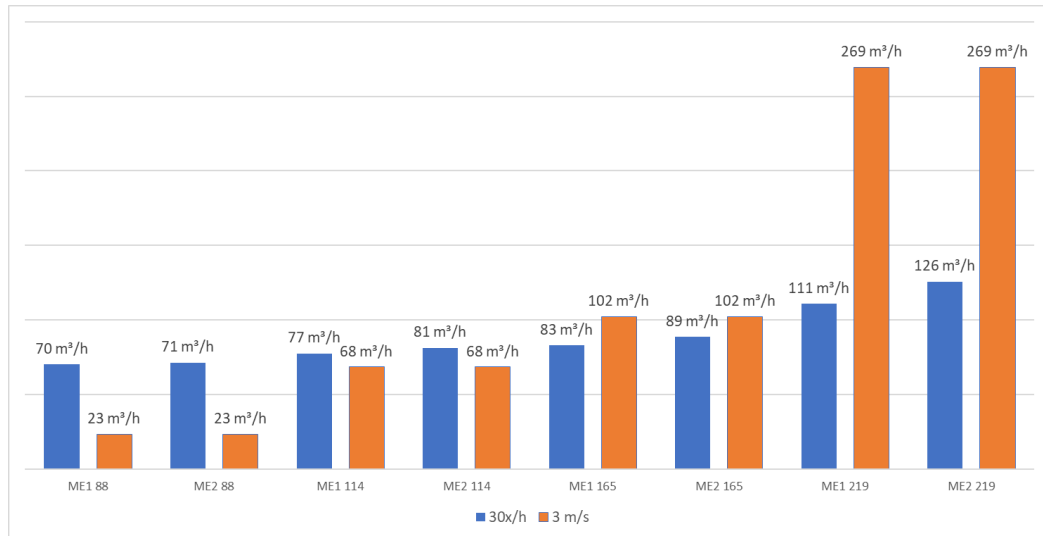
käytetty pääkoneen tuuletettavana tilavuutena $0,15 \text{ m}^3$ ja kaasuventtiiliyksikön tilavuutena $2,20 \text{ m}^3$. Kun putkien ja laitteiden tilavuudet on selvitetty, saadaan laskettua ilmavirtaus tankkiliitostilan puoleisen tuuletusilman sisääntulossa, eli V_4 . Tämä lasketaan laskemalla yhteen kaasuventtiiliyksikön ja tankkiliitostilan välisen putken tuuletettavan tilan tilavuus ja $0,8$ kertainen kaasuventtiiliyksikön tilavuus ja kertomalla tämä tulos kolmellakymmennellä, eli ME1:lle $30 \cdot (0,4725 \text{ m}^3 + 0,8 \cdot 2,20 \text{ m}^3) = 67 \text{ m}^3/\text{h}$ ja ME2:lle $30 \cdot (0,6615 \text{ m}^3 + 0,8 \cdot 2,20 \text{ m}^3) = 73 \text{ m}^3/\text{h}$. V_5 , eli ilmavirtaus pääkoneen puoleisen tuuletusilman sisääntulossa saadaan laskemalla yhteen kaasuventtiiliyksikön tilavuus, pääkoneen välisen putken tuuletettavan tilan tilavuus, $0,2$ -kertainen kaasuventtiiliyksikön tilavuus ja pääkoneen tuuletettavan tilan tilavuus, ja näiden summa kerrotaan kolmellakymmenellä eli ME1:lle $30 \cdot (0,0898 \text{ m}^3 + 0,2 \cdot 2,20 \text{ m}^3 + 0,15 \text{ m}^3) = 16,04 \text{ m}^3/\text{h}$ ja ME2:lle $30 \cdot (0,0898 \text{ m}^3 + 0,2 \cdot 2,20 \text{ m}^3 + 0,15 \text{ m}^3) = 16,04 \text{ m}^3/\text{h}$. Ilmavirtaus tuuletusilman poistossa, eli V_6 saadaan laskettua, kun lasketaan V_4 ja V_5 yhteen, eli ME1:lle $67 \text{ m}^3/\text{h} + 16,04 \text{ m}^3/\text{h} \approx 83 \text{ m}^3/\text{h}$ ja ME2:lle $73 \text{ m}^3/\text{h} + 16,04 \text{ m}^3/\text{h} \approx 89 \text{ m}^3/\text{h}$. Nämä V_6 -arvot ovat kolmekymmentäkertaisen ilmanvaihdon tuulettimen minimitehot.

Koko ajan kolme metriä sekunnissa ilmavirtauksen sääntökohdan mukaan toteutetun järjestelmän tarvittavan tuulettimen minimiteho saadaan laskemalla $(3 \text{ m/s} \cdot 0,009449 \text{ m}^2) \cdot 3600$, jolloin saadaan arvoksi $102,05 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nämä samat laskutoimitukset on sen jälkeen suoritettu eri putkiko'ille. Alla olevasta taulukossa 2 on laskelmien tulokset ja kuvassa 4 tulosvertailu pylväsdiagrammina. Näitä tuloksia tarkastellessa voidaan huomata, että mitä pienempi putkikoko ja siten pienempi tuuletettava kaksoisputken tila on, sitä todennäköisemmin tulisi käyttää jatkuvaa kolme metriä sekunnissa tuuletusta kolmekymmentäkertaisen ilmanvaihdon sijaan. Tässä opinnäytetyössä ei ole otettu huomioon putkiston vastapaineita, koska niiden sisältäminen olisi kasvattanut työtä turhan laajaksi.

Taulukko 2. Tulokset

Kuluttaja	Putkikoko	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
ME1 165	165*3.4(ulko), 114*3(sisä)	0,15	0,4725	0,0898	2,20	67	16,04	83	102,05
ME2 165	165*3.4(ulko), 114*3(sisä)	0,15	0,6615	0,0898	2,20	73	16,04	89	102,05
ME1 114	114*3(ulko), 60*2.8(sisä)	0,15	0,3167	0,0602	2,20	62	15,16	77	68,40
ME2 114	114*3(ulko), 60*2.8(sisä)	0,15	0,4433	0,0602	2,20	66	15,16	81	68,40
ME1 219	219,1*3,76(ulko), 114*3(sisä)	0,15	1,2476	0,2370	2,20	90	20,46	111	269,48
ME2 219	219,1*3,76(ulko), 114*3(sisä)	0,15	1,7467	0,2370	2,20	105	20,46	126	269,48
ME1 88	88,9*4,5(ulko), 60,3*4,5(sisä)	0,15	0,1079	0,0205	2,20	56	13,97	70	23,31
ME2 88	88,9*4,5(ulko), 60,3*4,5(sisä)	0,15	0,1511	0,0205	2,20	57	13,97	71	23,31



Kuva 4 Laskentatulosten vertailu pylväsdiagrammina.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä LNG:tä ja siihen liittyviä sääntökohtia, jotka osaltaan vaikuttavat tuuletustapoja koskeviin ratkaisuihin laivaa suunniteltaessa. Varsinaisena tutkimusongelmana oli löytää kahta eri tuuletustapaa vertailemalla eri putkiko'ille oikean kokoinen tuuletin, jotta välttyttäisiin hankkimasta liian suuria tuulettimia. Tutkimusta tehdessä tuli ilmi, että tuuletuksen toteutustavalla on merkitystä eri putkikokoja käytettäessä ja vertailemalla näitä toteutustapoja on mahdollista säästää energiaa ja rahaa tuuletinvalintaa tehtäessä.

Tutkimustulosten perusteella voidaan huomata, että aihetta voisit tutkia vielä laajemmin ja olisi tarpeellista tehdä Deltamarin Oy:lle laskentatyökalu, jonka avulla optimointi olisi helppoa tehdä. Opinnäytetyössä käyttämäni laskentakaaviota voi käyttää tämän työkalun kehityksen pohjana.

LÄHTEET

Deltamarin 2021 About us <https://deltamarin.com/corporate/> Viitattu 30.6.2021

Pänkäläinen K. & Pajula P. 2020: Leading the way. Kirjakaari Oy, Jyväskylä 2020

U.S. Energy Information Administration 2022. Natural gas explained <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/> Viitattu 5.1.2022

Viking Line 2022 Tiesitkö tämän LNG:stä? <https://www.vikingline.com/fi/ymparisto/lng/> Viitattu 9.1.2022

Suomen kaasuyhdistys 2014. Maakaasu käsikirja. <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/> Viitattu 5.1.2022

International Maritime Organization. 2023. Brief History of IMO. <https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx> Viitattu 8.1.2023

International Maritime Organization. 2023. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) Viitattu 15.3.2023

International Maritime Organization. 2023. International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code). <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGF-Code.aspx> Viitattu 15.3.2023

U.S. Energy Information Administration 2022. Natural gas explained Liquefied natural gas <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/liquefied-natural-gas.php>

DNV n.d A trusted voice to tackle global transformations. <https://www.dnv.fi/about/index.html> Viitattu 14.3.2023

RESOLUTION MSC.391(95) ADOPTION OF THE INTERNATIONAL CODE OF SAFETY FOR SHIPS USING OR OTHER LOW-FLASHPOINT FUELS (IGF CODE) Viitattu 12.3.2022