

Osku Luoma

Eristeen suunnittelu

Opinnäytetyö

Syksy 2015

SeAMK Tekniikka

Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Osku Luoma

Työn nimi: Eristeen suunnittelu

Ohjaaja: Pasi Junell, Jussi Laasonen

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä:2

Opinnäytetyössä suunniteltiin uusi eriste laivanmoottorin ahtoilmanjäähdyttimeen. Suunniteltavan eristeen tuli täyttää SOLAS-sopimuksen mukaiset vaatimukset eristävyys ja sallitun pintalämpötilan suhteen. Myöskin eristeen helppo asennettavuus oli yksi suunnittelutyön lähtökohta.

Suunnittelutyön lähtötietoina käytettiin toimeksiantajalta saatuja mittatietoja sekä valokuvia ahtoilmajäähdyttimestä ja sen ympäristöstä. Suunnittelutyökaluina käytettiin tietokoneohjelmistoja eriste eristävyys mitoitus ja 3D-mallinnukseen. Lisäksi käytettiin internet-pohjaista ohjelmistoa osien nimikkeiden hallintaan.

Työn tuloksena syntyi vaatimukset täyttävä eriste ja valmistuspiirustukset eriste kaikille osille ja moduuleille. Loppuosassa on myöskin hieman pohdintoja siitä, miten uusi tiivis eriste saattaa vaikuttaa eristettävään kohteeseen.

Avainsanat: eristeet, suunnittelu, ohutlevyt, niittaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Osku Luoma

Title of thesis: Designing an insulator

Supervisors: Pasi Junell, Jussi Laasonen

Year: 2015

Number of pages: 40

Number of appendices: 2

My thesis describes the design process of a technical insulator for a marine engine charge air cooler. The technical solutions of the insulator must fulfill the requirements of SOLAS Convention regarding the insulation and the surface temperature. Easy installation was also one of the main target points in the design process.

All the design data needed came from the client of the design assignment. The data was measurement information and photos of the charge air cooler and its environment. Computer software was used to calculate the necessary insulation thickness and 3D-modelling. Also web-based software was used to handle the item data management.

The results of the thesis were an insulator which fulfills all requirements set and a technical drawing for all parts and modules. At the end of the thesis there are some reflections on how a new tight insulator may affect the charge air cooler.

Keywords: insulator, designing, sheet metals, riveting

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 TAUSTATIETOJA.....	9
3 TEHTÄVÄNANTO.....	10
3.1 Lähtökohdat.....	10
3.2 Vaatimukset.....	11
4 ERISTEEN SUUNNITTELU.....	12
4.1 Eristeen toiminta.....	12
4.2 Prosessikuvaus.....	13
4.3 Käytettävät ohjelmistot.....	16
4.4 Käytettävät materiaalit.....	19
4.5 Mitoitus.....	20
4.6 Asennettavuus.....	22
4.7 Valmistettavuus.....	27
5 TULOKSET JA POHDINNAT.....	30
5.1 Kuumakorrosio.....	30
5.2 Ahtoilman lämpötilan nousun vaikutukset.....	32
6 YHTEENVETO.....	35
LÄHTEET.....	37
LIITTEET.....	38

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1 Tulipalojen syttymissyyt ja syntymispaikat (Det Norske Veritas)	8
Kuvio 2 Ramform Explorer merentutkimusalue. (Petroleum Geo-Services).....	9
Kuvio 3 Ahtoilmajähdytintila laivassa	10
Kuvio 4 Lämpösäteilyn aallonpituus	13
Kuvio 5 Lämmön siirtyminen.....	13
Kuvio 6 Prosessikaavio eristeen suunnittelusta	16
Kuvio 7 Näkymä 3E Plus 4.1 ohjelmasta	17
Kuvio 8 Näkymä Autodesk Inventor 2014 ohjelmasta	18
Kuvio 9 Näkymä eFind sovelluksen käyttöliittymästä	19
Kuvio 10 Tiivistelevyillä tiivistetään modulien väliset saumat.....	20
Kuvio 11 Tiivistelevyt modulissa	20
Kuvio 12 Eristepaksuuden mitoituksessa käytetyt lämpötilat T_1 , T_2 , ja T_3	22
Kuvio 13 Ahtoilmajähdyttimen ja eristeen 3D-malli	22
Kuvio 14 Ahtoilmajähdytintila vasemmalta sivulta	23
Kuvio 15 Ahtoilmajähdytintila edestä	23
Kuvio 16 Ahtoilmajähdytintila oikealta sivulta	24
Kuvio 17 Eristeen kiinnitysteline.....	25
Kuvio 18 Eristeen kiinnityskoukut.....	25
Kuvio 19 Tässä työssä suunniteltu eriste koostuu viidestä modulista	26
Kuvio 20 Kromipitoisuuden vaikutus teräksen hilseilylämpötilaan	32

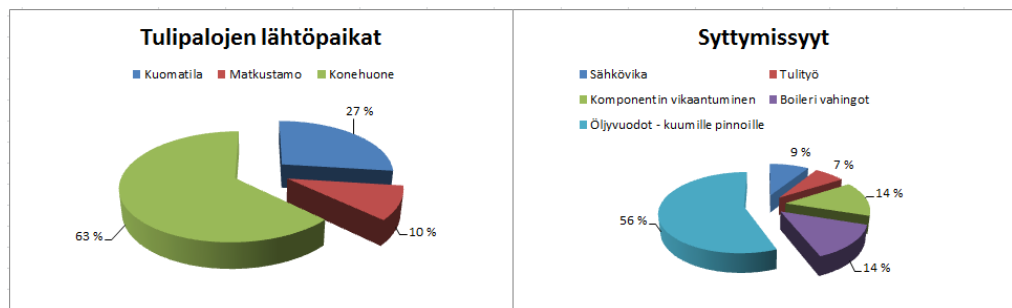
Kuvio 21 Ahtoilman lämpötilan nousun vaikutukset hyötysuhteeseen	34
--	----

Käytetyt termit ja lyhenteet

3D-skanneri	3D-skanneri on laite, jolla voidaan tutkia reaali maailman esineitä ja ympäristöä ja kerätä data kohteen muodoista. Kerätty data tallennetaan pistepilveksi josta voidaan muodostaa 3D-malli kohteesta.
SOLAS	SOLAS-sopimus (Safety of Life at Sea) on kansainvälinen meriturvallisuutta käsittelevä sopimus. Sopimus takaa, että kaikki sopimuksen allekirjoittajamaissa rekisteröidyt laivat läpäisevät tietyt minimiturvallisuusmääräykset, jotka koskevat rakennetta, välineistöä sekä laivan toimintaa.
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (International Maritime Organization) on vuonna 1984 perustettu Yhdistyneiden kansakuntien alainen kansainvälinen merenkulun turvallisuusasioita hallinnoiva järjestö.
NAIMA	NAIMA (North American Insulation Manufacturers Association) on pohjois-amerikkalaisten eristeiden valmistajien etujärjestö.
UL-standardi	UL on globaali, riippumaton turvallisuustekniikan yhtiö, joka tarjoaa asiantuntemustaan strategisilla alueilla, kuten tuoteturvallisuudessa, ympäristössä ja terveydessä. UL tekee myös standardeja toimialoilleen.
ASTM-standardi	ASTM International, tunnettu vuoteen 2001 asti nimellä American Society for Testing and Materials (ASTM), on kansainvälinen standardisoimisjärjestö, joka kehittää ja julkaisee vapaaehtoisia teknisiä standardeja
DNV GL	DNV GL on Det Norske Veritas ja Germanischer Lloyd yritysten yhdistymisessä vuonna 2013 syntynyt maailmanlaajuinen sertifiointilaitos.

1 JOHDANTO

Tavara-aluksen konehuoneessa syntynyt tulipalo saattaa aiheuttaa 1–4miljoonan dollarin suorat kustannukset aluksen omistajalle. Matkustaja-aluksissa tulipalon aiheuttamat kustannukset saattavat nousta vielä paljon suuremmiksi. DNV GL -sertifiointilaitoksen keräämän tilastotiedon mukaan melkein kaksi kolmasosaa laivojen tulipaloista lähtee konehuoneesta. Saman tilastotiedon pohjalta on havaittu, että sytymissyty on 56 %:ssa tapauksista ollut syttyvän nesteen vuotaminen kuumalle pinnalle, kuvio 1.



Kuvio 1. Tulipalojen sytymissytyt ja syntymispaikat (Det Norske Veritas).

Vuodesta 2003 lähtien konehuoneen eristeille on määritelty säädökset, jotka eristeiden on täytettävä. Merirahtiliikenteessä on kuitenkin vielä paljon aluksia, jotka on rakennettu tätä aikaisemmin, eivätkä näiden alusten eristeet täytä tämänhetkiä vaatimuksia. Vanhojen eristeiden tullessa käyttöikänsä päähän tai rikkoontuneissa varustamot korvaavat nämä uusilla vaatimukset täyttävillä eristeillä.

Tämän opinnäytetyön tavoite on mitoittaa ja suunnitellaan nykypäivän vaatimukset täyttävä eriste korvaamaan vanha rikkoontunut ahtoilmajäähdyttimen eriste. Eriste mitoitetaan ja suunnitellaan saatujen lähtötietojen perusteella. Eristeestä myös tehdään työkuvat, joiden pohjalta eriste voidaan valmistaa ja lähettää asennettavaksi kohteeseen. Valmistusta ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyössä kuvataan eristeen suunnitteluprosessia lähtötietojen hankkimisesta valmiin tuotteen luovuttamiseen asiakkaalle. Työssä nostetaan esille suunnittelussa valmistuksen ja asennettavuuden kannalta huomioitavia asioita. Loppuosassa on myös pohdintoja huomioista, joita uusi tiivis eriste voi mahdollisesti aiheuttaa.

2 TAUSTATIETOJA

Adiabatix Oy on vuonna 2000 perustettu tekniseen eristykseen erikoistunut yritys. Yritys valmistaa modernin suunnittelu- ja tuotantotekniikan avulla asiakkailleen laadukkaita, helppokäyttöisiä ja kestäviä eristystuotteita.

Kuten kaikissa projekteissa, myös tässäkin työssä yrityksen tuotteet täyttävät asiakkaiden eristykseen liittyvät erityistarpeet. Yrityksen nopeasti asennettavilla ja yksinkertaisilla eristysmoduulijärjestelmillä varmistetaan turvallisuus erittäin vaativissa olosuhteissa. Eristysmoduulijärjestelmiä on käytössä marine-, offshore-, voimalaitos- ja prosessiteollisuuden sektoreilla ympäri maailman.

Tässä työssä suunniteltu ahtoilmajäähdyttimen eriste on osa norjalaiselta Petroleum Geo-Services -yritykseltä saatua toimeksiantoa. Toimeksiantoon sisältyy erilaisten eristeiden suunnittelu ja asennus yrityksen Ramform Explorer -tutkimusalukseen, kuvio 2. Petroleum Geo-Services on yritys, joka tarjoaa maailmanlaajuisesti öljy-yrityksille laaja-alaisia palveluja öljyn ja kaasun etsintään merestä.



Kuvio 2. Ramform Explorer merentutkimusalus (Petroleum Geo-Services).

3 TEHTÄVÄNANTO

3.1 Lähtökohdat

Tehtävänä oli mitoittaa ja suunnitella eriste Bergen Marine BRG-6 -moottorin ahtoilmajäähdyttimen eristämiseen. Koska tässä tapauksessa kyseinen moottori on asennettu laivaan, eristeen on täytettävä SOLAS-standardin mukaiset vaatimukset. Lisäksi huomiota oli kiinnitettävä eristeen valmistettavuuteen sekä erityisesti asennettavuuteen.

SOLAS-sopimus (Safety of Life at Sea) on kansainvälinen meriturvallisuutta käsittelevä sopimus. Sopimus takaa, että kaikki sopimuksen allekirjoittajamaissa rekisteröidyt kauppalaivat läpäisevät tietyt minimiturvallisuusmääräykset, jotka koskevat rakennetta, välineistöä sekä laivan toimintaa. Tarve tällaiselle sopimukselle syntyi RMS Titanic -matkustajalaivan törmättyä jäävuoreen ja upottuaan Pohjois-Atlantilla vuonna 1912. Ensimmäinen versio sopimuksesta allekirjoitettiin vuonna 1914. Sopimusta on myös päivitetty tämän jälkeen useita kertoja (International Maritime Organization.)



Kuvio 3. Ahtoilmajäähdytin laivassa.

3.2 Vaatimukset

Eristeelle erinäisiä vaatimuksia asettaa SOLAS-sopimus, valmistettavuus sekä asennettavuus. Vuodesta 2003 lähtien SOLAS-sopimus on määrittellyt kuumien pintojen eristämisen seuraavasti: aluksen konehuoneen kaikki pinnat, joiden pintalämpötila on yli 220 °C ja joihin on mahdollista päästä vuotamaan polttoainetta polttoainejärjestelmän vikaantuessa, on eristettävä. Eristeen tarkoitus on estää leimahtavana nesteen pääsy kuumalle pinnalle ja näin ollen estää nesteen syttyminen.

Eriste valmistetaan mattona olevasta kuitumaisesta eristemateriaalista, joka verhoillaan teräslevyllä molemmilta puolilta. Teräslevyt liitetään toisiinsa niittaamalla pop-niiteillä. Verhoilulevyt ovat erilaisia monimuotoisia särmättyjä ohutlevyjä. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota siihen, että levyt on mahdollista särmätä lopulliseen muotoonsa, ja ei suunnitella liian monimutkaisia levyjä. Levyjä suunniteltaessa on syytä huomioida myös eristeen kokoonpanojärjestys. Suositeltavaa olisi, että eristemateriaali voitaisiin asettaa tasaisen mattona, jolloin sitä ei jouduttaisi sullomaan verhoilulevyjen väliin.

Asennettavuusvaatimusten lähtökohtana on nopea ja helppo asennus sekä purku. Eriste jakaantuu useampaan moduuliin, joiden määrä ja muodot määrittävät asennuksen helppouden. Moduulijakoa suunniteltaessa olisi moduulien muotoa, kokoa ja painoa hyvä peilata siihen lähtökohtaan, että eristeen pystyisi kokonaisuudessaan asentamaan paikalleen yksi asentaja. Eristettävät kohteet ovat useasti ulkomuodoiltaan monimuotoisia, mikä asettaa omat haasteensa eristeen muodoille ja moduulijaolle. Moduulijako on aina kompromissi hyvän eristävyden ja helpon asennettavuuden välillä.

4 ERISTEEN SUUNNITTELU

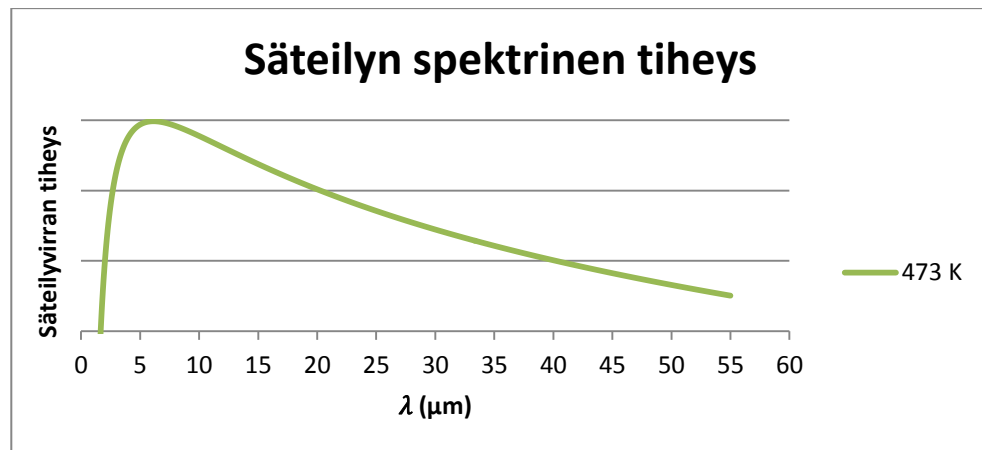
4.1 Eristeen toiminta

Eristeen tehtävä on muuttaa aluksen konehuoneessa olevien kuumien, leimahtaville nesteille alttiiden pintojen pintalämpötila sellaiseksi, että leimahtamiselle ei ole edellytyksiä. Eristeellä luodaan eristettävän kappaleen ympärille uusi pinta, jonka pintalämpötila säädetään eristemateriaaleilla alhaiseksi. Eristemateriaaleilla hallitaan lämmön siirtymistä eristettävän kappaleen pinnasta eristeen ulkopintaan.

Termodynamiikan oppien mukaan lämpö siirtyy kolmella mekanismilla, jotka ovat säteily, johtuminen ja konvektio. Säteily fysikaalisena ilmiönä on hiukkasten tai energian siirtymistä säteilylähteestä ympäristöön tai kohteeseen. Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä. Planckin lailla voidaan laskea lämpösäteilyn aallonpituuden jakauma, kun tunnetaan kappaleen lämpötila. Kuviossa 4 nähdään ahtoilmajähdyttimen säteilemän lämpösäteilyn aallonpituuksien kuvaaja. Ahtoilmajähdyttimen lämpötilaksi on oletettu 200 °C eli 473 K. Wienin siirtymälain kaavalla (Hautala & Peltonen 2007, 175) voidaan laskea, millä aallonpituudella säteily on voimakkainta.

$$\lambda_{max} = \frac{28978 \cdot \mu\text{m}}{T} \quad (1)$$

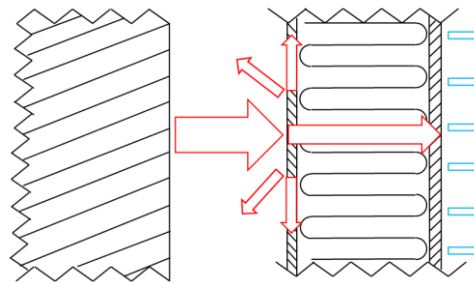
Kaavassa λ_{max} on aallonpituus mikrometreinä, luku 28978 on vakio, ns. Wienin vakio. T on säteilevän kappaleen lämpötila kelvineinä. Kaavasta laskemalla todetaan, että kappale säteilee voimakkaimmin 6 μm :n aallonpituudella. Tätä tietoa voidaan hyödyntää, kun valitaan loppumittaukseen sopivaa lämpökameraa. Suurin osa lämpökameroista mittaa lämpösäteilyä joko alueella 2–5 μm (lyhytaaltainen infrapuna) tai 8–12 μm (pitkäaaltainen infrapuna).



Kuvio 4. Lämpösäteilyn aallonpituus.

Johtumisella tarkoitetaan lämmön siirtymistä aineen sisällä. Lämpö voi myös siirtyä aineesta toiseen, mikäli aineet ovat kosketuksissa toisiinsa. Konvektiossa lämpö siirtyy nesteen tai kaasun virtausten mukana.

Käsiteltävässä tapauksessa lämpöä siirtyy aluksi säteilynä ja sen jälkeen eristeen pinta- ja eristemateriaaleissa johtumalla kuvion 5 mukaisesti. Säteilevästä kappaleesta lähtevästä säteilystä osa heijastuu eristeen pintamateriaalista takaisin, osa absorboituu pintamateriaaliin ja loppu johtuu ensin pintamateriaalin läpi eristemateriaaliin ja tästä ulkovaipan pintamateriaaliin.



Kuvio 5. Lämmön siirtyminen. 1. eristettävä kappale, 2. ja 4. eristeen ulkovaippa, 3. eristemateriaali.

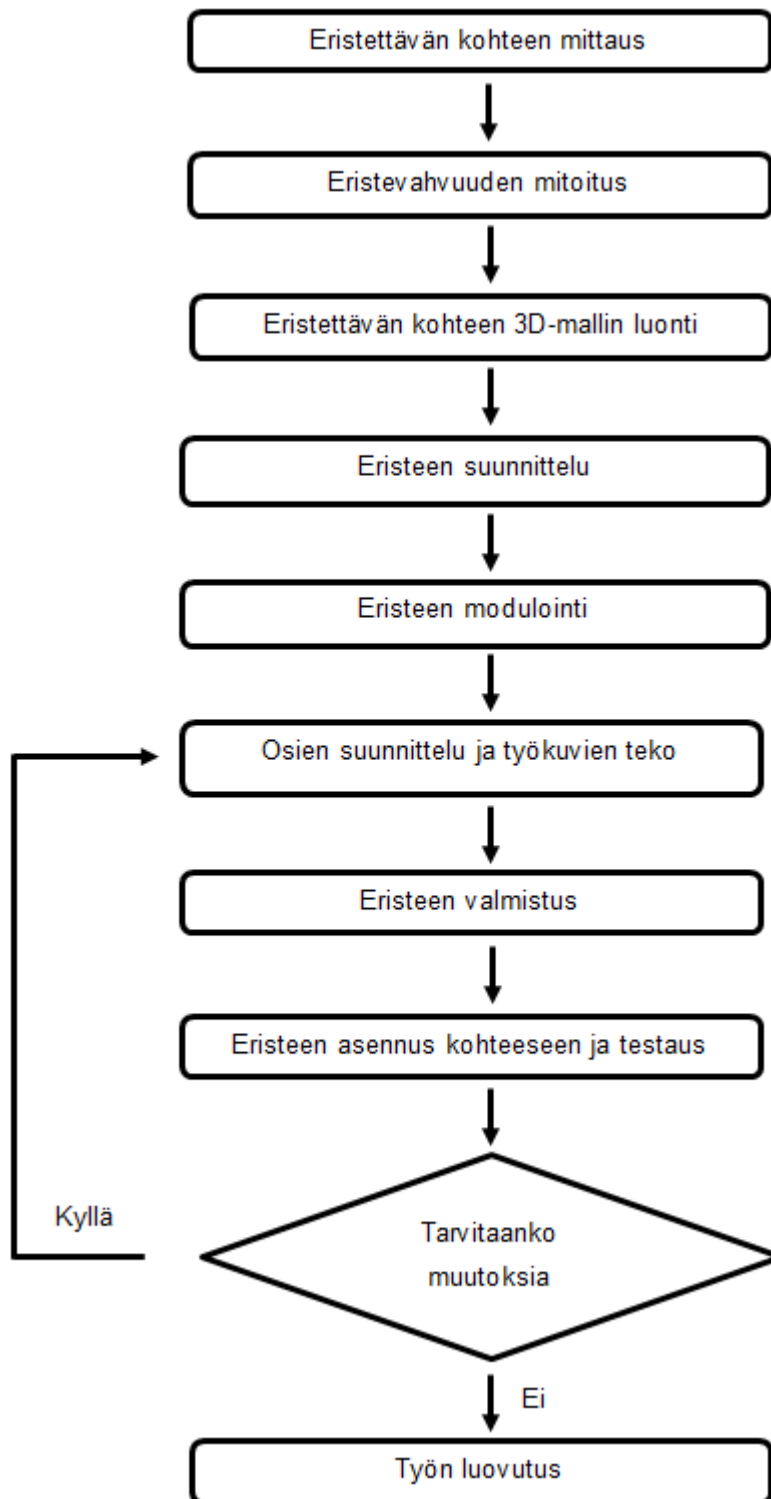
4.2 Prosessikuvaus

Kuviossa 6 on kuvattu eristeen suunnitteluprosessin prosessikaavio. Prosessikaavio on hyvin yksinkertainen ja etenee suoraviivaisesti mittauskäynnistä mitoituksen

kautta suunnitteluun ja eristeen ensimmäisen version valmistukseen, asennukseen ja testaukseen. Testauksen jälkeen eristeeseen tehdään mahdolliset tarvittavat muutokset ja tekninen dokumentaatio korjataan vastaamaan lopullista tilannetta.

Useimmiten eristettävät kohteet ovat vanhempia käytössä olevia laivoja, joten konehuoneesta ei ole saatavilla 3D-malleja, vaan kohde ja sen ympäristö on käytävä mittaamassa ja valokuvaamassa paikan päällä. Samalla mittauskäynnillä voidaan todeta eristettävän kohteen lämpötila, jonka perusteella voidaan mitoittaa tarvittava eristevahvuus, jolla päästään haluttuun pintalämpötilaan eristeen ulkopinnalla. Eristevahvuuden mitoitukseen käytetään tähän tarkoitukseen suunniteltua ohjelmistoa. Kun on saatu riittävästi mittoja eristettävästä kohteesta, siitä luodaan 3D-malli. Mitä tarkemmin 3D-malli vastaa eristettävää kohdetta, sitä suuremmalla todennäköisyydellä eriste saadaan asennettua paikalleen heti ensimmäisellä asennuskerralla. Tästä syystä 3D-mallin luonti on yksi tärkeimmistä vaiheista. 3D-mallin luonnin ja eristevahvuuden mitoituksen jälkeen alkaa eristeen suunnittelu ja mallinnus. Suunnittelussa on huomioitava eristettävän kohteen ympäristö, eristeen kiinnityspisteet sekä tiivistepinnat. Eristeestä mallinnetaan aluksi yhtenäinen kuori. Seuraavassa vaiheessa mallinnettu kuori jaetaan tarvittavaan määrään moduuleita asennettavuus ja valmistettavuus huomioiden. Moduulijakoa suunniteltaessa on myös huomioitava moduulien kiinnitys toisiinsa. Moduulijaon valmistuttua siirrytään moduulien osien suunnitteluun. Osien suunnittelussa huomioitavia asioita ovat levyosien valmistettavuus sekä moduulin kokoonpantavuus. Levyosien suunnittelun jälkeen osista piirretään valmistuspiirustukset ja moduuleista sekä koko eristeestä kokoonpanopiirustukset. Eristeelle, moduuleille sekä kaikille levyosille luodaan myös yksilölliset osanumerot kaikkien komponenttien identifiointiseksi ja kokoonpanon helpottamiseksi. Piirustuksien valmistuttua levyosat tilataan alihankkijalta ja osien saavuttua kokoonpano-osasto valmistaa eristeen. Tässä kohtaa vielä on mahdollista puuttua mahdollisiin suunnitteluvirheisiin ja tehdä osiin korjauksia. Eristeen valmistuksen jälkeen eriste lähetetään asennuskohteeseen sovitetun aikataulun mukaisesti. Asennusryhmä lähtee myös paikan päälle asentamaan eristeen. Eriste asennetaan paikalleen ja mikäli tarvetta ilmenee, eristeeseen tehdään tarvittavia muutoksia. Pieniä muutoksia voidaan tehdä paikan päällä, mutta jos eristeeseen on tarve tehdä suurempia muutoksia, valmistetaan koko-

naan uusi eriste. Paikalleen asennuksen jälkeen eristeelle tehdään mittaus ja eristävyys todennetaan. Lopuksi paikan päällä tehdyt muutokset korjataan osapiirustuksiin ja työ ajantasaisine dokumentteineen luovutetaan asiakkaalle.

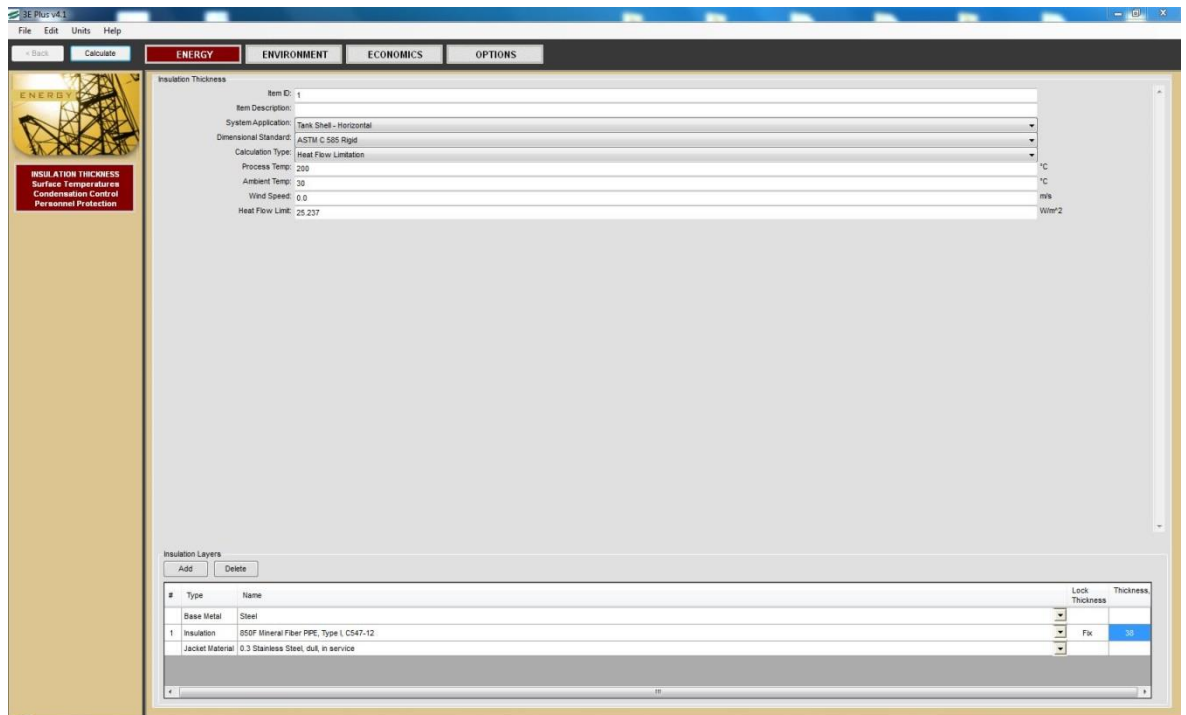


Kuvio 6. Prosessikaavio eristeen suunnittelusta.

4.3 Käytettävät ohjelmistot

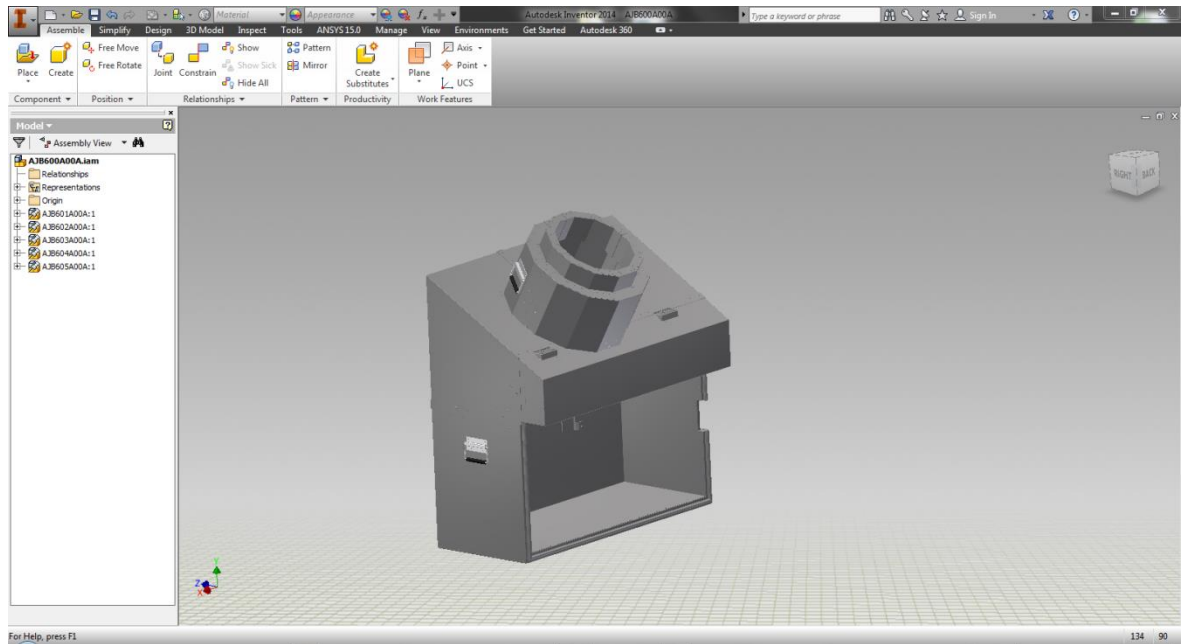
Tämän opinnäytetyön teossa käytettiin kahta ohjelmistoa sekä yhtä internetpohjaista PDM-sovellusta.

Eristevahvuuden mitoitukseen käytettiin 3E Plus 4.1 -ohjelmistoa. 3E Plus Insulation Thickness Computer Program on NAIMA:n kehittämä teollisuuden energian hallintatyökalu. Työkalu on kehitetty helpottamaan eristeiden paksuuksien määrittelyä erilaisissa teollisuuden sovelluksissa. NAIMA (North American Insulation Manufacturers Association) on pohjoisamerikkalaisten eristeiden valmistajien etujärjestö.



Kuvio 7. Näkymä 3E Plus 4.1 -ohjelmasta.

Eristeen 3D-mallinnukseen ja piirustusten tekoon käytettiin Autodesk Inventor 2014 3D CAD -ohjelmistoa. Inventor on 3D-mekaniikkasuunnitteluun, dokumentointiin ja tuotesimulointiin tarkoitettu ohjelmisto. Ohjelmistosta on olemassa eritasoisia versioita, jotka sisältävät erilaisia mekaniikkasuunnittelussa tarvittavia työkaluja lujuuslaskentaan, liikesimulointiin, virtaussimulointiin, valuosien muottien suunnitteluun ja tiedonhallintaan. Ohutlevyjen suunnittelutyökalu kuuluu Inventorin perustyökaluihin. Eristeelle ei myöskään tarvitse suorittaa lujuustarkastelua tai virtaussimulointina, joten suunnittelutyö voitiin suorittaa perustason ohjelmistoversiolla.



Kuvio 8. Näkymä Autodesk Inventor 2014 -ohjelmasta.

Opinnäytetyötä tehdessä yrityksellä ei ollut käytössä erillistä PDM-ohjelmistoa vaan tuotetiedon hallintaan käytettiin kotimaista internetpohjaista eFind PDM-sovellusta. eFind-sovelluksessa luodaan tuotteille ja tuotteiden osille osanumerot sekä kuvaavat nimet. Inventoriin voidaan asentaa eFind-lisäosa, jolla saadaan tuotua osanumerot ja nimet kokoonpanoille ja osille suoraan iProperties-profiilikortille.

The screenshot shows the eFind application interface. At the top, there are navigation tabs: Etusivu, Laitteet, Tuoteryhmät, Materiaalit, Numerot, Tietojen tuonti, and Lopeta. Below the tabs is a search bar with a search button and options for search criteria. A list of search filters is visible on the left, including 'piirustusnumero', 'piirustuksen kuvaus', 'Asiakas', 'Projekti', 'Varauspvm', 'Tarkenne1', 'Tarkenne2', 'Nimitys', 'tuoteryhminimi2', and 'Materiaali'. The main content is a table with the following columns: piirustusnumero, Piirustuksen kuvaus /, Asiakas, Projekti, CA, m, p. The table contains 30 rows of data, each representing a different part or drawing.

piirustusnumero	Piirustuksen kuvaus /	Asiakas	Projekti	CA	m	p
AB601A10A-1389	TELINÄ	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB601A09A-1388	KORVAKE	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A06A-1387	LUKON KIINNINKE 2	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A07A-1386	LUKON KIINNINKE	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A06A-1385	PÄÄTYLEVY KESKELLE	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A05A-1384	PÄÄTYLEVY SISÄ	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A04A-1383	PÄÄTYLEVY VASEN	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A03A-1382	PÄÄTYLEVY OIKEA	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A02A-1381	SISÄVAIPPA	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB605A01A-1380	ULKOVAIPPA	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A19A-1379	TIIVISTELEVVY 5	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A18A-1378	TIIVISTELEVVY 4	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A17A-1377	TIIVISTELEVVY 3	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A16A-1376	TIIVISTELEVVY 2	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A15A-1375	TIIVISTELEVVY 1	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A14A-1374	PÄÄTYLEVY TAAKSE 2	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A13A-1373	PÄÄTYLEVY TAAKSE 1	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A12A-1372	PÄÄTYLEVY ETEEN 2	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A11A-1371	PÄÄTYLEVY ETEEN 1	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A10A-1370	KAARILEVY PÄÄTY SISÄ	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB602A22A-1369	TIIVISTELEVVY 7	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB602A21A-1368	TIIVISTELEVVY 6	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB602A20A-1367	TIIVISTELEVVY 5	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB602A20A-1366	TIIVISTELEVVY 5	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB602A19A-1365	TIIVISTELEVVY 4	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A09A-1364	KAARILEVY PÄÄTY ULKO	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A08A-1363	KAARILEVY YLOS SISEMPI	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A07A-1362	KAARILEVY YLOS ULOMPI	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A06A-1361	KAARILEVY ALAS SISEMPI	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p
AB604A05A-1360	KAARILEVY ALAS ULOMPI	ADIABATIX	AHTOILMAN JÄÄDYTTIMEN ERISTE	CA	m	p

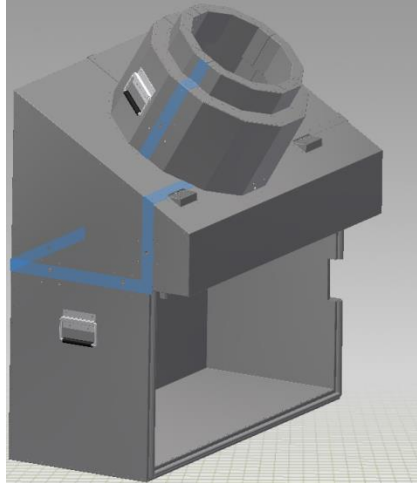
Kuvio 9. Näkymä eFind-sovelluksen käyttöliittymästä.

4.4 Käytettävät materiaalit

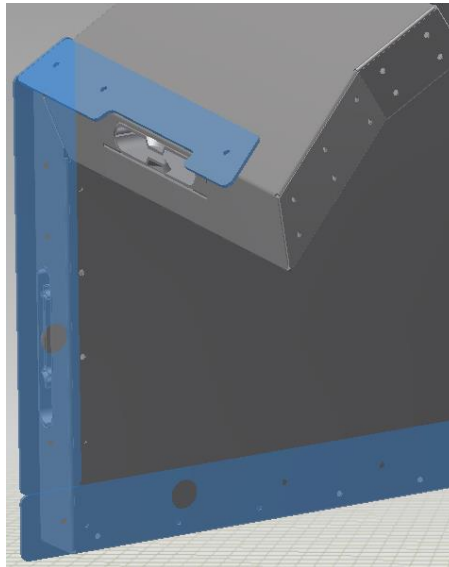
Eristeen sisä- ja ulkokuorena käytetään ruostumatonta teräslevyä. Käytettävä levyyn materiaalivahvuus riippuu eristeeseen tulevien moduulien mitoista. Mitä suurempia moduuleja valmistetaan, sitä paksumpaa levyä on käytettävä. Tässä työssä tehtävien moduulien mitat ovat sellaisia, että sopiva materiaalivahvuus on 0,7 mm. Eristeissä käytettävien levyjen materiaalivahvuuksiin on päädytty tekemällä kestoprojektteja useissa eri käyttökohteissa, useiden vuosien aikana.

Eristemateriaalina käytetään Insulfrax S -kuitumattoa. Materiaali täyttää UL-standardin numero 723 sekä ASTM E84-14 -standardin mukaiset vaatimukset. UL on globaali, riippumaton turvallisuustekniikan yhtiö, joka tarjoaa asiantuntemustaan strategisilla alueilla, kuten tuoteturvallisuudessa, ympäristössä ja terveydessä. UL tekee myös standardeja toimialoilleen. American Society for Testing and Materials (ASTM) on kansainvälinen standardisointijärjestö, joka kehittää ja julkaisee vapaaehtoisia, yksimielisiä ja teknisiä standardeja. Kyseinen eristemateriaali on rakenteeltaan sellaista, että se kestää hyvin siihen kohdistuvan tärinän. Lisäksi pitkäaikaisessa käytössä on todettu, että tämä eristemateriaali säilyttää hyvin rakenteensa ja muotonsa eikä näin ollen valu moduulien sisällä käytön aikana. Tässä työssä suunniteltu eriste tiivistyy osittain eristettävän kappaleen laippamaiseen pintaan. Tämä rajapinta tiivistetään eristeeseen kiinnitetyllä painotiivis-

teellä. Painotiivisteiden materiaali on teräspunosta. Moduulien välillä olevien rajapintojen tiivistyksessä ei käytetä erillistä tiivistettä, vaan moduulien väliset saumat peitetään eristeen ulkopintaan kiinnitettävällä teräslevyllä. Kuvioissa 10–11 nähdään peitelevy, jolla moduulien väliset saumat peitetään.



Kuvio 10. Tiivistelevyllä tiivistetään moduulien väliset saumat.



Kuvio 11. Tiivistelevyt moduulissa.

4.5 Mitoitus

Eristeen äärimittojen mitoitukseen käytettiin mittatietoja, jotka opinnäytetyön ohjaaja oli mitannut ahtoilmajäähdyttimestä käydessään mittauskäynnillä kyseisessä laivassa. Mittaukset on suoritettu manuaalisesti erilaisia mittavälineitä kuten rullamittaa käyttäen. Liitteessä 1 nähdään mittajaan muistiinpanoja mitattavasta kohteesta. Tehtäessä mittaus manuaalisilla mittavälineillä on erittäin tärkeää saada

tallennettua riittävästi eristeen mitoituksen kannalta merkityksellisiä mittoja. Eristettävästä kohteesta ja sen ympäristöstä on myös hyvä ottaa valokuvia ja tarvittaessa piirtää paperille muistiinpanoja sellaisista yksityiskohdista, joita on hankala tuoda esille valokuvaamalla.

Monessa tapauksessa projektien tiukkojen aikataulujen vuoksi on mahdollista päästä vain yhdelle mittauskäynnille laivaan, koska laivat ovat liikenteessä olevia aluksia. Tässä korostuu mittajaan kokemus ja ammattitaito, että saadaan riittävästi mittausdataa. Mittajaan on saatava myös raportoitua mitaustulokset selkeästi ja yksiselitteisesti etenkin sellaisissa tapauksissa, jolloin mittaja itse ei suunnittele kyseistä eristettä.

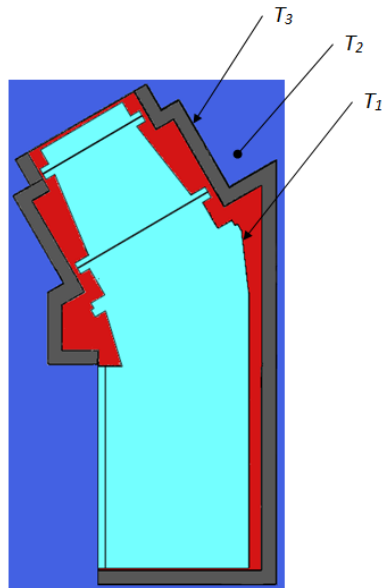
Yrityksessä on myös testattu 3D-skannerin käyttöä eristettävien kohteiden mittauksessa. Skannerin käyttö on hidasta ja sillä saatava data on vielä niin karkeaa, että se vaatii suuren työmäärän ollakseen käyttökelpoista. Mitattavat kohteet ovat monesti ahtaissa paikoissa sekä erilaisten putkitusten ja johdotusten ympäröimiä, mikä lisää 3D-skannerin käytön haastavuutta. Lisäksi laadukkaat 3D-skannerit ovat vielä hinnaltaan kalliita. Kokenut, ammattitaitoinen mittaja osaa ottaa tarvittavat mitat huomattavasti lyhyemmässä ajassa ja samalla jo luonnostella eristeratkaisua ja miettiä mahdollisia tartuntapintoja eristettävässä kohteessa.

Eristepaksuuden mitoitukseen käytettiin 3E Plus 4.1. -ohjelmistoa.

Mitoitukselle asetettiin seuraavat reunaehdot

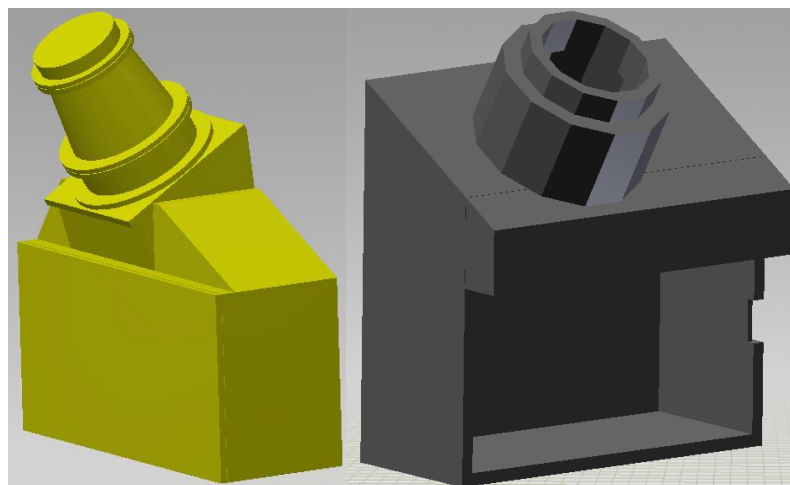
- eristettävän kappaleen pintalämpötila (T_1) 200 °C
- ympäristön lämpötila (T_2) 30 °C
- tavoitelämpötila eristeen pinnassa (T_3) n. 60 °C

Asetettujen reunaehtojen mukaiset lämpötilat näkyvät kuviossa 12. Liitteessä 2 on mitoituksessa saadut tulokset. Tuloksista voitiin todeta, että käytettäessä eristeen vaippana ruostumatonta teräslevyä sekä eristeenä 38 mm paksuista eristemateriaalia saavutetaan 64 °C pintalämpötila. Tätä voidaan pitää hyväksyttävänä tuloksena.



Kuvio 12. Eristepaksuuden mitoituksessa käytetyt lämpötilat T_1 , T_2 , ja T_3 .

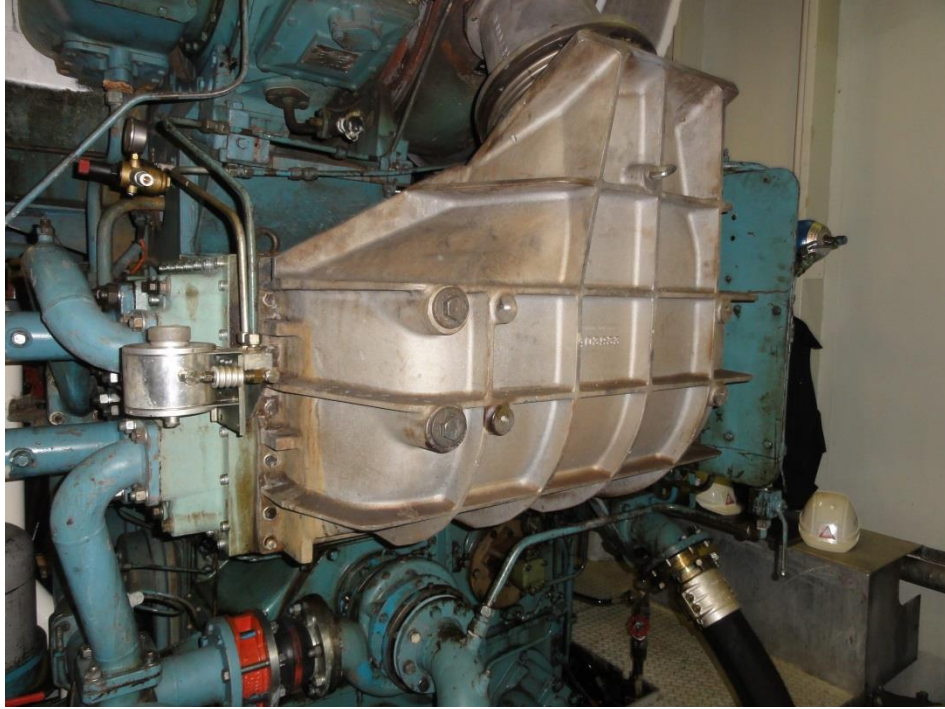
Mittatietojen pohjalta mallinnettiin kuvion 13 mukainen 3D-malli ahtoilmajähdyttimestä. Tämän mallin ja yllä kuvatun eristevahvuuden mitoituksen perusteella mallinnettiin eristeen ulkomuoto, kuvio 13.



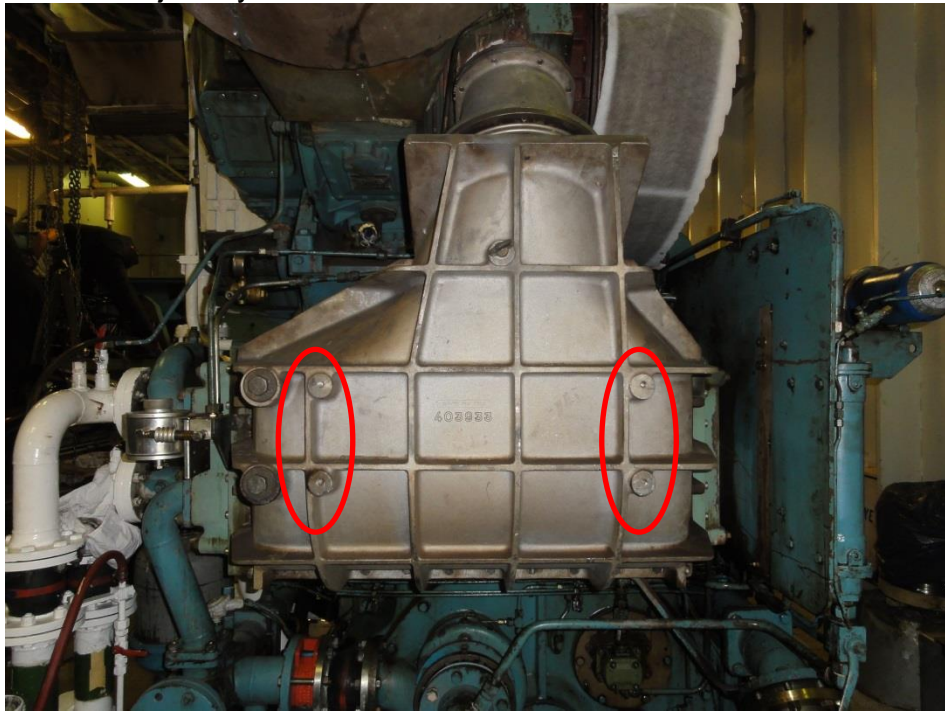
Kuvio 13. Ahtoilmajähdyttimen ja eristeen 3D-malli.

4.6 Asennettavuus

Tässä työssä suunnitellun eristeen suunnittelussa ehdottomasti suurimmat haasteet tulivat ahtoilmajähdyttimen monimuotoisesta muodosta ja ahtaasta ympäristöstä, jossa ahtoilmajähdytinsijaitsee. Kuvioissa 14–16 nähdään ahtoilmajähdyttimen muotoja sekä ympäristöä.



Kuvio 14. Ahtoilmajäähdytin vasemmalta sivulta.



Kuvio 15. Ahtoilmajäähdytin edestä.

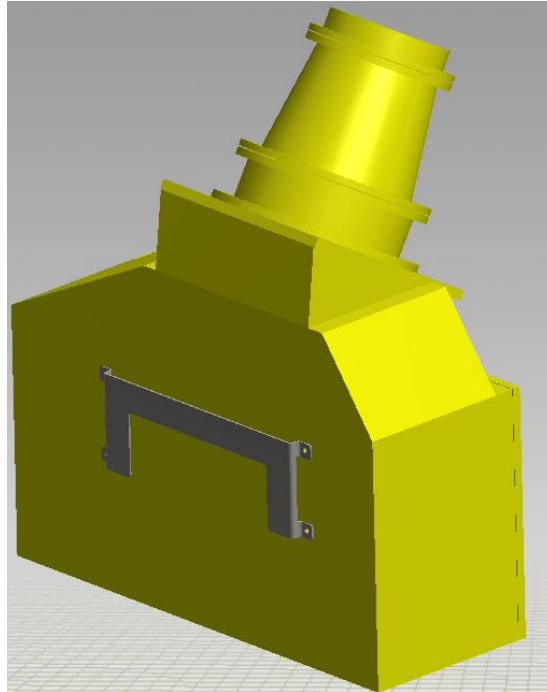


Kuvio 16. Ahtoilmajäähdytin oikealta sivulta.

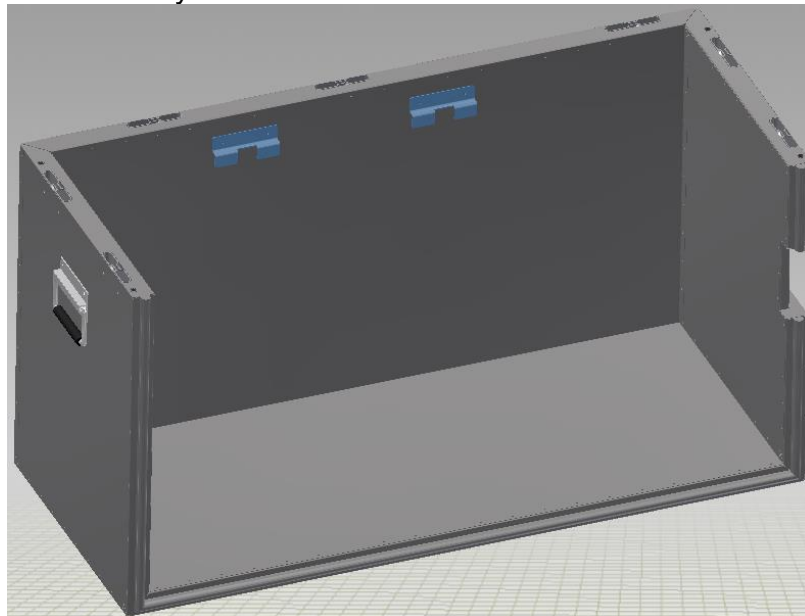
Sen jälkeen, kun eristeen ulkomitat ja -muoto oli saatu suunniteltua ja mallinnettua, oli aika alkaa miettimään eristeen moduulijakoa. Tässä kohteessa moduulijaon tulisi määrittämään asennettavuus ahtaaseen ympäristöön sekä vaatimus eristeen tiiveydestä. Koska asennuskohde oli jo iäkkäämpi laiva, niin siitä ei ollut saatavilla 3D-malleja eikä piirustuksia moottorin ja sen apulaitteiden asennuksesta. Näin ollen asennettavuus oli mietittävä samojen valokuvien sekä mittatietojen perusteella kuin eristeen ulkomuotokin oli mitoitettu. Tässä kohtaa myös opinnäytetyön ohjaajan pitkä kokemus vastaavien eristeiden suunnittelusta oli korvaamaton apu.

Eristeen asennusjärjestys suunniteltiin siten, että asennus aloitetaan suurimmasta ja raskaimmasta moduulista, moduulista numero 1. Tällä moduulilla on painoa noin 25 kg. Muiden moduulien paino on väliltä 3,5 – 12,0 kg. Monessa tapauksessa mietittäessä eristeen kiinnitystä on hyvä tarkastella eristettävää kappaletta siitä näkökulmasta, että löytyisikö siitä sellaisia rajapintoja, joihin eriste voitaisiin kiinnittää suoraan tai jonkinlaisen kiinnikkeen avulla. Tässä tapauksessa ahtoilmajäädyttimestä löytyi 4kpl vapaita kierrereikiä, joihin moduuli voitaisiin kiinnittää erikseen suunniteltavan kiinnitystelineen ja kiinnitysrautojen avulla. Kierrereivät on

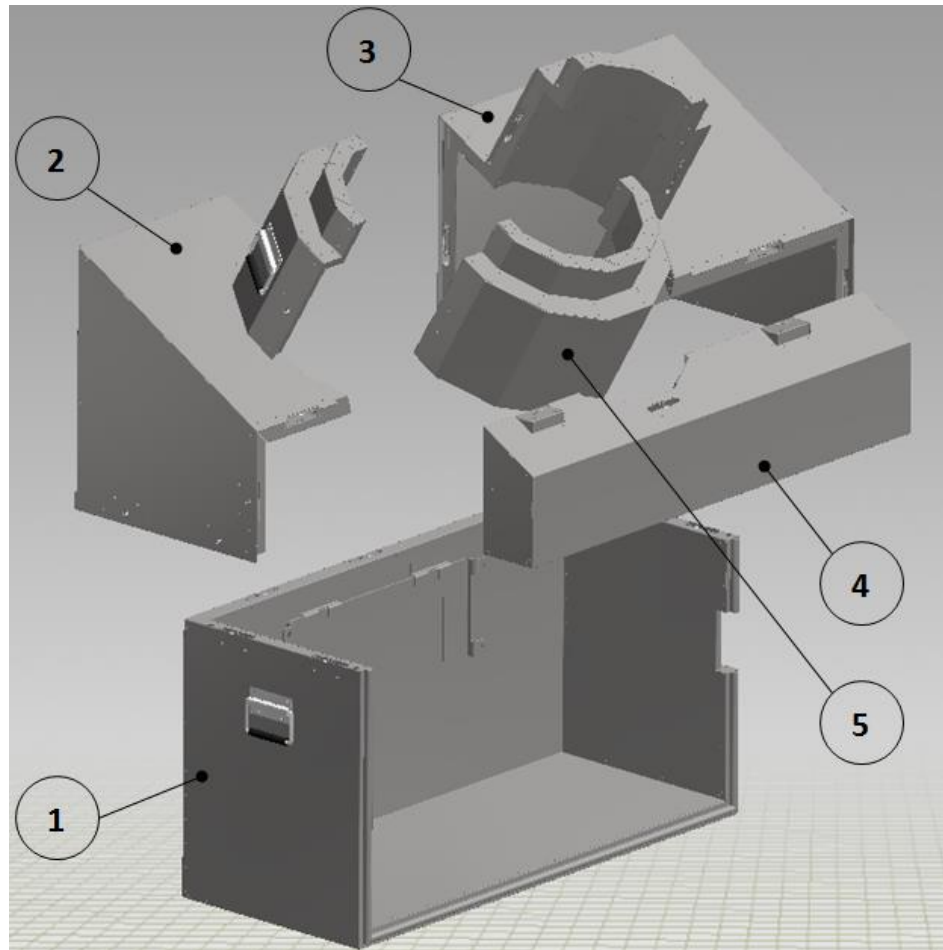
merkitty punaisella ympyröinnillä kuviossa 15. Kuviossa 17 nähdään ahtoilma-jäädyttimeen kiinnitetty kiinnitysteline ja kuviossa 18 on moduuliin kiinnitetty kiinnitysraudat. Loput moduulit asennetaan paikalleen kuvion 19 mukaisessa numerojärjestyksessä. Muut moduulit kiinnittyvät ensimmäiseen moduuliin sekä toisiinsa yrityksen patentoimalla lukitusmekanismilla.



Kuvio 17. Eristeen kiinnitysteline.



Kuvio 18. Eristeen kiinnityskoukut.



Kuvio 19. Tässä työssä suunniteltu eriste koostuu viidestä moduulista.

Tämäntyyppisissä eristyskohteissa moduulien lopullinen asennettavuus päästään todentamaan vasta, kun eristettä asennetaan ensimmäistä kertaa paikalleen. Tästä syystä ensimmäisellä asennuskerralla onkin syytä varautua tekemään moduulien rakenteisiin mahdollisesti muutoksia. Mikäli eristettävästä kohteesta ja sen ympäristöstä olisi saatavilla luotettavaa 3D-dataa, voitaisiin moduulien asennettavuus varmistaa ja simuloida jo suunnitteluvaiheessa.

Nykyaikaisilla 3D-simulointiohjelmistoilla voidaan simuloida erilaisia tuotannollisia toimenpiteitä aina yksinkertaisen tuotteen kokoonpanosta ja asennuksesta kokonaisten tehtaiden toimintaan. Simuloinnilla voidaan varmistaa niin erilaisten tuotteiden kokoonpantavuus ja asennettavuus, kuin suurten prosessien toimivuus huomattavasti pienemmillä investoinneilla kuin, jos tuote tai prosessi ensin toteutettaisiin ja sitten testattaisiin. Tämä nopeuttaa virheettömän tuotteen markkinoille tuloa ja toimivan prosessin käyttöönottoa huomattavasti. Lisäksi syntyvästä simulointidatasta saadaan hyvää materiaalia kokoonpano- ja käyttöohjeisiin sekä erilai-

siin esitteisiin. Tunnettuja 3D-simulointiohjelmistoja ovat Dassault Systèmes DELMIA, Visual Components 3DCreate sekä Cortona3D.

4.7 Valmistettavuus

Tämäntyyppisessä työssä valmistettavuuden näkökulmasta kahdeksi tärkeimmäksi tarkastelun kohteeksi nousee yksittäisen särmättävän ohutlevyosan valmistettavuus ja yksittäisen moduulin kokoonpantavuus. Yrityksen useiden vuosien ja eristyskohteiden kokemuksella eristeen rakenne ja käytettävät materiaalit ja komponentit ovat vakiintuneet. Tämä helpottaa suunnittelijan työtä, kun kaikkia teknisiä ratkaisuja ei tarvitse miettiä uudelleen jokaiseen eristeeseen, vaan voidaan keskittyä eristeen asennettavuuteen ja valmistettavuuteen. Valmistettavat eristeet ovat usein yksittäiskappaleita tai piensarjoja, joten ohutlevyosien yksinkertaisuudesta ja valmistettavuudesta pystytään hieman tinkimään verrattuna siihen, että yksittäisiä ohutlevyosia valmistettaisiin satoja samanlaisia.

Ohutlevyosien valmistettavuutta tarkasteltaessa on huomioitava monia seikkoja. Tästä syystä yksiselitteisiä ohjeita taivutettavien osien suunnitteluun on vaikea antaa. Tarkastellaan muutamia tärkeimpiä suunnitteluvaiheessa huomioitavia asioita, jotka erityisesti tässä työssä ovat tulleet vastaan.

Seinämien maksimikorkeudet ovat yksi tärkeä huomioitava asia. Mikäli seinämät ovat liian korkeita, taivutusprosessi hankaloituu huomattavasti. Seinämien maksimikorkeudet riippuvat suuresti käytettävästä taivutuslaitteistosta ja käytetyistä työkaluista. Maksimikorkeuden määrittämiseen on olemassa nyrkkisääntö, joka menee siten, että tarkasteltaessa kappaletta ulkopuolelta 45 asteen kulmassa täytyy vielä kappaleen sisäpuolen pohjassa oleva taivutus pystyä näkemään (Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja).

Ohutlevyosat sisältävät usein erilaisia lovia sekä reikiä. Mikäli näiden muotojen mittojen halutaan pysyvän tarkkoina, niitä ei voida sijoittaa liian lähelle taivutuslinjaa. Materiaali taivutussäteen ulkoreunalla venyy ja vastaavasti sisäreunalla puristuu. Tästä syystä liian lähellä sijaitsevien reikien sijainti ja muoto muuttuu taivutuksessa. Tarkat minimietäisyydet reikien paikoille ja muodoille voidaan laskea tähän

tarkoitetuilla kaavoilla, mutta on olemassa myös nyrkkisääntö. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että reiät ja lovet kannattaa sijoittaa kauemmaksi taivutuslinjasta, kuin mitä on lyhimmän mahdollisen taivutettavan sivun pituus (Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja).

Kappaleiden nurkkiin on myös hyvä tehdä helpotuksia. Varsinkin tässä työssä on osia, joita taivutetaan nurkkakohdista useaan eri suuntaan. Pyöreät helpotukset estävät kulmia repeämästä, jolloin rakenteesta tulee kestävämpi ja luotettavampi. Helpotukset voivat olla myös muun muotoisia neliömäisiä tai kyynelen muotoisia sekä niiden koko voi vaihdella tarpeen mukaan (Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja).

Särmättyjen ohutlevyjen mittoihin tulee epätarkkuuksia, jotka suunnittelijan on huomioitava. Levyn paikoitusmenetelmästä johtuen taivutettavaan ohutlevyosaan jää aina mittavirheitä. Usein taivutusjärjestyksellä on mahdollista vaikuttaa mittavirheen sijoittumiseen, mutta ei aina. Suunnittelijan on hyvä merkitä yksiselitteisesti piirustukseen paikat, joihin epätarkkuuksia voidaan jättää ja mitkä mitat ovat toiminnan kannalta oleellisia. Yksittäisen osan valmistaja ei välttämättä tiedä, mitkä ovat osan liityntäkohdat muuhun konstruktion. (Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja)

Ohutlevykappaleen suunnittelussa on monia huomioitavia tekijöitä ja monesti suunnitteluvaiheessa kaikkia tekijöitä ei ole mahdollista ottaa huomioon. Yleisimmät suunnittelussa sattuva virheet ovat seuraavat:

- Levyn reuna törmää särmäyspuristimen yläpalkkiin taivutettaessa
- Laippakorkeus on liian lyhyt. Taivutuslinja on liian lähellä levyn reunaa ja levy lipeää alatyökalun v-uraan.
- Reiät ovat liian lähellä taivutuslinjaa. Reikien muoto muuttuu materiaalin venyessä taivutuslinjojen lähellä.

Moduulin kokoonpantavuutta mietittäessä on huomioitava moduulin kokoonpanomenetelmä. Moduuli kokoonpannaan niittaamalla ohutlevyosat toisiinsa sokkoniteillä. Moduulien muutkin osat, kuten lukot ja kahvat, kiinnitetään niittaamalla.

Niittiliitos on menetelmänä yksinkertainen tapa liittää erilaisia materiaaleja toisiinsa. Kaikki niittiliitokset eivät vaadi etukäteen tehtyjä reikiä eikä niihin ole aina tarvetta päästä käsiksi liitettävien materiaalien molemmilta puolilta. Niittausta käytetään yleisesti rakenteissa, jotka eivät kestä hitsausta tai liitos täytyy tehdä metallien ja epämetallien välillä.

Tässä työssä osien toisiinsa liittämiseen on käytetty sokkoniittiliitosta. Sokkoniittiliitos vaatii liitettäviin materiaaleihin esiporatut reiät eivätkä sokkoniittiliitokset ole irrotettavissa esimerkiksi huoltotöitä varten. Liitosten kiinnittäminen tapahtuu helposti, koska liitokseen ei tarvitse päästä käsiksi kuin toiselta puolelta. Liitos muodostetaan siten, että niitti asetetaan liitettäviin osiin etukäteen tehtyihin reikiin työkalun avulla. Samalla työkalulla niitti myös kiristetään paikalleen. Työkalun koko rajoittaa niittauskohtia siten, että kaikkein ahtaimpiin nurkkiin ei ole mahdollista niittiä asentaa. Tämä on huomioitava suunniteltaessa niitinreikien paikkoja ohutlevyosiin.

5 TULOKSET JA POHDINNAT

Voidaan katsoa, että suunnittelutyölle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin. Eriste täyttää teoriassa SOLAS-sopimuksen mukaiset vaatimukset tiiviudessa ja pinta- lämpötilassa. Eristeen modulointia muutettiin asennusystävällisemmäksi vielä hyvin myöhäisessä vaiheessa, suurimman osan ohutlevyosien työpiirustusten jo ollessa valmiina. Tämän ratkaisun kuitenkin todettiin olevan tarpeellinen ja aikataullisesti mahdollinen, vaikka 3D-mallien ja piirustusten tekemiseen menikin huomattavasti enemmän aikaa kuin alunperin oli ajateltu. Tällä päätöksellä voitiin varmistua, että asennus tulee onnistumaan, kun eristettä lähdetään asentamaan paikalleen.

Suunnittelutyötä tehtäessä nousi esiin kysymys siitä, miten uusi eriste vaikuttaa moottorin imuilman lämpötilaan, kun ahtoilmajäähdytin eristetään tiiviillä kotelolla ja sen säteilemä lämpö jää ympäröivään tilaan koteloa sisälle. Myös ajatus kuumakorroosion synnystä ja vaikutuksesta eristeen materiaaliin tuli mieleen. Näitä kahta asiaan on pohdittu tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

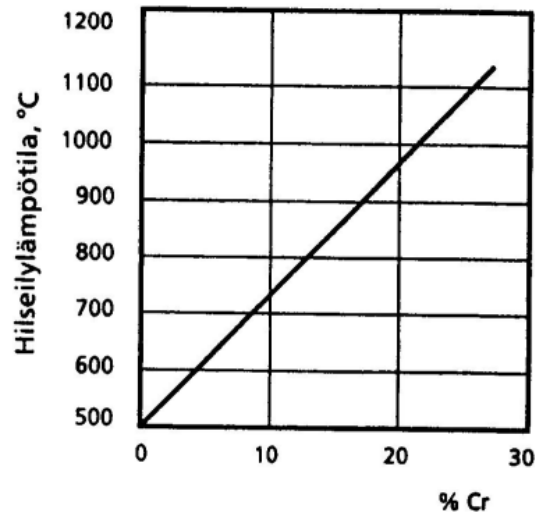
5.1 Kuumakorroosio

Kuumakorroosio on korroosion muoto, joka ei vaadi syntyäkseen nestemäisen elektrolyytin läsnäoloa. Tästä syystä tämäntyyppistä korroosiota on kutsuttu myös kuivakorroosioksi. Kuumakorroosiota tapahtuu yleensä yli 400 °C lämpötilassa. Tässä kemiallisessa reaktiossa metalli reagoi ympäröivän ilman hapen kanssa ja metallin pintaan syntyy oksidikerros. Kemiallinen reaktio nopeutuu mitä suuremaksi lämpötila nousee. Normaalisti oksidoituminen on toivottu reaktio, koska syntynyt oksidikerros vaikeuttaa metallin ja hapen reaktiota, jolloin oksidoituminen hidastuu. Oksidikerroksen kasvaessa liian paksuksi myös mahdollisuus oksidikerroksen lohkeiluun ja irtoamiseen kasvaa ja näin ollen sillä on metallia syövyttävä vaikutus. Kuumakorroosio on yleensä tasaista syöpymistä, ei pistemäistä. Korroosion kulku on näin ollen tasaista ja helposti ennakoitavaa. (Corrosionpedia.)

Tilanne, jossa kuumakorroosiota voisi syntyä on sellainen, kun jo ennestään korkean lämpötilan komponentti eristetään tiiviisti. Tällöin lämpötila eristeen sisällä ja

siten eristettävän komponentin ympärillä kasvaa ja tämä lämpötilan nousu saattaa kiihdyttää kuumakorroosion kemiallista reaktiota. Keskusteltuani asiasta yrityksen edustajan kanssa hän kertoi, että he eivät ole koskaan törmänneet kuumakorroosion aiheuttamiin ongelmiin heidän kohteissaan, eivätkä siten pidä sitä suurena vaaratekijänä.

Eristeen vaippamateriaali on ruostumatonta teräslevyä. Ruostumaton teräs on rautaseosta, johon on seostettu $\geq 10,5$ % kromia ja $\leq 1,2$ % hiiltä (Euro-Inox.). Ruostumattoman teräksen pintaan syntyy oksidikerros sen ollessa kosketuksessa ilman hapen kanssa. Lämpötilan ollessa matalahko oksidikerroksen kasvu lähes pysähtyy. Kuitenkin lämpötilan noustessa yli tietyn kriittisen rajan (hilseilylämpötila), hapettuminen jatkuu ja hapettunut kerros alkaa irtoilemaan ja metalli syöpyy pysähtymättä. Kromin määrä rautaseoksessa nostaa kyseisen metallin hilseilylämpötilaa. Kuviossa 20 nähdään kromin määrän vaikutus hilseilylämpötilan nousuun. Tästä kuvioista nähdään, että ruostumattomilla teräksillä hilseilylämpötila on aina yli 730 °C. Voidaan suurella todennäköisyydellä olettaa, että eristetty ahtoilmajäähdytін ei pysty nostamaan lämpötilaa eristeen ja ahtoilmajäähdyttimen välisessä tilassa niin suureksi, että se ylittäisi ruostumattoman teräksen hilseilylämpötilan. Näin voidaan todeta, että kuumakorroosiosta ei ole vaaraa eristeelle.



Kuvio 20. Kromipitoisuuden vaikutus teräksen hilseilylämpötilaan (Korroosiokäsikirja, 2004, 470).

5.2 Ahtoilman lämpötilan nousun vaikutukset

Laivoissa käytetään pääasiassa keskinopeita nelitahti-dieselmoottoreita, joiden kierrosnopeus on välillä $400\text{...}1500\text{ min}^{-1}$ ja sylintereiden lukumäärä on jopa 24. Moottoreissa pääasiallisena polttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä. (Robert Bosch GmbH 2010, 6–7)

Dieselmoottori toimii itsesyttymisperiaatteella ja palotilassa tapahtuvalla seoksenmuodostuksella. Palamiseen tarvittava ilma puristetaan rajusti kokoon palotilassa. Tämän seurauksena syntyy korkeita lämpötiloja minkä ansiosta ruiskutettu diesel-polttoneste syttyy itsestään. Dieselpolttonesteen sisältämä kemiallinen energia muuttuu dieselmoottorissa lämmön kautta mekaaniseksi työksi. (Robert Bosch GmbH 2010, 8)

Dieselmoottorissa polttoaineen palotapahtumassa tarvitaan happea O_2 . Tarvittava happi saadaan moottoriin ahtoilmanjäähdyttimen kautta tulevasta imuilmasta. Imuilman lämpötila vaikuttaa sylinteriin saatavaan hapen määrään siten, että fyysikan lakien mukaan kylmempi ilma on tiiviimpää kuin lämpimämpi ja näin ollen kylmempää ilmaa mahtuu sylinteriin enemmän. Suuremmassa ilmamäärässä on myös enemmän happea ja suuremman happimäärän vuoksi palotapahtumaan voidaan ruiskuttaa enemmän polttoainetta ja näin saadaan moottorin tehoa kasva-

tettua. Kylmempi imuilma myös jäädyttää moottoria, jolloin moottorin jäähdytysjärjestelmä pääsee helpommalla. Prosessi toimii myös kääntäen täysin samalla tavalla, eli imuilman lämpötilan noustessa hapen määrä palotapahtumassa pienee ja moottorin teho laskee.

Ahtoilmajäädyttimen tarkoitus on jäädyttää ahtimelta sylitereille tulevaa imuilmaa. Tästä syystä myös ahtoilmajäädyttimen olisi hyvä olla avoimessa ja mielellään tuuletetussa tilassa, että se jäädyttäisi imuilmaa parhaalla mahdollisella tavalla. Kun jäädytin eristetään tiiviillä rakenteella, on olemassa vaara, että ilmanlämpötila jäädyttimen ympärillä nousee yli suunnitellun toimintalämpötilan ja siten myös jäädyttimen toiminta heikkenee sekä imuilman lämpötila nousee laskien moottorista saatavaa tehoa. Moottorin tehon laskulla on suora vaikutus polttoainekulutukseen ja sitä kautta sillä on myös taloudellisia vaikutuksia laivan käyttäjälle.

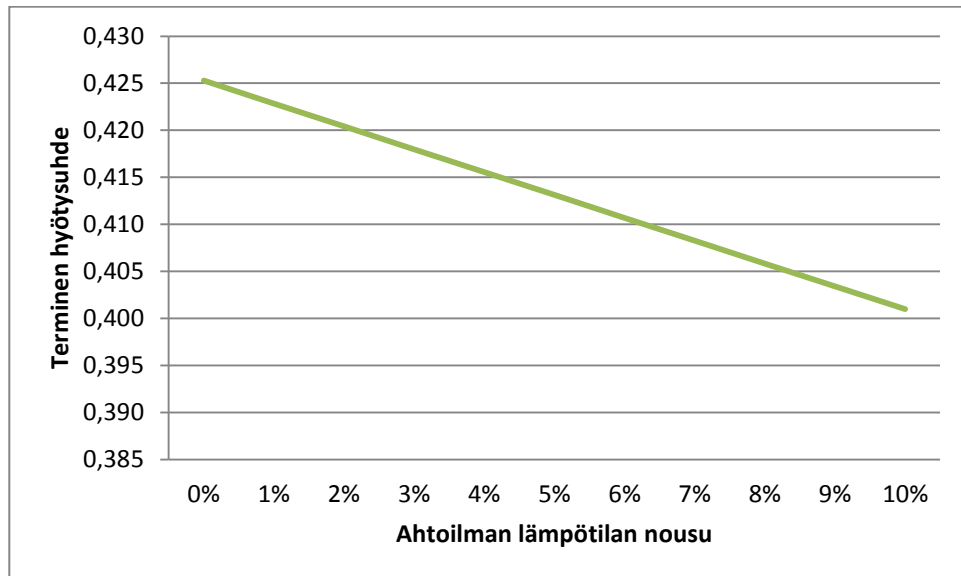
Ahtoilmajäädyttimen toiminnan kannalta paras eristeratkaisu olisi jonkinlainen verkko tai verkkomainen kehikko. Tämäntyyppisellä eristeratkaisulla pystyttäisiin täyttämään SOLAS-sopimuksen vaatimus maksimi pintalämpötilasta, mikäli eristeen aukotus olisi niin pieni, että aukoista ei pääsisi koskettamaan eristettävän kohteen pintaa missään tilanteessa. SOLAS-sopimuksen vaatimus estää syttyvän nesteen pääsy kuumille pinnoille ei kuitenkaan toteudu tämän tyyppisellä ratkaisulla, joten käytännössä tämä ratkaisu ei ole käyttökelpoinen.

Käytännössä pelkästään eristeen vaikutusta moottorin kulutukseen on hyvin vaikea todentaa, koska laivassa ja sen ympäristössä on monia muitakin polttoaineen kulutukseen vaikuttavia tekijöitä, kuten laivan lastin määrä ja merenkäynti. Pelkästään imuilman lämpötilaa olisi mahdollista tarkastella asettamalla lämpötilantureita imujärjestelmään ja tekemällä testiajoja eriste asennettuna ja ilman.

Teoriassa asiaa voidaan tarkastella Carnot'n kiertoprosessin ja termisen hyötysuhteen kautta. Kaavassa 2 on termisen hyötysuhteen kaava. Kaavassa T_2 on oletettu ahtoilmän lämpötila kelvineinä ja T_1 oletettu palotapahtuman lämpötila kelvineinä. (Talvitie 1966, 155.)

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (2)$$

Kaaviossa 21 on esitetty kuvaaja, miten ahtoilman lämpötilan nousu vaikuttaa termiseen hyötysuhteeseen. Käyrän alkupisteen arvo on laskettu oletetusta ahtoilman ja palotapahtuman lämpötilasta. Käyrälle on laskettu arvoja, miten termisen hyötysuhde muuttuu, kun ahtoilman alkuperäinen lämpötila nousee tietyn prosentimäärän. Kuvaajasta voidaan todeta, että ahtoilman lämpötilan noustessa 10 prosenttia termisen hyötysuhde laskee noin 2,5 prosenttiyksikköä eli noin 6 prosenttia.



Kuvio 21. Ahtoilman lämpötilan nousun vaikutukset hyötysuhteeseen.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella asiakasyritykselle nykypäivän vaatimukset täyttävä eriste laivanmoottorin ahtoilmajähdyttimeen. Työn tekniset vaatimukset tulivat SOLAS-sopimuksesta ja muut käytännön vaatimukset asetti eristeen valmistusmenetelmät sekä tarve tehdä eristeestä helposti paikalleen asennettava ja purettava.

Työn teoriaosuudessa on perehdytty lämpöopin perusteisiin sekä ohutlevyn särmäykseen eristeen osien valmistusmenetelmänä ja niittauksen eristeen kokoonpanomenetelmänä. Nämä valmistusmenetelmät ovat kokonaisuutena niin suuria, ettei niitä ollut järkevää käsitellä tässä työssä koko laajuudessaan, vaan vain sel-
laisilta osilta, jotka ovat merkityksellisiä tällaisen tuotteen valmistuksessa.

Voidaan todeta, että opinnäytetyön tehtävänannossa asetetut tavoitteet saavutettiin. Suunnittelutyön tuloksena saatiin tuotettua valmistuspiirustukset kaikille eristeen ohutlevyosille ja kokoonpanopiirustukset kaikille eristeen moduuleille sekä koko eristeelle. Kuten tekstissä aikaisemminkin todettiin, suunniteltu eriste täyttää tekniset vaatimukset ainakin teoriassa. Opinnäytetyötä kirjoitettaessa eristettä ei vielä ollut valmistettu, joten palautetta eristeen valmistettavuudesta ja asennettavuudesta ei saatu. Toivottavasti palaute saavuttaa suunnittelijan sen jälkeen, kun eriste aikanaan valmistetaan.

Suunnittelutyön aikana heräsi mieleen kysymyksiä kuumakorroosion vaikutuksesta ja mahdollisesti tiiviin eristeen vaikutuksesta ahtoilmalämpötilaan. Näitä asioita myös työn loppuosassa pohdittiin. Todettiin, että eriste ei materiaalinsa puolesta altistu kuumakorroosiolle näissä lämpötiloissa. Tälle tiedolle saatiin myös vahvistus asiakasyritykseltä. Heidän pitkän kokemuksensa aikana tällaista ongelmaa ei ole myöskään aikaisemmin tavattu. Ahtoilmalämpötilan nousun vaikutusta on vaikea käytännössä todentaa, johtuen monista muuttuvista tekijöistä. Termisen hyötysuhteen perusteella tehdyn arviolaskelman perusteella saatiin tulos, jonka mukaan imuilmalämpötilan noustessa 10 % terminen hyötysuhde laskisi 6 %. Laskennassa käytettiin arvioita imuilmalämpötilasta ja palotapahtuman lämpötilasta, joten tulos on vain suuntaa antava. Kuitenkin tuloksen perusteella voisi miettiä, että oli-

siko tulevaisuudessa tämän kaltaisia kohteita eristettäessä eristeeseen hyvä suunnitella jonkinasteinen ilmankierto.

LÄHTEET

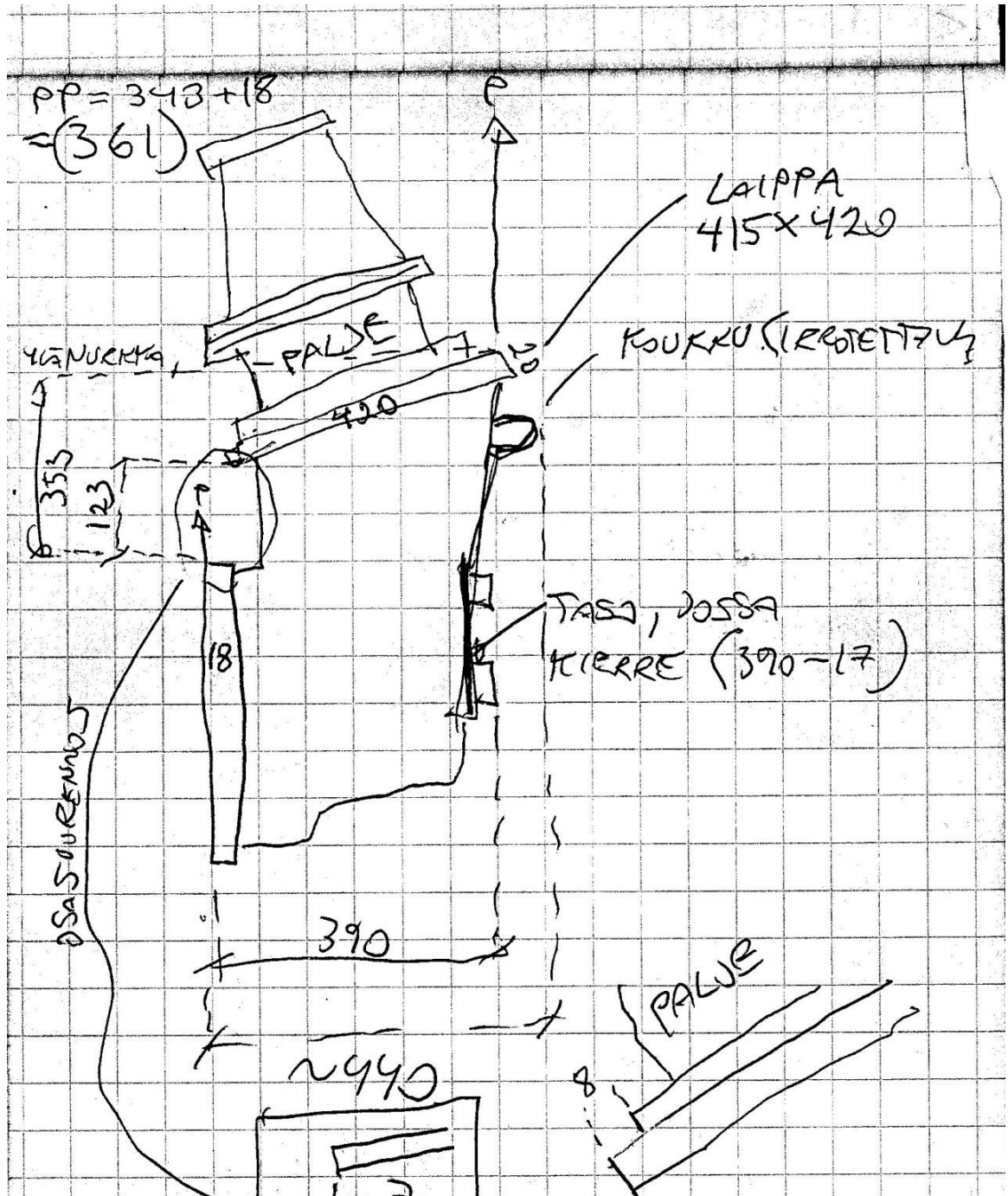
- Corrosionpedia. Ei päiväystä. What is High-Temperature Corrosion. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.7.2015]. Saatavana: <http://www.corrosionpedia.com/definition/1345/high-temperature-corrosion>
- Det Norske Veritas. 12.1.2000. Engine room fires can be avoided. [Verkkajulkaisu]. Norja:Gan Grafisk. [Viitattu 8.7.2015]. Saatavana: http://www.dnv.in/Binaries/Engine%20Rooms%20Fires_tcm149-9834.pdf
- Euro Inox. Ei päiväystä. Mikä on ruostumaton teräs?. [Verkkajulkaisu]. Belgia: Euro Inox. [Viitattu 8.7.2015]. Saatavana: http://www.euro-inox.org/pdf/map/What_is_Stainless_Steel_FI.pdf
- Hautala, M. & Peltonen, H. 2007. Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1. 8.p. Lahti: Lahden Teho-Opetus oy.
- International Maritime Organization. Ei päiväystä. History of SOLAS. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.7.2015]. Saatavana: <http://www.imo.org/KnowledgeCentre/ReferencesAndArchives/HistoryofSOLAS/Pages/default.aspx>
- Korroosiokäsikirja. 2004. 2.p. Rajamäki: Kunnossapitoyhdistys. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 12.
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologainfo Teknova Oy.
- Petroleum Geo-Services. Ei päiväystä. Ramform Explorer. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.7.2015]. Saatavana: http://www.pgs.com/Pressroom/Media_Gallery/Media-Pictures/Ramform-Explorer/
- Robert Bosch GmbH. 2010. Dieselmoottorin ohjausjärjestelmät. Suomentaja Björn Boström. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
- Talvitie, A., 1966. Tekninen termodynamiikka. 3.p. Helsinki: WSOY.

LIITTEET

Liite 1. Eristettävän kappaleen äärimittoja

Liite 2. Eristepaksuuden laskentaraaportti

LIITE 1 Eristettävän kappaleen äärimittoja



LIITE 2 Eristepaksuuden laskentaraaportti

NAIMA 3E Plus 4.0

Adiabatix Oy
Pääportti 3
65320 Vaasa
+358 (0)6 3610390

Item Description =
 Calculation Type = Heat Flow Limitation Report
 Geometry Description = Steel Tank Shell - Horizontal
 System Units = ASTM C585
 Bare Surface Emittance = 0.8
 Nominal Pipe Size =
 Process Temperature = 200.0 °C
 Ave. Ambient Temperature = 30.0 °C
 Ave. Wind Speed = 0.0 m/s
 Relative Humidity = N/A
 Dew Point = N/A
 Heat Flow Limitation Thickness = N/A

Outer Jacket Material = Stainless Steel, dull, in service
 Outer Surface Emittance = 0.3
 Insulation Layer 1 = Insulfrax S 96kg/m³, 38.0 mm

Variable Insulation Thickness	Surface Temp (°C)	Heat Loss (W/m ²)
Bare	199.7	2949.00
Layer 1	64.0	219.20

NAIMA offers this software product as a service to third parties. NAIMA is primarily engaged in rendering services. NAIMA is not engaged in the business of marketing software programs. Therefore, NAIMA, providing this software free of charge, excludes any warranty with regard to this software product and its results. The information contained in this report is subject to the disclaimer contained in the 'Help' section of the 3E PLUS ® computer program.