



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

KIRILL HOLMBERG

Alaska Cooling -järjestelmän asennus M/S Baltic Princessiin

MERENKULKU, MERENKULKUALAN INSINÖÖRI
2024

TIIVISTELMÄ

Holmberg, Kirill: Alaska Cooling -järjestelmän asennus M/S Baltic Princessiin
Opinnäytetyö, AMK
Merenkulku, merenkulkualan insinööri
Tammikuu 2024
Sivumäärä: 28

Opinnäytetyössä perehdyttiin Alaska Cooling -järjestelmän jälkiasennukseen ja hyötysuhteeseen matkustaja-autolautassa.

Tutkimuksessa selvitettiin, paljonko uudella järjestelmällä pystytään vähentämään aluksen energiankulutusta ja pienentämään kustannuksia vuositasolla. Tavoitteena oli myös tehdä aluksesta ympäristöystävällisempi ja vastaamaan lähemmin uusia vaatimuksia.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin aluksen kirjanpitoa polttoaineen kulutuksesta takaisinmaksuajan määrittämiseen ja ilmastointikompressorien vaatimaa energiantarvetta. Tutkimusmateriaalina käytettiin laitevalmistajan ja aluksen teknisiä piirustuksia.

Energialaskuilla pystyttiin todentamaan järjestelmän hyödyllisyys kokonaiskustannuksissa. Takaisinmaksuaika saatiin laskemalla, kuinka paljon ilmastointikompressoreiden käyttöä voidaan vähentää ja säästää energiantuotannossa ja vertaamalla saatuja tuloksia järjestelmän kokonaiskustannuksiin.

Järjestelmän asennus todettiin onnistuneeksi ratkaisuksi vähentämään energiankulutusta aluksella ja kannattavaksi investoinniksi myös vanhaan alukseen nopean takaisinmaksuajan johdosta.

Avainsanat: Ilmastointijärjestelmät, lämmönvaihdin, energiatehokkuus, meritekniikka, merenkulku

ABSTRACT

Holmberg, Kirill: Installing Alaska Cooling -system on M/S Baltic Princess

Bachelor's thesis

Maritime engineer

January 2024

Number of pages: 28

The thesis examined the installation and energy efficiency of a retrofitted Alaska Cooling -system on a passenger ferry.

The research was able to find out how much the new system can reduce the vessel's energy consumption and reduce costs on an annual basis. The goal was also to make the ship more environmentally friendly and to meet the new requirements.

Analyzing the vessel's accounting for fuel consumption to calculate the system payback time and the required energy needed in an air conditioning system was used as a research method for the thesis. Technical drawings from the vessel and equipment manufacturer were used as research material.

By calculating the energy consumption onboard, it was possible to verify that the system is profitable. The payback period was obtained by calculating how much reducing the use of air conditioning compressors saves fuel on energy production and comparing the results with the total costs of the system.

Installation of the system was found to be a successful solution to reduce energy consumption on the vessel and a profitable investment even for an old ship due to the fast payback period.

Keywords: Air conditioning, energy efficiency, heat exchangers, marine, ship-building

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
1.1 Tutkimusmenetelmä	7
1.2 Opinnäytetyön rajaus.....	7
1.3 Tutkimuskysymys	7
2 TALLINK SILJA OY.....	8
2.1 M/S Baltic Princess.....	8
3 ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄN TOIMINTA.....	9
3.1 Koja käyttöliittymä	9
3.2 Alaska Cooling -järjestelmä.....	10
3.2.1 Kelvion lämmönvaihdin.....	11
3.2.2 Future Pipes Industries putkisto.....	12
4 ASENNUS.....	13
4.1 Tarjouspyyntö	13
4.1.1 Tilauksen vahvistus ja aikataulu	13
4.2 Asennuksesta vastaava yritys	13
4.3 Asennuskohta.....	14
4.4 Työnaikaiset määräykset.....	16
4.5 Työn valmistuminen ja hyväksyntä	16
5 ENERGIANKULUTUKSEN LASKUTOIMITUKSET	17
5.1 Energian tuottaminen	17
5.2 Energiankulutus aluksella.....	17
5.2.1 Ilmastointikompressorit	18
5.2.2 Merivesipumput	18
5.3 Hyödyn laskeminen	19
5.3.1 Kokonaiskustannukset.....	20
5.3.2 Takaisinmaksuaika	21
6 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	23
6.1 Ympäristömääräykset.....	23
6.2 Tallink Silja oy:n ympäristöpolitiikka	23
7 PARANNUSEHDOTUKSET JÄRJESTELMÄÄN	25
7.1 Taajuusmuuttajat.....	25
7.2 Käyttö ja huolto.....	25
8 YHTEENVETO.....	27
LÄHDELUETTELO	28

LYHENNELUETTELO

m^2	Neliometri
mm	Millimetri
kw	Kilowatti
kg	Kilogramma
kwh	Kilowattitunti
h	Tunti
kg/h	Kilogrammaa tunnissa
m^3/h	Kuutiometriä tunnissa
kPa	Kilopascal
L	Litra
kg/m^3	Kilogrammaa kuutiometriä kohti
J/kgK	Joulea kelviniä ja kilogrammaa kohti
W/mK	Wattia kelvin-metriä kohti

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Tallink Silja Oy:n M/S Baltic Princess alukselle tarkoituksena selvittää Alaska Cooling -järjestelmän kannattavuutta alukselle ja varustamolle. Työssä perehdytään selvittämään asennukseen ja käyttöönottoon sisältyvät ongelmakohdat ja ratkaisut kustannustehokkaasti. Lopuksi esitetään, millä tavalla projekti on ollut tehokas ratkaisu aluksen kilpailukyvyyn ja ympäristöpolitiikan osalta tämän markkina-alueella.

Olennainen osa opinnäytetyötä on selvittää energiatehokkuus järjestelmän asennuksen jälkeen ja laskennallinen takaisinmaksuaika. Tietoa voidaan käyttää varustamon muissa aluksissa tulevaisuuden investointeja ajatellen. Energiankulutuksen pienentäminen tuo esille myös ympäristöystävällisen linjan, joka on myös varustamon kannalta tärkeä markkinointitekijä.

Opinnäytetyössä perehdytään aluksen ilmastointijärjestelmän toimintaan ja järjestelmän asennukseen yleisellä tasolla kokonaiskuvan selkeyttämiseksi. Asennuksen on suorittanut ulkopuolinen alihankkija, joten otamme tarkasteluun asennukseen liittyvät kohdat varustamon ja aluksen henkilökunnan näkökulmasta ja miten tämä on vaikuttanut toimintaamme.

Energiankulutuksen selvittämiseksi käytetään aluksen kirjanpitoa polttoaineenkulutuksesta ja ilmastointikompressorien ja merivesipumppujen laskennallista energiantarvetta selvittääksemme takaisinmaksuajan. Todellinen takaisinmaksuaika on riippuvainen ilmasto-olosuhteista, miten Alaska Cooling -järjestelmää on mahdollista hyödyntää tehokkaasti, joten takaisinmaksuaika lasketaan teoreettisesti virhemarginaali huomioon ottaen.

Tarkasteluun otetaan järjestelmän parannusehdotukset, taajuusmuuttajan vaikutus merivesipumpun energiankulutukseen ja käytön helpottaminen venttiilien toimilaitteilla.

1.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä on toiminnallinen opinnäytetyö, jossa edetään suunnittelusta tuotteen tilaukseen ja toteutukseen. Jäljempänä selvitetään tuotteen takaisinmaksuaika ja tulevat säästöt varustamolle polttoainekuluissa energiatehokkuuden parantuessa.

Tutkimuksessa käytetään materiaalina laitevalmistajien ja aluksen teknisiä piirustuksia ja aluksen kirjanpitoa polttoaineenkulutuksesta. Tekijän omaa kokemusta kuuden vuoden ajalta aluksen koneosaston palveluksessa hyödynnetään jokaisella osa-alueella.

1.2 Opinnäytetyön rajaus

Opinnäytetyö keskittyy Alaska Cooling järjestelmään, sen asennukseen ja taloudelliseen kannattavuuteen investointina ja parannusehdotuksiin. Lukijalle selvennetään aluksen yleiset ilmastointijärjestelmän osat, joihin Alaska Cooling -järjestelmä suoraan liittyy. Tutkimus on osa kokonaistavoitetta saada alus ympäristöystävälliseksi ja tulevien määräysten mukaiseksi ja energiatehokkaaksi.

1.3 Tutkimuskysymys

Alaska Cooling -järjestelmän hankintahinta on varustamolle suuri yksittäinen menoerä, joten on tärkeää selvittää investoinnin kannattavuus ja paljonko resursseja asennukseen vaaditaan. Tutkimuskysymykseksi valittiin: Onko jälki-asennettu merivesijäähdytysjärjestelmä kannattava sijoitus vanhaan matkustaja-autolauttaan?

Tutkimuksessa vastataan kysymykseen selvittämällä kokonaiskustannukset ja vertaamalla lukuja arvioituun ja laskettuun hyötyyn asennuksen jälkeen. Takaisinmaksuaika laskemalla voidaan päätellä, milloin järjestelmä alkaa tuottamaan säästöä varustamolle.

2 TALLINK SILJA OY

Tallink Silja Oy on osa AS Tallink Grupp varustamoyhtiötä. Tallink on yksi Itämeren alueen isoimmista varustamoista, joka liikennöi sekä matkustaja- että rahtialuksia. Tallink Silja Oy:llä on kaksi alusta, jotka liikennöivät Helsingistä ja Turusta Tukholmaan ja Kapellskäriin Ahvenanmaan kautta. Tallink Silja Oy:n sisaryhtiö on Sally Ab Maarianhaminassa. Tämän lisäksi yritys myös välittää AS Tallink grupp operoimia aluksia. Tallink Silja Oy työllistää maissa noin 250 henkilöä ja merellä noin 700 henkilöä. (Tallink, 2023.)

2.1 M/S Baltic Princess

M/S Baltic Princess on valmistunut Åker Finnyardsin Helsingin telakalla vuonna 2008. Alus on Rauman telakan rakennuttama, mutta tehtiin osittain Helsingissä. Aluksen keskimäinen lohko on valmistettu runkovalmiiksi Ranskassa. Laiva aloitti liikennöinnin Helsingin ja Tallinnan välillä 2008, kunnes alus korvasi M/S Silja Europan Turun ja Tukholman välisellä reitillä 2013. Taulukossa 1 on esitetty M/S Baltic Princess -aluksen tekniset tiedot. (Tallink, 2023.)

Taulukko 1. M/S Baltic Princess -aluksen tekniset tiedot

Alustyyppi	Matkustaja-autolautta
Omistaja	AS Tallink group
Kutsusignaali	OJQF
Kotikatama	Maarianhamina
IMO numero	9354284
Bruttovetoisuus	48915 tonnia
Nettovetoisuus	30816 tonnia
Pituus	212,10 metriä
Leveys	29,00 metriä
Syväys	6,15 metriä
Kansia	12
Pääkoneet	Wärtsilä 16W32 8000kw X 4
Apukoneet	Wärtsilä Vasa 6I32 2750kw X 3
Jääluokitus	1 A Super
Nopeus	24,5 solmua

3 ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄN TOIMINTA

3.1 Koja käyttöliittymä

Suomalainen Koja Group on yritys, joka tarjoaa ilmastointijärjestelmien ratkaisuja laivoihin, kiinteistöihin ja teollisuuteen (Koja, 2023).

Aluksen Koja käyttöjärjestelmä on automatisoitu PC-pohjainen ohjelmisto. Aluksen ilmanvaihdon hallinta tapahtuu ensisijaisesti konevalvonnasta Kojan käyttöliittymän kautta. Varajärjestelmä vastaavilla käyttöoikeuksilla sijaitsee aluksen laitehuoneessa 10. kannen keulaosassa. (Koja, 2002, s. 13-15.)

3.1.1 Carrier ilmastointikompressorit

Aluksella on kaksi kappaletta Carrier 19XR PIC 2 Control ilmastointikompressoria. Kompressorit jäähdyttävät jatkuvassa kierrossa olevaa vettä, joka kiertää ilmastointikoneikkojen lämmönvaihtimien läpi viilentäen sisätiloihin menevää ilmaa. Vastaavasti lämmitys tapahtuu lämmittämällä kierrossa olevaa vettä höyryllä lämmönvaihtimen kautta.

Yhden ilmastointikompressorin maksimiteho on 510 kilowattia ja alle 30 % kuormalla kompressori pysähtyy automaattisesti, koska pienemmällä kuormalla hyötysuhde on huono. Höyrystimelle tulevan ja sieltä lähtevän jäähdytysveden paine-ero on tärkeä tehokkaan lämmönvaihdon takaamiseksi. Lاهدutinta viilennetään merivesipumpuilla. (Carrier, 1999, s. 8.)

3.1.2 Koja ilmastointikoneikot

Koja Groupin valmistamia ilmastointikoneikkoja sijaitsee aluksen 4, 8, 10 ja 11 kannen tiloissa yhteensä 27 kappaletta. Ilmastointikoneikossa on tulo- ja poistoilmapuhaltimet ja lämmöntalteenotto. Tuloilmaa johdetaan ilmastointikanavia pitkin aluksen tiloihin. Vastaavasti poistoilma otetaan takaisin koneikkoon kyseisistä tiloista, joihin tuloilma on johdettu. (Koja, 2002, s. 16-17.)

Tuloilmapuhaltimen jälkeisessä osiossa sijaitsevat jäähdytysveden ja lämmitysveden kennorakenteiset lämmönvaihtimet. Tuloilma kulkee lämmönvaihtimien kennojen läpi, joten pystymme kennoston läpi virtaavan veden lämpötilaa säätämällä vaikuttamaan tuloilman lämpötilaan. (Koja, 2002, s. 16-17.)

Osassa koneikoista on käytössä ainoastaan jäähdytysveden lämmönvaihdin ja vesikierto. Jäähdytysveden ja lämmitysveden suhdetta säätää venttiili, jota ohjaa toimilaite Kojan automatiikalla. (Koja, 2002, s. 16-17.)

3.2 Alaska Cooling -järjestelmä

Alaska Cooling -järjestelmän tarkoitus on viilentää aluksen sisäisessä kierrossa olevaa jäähdytysvettä käyttäen hyväkseen kylmää merivettä. Järjestelmän tärkein osa on levylämmönvaihdin, jonka toimintaperiaatetta selvennetään edempänä. (Alfa Laval, 2023.)

Merivesi otetaan keskilaivan merivesikaivosta laitaventtiilin kautta. Todennäköisten epäpuhtauksien estämiseksi, merivesi johdetaan pumpun imupuolella olevan karkean suodattimen läpi pumpuille ja tästä Alaska Cooling -järjestelmän levylämmönvaihtimelle- tai Ilmastointikompressoreiden merivesilauhduttimille. Levylämmönvaihtimen, tai ilmastointikompressoreiden jälkeen hyödynnetty merivesi päästetään aluksen laitaventtiilin kautta takaisin mereen. (Alfa Laval, 2023.)

Jäähdytysvesi on aluksen sisäisessä kierrossa olevaa teknistä vettä, joka sisältää noin 10 % etyleeni glykolia jäätymisen estämiseksi. Ilmastointikoneikoiden kautta kulkenut jäähdytysvesi on lämmennyt kierrossa ja halutaan jäähdyttää uudelleen. Jäähdytysvesi pumpataan kiertoon ilmastointikompressoreiden kautta, tai Alaska Cooling -järjestelmän levylämmönvaihtimen läpi. (Alfa Laval, 2023.)

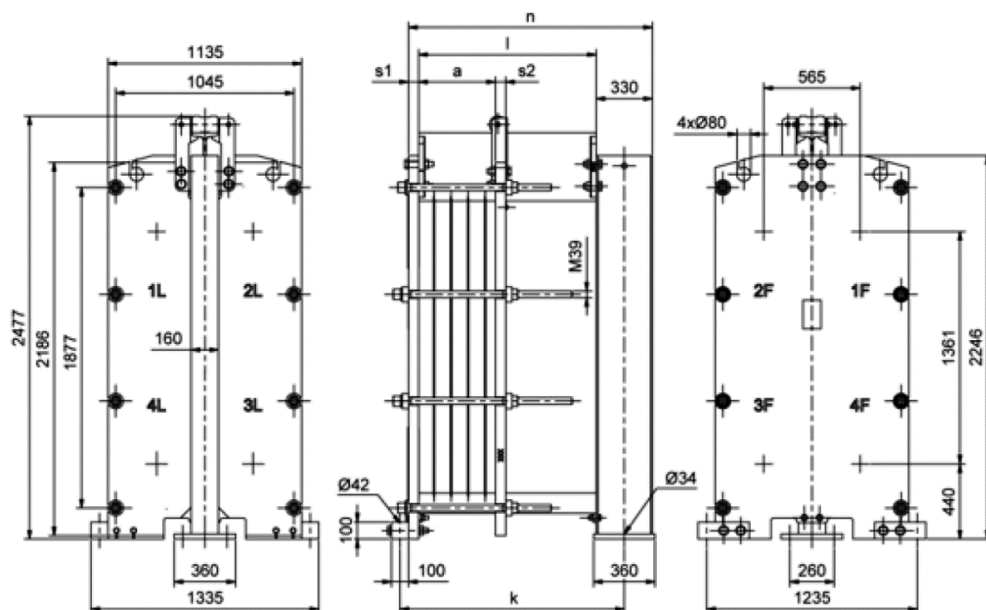
Lämmönvaihtimessa jäähdytysvesi viilenee kylmän meriveden ansiosta, eikä ilmastointikompressoreita ole tarpeen käynnistää. Ilmastointikompressorit kuluttavat paljon energiaa, joten lyhytkin aika vuodessa, jolloin voimme

hyödyntää viileää merivettä, säästää huomattavan määrän energiaa ja polttoainetta. (Alfa Laval, 2023.)

Levylämmönvaihtimen poimitettujen levyjen välit ovat erittäin pienet, joka mahdollistaa suuren pinta-alan lämmönsiirron mahdollistamiseksi kohtalaisen pienessä koossa. Joka toisessa levyssä neste virtaa eri suuntaan, joten lämmön siirtyminen nesteestä toiseen on mahdollisimman tehokasta. Tässä tapauksessa siirretään kylmää ulkopuolisesta nesteestä sisäisessä kierrossa kulkevaan lämpimään nesteeseen konvektion avulla. Sama toimintaperiaate on aluksen pää- ja apukoneiden levylämmönvaihtimilla. (Alfa Laval, 2023.)

3.2.1 Kelvion lämmönvaihdin

Järjestelmän lämmönvaihtimeksi valittiin Kelvion NT350T B-6 levylämmönvaihdin. Mitoiltaan ja jäähdytysteholtaan vastaavia lämmönvaihtajia on käytetty vastaavanlaisissa ratkaisuisissa. Ilmastointikompressorihuoneen tilojen ollessa rajalliset jälkiasenteiseen levylämmönvaihtimeen, malli on suurin mahdollinen ilman suurempia muutoksia nykyisiin aluksen rakenteisiin. Kuvassa 1 on esitetty levylämmönvaihtimen fyysiset mitat. Taulukossa 2 referoitu työn osalta tärkeät tekniset tiedot.



Kuva 1. Aceg pipes coordination drawing. 2023.

Taulukko 2. Trident BMC foundation strength calculation FEA report. 2023.

Levylämmönvaihdin Kelvion			
Tyyppi	NT350T HV		
Lämmönsiirtoalue	193,23 m ²		
Levyjen lukumäärä	173 kpl		
Levyjen paksuus	0,5 mm		
Levyjen materiaali	Titaani		
	Jäähdytysvesi	Merivesi	Yksikkö
Massavirtaus	401465	513387	kg/h
Tilavuusvirtaus	396	500	m ³ /h
Painehäviö	35,508	69,484	kPa
Työpaine	5,5	2	bar
Täyttötilavuus	476,29	476,29	L
Ominaisuudet:			
Materiaalitiheys	1013,8	1026,77	kg/m ³
Lämmitykapasiteetti	4055	3992	J/kgK
Lämmönjohtokyky	0,53	0,59	W/mK

3.2.2 Future Pipes Industries putkisto

Putkistoratkaisu on nykyaikainen komposiitista ja lasikuidusta valettu putki, jonka asennus ei vaadi tulitöitä. Malli on Wavistrong, joka on suositeltu erityisesti merivesikäyttöön. Vastaava putkistorakenne on erittäin yleinen nykyaikaisissa uudisrakennuskohteissa. (Future Pipes Industries, 2023.)

4 ASENNUS

4.1 Tarjouspyyntö

Tarjousta pyydettiin puolalaiselta Trident BMC yritykseltä, jolla on erittäin suuri verkosto ja paljon kokemusta vastaavanlaisen tuotteen asennuspalveluista (Trident BMC, 2023). Tarjouspyyntöön sisällytettiin suunnittelu, asennus käyttövalmiiksi ja putkistot. Levylämmönvaihdin tilattiin valmistajalta.

4.1.1 Tilauksen vahvistus ja aikataulu

Tuote asennuspalveluineen tilattiin Trident BMC:ltä. Aikatauluksi sovittiin heinäkuu 2023. Aluksella ei kuitenkaan pystytty sammuttamaan ilmastointikompressoreita kyseiseen vuodenaikaan, joten asennus siirtyi lokakuulle 2023, jolloin alus oli Turun satamassa huollossa.

4.2 Asennuksesta vastaava yritys

Trident BMC Maritime Systems on kansainvälinen alusten varusteluun erikoistunut yritys. Päätoimialana 20 vuotta toiminut Trident BMC varustaa ja suunnittelee uudisrakennuksia sekä jälkiasentaa aluksiin teknisiä järjestelmiä. Yhtiö työllistää noin 700 työntekijää usealta eri merenkulun osaamisalalta ja omaa kansainvälisen laaduntarkkailu ISO 9001:2015 sertifikaatin. (Trident BMC, 2023.)

Trident BMC valittiin Alaska Cooling -järjestelmän suunnitteluun ja asennukseen pääurakoitsijaksi yhtiön referenssien johdosta. Yhtiöllä on mahdollisuus aluksen tilojen 3D -skannaukseen, minkä ansiosta suunnittelu on mahdollista tehdä etänä. Suuren työntekijämäärän ja kattavan ostopverkoston takia yhtiö on huomattavasti kilpailukykyisempi pienempiin toimijoihin verraten.

4.3 Asennuskohta

Järjestelmän sijainti aluksella on ilmastointikompressorihuoneessa. Näin pystytään tekemään asennus ilman läpivientejä kantavien rakenteiden läpi, joka olisi vaatinut luokkatarkastajan erillisen hyväksynnän. Kuvassa 2 levylämmönvaihtimen toteutunut asennuskohta.

Asennuksesta vastaava Trident BMC kävi suunnitteluvaiheessa 3D-kuvauksessa ilmastointikompressorihuoneen, jotta pystyivät tekemään putkiston reitityksen ja suunnittelun mahdollisimman tehokkaasti purkamatta jo käytössä olevia putkistoja ja koneikkoja.

Lämmönvaihtimen asennuspaikan alapuolella sijaitseva BW 55S painolastitankki piti tyhjentää ja tarkastaa, jotta voitiin olla varmoja, että tankkitoppi kestää lämmönvaihtimen yli kolmen tuhannen kilon painon. Trident BMC:n työjohtajan suosituksesta, lisätukia hitsattiin painolastitankkiin.



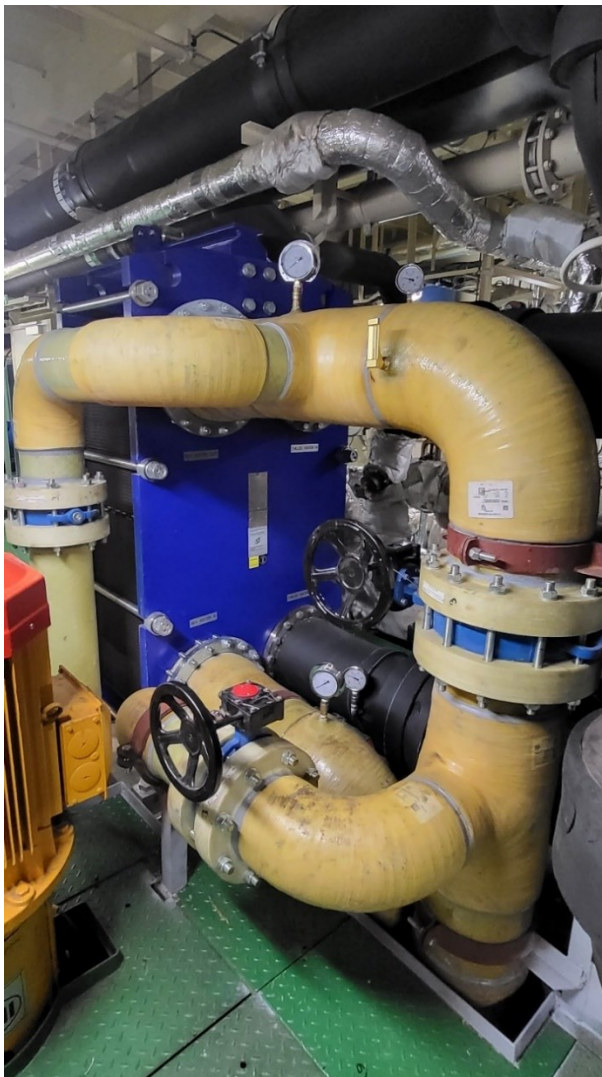
Kuva 2. Kelvion levylämmönvaihdin asennettuna (Holmberg, 2023).

Lämmönvaihtimen asennuspaikka mitattiin tarkkaan, sillä merivesi ja jäähdytysvesiputkistoissa ei ollut liikkumisvaraa. Putkistojen muokkaus olisi lisännyt työ- ja materiaalikustannuksia. Kuvassa 3 esitetään Alaska cooling -järjestelmä valmiina. Levylämmönvaihtimen vasemmalla puolella näemme

merivesiputkiston, joka on edellä mainittua Future pipes industries Wavistrong -komposiittiputkea.

Putkiston päälinjan koko on DN300 ja tästä lähtevät vastahuuhteluputket ovat kokoa DN200. Vastahuuhtelu tehdään kerran viikossa laitteiston ollessa käytössä avaamalla vastahuuhtelulinjan kaksi läppäventtiiliä ja sulkemalla kaksi päälinjan läppäventtiiliä. Tällöin merivesi kiertää lämmönvaihtimessa päinvas-
taiseen suuntaan kuin normaalissa käytössä, poistaen epäpuhtauksia läm-
mönvaihtimen levyistä.

Kuvassa 3 oikealla puolelle näkyvät teräksestä valmistetut DN300 jäähdytys-
vesiputket, jotka liitettiin vanhaan jäähdytysvesijärjestelmään T-haaralla.
Jäähdytysvesiputket on eristetty solukumieristeellä kondenssiveden keräänty-
misen ehkäisemiseksi.



Kuva 3. Järjestelmän putkityöt valmiina (Holmberg, 2023).

4.4 Työnaikaiset määräykset

Tulitöiden tekeminen aluksen liikennöidessä on kielletty muualla kuin vakituisella tulityöpaikalla aluksen koneverstaalla. Määräys aiheutti viivästystä projektin etenemisessä, koska satamassaolo-aika on Kapellskärissä noin 45 minuuttia ja Turussa kaksi tuntia. Tällä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta, sillä kolmen vuorokauden seisonpäivien aikana Turun satamassa 2.10.2023 - 5.10.2023 oli mahdollista toteuttaa vaativimmat tulityöt.

4.5 Työn valmistuminen ja hyväksyntä

Työ hyväksyttiin valmiiksi putkiston saumojen koeponnistuksen ja tiiveystarkastuksen jälkeen 22.10.2023. Merivesiputkien koeponnistus suoritettiin kahdella ABB:n 22 kilowatin merivesipumpulla, joilla saavutettiin 2,9 barin paine. Jäähdytysvesijärjestelmä, jota käytetään normaalisti yhdellä Desmin 88 kilowatin pumpulla, todettiin riittäväksi 6,2 barin paineella.

5 ENERGIANKULUTUKSEN LASKUTOIMITUKSET

5.1 Energian tuottaminen

Sähkö tuotetaan aluksella dieselgeneraattoreiden avulla, joten ensin laskeaan, kuinka monta kilowattituntia pystytään tuottamaan yhdellä tonnilla DMB laatuista marine diesel oil -polttoainetta. Laskutoimitus saadaan jakamalla vuorokauden kokonaistehomäärä vuorokauden polttoainekulutuksella. Laskutoimituksesta saatavalla tuloksella voidaan laskea merivesipumppujen ja ilmastointikompressorien kulutusarvio ja käytön hinta vuodessa.

Mahdollisimman tarkkaan kulutuksen keskiarvon määrittämiseen on otettu kahdeksalta kuukaudelta apukoneiden kokonaiskulutus ja tuotettu kilowattituntimäärä aluksen kirjanpidosta. Polttoaineenkulutus kirjataan ylös apukoneiden virtausmittarista ja kilowattitunnit kirjataan kerran vuorokaudessa aluksen Kongsberg -käyttöjärjestelmästä.

Kahdeksan kuukauden otannalla, apukoneiden polttoaineenkulutuksen keskiarvo on 329 304 kg kuukautta kohti. Tällä määrällä polttoainetta on tuotettu keskiarvolta 1 488 179 kilowattituntia. Jakolaskulla voidaan tuloksista laskea, että yhdellä kilogrammalla polttoainetta voidaan tuottaa 4,519 kilowattituntia energiaa.

$$\frac{1\,488\,179\text{ kWh}}{329\,304\text{ kg}} = 4,519\text{ kWh}$$

5.2 Energiankulutus aluksella

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Alaska Cooling -järjestelmän kannattavuus taloudellisesti. Tavoitteeseen päästäksemme, on tarkasteltava aluksen energiankulutusta ennen järjestelmän asennusta ja verrata saamiamme tuloksia laskennalliseen arvioon järjestelmän asennuksen jälkeen.

5.2.1 Ilmastointikompressorit

Ilmastointikompressoreista ei saa täysin todellista lukemaa, sillä sään vaihtelun takia ilmastointikompressorin voi käydä 30 % - 85 % kuormalla. Taajuusmuuttaja ohjaa ilmastointikompressorin sähkömoottoria jäähdytysveden jäähdytystarpeen mukaan automaattisesti. Tästä ei ole erikseen kirjanpitoa, joten voimme laskea ainoastaan keskiarvon energiankulutuksesta.

Arvioitu keskiarvo on yksi kompressorin 50 % kuorman teholla kuuden kuukauden ajanjaksolla. Ilmastointikompressorin tehon tarve 100 % kuormalla on 510 kilowattia, joten käytämme laskutoimituksissa lukemaa 255 kilowattia.

Energiankulutuksen saamme laskettua kertomalla ilmastointikompressorin tehon (kW) tuntimäärällä (h), jolloin saamme tulokseksi kilowattitunnit (kWh). Lasketaan vuorokauden kulutus 24 h, joka kerrotaan 30 päivällä saadaksemme kuukauden kulutuslukeman. (Caruna, 2024.)

$$(255 \text{ kW} \times 24 \text{ h}) \times 30 \text{ vuorokautta} = 183\,600 \text{ kWh}$$

Laskutoimituksesta saadulla tuloksella voidaan todeta, että yhden ilmastointikompressorin käyttö 50 % kuormalla vuorokaudessa yhden kuukauden ajan, kuluttaa energiaa 183 600 kilowattituntia. Seuraavaksi voimme laskea, montako kiloa polttoainetta tarvitaan tämän energiamäärän tuottamiseen.

Laskutoimitukseen tarvitaan ilmastointikompressorin energiantarve kuukauden ajalta (kWh) jaettuna kohdassa 5.1 laskettu polttoaineen energiasisältö (kW) jolloin tulos on kuukaudessa ilmastointikompressorin tarvittava polttoainemäärä (kg).

$$\frac{183\,600 \text{ kWh}}{4,519 \text{ kW}} = 40\,628,46 \text{ kg}$$

5.2.2 Merivesipumput

ABB:n valmistamat merivesipumput ovat teholtaan 22 kilowattia ja yksi pumppu on oltava käynnissä ilmastointikompressorin ollessa toiminnassa.

Molempien ilmastointikompressoreiden ollessa toiminnassa samaan aikaan on molempia merivesipumppuja käytettävä. Kahden pumpun käyttö on välttämätöntä Alaska Cooling järjestelmässä, jotta pystytään viilentämään jäähdytysvettä riittävän tehokkaasti. Pumpuissa ei ole anturiohjattua taajuusmuuttajaa, joten 22 kilowattituntia on yhden pumpun jatkuva energiankulutus.

$$(22 \text{ kW} \times 24 \text{ h}) \times 30 \text{ vuorokautta} = 15\,840 \text{ kWh}$$

$$\frac{15840 \text{ kWh}}{4,519 \text{ kW}} = 3\,505 \text{ kg}$$

Merivesipumppujen kulutus lasketaan samalla kaavalla kuin ilmastointikompressorit. Koska ilmastointikompressorit ja merivesipumppu ovat käynnissä yhtä aikaa, voimme yhdistää tulokset, jolloin saamme polttoaineen kulutukseksi noin 44 133 kg kuukaudessa. Vaikka RMB laatuinen polttoaineen markkinahinta vaihtelee, voimme laskussa käyttää lukua 800 € tonnilta, joka on lähellä vuotuista keskiarvoa vuonna 2023.

$$44133 \text{ kg} \times 0.8 \text{ €} = 35\,306 \text{ €}$$

Tarkoitus on laskea kahden kuukauden kustannukset ilmastointikompressorin käytöstä. Mikäli mahdollisia huolto ja korjaustöitä ei oteta huomioon, polttoainekustannukset tarvittavan energian tuottamiseen ovat noin 70 000 €.

5.3 Hyödyn laskeminen

Todellisen hyödyn laskennassa voimme verrata arvioon, jonka mukaan Alaska Cooling -järjestelmää ei voida hyödyntää heinäkuun ja elokuun aikana lämpimän meriveden takia. Tarkka tieto saadaan ainoastaan useamman vuoden otannalla. Järjestelmän hyöty on riippuvainen vallitsevista sääolosuhteista, tärkeimpinä ulkoilman ja meriveden lämpötila.

Kyseessä olevalta ilmastointikompressoreiden käyttöajalta valitaan lähempään vertailuun toukokuu ja kesäkuu, joka on todennäköisin aika vuodesta, jolloin voidaan parhaiten hyödyntää Alaska Cooling -järjestelmän tuottamaa hyötyä jäähdytysveden viilennykseen.

Toukokuun alku on aluksen kirjanpidon kannalta merkittävintä, sillä ilmastointikompressoria vaaditaan käyttöön sääolosuhteitten mukaan tähän aikaan vuodesta. Käyttöönotto voidaan havaita dieselgeneraattoreiden lisääntyneellä polttoaineenkulutuksella, joka voidaan todeta muutaman vuoden otannalla.

Aluksen kirjanpidosta selviää, että 2022-2023 toukokuun ja kesäkuun keskiarvo apukoneiden polttoaineenkulutukselle on 346 065 kg. Vertailukuukaudeksi otettiin 2021-2022 maaliskuu ja huhtikuu, jolloin kulutuksen keskiarvo on ollut 312 544 kg.

Tämä on 33 521 kg kuukautta kohti vähemmän, kuin toukokuussa ja kesäkuussa mitattu polttoaineenkulutus. Energiankulutukseen vaikuttavat useat muut aluksen järjestelmät, joiden käyttöaste ja tarve riippuvat esimerkiksi matkustajamääristä, eikä kulutuksen nousua voida suoraan verrata ilmastointikompressorin vaatimaan tehon tarpeeseen.

Käytämme kirjanpidosta saatua tulosta vertailukohtana kohdassa 5.2.2 lasketuun tulokseen energiankulutuksesta. Kirjanpidon mukaan toukokuussa ja kesäkuussa on kulunut polttoainetta 33 521 kg, joka kerrotaan kahdella vertailukelpoisen tuloksen saamiseksi. Saadaan 67 042 kg, joka on rahallisesti noin 54 000 €.

Tulos on 16 000 € vähemmän, kuin laskutoimituksella saatu 70 000 euroa tulos kahdessa kuukaudessa. Tulosten perusteella virhemarginaali on 23 %, joka on huomioitava takaisinmaksuaikaa laskettaessa.

5.3.1 Kokonaiskustannukset

Alaska Cooling -järjestelmän kustannukset alihankkijalta sisältäen työn, suunnittelun ja putkiston oli 144 116 €. Kelvion levylämmönvaihtimen ostohinta valmistajalta 50 800 €. Lisäkustannuksia tuo oman henkilöstön työpanos, luokkatarkastajan hyväksyntä laitteistosta ja sukeltajat, jotka olivat varmistamassa merivesilinjan ulkolaitaventtiilit ennen putkiston irrotusta. Tilaajan pyynnöstä pyöristämme kokonaiskustannukset mahdollisimman lähelle todellista kokonaiskustannusta 200 000 euroon.

5.3.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajassa pitää huomioida virhemarginaalin lisäksi myös merivesipumppujen vaatima energia, sillä molemmat 22 kilowatin pumput on oltava päällä Alaska Cooling -järjestelmää käytettäessä takaamaan riittävän jäähdytystehon. Kuten kohdassa 5.2.2 todettiin, yksi pumppu kuluttaa kuukaudessa 3 505 kg polttoainetta.

Tarvitsemme kulutuksen tiedon kahdelle kuukaudelle molemmilla pumpuilla, joten saamme tulokseksi 14020 kg. Lasketaan jälleen kustannus pumppujen käytöstä kahden kuukauden ajalta polttoaineen hinnan ollessa 800 euroa tonnilta, saamme laskennallisesti käytön hinnaksi 11 216 €.

Alaska Cooling -järjestelmä tarvitsee toimiakseen myös jäähdytysveden kiertovesipumppua. Kiertovesipumpun energiankulutusta ei ole kuitenkaan tarpeen laskea, sillä kiertovesipumppu on oltava aina päällä huolimatta siitä, käytetäänkö Alaska Cooling -järjestelmää tai ilmastointikompressoria. Jäähdytysveden kiertoa käytetään ilmastointikoneikoissa myös esilämmitykseen.

Kohdassa 5.2.2 todettiin kahden kuukauden ilmastointikompressorin käytön kustannusarvioksi 70 000 €. Vastaavasti Alaska Coolerin käyttö samalla ajanjaksolla kustantaa noin 11 200 €, joka on 58 800 € edullisempaa verraten ilmastointikompressorin käyttöön. Mikäli voidaan hyödyntää järjestelmää myös syksyllä kaksi kuukautta, saadaan säästö kaksinkertaistettua 117 600:n euroon vuositasolla.

Neljä kuukautta vuodessa on optimaalisin realistinen tavoite, milloin voidaan Alaska Cooling -järjestelmää käyttää aluksen viilennykseen. Tämä ajanjakso ei riitä kattamaan kustannuksia, mutta voidaan laskea, kuinka monta kuukautta järjestelmä täytyy olla käytössä. Neljän kuukauden säästön laskettiin olevan 117 600 €, jolloin kuukautta kohden säästö olisi keskiarvolta 29 400 €.

Laskennallisesti takaisinmaksuaika tulee täyteen, kun järjestelmä on käytössä seitsemän kuukautta (4kk 117 600 € + 2kk 58 800 € + 1kk 29 400 € = 205 800 €) korvaamassa ilmastointikompressorin tekemän työn.

Kun otetaan huomioon kohdassa 5.3 todettu virhemarginaali 23 %, saadaan seitsemän kuukauden käytöllä säästöä ainoastaan 158 466 €. Tämä tarkoittaisi, että takaisinmaksuaika olisi noin kaksi kuukautta pidempi huonommalla hyötysuhteella. Tästä voi päätellä, että takaisinmaksuaika on olosuhteista riippuen 1-2 vuotta, sillä talviaikaan ei Alaska Cooling -järjestelmää pysty hyödyntämään.

6 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

6.1 Ympäristömääräykset

Ympäristömääräykset tiukentuvat jatkuvasti merenkulussa ja ympäristötekniologian kehittymisestä huolimatta, se on suuri haaste tulevaisuudessa. Kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO) on linjannut tavoitteeksi vähentää merenkulun kasvihuonepäästöjä 50 % vuoteen 2050 mennessä verraten vuoteen 2008.

Merenkulku on myös sisällytetty Euroopan unionin päästökauppaan FitFor55-lakisäännösten muodossa, jossa veloitetaan vähentämään kasvihuonepäästöjä 55 %:lla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 ja ilmastoneutraalisuus Euroopan unionin alueella 2050 mennessä.

Merenkulkua koskevat säädökset astuvat voimaan 1.1.2024 joka tarkoittaa raportoitujen hiilidioksidipäästöjen alentamista 40 %:lla vuonna 2024, 70 % vuonna 2025 ja täyttä hiilineutraaliutta 2026 eteenpäin. Ilmastopaketti ottaa huomioon myös uusiutuvat polttoaineet, joiden käyttöastetta aluskohtaisesti lisätään asteittain viiden vuoden välein alkaen 1.1.2025. Vaikutukset merenkulun kustannuksiin ovat suuret ja vaativat uusia investointeja varustamoilta, jotta ilmastopaketin tavoitteisiin voidaan päästä. (Suomen Varustamot Ry, 2023.)

6.2 Tallink Silja oy:n ympäristöpolitiikka

M/S Baltic Princessin ja Tallink Silja oy:n julkinen näkyvyys on suomessa iso. Ympäristönsuojelu ja työ ympäristön hyväksi on tärkeä osa Tallink konsernin strategiaa ja tästä syystä on erittäin tärkeää kehittää uusia ympäristöystävällisiä toimintatapoja jokaisella osa-alueella. Ympäristöjärjestelmäsertifikaatti ISO 14001 on myönnetty konsernille vuonna 2008 ja alukset ovat ISO 14000 -sertifioituja. Sertifikaatti auttaa yrityksiä ympäristönsuojelussa ja osoittaa ympäristöasioiden hyvää hoitoa.

Konsernin alukset noudattavat myös kansainvälisiä sopimuksia ja määräyksiä MARPOL lainsäädännön mukaan. Polttoainetaloudellisuus ja päästöt ovat avainasemassa ympäristöystävällisessä aluksessa, tähän voidaan vaikuttaa taloudellisella ajotavalla, polttoaineen laadulla, uusien järjestelmien asennuksilla vanhoihin aluksiin ja myös uusilla aluksilla. (Tallink, 2023.)

7 PARANNUSEHDOTUKSET JÄRJESTELMÄÄN

7.1 Taajuusmuuttajat

Ilmastointikompressorien ja Alaska Cooling järjestelmän merivesipumput ovat käytössä ollessaan jatkuvasti 100 % kuormalla jäähdytyksen tarpeesta huolimatta. Taajuusmuuttajalla olisi mahdollista rajoittaa pumpun tuottoa, mikäli tarve ei vaadi täyttä 100 % kuormaa. Taajuusmuuttajalla voidaan säätää pumpun moottorin pyörimisnopeutta tarpeen mukaan muuttamalla taajuutta ja jännitettä. Tällöin pumpun ei ole välttämätöntä käydä jatkuvasti täydellä kuormalla, joka tuo paljon etuja käyttöä ja huoltoa ajatellen.

Taajuusmuuttajaa on mahdollista ohjata järjestelmässä itsenäisesti, esimerkiksi jäähdytysvesilinjaan asennetulla Danfoss PT 1000 lämpötila-anturilla. Lämpötila-anturi seuraa jäähdytysveden lämpötilaa ja välittää jatkuvasti tietoa taajuusmuuttajalle.

Asetettujen parametrien perusteella, taajuusmuuttaja säätää pumpun pyörimisnopeutta tarvittavan jäähdytyksen mukaan. Tällä tavalla on mahdollista pienentää energiankulutusta esimerkiksi yöaikaan, jolloin jäähdytysvettä voidaan viilentää pienemmällä kuormalla, kuin päivällä. Suoralla kontaktorilla ohjattu pumppu käy jatkuvasti täydellä 50 hertsin taajuudella, jolloin meriveden virtausta levylämmönvaihtimeen on rajoitettava painepuolen venttiiliä säätämällä. Taajuusmuuttaja säästäisi pumpun ja moottorin mekaanista rasitusta ja pidentää niiden käyttöikä. (Danfoss, 2024.)

7.2 Käyttö ja huolto

Alaska Cooling järjestelmän putkistot ja venttiilit on sijoitettu ilmastointikompressorihuoneeseen, joista suurin osa sijaitsee erittäin vaikeapääsyisissä kohteissa turkkilevyjen alla, tankkitopin päällä. Tämä haittaa huomattavasti normaalien huoltotoimien toteuttamista. Venttiileitä pitäisi pystyä avaamaan ja

sulkemaan helposti ja nopeasti huoltotoimien helpottamiseksi, sekä vaaratilanteiden ehkäisemiseksi.

Kuvassa 4 esimerkkinä jäähdytysvesilinjan sulkuventtiili, joka on sijoitettu levylämmönvaihtimen alapuolelle tilanpuutteen takia. Venttiiliä käytetään vähintään kerran viikossa tehtävän vastavirtahuuhtelun suorittamiseen. Ratkaisuna ongelmaan ehdotetaan venttiileihin jälkiasennettavia toimilaitteita, joita voitaisiin erillisestä ilmastointikompressorihuoneeseen asennettavasta paneelista avata, sekä sulkea. Tarvetta erillisen ohjauksen järjestämiseen aluksen Kongsberg- käyttöliittymään ei ole, paikallinen ohjaus olisi riittävä toimenpide.



Kuva 4. Jäähdytysvesilinjan sulkuventtiili (Holmberg, 2023).

8 YHTEENVETO

Alaska Cooling -järjestelmän asennus ja käyttöönotto voidaan opinnäytetyöllä todeta onnistuneeksi ratkaisuksi toimimaan osana tavoitetta saada alus kohti parempaa polttoainetaloudellisuutta ja ympäristöystävällisyyttä tulevien määräysten mukaiseksi. Korkean hankintahinnan takia järjestelmän tilaaminen ei ollut mahdollista ilman energialaskuja, joilla voidaan osoittaa järjestelmän kannattavuus tulevaisuudessa.

Kuten aikaisemmin todettiin, todellinen takaisinmaksuaika ja hyötysuhde on riippuvainen vallitsevista sääoloista ja miten pystymme korvaamaan ilmastointikompressorin Alaska Cooling -järjestelmällä.

Laskelmien perusteella voitiin kuitenkin helposti osoittaa investoinnin suhteellisen nopea takaisinmaksuaika, minkä jälkeen järjestelmä tuottaa selvää säästöä polttoainekuluissa myös tulevaisuudessa ja näin parempaa tulosta varustamolle. Saadaksemme tarkkoja lukuja vaaditaan usean vuoden otanta polttoaineenkulutuksesta. Lisäksi säästöä saadaan myös ilmastointikompressorien huoltokustannuksissa käyttötuntien pienentyessä vuositasolla.

Järjestelmän asennus onnistui hyvin ja pystyttiin toteuttamaan suurimmaksi osaksi aluksen normaalin liikennöinnin aikana. Asennus ei vaatinut aluksen kuivatelakointia, joka osaltaan vaikutti positiivisesti kokonaiskustannuksiin ja asennuksen aikataulutukseen. Työ alihankkijana toimineen Trident BMC:n ja laivan oman konehenkilöstön välillä sujui moitteetta ja tavarantoimitukset alukselle hoidettiin aikataulussa.

Loppupäätelmänä voidaan palata opinnäytetyön tutkimuskysymykseen, Onko jälkiasennettu merivesijäähdytysjärjestelmä kannattava sijoitus vanhaan matkustaja-autolauttaan? Alaska Cooling -järjestelmän hankintahinta verrattuna takaisinmaksuaikaan on verrattain nopea ja tuottaa selkeää säästöä aluksen elinkaaren loppuun asti, joten järjestelmää voidaan pitää kannattavana sijoituksena myös vanhempiin aluksiin.

LÄHDELUETTELO

Aceg. (14.7.2023). Pipes coordination drawing [putkistokaavio]. Trident BMC.

Alfa Laval. (2023). Levylämmönvaihtimen toiminta. Haettu 9.1.2024 osoitteesta <https://www.alfalaval.fi/microsites/tiivisteelliset-levylammonvaihtimet/tyokalut/levylammonvaihtimen-toiminta/>

Carrier. (1999). Carrier Installation, operation and maintenance manual.

Caruna. (2024). Sähkönkulutus. Haettu 1.1.2024 osoitteesta <https://caruna.fi/asiakaspalvelu-ja-omat-sahkoasiat/sahkonseuranta/kodinkoneiden-sahkonkulutus>

Danfoss. (2024). Mikä on taajuusmuuttaja? Haettu 1.1.2024 osoitteesta <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/#tab-overview>

Future Pipe Industries. (2023). Wavistrong. Haettu 23.10.2023 osoitteesta <https://futurepipe.com/products/wavistrong/>

Koja. (2002). Tallink Galaxy 2 Air Conditioning System HVAC Instruction Manual Delivery Documents File no 4.

Koja. (2023). Koja group. Haettu 22.10.2023 osoitteesta <https://www.koja.fi/meista/koja-group/>

Suomen Varustamot Ry. (2024). Vastuullisuus. Haettu 15.1.2024 osoitteesta <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastosuojelu-ja-ilmastonmuutos/>

Tallink. (2024). Ympäristö. Haettu 15.1.2024 osoitteesta <https://fi.tallink.com/vastuullisuus-ymparisto>

Tallink. (2023). Suomessa rakennetut laivat. Haettu 15.10.2023 osoitteesta <https://fi.tallink.com/vastuullisesti-suomessa-rakennetut-laivat>

Trident BMC. (22.6.2023). Foundation strength calculation FEA report. Trident BMC.

Trident BMC. (2023). Technical Brochure. Haettu 9.1.2024 osoitteesta https://tridentbmc.com/wp-content/uploads/2023/03/Brochure_Technical.pdf