

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinöörin suuntautumisvaihtoehto

Heikki Kuukka

MATKUSTAJA-AUTOLAUTAN LÄMMÖNTUOTANNON HYÖDYNTÄMINEN  
JA OPTIMOINTI

Opinnäytetyö 2012

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Merenkulun koulutusohjelma

KUUKKA, HEIKKI	Matkustaja-autolautan lämmöntuotannon hyödyntäminen ja optimointi
Opinnäytetyö	38 sivua
Työn ohjaaja	Lehtori Ari Helle
Toimeksiantaja	Viking Line ABP, Kari Pihlajaniemi
Marraskuu 2012	
Avainsanat	Energia, energiavirtaus, lämpömäärä, optimointi, laivat matkustaja-autolautat, lämmöntuotanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa vuonna 1992 rakennetun matkustaja-autolautta M/S Gabriellan mahdollisuuksia hyödyntää jäähdytysvesiin sitoutunutta energiaa. Työn hankkeistaja on Viking Line ABP. Tavoitteena oli selvittää, onko mahdollista saavuttaa energiasäästöjä ja mitkä olisivat vaatimukset, jotta mahdollisiin rakenteellisiin muutoksiin olisi taloudellisesti kannattavaa ryhtyä. Työssä on myös perehdytty aluksen jäähdytysvesi- ja höyryjärjestelmiin työn luonteen vaatimassa laajuudessa.

Yksi työn tärkeimmistä elementeistä oli aluksella suoritettavat virtausmittaukset, jotka toteutettiin loppukesällä 2011. Näiden mittausten pohjalta saatiin kartoitettua jäähdytysvesiputkistoissa virtaava energiamäärä. Mittauksissa on pyritty mahdollisuuksien mukaan saamaan tilanne vastaamaan mahdollisimman normaalia operointitilannetta.

Työn edetessä on M/S Gabriellan energiantuotannossa tapahtunut muutoksia. Kun tätä opinnäytetyötä alettiin suunnitella, tuotettiin energia aluksen omilla apukoneilla kokonaisuudessaan. Työn valmistuessa alus on maasähköllä satama-aikana Tukholmassa. Tämä on vaikuttanut alkuperäiseen tutkimuslähtökohtaan.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Technology

KUUKKA, HEIKKI

Passenger-Car Ferry Heat Recovery and Optimization

Bachelor's Thesis

38 pages

Supervisor

Ari Helle, Lecturer

Commissioned by

Kari Pihlajaniemi, Viking Line ABP

March 2012

Keywords

energy, energy flow, amount of heat, optimization

The purpose of this thesis was to examine the possibilities of the cruise ship M/S Gabriella, built in 1992, to utilize energy from its cooling waters on board. This thesis paper was made for Viking Line ABP. The main objective was to find out whether it would be possible to create savings in energy usage and what would the requirements for possible structural changes be so that the changes would be financially reasonable. In this thesis, observation was given to the vessel's cooling water-systems and to the steam-systems in relation to the topic of the thesis.

One of the most vital parts of the thesis was the flow-measurements conducted onboard the ship in late summer 2011. Based on these measurements, the amount of energy flowing through the cooling water piping could be calculated. Where possible, the measurements were done in situations which would correspond to the ship's regular operating mode.

During the progress of this thesis, there have been changes in the energy production onboard the M/S Gabriella. When the thesis was commenced, the energy onboard was produced entirely with the vessel's own auxiliary engines. Upon the completion of this thesis, the vessel had obtained a shore connection for energy when in Stockholm harbor. This had an effect on the original starting point for this thesis.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 YLEISTIETOA ALUKSESTA	8
2.1 Aikataulut	9
2.2 Liikennöntialueen tuomat haasteet ja mahdollisuudet	10
3 JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄ	11
3.1 Toimintaperiaate	11
3.2 Komponentit	12
3.2.1 Putkisto	12
3.2.2 Lämmönvaihtimet	13
3.2.3 Säätoventtiilit	13
3.2.4 Pumput	13
4 HÖYRYJÄRJESTELMÄ	14
4.1 Kattilat	14
4.2 Pakokaasukattilat	15
5 MITTAUKSET ALUKSELLA	15
5.1 Lähtökohta	15
5.2 Mittalaite	16
5.2.1 Toimintaperiaate	17
5.2.2 Mittausolosuhteet	17
6 MITTAUSTULOKSET	18
6.1 Pääkoneet	18
6.1.1 Merivesisysteemi	18
6.1.1.1 Tulokset	21

6.1.1.2	Meriveteen siirtynyt energia	22
6.1.2	LT-Systeemi	22
6.1.2.1	Tulokset	24
6.1.2.2	LT-veteen siirtynyt energia	24
6.1.3	HT-Systeemi	25
6.1.3.1	Tulokset	25
6.1.3.2	HT-veteen siirtynyt energia	25
6.2	Apukoneet	26
6.2.1	Mittausolosuhteet apukone nro 4	26
6.2.2	Merivesipiiri	27
6.2.2.1	Mittaustulokset 8.9.	28
6.2.2.2	Meriveteen siirtynyt energia 8.9.	28
6.2.2.3	Mittaustulokset 10.9.	29
6.2.2.4	Meriveteen siirtynyt energia 10.9.	29
6.3	HT- ja LT- systeemin yleiskuvaus	29
6.3.1	LT-systeemi	30
6.3.1.1	Mittaustulokset	31
6.3.1.2	LT-veteen siirtynyt energia	31
6.3.2	HT-systeemi	31
6.3.2.1	Tulokset	32
6.3.2.2	HT-veteen siirtynyt energia	32
7	PÄIVITTÄISEN HUOLLON JA KUNNOSSAPIDON VAIKUTUS ENERGIANSÄÄSTÖIHIN	32
7.1	Saavutetut säästöt	33
7.1.1	Apukoneiden keskimääräinen polttoaineenkulutus	34
7.1.2	Keskimääräinen energiankulutus	34
7.1.3	Taulukoiden tulkinta	35
8	JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMINEN	35
8.1	Nykytilanne	35
8.2	Mahdolliset kohteet	36
9	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	38

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

### Suureet

E	energia, [J, Wh]
P	teho, [W]
T	lämpötila, [°C]
C	ominaislämpökapasiteetti, [kJ/kg°C]
p	paine, [bar]
$\dot{m}$	massavirta, [kg/s, t/h]

### Lyhenteet

ME	Main Engine, pääkone
AE	Auxillary Engine, apukone
SW	Sea Water, merivesi
LT	Low Temperature
HT	High temperature
CW	Cooling Water, jäähdytysvesi

## 1 JOHDANTO

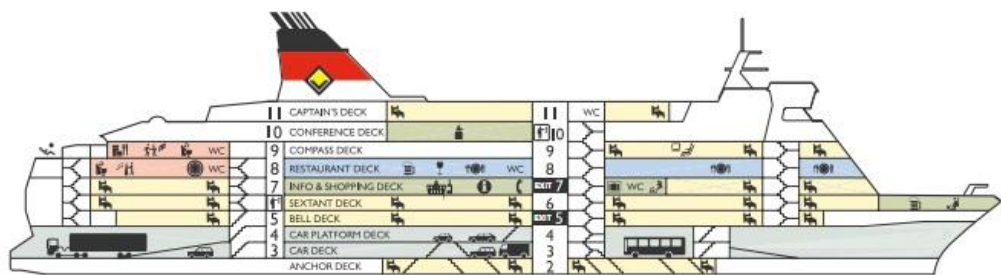
2000-luvulla energiakysymykset ovat nousseet tärkeäksi puheenaiheeksi ympäri maailmaa. Yksittäisestä kansalaisesta aina suuriin teollisuusmahteihin asti jokaisen on hyvä omalta osaltaan pohtia, kuinka voisi energiankäyttöään tehostaa. Jokaisella watilla on hintansa, ja tehokkailla ja toimivilla energiaratkaisuilla voidaan kuluihin vaikuttaa merkittävästi.

Myös merenkulussa on asiaan kiinnitetty entistä enemmän huomiota. Merikuljetus on edullinen tapa kuljettaa tavaraa paikasta toiseen, koska lastia pystytään kuljettamaan suuria määriä yhdellä kertaa. Tämä kuitenkin vaatii tehokkaat kuljetuskoneistot ja sen myötä polttoainetta kuluu paljon. Nykypäivänä nousevan polttoaineen hinnan vuoksi on jokainen polttoainelitra syytä käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Myös matkustaja-autolautta M/S Gabriellalla tähän asiaan on kiinnitetty viime aikoina suurta huomiota. Tämän insinööriyön tarkoituksena onkin tutkia ja selvittää M/S Gabriellan energiataase ja pyrkiä kartoittamaan mahdollisuuksia, joilla voitaisiin saavuttaa energiasäästöjä ja päästä parempaan kokonaishyötysuhteeseen.

Keväällä 2011 pohdin Kari Pihlajaniemen, Fleet Manager, Environmental & Energy Efficiency, kanssa mahdollisuuksia hyödyntää laivalla jo olemassa olevaa energiaa. Lähtökohtana oli selvittää niin sanottujen suurten kuluttajien energiataase. Englanninkielinen termi ”Heat Balance” on hyvä termi kuvaamaan tämän työn tavoitetta. M/S Gabriellalle oli tarkoitus kartoittaa kesän ja syksyn 2011 aikana merkityksellisten koneistoiden lämpötase käyttäen hyödyksi kannettavia energiavirtausmittareita. Tässä yhteydessä sanalla merkityksellinen viitataan suuriin ja suurehkoihin kuluttajiin. Pääpaino pyrittiin säilyttämään pää- ja apukoneistojen tuomassa mahdollisuudessa hyödyntää jäähdytysveteen sitoutunutta lämpöä. Myös suuret ja keskisuuret höyryn kuluttajat oli tarkoitus ottaa tarkasteluun mukaan. Pakokaasukattiloiden teho ylittää ajon aikana laivan oman kulutuksen, ja tavoite olikin pyrkiä selvittämään, pystyisikö myös pakokaasukattiloiden ylijäämälämpöä hyödyntämään tehokkaammin. Viking Linellä on tapahtunut työn edetessä organisaatiomuutoksia. Toimeksiantajan edustaja Kari Pihlajaniemi on vaihtanut syksyllä 2011 työpaikkaa. Hyvin alkanut yhteistyö päättyi ennen työn valmistumista. Tämän jälkeen olen työskennellyt pääasiassa itsenäisesti.

## 2 YLEISTIETOA ALUKSESTA

M/S Gabriella on vuonna 1992 Kroatian Splitissä rakennettu matkustaja-autolautta. Aluksen aikaisemmat nimet ovat olleet 1992–1994 Frans Suell (Euroway) sekä 1994–1997 Silja Scandinavia (Silja Line). Vuodesta 1997 alus on ollut Viking Linen omistuksessa ja operoinut välillä Helsinki–Maarianhamina–Tukholma. Hyttipaikkoja on 2400 henkilölle ja kaistametrejä autokannella on yhteensä 900.



### Yleiskuvaus

Taulukko 1. Aluksen tekniset tiedot

Jääluokka	IA SUPER
GT/NT	35.492/22.542
Pituus	171,2 metriä
Leveys	27,6 metriä
Syväys	6,4 metriä
Nopeus	20,5 solmua
Pääkoneet (Teho)	4 x Pielstick 12PC 2E (23.760 kW)
Apukoneet (Teho)	4x Wärtsilä Wasa 32 (7.800 kW)



Matkustajia	2420
-------------	------



Kuva 1. M/S Gabriella lähdössä Maarianhaminasta 18.6.2011

## 2.1 Aikataulut

MS Gabriella liikennöi reitillä Helsinki–Tukholma. Suomalaisille tuttu käsite ”päivä Tukholmassa -risteily” tarkoittaa lähtöä illalla ja paluuta vajaan kahden vuorokauden kuluttua aamupäivällä. Yksi tärkeimmistä aluksen liikennöintiin liittyvistä ominaisuuksista onkin säännöllisyys. Tätä työtä varten on tarpeellista myös paneutua tarkemmin liikennöintireittiin ja aikatauluihin. Mainitut ajat ovat Suomen aikaa.

Taulukko 2. Aikataulut

Helsinki		Maarianhamina			Tukholma	
17:30	→	04:25	→	04:30	→	10:45

10:00	←	<b>23:45</b>	←	23:30	→	<b>17:45</b>
-------	---	--------------	---	-------	---	--------------

Taulukosta 2 näkyy Gabriellan aikataulut. Lihavoidut kellonajat ovat lähtöaikoja ja normaalisti numeroidut vastaavasti tuloaikoja.

Aluksen satamassaoloaika on Tukholmassa seitsemän tuntia ja Helsingissä seitsemän tuntia, 30 minuuttia. Maarianhaminasta matkaa jatketaan välittömästi, pysähdys on vain noin viisi minuuttia.

## 2.2 Liikennöintialueen tuomat haasteet ja mahdollisuudet

Lämmöntuotannon kannalta liikennöintireitti on haastava. Vaihtuvat olosuhteet asetavat aluksen säätöautomaatiikan koetukselle. Helsinki–Maarianhamina–Tukholmareitti on sekoitus meriajoa sekä saaristoajoa, tässä yhteydessä vielä lisättynä pitkäköllä satama-ajalla. Skandinavian vaihtuvat vuodenaajat tuovat huiman muutoksen liikennöintiolosuhteisiin. Talven paukkupakkaset ja väylän tukkivat jääpankit vaihtuvat kesän paahtaviin helteisiin ja syysmyrskyihin, jotka pohjoisella Itämerellä voivat olla paikoin erittäin hankalat.

Meriajon osuus, jolla tässä yhteydessä tarkoitetaan tilannetta, jossa pääkoneiden kuormitus on optimaalinen (85–90%), on noin 12 tuntia vuorokaudessa. Hyötysuhde kulutetun polttoaineliträn ja kuljetun matkan välillä on ihanteellisin edellä mainituissa olosuhteissa, ja lisäksi pääkoneiden kuumien savukaasujen sisältämä energia pystytään hyödyntämään pakokaasukattiloilla. Kesäaikaan riittävä höyryntuotanto pystytään saavuttamaan jo yhden pakokaasukattilan ollessa käytössä. Normaalisti pakokaasukattiloita ajon aikana on kuitenkin käytössä kaksi tai kolme. Tällä tavoin tuotettu höyry on niin sanotusti ilmaista. Mikäli savukaasujen sisältämää lämpöä ei hyödynnettäisi, olisi höyry tuotettava aluksen kahdella öljykattilalla, ja se luonnollisesti lisäisi kustannuksia.

Saaristoajo on hyötysuhteen kannalta ongelmallisin. Pääkoneiden kuormitus vaihtelee 50 %:n molemmin puolin. Tukholman saariston ajoaika kestää hieman yli kolme tuntia, käynti Maarianhaminassa noin tunnin ja Helsingissä saaristoajoksi luokiteltavaa ajoa kertyy vajaan tunnin verran. Yhteensä pääkoneita kuormitetaan epäoptimaalisella

tehoalueella vuorokaudessa noin viiden tunnin ajan. Polttoaineen kulutus on korkeampi suhteessa tuotettuun kW:iin. Lämmön talteenoton hyödyntämisessä ongelmaksi muodostuvat liian kylmät savukaasut, jolloin pakokaasukattilat eivät pysty tuottamaan aluksen tarvittavaa lämpö määrää. Öljykattilat joutuvat paikkaamaan tarvittavan lämmöntarpeen, mikä tarkoittaa lisääntynyttä polttoaineenkulutusta.

Satama-aikana pääkoneiden ollessa pysähdyksissä ei hukkalämpöä ole saatavilla. Tarvittava höyry on tuotettava öljykattiloilla. Vuodenajalla on suuri merkitys kulutukseen. Kylmänä talvipäivänä voi höyryä kulua nelinkertaisesti kesäpäivään verrattuna. Ilmastoinnista sekä autokannen lämmityksestä aiheutuvat lisäkustannukset selittävät suurimmaksi osaksi tämän huiman eron. Vuodenajasta riippumattomat kuluttajat vaativat höyryä suunnilleen vakiomäärän riippumatta siitä, mikä on vallitseva ulkolämpötila. Merkittävimpiä tällaisia kuluttajia ovat tankkilämmitys, öljyn separointi, käyttöveden lämmitys ja koneiden lämmitys.

### 3 JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄ

Tässä osiossa kerrotaan yleistietoa jäähdytysvesijärjestelmästä, sen toiminnasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Olen pyrkinyt kirjoittamaan tämän osion riittävän yksinkertaisesti, tavoitteena että asioihin perehtymätönkin henkilö pystyy hahmottamaan peruseriaatteen laivan tekniikasta tältä osin. Olen käyttänyt tekstiä kirjoittaessani M/S Gabriellaa esimerkialuksena. Kuitenkin toimintaperiaate on kaikissa laivoissa samankaltainen, joten tämä osio on enemmänkin yleispätevä kuvaus tavallisesta jäähdytysvesijärjestelmästä. Yksityiskohtaisemmin M/S Gabriellan jäähdytysvesikiertoa käsitellään mittausosion yhteydessä.

#### 3.1 Toimintaperiaate

Dieselmoottori vaatii luotettavasti toimiakseen hyvän jäähdytyksen. Palamisprosessissa syntyvä hukkalämpö siirretään jäähdytysvesikierron mukana lämmönvaihtimien kautta merivereen. Meriveden lämpötila, moottorien kuormitus sekä jäähdytysjärjestelmän puhtaus vaikuttavat siihen, kuinka suuri on jäähdytyksen tarve. Muuttuviin olosuhteisiin voidaan vaikuttaa säätöventtiileillä. Näiden venttiilien avulla saadaan tarvittava määrä kuumaa jäähdytysvettä korvattua viileämmällä vedellä. Lämmönvaihtimil-

la saadaan jäähdytysveden lämpötila pidettyä halutuissa lukemissa. Suurissa laivadietseleissä on edullisinta käyttää levylämmönvaihtimia, jotka ovat toimintavarmoja sekä yksinkertaisia huoltaa. Jäähdytysveden kierto toteutetaan keskipakoispumpuilla, jotka kierrättävät paineistettua jäähdytysvettä järjestelmässä.

Jäähdytyspiirejä on kolme. Kaikissa niissä pidetään eri lämpötiloja. Moottorin kuumimmat osat vaativat lämpimämmän jäähdytysveden. Tällaisia koneen osia ovat esimerkiksi sylinterikannet, turbiini sekä sylinterivuorit. Tätä jäähdytysvettä kutsutaan HT-vedeksi (engl. High Temperature). Lämpötilana HT-piirissä pyritään pitämään 85–90 °C. Voiteluöljyn sekä ahtoilman lämpötila on optimaalisinta pitää noin 50:ssä, ja °C, sen vuoksi jäähdytysveden lämpötilan on oltava alle kyseisen arvon. Viileämpää jäähdytysvesipiiriä kutsutaan LT-vedeksi (engl. Low Temperature), jonka lämpötilana pyritään pitämään 30–40°C, ja ylimääräinen lämpö johdetaan meriveteen. Erillinen merivesijäähdytyspiiri SW-jäähdytysvesi (engl. Sea Water) jäähdyttää HT- sekä LT-veden ja koneista syntynyt lämpö, jota ei pystytä hyödyntämään, johdetaan loppujen lopuksi mereen.

## 3.2 Komponentit

Jäähdytysjärjestelmä koostuu monesta eri komponentista, jotka yhdessä muodostavat kokonaisuuden, jolla varmistetaan moottorin lämpötilan pitäminen vakiona. Muuttuvat olosuhteet koneiden kuormituksessa tai meriveden lämpötilan vaihtelut luovat omat haasteensa toimivalle kokonaisuudelle. Laivan rakennusvaiheessa on tärkeää jo varmistua siitä, että jäähdytysjärjestelmä on riittävän tehokas jokaisessa kuviteltavissa olevassa tilanteessa. Jälkeenpäin havaitut puutteet ja tarvittavat muutokset ovat yleensä hankalia toteuttaa ja hinnaltaan kalliita.

### 3.2.1 Putkisto

Jäähdytysjärjestelmän selkäranka on putkisto. Yleinen putkimateriaali on teräs. Meriveden korroosiota aiheuttavat ominaisuudet ovat haasteellisia pinnoille, jotka ovat meriveden kanssa kosketuksissa. Merivesiputkiston materiaalina M/S Gabriellalla on käytetty Cu-Ni-Fer-metallia, (kupari-nikkeli-rauta) jonka korroosion kesto on tavalliseen teräkseen verrattuna parempi. Joissakin tapauksissa merivesiputkisto voidaan rakentaa myös komposiittimateriaaleista. HT- ja LT-putkistojen materiaalina teräs on osoittautunut toimivaksi. Jäähdytysjärjestelmän lisättävien kemikaalien avulla järjestelmä voidaan

pitää hyväkuntoisena ja toimivana pitkään. Viikoittain tehtävillä jäähdytysvesitesteillä varmistutaan, että jäähdytysveden laatu on riittävän hyvä.

### 3.2.2 Lämmönvaihtimet

Lämmönvaihtimilla siirretään lämpöä systeemistä toiseen. Jäähdytyssesteemissä kuumentunutta jäähdytysnestettä viilennetään lämmönvaihtimen toisessa piirissä virtaavalla viileämmällä nesteellä. Laivakäytössä on yleisesti kahden tyyppisiä lämmönvaihtimia, putkilämmönvaihtimia sekä levylämmönvaihtimia. Putkilämmönvaihtimet ovat yleensä pienemmän jäähdytystehon vaativissa kohteissa. Suuremmat lämmönvaihtimet ovat lähes poikkeuksetta laivakäytössä levylämmönvaihtimia. Levylämmönvaihtimia voidaan toki valmistaa ja käyttää myös pienemmissä kohteissa. Erikoisia jäähdyttimiä on saatavana moniin eri käyttöolosuhteisiin.

### 3.2.3 Säätoventtiilit

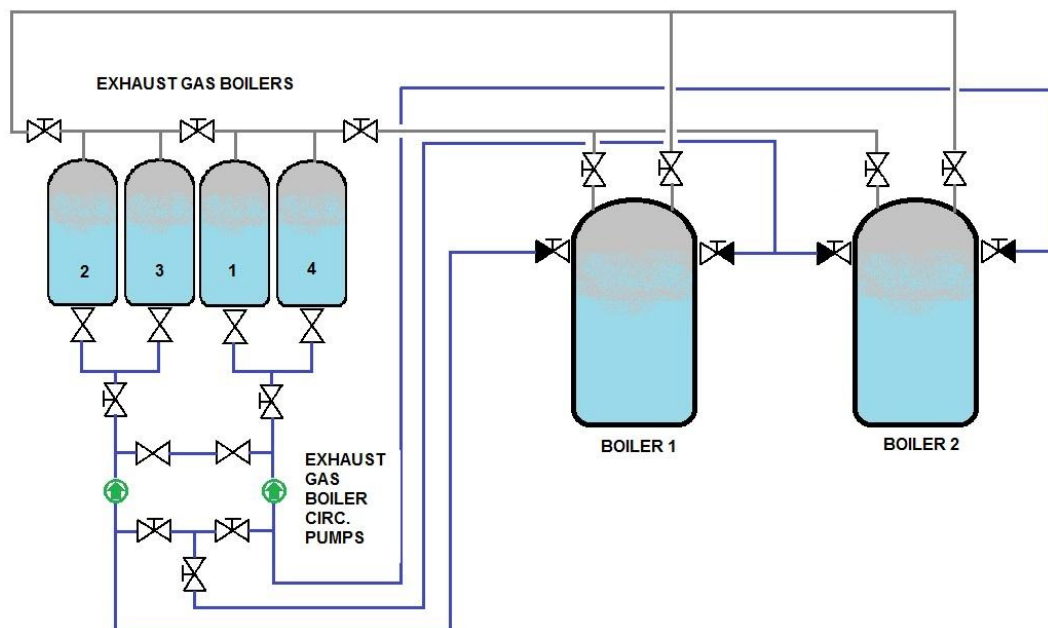
Säätoventtiilit pitävät lämpötilan halutun suuruisena. Venttiilien toimintaperiaate perustuu siihen että venttiilille tuleva nestevirta voidaan ohjata esimerkiksi jäähdyttimelle ja takaisin kiertoon sopivassa suhteessa. Sääto voidaan tehdä myös esimerkiksi höyrysystemeissä kuristamalla virtausta. Säätoventtiilit toimivat automaattisesti ja pyrkivät säilyttämään asetetun lämpötilan. Toisaalta venttiilin aktuaattoria voidaan ohjata myös kaukokäyttöisesti. Kauko-ohjauksen vikaantuessa on sääto mahdollista toteuttaa paikallisesti.

### 3.2.4 Pumput

Jäähdytyssesteemin virtaus ja paineistus saadaan yleensä keskipakopumpuilla. Keskipakopumpuilla saadaan suuri tuotto ja optimaalinen systeemin paine, jolloin lämpötila pysyy jäähdytettävässä kohteessa kauttaaltaan samansuuruisena. Tämä on luotettavan toiminnan kannalta tärkeää. Nykyään yhä yleisemmin jäähdytyspumput ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä, jolloin pumpun pyörimisnopeuteen voidaan vaikuttaa verkkovirran taajuutta muuttamalla. Tällä ratkaisulla saavutetaan energiasäästöjä.

## 4 HÖYRYJÄRJESTELMÄ

Vastaavasti kuten edellä jäähdytysvesiä käsittelevässä osiossa, tässä on höyryjärjestelmästä samankaltainen yksinkertainen tietopaketti. M/S Gabriellalla höyryä tarvitaan lämmitykseen. Suurimmat höyrynkuluttajat ovat ilmastointi, autokannen lämmitys, veden lämmitys, tankkilämmitys sekä polttoaineen ja voiteluöljyn separointi. Vuodenajan vaihtelut vaikuttavat höyrynkulutuksen suuruuteen: mitä kylmempi ulkoilma, sitä suurempi höyryn kulutus. Konehuoneessa toimintojen ylläpitämiseksi tarvittava höyrynkulutus on vuodenajasta riippumatta suunnilleen samansuuruinen.



Kuva 2. Kattilaveden kierto ja höyryn paluu pakokaasukattiloilta

### 4.1 Kattilat

MS/ Gabriellalla on kaksi öljykattilaa. Ne tuottavat höyryä, jota laivalla tarvitaan useissa eri kohteissa. Yhden kattilan höyryntuotto on maksimissaan noin 5 t/h, höyrynpaine seitsemän baaria. Kattilat on säädetty ylläpitämään 4,5–5,5 baarin höyrynpaineen, joka on käytännössä osoittautunut riittäväksi. Suuremman höyrynpaineen ylläpitäminen lisäisi polttoaineenkulutusta. Kattila toimii polttoöljyllä. M/S Gabriella käyttää dieselöljyä puhtaampien savukaasujen vuoksi. Automatiikka ohjaa kattilan poltinta ja säätelee kattilaveden pintaa. Höyrynpaineen laskiessa poltin syttyy ja höyrynpaine alkaa taas nousta. Paineen saavuttaessa asetetun arvon poltin pysähtyy ja

käynnistyy taas seuraavan kerran, kun paine on pudonnut polttimen syttymispaineeseen asti.

## 4.2 Pakokaasukattilat

Palamisprosessissa syntyvät kuumat savukaasut sisältävät runsaasti energiaa. Pakokaasukattiloiden avulla osa savukaasujen sisältämästä lämmöstä pystytään ottamaan talteen. M/SGabriellalla pakokaasukattiloita on yksi jokaista pääkoneetta kohden, yhteensä neljä kappaletta. Pakokaasukattilat sijaitsevat kansilla nro 11 ja 12. Kattilavettä pumpataan pakokaasukattilaan, jossa vesi höyrystyy ja palaa höyrynä takaisin kattilan höyrytilaan. Höyrystyminen tapahtuu pakokaasukattilan tuubipaketissa. Mikäli savukaasu on riittävän kuumaa, saadaan kaikki aluksella tarvittava höyry tehtyä pakokaasukattiloiden avulla. Käytännössä tämä tilanne saavutetaan vain meriajossa, jolloin pääkoneiden kuormitus on 85 % – 90 %. Saaristoajossa pääkoneiden kuormitus vaihtelee, ja tämän vuoksi öljykattiloiden öljypoltin joutuu käymään pitääkseen yllä riittävän höyrinpaineen. Satamassa, jolloin pääkoneet ovat pysähdyksissä, kaikki tarvittava höyry pitää tuottaa öljykattiloilla. Kesäaikana riittää, että vain yksi pakokaasukattila on käytössä. Talvella käytössä on normaalisti kaksi tai kolme pakokaasukattilaa.

## 5 MITTAUKSET ALUKSELLA

Virtausmittaukset aluksella suoritettiin syyskuussa 2011. Mittaukset toteutettiin kannettavalla ultraäänimittarilla. Käytössä ollut mittalaite oli merkiltään ja malliltaan FLUXUS® ADM 6725. Lämpötilat mitattiin kannettavalla infrapunalämpömittarilla, joka oli merkiltään ja malliltaan FLUKE 62 Mini IR Thermometer. Tavoite oli selvittää energiavirrat aluksen pää- ja apukoneistoissa sekä mitata mahdollisuuksien mukaan myös ilmastoinnin esi- sekä jälkilämmityksen massavirrat. Pääpaino kuitenkin oli apukoneiden jäähdytysvesijärjestelmän tarkastelussa siitä syystä, että oletusarvo oli jo alussa se, että säästöjä on mahdollista saavuttaa apukoneiden hukkalämmön talteenotolla.

### 5.1 Lähtökohta

Ennen aluksella suoritettuja mittauksia oli olemassa jo tiettyjä olettamuksia sekä tosiasiota, joiden perusteella suunnittelin tulevat mittaukset. Ajatus siitä, että tarkoitus oli löytää konkreettisia kohteita, joista saada hukkalämpöä talteen, ohjasi pääpainon

enemmänkin apukoneiden jäähdytysvesisysteemiin kuin pääkoneiden vastaavaan. Pääkoneistojenkin osalta mittauksia suoritettiin mahdollisuuksien mukaan, vaikkakin vaihtelevat kuormitukset ja taajuusmuuttajakäyttöiset jäähdytysvesipumput LT-vesipiirissä toivat pienen lisähaasteensa mittaustuloksien täsmällisyyteen ja arvioitiin.

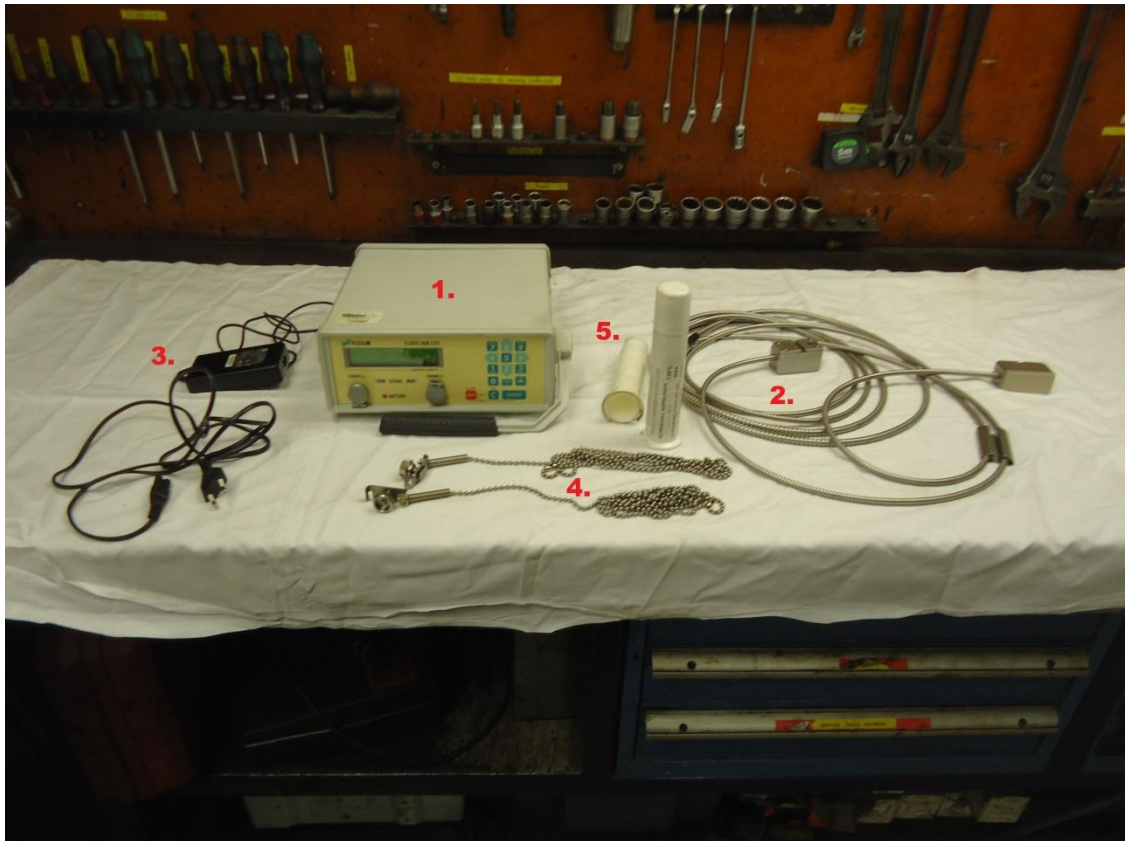
Miksi pääpaino asetettiin apukoneiden jäähdytysvesisysteemin tarkasteluun, vaikka pääkoneiston teho on kolminkertainen verrattaessa apukoneisiin? Suurin yksittäinen syy oli se, että pääkoneiden hukkalämmöstä pystytään pakokaasukattiloilla jo saamaan riittävä energia aluksen lämmitystarpeen kattamiseksi merellä. Lämmönsaannin kannalta ongelmallinen satama-aika ja saaristoajo sen sijaan vaativat öljykattilakäytön lämmöntuotannon turvaamiseksi. Tässä yhteydessä ongelmallisella tarkoitetaan öljynkulutusta kattiloissa, joka aiheuttaa varustamolle kustannuksia. Höyrynsaanti sinänsä on helppo toteuttaa öljykattiloilla. Tiedossa oli myös apukoneiden suhteellisen samansuuruinen kuormitus, joten oletettavasti lämpöenergiaa olisi saatavilla suhteellisen vakiomäärä vuorokauden- tai vuodenajasta riippumatta. Yksi tämän työn tärkeimpiä kysymyksiä onkin, olisiko mahdollista löytää ratkaisu, jolla osa lämpötarpeesta pystytäisiin kattamaan apukoneiden jäähdytysveteen sitoutuneella lämmöllä ja saamaan öljykattiloiden polttoaineenkulutusta laskettua. Tämän selvittämiseksi mittasin apukoneiden energiavirrat.

## 5.2 Mittalaite

Kuvassa 4 on ultraäänimittari ja tarvittavat lisävarusteet.

1. Mittari
2. Anturit (2 kpl)
3. Laturi ja AC-adapteri
4. Kiristysketjut
5. 2 x geelituubi





Kuva 3 Mittauslaitteisto

### 5.2.1 Toimintaperiaate

Ultraäänivirtausmittaus perustuu ultraäänen etenemiseen virtaavassa aineessa. Ultraääni aikaansaadaan putken päälle asennettavilla antureilla. Vahvistinyksiköllä mitataan äänen kulku aikaero, joka on verrannollinen virtausmäärään. Anturit voidaan asentaa putken seinämälle rinnakkain, jolloin saadaan aikaan kaksinkertainen signaali heijastumana tai putken vastakkaisille puolille. Mittausmenetelmä ei kosketa virtaavaa ainetta, jolloin vältetään painehäviöitä ja väliaineen vaikutukselta mittausantureihin.

### 5.2.2 Mittausolosuhteet

Koska mittausmenetelmä perustuu ultraäänen etenemiseen virtaavassa aineessa, tulee ottaa huomioon seuraavaa. Väliaineen täytyy olla homogeenista, ääntä johtavaa nestettä, joka sisältää ainoastaan vähäisen määrän (alle 2 %) kiintoainepartikkeleita ja ilmakuplia. Putkimateriaalin täytyy olla yhtenäistä materiaalia. Antureiden asennus pitää valita niin, että putki on aina täynnä. Toisaalta suositellaan antureiden asentamista

sivulle, jolloin ilmakuplat tai sakkaantuva kiintoaine eivät häiritse mittausta. Antureiden asennuspaikka tulee myös pyrkiä valitsemaan riittävän kauaksi häiriötekijöistä. Mutkat, kuristukset ja erityisesti pumpput aiheuttavat virtaavassa aineessa pyörteilyä ja näin ollen voivat vääristää mittaustuloksia. Laivaolosuhteissa ihanteellisen mittauspaikan löytäminen osoittautui usein mahdottomaksi. Vaihtoehdoksi usein jäikin vähiten huonoimman mittauspisteen valitseminen.

## 6 MITTAUSTULOKSET

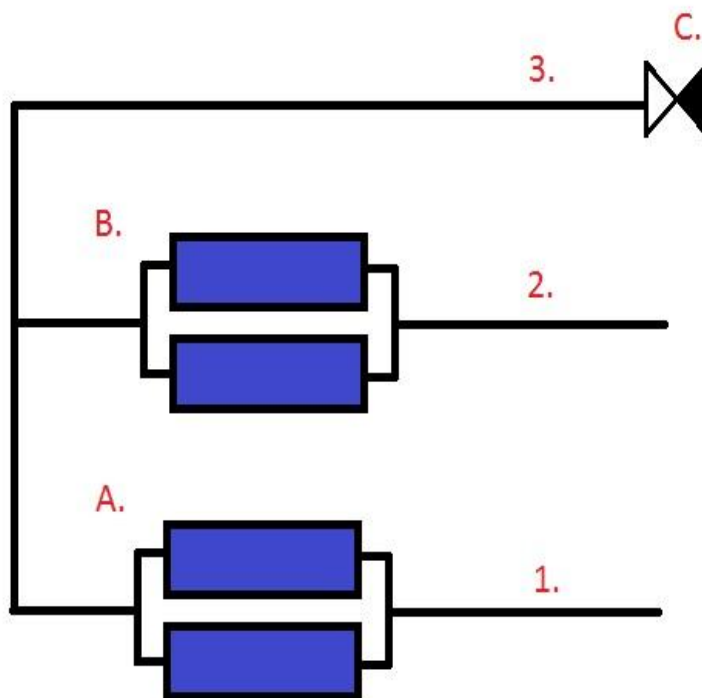
Mittaukset suoritettiin 7.9.2011–11.9.2011. Pääkoneiden energiavirtaukset mitattiin merellä kuormituksen ollessa noin 90 %. Apukoneiden energiavirtausmittaukset suoritettiin satamassa, jolloin kuormitus säilyi mittauksien ajan samansuuruisena. Tavoite oli suorittaa mittaukset mahdollisimman normaaleissa olosuhteissa, jolloin mittaustulokset olisivat mahdollisimman luotettavia.

### 6.1 Pääkoneet

Aloitin projektin keskiviikkoiltana 7.9. mittaamalla pääkoneiden merivesipiirin. Gabriellan pääkoneiden merivesijäähdytys on toteutettu siten, että koneet 1 ja 4 ja vastavasti koneet 2 ja 3 ovat omassa jäähdytysvesipiirissä. Kummassakin piirissä jäähdytys toteutetaan kahdella levylämmönvaihtimella, jotka on asennettu rinnan. Meriveden poistoputki on yhteinen. Mittauspisteitä pääkoneiden merivesisysteemissä oli kolme. Jatkoin 9.9. pääkoneiden jäähdytysvesiputkistojen energiavirtausmittauksia mittaamalla LT- ja HT-systeemit.

#### 6.1.1 Merivesisysteemi

Merivesi pumpataan jäähdyttimille keskipakoispumpuilla. Pumppuja on yhteensä neljä kappaletta. Normaalisti kuitenkin yksi tai kaksi merivesipumppua riittää käytössä. Mikäli järjestelmä likaantuu, voidaan riittävän jäähdytystehon saavuttamiseksi ajaa useampaa pumppua yhtäaikaaisesti suuremman paineen ja virtauksen aikaansaamiseksi. Likaantunut järjestelmä pitää puhdistaa mahdollisimman nopeasti.



Kuva 4 Pääkoneiden merivesijäähdytys

- A. ME LOW TEMP. FW CENTRAL COOLER 1/4
- B. ME LOW TEMP. FW CENTRAL COOLER 2/3
- C. OVERBOARD VALVE
- 1. SW INLET TO COOLER 1/4
- 2. SW INLET TO COOLER 2/3
- 3. SW OUTLET

Ensimmäinen mittauspiste oli meriveden sisääntulo 1/4-lämmönvaihtimelle. Hyvän mittauspaikan löytäminen oli melko hankalaa. Merivesiputki on sijoitettu hieman tankkitopin yläpuolelle, joten antureiden asennus oli hieman haasteellista. Mittaus alkoi klo 18, kun Kustaanmiekka oli ohitettu ja koneen kuormitus noussut 85–90 %:iin. Käytössä oli kaksi pääkonetta, koneet 1 ja 3. Tämä on normaali tilanne Helsingistä lähdettäessä, kun keliolosuhteet ovat normaalit. Meriveden lämpötila oli 17,9 C°, ja yksi merivesipumppu oli käynnissä.

Toinen mittauspiste oli meriveden sisääntulo ennen 2/3-lämmönvaihdinta. Kello 20 alkanut mittaus oli olosuhteiltaan edellistä vastaava, tosin sillä erolla, että klo 19:30 oli käynnistetty kolmas pääkone. Mittausilanteessa käynnissä olivat pääkoneet 1,2,3, koneiden kuormitus oli 85 %. Kaksi merivesipumppua oli käynnissä.

Meriveden ulostulomittaus tehtiin kummankin jäähdyttäjän jälkeen klo 21:30. Olosuhteet olivat vastaavat kuin mittauspisteellä kaksi. Kaikissa tilanteissa mittauslukema on keskiarvo noin tunnin ajalta mittauksen aloituksesta.



Kuva 5 Merivesipiirin virtausmittaus

Kuvassa 6 oikealla ylhäällä on mittaus meneillään ennen 1/4-lämmönvaihdinta. Vasemman yläkulman kuva on merivesiputkesta ennen 2/3-lämmönvaihdinta. Alhaalla on kaksi kuvaa antureista kiinnitettynä meriveden ulostuloputkeen.

## 6.1.1.1 Tulokset

Tulosten tarkastelussa on hyvä olla hieman kriittinen. Tuloksissa on pyritty käyttämään mahdollisimman oikeita keskiarvoja mittaushetkeltä. Lämpötiloissa, paineissa ja virtauksessa tapahtuu jatkuvasti pieniä muutoksia ja se kuuluu aluksen normaaliin operointiin.

Taulukko 3. Mittaustapahtuman tiedot

	<u>Putken Ø (mm)</u>	<u>Lämpötila (°C)</u>	<u>Paine (Bar)</u>	<u>Massavirta (m<sup>3</sup>/h)</u>
<u>Mittauspiste 1</u>	275	17,7	1,17	215
<u>Mittauspiste 2</u>	275	18,2	1,87	325
<u>Mittauspiste 3</u>	375	32		650

Mittauspisteiden 1 ja 2 erisuuruiset massavirrat sekä paine-ero selittyvät sillä, että tilanteessa 1 on yksi merivesipumppu käynnissä ja tilanteessa 2 kaksi merivesipumppua käynnissä. Lämpötilat ja paineet mittauspisteissä 1 ja 2 on luettu konevalvomosta, mittauspisteessä 3 kannettavalta infrapunälämpömittarilta. Infrapunälämpömittarilla saatu arvo on muutaman asteen liian suuri verrattuna todelliseen lämpötilaan, mikä johtuu konehuoneessa vallitsevasta lämmöstä. Infrapunamittarilla lämpötila otetaan putken pinnasta, jolloin ympäröivän ilman lämpötila vääristää tuloksia. Lämpötilaero pystytään kuitenkin mittaamaan riittävän luotettavasti, sillä virhe on samaa suuruusluokkaa, kun ympäröivän ilman lämpötila pysyy samana molemmissa mittaustapahtumissa. Käytännön esimerkki lämpötilavirheestä mittausten yhteydessä: Meriveden lämpötila ennen lämmönvaihdinta on 22 °C ja lämmönvaihtimen jälkeen 33 °C. Todellisen arvon voidaan olettaa olevan n. 18 °C, sillä aluksen oma valvontajärjestelmä mittaa meriveden lämpötilan useammasta eri pisteestä. Putken pintalämpötila on 4 °C liian suuri verrattuna todelliseen arvoon. Lämpötilaero ennen ja jälkeen lämmönvaihtimen on 11 astetta, ja tämä lämpötilaero on merkitsevä määritettäessä putkistoissa virtaavaa energiamäärää.

### 6.1.1.2 Meriveteen siirtynyt energia

Seuraavassa laskussa on selvitetty aluksen jäähdytysveteen siirtynyt energia kolmen pääkoneen ollessa käynnissä, kun alus on ollut matkalla Helsingistä Tukholmaan. Olosuhteet olivat normaalit mittaushetkellä. Koneiden kuormitus pysyi samansuuruisena koko mittauksen ajan, ja tilanne vastaa normaalia operointitilannetta avomerellä.

$$\dot{m}=180,56\left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$\Delta T=11\text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$C=4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

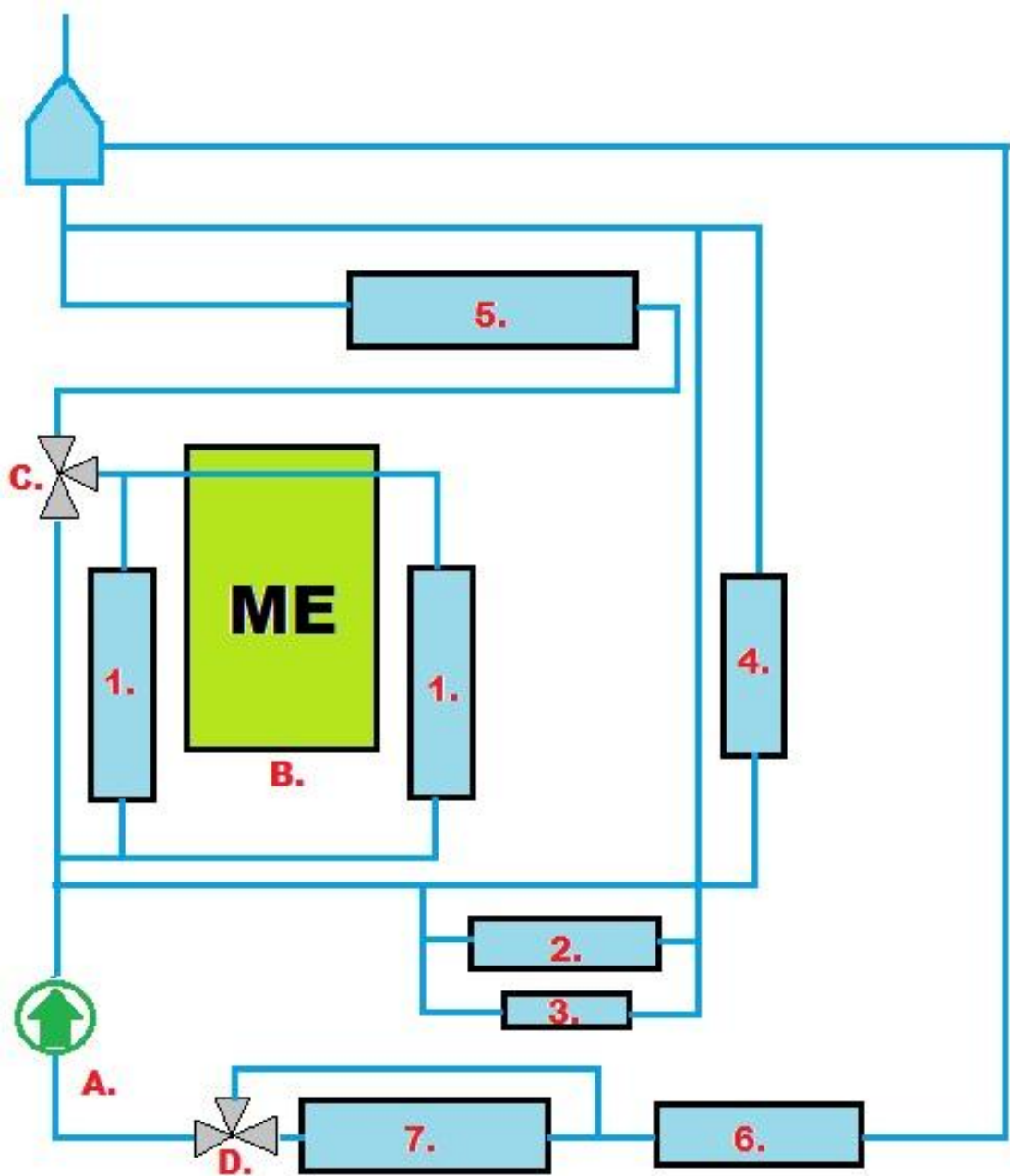
$$P=\dot{m}\cdot\Delta T\cdot C$$

$$P=180,56\left[\frac{kg}{s}\right]\cdot 11\text{ [}^{\circ}\text{C]}\cdot 4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

$$P=8322\text{ kW}$$

### 6.1.2 LT-Systemi

9.9. jatkoin pääkoneiden jäähdytysvesimittauksia. Alus oli jälleen matkalla Helsingistä Tukholmaan, joten olosuhteet olivat mahdollisimman lähellä 7.9. suoritettuja merivesipiirin mittauksia. Poikkeuksena tosin oli se, että käytössä oli vain kaksi pääkonetta, koneet 1 ja 3. Mittaukset suoritettiin 2/3-jäähdytysvesipiiristä. Koneen kuormitus oli 93 %. Tuloksista selviää yhden pääkoneen tuottama ja jäähdytysveteen siirtynyt energia.



Kuva 6 LT-jäähdytysjärjestelmä

Kuvassa 7 on esitetty LT-piirin jäähdytysvesikierto ja sen tärkeimmät komponentit

- A. LT-COOLING PUMP
- B. MAIN ENGINE
- C. TEMPERATURE REGULATING VALVE
- D. TEMPERATURE REGULATING VALVE
- 1. ME SCAVENING AIR COOLERS
- 2. REDUCTION GEAR LO. COOLER
- 3. PROPELLER SHAFT BEARING

4. ME FUEL VALVE FW. COOLER
5. LUBRICATE OIL COOLER
6. HT FW. COOLER
7. LT FW. CENTRAL COOLER

#### 6.1.2.1 Tulokset

Taulukko 4 mittauspahtuman tiedot LT

Massavirta (m <sup>3</sup> /h)	Massavirta (kg/s)	Putki Ø (mm)	Paine (Bar)
222	61,7	275	1,48

Lämpötila IN Fluke (°C)	Lämpötila OUT Fluke (°C)	Lämpötila IN Kongsberg (°C)	Lämpötila OUT Kongsberg (°C)
38	28	40,5	23,8

#### 6.1.2.2 LT-veteen siirtynyt energia

$$\dot{m}=61,7\left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$\Delta T=10\left[{}^{\circ}C\right]$$

$$C=4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right]$$

$$P=\dot{m}\cdot\Delta T\cdot C$$

$$P=61,7\left[\frac{kg}{s}\right]\cdot 10\left[{}^{\circ}C\right]\cdot 4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right]$$

$$P=2585kW$$



## 6.1.3 HT-Systemi

Pääkoneiden HT-jäähdytysveden mittaukset suoritettiin myös 9.9, samaan aikaan kuin LT-veden mittaukset. Käynnissä olivat koneet 1 ja 3. Koneiden kuormitus oli 93 %.

## 6.1.3.1 Tulokset

Taulukko 5 mittaustapahtuman tiedot HT

Massavirta (m <sup>3</sup> /h)	Massavirta (kg/s)	Putki Ø (mm)	Paine (Bar)
104	28,89	225	2,76

Lämpötila IN Fluke (°C)	Lämpötila OUT Fluke (°C)	Lämpötila IN Kongsberg (°C)	Lämpötila OUT Kongsberg (°C)
87	72	79,1	87,9

## 6.1.3.2 HT-veteen siirtynyt energia

$$\dot{m}=28,89\left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$\Delta T=15\text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$C=4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

$$P=\dot{m}\cdot\Delta T\cdot C$$

$$P=28,89\left[\frac{kg}{s}\right]\cdot 15\text{ [}^{\circ}\text{C]}\cdot 4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

$$P=1439\text{ kW}$$

## 6.2 Apukoneet

Apukoneiden energiavirtausmittaukset suoritettiin 8.9 sekä 10.9 Tukholman satamassa. Mittaukset pyrittiin suorittamaan mahdollisimman vakiokuormalla sekä normaaleissa olosuhteissa. Tavoitteena oli saada selville apukoneiden jäähdytysveteen siirtyvän lämpöenergian määrä. Ennen mittauksia oli pääpaino juuri apukoneiden jäähdytysvesien mittaamisessa, sillä apukoneet ovat käynnissä 24 h vuorokaudessa, jäähdytysveteen sitoutunutta lämpöenergiaa on siis saatavilla jatkuvasti. Mittaukset suoritettiin apukone nro 4:n jäähdytysvesiputkistoista. Tarkoitus oli myös mitata toisen apukoneen jäähdytysvesivirtaus, mutta se ei ollut mahdollista 1. apukoneen männänhaalauksesta johtuen. Voidaan kuitenkin olettaa, että tulokset ovat samaa luokkaa jokaisessa apukoneessa, sillä koneet ovat tyypiltään ja malliltaan samanlaisia. Myös kuormitus jakautuu kaikkien apukoneiden kesken tasaisesti.

### 6.2.1 Mittausolosuhteet apukone nro 4

Taulukko 6 mittausolosuhteet

	12:00	14:15	16:30
TOTAL POWER (kW)	1710	1668	1886
TOTAL AVAILABLE POWER (kW)	2185	2234	2014
DG 4 LOAD (kW)	823	814	927
DG 4 AVAILABLE POWER (kW)	1127	1136	1023
LUB. OIL BEF. ENG. TEMP (°C)	68	68	68
LUB. OIL INLETT PRESS (Bar)	4,3	4,3	4,3
LTCW PRESS. BEF ENG. (Bar)	3,3	3,3	3,3
HTCW PRESS. BEF. ENG. (Bar)	2,4	2,4	2,4

HTCW TEMP AFT. ENG. (°C)	92,7	92,5	93,9
SCAVENING AIR TEMP. (°C)	45,9	46,2	47,1
EXHAUST GAS TEMP. MEAN (°C)	399	399	412
EXHAUST GAS AFTER TURBO (°C)	383	384	394

### 6.2.2 Merivesipiiri

Apukoneiden jäähdytysvesi pidetään vakiolämpötilassa kahden levylämmönvaihtimen avulla. Normaalisti käytössä on vain toinen lämmönvaihdin ja toinen on stand-by, eli valmiina käyttöön otettavaksi. Mikäli meriveden lämpötila nousee kovin korkeaksi ja lämmönvaihdin on jo päässyt likaantumaan, yksi lämmönvaihdin ei tahdo riittää kuormituksen kasvaessa lähelle maksimia. Tällaisia tilanteita ovat yleensä vain satamaan tulo ja lähtö, jolloin keulapotkurit vaativat kolmen tai neljän apukoneen samanaikaisen käytön riippuen keliolosuhteista. Tällaiset kuormitushuiput ovat kestoltaan normaalisti vain muutamia minuutteja. Merivesipumppu on taajuusmuuttajakäyttöinen. Tällä ratkaisulla säästetään energiaa, koska kuormituksen ollessa pientä ja meriveden ollessa kylmää ei pumpulta vaadita täyttä pyörimisnopeutta.

Meriveden massavirta mitattiin levylämmönvaihtimen jälkeen. Mittaus alkoi 8.9. klo 12, jolloin kuormitus oli ehtinyt tasoittua normaalia satamassa oloaikaa vastaavalle tasolle. Merivesipiirin mittaaminen toimi myös hyvänä tarkistusmittauksena tuleville apukoneiden LT- ja HT- jäähdytysvesien mittauksille. Meriveteen siirtyneen energian tulisi olla samaa suuruusluokkaa kuin käyvien koneiden LT- ja HT- jäähdytysvesiin siirtynyt energia. Merivesipiirille suoritettiin toinen tarkastusmittaus 10.9.

## 6.2.2.1 Mittaustulokset 8.9.

Taulukko 7 mittaustapahtuman tiedot AUX

Massavirta (m <sup>3</sup> /h)	Massavirta (kg/s)	Putki Ø (mm)	Paine (Bar)
52–55	14,44–15,28	275	2,3

Lämpötila IN (°C)	Lämpötila OUT (°C)	SW Cooling Pump (Hz)	Ulkoilma (°C)
17	35	28–29,2	17,5

## 6.2.2.2 Meriveteen siirtynyt energia 8.9..

$$\dot{m}=14,44\left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$\Delta T=18\text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$C=4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

$$P=\dot{m}\cdot\Delta T\cdot C$$

$$P=14,44\left[\frac{kg}{s}\right]\cdot 18\text{ [}^{\circ}\text{C]}\cdot 4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

$$P=1089\text{ kW}$$

## 6.2.2.3 Mittaustulokset 10.9.

Taulukko 8 mittaustapahtuman tiedot AUX 10.9

Massavirta (m <sup>3</sup> /h)	Lämpötila IN (°C)	Lämpötila OUT (°C)	SW Cooling Pump (Hz)
72	18,6	33	36

## 6.2.2.4 Meriveteen siirtynyt energia 10.9.

$$\dot{m}=20\left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$\Delta T=14,4\ [^{\circ}C]$$

$$C=4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right]$$

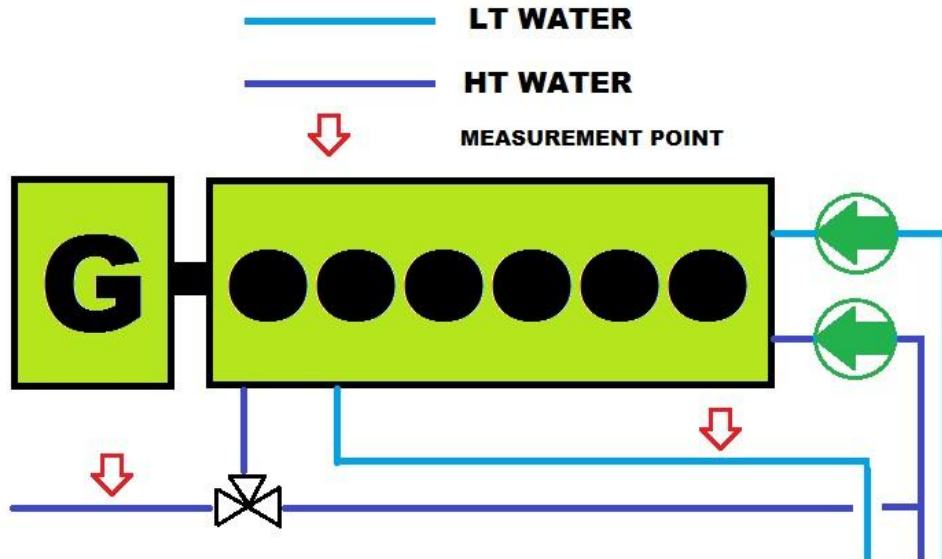
$$P= \dot{m} \cdot \Delta T \cdot C$$

$$P=20\left[\frac{kg}{s}\right] \cdot 14,4\ [^{\circ}C] \cdot 4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right]$$

$$P=1207kW$$

## 6.3 HT- ja LT-systeemin yleiskuvaus

Apukoneiden jäähdytysvesi on samaa vettä sekä HT- että LT- puolella. Systeemillä on yksi yhteinen paisuntatankki kaikille neljälle apukoneelle. HT-järjestelmässä on oma lämpötilan säätöventtiili, joka pitää jäähdytysveden lämpötilan oikean suuruisena. Koneen jälkeen lämmennyt jäähdytysvesi viilenee, kun jäähdytysveteen sekoittuu kylmempää vettä. LT-veden lämpötilaa säädellään taajuusmuuttajakäyttöisellä merivesipumpulla. Levylämmönvaihtimen kautta ylimääräinen hukkalämpö siirretään meriveteen. Jokaisessa koneessa on omat hammaspyörävetoiset LT- ja HT-jäähdytysvesipumput. LT- ja HT-systeemin lämpötilan säätöventtiilien lisäksi jokaisessa koneessa on omat LT- ja HT-veden säätöventtiilit.



Kuva 7 mittauspisteet

HT- ja LT-veden mittaukset suoritettiin apukoneelle numero 4. Satamassa käynnissä on normaalisti kaksi apukonetta. Kuva 8 esittää yksinkertaistettua piirustusta apukoneen jäähdytysvesikierrosta. Punaiset nuolet osoittavat mittauspisteet. HT-veden mitaus on säätöventtiilin jälkeen, minkä vuoksi virtaus on noin kolmasosa LT-veden virtaukseen verrattuna.

### 6.3.1 LT-systeemi

LT-systeemin mitaus suoritettiin 8.9. klo 16. Virtausmittaus tapahtui koneen jälkeen tulevasta LT-veden paluuputkesta. Toisin kuin HT- jäähdytysvesisysteemissä mittaus- tulokseksi saatiin yhden apukoneen LT-veden pumpun tuottama kokonaisvirtaus. Apukoneiden LT-vesi jäähdyttää ahtoilman sekä voiteluöljyn. LT-veden optimaalinen lämpötila on 30 °C.

## 6.3.1.1 Mittaustulokset

Taulukko 9 mittaustapahtuman tiedot AUX LT

Massavirta (m <sup>3</sup> /h)	Lämpötila IN (°C)	Lämpötila OUT (°C)	Paine (Bar)
63	32,2	37,2	3,29

## 6.3.1.2 LT-veteen siirtynyt energia

$$\dot{m}=17,5 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$\Delta T=5 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$C=4,190 \left[ \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}} \right]$$

$$P= \dot{m} \cdot \Delta T \cdot C$$

$$P=17,5 \left[ \frac{kg}{s} \right] \cdot 5 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \cdot 4,190 \left[ \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}} \right]$$

$$P=367\text{kW}$$

## 6.3.2 HT-systeemi

HT-systeemin mittaukset suoritettiin 8.7. klo 14. Mittauspiste oli lämpötilan säätöventtiilin jälkeen. Säätöventtiili jakaa osan jäähdytysvedestä heti takaisin kiertoon ja osa vedestä virtaa jäähdytettäväksi. Säätöventtiilin jälkeen suoritettu mittaus antoi tulokseksi halutun jäähdytysveden entalpian nousun. Lämpötila koneelle tulevalle jäähdytysvedelle on mitattu ennen T-haaraa. Mittaustapahtuma osoittautui odotettua hankalammaksi, sillä T-haarassa veden sekoittuvuus aiheuttaa lämpötilan muutosta myös jäähdytysveden tuloputkessa. Hyvänä sivistyneenä arvauksena voidaan pitää arvoa 80 °C, tämän tuloksen sain myös mittaamalla, Jäähdytysveden lämpötilan nousu HT-piirissä on normaalisti luokkaa 10 °C, joten mittaustulosta voidaan pitää melko luotettava.

## 6.3.2.1 Tulokset

Taulukko 10 mittaustapahtuman tiedot AUX HT

Massavirta (m <sup>3</sup> /h)	Lämpötila IN (°C)	Lämpötila OUT (°C)	Paine (Bar)
18–18,5	80	92	2,38

## 6.3.2.2 HT-veteen siirtynyt energia

$$\dot{m}=5\left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$\Delta T=12\text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$C=4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

$$P= \dot{m} \cdot \Delta T \cdot C$$

$$P=5\left[\frac{kg}{s}\right] \cdot 12\text{ [}^{\circ}\text{C]} \cdot 4,190\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}\text{C}}\right]$$

$$P=251\text{ kW}$$

## 7 PÄIVITTÄISEN HUOLLON JA KUNNOSSAPIDON VAIKUTUS ENERGIANSÄÄSTÖIHIN

Jokaiselle laivalle muodostuu omanlaisensa työrutiinit, jotka toistuvat viikosta tai vuodesta toiseen suunnilleen samanlaisina. Ajattelutapa ”näinhän se on aiemminkin tehty” on varma ja yleinen tapa tehdä työt myös tulevaisuudessa. Mikäli kuitenkin tavoitteena on saada säästöjä, on tietyt työrutiinit arvioitava uudelleen. Esimerkkinä vuonna 2011 toteutettu M/S Gabriellan ilmastointituulettimien muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöisiksi on tuonut tuntuvia energiasäästöjä. Säästöt eivät ole näkyneet pelkästään alentuneena tehon tarpeena, vaan huoltohenkilökunnan näkemys on ollut myös se, että esimerkiksi tuulettimien hinnat kestävät nykyisin pidempään ja tuulettimien huollon tarve on näin ollen vähäisempää. Asia ei ole kuitenkaan näin yksinkertainen; mikäli ilmastoinnin tehoa vähennetään väärästä paikasta väärään vuorokau-



denaikaan, näkyy se myös huonolaatuisena ilmastointina, joka on kohtuutonta maksavia asiakkaita kohtaan.

Hyvässä kunnossa oleva höyryjärjestelmä on edellytys sille, että höyrykattiloiden polttoaineenkulutus pysyy kurissa. Vanhassa laivassa saattaa höyryputkiston eristys olla paikka paikoin jo huonokuntoinen. Huonon eristyksen seurauksena lämpöhäviöitä tapahtuu jo putken pinnasta mikä lisää energiankulutusta. Luonnollisesti myös kaikki höyryvuodot ovat energiankulutusta lisääviä. Eri vuodenaikojen mukanaan tuomat lämpötilanvaihtelut pitää ottaa laivan lämmityksessä huomioon. Autokantta on turha lämmittää silloin, kun ulkolämpötila on jo muutenkin riittävästi plussan puolella. Tankkien lämpötilaa ei ole myöskään järkevä ylläpitää liian korkeana. Lämpötilojen tarkkailu vaatii hieman vaivannäköä käyttöhenkilökunnalta, mutta mikäli lämpöä ei tuhlata turhiin käyttökohteisiin, säästää se myös energiaa.

Ajon aikana pakokaasukattilat tuottavat höyryä kuumista pääkoneen savukaasuista. Pakokaasukattilat puhdistetaan höyryllä kerran viikossa. Likaantuneet tuubipaketit estävät lämpötilan johtumisen savukaasuista syöttöveeten ja pakokaasukattiloiden teho laskee. Savukaasujen lämpötilan arviointi ennen ja jälkeen pakokaasukattilan olisi hyvä tehdä aina silloin tällöin, että pystyttäisiin arvioimaan, olisiko puhdistus syytä tehdä useammin, jotta pakokaasukattiloiden teho säilyisi hyvänä.

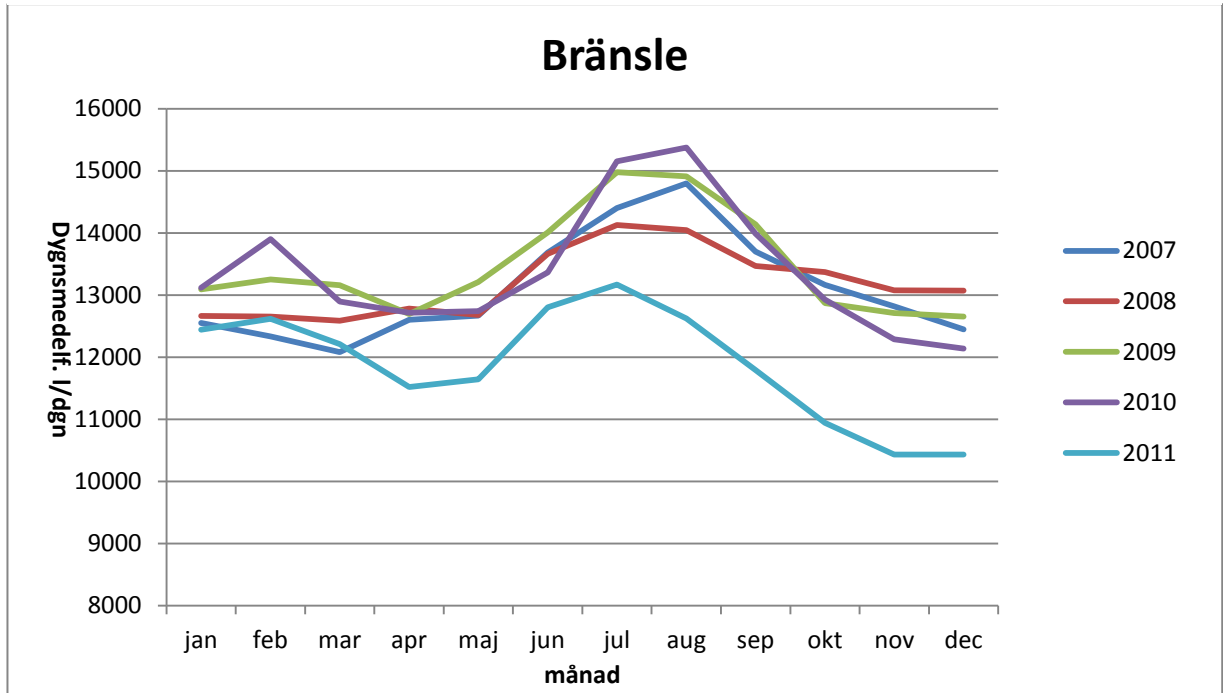
Päivittäisellä kunnossapidolla pystytään vaikuttamaan energiansäästöihin ainakin hiukan. Se vaatii työntekijältä aktiivisuutta puuttua pieniin epäkohtiin. Ajan mittaan on kuitenkin edullisempaa ja helpompaa, että laitteet pyritään pitämään hyvässä kunnossa.

## 7.1 Saavutetut säästöt

MS/Gabriellalla on seurattu energiankulutusta jo pidemmän aikaa. Päivittäin kirjataan muistiin muun muassa polttoaineenkulutus- sekä energiankulutuslukemat. Kirjatut arvot voidaan taulukoida ja havainnoida, onko kulutuksessa tapahtunut muutosta edelliseen. Viimeisin energiankulutusarviointi käsittää vuodet 2007–2011. Taulukoista näkyy selvästi, kuinka muutoksilla on mahdollista saada säästöjä aikaiseksi. Suurin syy vähentyneeseen energiankulutukseen on ilmastoinnin optimointi ja muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöiseksi. Myös pääkoneiden LT-pumput sekä voiteluöljypumput on muutettu taajuusmuuttajakäyttöisiksi alkukesällä 2011.

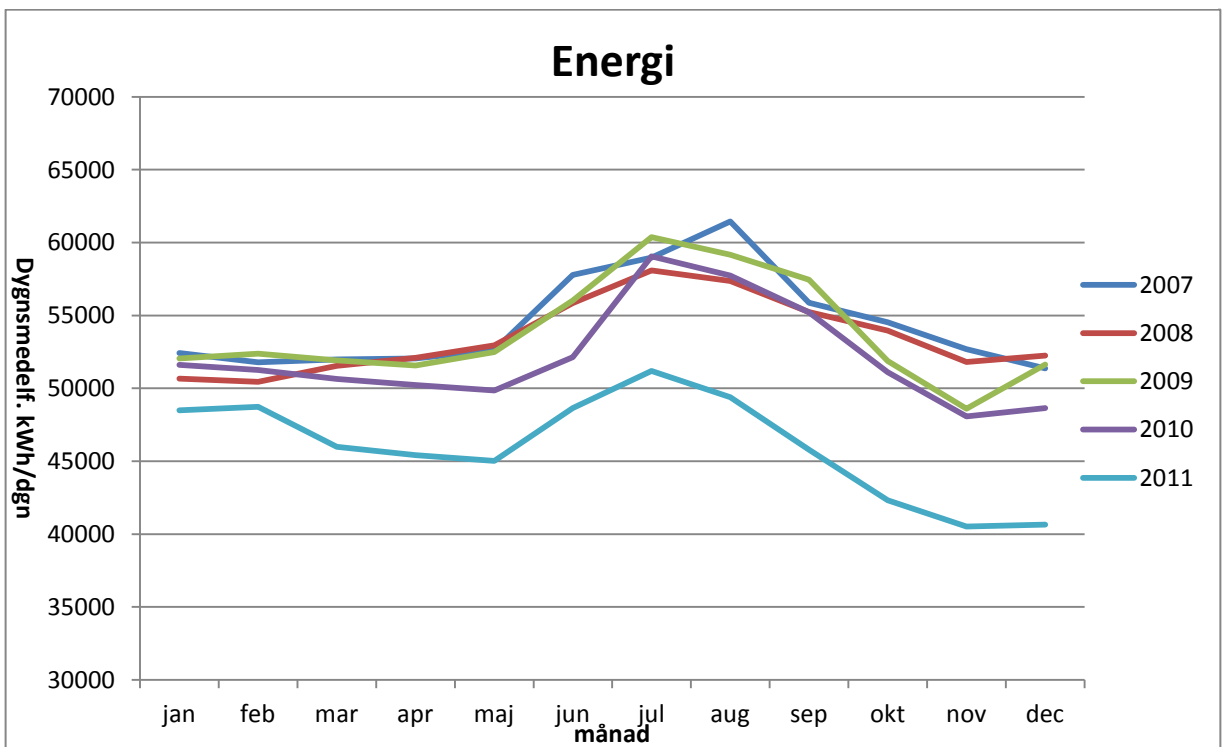
## 7.1.1 Apukoneiden keskimääräinen polttoaineenkulutus

Taulukko 11



## 7.1.2 Keskimääräinen energiankulutus

Taulukko 12



### 7.1.3 Taulukoiden tulkinta

Taulukoista 11 ja 12 näkyy selvästi, kuinka vuoden 2011 polttoaineen- ja energiankulutus on vähentynyt huomattavasti. Taulukko 11 kuvastaa polttoaineen keskimääräistä kulutusta vuorokautta kohden. Taulukosta 12 vastaavasti voidaan nähdä keskimääräinen energiankulutus. Kesäajalle sijoittuva energiapiikki selittyy ilmastointikompresso-  
reiden tehontarpeella. Taulukot ovat alkuperäisiä M/S Gabriellan seurantataulukoita kieliasua muuttamatta.

## 8 JÄÄHDYTYSVEDEN HYÖDYNTÄMINEN

### 8.1 Nykytilanne

Tämän opinnäytetyön tekemisen aikana MS/Gabriellalla on siirrytty maasähköön Tukholmassa. Helsingissä sähkö tuotetaan vielä apukoneiden avulla, mutta tulevaisuudessa myös Helsingissä saatetaan siirtyä maasähköön. Maasähkö on ympäristöystävällisempi vaihtoehto ja säästää myös koneistojen huoltokustannuksissa. Siinä tilanteessa kun satama-aikana sähkö tuotetaan maasähkön avulla, ei apukoneiden jäähdytysvettä luonnollisestikaan pystytä hyödyntämään. Aikaisemmin on jo mainittu, että ajon aikana lämpö pystytään saamaan talteen pääkoneiden kuumista savukaasuista, jolloin jäähdytysveden sitoutunutta lämpöä ei enää pystyittäisi hyödyntämään. Esimerkkinä tästä olkoon, että M/S Gabriellalla on mahdollista lämmittää ilmastoinnin reheating-piiriä pääkoneiden lämmenteellä jäähdytysvedellä. En tiedä, että tämä järjestelmä olisi ollut koskaan käytössä, vaan reheating-piirin vesi lämmitetään höyryllä. Etuna on nopea lämpötilan säätö ja käytännössä höyrylämmitys on osoittautunut myös varmatoimiseksi ja helppohoitoiseksi.

Olen ajatellut mahdollisuuksia hyödyntää jäähdytysvettä lähinnä teoriatasolla. Tosi-  
asia on, että maasähkökäytöllä ei jäähdytysveden energiaa voida hyödyntää. Myös laivan ikä, 20 vuotta pitää huomioida, mikäli uusia installaatioita suunniteltaisiin. Mikäli hyöty ei ole erittäin merkittävä, saattavat takaisinmaksuaika ja laivan suunniteltu käyttöikä olla ristiriidassa. Mittaustulokset osoittivat, että jäähdytysveden potentiaalinen

energiasäilytys on normaalisti satama-aikana noin 1,2 MW tunnissa. HT piiri hieman alle 300 kW per kone ja LT piiri vastaavasti hieman yli 300 kW.

## 8.2 Mahdolliset kohteet

Pohtiessani kohteita, joissa apukoneiden jäähdytysvettä voitaisiin hyödyntää, on tärkein määräävä tekijä ollut satama-ajan lämmön tarve, lämmityskohteet ja olisiko höyrylämmitys mahdollista korvata lämpimällä vedellä. Kuten aiemmin on jo mainittu, ajonaikana lämpöä saadaan pääkoneiden pakokaasukattiloilla. Höyry on tehokkuudeltaan useimmiten mahdoton korvata kuumalla vedellä. Tilanne, jossa jäähdytysvedellä esimerkiksi esilämmitettäisiin ja höyryllä saavutettaisiin lopullinen lämpötila, voisi olla oiva tapa säästää energiaa.

Ilmastoinnissa kiertää kaksi eri jäähdytysvesipiiriä. Preheating-piiri viilennetään kesäaikana ilmastointikompressoreiden avulla ja talvella lämmitetään höyryllä. Preheating veden lämpötila pyritään pitämään 10 °C – 12 °C tasolla. Reheating-piirin vesi on lämpimämpää, noin 60 °C – 80 °C vuodenaikasta riippuen. Apukoneiden jäähdytysveden avulla voitaisiin talvisaikaan lämmittää ilmastoinnin preheating-piiriä. Riippuen ulkoilman lämpötilasta voisi lämmitysteho riittää kokonaan, tai ainakin olla omalta osaltaan vähentämässä höyryn kulutusta. Teoriassa myös reheating-piirin lämpötilaa pystyttäisiin ylläpitämään jäähdytysveteen sitoutuneella energialla. Käytännössä kuitenkin lämpötilat ovat lähes sanansuuruiset, joten reheating-piirin lämmitys on edelleen järkevintä toteuttaa höyryn avulla.

Yksinkertaisimmillaan Preheating-piirin lämmittäminen apukoneisiin sitoutuneella lämmöllä olisi toteutettavissa hankkimalla lämmönvaihdin, tarvittavat venttiilit sekä putkistotyöt. Maasähkö sekä mahdollisuus hyödyntää energiaa vain talvisaikaan ovat syitä, miksi tarkempien jatkosuunnitelmien teko ei ole järkevää. Teoriassa tämä kuitenkin olisi toimiva tapa saavuttaa energiasäästöjä.

Tankkilämmitys toteutetaan höyryllä. Olen usein miettinyt, olisiko höyrylämmitystä mahdollista korvata jollain muulla tavoin. Höyrylämmitys on nopea ja tehokas tapana nostaa tankin lämpötilaa tarvittaessa. Olen kuitenkin huomannut, että höyry on usein jopa liiankin tehokas tapana lämmitykseen. Pieni unohdus ja tankin lämpötila on hetkessä turhankin korkea. Ajatus siitä, että jäähdytysvesiputkisto kiertäisi kaksoispohjan tankeissa ja ylläpitäisi lämpötilan jatkuvasti muutamassa kymmenessä plus-asteessa,

tuntui mielenkiintoiselta. Uudisrakennukseen tällainen ratkaisu voisi olla harkinnan arvoinen säästökohde, vanhaan laivaan rakennustyöt olisivat liian haastavat toteuttaa suhteessa saavutettuihin hyötyihin.

Uudisrakennuskohteissa kannattaisi pohtia mahdollisuutta rakentaa järjestelmä, jossa jäähdytysvedellä voisi olla mahdollista esilämmittää käyttövettä. M/S Gabriellan ko-koisessa aluksessa makeaa vettä kuluu 100–150 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Tästä vesimääräs-tä osa lämmitetään höyryllä. Vedenkulutus on suurinta risteilyn aikana, mutta mikäli makea vesi esimerkiksi lämmitettäisiin satama-aikana riittävän suuressa tankissa, voi-taisiin lämmintä vettä hyödyntää pitkän aikaa aluksen ollessa myös liikenteessä.

Uskon että tarkkaan suunnitelluilla ratkaisuilla pystyttäisiin hyödyntämään apukonei-den jäähdytysvettä huomattavasti nykyistä paremmin. Ratkaisuihin vaikuttaa olennai-sesti aluksen liikennöintireitti ja satama-ajat sekä se, voidaanko olettaa, että alus on kyseisellä linjalla riittävän pitkään, että investoinnit ja optimointi tietyille reitille ehtii maksaa itsensä takaisin. Polttoaineen hinta on todennäköisesti tulevaisuudessakin kor-kea, joten kaikki säästö kannattaa ottaa vastaan, mikäli vain mahdollista.

Esimerkki. MS Gabriellan lämmitystehon suuruus hukattuna mereen 20 vuoden aika-na aluksen ollessa satamassa. Oletuksena liikennöintireitti Helsinki - Tukholma- Hel-sinki, satama-aika 8 h. Kaksi apukonetta käynnissä.

$$1,2 \text{ MW} \times 8 \text{ h(tuntia)} \times 365(\text{vuorokautta}) \times 20(\text{vuotta})=70080 \text{ MWh}=70,08 \text{ GWh}$$

## 9 YHTEENVETO

Suunta on oikea, energiasäästöjä on jo saavutettu. Pienet lisäsäästöt ovat toki mahdol-lisia, mutta mitään suurta ja mullistavaa ei ole omasta mielestäni näköpiirissä. Varsin-kaan kun maasähkö estää idean jäähdytysvesien energian hyödyntämisestä, joka oli tämän työni perimmäinen idea. Keskittyminen hyvään huoltoon ja kunnossapitoon on avain, jotta energiankulutus jatkossakin saadaan pidettyä kurissa. Tämä työ oli kuiten-kin kaiken kaikkiaan mielenkiintoinen tehdä ja huomata konkreettisesti, että miten paljon laivoilla on energiaa, jota ei osata hyödyntää. Olen kuitenkin täysin varma siitä, että uudisrakennuksissa energian talteenottoon aletaan kiinnittää yhä enemmän huo-miota. Hyvällä suunnittelulla saadaan takaisinmaksuajat lyhyiksi, joten olisi suoras-

taan järjetöntä jättää hukkaenergia hyödyntämättä. Vanhemmassa kalustossa pitää saavutettava hyöty miettiä tapauskohtaisesti.

## LÄHTEET

Fluxus 7407 Flow Box. Ultraäänivirtausmittarin pikaohje

Viking Linen verkkosivut. Saatavissa: [www.vikingline.fi](http://www.vikingline.fi) [Viitattu 12.9.2012].