

Henri Iso-Mustajärvi

PÄÄKONEIDEN JÄÄHDYTYSVEDEN LÄMPÖENERGIAN
TALTEENOTTOMAHDOLLISUUDET
VIKING XPRS:LLÄ

Merenkulun koulutusohjelma

Insinööri

2011

PÄÄKONEIDEN JÄÄHDYTYSVEDEN LÄMPÖENERGIAN TALTEENOTTOMAHDOLLISUUDET VIKING XPRS:LLÄ

Iso-Mustajärvi, Henri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Merenkulun koulutusohjelma
Huhtikuu 2011
Valvoja: Ylikonemestari Bernt Henriksson
Ohjaaja: DI Pauli Rantala
Sivumäärä: 33
Liitteitä: 3

Asiasanat: dieselmoottori, jäähdytysvesi, lämpöenergia, lämmön talteenotto

Opinnäytetyön aiheen antoi suomalainen varustamo Viking Line Oy Ab. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pääkoneiden jäähdytysvesien mukana hukkaan menevän lämpöenergian määrä ja tutkia vaihtoehtoja lämmön talteen ottamiseksi XPRS-aluksella. Hukkaan menevän lämpöenergian selvittämisen jälkeen työssä tutkittiin kahta esimerkkitapausta lämmön talteen ottamiseksi. Opinnäytetyö rajattiin tutkimaan pelkästään pääkoneiden jäähdytysvesiä, eli esim. dieselgeneraattorit rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

Aluksi työssä käsitellään dieselmoottorien teoriaa ja tarkemmin aluksen pääkoneina toimivien Wärtsilä 46F –dieselmoottorin rakennetta. Opinnäytetyössä selvitetään myös 46F-mallin makeavesijäähdytysjärjestelmä ja siihen liittyvä aluksen merivesijärjestelmä. Mahdollisesti talteen saatavan lämmön potentiaali selvitettiin mittauksilla ja laskuilla. Ensimmäisenä talteenottotekniikkana opinnäytetyössä on esitelty Alfa Lavalin AQUA-makeaveden kehitin. Toisena tekniikkana kerrottiin alukselle mahdollisesti tulevaisuudessa asennettavan rikkipesurin alkalivarastotankin lämmitysmahdollisuudesta pääkoneiden jäähdytysveden lämmöllä.

Yhden pääkoneen HT/LT-veden keskusjäähdyttimessä luovuttamaksi tehoksi saatiin keskimäärin 1740 kW. Aluksen omatessa 4 pääkonetta saatiin hukkaan menevän lämpöenergian määräksi aluksen ollessa ajossa n. 7 MW. Aluksen liikennöinnin mukaan tämä tarkoittaa vuorokaudessa n. 56 MWh lämpöenergiaa talteen otettavaksi. Tämän lämmön talteen ottamiseksi esiteltyjä tekniikoita tarkasteltiin lähinnä teoreettisesti. Tuloksena huomattiin, että näiden tekniikoiden järkevyyttä ja kannattavuutta tulee tutkia lisää vaikkapa tulevissa opinnäytetöissä.

MAIN ENGINE COOLING WATER HEAT RECOVERY PROSPECTS ON M/S VIKING XPRS

Iso- Mustajärvi, Henri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine engineering

April 2011

Supervisor: Chief engineer Bernt Henriksson

Instructor: MSC engineer Pauli Rantala

Number of pages: 33

Appendices: 3

Keywords: Diesel engine, Cooling water, Heat energy, Heat recovery

The purpose of this thesis was to discover the heat potential lost to the sea from the main engine cooling water and to explore different prospects for cooling water heat recovery on m/s XPRS. The subject to this thesis was given by Finnish company Viking Line Abp. After discovering the lost heat energy potential, two sample techniques were studied for heat recovery purposes. The study was limited to concern only the main engines, discarding e.g. auxiliary engines.

The first part of this thesis is about diesel engine theory and more specifically about the structure of the Wärtsilä 46F diesel engine. The fresh water and sea water cooling systems are also explained in this study. The heat potential of the fresh water cycle was determined by measurements and calculations. The first technique introduced for heat recovery in this thesis is the Alfa Laval fresh water generator. Another prospect to recover the lost heat explored in this thesis was the warming of the alkaline storage tank of the sulfur scrubber which may be installed to the ship in the near future.

It was calculated that the fresh cooling water of one main engine extralites 1740 kW heat energy in the central cooler. Keeping in mind that the vessel has 4 similar main engines the overall power output lost to the sea in the central coolers is around 7MW when engine loads are approximately 80% MCR. Due to the operation of the vessel this means that there is 56MWh of heat energy to be recovered daily.

Heat recovery techniques were studied mainly theoretically. As a result it was discovered that further studies about the rationality and profitability of these techniques should be made.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Viking Line Oy Ab.....	6
1.2	Viking XPRS.....	6
1.3	Opinnäytetyön tarkoitus.....	7
1.4	Tutkimusmenetelmästä.....	7
2	ALUKSEN PÄÄDIESELMOOTTORIT.....	8
2.1	Yleistä dieselmoottoreista.....	8
2.1.2	Keskinopeat dieselmoottorit.....	11
2.2.1	Wärtsilä8L46F.....	12
2.2.2	Moottorin lohko.....	13
2.2.3	Kampiakseli.....	13
2.2.4	Kiertokanki.....	13
2.2.5	Mäntä.....	13
2.2.6	Nokka-akseli.....	14
2.2.7	Sylinterikansi.....	15
3	JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄT.....	15
3.1	Makeavesijäähdytysjärjestelmä.....	15
3.1.1	HT- piiri.....	16
3.1.2	LT- piiri.....	16
3.1.3	HT- ja LT-termostaattiventtiilit.....	17
3.1.4	Ilmaus, paineen hallinta ja esilämmitys.....	17
3.1.5	HT- ja LT-Jäähdytysvesipumput.....	17
3.2	Merivesijärjestelmä.....	19
3.2.1	Merivesikaivot.....	19
3.2.2	Merivesipumput.....	20
3.2.3	Pääkoneiden keskusjäähdyttimet.....	20
3.2.4	Termostaattiventtiilit.....	21
4	JÄÄHDYTYSVEDEN LÄMPÖENERGIA POTENTIAALI.....	21
4.1	Teoriaa lämpöenergiasta.....	21
4.1.1	Lämmön siirtyminen.....	22
4.1.2	Säteily.....	22
4.1.3	Johtuminen.....	22
4.1.4	Konvektio.....	23

4.2 Mittaukset ja laskut.....	23
4.2.1 Lämpötilat.....	23
4.2.2 Jäähdytysvesien virtaukset.....	24
4.2.3 Laskut.....	25
4.2.4 Tulokset.....	25
5. TALTEENOTTOMAHDOLLISUUDET.....	26
5.1 Yleisesti.....	26
5.2.1 Evaporaattori.....	26
5.2.2 AQUA- makeaveden kehitin.....	27
5.2.3 AQUA:n toimintaperiaate.....	28
5.2.4 Operointi ja kapasiteetti.....	29
5.3 Rikkipesurin alkalitankin lämmitys.....	30
5.3.1 Rikkipäästörajat.....	30
5.3.2 Wärtsilän makeavesipesuri.....	30
5.3.3 Alkalin varastotankin lämmitys.....	31
6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	32
LÄHTEET.....	33
LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Viking Line Oy Ab

Viking Linen historian voidaan katsoa alkaneen vuonna 1959, jolloin ahvenanmaalaisen merikapteeni Gunnar Eklundin perustaman Vikinglinjen Ab:n ensimmäinen autolautta S/S Viking aloitti liikennöinnin. Myöhemmin kolme varustamoaa Vikinglinjen Ab, Rederi Ab Slite ja Ålandsfärjan Ab yhdistivät voimansa ja perustivat yhteisen varustamon, Viking Line Oy Ab:n vuonna 1966. Siitä vuodesta lähtien ovat kaikki Viking Linen alukset seilanneet tunnetuissa punaisissa väreissään.

Tänä päivänä varustamolla on käytössään 7 alusta, jotka liikennöivät välillä Suomi-Viro-Ahvenanmaa-Ruotsi. Viking Linen liikeideana on tarjota laajassa mittakaavassa edullisia ja turvallisia matkustus- ja rahtipalveluja, korkeatasoista viihdettä, hyvää ruokaa ja houkuttelevia ostoelämyksiä. (Sjöström 2009,32)

Ympäristöasiat korostuvat päivä päivältä myös matkustamisessa. Kestävä kehitys ja ympäristövastuu ovatkin olleet jo pitkään olennainen osa Viking Linen toimintaa. Vuonna 2009 varustamolle myönnettiin Suomenlaatu palkinto ja ympäristösertifikaatin yhtiö sai jo vuonna 2002. (Viking Linen www-sivut 2011.)

1.2 Viking XPRS

Kysynnän kasvu ja Viron liittyminen EU:n jäseneksi vuonna 2004 antoi tarpeen yhtiölle alkaa suunnitella suuremman ja nopeamman aluksen tuomista Helsinki-Tallinna-linjalle. Lokakuussa 2003 silloinen toimitusjohtaja Nils-Erik Eklund esitteli perusteellisesti suunnitellun uudisrakennusprojektin hallitukselle ja sai luvan edetä. Projekti sai työnimekseen XPRS, ja lopulta Viking Line teki silloisen Aker Yardsin kanssa sopimuksen laivan rakentamiseksi. Alus luovutettiin Aker Yardsin Helsingin telakalta 21. huhtikuuta 2008 ja sen nimeksi jäi Viking XPRS.

XPRS-aluksen tärkeimmät ominaisuudet ja valttikortit ovat sen koko ja nopeus, jotka ovat pikalauttojen ja perinteisten auto- lauttojen väliltä. Alus ottaa 2500 matkustajaa ja sen yhdensuuntainen matka suomenlahden yli kestää vain 2,5 tuntia. Viking XPRS rakennettiin korkeimpaan jääluokkaan 1A Super, joka on mahdollistanut sen katkeamattoman liikennöinnin kovien talvienkin keskellä. (Sjöström 2009, 200)

1.3 Opinnäytetyön tarkoitus

Opinnäytetyön aiheen antoi Vikin Line ja tarkoituksena oli tutkia pääkoneiden jäähdytysvesien lämpöenergian talteenottoa hyötykäyttöön. Aihe on mielenkiintoinen ja erittäin ajankohtainen tämän päivän poliittisessa ja henkisessä ilmapiirissä, jossa energiatehokkuus ja ympäristöarvot nousevat yhä tärkeämpään arvoon. Huomattava osa pääkoneiden polttoaineen energiasisällöstä kuluu hukkaan koneiden jäähdytysvesien mukana.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan tarkemmin aluksen pääkoneina toimivien dieselmotoreiden rakenteesta ja tärkeimmistä työhön liittyvistä järjestelmistä, kuten jäähdytysjärjestelmistä. Työssä on esitelty kaksi eri tekniikkaa, joiden käyttöön ottamisella kulutetun polttoaineen energiasisältö saataisiin paremmalla hyötysuhteella käytetyksi. Tätä ennen kuitenkin selvitettiin mittausten ja laskelmien avulla, kuinka paljon lämpöenergiaa talteen otettavaksi todellisuudessa on.

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan pelkkiä pääkoneita, joten esim. apukoneita ei tässä työssä ole tutkittu.

1.4 Tutkimusmenetelmästä

Tässä opinnäytetyössä on käytetty sekä teoreettista tutkimusta että empiiristä tutkimusta. Teoreettisessa tutkimuksessa ei havainnoida tutkimuskohteita välittömästi, vaan kohteesta pyritään hahmottamaan käsitteellisiä malleja, selityksiä ja rakenteita aiemman tutkimuskirjallisuuden pohjalta. Empiirisessä tutkimuksessa tutkimustulokset saadaan tekemällä konkreettisia havaintoja tutkimuskohteesta ja analysoimalla ja mittaamalla sitä. Empiirisessä tutkimuksessa konkreettinen ja koottu tutkimusaineisto on tutkimuksen keskiössä ja toimii tutkimuksen tekemisen lähtökohta. Karkeasti sanottuna opinnäytetyö voidaan jakaa kahteen osaan; alun teoriaosaan ja lopun empiiriseen osaan. (Jyväskylän yliopiston www-sivut 2011.)

2 ALUKSEN PÄÄDIESELMOOTTORIT

2.1 Yleistä dieselmootoreista

Dieselmoottori on puristussytytteinen polttomoottori, jonka keksi saksalainen Rudolf Diesel. Diesel valmisti ensimmäisen toimivan dieselmoottorin vuonna 1897 ja sai sille patentin vuotta myöhemmin. Dieselmoottorissa sylinteriin tuotu palamisilma puristetaan männän avulla noin 1/16:aan alkuperäisestä tilavuudestaan. Puristuksen aikana ilman lämpötila kasvaa erittäin korkeaksi. Polttoaine syttyy tällöin itsestään, kun se ruiskutetaan kuumen ilman sekaan. Dieselmoottorit ovat siis lämpövoimakoneita, jotka toiminnaltaan ovat mäntämootoreita.

Dieselmootoreista puhuttaessa ei tarkoiteta vain yhtä tietynlaista tyyppiä tai konstruktiota, vaan malleja ja rakenteita on lukematon määrä tehoalueiden vaihdellessa muutamista kilowateista aina kymmeneen megawatteihin. Näin ollen dieselmoottorit voidaan jakaa niiden toimintaan tai rakenteeseen liittyvien perusteiden mukaan mm. seuraaviin pääryhmiin: työskentelytapa, käyntinopeus, täystötapa ja rakenne-muoto.

Työskentelytavan perusteella riippuen yhden työkierron täydellisen suorittamisen vaatimien tahtien lukumäärästä, ovat dieselmoottorit joko neli- tai kaksitahtimootoreita.

Nelitahtisessa dieselmoottorissa tapahtuu yksi työkierto neljän tahdin eli kahden kampiakselikierron aikana. Ensimmäisen tahdin aikana täytetään sylinteri ilmalla, joka sitten toisen tahdin aikana puristetaan kokoon. Kolmannen tahdin aikana tapahtuu sylinteriin ruiskutetun polttonesteen palaminen ja palamiskaasujen paisunta, jolloin ne paisuessaan tekevät työtä liikuttamalla mäntää alaspäin. Neljännen tahdin aikana poistetaan palamiskaasut sylinteristä. Työtä suorittava isku tapahtuu siis kerran joka toisella kampiakselin kierroksella.

Kaksitahtimoottorissa tapahtuu yksi työkierto kahden iskun aikana, eli jokaisella kampiakselin kierroksella. Ensimmäisen tahdin aikana täytetään sylinteri ilmalla, joka puristetaan. Toisen tahdin aikana tapahtuu tuodun polttoaineen palaminen, kaasujen paisunta, sekä palamiskaasujen poisto. Työtä suorittava isku toistuu sylinterissä jokaisella kampiakselin kierroksella.

Käyntinopeuden perusteella jaetaan dieselmoottorit kolmeen ryhmään: hidaskäyntisiin, keskinopeakäyntisiin ja nopeakäyntisiin dieselmoottoreihin. Hidaskäyntisten dieselmoottoreiden pyörimisnopeudet ovat 85-300 r/min luokkaa ja tehoalue 7-80 MW. Moottorit ovat kaksitahtiperiaatteella toimivia suurmoottoreita, joiden tyypillinen käyttökohde on isojen laivojen päämoottorit.

Keskinopeiden dieselmoottoreiden pyörimisnopeudet ovat 300-1200 r/min. Näiden moottoreiden tehoalue on laaja, eli noin 0,4- 20MW. Keskinopeat dieselmoottorit ovat usein nelitahtisia ja korkealla ahtausasteella toimivia.

Pyörimisnopeuden ylittäessä 1200 r/min kutsutaan dieselmoottoria nopeakäyntiseksi. Tehoalue on tällöin alle 500 kW. Näiden moottoreiden käyttöalueita ovat erilaiset ajoneuvo- ja työkonesovellukset.

Dieselmoottorit ovat joko ”vapaasti hengittäviä” eli imulla toimivia tai ahdettuja.

Luonnollisella imulla toimivassa moottorissa ilman virtaus sylinteriin tapahtuu imu-tahdin aikana männän alaspäin tapahtuvan liikkeen synnyttämän alipaineen eli imun vaikutuksesta.

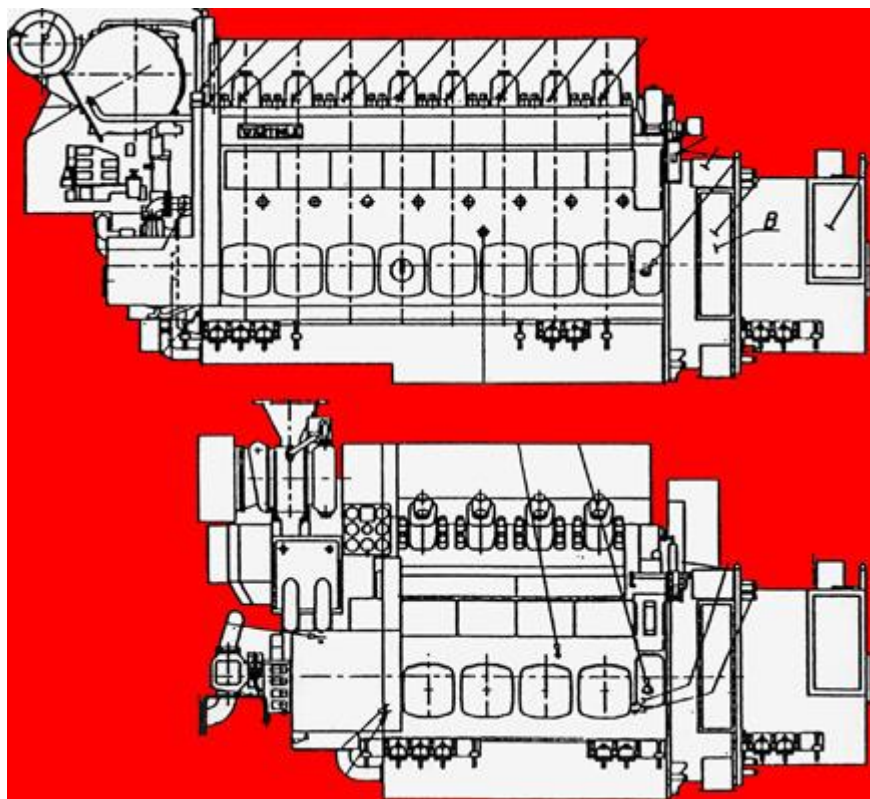
Ahdetussa moottorissa sylintereihin syötetään ilmapumpun eli ahtimen avulla esipuristettua ilmaa. Tämä sylintereihin johdettu suurempi ilmamäärä mahdollistaa suuremman polttoainemäärän ruiskuttamisen ja paremman palamisen.

Rakennemuoto on osaltaan yksi tapa jaotella dieselmoottoreita. Rakennemuodoltaan dieselmoottori voi olla yksi- tai monisynterinen. Vain suhteellisen pienitehoiset moottorit ovat yksisynterisiä, koska iskumäntämoottorin jaksottaisesta työtavasta johtuen niiden käynnin epätasaisuusaste on suuri. Monisynterisillä moottoreilla saadaan käynti tasaisemmaksi, kun sylintereissä tapahtuva työ jakautuu tasaisemmin kampiakselin pyörähdykselle.

Rakennemuodoltaan dieselmoottori voi myös olla pysty- tai makaava moottori, rivim-, V- tai vastaiskumoottori.

Pystymoottoreissa sylinterit ovat pysty- tai lähes pystyasennossa, kun taas makaavissa moottoreissa ne moottorin rakennekorkeuden pienentämiseksi on sijoitettu vaakatasoon. Rivimoottorissa sylinterit sijaitsevat rivissä peräkkäin, sylinteriluvun vaihdellessa 2:n ja 12:n välillä.

V- moottoreissa sylinterit sijaitsevat kahdessa rivissä jotka muodostavat kulman keskenään. Sylinterien kulma vaihtelee välillä 45- 120°. Koska V- moottoreissa yhteen kampiakselin kampeen liittyy kahden sylinterin kiertokanget, saadaan moottori lyhyemmäksi kuin yhtä monisylinterinen rivimoottori, kuten kuvasta 1 esitetään. (Kleimola & Pohjanpalo 1986, 11-14; Häkkinen 1997, 51.)



Kuva 1. Wärtsilän alun perin veturiin tarjoaman rivimoottorin ja siihen erikseen suunnitellun V-moottorin suuri kokoero näkyy tästä.

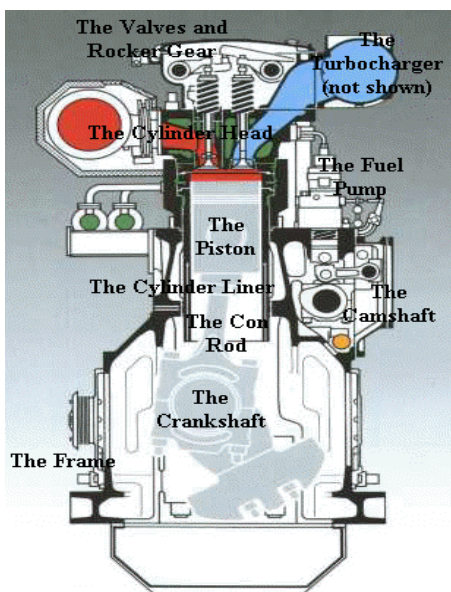
2.1.2 Keskinopeat dieselmoottorit

Koska tässä opinnäytetyössä tarkasteltu Wärtsilä8L46F kuuluu keskinopeiden dieselmoottoreiden ryhmään, on tässä osiossa kerrottu niistä hieman tarkemmin.

Keskinopeiksi kutsutaan dieselmoottoreita, joiden nimellispyörimisnopeus on välillä 350 - 1000 rpm. Nämä moottorit ovat miltei aina nelitahtisia ja ne on varustettu turboahtimella, V- moottoreissa kahdella ahtimella. Keskinopeat dieselmoottorit voivat polttoaineenaan käyttää joko raskasta- tai kevyttä dieselpolttoainetta. Sylinteritehot näillä koneilla vaihtelee luokassa 150 – 1300 kW/ sylinteri. Käyttökohteina ovat mm. laivojen pää- ja apukoneistot, sekä maapuolen sähkövoimalat.

Keskinopeiden moottoreiden käyttö on yleistä silloin, kuin laiva tarvitsee enemmän kuin yhden päämoottorin. Esimerkiksi risteily- ja autolautoissa on 2-6 keskinopean moottorin käyttö yleisin ratkaisu.

Keskinopeiden dieseleiden rakenteelle on tyypillistä yhtenä osana valettu sylinterilohko sekä yhtenä osana taottu kampiakseli. Sylinteriholkki kiinnittyy suoraan rungon yläpintaan. Keskinopean moottorin sylinterikansi on teknisesti vaativa komponentti. Siltä vaaditaan osittain ristikkäisiä ominaisuuksia, kuten rakenteellinen jäykkyys, avarat ahtoilma- ja pakokaasukanavat, tila polttoaine-, käynnistysilma- ja varoventtiileille sekä indikointihanalalle (Häkkinen 1997, 71).

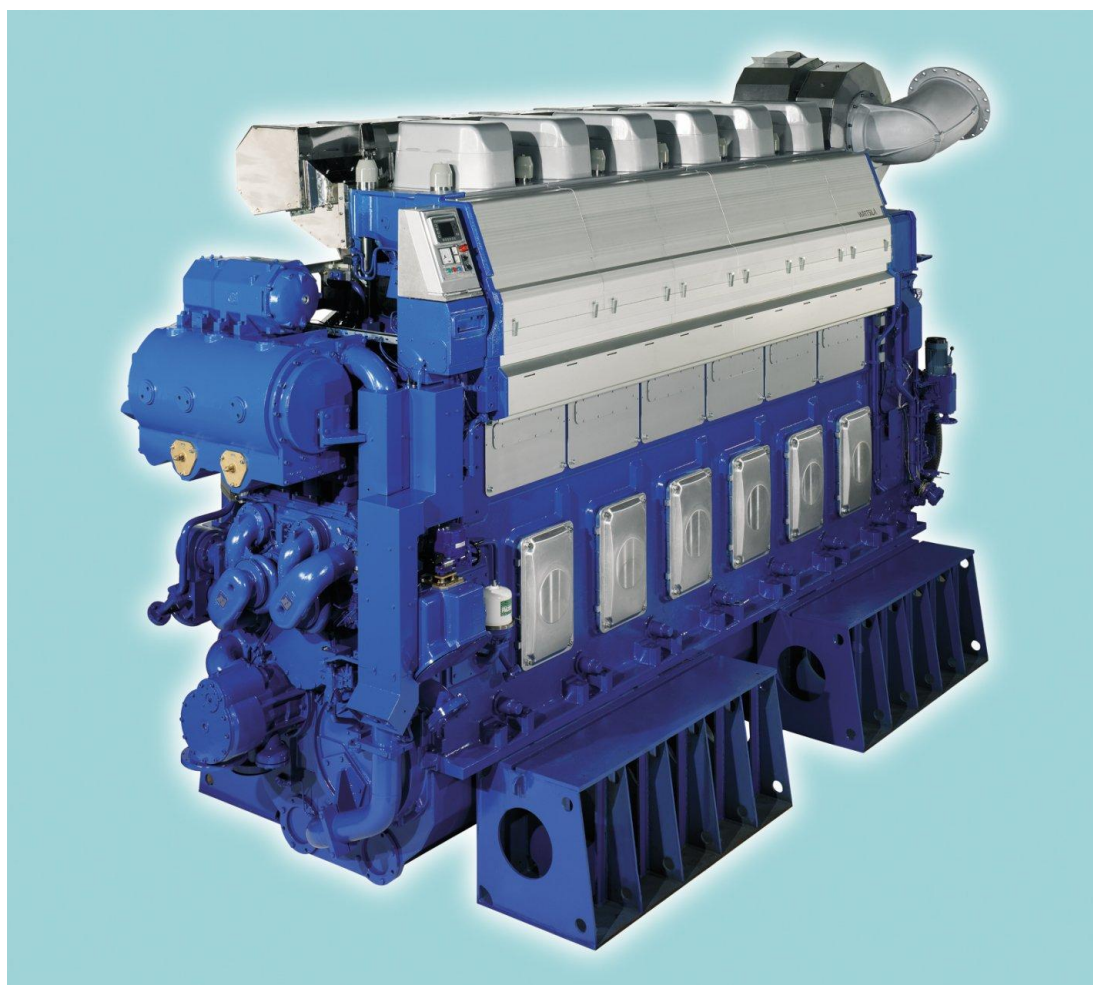


Kuva 2. leikkauskuva keskinopeasta 4-tahtisesta dieselmoottorista. (marinediesels www-sivut 2011)

2.2.1 Wärtsilä 8L46F

Opinnäytetyön kohteena olleen matkustaja-autolautta Viking XPRS:sän pääkoneina toimivat Wärtsilän valmistamat ja toimittamat Wärtsilä 8L46F mallin dieselmoottorit. Näitä moottoreita aluksessa on yhteensä 4 kappaletta, 2 kummallekin potkuriakselille. Mallimerkinnässä 8L46F numero 8 tarkoittaa moottorin sylinterien lukumäärää, kirjain L (in line) rivimoottoria ja 46 sylinterin halkaisijaa senttimetreissä.

Kyseinen kone on turboahdettu, ahtoilman jäähdyttimellä varustettu, 4-tahtinen, keskinopeakäyntinen dieselmoottori. Moottori on suunniteltu raskasöljykäyttöön. Kuvassa 1 moottori on kuvattuna vapaastapäästään.



Kuva 3. Wärtsilä46F kuusisylinterisenä versiona.

2.2.2 Moottorin lohko

Moottorin lohko on valmistettu pallografiittivaluraudasta ja se on valettu yhtenä kappaleena. Lohkolla on jäykkä ja kestävä rakenne, joka mahdollistaa joustavan asennuksen ilman välillisiä perustuksia.

Kampiakselin alapuolella makaavat runkolaakerien pukit ovat myös valmistettu pallografiittivaluraudasta. Ne on kiinnitetty hydraulisesti kiristetyillä ruuveilla, kahdella ruuvilla alapuolelta ja kahdella ruuvilla horisontaalisesti. Kaikki raamilaakerit on varustettu lämpötila-antureilla. Raami- ja runkolaakereilla tarkoitetaan samaa asiaa.

Kampikammion luukut on tiivistetty kumitiivisteillä lohkon kylkeen. Osassa näistä luukuista on turvaventtiilimekanismi, joka kampikammioräjähdyksen sattuessa vapauttaa ylipaineen kampikammioista.

2.2.3 Kampiakseli

Kampiakseli on taottu yhdestä kappaleesta ja varustettu vastapainoilla, jotka ovat kiinnitetty hydraulisesti kiristetyillä ruuveilla. Koneen jakopäässä kampiakseli on varustettu V-renkaalla tiivistämään kampikammio, yhdistetyllä vauhtipyörä/painelaakerilla, sekä nokka-akselin hammaspyörällä. Kampiakselia pystytään pyörittämään myös paaksilla, joka pyörittää vauhtipyörää.

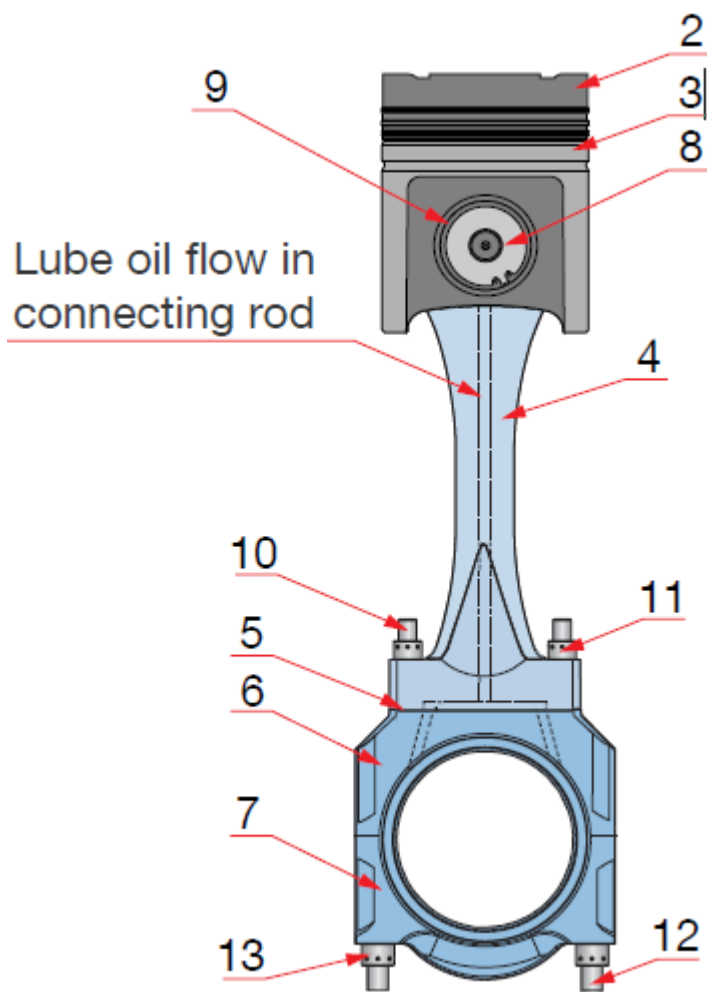
2.2.4 Kiertokanki

Kiertokanget on valmistettu kolmesta osasta, mikä mahdollistaa männän ulos vetämisen ilman, että alapään laakereita tarvitsee avata. Kehitystyön ja tutkimuksen ansiosta on kiertokangista saatu kehitettyä sellaisia, että ne välittävät palamisessa syntyvät voimat maksimaaliselle alueelle alapään laakereissa. Kaikki kiertokangen pultit ovat hydraulisesti kiristettyjä. Kiertokangen sisällä kulkee öljykanava, jonka kautta männäntapin laakeri ja mäntä saavat voitelunsa.

2.2.5 Mäntä

Moottorin männät koostuvat kahdesta osasta, pallografiittivalurautaisesta helmasta ja teräksestä valmistetusta männän ”topista”, eli kruunusta. Kruunun ja helman välissä on tila, johon voiteluöljy pääsee jäähdyttämään männän kruunuosaa. Voiteluöljy

kulkeutuu raamilaakereista kampiakselin porauksien kautta kiertokangen alapään laakeriin, josta se edelleen jatkaa matkaa kiertokangen, männäntapin- ja helman kautta tähän nimenomaiseen jäähdytystilaan. Jäähdytystilasta osa öljystä laskeutuu takaisin öljysumppiin ja osa johdetaan helman rei'istä voitelemaan sylinteriputkea.



Kuva 4. Kiertokanki ja mäntä (Wärtsilä 8L46F Engine manual,169)

2.2.6 Nokka-akseli

Nokka-akseli on rakennettu erillisistä taotuista osista. Näitä nokka-akselin paloja on jokaiselle sylinterille oma, eli tässä tapauksessa 8 kappaletta. Nokka-akseli osastot on yhdistetty erillisillä laakerikäytävillä. Näin on mahdollista irrottaa yksittäinen nokka-akselin osa sivuttaissuunnassa. Laakeripesät on integroitu moottorin lohkoon.

2.2.7 Sylinterikansi

Moottorin jokainen sylinteri on varustettu kannella, jonka varusteisiin kuuluu kaksi imu- ja kaksi pakovoventtiiliä kääntäjäineen, polttoaineventtiili, startti-ilmaventtiili, turvaventtiili sekä indikointihana.

Sylinterikannet ovat valmistettu erikoislaatuista harmaasta valuraudasta, ja ne ovat vesijäähdytettyjä. Jäähdytysvesi virtaa sylinterikanteen moottorin lohkokosta sylinteriputken porausten kautta. Vesi poistuu kannesta ulosmenokanavan kautta yhdysputkeen, joka on sylinterikannen päällä. Sylinterikannen kiinnitys on toteutettu vain neljällä hydraulisesti kiinnitetyllä mutterilla, joka helpottaa esim. kannen vaihdossa. (Wärtsilä 8L46F Engine manual, Project guide Wärtsilä 46F.)

3 JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄT

3.1 Makeavesijäähdytysjärjestelmä

Niin kuin edellisessä luvussa tuli ilmi, ovat aluksen 46F-dieselmoottorit vesijäähdytettyjä. Noin neljännes polttoaineen sisältämästä energiasta kuluu jäähdytysväiviöihin. Moottorin sisäinen jäähdytysvesipiiri on suljettu järjestelmä, jossa sisällä kulkee makeavesi. Tämä järjestelmä on jaettu kahteen osaan, HT-eli korkealämpötilapiiriin ja LT-matalalämpötilapiiriin. Jäähdytysvesi jäähdytetään keskusjäähdyttimessä, jossa toisella puolella virtaa merivesi. Näin makea- ja merivesipuoli liittyvät toisiinsa muodostaen yhdessä moottoreita jäähdyttävän kokonaisuuden.

Moottorin sisällä kulkevalle vedelle on tarkoin määrätty ominaisuudet, joilla taataan moottorin kunnossa pysyminen. Sisäpiirin vesi tulee olla makeaa vettä johon on lisätty korroosiota estävää lisäainetta. Makeavesijäähdytyspiirissä kulkevan veden tulee täyttää seuraavat vaatimukset: PH- arvon tulee olla vähintään 6,5, veden kovuus tulee olla korkeintaan 10° dH, klorideja ja sulfaatteja tulee olla korkeintaan 80 ja 150 mg/l. (Wärtsilä 8L46F Engine manual.)

3.1.1 HT- piiri

HT-piirin jäähdytettäviin kohteisiin kuuluvat sylinterit, sylinterikannet ja ahtoilmajäähdyttimen ensimmäinen puoli. Jäähdytysveden virtauksen saa aikaan moottorin vapaassa päässä sijaitseva konevetoinen HT-vesipumppu. Pumpulta vesi virtaa jakelukanavaan, joka on tehty putkista ja vesirenkaista sylinteriputkien sisäänottoreikien välille. Sylinteriputkien alapäässä sijaitsevasta vesirenkaista vesi jatkaa kulkuaan ylös sylinterikansiin sylinteriputkien porauksien läpi jäähdyttäen näin samalla sylinteriä. Sylinterikannesta vesi poistuu ulosmenokanavan kautta yhdysputkeen ja sieltä ahtoilmajäähdyttäjään. Ahtoilmajäähdyttäjältä HT-vesi virtaa termostaattiventtiiliin kautta osaksi keskusjäähdytimeen ja osaksi takaisin kiertoon.

3.1.2 LT- piiri

LT- piirin tehtävänä on jäähdyttää ahtoilmaa ja voiteluöljyä. LT-vesi virtaa ensin ahtoilmajäähdyttimen jälkimmäisen osan läpi. Sieltä se jatkaa kulkuaan erillisen voiteluöljyjäähdyttimen läpi termostaattiventtiilille, kuten HT-puoellakin. Juuri näiden kahden piirin hukkaan menevän lämpöenergian talteenottoa oli tässä työssä tarkoitus tutkia.

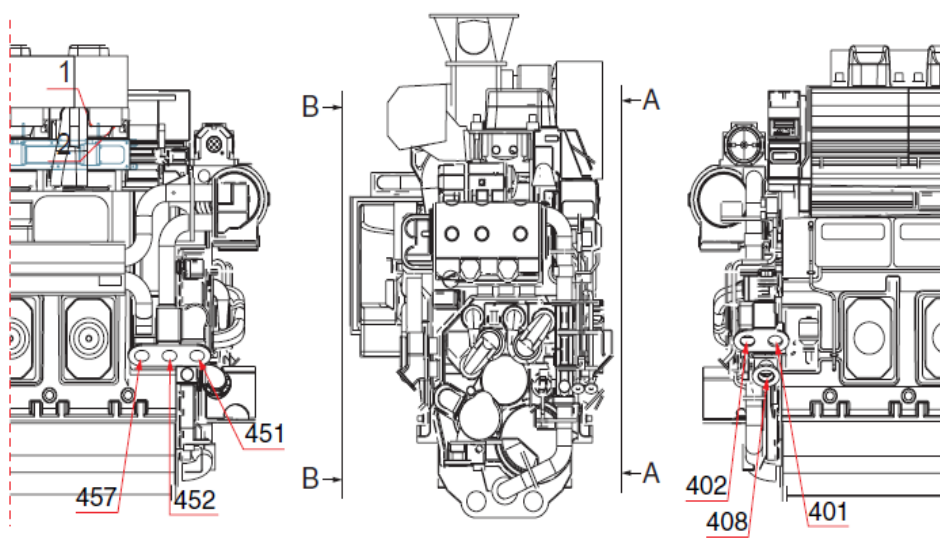


Fig 19-3

441902

(401) HT-water inlet, (402) HT-water outlet, (408) HT-water from stand-by pump, (451) LT-water inlet, (452) LT-water outlet, (457) LT-water from stand-by pump, 1. Connection piece, 2. Collecting pipe

Kuva 5. Jäähdytysvesikytkennät koneen vapaassa päässä (Wärtsilä 8L46F Engine manual).

3.1.3 HT- ja LT-termostaattiventtiilit

Koneen ollessa kylmänä termostaattiventtiili päästää kaiken veden virtaamaan takaisin moottoriin, näin moottori lämpenee nopeimmin. Koneen lämmitessä termostaattiventtiili päästää tietyn osan vedestä keskusjäähdyttimelle pitäen näin yllä vaadittua veden ulostulo lämpötilaa.

3.1.4 Ilmaus, paineen hallinta ja esilämmitys

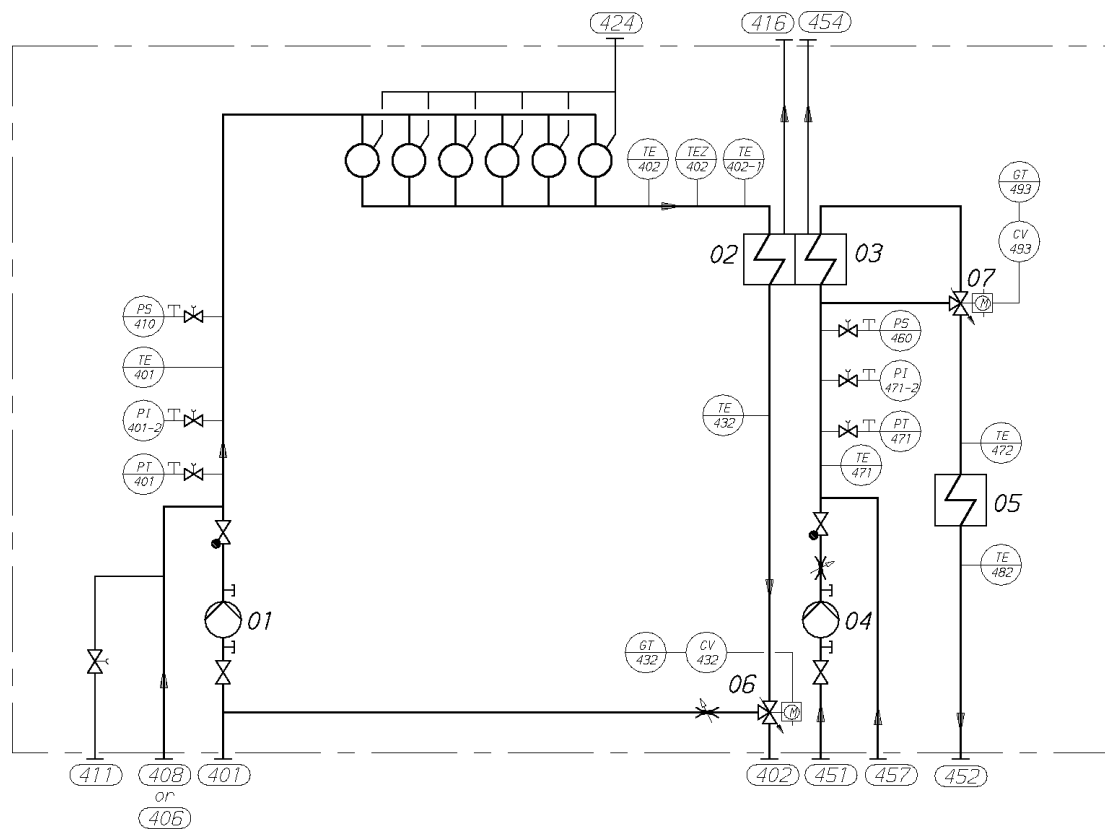
Sylintereistä lähtevät ilmausputket ovat kytketty paisuntasäiliöihin. Näitä paisuntatankkeja on kaksi kappaletta, ahterinpuoleinen 1 ja 2 pääkoneille ja keulimmainen 3 ja 4 pääkoneille. Paisuntasäiliöistä lähtevät putket HT- ja LT-pumppujen sisäänotto-putkille. Näiden tankkien nimelliskapasiteetti on n. $1 m^3$ ja ne ovat sijoitettu kors-teenikuiluun moottoreiden yläpuolelle antamaan pumppujen imupuolelle vaaditun 0,7 – 1,5 barin hydrostaattisen paineen. Apukoneille sekä –laitteille löytyy omat paisuntasäiliönsä.

Jottei moottorien lämpötila pääsisi laskemaan liian alhaiseksi moottorien ollessa pysähdyksissä, on HT- piiriin kytketty esilämmitin. Esilämmitin lämmitteää koneeseen menevää HT-vettä aluksen höyrykattiloista tulevalla höyryllä. Esilämmittimeen kuuluu pumppu joka kierrättää lämmitettyä vettä, sekä takaiskuventtiilit. HT-veden lämpötilan tulee aina ennen käynnistämistä olla vähintään $70^{\circ}C$. (Aluksen piirustukset ja Wärtsilä 8L46F Engine manual.)

3.1.5 HT ja LT Jäähdytysvesipumput

Jäähdytysvesipumput on sijoitettu koneen vapaaseen päähän, kuten kuvassa 5 nähdään. Pumput ovat konevetoisia keskipakopumppuja. Niiden akselit on valmistettu haponkestävästä teräksestä ja muut pääkomponentit valuraudasta. Akselissa on tiiviste, joka estää öljyn valumasta ulos. Akselitiivisteen lisäksi on myös o- rengas tiivistämässä vesipuolta.

Kummankin pumpun nimellistuotto on $150 m^3/h$. Lisäksi järjestelmään kuuluu yksi yhteinen vesipumppu, joka syöttää makeaa vettä jäähdytysvesitankista. Kuvassa 6 on esitetty sisäisenjäähdytysjärjestelmän komponentit. (Wärtsilä 8L46F Engine manual, Project guide Wärtsilä 8L46F.)



Kuva 6. Sisäisenjäähdytysjärjestelmän kaavio (Project guide Wärtsilä 8L46F)

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 01 HT- vesipumppu | 05 Voiteluöljyjäähdytin |
| 02 Ahtoilmanjäähdyttävä (HT) | 06 HT- termostaattiventtiili |
| 03 Ahtoilmanjäähdyttävä (LT) | 07 CAC- termostaattiventtiili |
| 04 LT- vesipumppu | |

3.2 Merivesijärjestelmä

Merivesijärjestelmän tarkastelu tässä työssä rajattiin koskemaan pelkästään sitä osaa, mikä liittyy pääkoneiden jäähdytykseen. Dieselmoottoareiden polttaman raskaan polttoöljyn hukkaan menevä lämpöenergia siirretään mereen tämän järjestelmän avulla. Pohjakaivoista otettava merivesi pumpataan merivesipumpuilla keskusjäähdyttäjiin. Jäähdyttäjien toisella puolella virtaa koneiden makea jäähdytysvesi. Makean veden ollessa lämpimämpää siirtyy siitä lämpöenergiaa kylmemmällä puolella virtaavaan meriveteen. Jäähdyttäjän jälkeen lämmennyt merivesi jatkaa kulkuaan kolmitieventtiilin kautta osaksi mereen ja ulkolämpötilan ollessa alhaalla osaksi jääkaivoon pitämään se sulana talvella. Tarkka kuvaus jäähdytysjärjestelmistä liitteissä 2 ja 3.

3.2.1 Merivesikaivot

Aluksella on kolme erillistä merivesikaivoa, kaksi jääkaivoa ja yksi pohjakaivo. Pohjakaivo sijaitsee apukonehuoneessa keskilaivassa, aluksen styyrpuurin puolella. Jääkaivo sijaitsee myös apukonehuoneessa, leveys suunnassa keskellä runkoa. Jääkaivosta on samat imumahdollisuudet eri kohteille kuin pohjakaivostakin. Jääkaivo on normaalisti suljettuna, ja vain pohjakaivoa käytetään. Toinen jääkaivo sijaitsee aluksen keulassa hätäpalopumppua varten.

Jääkaivoa käytetään talvella, kun on riski että pohjakaivo jäätyy. Myös erilaisten huolto- ja kunnossapitotehtävien suorittamisen aikana voidaan käyttää jääkaivoa, tällainen toimenpide voi olla esim. pohjakaivon merivesifiltterin puhdistus. Jääkaivo on vaatimuksena kaikille A1 tai paremman jääluokan omaaville laivoille. Jäähdytyskierrosta tuleva lämmin merivesi johdetaan takaisin jääkaivoon, jolloin jääkaivo pysyy sulana, eikä jää tai sohjo pääse tukkimaan meriveden imupuolta. Kumpaankin kaivoon on lisäksi vedetty 2 barin linja työilmaverkosta pitämään kaivot puhtaina. Kaikissa merivesikaivoissa ovat säleiköt, sekä sinkkianodit korroosiosuojana. Kuva merivesikaivo järjestelystä on liitteessä 1. (Aluksen piirustukset.)

3.2.2 Merivesipumput

Aluksen jokaiselle pääkoneelle on oma merivesipumppu. Lisäksi on kaksi stand by pumppua siten, että 1- ja 2-koneelle on yhteinen ja 3- ja 4-koneelle oma yhteinen stand by- pumppu. Merivesipumput sijaitsevat jäähdyttimien läheisyydessä apukonehuoneessa ja ovat sähkömoottorikäyttöisiä keskipakopumppuja.

Kunkin pumpun tuotto on $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ja nostokorkeus 20 metriä. Pumput ovat käytännössä aina päällä, mikä pitää putkiston puhtaana, mutta luo turhia kustannuksia. Tällä hetkellä aluksella harkitaan taajuusmuuttajakäyttöön siirtymistä.

3.2.3 Pääkoneiden keskusjäähdyttimet

Merivesipumppujen tapaan myös keskusjäähdyttimiä on jokaiselle koneelle yksi kappale eli yhteensä 4 kappaletta. Kapasiteetti jokaiselle lämmönvaihtimelle on laskettu yhden pääkoneen 100%:n kuormaa vastaavaksi, meriveden ollessa $+30 \text{ }^\circ\text{C}$. Lisäksi mitoitukseen on otettu huomioon ja lisätty 15%:n vara lämmönvaihtimien levyjen likaantumisen. Kuvassa 7 näkyy yksi neljästä keskusjäähdyttimestä.



Kuva 7. Keskusjäähdytin ja termostaattiventtiili kytkentöineen.

3.2.3 Termostaattiventtiilit

Jokaisen pääkoneen keskusjäähdyttimen jälkeen on termostaattiventtiili, joka säätelee LT-veden lämpötilaa ennen konetta, ohittamalla osittain jäähdyttäjän. Asetusarvoksi näille venttiileille on säädetty noin 35°C. Lisä informaatiota jäähdytysvesijärjestelmistä löytyy liitteistä 2 ja 3. (Aluksen piirustukset, project guide Wärtsilä 8L46f)

4 JÄÄHDYTYSVEDEN LÄMPÖENERGIA POTENTIAALI

4.1. Teoriaa lämpöenergiasta

Tämän opinnäytetyön ensimmäisenä päätavoitteena oli määrittää pääkoneiden jäähdytysveden mukana mereen siirtyvän lämpöenergian määrä. Tähän hukkaan menevän lämpöenergian määrään vaikuttavat erilaiset muuttujat, kuten aluksen liikennöinti ja meriveden lämpötila. Tässä luvussa on kerrottu, mistä tekijöistä mahdollisesti talteen otettava lämpöenergiapotentiaali muodostuu.

Lämpötila on tilastollinen suure, joka kuvaa aineen molekyylien keskimääräistä liike-energiaa. Mitä enemmän aineen rakenneosat liikkuvat, sitä suurempi on lämpötila. Lämpötila ei vielä yksinään kerro mitään aineeseen sitoutuneesta lämpömäärästä. Esimerkiksi 100 g:n rautakappaleeseen ja 100 g:aan vettä on sitoutunut erisuuruinen määrä lämpöä, silloin kun ne ovat samassa lämpötilassa. Lisäksi erisuuruisiin määriin samaa ainetta on sitoutunut erisuuri lämpömäärä, silloin kuin ne ovat samassa lämpötilassa. (Harju 2002,10)

Kolmas systeemissä olevan aineen lämpömäärään vaikuttava tekijä on aineen ominaislämpökapasiteetti. Ominaislämpökapasiteetti kuvaa aineen kykyä sitoa lämpöä. Suure c ilmaisee, kuinka suuren lämpömäärän 1kg jotakin ainetta tarvitsee, jotta sen lämpötila kohoaisi yhden celsiusasteen. Vastaavasti jäähtyessään 1°C aine luovuttaa ottamansa lämpömäärän. Veden ominaislämpökapasiteetti on poikkeuksellisen suuri, 4,19 kJ/kg°C.

Nämä kolme yhdessä, eli kappaleen lämpötilan muutos (ΔT), massa (m) ja ominaislämpökapasiteetti (c), muodostavat kaavan jolla lämpömääriä (Q), pystytään laskemaan. Kaava 1. $Q = mc\Delta T$

4.1.1 Lämmön siirtyminen

Lämmön siirtyminen ja sen ymmärtäminen ovat tärkeitä asioita. Höyrykattilassa lämpö siirtyy polttimeen liekistä kattilan seinämän läpi kattilan veteen, joka lopulta höyrystyy. Höyryn mukana lämpö siirtyy edelleen putkia pitkin eri kuluttajille esim. patterille. Patterissa lämpö siirtyy patterin seinämän läpi huoneilmaan. Lämpö siirtyy aina lämpimämmästä kylmempään. Aineessa lämpötila pyrkii tasaantumaan. Lämmönsiirtymismekanismit ovat kuljetus eli konvektio, johtuminen ja säteily. (Hautala & Peltonen 2005, 165.)

4.1.2 Säteily

Säteilyssä energiaa siirtyy säteilyn lähteestä ilman väliainetta kohdistuen johonkin lämmitettävään pintaan. Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä, aaltoliikettä, energiaa ja sen aallonpituus on alueella $10^7 \dots 10^{-4}$. Säteily on osittain ultraviolettisäteilyn ja näkyvän valon alueella. Aurinko on hyvä esimerkki säteilyn lähteestä. Auringosta lämpö pääsee maahan vain säteilemällä, koska välissä ei ole väliainetta. Lämpösäteilyn kohdatessa kappaleen osa säteilyn energiasta absorboituu kappaleeseen, osa heijastuu pois ja osa saattaa mennä läpi. Kirkas ja sileä pinta heijastaa lämpöä hyvin ja absorboi huonosti lämpöä. Musta kappale imee melkein kaiken siihen kohdistuvan lämpösäteilyn ja se myös luovuttaa hyvin lämpöä. (Harju 2002, 15.)

4.1.3 Johtuminen

Kun esim. metallitangon toista päätä lämmitetään eli päähän tuodaan lämpöenergiaa, tangossa olevien atomien kineettinen energia lisääntyy ja lämpötila nousee. Elektronien liike on tangon lämpimässä päässä nopeampaa, ja tämä liike-energia siirtyy elektronien liikkeen kautta materiaalin kylmempään osaan. Tätä kutsutaan johtumiseksi. Moottorin sylinterin sisällä tapahtuva palamisreaktio synnyttää valtavan määrän energiaa, josta osa kuluu mäntää liikuttavaan työhön. Osa energiasta kuitenkin muuttuu lämmöksi, joka juuri johtumisen kautta leviää sylinterin palotilasta muualle moottorin osiin.

4.1.4 Konvektio

Konvektio syntyy siten, että kaasu tai neste kuljettaa liikkeessaan siihen sitoutuneen lämmön mukanaan. Kuljetus eli konvektio jaetaan vapaaseen ja pakotettuun. Lämmitettäessä vettä lämpötilaero saa veden virtaamaan esim. lämmityspatterissa. Tämä on vapaata konvektiota. Jos järjestelmään lisätään pumppu, on kyseessä pakotettu konvektio. Dieselmoottorin ylikuumentumisen välttämiseksi on sitä jotenkin jäähdytettävä. Wärtsilä 8L46F-moottorin jäähdytys tapahtuu siis veden pakotetulla konvektiolla. Koneen sisällä virtaava vesi absorboi itseensä ylimääräisen lämmön, joka sopivassa suhteessa viedään jäähdyttäjälle. Jäähdyttäjän levyjen toinen puoli lämpenee ja joutumisen vuoksi levyt siirtävät lämmön meriveden virtauspuolelle. Merivesipumpun synnyttämä pakotettu konvektio hoitaa kierron loppuun, jolloin lämpö siirtyy mereen.

4.2 Mittaukset ja laskelmat

Jäähdytysvedestä poistuvan lämpötehon laskemiseksi tehtiin mittausmatka aluksella 15.3.2011. Mittaukset suoritettiin aluksen ajaessa normaalireitillään Suomenlahdella Helsingistä Tallinnaan. Mittaus aloitettiin klo 12.30 aluksen ollessa täydessä matkavauhdissa. Mittaukset jouduttiin rajoittamaan lämpötilamittauksiksi, virtausmittarin puutteen takia. Meriveden lämpötila mittaushetkellä oli 3°C ja konehuoneen lämpötila 22°C. Mittauskohteita oli neljä jokaista keskusjäähdyttäjää kohden, HT/LT- veden in/out- ja SW in/out- lämpötilat. Lisäksi oli tärkeää merkitä muistiin jokaisen jäähdyttäjän jälkeisen termostaattiventtiilin asento. Mitä enemmän termostaattiventtiiliin by pass on auki, sitä enemmän vesi kiertää lämmönvaihtajan ohi.

4.2.1 Lämpötilat

Lämpötilamittaukset suoritettiin siis lämmönvaihtajille ja niiltä ulos tulevilta putkilta. Mittaukset otettiin putkista juuri ennen ja jälkeen lämmönvaihtajaa, aluksen omalla pintalämpömittarilla. Mittaushetkellä kaikki neljä pääkonetta olivat käynnissä ja suunnilleen samalla kuormalla. Taulukossa 1. esitetään mittaustulokset. Taulukossa ensimmäinen pystyrivi kertoo, mikä lämmönvaihdin on kyseessä. Toinen ja kolmas pystyrivi kertoo yhdistyneen HT/LT-veden sisäänmeno ja ulostulolämpötilan. Seuraavista kahdesta rivistä käy ilmi meriveden lämpötilat. Viimeisistä kahdesta pystyrivistä nähdään, mitkä olivat

termostaattiventtiilien asennot lämmönvaihtimien jälkeen sekä koneiden kuormitukset mittaushetkellä.

Taulukko 1. Lämpötilamittaukset

Cooler	FW in °C	FW out °C	SW in °C	SW out °C	Valve %	Load %
1	54	16	15	24,5	71	80
2	64	20	16	27	78	77
3	55	18,5	16	28,5	75	78
4	55	18	18	30	73	77

4.2.2 Jäähdytysvesien virtaukset

Keskusjäähdyttimien läpi virtaamien vesien massavirtojen määrittämiseksi olisi ollut hyvä suorittaa erillisiä mittauksia esim. ultraäänimittarilla. Erinäisistä syistä näitä ei kuitenkaan tätä työtä varten kyetty suorittamaan.

Virtauksien selvittämisessä käytettiin aluksen dokumentteja ja moottorivalmistajan tietoja. HT- ja LT- pumppujen ollessa konevetoisia vaikuttaa moottorien pyörimisnopeus suoraan HT/LT- veden virtauksiin. Aluksen pääkoneiden pyörimisnopeus on vakio 600 rpm, täten HT/LT-veden virtaus on myös vakio. Yhdistyneen HT/LT- veden tilavuusvirta ennen keskusjäähdyttimiä on $150 \text{ m}^3/\text{h}$. (Aluksen dokumentit)

Veden tiheys on n. $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, joten $150 \text{ m}^3/\text{h}$ on suunnilleen sama, kuin $150\,000 \text{ kg}/\text{h}$. Laskukaavassa käytetty massavirran laatu kg/s , saadaan jakamalla $150\,000/3600\text{s} = 41.67 \text{ kg}/\text{s}$. Näin saadaan laskuissa käytetty massavirta $\dot{m} = 41.67 \text{ kg}/\text{s}$. Todelliseen lämmönvaihtimen läpi virtaamaan massavirtaan lisätään aina termostaattiventtiilin asennon aiheuttama vaikutus.

4.2.3 Laskut

Lämpötilaerojen ja massavirtauksien selvittämisen jälkeen voidaan laskea jäähdytysveden (FW) meriveteen luovuttama lämpöteho, kun tiedetään veden ominaislämpökapasiteetin olevan $4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. Alla on laskettu kaikkien koneiden HT/LT- jäähdytysveden lämmönvaihtajassa meriveteen luovuttama lämpöteho sekä kaikkien koneiden keskiarvo. Laskujen ΔT arvot tulevat taulukosta 1.

$$\text{Lämpöteho } Q_{FW} = \dot{m}_{FW \times C_{vesi}} \times \Delta T$$

$$Q_{ME1} = \left(41,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 0,29\right) \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^\circ\text{C} \times 38^\circ\text{C} = 1929 \text{ kW}$$

$$Q_{ME2} = \left(41,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 0,22\right) \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^\circ\text{C} \times 44^\circ\text{C} = 1694 \text{ kW}$$

$$Q_{ME3} = \left(41,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 0,25\right) \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^\circ\text{C} \times 36,5^\circ\text{C} = 1597 \text{ kW}$$

$$Q_{ME4} = \left(41,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 0,27\right) \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^\circ\text{C} \times 37^\circ\text{C} = 1748 \text{ kW}$$

Yhden pääkoneen jäähdytysveden luovuttamaksi lämpötehoksi saadaan keskiarvo kaavalla $Q_{ME} = \frac{1929\text{kW}+1694\text{kW}+1597\text{kW}+1748\text{kW}}{4} = 1742 \text{ kW}$

Neljän koneen luovuttava lämpöteho on siis $1742 \text{ kW} \times 4 \approx 7 \text{ MW}$.

4.2.4 Tulokset

Opinnäytetyön toisena päätavoitteena oli selvittää kuinka paljon lämpöenergiaa aluksen pääkoneiden jäähdytysvesistä olisi mahdollista saada talteen. Mittaushetkellä kaikkien koneiden ollessa käytössä ja kuormitettuina noin 80%:n teholla, saatiin HT/LT- veden meriveteen luovuttamaksi tehoksi noin 7 MW.

Alus liikennöi välillä Helsinki-Tallinna ja tekee päivässä neljä Suomenlahden ylitystä. Kukin ylitys kestää noin 2,5 h. Täydellä teholla tästä ajasta voidaan olettaa ajettavan n. 2h ajan. Tehokkaita käyntitunteja päivässä tulee siis noin 8 ($4 \times 2 \text{ h} = 8 \text{ h}$). Yhden päivän aikana olisi siis teoreettisesti mahdollista saada talteen otetuksi $7 \text{ MW} \times 8 \text{ h} = 56 \text{ MWh}$ lämpöenergiaa pääkoneiden jäähdytysvesistä. Käytännössä luku on pienempi esim. jääkaivojen aukipitämiseksi talvella. Joka tapauksessa tuloksista

huomataan, että jäähdytysveden energiapotentiaali on suuri, ja talteenottoa hyötykäyttöön on järkevää tutkia.

5 TALTEENOTTOMAHDOLLISUUDET

5.1. Yleisesti

Eri vaihtoehtoja pääkoneiden jäähdytysveden lämpöenergian talteen ottamiseksi on tässä työssä tarkasteltu lähinnä teoreettiselta kannalta, kun tiedetään hukkaan menevän energian määräksi n. 56 MWh/d.

Omat ongelmansa lämmön talteen ottamiseksi asettaa erittäin lyhyt HT-putkisto. Kuten edellä on tullut ilmi, yhtyy HT-termostaattiventtiin jälkeinen, takaisin HT-pumpulle palaamaton HT-vesi, LT-veden kanssa. Tämä yhdistynyt HT/LT-jäähdytysvesi on lämpötilaltaan n. 55- 65 °C, joka rajoittaa lämmön talteenottomahdollisuuksia verrattuna esim. järjestelmään, jossa HT- ja LT-piirit kulkevat erillisissä linjoissaan. Edellä mainitussa tapauksessa HT-vesi (85-95°C) kulkee omassa piirissä erillisen lämmönvaihtajan läpi, josta hukkaenergia otetaan talteen. LT-vesi kulkee tällöin yksinään merivesikeskusjäähdyttimen läpi.

5.2.1 Evaporaattori

Yleinen ratkaisu koneiden jäähdytysvesien hukkalämmön talteen ottamiseksi laivoilla on evaporaattorin eli makeanveden kehittimen käyttö.

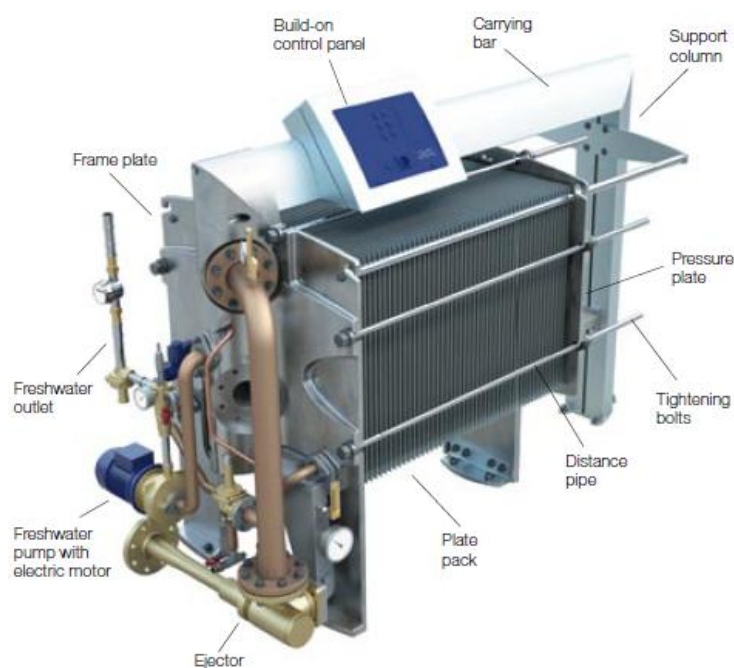
Makeanveden kehittimen avulla saadaan merivedestä valmistettua makeaa vettä laivan tekniseksi vedeksi tai jopa juomakäyttöön. Kaikessa tislauksessa neste tarvitsee lämpöä kiehuakseen. Evaporaattorin toiminta perustuu meriveden kiehumiseen alipaineessa. Alipaineistetussa tilassa veden kiehumispiste laskee huomattavasti, jolloin merivesi on mahdollista saada kiehumaan koneiden jäähdytysvesien lämmöllä, jotka voivat olla paljonkin alle veden normaalipaineessa olevan kiehumispisteen (100°C). Kiehuavassa merivedessä suolat erkaantuvat ja putoavat evaporaattorin pohjalle.

Yksi mahdollisuus pääkoneiden jäähdytysvesien hukkalämmön talteen ottamiseksi olisi evaporaattorin asentaminen aluksen teknisenveden tuottamiseksi.

Teknistä vettä käytetään aluksella mm. separaattorien toiminnassa, turboahtimien pesulaitteissa, jäähdytysvesi- ja paisuntatankkien täytössä, sekä kattilavetenä. Teknisen veden tankin nimelliskapasiteetti on $50,9 \text{ m}^3$, mutta normaalitilanteessa se pidetään suunnilleen puolillaan. Teknisen veden kulutus vaihtelee ja on n. $3-8 \text{ m}^3$ päivässä. Tällä hetkellä tekninenvesi tehdään maista otetusta makeasta vedestä. (Aluksen piirustukset, kone kladi)

5.2.2 AQUA- makeaveden kehitin

AQUA- makeaveden kehitin kuuluu Alfa Laval: in tuoteperheeseen, johon kuuluvat myös aluksen separaattorit ja lämmönvaihtimet. AQUA koostuu yhdestä levypakasta, johon kuuluu itse valittavissa oleva määrä titaania prosessilevyjä. Levypakka on puristettu runko- ja painelevyn väliin. Höyrystyminen, separointi ja tiivistyminen tapahtuvat kaikki saman levypakan sisällä. Runko- ja painelevyn välillä kulkevat kiristystangot, joilla varmistetaan levyjen oikea linjaus ja kiristys. Levypakkaan on kytketty yhdistetty merivettä käyttävä järjestelmä syöttövedelle, lauhduttimen jäähdytysvedelle ja ejektorille. Makeavesijärjestelmään kuuluu makeavesipumppu ja ohjausanturi tasaista ulosvirtausta varten.



Kuva 8. AQUA- makeaveden kehittimen rakenne (www.Alfalaval.com)

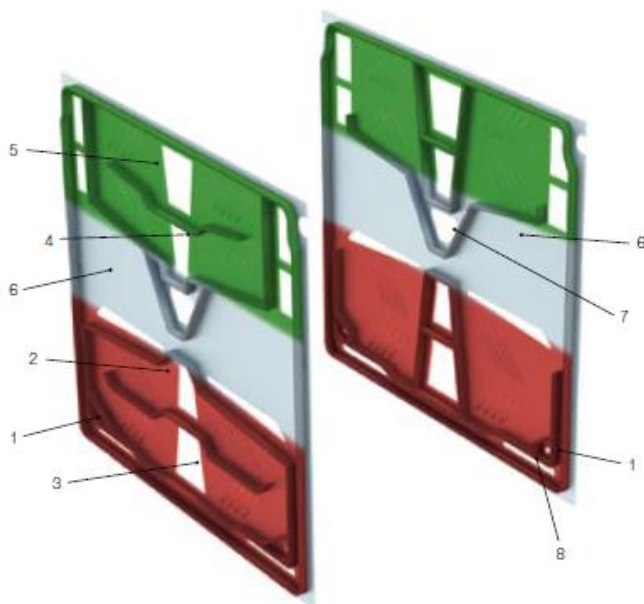
5.2.3 AQUAN:n toimintaperiaate

Järjestelmään liitetään pumppu, joka kytketään erilliseen merivesilinjaan. Tämä merivesipumppu syöttää merivettä lauhduttimeen, varsinaista syöttövettä höyrystimeen, sekä vettä yhdistettyyn vesi/ilma ejektoriin alipaineen tuottamiseksi.

Syöttövesi, eli merivesi menee sisään levypakan alaosaan (höyrystin), jossa tiitaanilevyt ovat lämmitetty kuuman väliaineen (esim. HT/LT- vesi) virtauksen avulla. Tässä osassa vesi höyrystetään 40-60°C lämpötilassa, 85-95% tyhjiössä. Tyhjiötä pitää yllä suolavesi/ilma ejektori.

Muodostunut vesihöyry nousee levyjen välissä levypakan keskiosaan (separointi osa). Täällä kaikki mahdollisesti jäljelle jääneet vesipisarot erotetaan höyrystä ja ne putoavat painovoiman ansiosta makeaveden kehittimen pohjalla olevaan suolavesi sumppiin.

Vain puhdas makea vesihöyry pääsee levypakan yläosaan (lauhdutin), jota jäähdytetään meriveden virtauksella. Täällä vesihöyry tiivistetään makeaksi vedeksi ja pumpataan ulos makeavesipumpulla. (Alfa Lavalin [www-sivut](http://www.alfalaval.com) 2011.)



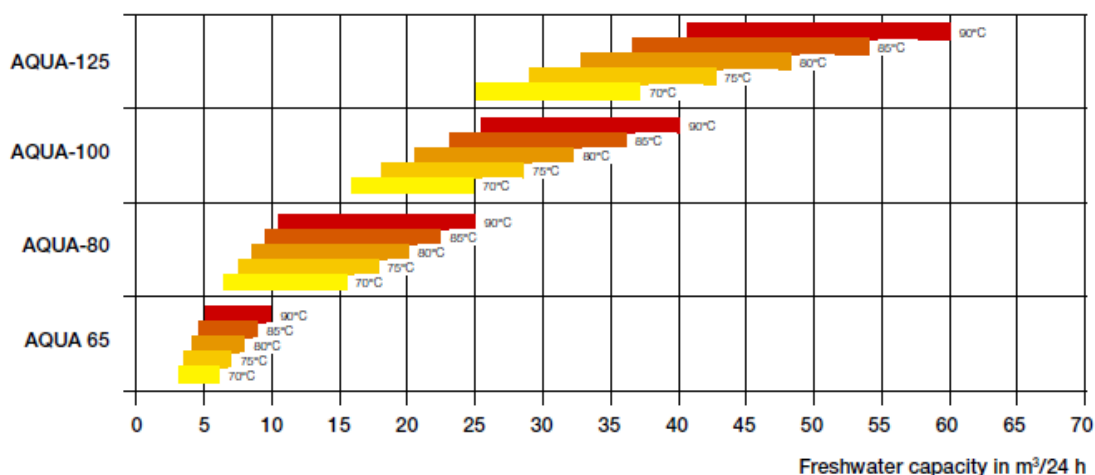
Kuva 9. AQUA- makeaveden kehittimen levyjen toimintaperiaate (www.alfalaval.com)

1. Syöttövesi sisään
2. Lämmitysvesi sisään
3. Lämmitysvesi ulos
4. Jäähdytysvesi sisään
5. Jäähdytysvesi ulos
6. Muodostunut vesihöyry
7. Makeavesi ulos
8. Suolainen vesi ulos

5.2.4 Operointi ja kapasiteetti

AQUA-sarjan makeanveden kehittimet kattavat tuottoalueen, joka on $3.1 - 60m^3/24h$, riippuen lämmitys aineen ja lauhdutusveden lämpötiloista. AQUA voidaan mitoittaa toimimaan pääkoneiden jäähdytysveden lämpötiloilla $55-95^{\circ}C$. Tämä tarkoittaa, että evaporaattorin lämmitysvedeksi voitaisiin ottaa $n.60^{\circ}C$ HT/LT-vettä ennen keskusjäähdyttimiä. Toisaalta ottamalla lämmitysvesi suoraan HT- putkesta, pääkoneen HT- termostaattiventtiilin jälkeen, saataisiin makeaveden kehitin kooltaan pienemmäksi.

Kuvaajasta 1. näkee makeanveden tuoton eri lämmitysveden lämpötiloilla, meriveden ollessa $32^{\circ}C$.



Kuvaaja 1. Makeanveden tuotto (www.alfalaval.com)

Aluksen tehokkaan liikennöinnin ollessa $n. 8 h/päivä$, voitaisiin makeaveden kehittä käyttää siis noin 8h vuorokaudessa. Teknisen veden vuorokausikulutusta pidettäessä mitoitus arvona, päästään AQUA-100-makeanveden kehittimellä lähelle niitä arvoja. Kuvaajasta nähdään AQUA- 100:n olevan alueella, jolla voitaisiin kehittää $n. 8m^3/d$ makeaa vettä, kun $25m^3/24h$ jaetaan kolmella.

Teknisen veden kehittäminen merivedestä AQUA- makeanveden kehittimellä vähentäisi tarvetta käyttää maista otettua makeaa vettä ja näin ollen säästöjä varustamolle. Tarkempia laskelmia järjestelmän takaisinmaksuajasta ei ole tässä työssä tehty opinäytetyön paisumisen estämiseksi.

5.3. Rikkipesurin alkalitankin lämmitys

Rikin ja pienhiukkasten puhdistus laivojen pakokaasupäästöistä on ajankohtainen asia rikkipäästöjen kiristyessä. Varustamoiden ympäri maailman ja etenkin Itä-meren alueella on syytä pohtia millä tavalla ne tulevat nämä raja-arvot täyttämään.

Käytännössä varustamoille (esim. Viking Line) jää kolme vaihtoehtoa näihin päästö-rajoituksiin pääsemiseksi. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää kallista, käytännössä rikitöntä polttoöljyä. Toisena vaihtoehtona on rikkipesurien jälkiasennukset laivoihin, joidenka käyttö mahdollistaa korkeamman rikkipitoisuuden omaavan, halvemmän polttoöljyn käyttämisen. Uudisrakennusten yhteydessä on vaihtoehtona siirtyä nesteytetyn maakaasun (LNG) käyttöön, niin kuin jo yhtiöllä suunnitteilla on.

XPRS- aluksella tulee eteen rikkipesurien jälkiasennuksien harkinta. Wärtsilä, jonka valmistamia ovat mm. aluksen pää- ja apukoneet, on tällaisia pesureita suunnitellut. Rikkipesuri tekniikkaan liittyvän alkalin varastotankkia tulee pitää tietyssä lämpötilassa, tähän tarkoitukseen sopisi mainiosti pääkoneiden jäähdytysvesien tällä hetkellä hukkaan menevä lämpöenergia.

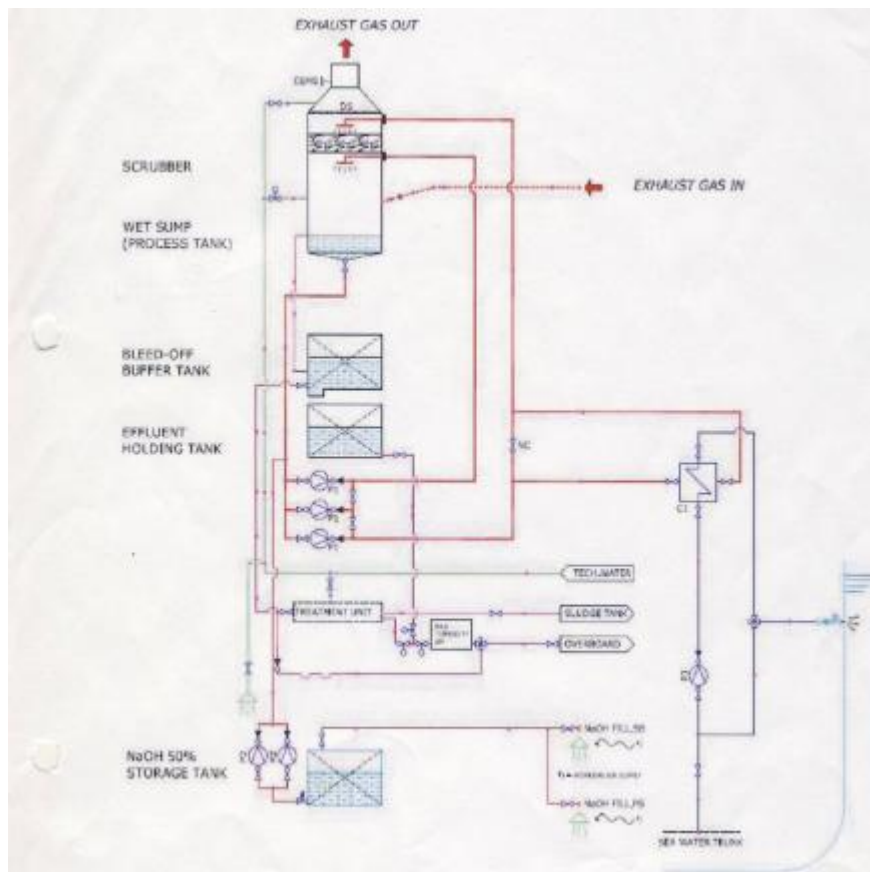
5.3.1 Rikkipäästörajat

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO päätti lokakuussa 2008 uusista rikkipäästörajoista, jotka on esitetty MARPOL 73/78 -yleissopimuksen liitteessä VI, säännöksessä 14. 1.7.2010 lähtien polttoaineiden suurin sallittu rikkipitoisuus SECA- alueilla on ollut 1%. Koko Itä-meri kuuluu tähän SECA (SO_x- emission controlled areas) alueeseen. Vuonna 2015 kontrollialueilla käytettävän polttoaineen sallittu rikkipitoisuus lasketaan jo 0.1 prosenttiin. Vaihtoehtona vähärikkisten polttoaineiden käytölle on pakokaasujen puhdistaminen rikin osalta pesurilla, mikä sallitaan keinona rikkipäästörajoiden alittamiseksi MARPOL 73/78 – yleissopimuksen VI liitteessä. (Hernandez 2011, 9.)

5.3.2 Wärtsilän makeavesipesuri

Wärtsilän makeavesipesurissa rikkidioksidit otetaan haltuun ja neutralisoidaan pesuveten avulla. Pesuvetenä on suolaton makeavesi, johon on lisätty alkalia, eli natriumhydroksidia (NaOH). Natriumhydroksidia lisätään makeaan pesuveteen, koska rikin happojen neutralisointiprosessin liikkeelle paneva tekijä on juuri veden alkalisuus. (Hernandez 2011, 16.)

Itse pesuri sijoitetaan korsteeniin pakokaasukattilan jälkeen. Pakokaasut ajetaan laitteeseen alhaalta tai sivusta pystysuoraan ylöspäin ja pesuvesi ruiskutetaan ylhäältä alaspäin (vastavirta-eroointi) pesusuuttimien kautta. Järjestelmään kuuluu myös merivesipuoli, jolla kuumentunutta pesuvettä jäähdytetään. Kuvasta 10. hahmottuu järjestelmän rakenne.



Kuva 10. Wärtsilän makeavesipesurin periaatekaavio (Hernandez 2011, 22)

5.3.3 Alkalin varastotankin lämmitys

Pesuedessä käytettävä 50-prosenttisen NaOH:n ominaisuudet ovat tiheys $1,52 \text{ t/m}^3$, jäähmetympiste 12°C ja pH 14. Jos tankin lämpötilan pelätään voivan laskea alle 16°C , tulee tankille järjestää lämmitys. Suositeltu varastointilämpötila on $+25\dots+35^\circ\text{C}$. NaOH:n ominaisuuksien takia lämmitysveden tulisi pysyä alle 49°C , joka rajaa pois esim. höyrylämmityksen.

Varastotankin lämmitys voitaisiin järjestää tankin pohjalla olevalla lämmityskierukalla, jossa kulkisi osa pääkoneiden keskusjäähdyttimille palaavasta HT/LT- vedestä. Luvussa 4 tehtyjen mittausten perusteella jäähdytysveden lämpötila ennen merivesilämmönvaihtajia on n. 55°C, joka on hieman yli tankin lämmitysveden raja-arvon 49°C. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma, koska voidaan olettaa veden jäähtyvän siirtoputkissa alle sallitun 49°C. Tällainen tankki/tankkeja voitaisiin rakentaa esim. joihinkin aluksen useista tyhjästä void- tankeista. Koska aluksen pääkoneet tuottavat hukkalämpöä vain 8-10 h/d, tulisi rakentaa myös lämminvesivaraaja, varmistamaan alkalien pysymisen suositellussa varastointilämpötilassa +25...+35°C, silloinkin kun pääkoneet ovat sammuksissa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön aihe annettiin Viking Line varustamon toimesta elokuussa 2010. Työn varsinaisen tekeminen aloitettiin kuitenkin vasta joulukuussa 2010. Pian tämän jälkeen työn tekijän oikean jalan akillesjänne katkesi urheilutapaturmassa, joka antoi omat haasteensa opinnäytetyön tekemiseen. Työ valmistui huhtikuussa 2011, joten loppujenlopuksi aikataulussa pysyttiin kohtuullisesti, ottaen myös huomioon, ettei varustamon puolelta koskaan annettu erityistä aikarajaa.

Opinnäytetyön tavoitteet olivat saada selville pääkoneiden jäähdytysvesien mukana hukkaan menevä lämpöenergian määrä ja tutkia mahdollisuuksia tämän talteen ottamiseen hyötykäyttöön. Ensimmäinen tavoite saatiin melko luotettavasti selvitettyä mittausten ja laskelmien avulla. Lämpöenergian talteenottomahdollisuuksien osalta työssä annettiin kaksi esimerkki tapausta. Molemmat tekniikat on esitelty lähinnä pintapuolisesti ja näiden tekniikoiden alukselle hankkimiseksi pitäisi tehdä tarkemmat analyysit.

Työssä selvisi, että hukkaan menevä lämpöenergian määrä on huomattava ja että erilaisia tekniikoita tämän lämmön talteen ottamiselle on olemassa. Seuraava opinnäytetyö kannattaisikin tehdä esim. työssä esitellyn AQUA- makeanveden kehittimen hankkimisen kannattavuudesta.

LÄHTEET

AlfaLavalin www.sivut 2011. Viitattu 11.4.2011. <http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/aqua-freshwater-generator/>

Aluksen piirustukset

Harju, P. 2002. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola. Penan Tieto- Opus Ky. 2. painos

Hautala, M & Peltonen, H. 2005. Insinöörin fysiikka osa 1. 7. painos

Hernandez, J. 2011. Dieselmoottorin pakokaasujen puhdistus rikin ja pienhiukkasten osalta M/S Ailalla. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 31.3.2011 https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25235/jose_hernandez.PDF.pdf?sequence=1

Häkkinen, P. 1997. Laivan kuljetuskoneisto. Otaniemi. Helsinki University of Technology.

Sjöström, P-H. 2009. Tie meren yli, uranuurtajasta markkinajohtajaksi. Mölndal: Lingren & Söner.

http://www.vikingline.fi/download/2011_ymparistoliite.pdf

Wärtsilä Finland Oy. Engine manual Wärtsilä 46F

Wärtsilä Finland Oy 2010, Wärtsilä 46F project guide

<https://koppa.jyu.fi>

