

Opinnäytetyö (AMK)  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Laivatekniikka  
2011

Eero Lyytikäinen

# LAIVAN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN LASKENNAN KEHITYS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikka | Laivatekniikka

Toukokuu 2011 | 36

Pentti Häkkinen

Eero Lyytikäinen

# LAIVAN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN LASKENNAN KEHITYS

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Deltamarin Oy:lle Excel-pohjainen sovellus käytettäväksi laivan jäähdytysjärjestelmän suunnitteluun perussuunnitteluvaiheessa. Sovelluksen tarkoitus oli vähentää työmäärää ja standardoida menetelmä.

Kirjallisessa osuudessa käsitellään lämmönsiirron ja virtauksen teoria, sekä laivan jäähdytysjärjestelmän toiminta ja komponentit. Painehäviö käsitellään lyhyesti.

Ohjelma koostuu Excel-osuudesta ja esivalmistelluista 2D CAD-putkistokaavioista. Excel-taulukkoita käytetään lähtötietojen syöttämiseen, tarvittavien tietojen laskemiseen, yksinkertaistetun putkistokaavion luontiin ja CAD-kaavioon siirrettävän datasyötteen luontiin.

ASIASANAT:

jäähdytystekniikka, jäähdytysvesi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Machinery and production engineering | Naval engineering

May 2011 | 36

Pentti Häkkinen

Eero Lyytikäinen

## DEVELOPMENT OF CALCULATION FOR SHIP COOLING SYSTEM

The purpose of this thesis was to develop an Excel based basic design tool for Deltamarin Ltd. to help in the design process of ship's cooling water system by reducing required workload and aim to standardize this practice.

The theory behind heat transfer and fluid flow is overviewed in the first part. Pressure drop is dealt briefly. In the following parts ships cooling system and its components are described in general.

The tool consists of Excel application and pre-fabricated 2D CAD piping diagrams. Excel sheets are used for gathering source data, calculating essential values for the system, to create a simplified piping diagram and to prepare a data list for importing the information to CAD diagrams.

### KEYWORDS:

ship cooling system

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
1.1 Tavoitteet ja rajaukset	6
1.2 Tausta	7
1.3 Yritysesittely	7
<b>2 LÄMMÖNSIIRTO</b>	<b>9</b>
2.1 Lämpö, lämpötila ja ominaislämpökapasiteetti	9
2.2 Lämmön siirtyminen	10
2.3 Virtaus putkessa	13
2.3.1 Reynoldsin luku	13
2.3.2 Laminaarinen virtaus	13
2.3.3 Turbulenttinen virtaus	13
2.3.4 Jatkuvuusyhtälö	14
<b>3 LAIVAN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ</b>	<b>16</b>
3.1 Merivesijärjestelmä	16
3.2 Makeavesijärjestelmät	18
3.2.1 HT-vesipiiri	18
3.2.2 LT-vesipiiri	19
3.3 Hukkalämmön hyödyntäminen	21
<b>4 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT</b>	<b>22</b>
4.1 Putket	22
4.2 Pumput	23
4.3 Lämmönsiirtimet	24
4.3.1 Levylämmönsiirrin	26
4.3.2 Putkilämmönsiirrin	26
4.4 Venttiilit ja virtauksen säätö	27
<b>5 LASKENTASOVELLUS</b>	<b>29</b>
5.1 Yleistä sovelluksesta	29
5.2 Tietojen syöttö	30
5.3 Excel-kaavion luonti	31
5.4 Tulosten siirto CAD-kaavioon	32
<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>35</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>36</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Excel-sovelluksen tiedonsyöttövälehti
- Liite 2. Excel-sovelluksessa tehty makeavesijäähdytyskaavio
- Liite 3. Excel-sovelluksessa tehty merivesijäähdytyskaavio

## KUVAT

Kuva 1. Virtaustyytit: a) Laminaarinen virtaus, b) turbulenttinen virtaus	14
Kuva 2. Virtauksen jatkuvuus.	15
Kuva 3. Yksinkertaisen rahtilaivan merivesijäähdytysjärjestelmä	17
Kuva 4. Kahden moottorin HT-järjestelmä, jossa erillinen HT/LT-jäähdytin, moottorikohtainen lämpötilasäätö ja yhteiset pumpput	19
Kuva 5. Kaksimoottorisen laivan LT-järjestelmä moottorikohtaisilla pumpuilla ja HT-jäähdyttimillä	20
Kuva 6. 1-portainen evaporaattori	21
Kuva 7. Lämpötilaero myötä- ja vastavirtalämmönsiirtimessä (Harrington 1992, 601).	25
Kuva 8. Tyypillisen vastavirtalevyllämmönsiirtimen rakenne ja virtaus	26
Kuva 9. Ristivirtaputkilämmönsiirrin	27
Kuva 10. Lämmönsäätö kolmitieventtiilillä.	28
Kuva 11. Esimerkki neljän laitteen haarasta.	31
Kuva 12. Kuvakaappaus laskurista.	32
Kuva 13. Yksittäisen laitteen CAD-kaavioon siirrettävät tiedot.	34

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Jäähdytysjärjestelmä suunnittelu on suuritöinen prosessi. Järjestelmä sisältää niin lasku- kuin kaaviotasollakin paljon lähtötietoja kuten; laitteiden nimiä, laitenumeroita, kapasiteetteja jne. Projektin alkuvaiheessa tiedot perustuvat usein kokemukseen ja ne tarkentuvat projektin edetessä. Tämä merkitsee suurta päivityksen tarvetta, mikä on perinteisesti tarkoittanut käsityötä.

Tässä opinnäytetyössä tehdyllä sovelluksella on tarkoituksena helpottaa laskenta- ja kaaviotyötä siten, että vaadittava käsin tehdyn työn määrä vähenee ja suunnittelutyö nopeutuu. Lisäksi koska jäähdytysjärjestelmät ovat useimmissa laivoissa pääpiirteittäin samanlaisia, oli yhtenä pyrkimyksenä luoda standardoitu laskentamenetelmä.

Sovelluksen tuli sisältää järjestelmän oleelliset laskut pumppujen ja jäähdyttimien määrittämiseksi, yksinkertaistetun kaavion luonti sekä tietojen siirron lopulliseen kaavioon. Laajuuden vuoksi putkiston painehäviöt rajattiin työn ulkopuolelle, vaikka käsitelläänkin lyhyesti teoriaosuudessa.

Laskentaohjelman valinnassa päädyin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, koska se on yleisesti kaikilla suunnittelijoilla käytössä, eikä siten itse ohjelman käyttö vaadi erillistä koulutusta. Lisäksi Excel on riittävän monipuolinen monimutkaistenkin laskujen ja toimintojen suorittamiseen. Muita vaihtoehtoja olisi ollut esimerkiksi MATLAB tai laskujen suoritus suoraan AutoCAD:illä. Laskenta näillä ohjelmilla olisi tullut vaikeaselkoisemmaksi ja olisi lisäksi vaatinut entuudestaan tuntemattoman ohjelmointikielen opettelua, joskin sitä vaati myös Excel.

Putkistokaavioiden tekoon luonnollinen ohjelmavalinta on AutoCAD, niin kauan kuin kaaviot tehdään 2D-ympäristössä. Tehty sovellus toimii myös yrityksessä käytössä olevalla ZWCAD-ohjelmalla.

## 1.2 Tausta

Laivan jäähdytysvesijärjestelmän tehtävänä on siirtää koneistossa ja laitteissa syntyvä haitallinen hukkalämpö mereen. Vaikka laivan ympärillä olisi saatavilla riittävästi viileää merivettä, sitä ei yleensä voida, tai ei ole kannattavaa käyttää suoraan koneiston jäähdytykseen korroosiovaikutusten takia. Tästä johtuen jäähdytysjärjestelmät koostuvat merivesijäähdytteisistä suljetuista makeavesikiertoista.

Jäähdytysjärjestelmän toimivuus on niin laivan käytön, toiminnan kuin turvallisuudenkin kannalta oleellisen tärkeää. Järjestelmä sisältää suuren määrän putkityötä, joten laivanrakennuksen taloudelliselta kannalta järjestelmän tulee olla oikein suunniteltu, muutoin vaadittavat korjaustyöt voivat olla mittavia.

## 1.3 Yritysesittely

### DELTAMARIN OY

Deltamarin on vuonna 1990 perustettu laivanrakennusalan konsultointi-, suunnittelu- ja rakennuttamispalveluja laajalle kansainväliselle asiakaskunnalle tarjoava yritys. Asiakkaat edustavat monia merenkulun teollisuudenaloja, kuten offshore-teollisuutta, varustamotoimintaa, telakkateollisuutta ja muita meriteknisiä toimijoita. Deltamarin-konserni työllistää maailmanlaajuisesti noin 400 merenkulkuun liittyvien eri alojen asiantuntijaa. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Raisiossa, minkä lisäksi Suomessa on konttorit Helsingissä ja Raumalla. Konserniin kuuluvia yrityksiä sijaitsee myös Puolassa, Kroatiassa, Monacossa, Kiinan Shanghaissa ja Shandongissa sekä Malesiassa. Deltamarinin myynnin arvo vuonna 2010 oli noin 29 miljoonaa euroa.

Suunnittelu jakautuu kolmeen eri osastoon, jotka ovat Hull, Mechanical ja Electrical & Instrumentation. Hull-osasto vastaa runkosuunnittelusta, teräs- ja kansivarustelusta, Mechanical-osasto kone- LVI- ja sisustussuunnittelusta ja Electrical & Instrumentation -osasto sähkö- ja automaatiosuunnittelusta. Kaikilla

osastoilla tehdään sekä perus- että työkuvasuunnittelua. Lisäksi Deltamarinissa on projekti- ja kehitysosastot. Projektiosastolla tehdään muun muassa turvallisuus ja evakuointisimulaatioita, hydrostaattista ja -dynaamista laskentaa. Yrityksessä käytetään suunnittelutyöhön laaja-alaisesti 2D- ja 3D-suunnitteluohjelmistoja, kuten NAPA, Tribon, Catia, Enovia, Microstation, CadMatic, Nauticus, Finnsap, AutoCAD, CADS Planner.



## 2 LÄMMÖNSIIRTO

### 2.1 Lämpö, lämpötila ja ominaislämpökapasiteetti

Lämpö on atomien ja molekyylien välistä värähtelyliikettä. Sitä voi syntyä monen asian seurauksena, kuten kitkan, vastuksen läpi kulkevan sähkövirran tai eksotermisen eli lämpöä tuottavan kemiallisen reaktion seurauksena. Laivasta löytyy kaikkia näitä edellä mainittuja lämmöntuottajia ja haitallinen hukkalämpö on pystyttävä siirtämään kohteesta pois tavalla tai toisella.

Lämpömäärällä kuvataan prosessissa syntyvän tai siirtyvän lämpöenergian määrää. Sen SI-järjestelmän mukainen yksikkö on joule (J), ja kaavoissa käytetään yleisesti tunnusta  $Q$ . Lämpömäärälle käytetään joissain määrin vielä vanhaa SI-järjestelmää edeltävää kaloriyksikköä, joka määriteltiin lämpömääräksi, joka lämmittää yhden gramman vettä +14,5 celsius-asteesta +15 celsius-asteeseen. Yksi kalori vastaa 4,186 joulea. (Inkinen & Tuohi 2002, 379.)

Lämpötilalla kuvataan, kuinka kuuma kappale on. Sitä mitataan SI-järjestelmän mukaisella absoluuttisella kelvin-asteikolla (K) tai sen johdannaisella celsius-asteikolla (°C). Koska jäähtytysjärjestelmissä käsitellään lämpötilaeroja ja molemmilla asteikoilla on sama asteväli, voidaan selkeyden vuoksi käyttää yksikkönä celsiusasteita.

Ominaislämpökapasiteetti on aineelle ominainen kyky sitoa lämpöä massaansa ja lämpötilaeroon nähden. Sen SI-järjestelmän mukainen yksikkö on joulea kilogrammaa ja kelviniä kohden  $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$  ja siitä käytetään tunnusta  $c$ .

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

Kun kappaleen massa on tiedossa, puhutaan lämpökapasiteetista, jonka yksikkö on  $\frac{\text{J}}{\text{K}}$  ja tunnus  $C$ .

$$c = \frac{Q}{\Delta T}$$

## 2.2 Lämmön siirtyminen

”Kun kaksi väliainetta, joilla on eri lämpötilat, joutuu vuorovaikutukseen syntyy niiden välinen lämpövirta” (Wagner 1988, 13). Lämpövirrasta käytetään yleensä tunnusta  $\Phi$  tai  $\dot{Q}$  ja yksikkönä on joulea sekuntia kohden eli wattia. Lämpövirran suunta on termodynamiikan sääntöjä noudattaen aina lämpimästä kylmempään, eli lämpötilaero pyrkii tasaantumaan.

$$\Phi = \frac{Q}{t} = q_m c \Delta T$$

$$q_m = \text{massavirta} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

Lämpö voi siirtyä kolmella eri tavalla: konvektiolla, johtumalla tai säteilemällä. Vaikka nesteet ja kaasut eivät yleisesti ottaen ole kovinkaan hyviä lämmönjohteita, voidaan niiden avulla kuljettaa suuriakin lämpömääriä nopeasti. Tätä väliaineen virtauksen mukana tapahtuvaa lämmön siirtymistä kutsutaan konvektioksi. Konvektiota tapahtuu esimerkiksi vettä keitetessä, jolloin kattilan pohjalla lämmennyt ja siten harventunut vesi nousee pinnalle ja kylmä tiheämpi vesi virtaa painovoiman avulla pohjalle. Kyse on siis nosteesta. Kun nesteen tai kaasun virtausta halutaan tehostaa tai muuttaa sen suuntaa käyttämällä pumppua tai puhallinta, on kyse pakotetusta konvektioista.

Kun lämpö siirtyy aineen sisällä ilman suoraa kosketusta lämmön lähteeseen, on kyse lämmön johtumisesta. Tällöin lämpövirran suuruus riippuu materiaalin lämmönjohtokyvystä, lämpötilaerosta ja lämpöä siirtävän kappaleen poikkipinta-alasta. Metallit ovat yleisesti hyviä lämmönjohteita, kun taas esimerkiksi ilma ja sitä paljon sisältävät materiaalit ovat huonoja lämmönjohteita eli lämpöeristeitä. Materiaalin lämmönjohtavuutta kuvataan tunnuksella  $\lambda \left( \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$ . Johtuvan

lämpövirran suuruus voidaan laskea kokeellisella lausekkeella, kun lämpötilaero pysyy vakiona

$$\Phi = \lambda A \frac{\theta}{d}$$

$A$  = pinta-ala

$$\theta = T_1 - T_2$$

$d$  = ainekerroksen paksuus

Kun lämpö siirtyy kappaleesta toiseen, on sen ensin kuljettava rajapinnan läpi. Rajapinta heikentää lämmön siirtymistä ja sen vaikutus riippuu pinnan laadusta virtaavasta aineesta ja virtausnopeudesta.

Lämpö voi myös siirtyä ilman väliainetta. Tällöin on kyse kappaleen pinnan emittoimasta sähkömagneettisesta säteilystä. Säteily on pääasiassa ihmisilmälle näkymätöntä infrapunasäteilyä, mutta pinnan lämpötilan noustessa kappale alkaa emittoida myös näkyvän valon aallonpituuksia. Lämpösäteilyn teho on kappaleen pinta-alaa kohden Stefan-Boltzmannin lain mukaisesti verrannollinen termodynaamisen lämpötilan neljänteen potenssiin. (Inkinen & Tuohi 2002, 419.)

$$M = \sigma T^4$$

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmannin vakio } 5,67051 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$$

Tällöin kappaleen oletetaan olevan ideaalinen säteilijä eli niin sanottu musta kappale. Todellisuudessa säteilyteho riippuu pinnan laadusta. Kiiltävät materiaalit, kuten esimerkiksi ruostumaton teräs, emittoi huomattavasti heikommin kuin maalattu pinta. Tätä todellisen ja mustan kappaleen säteilytehon suhdetta kuvataan emissiivisyys-suhdeluvulla  $\epsilon$ . Täten todellisen kappaleen säteilyteho on

$$P = \varepsilon\sigma AT^4$$

On huomattava, että samalla kun kappale emittoi, se myös absorboi lämpöä. Kappaleen ympäristöstä absorboima teho on

$$P_0 = \alpha\sigma AT_0^4$$

$\alpha$  = absorptiosuhde

$T_0$  = ympäristön lämpötila

Kun kappaleen ja sen ympäristön lämpötila ovat tasapainossa, kappaleen emittoima ja absorboima säteilyteho ovat yhtä suuria. Kun oletetaan, että kappaleen emissiivisyys ja absorptiosuhde ovat yhtä suuria, on säteilyteho ympäristön lämpötila huomioiden

$$P = \varepsilon\sigma A(T^4 - T_0^4)$$

Kuumassa konehuoneessa jäähdytysjärjestelmän säteilyteho voidaan olettaa niin pieneksi suhteessa siirrettävään tehoon, että se jätetään laskuissa huomioimatta.

## 2.3 Virtaus putkessa

### 2.3.1 Reynoldsin luku

Reynoldsin luku on dimensioton suure, jonka avulla voidaan päätellä, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Putkelle luku voidaan laskea yhtälöllä

$$Re = \frac{\rho v D}{\eta} = \frac{v D}{\nu}$$

$v$  = virtausnopeus (m/s)

$\rho$  = tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

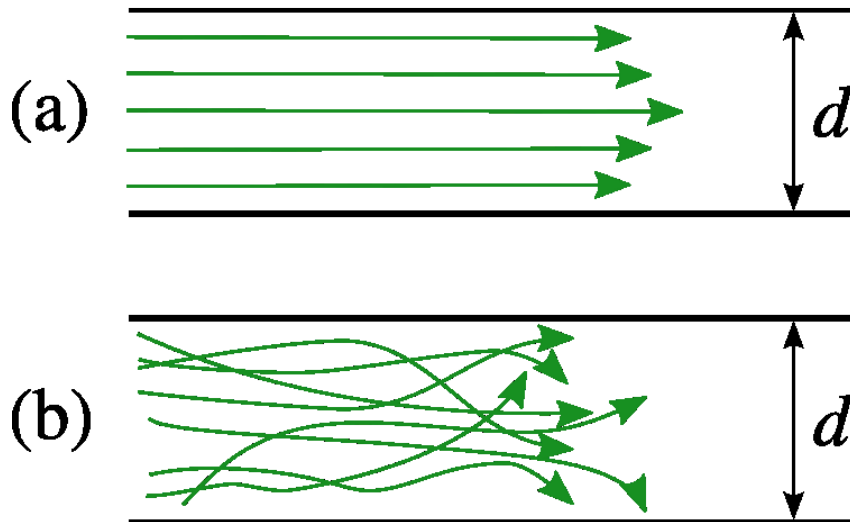
$\nu = \frac{\eta}{\rho}$  = kinemaattinen viskositeetti (m<sup>2</sup>/s)

### 2.3.2 Laminaarinen virtaus

Laminaarisessa virtauksessa nesteosaset etenevät tasaisina rinnakkaisina kerroksina virtauksen suuntaan. Eri nopeuksilla etenevät kerrokset voivat ohittaa toisensa sekoittumatta. Virtauksen katsotaan olevan pyöreissä putkissa laminaarista, kun Reynoldsin luku on pienempi kuin noin 2300. Laminaarisessa virtauksessa putken pinnankarheus ei vaikuta kitkahäviöihin.

### 2.3.3 Turbulenttinen virtaus

Turbulenttinen virtaus on pyörteistä, jossa nesteosaset sekoittuvat jatkuvasti. Tällöin myös putken pinnankarheudella on vaikutus virtausvastukseen. Vaikka laminaarinen virtaus on pienemmän vastuksen kannalta parempi, turbulentti virtaus parantaa lämmön siirtoa lisäämällä konvektiota. Virtaus on turbulenttista, kun Reynoldsin luku on suurempi kuin 2300-2500. Virtaus voi olla laminaaria myös tätä suuremmilla Reynoldsin arvoilla, mutta tällöin pienikin häiriö voi muuttaa virtauksen turbulentiksi. (Paanu 2007, 2.)



Kuva 1. Virtaustyypit: a) Laminaarinen virtaus, b) turbulenttinen virtaus (Wikimedia Commons).

#### 2.3.4 Jatkuvuusyhtälö

”Kun putkeen johdetaan ainetta siten, että syöttömäärä pysyy ajan suhteen vakiona, putkeen muodostuu stationaarinen eli ajan suhteen muuttumaton virtaus. Putken jokaisen poikkileikkauksen kautta kulkee siis sama ainemäärä.” (Paanu 2007, 2.)

Yleisesti kun puhutaan virtausnopeudesta, tarkoitetaan keskimääräistä virtausnopeutta. Todellisuudessa virtauksen nopeus putkessa ei ole vakio, vaan nopeus keskellä putkea on suurempi kuin lähellä seiniä. Keskimääräisellä virtausnopeudella saadaan siis määritettyä, kuinka suuri tilavuusvirta saadaan tietyn poikkipinta-alan putkesta.

$$q_v = vA$$

$$q_v = \text{tilavuusvirta}$$

$$A = \text{putken sisäosan poikkipinta-ala}$$

$$v = \text{keskimääräinen virtausnopeus}$$

Kun virtaavan nesteen tiheys  $\rho$  tunnetaan, massavirran suurus on

$$q_m = \rho v A = \frac{q_v}{\rho}$$

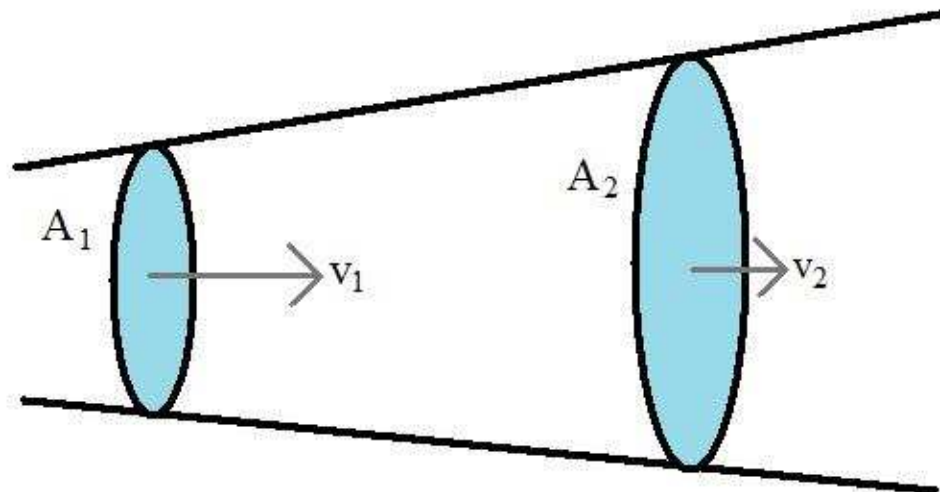
Kun tämä yhdistetään aikaisemmin esitettyyn lämpövirran yhtälöön, voidaan laskea esimerkiksi lämmönvaihtimessa siirtyvä teho, kun tunnetaan tilavuusvirta ja lämpötilat ennen lämmönvaihtintaa ja sen jälkeen.

$$P = \rho v A c_p \Delta T$$

Koska stationaarisessa virtauksessa jokaisen poikkileikkauksen läpi virtaa sama ainemäärä, voidaan johtaa, että kokoonpuristumattomalla nesteellä myös massa- ja tilavuusvirta ovat vakioita.

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \Rightarrow v_1 A_1 \approx v_2 A_2 = q_v = \text{vakio}$$

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \Rightarrow \rho v A = q_m = \text{vakio}$$



Kuva 2. Virtauksen jatkuvuus.

## 3 LAIVAN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

### 3.1 Merivesijärjestelmä

Merivesijärjestelmän tarkoituksena on siirtää laivan koneistossa ja laitteistossa syntyvä hukkalämpö meriveteen. Nykyaikaisissa laivoissa käytetään keskusjäähdytysjärjestelmää, jossa merivettä kierrätetään vain keskusjäähdyttimien (Central coolers) kautta, täten vähentäen korroosiota aiheuttavan meriveden kanssa kosketuksessa olevien laitteiden ja putkiston määrää. Keskusjäähdyttimillä jäähdytetään makeaa vettä, jota voidaan kierrättää laiteilla tai seuraavien jäähdytyspiirien lämmönsiirtimillä ilman tarvetta käyttää kalliita meriveden kestäviä materiaaleja.

Keskusjäähdyttimet vastaavat siis kapasiteetillaan koko järjestelmän jäähdytystarpeesta. Mitoitukseen käytetään meriveden lämpötilaa tropiikkiolosuhteissa, joka on 32 °C. Meriveden ulostulolämpötilaksi valitaan yleensä noin 40-45 °C. Yli 45 °C lämpötila aiheuttaa meriveden suolan kerrostumisen putkien ja lämmönvaihtimien pinnoille sekä nostaa LT-veden lämpötilan ennen jäähdyttimiä turhan korkeaksi. Liian matala ulostulolämpötila toisaalta kasvattaa turhaan lämmönsiirtimen kokoa. Tehon mitoitukseen on käytössä erilaisia variaatioita. Yleisiä ovat 2 tai 3\*50 %, 2\*60 % ja 2\*100 %. Koska todellisessa käyttötilanteessa ei normaalisti ajeta täydellä kuormalla sekä meriveden lämpötila on matalampi kuin 32 °C, riittää 2\*60 % mitoituksella, että vain toinen jäähdyttimistä on käytössä. 2\*60 % sallii myös virtauksen ja jäähdytettävien laitteiden lisäämisen myöhemmin ilman tarvetta kasvattaa jäähdyttimen tehoa. Toisaalta jäähdyttimen tehoa ei yleensä haluta ylittää niiden kalliiden materiaalien takia.

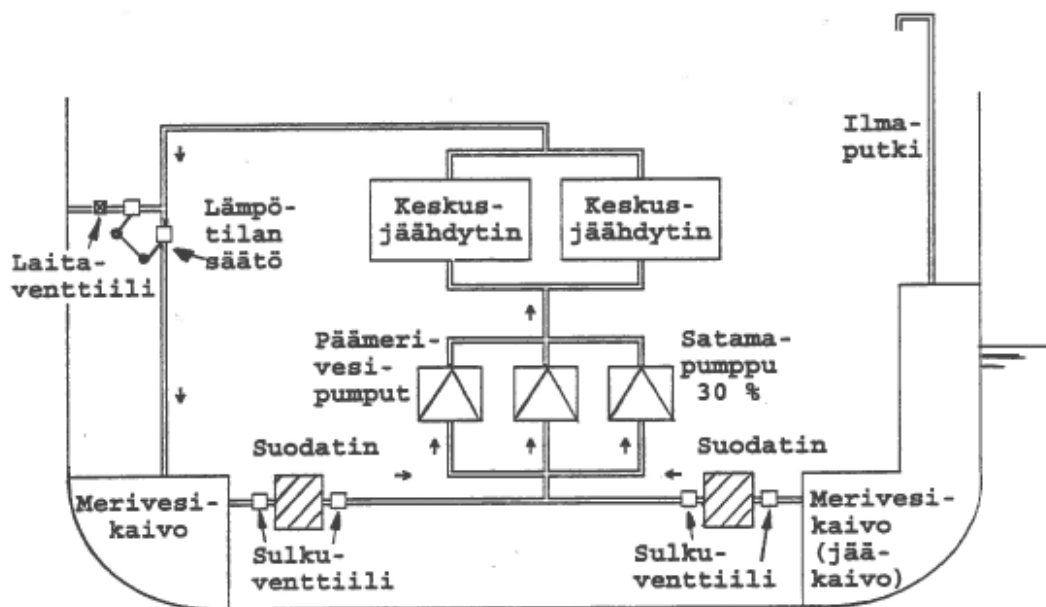
Merivesipumput mitoitetaan kuten jäähdyttimetkin siten, että tarvittava virtaus saavutetaan yhdellä tai useammalla pumpulla yhden ollessa varalla. Lisäksi satamaolosuhteita varten, jolloin esimerkiksi päämoottoria ei käytetä, voidaan varata oma pienemmän kapasiteetin satamapumppu. Tällöin voidaan säästää



pumppujen energiakustannuksissa. Taajuusmuuttajien käytön lisääntyminen niiden halpenemisen seurauksena tekee tosin tästä järjestelystä tarpeettoman.

Jäähdytyskäytön lisäksi merivesipumppuja käytetään usein ensisijaisina hätäpilssipumppuina luokituslaitosten vaatimuksesta.

Merivesi kierrätetään merivesikaivoilta pumpuilla jäähdyttimien kautta laidan yli takaisin mereen. Jääluokkien vaatimuksesta järjestelmä varustetaan putkilynalla, jota kautta lämmennyt merivettä voidaan kierrättää takaisin merivesikaivoon pitäen sen sulana ja estäen liian kylmän meriveden aiheuttamia haittoja. Merivesikaivot on yleensä järjestetty molemmin puolin laivaa toisen näistä ollessa ns. korkea- (jää) ja toisen matala merivesikaivo, vähentäen jäiden, syvyyden muutoksen ja matalassa vedessä ajon aiheuttamia ongelmia. Merivesikaivot yhdistetään laitaventtiilien ja suodattimien kautta yhdysputkella (crossover) tai runkokanavalla (suction bay), jolloin merivesipumppujen ja muiden merivettä käyttävien järjestelmien imu voidaan ottaa samasta linjasta, riippumatta kumpi kaivoista on käytössä.



Kuva 3. Yksinkertaisen rahtilaivan merivesijäähdytysjärjestelmä (Sulzer Diesel / Häkkinen, 176).

## 3.2 Makeavesijärjestelmät

Makeavesijäähdytysjärjestelmät ovat suljettuja kiertoja, joissa kierrätetään vettä makeavesijäähdytyspumpuilla jäähdyttimien kautta tarvittaville laiteille ja jäähdyttimille. Makeavesijärjestelmät jaetaan matalan (LT) ja korkean lämpötilan (HT) piireihin.

### 3.2.1 HT-vesipiiri

HT-vedellä jäähdytetään pääasiassa päämoottorin vaippaa. Sen ulostulolämpötila on noin 80-90 °C. Piiri varustetaan usein moottorikohtaisella pumpulla ja varapumpulla.

Päämoottorin ahtoilma jäähdytetään joko sekä HT- että LT-vedellä, mikä helpottaa lämmön talteenottoa ja mahdollistaa kylmässä ympäristössä HT-veden käytön imuilman lämmitykseen, vain LT-vedellä, jolloin ilman lämmitys tapahtuu muilla keinoilla tai harvemmin merivedellä. HT-veden käytöllä saadaan etua myös alhaisella kuormalla raskasöljyn palamiselle. Tällöin kaksiosaisesta ilmanjäähdyttimestä voidaan sulkea LT-kierto, jolloin HT-veden lämmöllä saavutetaan riittävän korkea imuilman lämpötila.

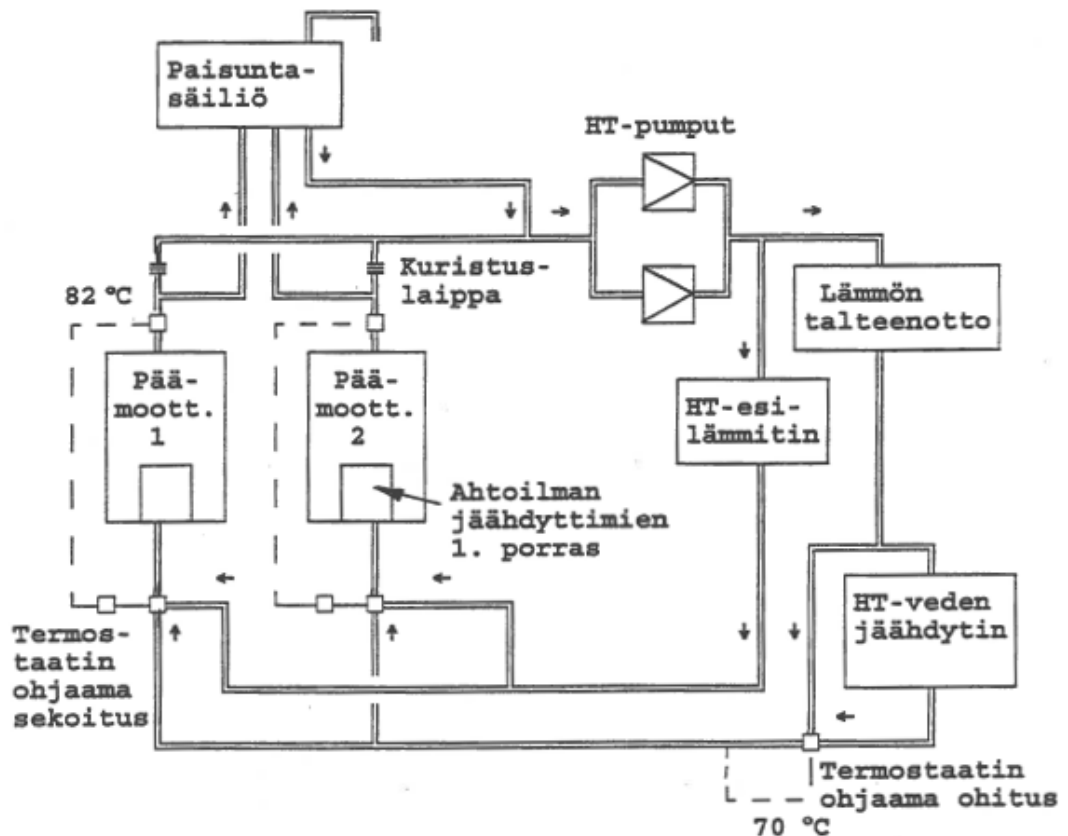
Apumoottoreissa on yleisesti sisäinen HT-vesikierto jäähdyttimien suorakäyttöisellä pumpulla, mikä yksinkertaistaa putkitusta ja asennusta.

HT-vesi jäähdytetään joko jäähdyttimessä, jossa kiertää merivesi tai LT-vesi, tai sekoittamalla siihen säätöventtiilin ohjaama määrä kylmempää LT-vettä.

Koska oikean käyntilämpötilan saavuttaminen nopeasti on päämoottorin toiminnan kannalta tärkeää, HT-vesipiiri varustetaan omalla esilämmityskierolla, jolla lämpötila nostetaan riittävän korkeaksi n. 70 °C ennen moottorin käynnistystä. Moottorivalmistaja MAN suosittelee esilämmittimen tehon mitoittamiseen perussääntönä 35 °C lämpötilan nostoa (15 °C → 50 °C) 12 tunnin aikana, jolloin esilämmittimen teho vastaa noin 1 % moottorin MCR-tehosta. Esilämmityspiirin pumpun kapasiteetiksi suositellaan noin 10 % HT-vesipumpun tuotosta. (MAN B&W)

HT-järjestelmä varustetaan pumppujen imupuolelle sijoitettavalla ilmanpoistotankilla sekä korkealle sijoitetulla paisuntasäiliöllä, jonka tilavuus on noin 10 % järjestelmässä kiertävän veden tilavuudesta.

HT-vesipiiriä suunniteltaessa on noudatettava moottorivalmistajan projektiopasta.



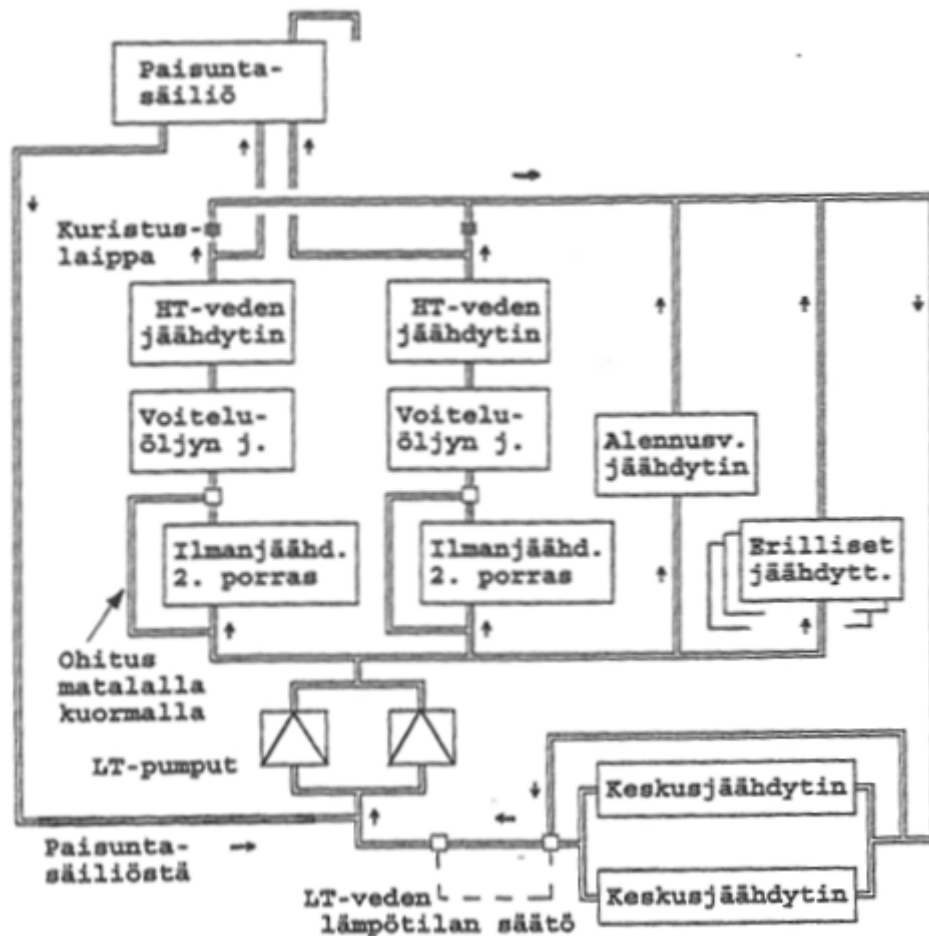
Kuva 4. Kahden moottorin HT-järjestelmä, jossa erillinen HT/LT-jäähdytin, moottorikohtainen lämpötilasäätö ja yhteiset pumput (Häkkinen, 174).

### 3.2.2 LT-vesipiiri

LT-vettä käytetään päämoottorin ahtoilman, voiteluöljyn, apumoottoreiden ja kaikkien muiden laitteiden jäähdytykseen. LT-vesipiirin lämpötila jäähdyttimien jälkeen on noin 36-38 °C. Yhdellä ja kahdella päämoottorilla varustetuissa laivoissa käytetään usein yhtä LT-vesipiiriä, joka on varustettu kahdella pumpulla, joista toinen on varalla. Jos päämoottoreita on enemmän, voidaan

käyttää useampaa erillistä kiertoa. Apumoottoreille ja muille kohteille voidaan myös järjestää oma kierto, joka on erillään päämoottorin järjestelmästä.

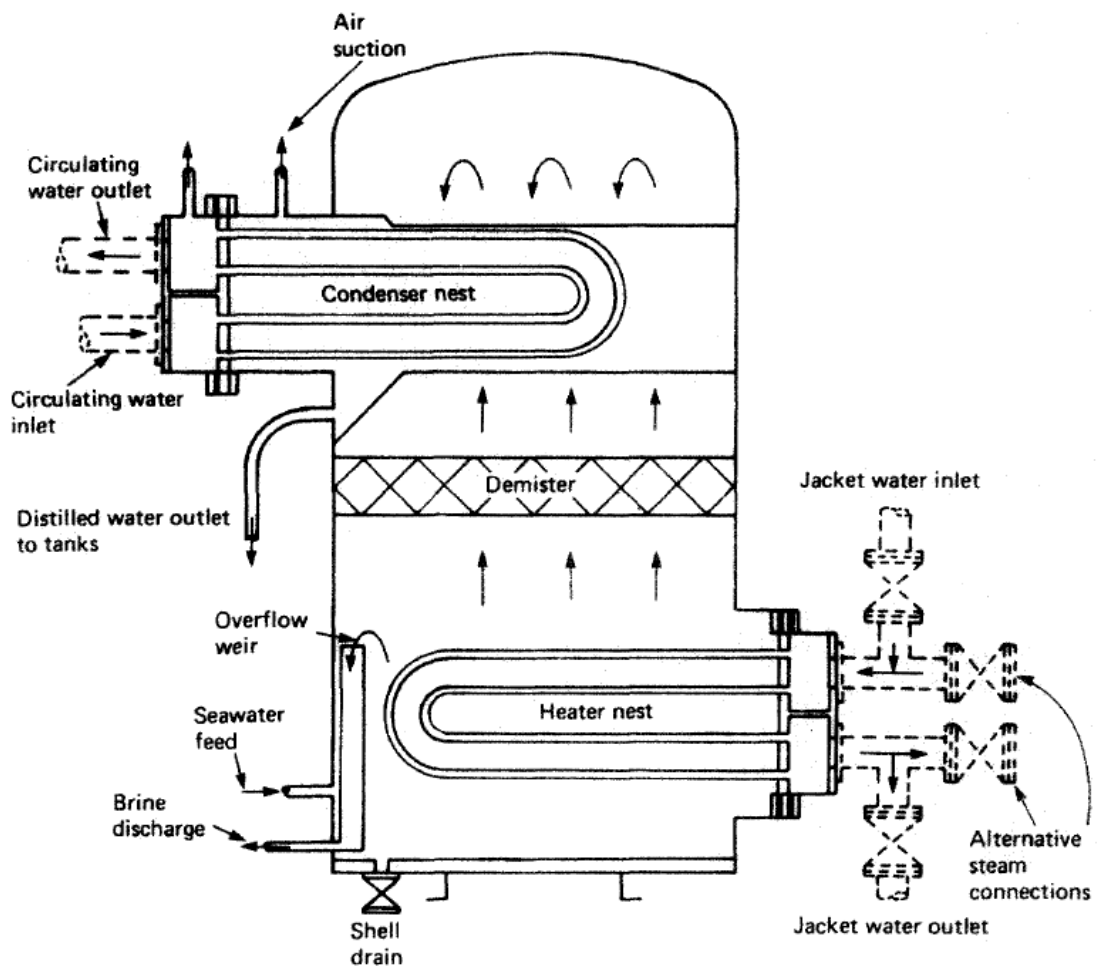
Kuten merivesijärjestelmässä LT-vedessä voidaan käyttää myös pienempituottoista satamapumppua pumppausenergian säästämiseksi. LT-vesijärjestelmä varustetaan myös korkealle sijoitetulla paisuntasäiliöllä, josta johdetaan putki lähelle pumppujen imuyhdettä.



Kuva 5. Kaksimoottorisen laivan LT-järjestelmä moottorikohtaisilla pumpuilla ja HT-jäähdyttimillä (Häkkinen, 175).

### 3.3 Hukkalämmön hyödyntäminen

HT-veden hukkalämpöä käytetään yleisesti hyödyksi makeanveden kehittämiseen evaporaattoreilla, jotka mahdollistavat veden tislauksen alle sen normaalin kiehumispisteen alipainetta hyväksikäyttäen. HT-veden lämpöä voidaan käyttää myös hyödyksi ilmastointilaitteissa ilman lämmitykseen. Matalan lämpötilan johdosta LT-veden lämmön hyödyntäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa, vaikka olisikin mahdollista.



Kuva 6. 1-portainen evaporaattori (Taylor, 142).

## 4 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

### 4.1 Putket

Jäähdytysjärjestelmän putkien materiaalivalintaan vaikuttavat useat seikat. Merivesiputkistoissa haasteita asettaa meriveden suolaisuus, korroosio, veden likaisuus ja orgaaniset kasvustot sekä suhteellisen korkea virtausnopeus. Yleisimpiä putkimateriaaleja merivedelle ovat kupari-nikkelirautaseokset (CuNiFer), kumioitu teräs ja viime aikoina yleistyneet lasikuituvahvisteiset muoviputket (GRE).

Kuparinikkelin hyviä puolia ovat korroosionkesto puhtaassa merivedessä sekä kuparin kasvuston kiinnittymistä estävät ominaisuudet. Huonoina puolina on korkean hinnan lisäksi likaisen ja kiintoaineita sisältävän veden aiheuttama korroosio, sekä suuri nopeuksilla turbulenttisilla virtauksilla syntyvä materiaalin eroosio.

Kumioidut teräsputket ovat verrattain edullisia ja niillä on hyvä korroosion kesto. Lisäksi ne kestävät hyvin veden likaisuuden ja kiintoaineiden kulutuksen.

Lasikuituvahvisteisen muoviputken hyviä puolia ovat sen hyvä korroosionkesto, kemiallinen kestävyys, keveys, pieni virtausvastus, ja jos valmistajia on uskomisen, edullinen hinta laivan elinkaaren aikana (Ameron). Putkiston keveys tuo etua painon säästössä, ja se myös helpottaa asennusta. Huonona puolena on materiaalin arkuus mekaanisille vaurioille. (Häkkinen 1993, 155.)

Makeavesisysteemeissä putkimateriaalina käytetään yleensä mustaa terästä. Nestekierrossa käytettävät inhibiittorit estävät korroosiota, joten putkea tarvitse eikä saakaan pinnoittaa sisältä esimerkiksi galvanoimalla. Putken ulkopinta on yleensä maalattu.

## Putkiston mitoittaminen

Jäähdytysjärjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että putkikoot on valittu oikein. Jos kustannussyistä valitaan liian pieni halkaisijamittainen putki, virtausnopeus ja siten painehäviöt kasvavat eikä laite välttämättä saa tarvitsemaansa jäähdytystä. Valmiin putkiston virtausmäärät varmistetaan mittaamalla ja tarvittavat säädöt tehdään kurituslaipoilla. Suuret korjaukset ovat osoitus suunnitteluvirheistä. (Häkkinen 1993, 155.)

Koska painehäviölaskut on rajattu työn ulkopuolelle, putkikoot määritetään virtausnopeuden ja siirrettävän lämmön perusteella aikaisemmin esitetyin menetelmin. Painehäviöt tullaan laskemaan muilla keinoilla silloin, kun se koetaan tarpeelliseksi.

## 4.2 Pumput

Pumput voidaan jakaa toimintaperiaatteiden mukaan kahteen ryhmään; hydrodynaamisiin pumppuihin ja syrjäytuspumppuihin. Hydrodynaamiset pumput kiihdyttävät pumpattavan nesteen nopeutta antaen sille liike-energiaa, joka muuttuu osin paineeksi virtauksen hidastuttua. Yleisin hydrodynaaminen pumppu ja samalla yleisin jäähdytysjärjestelmän pumppu on keskipakoispumppu.

Pumpun  $NPSH_P$ -arvo ilmoittaa, kuinka paljon painetta pumpun imupuolella tarvitaan yli nesteen höyrynpaineen. Jos imupuolen paine alittaa vaadittavan paineen, syntyy nesteeseen höyrykuplia aiheuttaen pumpun kavitointia. Imuputkelle määritettävä  $NPSH_A$ -arvon tulee siis olla suurempi kuin pumpun vaatima arvo.

Merivesijäähdytysjärjestelmässä pumput on normaalisti sijoitettu konehuoneen alimmalle kannelle lähelle merivesikaivoja. Kun imuputket ovat vielä lyhyitä niin pumppuun nähden korkealla oleva meriveden pinta luo riittävän paineen, eikä  $NPSH_P$  muodostu kriittiseksi tekijäksi.

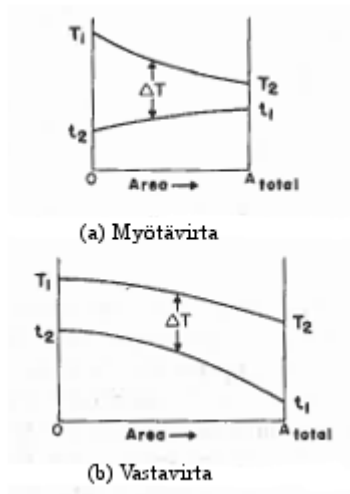
HT- ja LT-vesikierrossa nesteen korkea lämpötila nostaa imupuolelle vaadittavaa painetta. Tämän takia suljetut kierrot varustetaan korkealle sijoitetulla paisuntasäiliöllä, joka tuottaa tarvittavan staattisen paineen. Tämän lisäksi paisuntasäiliön tehtävän on nimensä mukaisesti sallia nesteen lämpölaajeneminen, jotta koneiston jäähtyessä nesteen pinta ei laskisi ja aiheuttaisi ilmataskuja, korvata kierrosta häviävä neste sekä poistaa mahdollinen ilma ja höyry. Suurempien vuotojen varalta säiliö varustetaan matalan nestepinnan hälytyksellä. Paisuntasäiliöstä johdetaan putki mahdollisimman lähelle pumpun imuyhdettä sekä ilmanerottimelle (deaerator).

### 4.3 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimen tehtävä on siirtää lämpöä väliaineesta toiseen sekoittamatta niitä keskenään. Ne voivat olla käyttötarkoitukseltaan lämmittimiä tai jäädyttimiä ja niiden väliaineina voi toimia neste, höyry tai kaasu. Väliaineiden virtauksessa voidaan käyttää vasta-, risti- tai myötävirtaperiaatetta. Vastavirralla saavutetaan tasaisempi lämpötilaero, joka pienentää lämmönsiirtimen kokoa sekä lämmönvaihtelun aiheuttamia rasituksia. Koska väliaineiden lämpötilaero ei pysy vakiona, pitää lämmönsiirtopinta-alaa laskettaessa käyttää ns. logaritmista lämpötilaeroa  $\theta_{ln}$

$$\theta_{ln} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\ln \frac{\theta_2}{\theta_1}}$$





Kuva 7. Lämpötilaero myötä- ja vastavirtalämmönsiirtimessä (Harrington 1992, 601).

Kun kirjallisuudesta saatava lämmönsiirtimen lämmönläpäisykerroin tunnetaan, voidaan lämmönsiirtopinta-ala arvioida kaavalla

$$A = \frac{\phi}{Fk\theta_{ln}}$$

$\phi$  = lämmönsiirtimen teho

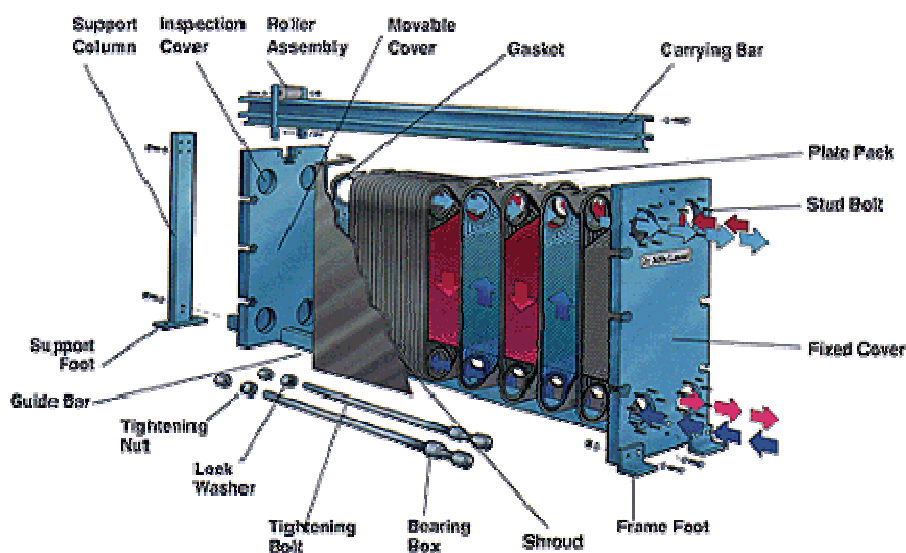
$F$  = korjauskerroin ristivirta- ja yhdistelmälämmönvaihtimille. Myötä- ja vastavirralla =1

$k$  = keskimääräinen lämmönläpäisykerroin  $\frac{W}{m^2K}$

Jäähdytysjärjestelmää suunniteltaessa ei ole yleensä tarve mennä näin syvälle lämmönsiirtimen mitoitukseen, vaan ostoon riittää tieto lämmönsiirtimen tehosta, tilavuusvirrasta, paineesta ja lämpötiloista. Lämmönsiirtimien tehoon lisätään yleensä noin 10-15 % likaantumisen varalta.

### 4.3.1 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin koostuu teräksisten päätylevyjen väliin puristetuista ohuista metallilevyistä. Väliaineet virtaa sisään päädyn putkiyhteistä ja ohjataan vuorotellen oikeiden lämmönsiirrinlevyjen väliin levyissä olevilla erilaisilla tiivisteillä. Levyt on muotoiltu lämmönsiirron maksimoimiseksi ja kestääkseen eri puolien paine-erot painehäviöiden lisääntymisen kustannuksella. Lämmönsiirrinlevyt on yleensä merivesipuolella titaania ja makeaa vettä käytettäessä ruostumatonta terästä. Levylämmönsiirtimien käyttö on yleistynyt niiden pienten ulkomittojen, hyvän puhdistettavuuden ja niiden rakenteen mahdollistaman levyjen jälkikäteen lisäämisen ansiosta.

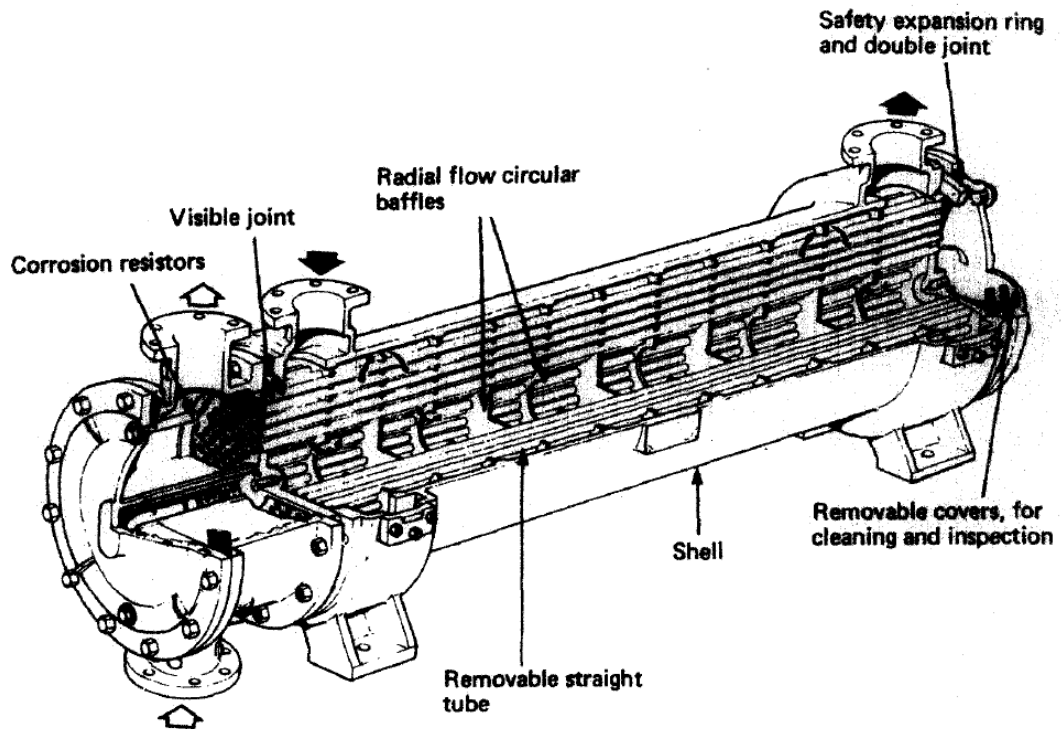


Kuva 8. Tyypillisen vastavirtalevylämmönsiirtimen rakenne ja virtaus (Alfa Laval / Seco).

### 4.3.2 Putkilämmönsiirrin

Putkilämmönsiirrin koostuu sylinterimäisestä vaipasta sekä sen sisälle sijoitetusta putkipaketista. Putkissa ja vaipassa virtaavat väliaineet on eristetty toisistaan tiivistetyillä päätylevyillä. Putkipaketti on yleensä tuettu välilevyin, jotka samalla ohjaavat virtausta. Puhdistaminen ja korjaaminen vaatii putkipaketin ulosvetoa vaipasta, mikä tuottaa ongelmia suurilla lämmönvaihtimilla ahtaissa konehuoneissa. Tämän takia putkilämmönsiirtimiä

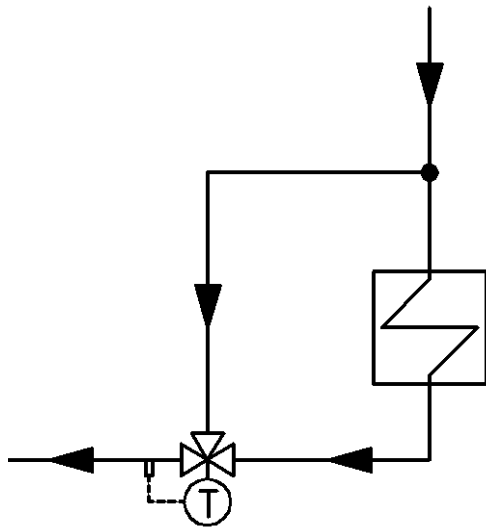
käytetään lähinnä kohteissa, jotka eivät vaadi suuritehoista lämmönsiirintä ja väliaineet ovat puhtaita vähentäen huollon tarvetta.



Kuva 9. Ristivirtaputkilämmönsiirrin (Taylor 1996, 138).

#### 4.4 Venttiilit ja virtauksen säätö

Jäähdytysveden lämpötila säädetään asetettuun arvoon automaattisella lämpötilaohjatulla kolmitieventtiilillä. Venttiilillä ohjataan osa virtauksesta kulkemaan lämmönsiirtimen ohi vähentäen jäähdytystä. HT-vettä voidaan jäähdyttää myös sekoittamalla siihen LT-vettä, kun LT-veden likaantumisen riskiä ei ole.



Kuva 10. Lämmönsäätö kolmitieventtiilillä.

Lämmönsiirtimet, pumput ja jäähdytettävät laitteet varustetaan sulkuventtiileillä, jotta ne voidaan irrottaa kierrosta huollon ajaksi sulkematta koko järjestelmää. Sulkuventtiileinä käytetään tyypillisesti niiden koosta riippuen istukka- tai läppäventtiilejä. Pumput varustetaan painepuolen takaiskuventtiileillä estämään virtaus väärään suuntaan, kun jokin pumpuista ei ole käytössä.

Oikea virtausjakauma jäähdytysjärjestelmän haarojen välillä varmistetaan kuristuslaipoilla tai säätöventtiileillä ja takaiskuventtiileillä, jotta myös pienimmät ja kauimpana olevat haarat saisivat tarvitsemansa virtauksen.

## 5 LASKENTASOVELLUS

### 5.1 Yleistä sovelluksesta

Opinnäytetyössä tehty sovellus on kaksiosainen. Tietojen syöttö, jäähdytysjärjestelmän kapasiteetin laskeminen ja muut laskut sekä yksinkertaistettu tikapuukaavio järjestelmän laitteista suoritetaan Excel taulukkolaskentaohjelmassa. Laskettujen tietojen perusteella luodaan listaus tarvittavista attribuuttitiedoista, jotka siirretään esivalmisteltuihin CAD-pohjaisiin putkikaavioihin. Kaavioita on kaksi: merivesijäähdytys- ja makeavesijäähdytyskaavio.

Sovelluksessa laskettavia arvoja ovat jäähdyttimien ja pumppujen kapasiteetti, yksittäisten laitteiden tarvitsemat virtausmäärät, veden ulostulolämpötilat sekä putkikoot jäähdytettävälle laitteille, pumppuille sekä jäähdyttimille.

Tietojen syöttö ja havainnollisen tikapuukaavion luonti on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi ja helppotajuiseksi. Monimutkaiset lasku- ja hakutoiminnot on yksinkertaistettu käyttämällä Excelin UDF-ympäristöä (User-Defined Function). Nämä määritellyt funktiot toimivat kuten mikä tahansa muukin Excelin funktio. Se sijoitetaan haluttuun soluun ja määrätään, mitä kenttiä se ottaa laskuissa huomioon. Perinteiseen kaavansyöttöön verrattuna tämä vähentää virheiden mahdollisuutta, nopeuttaen ja yksinkertaistaen työtä. Macroin käyttöön verrattuna UDF:n hyvänä puolena on, että sitä ei tarvitse erikseen käynnistää vaan se laskee reaaliaikaisesti päivittäen tulosta, jos jokin lähtötiedoista muuttuu. Osa toiminnoista on toteutettu taulukoissa sijaitsevista painikkeista käynnistyvillä macroilla. Macro ja UDF perustuvat samaan Excelin käyttämään VBA-koodiin (Visual Basic for Applications-ohjelmointikieli).

## 5.2 Tietojen syöttö

Sovelluksen ensimmäiselle välilehdelle syötetään järjestelmän lähtötiedot. Mustalla kirjasimella merkattuihin soluihin tulee tieto täyttää käsin. Sovelluksen automaattisesti laskemat solut on merkattu sinisellä kirjasimella.

Kuvakaappaus tiedonsyöttölehdessä liitteessä 1. Lähtötiedot perustuvat erääseen Panamax-kokoluokan irtolastilaivaan.

Laitekohtaisia syötettäviä tietoja ovat:

- laitteen nimi
- laitenumero
- lukumäärä
- vaadittu jäähdytysteho
- vaadittu jäähdytysveden tilavuusvirta
- kuorma suunnittelutilanteessa ja satamassa.

Lisäksi käsin täytyy syöttää jäähdyttimien ja pumppujen lukumäärä sekä kuorma ja valitut LT- ja merivesijäähdyttimen ulostulolämpötilat.

Jos laitteen tarvitseman jäähdytysveden tilavuusvirta ei ole tiedossa, voi taulukkoon sijoittaa laitekohtaisesti maksimilämpötilan, jolloin sovellus laskee tarvittavan tilavuusvirran ja ulostulolämpötilan valitulle tilavuusvirralle.

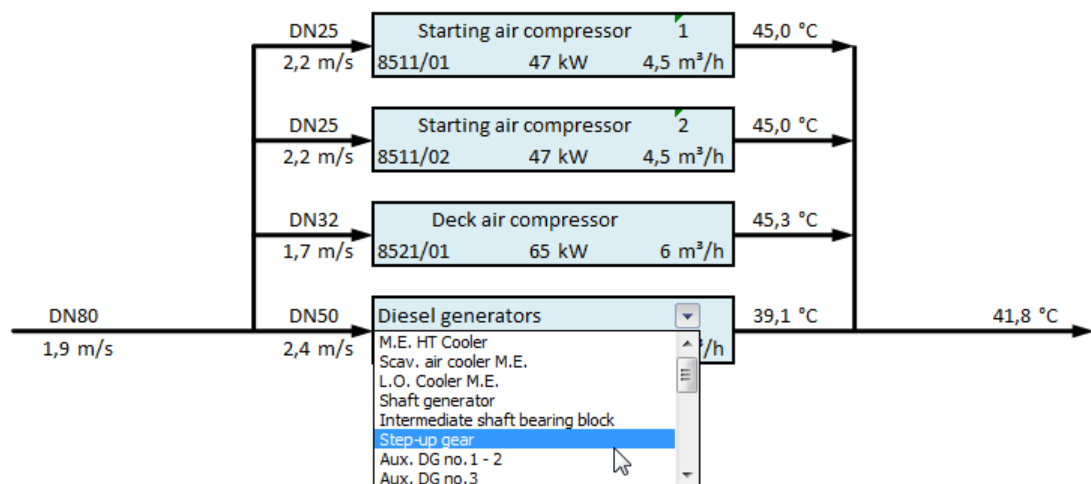
Kun tarvittavat tiedot on täytetty, taulukko summaa kokonaistehon ja tilavuusvirran. Näiden tietojen avulla voidaan määrittää LT-vesipumpun ja jäähdyttimen kapasiteetti, kun niiden lukumäärä ja kuorma on annettu.

Merivesipumppujen kapasiteetin määrittäminen tapahtuu iteroimalla. Meriveden ulostulolämpötilalle valitaan sopiva arvo (n. 40 – 45 °C), jonka perusteella lasketaan pumpun kapasiteetti. Tämän arvon perusteella pumpulle valitaan sopiva kapasiteetti, jonka jälkeen lasketaan todellinen meriveden ulostulolämpötila.

### 5.3 Excel-kaavion luonti

Sen jälkeen kun lähtötiedot on määritetty, voidaan muodostaa havainnollinen tikapuukaavio sovelluksen seuraavalle välilehdelle. Kaavioon voidaan lisätä uusi haara, joka sisältää yhdestä kymmeneen laitetta tai pumpun ja lämmönvaihtimen insert equipment -napista. Kaaviossa jokaista laitetta edustaa laatikko, joka sisältää laitteen nimen, laitenumeron, lämpötehon, tilavuusvirran sekä laitteen järjestysnumeron, jos samanlaisia laitteita on useampia kuin yksi. Laitte valitaan sen nimen kohdalta aukeavasta alasvetovalikosta ja tiedot haetaan lähtötiedoista. Kaikki lähtötietoihin tehtävät muutokset päivittyvät automaattisesti myös kaavioon. Kaavion tekeminen on myös hyvin nopeaa, koska käsin tarvitsee vain valita laitteiden järjestys haaroissa ja haarojen lukumäärä. Kaavion muokkaaminen jälkikäteen on myös helppoa.

Lähtötietojen näytön lisäksi kaaviossa lasketaan laitteen ja koko haaran jälkeinen lämpötila sekä määritetään putkikoot ja virtausnopeus putkikoolle. Putkikoko määritetään asetetun maksimivirtausnopeuden ja putkimateriaalin perusteella. Sovellus sisältää taulukoituna eri standardien mukaiset putkikoot jolloin putkimateriaalin tai standardin vaihto käy helposti. Putkikoon voi myös kirjoittaa yli jolloin virtausnopeus lasketaan ylikirjoitetun putkikoon mukaisesti.



Kuva 11. Esimerkki neljän laitteen haarasta.

Kuvakaappaus lähtötietojen pohjalta täytetystä kaaviosta liitteessä 2.

Todellisuudessa jäähdytysjärjestelmä ei ole näin yksinkertainen vaan haarat jakautuvat usein uusiksi haaroiksi. Tämän takia sovellukseen on lisätty välilehti, jonka avulla voi laskea virtauksen halutulle (rajoittamattomalle) määrälle laitteita.

FW Pipe material: ST: ANSI SCH40		Maximum velocity: 2,5 m/s		Temp. In: 36 °C			
Equipment	Heat kW	Flow m <sup>3</sup> /h	Temp Out °C	Suggested DN	Chosen DN	v m/s	
Dirty condensate cooler	150	20	42,5	DN65	DN50	2,57	
Chiller units for accommodation	185	28,9	41,5	DN80		1,68	
Chiller units for accommodation	185	28,9	41,5	DN80		1,68	
Refrigerating plant for provision	15,6	4,6	38,9	DN25		2,29	
AHU for galley	25	6,8	39,2	DN32		1,95	
HPU for cargo hatch covers	5	8	36,5	DN32		2,30	
Step-up gear							
Aux. DG no.1 - 2							
Aux. DG no.3							
Diesel generators							
HPU for cargo hatch covers							
HPU for SUL boom, gates, doors							
Chiller units for accommodation							
Refrigerating plant for provision							
<b>TOTAL:</b>	<b>565,6</b>	<b>97,2</b>	<b>41,0</b>	<b>DN125</b>		<b>2,09</b>	

Kuva 12. Kuvakaappaus laskurista.

Taulukon yläreunassa valitaan käytettävä putkimateriaali, suurin sallittu virtausnopeus sekä jäähdytysveden lämpötila. Virtausnopeuden kohdalla on huomattava, että vaikka nopeus 2,51 m/s olisi hyväksyttävä, sovellus valitsee seuraavan putkikoon, koska nopeus olisi muutoin suurempi kuin raja-arvo (2,5 m/s). Tämän takia käyttäjä voi valita putkikoon "Chosen DN"-kenttään. Jos nopeus valitulla putkikoolla ylittää asetetun maksimin, nopeuskenttä muuttuu punaiseksi.

#### 5.4 Tulosten siirto CAD-kaavioon

Yleisen tavan mukaisesti meri- ja makeavesijärjestelmä on erotettu omiksi kaavioiksi. Kaaviot ovat esivalmisteltuja ja pitävät sisällään pumput,

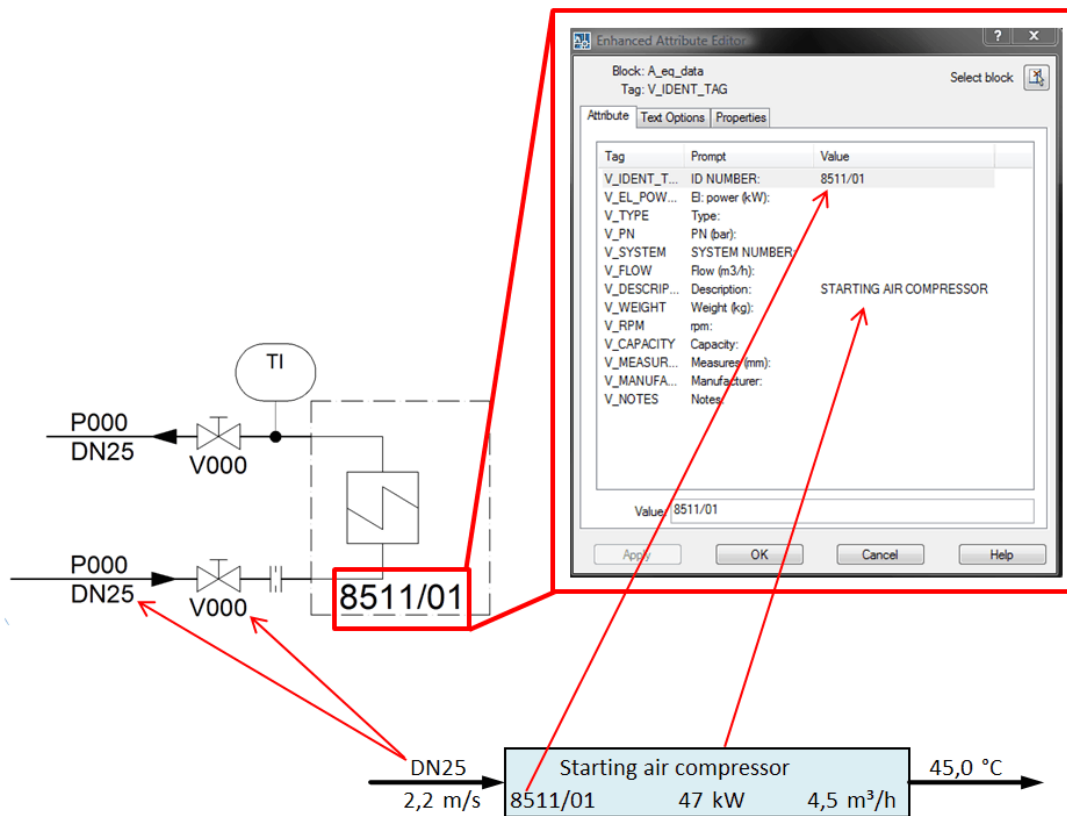


suodattimet, jäähdyttimet, laitteet sekä niiden yhteydessä olevat putket, venttiilit ja instrumentoinnit. Merivesijärjestelmä on rajoitettu neljään pumppuun ja jäähdytimeen. Makeavesijärjestelmässä pumppuja ja jäähdyttimiä voi olla kuusi sekä laitteita enintään 40. Excel-kaaviossa komponenttien lukumäärä on käytännössä rajoittamaton.

Laitteiden, putkien ja venttiilien tiedot on tallennettu attribuuttiblokkeihin. Laskentataulukko pitää sisällään tiedon näistä blokeista. Kun Excel-kaavio on valmis, painikkeesta käynnistetään macro, joka vie siirrettävät tiedot attribuuttilistalle ja tallentaa sen AutoCAD:n ymmärtämään tekstimuotoon. AutoCAD:illä tiedot tuodaan ATTIN-komenolla, joka päivittää kaavion tiedot tehdyn listauksen mukaiseksi. AutoCAD- tai ZWCAD-ohjelmassa on oltava express-työkalupaketti asennettuna, jotta tätä toimintaa voi käyttää.

Siirrettäviä tietoja ovat nimi sekä kapasiteetti pumpuille ja jäähdyttimille, DN-koko putkille ja venttiileille ja nimi sekä laitenumero laitteille.

Kuva 13 esittää yhtä laitetta molemmissa kaavioissa. CAD-kaavio siis koostuu 40 vastaavanlaisesta laitteesta, joista ylimääräiset voi siirtää syrjään tai poistaa tiedonsiirron jälkeen. Tämän jälkeen kaavioon on lisättävä käsin jakolinjat ja muotoiltava kaavio halutunlaiseksi.



Kuva 13. Yksittäisen laitteen CAD-kaavioon siirrettävät tiedot.

## 6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tuottaa Deltamarin Oy:lle sovellus laivan jäähdytysvesijärjestelmän laskentaan ja putkistokaavion luontiin. Työssä perehdyttiin tarvittavaan teoriaan ja selvitettiin jäähdytysjärjestelmän yleiset komponentit sekä järjestelmän toiminta.

Putkiston painehäviöt rajattiin työn laajuuden ulkopuolelle. Tämän lisääminen jää mahdolliseksi jatkokehitykseksi. Koska laskentataulukossa lasketaan jo putkikoot ja virtausnopeudet, linjan painehäviön selvittämiseksi tarvitaan enää putken pituus ja kertavastukset. Näiden lisääminen ei ole välttämättä työlästä, mutta saattaa tehdä sovelluksesta vaikeaselkoisemman.

Työssä saavutettiin tavoitteet laskennan ja Excel-kaavion luonnin osuudelta mielestäni hyvin. Sovellus on selkeä, nopea- ja helppokäyttöinen vaikka vaatiikin hieman opastusta. Tiedonsiirtoon CAD-kaavioon ja kaaviopohjiin tarvitaan vielä työn jälkeen viimeistelyä ja jatkokehitystä.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus

Harrington, Roy L. (toim.) 1992. Marine Engineering. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

General Technical Data Sulzer ZA Marine Engines. Sulzer Diesel, Winterthur 1989.

Häkkinen, Pentti 1993. Laivan koneistot M-179. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Inkinen, Pentti & Tuohi, Jukka 2002. Momentti 1 Insinöörifysiikkaa. Helsinki: Otava.

MAN B&W S50ME-B9-TII Project Guide. MAN Diesel & Turbo, Copenhagen 2011.

Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani 2005. Tekniikan kaavasto. 5. uudistettu painos. Tampere: Tammertekniikka.

Paanu, Tommi 2007. Koneopin opintomoniste. Turun Amk.

Souchotte, Ernest & Smith, David W. 1975. Marine auxiliary machinery. 5th edition. London: Butterworth & Co.

Taylor, D. A. 1996. Introduction to Marine Engineering. Revised second edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Walter, Wagner 1988. Lämmönsiirto. Ranta, Osmo. Helsinki: Painatuskeskus – Opetushallitus.

### Sähköiset lähteet

Alfa Laval / Seco 2011. Plate Heat Exchangers. Viitattu 6.2.2011  
<http://www.separationequipment.com/marineexchangers.htm>

Ameron - Marine Applications 2011. Bondstrand Glassfiber Reinforced Epoxy (GRE) pipe systems for Marine applications. Viitattu 7.2.2011 <http://www.ameron-fpg.com/?t=marine>

Wikimedia Commons. Public domain. Viitattu 3.2.2011  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Laminar\\_and\\_turbulent\\_flows.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Laminar_and_turbulent_flows.svg)

## Tiedonsyöttöväililehti

Machinery		No. in ship	Heat each kW	Flow each m <sup>3</sup> /h	Load		Heat total kW	Flow total m <sup>3</sup> /h	
					Design	Harbour			
HT	M.E. HT Cooler	8132/02	1	1620.0	120.0	100 %	0 %	1620.0	120.0
LT	Scav. air cooler M.E.	-	1	4010.0	141.0	100 %	0 %	4010.0	141.0
LT	L.O. Cooler M.E.	8332/01	1	940.0	124.0	100 %	0 %	940.0	124.0
LT	Shaft generator	9213/01	1	50.0	15.0	100 %	0 %	50.0	15.0
LT	Intermediate shaft bearing block	7225/01	1	6.0	1.0	100 %	0 %	6.0	1.0
LT	Step-up gear	7211/01	1	40.0	6.0	100 %	0 %	40.0	6.0
LT	Aux. DG no.1 - 2	7311/01-02	2	972.0	42.7	85 %	100 %	1652.4	85.4
LT	Aux. DG no.3	7311/03	1	702.0	27.0	85 %	100 %	596.7	27.0
LT	Diesel generator	9212/01-03	3	66.7	18.3	100 %	100 %	200.1	54.9
LT	HPU for cargo hatch covers	4112/01	1	5.0	8.0	0 %	100 %	0.0	8.0
LT	HPU for SUL boom, gates, doors etc	4763/01	1	8.0	13.0	100 %	100 %	8.0	13.0
LT	Chiller unit for accommodation	6352/01-02	2	185.0	28.9	100 %	100 %	370.0	57.8
LT	Refrigerating plant for provision	6361/01-02	1	15.6	4.6	100 %	100 %	15.6	4.6
LT	Fan coil unit, ECR	6453/10	1	20.0	5.6	100 %	100 %	20.0	5.6
LT	Fan coil unit, engine workshop	6453/14	1	20.0	5.6	100 %	100 %	20.0	5.6
LT	Fan coil unit, Trafo room	6453/20-21	2	50.0	15.0	100 %	100 %	100.0	30.0
LT	AE FO feed unit MDO cooler	8241/01	1	20.0	5.1	100 %	100 %	20.0	5.1
LT	Starting air compressor	8511/01-02	2	47.0	4.5	0 %	100 %	0.0	9.0
LT	Deck air compressor	8521/01	1	65.0	6.0	100 %	100 %	65.0	6.0
LT	BWT-Unit	8721/03-04	2			0 %	0 %	0.0	0.0
LT	Dirty condensate cooler	8413/02	1	150.0	20.0	100 %	100 %	150.0	20.0
LT	AHU for galley	6443/02	1	25.0	6.8	100 %	100 %	25.0	6.8

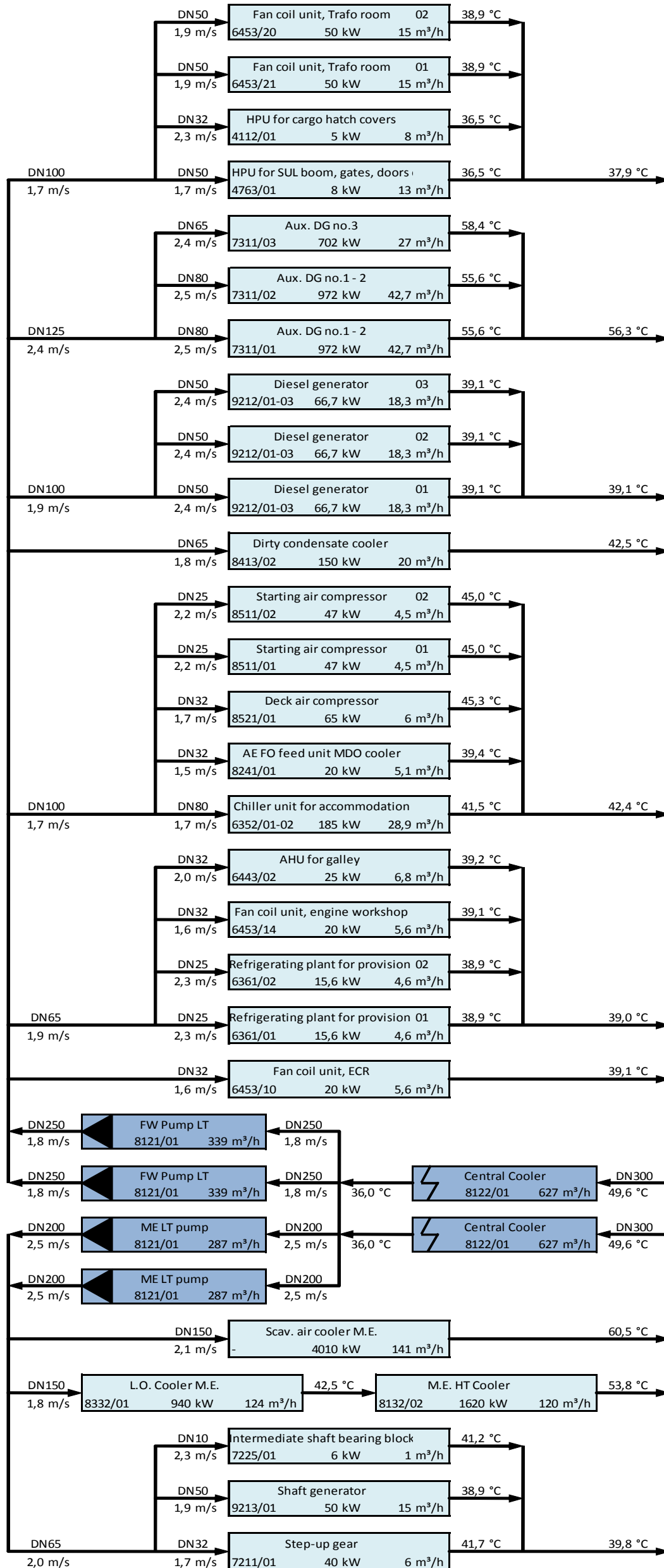
Design data			
Total heat capacity: Central Coolers		9908.8 kW	
Total LT- FW Flow		625.8 m <sup>3</sup> /h	
Inlet temperature: Central Coolers		49.6 °C	
Outlet temperature: Central Coolers		36.0 °C	
LT	FW Density	1000 kg/m <sup>3</sup>	
	FW Specific heat	4.18 kJ/kg°C	
Central Coolers		2 * 100 %	9909 kW
ME LT pump		3 * 100 %	287 m <sup>3</sup> /h
FW pumps LT		2 * 100 %	339 m <sup>3</sup> /h
Total heat capacity: HT Coolers		1620.0 kW	
Total LT Flow for HT Coolers		124.0 m <sup>3</sup> /h	
LT Inlet temperature: HT Coolers		42.5 °C	
LT Outlet temperature: HT Coolers		53.8 °C	
HT Coolers		2 * 100 %	1620 kW
FW pumps HT		2 * 100 %	120 m <sup>3</sup> /h
SW	SW inlet temperature	32.0 °C	Chosen pump: 45 °C
	SW outlet temperature (chosen)	45.5 °C	
	SW Density	1025 kg/m <sup>3</sup>	
	SW Specific heat	4.12 kJ/kg°C	
	Total SW Flow	625.7 m <sup>3</sup> /h	
SW pumps		2 * 100 %	626 m <sup>3</sup> /h
Notes:			

Makeavesijäähdytyskaavio

Fresh Water Cooling System

FW Pipe material: ST: ANSI SCH40  
 Maximum velocity: 2,5 m/s  
 Central Coolers LT Outlet temperature 36 °C

Insert  
 Equipment



# Merivesijähdytyskaavio

## Sea Water Cooling System

SW Pipe material: ST: ANSI SCH40  
 Maximum velocity: 3 m/s  
 Central Coolers Outlet temperature: 45 °C

