

Ronja Rolin

Jäähdytyslaitteen vakioimisen tutkimus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

01.02.2021

Tekijä Otsikko	Ronja Rolin Jäähdytyslaitteen vakioimisen tutkimus
Sivumäärä Aika	57 sivua 01.02.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Koneensuunnittelu
Ohjaajat	Tekn.Lis. Pekka Hautala
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää jäähdytyslaitteen vakioimisen mahdollisuutta.</p> <p>Työssä tutkittiin, mikä aiheuttaa lämmön nousun ja jäähdytyksen tarpeen suljetussa tilassa. Työssä tutkittiin, miten paljon lämpötila siellä nousee. Yleisellä tasolla perehdyttiin siihen, mitä ovat ilmastointi ja ilmastoinnin jäähdytys ja miten jäähdytyslaitteen komponentteja mitoitetaan ja valitaan.</p> <p>Työssä tutkittiin laskentaohjelmia avuksi käyttäen, miten moottoreilta tulevat lämpöhäviöt lasketaan ja miten niille mitoitetaan sopivat jäähdytyslaitteen komponentit. Laskettiin, miten paljon ilma lämpenee systeemissä. Selvitettiin, miten lämmön nousu tulee ottaa huomioon lämmönvaihtimen valinnassa. Lisäksi tutkittiin, miten lämmönvaihtimien parametrien muuttaminen vaikuttaa haluttuun jäähdytyskapasiteettiin. työssä laskettiin kaikki mahdolliset lämmönvaihtimien jäähdytyskapasiteetit parametreilla, jotka vakioitiin.</p> <p>Tuloksena saatiin vakioitua jäähdytyslaitteen komponentit suurimmalle osalle moottorin koluokista.</p>	
Avainsanat	Jäähdytyslaite

Author Title	Ronja Rolin Standardization of Cooler
Number of Pages Date	57 pages 01 Feb 2021
Degree	Bachelor of Science in Mechanical Engineering
Degree Program	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Design
Instructors	Tekn.Lis. Pekka Hautala
<p>This thesis is about researching a possibility to standardize cooler</p> <p>The main focus of this thesis is on the dimensioning principles of a cooler. The mission is to optimize the parameters that are not significant to dimensioning of heat exchangers requirements.</p> <p>The solution is the best combinations of fans and heat exchangers to be the standard for cooler.</p>	
Keywords	Cooler

Sisällys

Lyhenteet

1.1	Työn tavoitteet	3
1.2	Työn vaiheet ja käytettävä materiaali	4
1.3	Työn riskit ja haasteet	5
1.4	Tutkimuksen rajaukset	6
1.5	Aikaisemmin saadun tiedon kuvaus	6
2	Termodynamiikka jäähdytyksessä	7
2.1	Lämpö ja lämpötila-asteikot	8
2.2	Energian säilyminen ja muuttuminen	9
2.3	Systeemi, ympäristö	10
2.4	Prosessit	11
2.5	Carnot-prosessi	12
2.6	Systeemin lämpökapasiteetti	14
3	Yleisimmät ilmastoinnin jäähdytysmenetelmät	15
3.1	Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät	15
3.2	Ilmastointijärjestelmien jaottelu	16
3.3	Ilmastointi- ja ilmanvaihtokoneet	17
3.3.1	Pienet ilmanvaihtokoneet	17
3.3.2	Koteloidut ilmankäsittelykoneet	17
3.3.3	Toimintavalmiit ilmankäsittelykoneet	18
3.3.4	Erilliset puhaltimet	18
4	Ilmastoinnin jäähdytys	19
4.1	Puhaltimet	19
4.2	Lämmönvaihtimet	20
4.3	Moottori ja lämpöhäviöt	21
4.4	Muut lämpöhäviöt	22
4.5	Lämmönvaihtimen ominaisuudet	23
4.6	Lämmönvaihtimen mitoitus	24
4.7	Lämmönvaihtimen mitoitusyökalu	25

5	Tutkimusvaiheet ja -haasteet	26
5.1	Tutkimuksen vaiheet	27
5.2	Suuret lämpöhäviöt	27
5.3	Ilmavirran absorbointikyvyn huomioiminen	28
6	Tutkimustulokset ja laskutoimitukset	29
6.1	Ilmavirran nopeus	29
6.2	Lämpötilojen nousu systeemissä	29
6.3	Tarvittava ilman lämpötila lämmönvaihtimilta	30
6.4	Maksimijäähdytystehot	31
7	Johtopäätökset	32
7.1	Lämmönvaihtimien mitoitusyökaluun vakioidut arvot	33
8	Lopputulos	35
9	Yhteenveto	36
	Lähteet	37

1.1 Työn tavoitteet

Vakioinnissa tavoitteena olisi löytää ratkaisu tai menetelmä, jolla mahdollisimman pienellä määrällä eritehoisia jäähdytysyksikön laitteita saataisiin katettua mahdollisimman paljon eri moottoritheojen lämpöhäviöitä. Tavoitteena olisi löytää sopivasti porrastetut jäähdytysyksikköratkaisut.

Tarkoituksena on yhdistelemällä eritehoisia lämmönvaihtimia ja puhaltimia löytää sopiva ratkaisu. Kaikkien ei tarvitse osua samalle jäähdytysteholle.

Työn tavoitteena on viedä aikaisemmin tehtyä jäähdytysyksikön vakioimista eteenpäin kohti tuotteistetumpaa ratkaisua. Lähtökohtana työlle oli löytää ratkaisu, jolla etenkin jäähdytysyksikön lämmönvaihtimien valinta olisi helpompaa. Tavoitteena pienentää jäähdytysyksikön valinnassa käytettävien muuttujien määrää. Tavoitteena karsia niitä muuttujia, joista ei saavuteta hyötyä.

Työlle asetettiin myös tavoitteeksi löytää eri valmistajilta toisiaan vastaavia lämmönvaihtimia. Lämmönvaihtimilla tulisi olla sama jäähdytyskapasiteetti ja niiden tulisi olla teknisesti ominaisuuksiltaan niin samankaltaisia, että ne olisivat ideaalitapauksessa keskenään vaihdettavissa.

1.2 Työn vaiheet ja käytettävä materiaali

Jäähdytyslaitteiden tekniset tiedot ja tietokirjastot. Työ vaati teknisiin ominaisuuksiin perehtymistä. Työssä täytyy osata mitoittaa jäähdytysyksikön laitteita.

Työssä perehdytään myös alan kirjallisuuteen termodynamiikasta jäähdytyksessä ja jäähdytyslaitteista yleisesti.

1.3 Työn riskit ja haasteet

Haasteena on löytää parhaimmat porrasvälit jäähdytystehoille. Jäähdytystehoissa ei saisi olla liikaa ylikapasiteettia. Ylikapasiteetin kustannukset nousevat tehojen mukana. Silti tulisi löytää mahdollisimman suuri joukko eritehoisia moottoreita istumaan hyvin saman jäähdytystehon omaavan jäähdytysyksikön alle.

Riskinä on myös, ettei tulevia tilaustöitä pystykään ennustamaan riittävän hyvin tilauskannan tiedoista huolimatta. Ettei tilaukset noudata ennustettavuuden kanssa saamaa kaavaa. Tällöin riskinä olisi valita jäähdytysyksikköratkaisu portaiden puolivälistä.

Riskinä on myös se, että eri lämmönvaihtimet poikkeavat liikaa toisistaan. Se ettei niitä saada keskenään riittävän vaihtokelpoisiksi, mikä oli työn toimeksiannossa yksi lähtökohta.

1.4 Tutkimuksen rajaukset

Jäähdytysyksikössä käytettäville lämmönvaihtimille annettiin työn määrittelyssä lähtökohta, että eri lämmönvaihtimet tulisi olla tekniikaltaan niin samankaltaiset, että niitä pystyttäisiin ideaalitapauksessa vaihtamaan keskenään.

Itse työn tarkoituksena ei ollut tehdä lopullista vakiointia vaan tutkia sen mahdollisuutta. Monet jäähdytykseen vaikuttavat asiat on huomioitu mitoitustyökalussa, joka toimitettiin työn tilaajalle tämän työn yhteydessä. Niitä silti ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

1.5 Aikaisemmin saadun tiedon kuvaus

Jäähdytyslaitteen mitoitus tapahtuu mitoitustyökalun avulla, jonka käyttö on koettu haastavaksi ja mitoitusprosessi työlääksi ja iteratiiviseksi.

Työtä aloittaessa suurin yksittäinen vakioinnin tarvetta vaativa laite jäähdytysyksikössä oli lämmönvaihdin. Lämmönvaihtimen valinnassa parametreissa oli eniten vaihtelevuutta, ja niistä tulisi saada karsittua pois ne, joita pitämällä ei saavuteta hyötyä.

2 Termodynamiikka jäähdytyksessä

Sana termodynamiikka tulee kreikan sanoista therme (lämpö) ja dynamics (voima). Tämä kuvastaa termodynamiikan alkuperäistä tarkoitusta tuottaa lämmöstä voimaa. Termodynamiikkaa voikin ajatella energiatekniikkana, ja nykyään termi termodynamiikka tarkoittaa kaikkia energian muotoja ja energian muuttumista. Se on näin sovellettavissa jäähdytysyksikössä käytettävään jäähdytystekniikkaan. [5, s. 2.]

Termodynamiikanprosesseja sovelletaan erityisesti voimalaitoksissa, ilmastoinnissa, polttomoottoreissa, lämpöpumpuissa ja kylmäkoneissa [17].

2.1 Lämpö ja lämpötila-asteikot

Lämpö käsitteenä merkitsee termodynamiikassa termisen tasapainon käsitettä. Kaksi yhteen saatettua kappaletta asettuvat tasapainoon keskenään ja tasapainoon kuuluu sama lämpötila. Lämpötilat pyrkivät toisiaan kohti aina lämpimästä kylmempään. Tällöin puhutaan lämpövirrasta. Tarkemmin tarkasteltuna ei ole lämpöä eikä lämpövirtaa vaan kyseinen lämpövirta on todellisuudessa siirtymätilassa olevan aineen sisäenergiaa [2, s.1]

Lämpötila nousee, kun siihen tuodaan lämpöenergiaa. Vastaavasti lämpötila laskee, kun se luovuttaa lämpöenergiaa [4, s. 3.].

Lämpötila on yksi SI-järjestelmän perussuureista ja sen yksikkö on kelvin, K. Tämän asteikon nollapistettä kutsutaan absoluuttiseksi nollapisteksi ja se on alin lämpötila, joka voidaan saavuttaa. Termodynamiikan laskuissa käytetään pääsääntöisesti kelvinasteita. Monissa lämpöopin taulukoissa ja osassa fysikaalisia kaavoja edellytetään absoluuttisen arvon käyttöä. Lämpötiloja mitataan Suomessa yleensä celsiusasteiden mukaan ja muunnoskaava näiden kahden lämpötilayksikön välillä on [2, s. 1; 4, s. 3]

$$\frac{T}{K} = \frac{t}{^{\circ}C} + 273,15$$

jossa

T on lämpötila kelvineissä

t on lämpötila celsiusasteissa.

Kelvin yksikkönä on yhtä suuri kuin celsiusaste, eli $1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Tämän vuoksi näitä kahta lämpötila-asteikkoa on helppo käyttää rinnakkain, ja se mahdollistaa laskuissa celsiusasteiden käytön, kun lasketaan jäädytystehon tarpeen laskuja lämpötilaeroilla.

[2, s. 1; 4, s. 3]

$$\Delta T/K = \Delta t/^\circ\text{C}$$

2.2 Energian säilyminen ja muuttuminen

Termodynamiikan ensimmäinen pääsääntö koskee energian säilymistä. Se on yksinkertaisesti ilmaisu energiaperiaatteesta, joka vakuuttaa energian osaksi termodynamiikkaa. Energia voi muuttua muotoaan, mutta ei voi kadota kokonaan. [5, s. 2]

Toinen pääsääntö on muuttumisen laki. Systeemi pyrkii tasapainotilaan, joka on sen todennäköisempi tila. Systeemin on oltava epätasapainossa, jotta siinä tapahtuisi jokin prosessi. Tasapainotilaan pyrkimisessä lämpötilat pyrkivät tasoittumaan, jolloin epäjärjestys kasvaa. Tasapainon käsite on entropia, S , jolloin systeemi pyrkii tilaa kohti, jossa entropia on suurimmillaan. [2, s.4]

Nollannen pääsäännön mukaan toisissaan kosketuksissa olevat kappaleet saavuttavat vähitellen termodynaamisen tasapainon, eli pyrkivät samaan lämpötilaan. Lämpötilaero on lämpöenergiaa liikuttava voima. [17, s.188]

Ilman siirtyminen tilasta toiseen ei tapahdu, ellei lämpötila pyrkisi aina siirtymään tasapainotilaan. Toisen pääsäännön mukaan lämpö ei voi ikinä siirtyä kylmästä lämpimään ilman ulkoista työtä.[3]

2.3 Systeemi, ympäristö

Systeemi voidaan määritellä olevan aineen määrää tai aluetta tutkimusalueella. Systeemin ulkopuolista aluetta kutsutaan ympäristöksi. Kuvitteellista pintaa, joka erottaa systeemin ympäristöstä, kutsutaan rajaksi. Systeemin raja voi olla kiinteä tai muuttuva. [5, s.11]

Systeemi voi olla avoin tai suljettu riippuen siitä onko massa tai tilavuus vakioitu. Suljetussa systeemissä massa on vakio eikä muutu eikä pääse kulkemaan rajan ylitse ympäristöön, jolloin massa ei voi tulla eikä lähteä systeemistä. Lämmöntuotosta johtuva energia voi sen sijaan mennä rajojen ylitse eikä tilavuuden tarvitse olla vakio.

Esimerkiksi tapauksissa, joissa lämmöntuotossa syntyvä energiakaan ei pääse rajan yli ympäristöön, systeemiä kutsutaan eristetyksi systeemiksi. [5, s.11]

Avoimessa systeemissä tilavuus on sen sijaan vakio. Monissa sen sovelluksissa massavirta kulkee sisään ja ulos systeemistä, jolloin sitä havainnoidaan virtauksen voimakkuuden muutoksina. Se pitää sisällään monia sovellutuksia kuten esimerkiksi: [5, s.11]

1. suuttimet
2. kompressorit
3. turbiinit.

Systeemin sisällä sisäenergian U , määrä ei muutu.

2.4 Prosessit

Kun systeemi siirtyy tasapainotilasta toiseen sitä, kutsutaan prosessiksi P. Toisen pääsäännön mukaan prosessit voi jakaa kahteen ryhmään: palautuviin ja palautumattomiin. [5 s. 15; 2, s. 4]

”Palautuva prosessi on sellainen, että sekä systeemi, että ympäristö voidaan palauttaa täsmälleen alkuperäiseen tilaansa.” [3, s. 29]

Palautuvaa prosessia voidaan toistaa rajattomasti ilman, että prosessin systeemin tila muuttuu. Tämän prosessin toistuessa, kutsutaan sitä kiertoprosessiksi. [5 s. 15; 2 s.25]

Kaikkia lämpöä vaativia prosesseja voidaan soveltaa myös jäähdytystarkoituksiin. Ne voivat olla avoimia tai kiertoprosesseja. Avoimessa prosessissa systeemi ei palaa alkutilaansa ja avoimet ovat termodynaamiselta luonteeltaan kertaprosesseja. Kiertoprosesseissa systeemi palaa jaksoittaan alkutilaansa. Kiertoprosessit voivat olla myös avoimia esimerkiksi tilanteessa, jossa ilma virtaa jatkuvasti läpi. [2, s.50]

Entalpia h , on termodynamiikan suure, joka ilmaisee systeemin sisäenergiaa U [2, s. 2]

$$h = U + pV$$

jossa:

p on systeemissä oleva paine
 V on systeemin tilavuus.

h on ominaisentalpia eli entalpia massayksikköä kohti [J/g]. Kun avoimeen systeemiin viedään lämpöä [2, s. 2]

$$m(h_2 - h_1) = P + \Phi$$

jossa:

P on systeemiin viety teho [W],
 Φ lämpövirta [W]

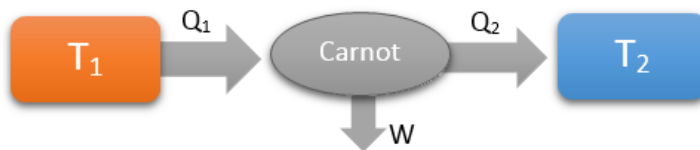
Ominaislämpökapasiteetti on kappaleeseen viety lämpö massan lämpötilan muutosta kohti. Ominaislämpöä määrittäessä on tiedettävä laskuissa käytettävä prosessi. Yleisimmin käytetyt ovat

$$c_v = \text{ominaislämpö vakiotilavuudessa ja}$$
$$c_p = \text{ominaislämpö vakiopaineessa}$$

[2, s. 2]

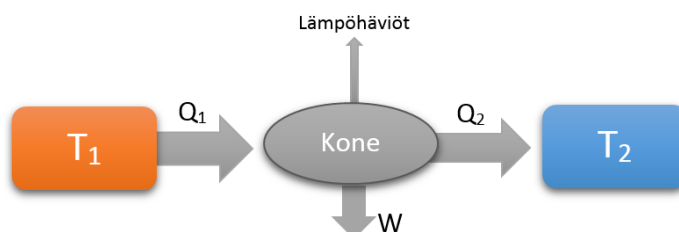
2.5 Carnot-prosessi

Carnot'n periaatteen mukaan lämpötilaerojen läsnä ollessa voidaan lämpöä muuttaa työksi. Carnot-kone on palautuva lämpövoimakone, joka toimii kahden lämpösäiliön välillä ottaen lämpimämmästä säiliöstä T_1 lämpöenergiaa Q_1 , tekee työtä W ja siirtää kylmempään säiliöön lämpö määrän Q_2 . [8]



Kuva 1 kaavio carnot'n prosessista

Carnot on ideaalinen prosessi, kuva 6, jossa ei tapahdu lämpöhäviöitä vastustaen näin termodynamiikan toista pääsääntöä. Todellisuudessa tapahtuu aina häviöitä kuten kuvassa 7. [8]



Kuva 2 kaavio todellisesta prosessista

Carnot-koneen tehokkuutta mitattaessa tulee ottaa huomioon, onko se tarkoitettu lämmityskäyttöön vai jäähdytyskäyttöön. Eli onko kyseessä lämpöpumppu vai kylmäkone. Lämpöpumpulle käytetään lämpökerrointa φ [2, s. 5 & 3, s. 90]

$$\varphi = \frac{Q}{W}$$

ja kylmäkoneille kylmäkerrointa ε

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W}$$

2.6 Systeemin lämpökapasiteetti

Systeemin lämpökapasiteetti kuvaa systeemiin tuodun lämpömäärän ja systeemissä sen seurauksena tapahtuvan lämpötilanousun välistä suhdetta. [3, s. 43]

Kappaleiden välisen lämmön siirtymisen lämpömäärä Q riippuu lämpötilan muutoksesta ΔT ja lämpökapasiteetista C . Lämpömäärän siirtymisen aineeseen voi laskea kaavalla

$$Q = cm\Delta T$$

Ominaislämpökapasiteetti c on kappaleeseen viedyn lämpö/massa lämpötilan muutosta kohti. Se ilmaisee aineen luovuttaman tai vastaanottaman lämpömäärän lämpötilayksikköä ja massayksikköä kohti. Suuren lämpökapasiteetin omaava kappale voi varastoida paljon lämpöä, jolloin se lämpenee ja jäähtyy nopeasti. Viety lämpökapasiteetti riippuu prosessista, tapahtuuko se vakiotilavuudessa C_v vai vakioaineessa C_p . [2, s.2]

Systeemissä, jossa ilmavirta kuljettaa lämpömäärää voidaan ilmavirran nopeus huomioon ottaa lämpömäärässä kaavalla:

$$Q = c_p * \rho * \Delta T * qm$$

jossa

q_m on massavirta

Q on lämpömäärä

C_p on ominaislämpökapasiteetti vakio paineessa

ρ on ilman tilavuus tarkasteltavassa lämpötilassa

ΔT on lämpötila ero

Tätä kaavaa käytetään myöhemmin tässä työssä laskettaessa sisällä eri toimintapisteissä lämpötiloja ja niiden nousuja eri laitteiden yli erilaisissa puhaltimien tuottamissa ilmavirtauksissa.

3 Yleisimmät ilmastoinnin jäähdytysmenetelmät

Jäähdytyslaitteen päätehtävä on jäähdyttää ilman lämpötilaa, jota esimerkiksi moottorit tai muut lämpöä tuottavat laitteet nostavat. Jäähdytys- ja kylmätekniikka on tekniikan alue, jonka tehtävänä on ympäristöä alemman lämpötilan ylläpitäminen jäähdytettävässä kohteessa. Useimmiten kylmätekniikalla tarkoitetaan kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen perustuvaa koneistoa. [2, s. 334]

Ilmastoinnin jäähdyttäminen onnistuu kahdella tapaa. Mikäli jäähdyttävää ilmavirtaa jäähdyttää esimerkiksi lämmönvaihtimen pinta-ala, on kyseessä suora järjestelmä. Mikäli ilmavirta puolestaan jäähdyttää esimerkiksi lämmönsiirtimessä olevaa nestettä, joka puolestaan jäähdyttää ilmaa, on kyseessä välillinen järjestelmä. [2, s. 334]

Kun ilmaa jäähdytetään tuloilmakoneessa tai jäähdytysyksikössä sekä kanavaan sijoitetun lämmönvaihtimen avulla, kyseessä on keskitetty järjestelmä. Hajautetussa järjestelmässä puolestaan tilaa jäähdytetään esimerkiksi eri tiloihin sijoitettujen kylmäpatterien avulla. [2, s. 334 - 336]

Tässä työssä keskitytään vain työn kannalta oleellisiin jäähdytyskomponentteihin, kuten puhaltimiin ja lämmönvaihtimiin ja lämpöä tuottavina komponentteina moottoreihin.

Moottorit tuottavat runsaasti lämpöhäviöitä, ja tämä lämpö tulisi poistaa systeemistä jäähdytyslaitteen avulla.

3.1 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät

Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät ovat hyvin samankaltaisia ja menevät monesti alan ammattilaisiltakin sekaisin, mutta niiden keskeisin ero on tuloilman käsittelyssä sekä ilmavirran mitoituksessa. Ilmanvaihtojärjestelmien perustehtävä on hallita sisäilman laatuvaioitteita eli ilman puhtautta. Ilmavirran määrä on mitoitettu tämän perusteella, kun taas ilmastointijärjestelmien päätehtävänä on hallita myös lämpöoloja, jolloin tuloilmamäärä on mitoitettu jäähdytyskuorman perusteella. [19, s. 113]

3.2 Ilmastointijärjestelmien jaottelu

Ilmastointijärjestelmät voidaan jakaa neljään osaan

1. ilmajärjestelmät
2. ilma-vesijärjestelmät
3. vesijärjestelmät
4. hajautetut järjestelmät

Ilmajärjestelmissä ilmavirta mitoitetaan jäähdytystarpeen mukaan vakioilmavirralla. Jäähdytys ja lämmitys tapahtuu samalla ilmavirralla. Tiloihin sijoitettavat tulo- ja poistoilmalaitteet sijoitetaan tilan seinälle tai alakattoon. Huonetiloissa nämä laitteet mitoitetaan kesäajan jäähdytystarpeen mukaan. [19, s.129 - 132]

Ilma-vesijärjestelmissä ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Jäähdytys tapahtuu tuloilmalla ja jäähdytysvesipatterilla. Tuloilma kuivataan, ettei se tiivisty jäähdytysvesipattereihin. Lämpötilan säätö tapahtuu vesivirtaa säätämällä. Pääasialliset käyttökohteet ovat toimisto- ja luokkatilat, joissa lämpökuormaovat suuria esimerkiksi laitteista tulevan lämmön takia. [19, s.129 &137]

Vesijärjestelmissä ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Jäähdytys tapahtuu jäähdytysvesipattereilla. Vesijärjestelmissä ilmanvaihto on erillinen ja huonelämpötilan säätö tapahtuu vesivirtaa säätämällä. [19, s.129]

Hajautetut järjestelmiä käytetään sellaisissa tiloissa, joita ei haluta liittää osaksi keskusilmanvaihtolaitokseen. Yleensä laitteet ovat suorajäähdytteisiä jäähdytyskoneita. Hajautettuja järjestelmiä käytetään etenkin silloin, kun keskitettyä järjestelmää ei voida käyttää esimerkiksi sijoitusmahdollisuuksien, kanavointitilan, tai lämmitys- ja jäähdytysvesiputkistojen tilan puutteen vuoksi [19, s.129; 149]

3.3 Ilmastointi- ja ilmanvaihtokoneet

Ilmastointikoneet voidaan jaotella neljään ryhmään:

1. pienet ilmanvaihtokoneet
2. koteloidut ilmankäsittelykoneet
3. toimintavalmiit ilmankäsittelykoneet
4. erilliset puhaltimet

3.3.1 Pienet ilmanvaihtokoneet

Pieniä ilmanvaihtokoneita käytetään lähinnä pientaloissa ja rivitaloissa. Ne ovat standardituotteita nopealla toimitusajalla. Rakenteeltaan pienet ilmanvaihtokoneet ovat yleisimmin kaappimallisia, väliseinältään eristettyjä [19, s.155-160]

Pienet ilmanvaihtokoneet voivat koostua esimerkiksi:

5. tuloilmapuhaltimesta
6. lämmönsiirtimestä
7. äänenvaimentimista
8. suodattimista
9. esilämmitys/jäähdytyspatterista
10. ohituspellistä
11. huurteen sulatuksesta
12. sähkö- ja automaatiolaitteista.

3.3.2 Koteloidut ilmankäsittelykoneet

Koteloituja ilmankäsittelykoneita käytetään eniten keskusilmanvaihtokoneikoista. Jäähdytystä vaativissa tiloissa käytetään yleisesti tehdasvalmisteisia koteloituja koneita, joissa ilmankäsittelyssä tarvittavat komponentit ovat vakiomittaisen kotelon sisällä. Ilmankäsittelykoneet pyritään valmistamaan suurempina kokonaisuuksina ja jäähdytyksen koteloituja komponentteja voidaan yleensä liittää yhteen moduuleina tarvittavan

jäähdytys- ja suodatustehon mukaan. Kotelon poikkipinnan koon määrittelee tarvittava ilmavirta. [19, s.164-192].

Koteloidut ilmankäsittelykoneet voivat sisältää seuraavat osat:

1. ilmapelti
2. sulkupelti
3. säätö- ja sekoituspelti
4. ohitusilmavirran säätö
5. suodatinosa
6. lämmitys- ja jäähdytyspatterit
7. jäätymissuoja
8. puhallinosa
9. puhallinmoottorit
10. äänenvaimentimet
11. sähkö ja automaatio

3.3.3 Toimintavalmiit ilmankäsittelykoneet

Ulkoasennukseen tarkoitetut toimintavalmiit ilmankäsittelykoneet ovat itsessään konehuoneita ja vesikatolle asennettuna niitä kutsutaan kattokoneiksi. [19, s.192]

3.3.4 Erilliset puhaltimet

Erilliset puhaltimet ovat koneita, joihin ei liity suoranaisesti muita toiminto-osia sulkupeltiä lukuun ottamatta. Tyypillisesti käytetään likaisissa poistoissa, joita ei voi yhdistää ilmastointijärjestelmiin, savunpoistossa ja teollisuudessa. [19, s.195]

4 Ilmastoinnin jäähdytys

Jäähdytys on yksinkertaisimmillaan kosteuden haihtumista. Kun vesi haihtuu, siihen liittyy energian sitoutumista. Jäähdytystä tehostetaan koneellisella jäähdytyksellä.

Ilmastoinnin jäähdytys voi olla suora järjestelmä, jossa jäähdytettävää ilmavirtaa jäähdyttää kylmäkoneiston lämmönvaihtimen lämmönsiirtopinta. Ilmastoinnin jäähdytys voidaan toteuttaa myös välillisenä jäähdytyksenä, jossa lämmönvaihtimessa kiertävä kylmä neste jäähdyttää lämmönvaihdinta, joka puolestaan jäähdyttää ilmavirtaa. [2, s. 334]

4.1 Puhallimet

Puhallinta tarvitaan, jotta ilma liikkuu kanavissa. Luonnollisen kierron ilmavirtausta tehostetaan pakotetulla kierrolla, jotta siitä saataisiin tehokkaampi. Pakotus tapahtuu yleensä puhaltimien avulla, joiden tarkoitus on liikuttaa ilmaa ja ilmaan sitoutunutta lämpöä suljetun tilan sisällä. [19, s. 174]

Suuritehoisissa tai suljetuissa laitetoiloissa tarvitaan tehokas puhallin, joka puhaltaa ilmaa moottorin pintojen ohi ja siirtää ilmaa esimerkiksi kanavia pitkin jäähdyttävälle lämmönvaihtimelle. Lämmin ilmavirta voidaan ottaa myös talteen ja käsiteltynä käyttää muiden lämmitystä vaativien tai osien tilojen lämmitykseen.

Puhaltimen tärkeimmät osat ovat moottori ja siipipyörä. Siipipyörän pyöriessä siivet tekevät ilman virtausnopeus ja paine kasvavat. Puhaltimen moottorin tehtävä on pyörittää puhaltimen siipipyörää. Ilmavirtaa säädetään muuttamalla siipipyörän kokoa ja pyörimisnopeutta. Ilmavirran muuttuessa painehäviö muuttuu. Puhallimet tulisi eristää rungosta esimerkiksi kumisella tärinänvaimentimilla. [19, s. 176]

Puhallintyypeistä yleisin on kaavullinen kammio puhallin. Moottori sijaitsee puhaltimen vieressä. Puhaltimessa on yleensä spiraalimainen kaapu, joka toimii diffuusoriina muuttaen ilmavirran nopeuden energiaa staattiseksi paineeksi. Puhallin sopii hyvin suurille ilmavirroille. [19, s. 176; 203]

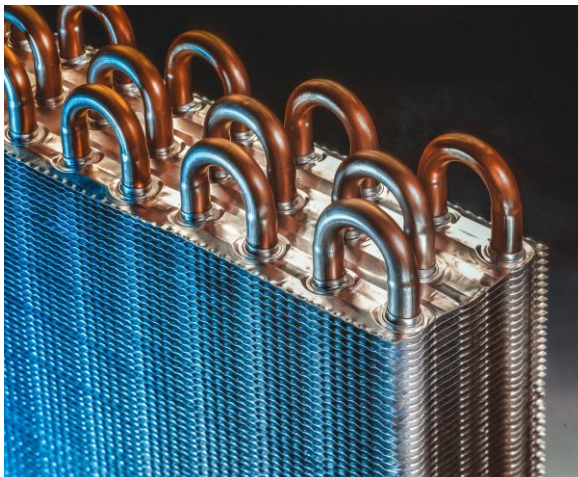
4.2 Lämmönvaihtimet

Ilmaa jäähdyttävien lämmönvaihtimien tehtävä on siirtää lämpöä jäähdytettävästä tilasta lämmönvaihtimessa esimerkiksi laivan vesijohtoverkostossa kiertävään veteen. Lämmönsiirto-osassa ilma voi liikkua joko luonnollisella tavalla ilmantiheyserojen vaikutuksesta tai pakotetussa kierrossa esimerkiksi puhaltimen avulla.

Ilmaa jäähdyttävistä lämmönvaihtimista yleisin on lamellilämmönvaihdin. Levylämmönvaihdin koostuu joukosta neliömäisiä levyjä. Lamellilevynvaihtimessa höyrystinputkeen on kiinnitetty lamelleja, joiden tiheys vaikuttaa jäähdytyksen tehokkuuteen. Lamellilämmönvaihtimia käytetään joko luonnollisella ilmankierrolla tai puhaltimella tehostetulla ilmankierrolla. Lamellit ovat usein alumiinia ja putket kuparia. [4, s.136-138]

Lämmönvaihtimen teho riippuu höyrystinosan pinta-alasta sekä siitä, kuinka pinnat on sijoitettu ilmavirtaan nähden. Tehoon vaikuttaa myös ilmavirran nopeus ja se, kuinka pitkän matkan ilmavirta kulkee höyrystimen läpi. Turbulenttinen virtaus saadaan aikaan poimutetuilla lamelleilla. [4, s.138.] (Kuva 8.)

Lämmönvaihtimessa käytetyt materiaalit ovat helppoja muokata ja niiden lämmönjohtokyvyt ovat hyviä. Lamelleissa on lamellijaon mukaiset kaulukset.



Kuva 3 Three-T-yhtiön valmistaman lamellilevylämmönvaihtimen rakenne

4.3 Moottori ja lämpöhäviöt

Laitetta pyörittää sähkömoottori, joka tuottaessaan liike-energiaa moottorin akselille, aiheuttaa myös lämpöhäviöitä (kuvat 11 ja 12).

Moottorin valmistaja ilmoittaa moottorin mekaanisen tehon. Todellisuudessa moottori ottaa laivan voimalaitokselta enemmän tehoja, kuin mitä akselille siirtyy. Moottorin lämpöhäviöt täytyy laskea moottorin ottaman tehon mukaan,

$$P_s = P_m / \varphi$$

jossa

P_s on moottorin voimalaitokselta ottama teho ja
 P_m moottorin akseliteho eli mekaaninen teho, joka siirtyy akselille
 φ on valmistajan ilmoittama moottorin hyötysuhde

Lämpöhäviöitä laskettaessa on huomioitava, hyötysuhde, joka lasketaan mekaanisesta tehosta:

$$Q_m = (1 - \varphi) * P_s$$

Moottorin lämpöhäviöihin täytyy lisätä vielä kaikkien muidenkin laitteiden tuottamat lämpöhäviöt, jotta saadaan kokonaislämpöhäviöt:

$$Q_m = (1 - \varphi) * P_s + xxkW$$

IEC-60034-1-standardin mukaan moottorin tulee pysyä 10 % toleranssissa, jolloin tulee se huomioida moottorihäviöitä laskettaessa 10 % suurempina lämpöhäviöinä

$$Q_{mIEC} = Q_m + 10\%$$

Lämpöhäviöt ovat ilmiö, josta halutaan päästä eroon siirtämällä lämmintä ilmaa pois rakenteen sisältä. Moottori vaatii toimiakseen erillisen jäähdytyslaitteen, jotta lämpötilat pysyvät laitteen sisällä riittävän alhaisina.

4.4 Muut lämpöhäviöt

Lämpöhäviöihin täytyy lisätä puhaltimen moottorin tuomat lämpöhäviöt, jotka ovat riippuvaisia käytetyn puhallinmoottorin tehosta.

Hyötysuhde puhaltimessa on yleensä likimain 90 % puhaltimen moottorin sähkötehosta. Lämpöhäviöt ovat riippuvaisia puhaltimen moottorin sähkötehosta. Lämpöhäviöihin vaikuttavat ilmavirran nopeus, ilmanpaine, kapasiteetti ja tuulettimen hyötysuhde

$$Q_{fan} = \frac{Air_{pc} * Air_v}{(\varphi_{fan} * 1000)}$$

jossa

Air_{pc} on Ilman paineen kapasiteetti

Air_v on Puhaltimen ilmavirran nopeus

φ_{fan} on puhaltimen hyötysuhde

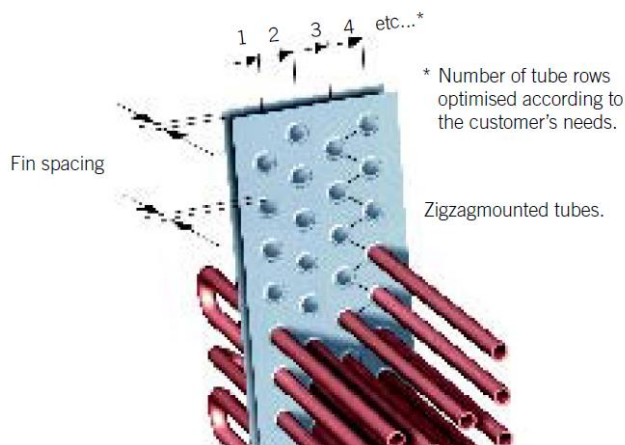
Jos vaadittu jäähdytyskapasiteetti on korkeampi, kuin ilmavirta kykenee absorboimaan, tulee ilmavirran nopeutta silloin kasvattaa.

Ilman lämpötiloille on raja-arvot, eli kuinka korkeaksi lämpötila saa systeemissä nousta ja kuinka lämmintä ilmaa saa maksimissaan moottorille mennä. Nämä arvot on vakioitu.

4.5 Lämmönvaihtimen ominaisuudet

Lämmönvaihdinta mitoitettaessa ja valitessa on eniten muuttuvia parametreja lämmönvaihtimissa (kuva 13). Lämmönvaihtimissa muuttuvia parametreja ovat mm.

1. tulevan ilman ja veden lämpötilat
2. lämmönvaihtimien lukumäärä
3. lämmönvaihtimien putkirivien lukumäärät
4. lamellivälin koko
5. lämmönvaihtimien määrä
6. lämmönvaihtimelle tulevan ilman ja veden virtausnopeus
7. putkien kiertojen lukumäärä
8. suurin sallittu painehäviö

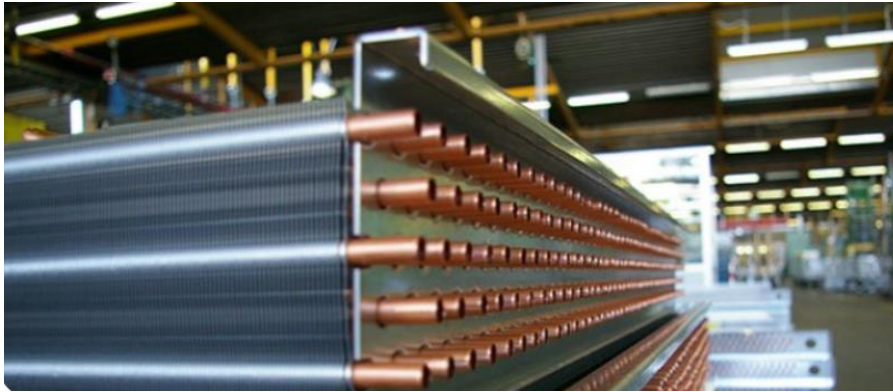


Kuva 4 Putkitus lämmönvaihtimen sisällä

Lämmönvaihtimen jäähdytyskapasiteetin tulee olla suurempi kuin yhteenlasketut lämpöhäviöt. Lämmönvaihtimien kapasiteetin täytyy olla linjassa laitevalmistajan antamien lämpöhäviölaskujen kanssa.

Lamelli lämmönvaihtimessa lämpö siirtyy hyvin rakenteen läpi ilmasta jäähdyttävään aineeseen. Putkien sisällä kiertää makea vesi ja siinä on tuplaputkirakenne, jonka tarkoitus on estää vuotoja. Vuotojen sattuessa lämmönvaihtimet päädyt pystytään avaamaan ja

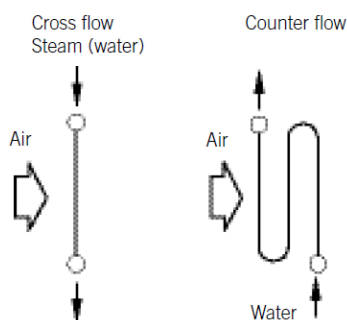
vuotavat putket tulppaamaan. Suunnitteluvaiheessa on laskettu jo lämmönvaihtimille ylikapasiteettia sen verran, ettei muutaman putken tulppaaminen vähennä jäähdytystehoja liian alhaiseksi. (kuva14)



Kuva 5 Lamellirakenne on yleisin ilmaa jäähdyttävissä höyrystimissä. Se ei vaadi paljoa tilaa ja on helposti muunneltavissa.

Putket voidaan liittää siten, että vesi virtaa eri tavoin suhteessa ilmavirtaan, Cross flow eli ristivirtaa käytetään kondensoimaan höyryä ja lämpöä pienellä teholla.

Counterflow ovat yleisiä ja niitä käytetään lämmönvaihtimissa jäähdytykseen ja lämmitykseen suurella teholla ja lämmön talteenotolla. Tämä kytkentä antaa suurimman jäähdytystehon. (Kuva 15.)



Kuva 6 Virtaustavat

4.6 Lämmönvaihtimen mitoitus

Lämmönvaihtimien tehoa voidaan laskea käyttäen apuna tilapiirroksia, kuten mollier, josta saadaan entalpiamuutos. Tarvittava jäähdytysteho saadaan;

$$q = P / (\Delta i * \rho)$$

jossa

P on vaadittava teho

Δi on entalpian muutos

ρ on ilman tiheys tarkasteltavassa lämpötilassa

Lämmönvaihdintoimittajat ovat toimittaneet niiden valintaa helpottavan työkalun. Sillä pystyy laskemaan tarvittavaa jäähdytystehoa ja ulostulevan ilman määrää ja lämpötilaa.

4.7 Lämmönvaihtimen mitoitus työkalu

Työkaluun syötetään:

1. ilmavirrannopeus
2. moottorilta tulevan ilman lämpötila
3. lämmönvaihtimeen tulevan jäähdytysveden lämpötila
4. jäähdytysveden virtausnopeus
5. putkityyppi ja materiaali
6. lämmönsiirtoala
7. lamellilevyjako
8. putkirivien lukumäärä
9. putkien kierron lukumäärä
10. liitintyytit.

Tämän jälkeen työkalu laskee jäähdytyskapasiteetin ja lämmönvaihtimelta ulos tulevan ilman lämpötilan, jonka tulee olla riittävän alhainen. Lämmönvaihtimia mitoittaessa huomattiin, ettei lamelliväli ole merkittävä tekijä lämmönvaihtimissa tehossa eikä kustannuksissa, joten valittiin vakioitavaksi tehokkaampi eli tiheämpi lamelliväli.

5 Tutkimusvaiheet ja -haasteet

Lämpöhäviöiden mitoitus on iteratiivinen prosessi, jossa tulee huomioida, että puhaltimen tuottama ilmavirta lisää ilman virtausta, mutta mitä suurempaa virtausta saadaan aikaiseksi puhaltimelta sen suuremmiksi puhaltimen moottorin lämpöhäviöt muodostuvat. Ilmavirran nopeus vaikuttaa myös lämmönvaihtimien jäähdytyskykyyn, sillä mitä nopeammin ilmavirta menee lämmönvaihtimen läpi, sitä vähemmän ilman lämpötila kärkeä jäähtyä.

5.1 Tutkimuksen vaiheet

Tutkimuksen alussa merkittiin kaikki lämpötuottavat laitteet listaan, jossa näkyi moottorin teho ja käytetty jäähdytyslaite. Listaan laskettiin kullekin moottoriteholle lämpöhäviön. Haettiin aineistosta jäähdytysyksikköjen jäähdytyskapasiteetit ja käytetyt jäähdytysyksikön laitteet kuten puhaltimen koot ja lämmönvaihtimen tiedot.

Hyvin nopeasti alun tutkimusvaiheessa kävi ilmi, ettei vakioinnissa käytettävää jäähdytysyksikköä ole vielä toimitettu tarpeeksi montaa kappaletta luotettavan määrän tietoa saamiseksi. Vanhemman jäähdytyslaitteen mitoitus ei voida suoraan hyödyntää, koska projektien valmistajan toimittamat lämpöhäviöt ja jäähdytyskapasiteetit on laskettu eri laskutavalla, eivätkä ne ole vertailukelpoisia keskenään.

Tutkimusvaiheessa vanhemmat moottorien lämpöhäviölaskut laskettiin myös uudestaan uudella menetelmällä. Siinä huomioitiin moottorien lämpöhäviöiden tarkentavia yksityiskohtia ja kaikki moottorit saatiin vertailukelpoisiksi keskenään yhteneväisellä laskutavalla.

Tutkimusvaiheessa laskettiin jäähdytyslaitteen jäähdytystehon tarpeita. Tehon tarpeeseen vaikuttavista muuttujista karsittiin pois sellaiset, joilla ei ole merkitystä. Muuttuvia parametreja etenkin lämmönvaihtimessa saatiin vähennettyä.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että vain lämmönvaihtimella on suuri jäähdytystehoalue. Tutkimuksen tuloksena lämmönvaihtimien lukumäärä voitiin laskea vain muutamaan eri koko vaihtoehtoon. Näitä yhdistelemällä pystytään kattamaan lähes kaikki jäähdytyskapasiteetit.

5.2 Suuret lämpöhäviöt

Työn alussa yhdeksi määritelmäksi vakioinnille sovittiin se, että tavoitteena on vakioida lämmönvaihtimien valinnassa käytettäviä muuttujia. Suurempitehoisten laitteiden jäähdytyksen mitoitus vaatii myös hienosäätöä ja tarkempaa vakioimista, jotta niille voidaan optimoida sopivat lämmönvaihtimet.

Pienemmille ja keskikokoisille moottoreiden tehoille vakioiminen onnistuu. Isotehoiset moottorit isoine lämpöhäviöineen vaativat lämmönvaihtimia, joita ei voida eri valmistajilla keskenään vertailla. Ne vaativat vielä lisätutkimusta vakioinnin osalta.

Työtä tehdessä pyrittiin kuitenkin luomaan selkeä pohja vakioinnin aloittamiselle laske-
malla sopivia teoreettisesti parhaimpia mahdollisia pareja lämpöhäviöiden ja jäähdytys-
laitteen komponenttien ominaisuuksien perusteella. Laskuissa tutkittiin, mitä maksimi-
jäähdytystehoja saadaan milläkin lämmönvaihdin - puhallin -pareilla verraten niitä aina
olemassa olevien eri kokoisten moottorien lämpöhäviöihin.

5.3 Ilmavirran absorbointikyvyn huomioiminen

Jäähdytyslaitteen jäähdytyskapasiteetti ei ole niin kriittisessä roolissa kuin se, että
kuuma ilma nousee liian kuumaksi moottorilla ennen kuin se saavuttaa jäähdytyslaitteen.

Ilmavirran nopeudet on jo vakioitu kahden kuution portain viiteen eri kokoluokkaan.
Näistä alin kokoluokka osoittautui laskelmissa turhaksi kokoluokaksi. Se tuottaa mootto-
rille liian suurta ilmavirtaa, jolloin se voitiin karsia pois. Puhaltimien kokoluokat saatiin
karsittua kolmeen eri luokkaan puhaltimen ilmavirtauksen mukaan. Jokaiselle ilmavirran
nopeudelle saadaan laskettua omat maksimikapasiteetit siirtää lämpöhäviöitä, kullekin
aluksesta saatavilla olevalle veden lämpötilalle. Vastedes näistä puhaltimen koko-
luokista käytetään seuraavia termejä:

1. Pieni puhallin
2. Keskikokoinen puhallin
3. Suuri puhallin

6 Tutkimustulokset ja laskutoimitukset

Lämpötilat nousevat systeemissä eri tavalla riippuen siitä, minkälainen ilmavirran nopeus systeemin sisällä kiertää. Mitä korkeampaa ilmavirtaa käytetään, sitä nopeammin saadaan lämmin ilma siirrettyä pois moottorilta, mutta sitä suurempi täytyy puhaltimen moottorin olla, mikä aiheuttaa suljettuun ilmankiertopiiriin lisää lämpöhäviöitä.

6.1 Ilmavirran nopeus

Puhaltimelta moottorille tarvittavan ilmavirran nopeus q_v , lasketaan kaavalla:

$$q_v = \frac{(\text{Heat losses})}{1,14x\Delta T}$$

jossa

ΔT on ilman lämpötilaero ennen ja jälkeen moottorin

6.2 Lämpötilojen nousu systeemissä

Ilman tiheys ρ riippuu ilman paineesta ja ilman lämpötilasta siinä lämpötilassa, kun ilma tulee moottorille, ilman tiheys tulee katsoa taulukosta

Massavirta q_m saadaan laskettua ilmavirran nopeudesta ja ilman tiheydestä:

$$q_m = q_v \times \rho$$

Ilman ominaislämpökapasiteetti c , saadaan taulukkokirjasta ja se on

$$c = \left[\frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}} \right] = 1,01 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{K} \times \text{kg}} \right]$$

Puhaltimen moottori aiheuttaa lämpöhäviöitä ja tästä seuraa lämpötilan nousua systeemissä. Katso taulukko 1. Lämpötilan nousuun vaikuttaa puhaltimen moottorin aiheuttama

lämpöhäviö. Lämpötilan nousuun vaikuttaa myös ilman ominaislämpökapasiteetti, tiheys ja massavirta:

$$\Delta T = \frac{Q}{c_p * \rho * q_m}$$

jossa

q_m on massavirta

Q on lämpömäärä puhaltimen moottorista

C_p on ilman ominaislämpökapasiteetti vakio paineessa

ρ on ilman tilavuus tarkasteltavassa lämpötilassa

ΔT on lämpötila ero

Puhaltimien jälkeen ilma lämpenee vielä lisälaitteissa ennen moottoria. Mitä korkeampi ilmavirran nopeus, sitä pienempi on lisälaitteista johtuva lämmön nousu.

Seuraavaksi lasketaan kaikki lämpöhäviöt yhteen, jotta saadaan käsitys, kuinka paljon lämpöhäviöitä tulee, kun ilma lämmönvaihtimelta saapuu moottorille.

6.3 Tarvittava ilman lämpötila lämmönvaihtimilta

Kun tiedetään, miten paljon ilma lämpenee kierron aikana moottorilta lämmönvaihtimelle, voidaan laskea lämmönvaihtimelta tarvittava ilmavirran lämpötila. Aikaisemmassa vaiheessahan selvitimme myös sen, että mitä isompi moottori puhaltimessa on, sitä kylmempää ilmaa tarvitaan jäähdytysyksiköltä. Jokaiselle eri puhaltimelle ja ilman tavoitelämpötilalle saadaan laskettua tarvittava ilman lämpötila ulos lämmönvaihtimelta.

Ilmavirran kapasiteettikyvyllä siirtää lämpöä systeemin sisällä saadaan laskettua, mitä lämpöhäviöitä moottorilta saa tulla.

$$Q = c_p * \rho * \Delta T * q_m$$

6.4 Maksimijäähdytystehot

Kun moottoreiden lämpöhäviöihin lisätään puhaltimen moottorin lämpöhäviöt ja lisälaitteiden aiheuttamat lämpöhäviöt, saadaan laskettua suurimmat tarvittavat jäähdytystehot käytettävissä oleville puhaltimien nopeuksille. Tämän arvon tulisi olla yksi vakioitu arvo.

$$Q = c_p * \rho * \Delta T * qv$$

7 Johtopäätökset

Jäähdytysyksikön vakioiminen onnistui puhaltimien ja lämmönvaihtimien suhteen. Aluksi oli paljon muuttujia ja niiden määrää onnistuttiin karsia alla olevan taulukon mukaisesti.

7.1 Lämmönvaihtimien mitoitusyökaluun vakioidut arvot

Ilmavirrannopeus (m³/s)	Ilmavirran nopeus saatiin vakioitua aikaisemman viiden eri puhaltimen aiheuttaman ilmavirran nopeuden mukaan kolmeen.
Moottorilta tuleva ilman lämpötila (°C)	Teknisissä tiedoissa on maksimilämpötilat ilmalle määritetty ja niitä tulee noudattaa.
Lämmönvaihtimeen tulevan jäähdytysveden lämpötila (°C)	Kolme eri vaihtoehtoa
Jäähdytysveden virtausnopeus	Vakio
Putkityyppi ja materiaali	Onnistuttiin vakioimaan
Lämmönsiirtoala	Vakioitu aikaisemmin

Lamellilevyjako	Lamellilevyjen jako välillä ei ollut merkittävää hintavaikutusta, joten lamelli välien tiheydeksi valittiin tiheämpi, jolla saadaan suurempi jäähdytyskapasiteetti.
Putkirivien lukumäärä	Onnistuttiin vakioimaan
Putkien kierron lukumäärä	Onnistuttiin vakioimaan
Liitintyypit	Vakioitu aikaisemmin

8 Lopputulos

Lämmönvaihtimet voitiin vakioida suuria tehoja lukuun ottamatta muutama erilaiseen lämmönvaihtimeen.

Puhaltimissa kokoluokkia voitiin tyypittää ääripäistä, koska pienimmällä kokoluokalla ei saavutettu seuraavaksi pienimpään verrattuna merkittäviä muutoksia, ja suurin koko rajattiin pois, koska siitä tuli moottori valmistajan mukaan liian suuri ilmavirta moottoriin. Näin ollen voidaan vakioida 3 erilaiseen ilmavirran määrän mukaan:

- Pieni puhallin
- Keskikokoinen puhallin
- Suuri puhallin

Näitä puhallin- ja lämmönvaihdinpareja yhdistelemällä saadaan katettua suurin osa jäähdytyskapasiteetin tarpeesta. Jäähdytysyksikkö on suunniteltu niin, että lämmönvaihtimia voi olla rivissä joko vain yksi tai sitten voi olla kaksi. Jäähdytystehon määrä lämmönvaihtimien osalta saadaan näin ollen tuplattua.

9 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin mahdollisuuksia vakioida jäähdytyslaite. Työssä tutkittiin syitä, jotka aiheuttavat lämmön nousun ja jäähdytyksen tarpeen suljetussa laitteessa. Tutkittiin sitä, miten paljon lämpötila nousee. Lisäksi selvitettiin moottoreilta tulevien lämpöhäviöiden laskemista ja sopivien jäähdytysyksikön komponenttien mitoittamista. Työssä laskettiin myös, kuinka paljon ilma lämpenee systeemissä ja miten lämmön nousu tulee ottaa huomioon lämmönvaihtimen valinnassa. Lisäksi tutkittiin, miten lämmönvaihtimien parametrien muuttaminen vaikuttaa haluttuun jäähdytyskapasiteettiin, ja laskettiin kaikki mahdolliset lämmönvaihtimien jäähdytyskapasiteetit parametreilla, jotka vakioitiin.

Työssä saatiin selvitettyksi halutut modulaariset kokonaisuudet jäähdytysyksikön laitteille. Työn tavoitteeseen siis päästiin. Suurimmat teholuokat vaativat vielä hienosäätöä eivätkä olleet näin vakioitavissa, mutta tavoitteenahan oli löytää suurimmalle osalle lämpöhäviöitä parhaimmat jäähdytyskapasiteetit omaavat jäähdytysyksikön kokonaisuudet.

Lähteet

- 1 Rohsenow Warren M, Hartnett James P, Cho Young I, Heat transfer, third edition, 1998, McGraw-Hill handbooks
- 2 Aittomäki Antero, Kylmätekniikka, 3. painos, 2008, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, Suomen kylmäyhdistys ry.
- 3 Lampinen Markku J, Termodynamiikan perusteet, 6. painos 2010, Hakapaino Oy, Otatieto.
- 4 Roald Nyald, 2002, Käytännön kylmätekniikka, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, Suomen kylmäyhdistys Ry
- 5 Cengel Yunus A, Boles Michael A, Thermodynamics an engineer approach, 7. Edition, 2011, McGraw-Hill handbooks
- 6 IEC-60034-1 standardi, Rotating electrical machines - Part 1
- 7 Ella Johanna, Häviöjakauma korkean hyötysuhteen moottoreissa, diplomityö, 2012, Tampereen teknillinen yliopisto.
- 8 Napari Ismo, Vehkamäki Hanna, Termofysiikan luentomateriaali. Jyväskylän yliopisto, 2014, Saatavilla: http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/termo/termofysiikka2013_hv.pdf
- 17 Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J 2011. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- 18 Hautala Mikko, Hannu Peltola, Insinöörin AMK fysiikka osa I, 9. painos, 2009, Saarijärven OFFSET Oy, Lahden Teho-opetus
- 19 Sandberg Esa, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, 2014, Tammerprint, talotekniikka-Julkaisut O