

Timo Haapa

VAPAAJÄÄHDYTYKSEN HYÖDYNTÄMINEN

Mikkelin keskussairaala

Opinnäytetyö
Talotekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Timo Haapa	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2018
Opinnäytetyön nimi		36 sivua 5 liitesivua
Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen Mikkelin keskussairaala		
Toimeksiantaja		
Etelä-Savon sosiaali- ja terveystalvelujen kuntayhtymä ESSOTE		
Ohjaaja		
Heikki Salomaa		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Mikkelin keskussairaalan kahden vedenjäähdytyskoneessa käytettävien vapaajäähdytysjärjestelmien toimivuutta sekä vapaajäähdytysjärjestelmän tuomaa energian säästöä. Työssä selvitettiin myös kiinteistövalvonnasta saatavien mittaustulosten yhdenmukaisuutta konehuoneesta saataviin mittaustuloksiin.</p> <p>Tutkittavassa kohteessa havaittiin toisen liuosjäähdytteisen vedenjäähdytyskoneen vapaajäähdytysominaisuuden toimintavirhe. Vapaajäähdytysjärjestelmä ei kytkeytynyt päälle toisessa vedenjäähdytyskoneessa. Toinen vedenjäähdytyskone toimi käyttäjien tekemien muutosten mukaisesti, eli laitteisto hyödyntää vapaajäähdytystä ulkolämpötilojen ollessa pakkasen puolella.</p> <p>Tutkimuksessa käytettiin tutkimusmenetelminä vedenjäähdytyslaitteistojen toiminnan seurantamittauksia. Vedenjäähdytyskoneiden sekä vedenjäähdyttimien toimintalämpötilat kirjattiin mittauspöytäkirjoihin. Mittauspöytäkirjoista selvitettiin laitteistojen toimintalämpötiloja, joista laskettiin energiankulutukset.</p> <p>Opinnäytetyössä saaduista tuloksista selvisi toisen vedenjäähdytyskoneen energiankulutuksen olevan suuri vapaajäähdytyksen toimimattomuuden vuoksi. Toinen vedenjäähdytyskone pystyi tuottamaan tarvittavan jäähdytysenergian liuosjäähdyttimen avulla vapaajäähdytyksenä.</p> <p>Tutkimuksessa todettiin toimivan vapaajäähdytysjärjestelmän tuovan huomattavan energiansäästön vedenjäähdytyskoneiden käytön yhteydessä. Vapaajäähdytysjärjestelmän lisäämistä tuleviin hankkeisiin voidaan suositella.</p>		
Asiasanat		
Vapaajäähdytys, energiansäästö, vedenjäähdytyskone, liuosjäähdytin		

Author (authors)	Degree	Time
Timo Haapa	Bachelor of Engineering	May 2018
Thesis title		
Make use of free cooling in Mikkeli Central Hospital		36 pages 5 pages of appendices
Commissioned by		
Etelä-Savon sosiaali- ja terveystalvelujen kuntayhtymä ESSOTE		
Supervisor		
Heikki Salomaa		
Abstract		
<p>The purpose of the thesis was to find out the functionality of the free cooling systems in the two hydraulic cooling systems of Mikkeli Central Hospital and the energy savings generated by the free cooling system. The work also clarified the consistency of the measurement results obtained from property monitoring with the measurement results obtained from the engine room.</p>		
<p>In the subjects to be investigated, there was a malfunction of the free coolant feature of the second solution cooled water cooler. The free cooling system was not switched on in the running water cooler. The second water cooler acted according to the changes made by the user, that is, the equipment utilizes free cooling when the outdoor temperatures are on the cold side.</p>		
<p>The research methods used to measure the operation of water cooling systems were as follows. The operating temperatures of water coolers and water chillers were recorded in the measurement logs. The measurement protocols were used to determine the operating temperatures of the plants, from which energy consumption was calculated.</p>		
<p>The results obtained in the thesis concluded that the energy consumption of another water cooler was high due to the lack of free cooling. Another water cooler was able to produce the required cooling energy by means of a solution cooler for free cooling.</p>		
<p>The study found that a functioning free cooling system would bring significant energy savings with the use of water coolers. It is advisable to upgrade the free cooling system to future projects.</p>		
Keywords		
Free cooling, energy saving, water cooling machine, fluid cooler		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TAVOITTEET	7
3	JÄÄHDYTYSPROSESSI	8
3.1	Höyrystin.....	9
3.2	Kompressori.....	9
3.3	Lauhdutin.....	9
3.4	Paisuntaventtiili.....	9
3.5	Kylmäaineen logaritminen paine-entalpia-tilapiirros.....	9
4	JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT	10
4.1	Suorajäähdytysjärjestelmä.....	11
4.2	Välillinen jäähdytysjärjestelmä.....	11
4.3	Liuos ja ilmalauhdutus/jäähdytys vedenjäähdytyskoneessa	12
5	VAPAAJÄÄHDYTYKSEN HYÖDYNTÄMINEN	14
5.1	Periaatekytkentä vedenjäähdytyskoneessa ilman vapaajäähdytystä.....	14
5.2	Periaatekytkentä vedenjäähdytyskoneessa vapaajäähdytyksen kanssa	15
6	CASE MIKKELIN SAIRAALA.....	16
6.1	Vedenjäähdytin GJK01	16
6.2	Vedenjäähdytin GJK02	18
7	MITTAUKSET JA MENETELMÄT	19
7.1	Mittaus	20
7.1.1	Vedenjäähdytin GJK01	20
7.1.2	Vedenjäähdytin GJK02	25
8	TULOKSET.....	29
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET	

Liite 2. Mittauspöytäkirja GJK01 kiinteistövalvonta

Liite 3. Mittauspöytäkirja GJK02 konehuone

Liite 4. Mittauspöytäkirja GJK02 kiinteistövalvonta

Liite 5. Lämpötilojenpysyvyys tiedot

SANASTO

T_p = Käyntiaika päivässä h/d

P_o = Ottoteho kW

P_0 = Antoteho kW

COP = Kylmäkerroin

S_h = Sähköhinta €/MWh

E_a = Kylmäntuottovuodessa MWh/a

E_o = Sähkönkulutusvuodessa MWh/a

T_w = Talviajan tuntimäärä h/a

T_d = Vuorokaudentunnit h/d

d_a = Vapaajäähdytyksen päivät vuodessa d/a

T_{vp} = Vapaajäähdytystä tuntia vuodessa h/a

E_{vp} = Tuottovapaajäähdytyksellä MWh/a

S_{vp} = Säästövapaajäähdytyksellä €/MWh

K_n = Kulutus nyt €

\emptyset_{tot} = Koko jäähdytystehontarve MWh

T_{maksu} = Takaisinmaksuaika a

\emptyset_{jp} = Jäähdytyspatterien teho MWh

\emptyset_{jv} = Ilmanvaihdon jäähdytyspatterit teho MWh

P_s = Puhaltimien sähkönkulutus €

\emptyset_p = Puhaltimien teho MWh

P_m = Puhaltimien määrä kpl

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdytään Mikkelin sairaalan kahden eri vedenjäähdyttimen toimintaan. Sairaalaolosuhteissa jäähdytyksen tarve on ympärivuotista laitteistojen sekä ihmisten aiheuttamien lämpökuormien vuoksi.

Ensimmäisessä koneessa GJK01 havaittiin toiminnallisia virheitä, joiden aiheuttaja pyritään selvittämään. Korjauksen tarpeellisuutta tarkastellaan energiakustannuksien säästön perusteella. Ongelma liittyy vapaajäähdytyksen toimimattomuuteen. Vedenjäähdyttimen kompressorit käyvät tuottaen kylmää jäähdytysvettä talviolosuhteissa, vaikka ulkolämpötilojen perusteella voitaisiin hyödyntää ulkoilmasta saatavaa vapaajäähdytystä nestejäähdyttimien avulla. Työssä selvittää energian säästön määrä teoreettisesti vuotuisten keskilämpöjen perusteella, mikäli laitteisto toimisi oikein.

Toinen vedenjäähdytyskone GJK02 toimii käyttäjän tekemien muutosten mukaisesti. Tämän laitteen energian säästöä tarkastellaan tulevien rakennusprojektien kannalta, selventämällä laitteistojen mahdollisesti tuomaa hyötyä taloudellista näkökulmaa huomioiden. Tämän vedenjäähdyttimen perusteella voidaan tarkastella kiinteistön todellista jäähdytystarvetta talviolosuhteissa.

Opinnäytetyössä käytetään paljon tekijän omakohtaista kokemuseräistä tietoa sekä ilmastointi että putkipuolen asennusten osalta ja työnjohdon työkokemuksen perusteella.

2 TAVOITTEET

Tavoitteena tässä tutkimuksessa on saada todellista tietoa vapaajäähdytyksen hyödyntämisen hyödyistä vedenjäähdytyskoneissa. Samalla kun ulkoilmasta sääolosuhteiden salliessa otetaan ilmaisenergiaa, säästetään myös jäähdytyskoneiden käyttökustannuksissa. Vedenjäähdytyskoneiden vapaajäähdytysominaisuus pienentää jäähdytyskoneiden käyntiaikoja, joten samalla koneiden käyttöikä pitenee käyntiaikojen ollessa lyhyempiä.

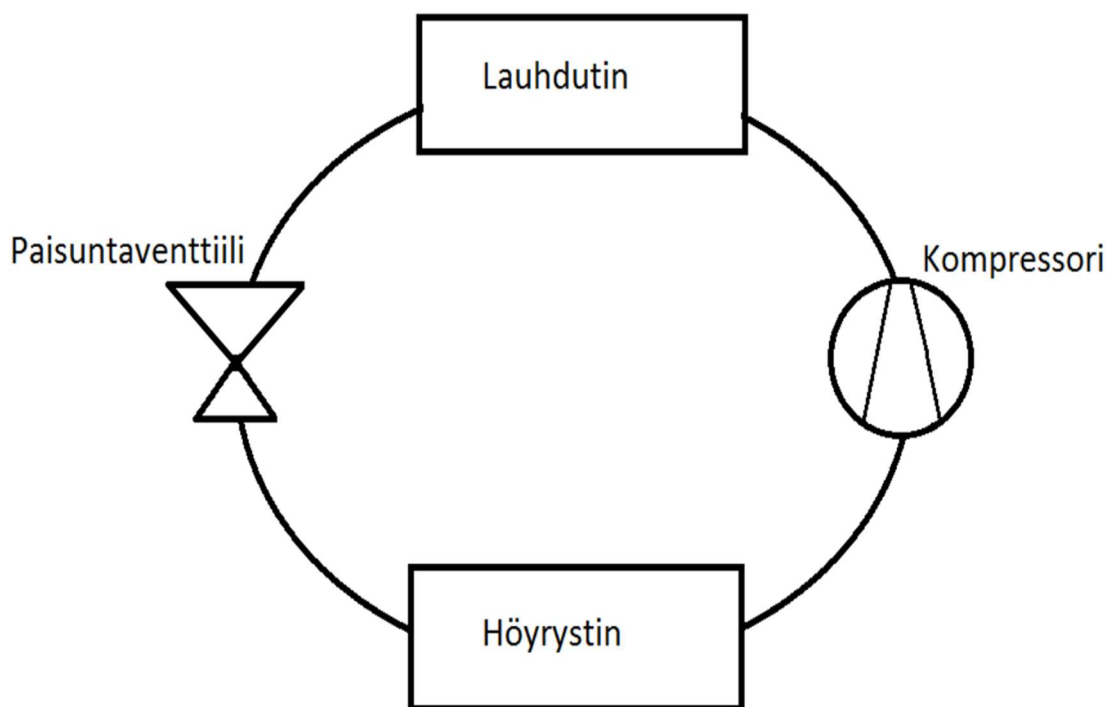
Vedenjäähdytyskoneiden energiankulutus pienenee samassa suhteessa kuin käyntiajat lyhenevät. Talviolosuhteissa päästään tilanteisiin, jossa jäähdytyskoneiden ei tarvitse käynnistyä ollenkaan tuottaen jäähdytysvettä. Ulkoilmasta

saatava vapaajäähdytysenergia kattaa sisätiloissa tarvittavan jäähdytyksen tehon tarpeen.

Energian säästäminen on tällä hetkellä yleistynyt varsin voimakkaasti. Vapaa-
jäähdytyksen käyttäminen on mahdollista monissa eri kohteissa, erityisesti
suuria lämpökuormia ympärivuoden tuottavissa tiloissa. Tavoitteeksi voidaan
myös lukea jo olemassa olevien laitteistojen käytön optimointi, jotta saadaan
laitteistosta kaikki hyötykäyttöön. Käyttäjien on tärkeitä saada laitteistojen toi-
minnasta selkeitä sekä todellista tietoa. Näillä tiedoilla jäähdytyskoneiden toi-
mintaa voidaan säätää tarpeen mukaan sekä voidaan havaita ja ratkaista
mahdollisia ongelmatilanteita.

3 JÄÄHDYTYSPROSESSI

Jäähdytysprosessi tapahtuu koneellisessa jäähdytyksessä suljetussa kiertoprosessissa kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Kylmäprosessi

Kylmäkoneiston sisällä oleva kylmäainekaasu höyrystyy sitoen lämpöä sekä
lauhtuessaan kylmäaine luovuttaa lämpöä. Kuvassa 1 esitetty kiertoprosessi
auttaa havainnollistamaan kylmäkoneen kiertoprosessin. Höyrystimessä kyl-

määaine höyrystyy sekä sitoo lämpöä itseensä. Kompressorin imee kylmäaineen, korottaa kylmäaineen lämpötilan sekä paineen. Lauhduttimessa kylmäaineen sitoma lämpö siirtyy ympäristöön sekä kylmäaine lauhtuu. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen painetta sekä lämpötilaa lasketaan edelleen. Tämän jälkeen prosessi alkaa uudelleen. /6./

3.1 Höyrystin

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy lämpötilan laskiessa ympäristöään alemaksi. Matalapaineinen kylmäaine sitoo itseensä lämpöä ympäristöstä. /4, s.10./

3.2 Kompressorin

Kompressorin imee kylmäainehöyryn höyrystimestä kaasun ollessa matalapaineinen. Kompressorin puristaa kylmäainehöyryn korkeaan paineeseen, jonka johdosta kylmäainehöyryn lämpötila nousee. /4, s.10./

3.3 Lauhdutin

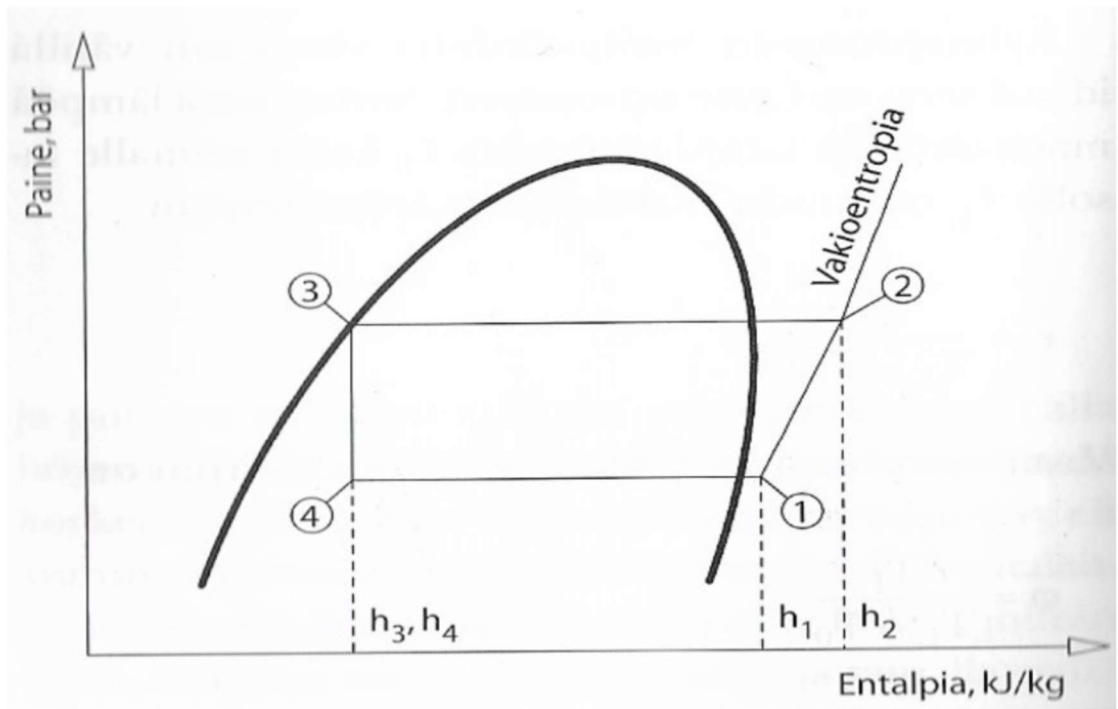
Lauhduttimessa tapahtuu lauhduttaminen, eli kaasu muuttuu olomuotoaan nesteeksi. Lämmin kylmäaine tiivistyy takaisin nesteeksi, jonka johdosta vapautuu lämmintä energiaa ympäristöön. /4, s.10./

3.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilissä kylmäaineen painetta lasketaan, jolloin lämpötila laskee. Nesteen muoto muuttuu osittain kaasuksi. /4, s.10./

3.5 Kylmäaineen logaritminen paine-entalpia-tilapiirros

Kylmäprosessi kuvattuna teoreettisena paine-entalpia-tilapiirroksessa. (kuva 2). Pisteiden 4-1 välissä kylmäaine höyrystyy sekä sitoo lämpöä ympäristöstä. Pisteiden 1-2 välillä kompressorin imee kylmäainehöyryn höyrystimestä kaasun ollessa matalapaineinen. Kompressorin puristaa kylmäainehöyryn korkeaan paineeseen, minkä johdosta kylmäainehöyryn lämpötila nousee. /4, s.10./



Kuva 2. log p, h-tilapiirros. /4, s.12/

Pisteiden 2-3 välillä tapahtuu lauhduttaminen, eli kaasu muuttaa olomuotoaan nesteeksi. Lämmin kylmäaine tiivistyy takaisin nesteeksi, jonka johdosta vapautuu lämmintä energiaa ympäristöön. Pisteiden 3-4 välillä paisuntaventtiilissä kylmäaineen painetta lasketaan, jolloin lämpötila laskee. Nesteen muoto muuttuu osittain kaasuksi. /4, s.10./

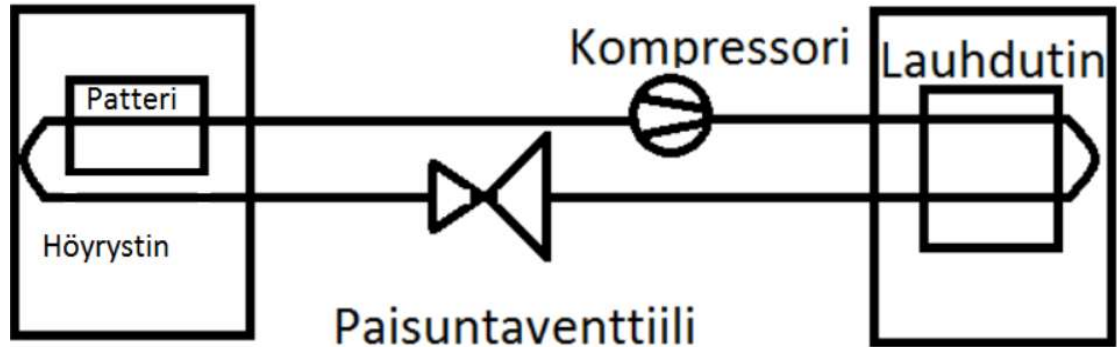
4 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT

Jäähdytysjärjestelmiä on olemassa monia, joilla voidaan ratkaista kiinteistöjen yllilämmön tuoma jäähdytyksentarve. Näitä lämmönlähteitä ovat ihmiset, koneet sekä vallitsevat sääolosuhteet. Jäähdytysjärjestelmät koneellisella puolella ovat pääsääntöisesti suora sekä välillinen jäähdytysjärjestelmä. Näissä jäähdytysprosesseissa periaate on toiminnaltaan samankaltainen, mutta laitteistot eriävät toisistaan. /5./

Kiinteistössä olevat laitteet sekä jäähdytyksen tehon tarpeet ovat suuria. Kiinteistössä olevat laitteet ovat välillisiä jäähdytysjärjestelmiä, joten opinnäytetyössä keskityttiin jo olemassa oleviin järjestelmiin. /6./

4.1 Suorajähdytysjärjestelmä

Suorajähdytysjärjestelmän peruseräite on, että kylmäaine kiertää suoraan esimerkiksi ilmastointikoneen jähdytyspatterissa. Jähdytyspatteri toimii höyrystimenä. (kuva 3).

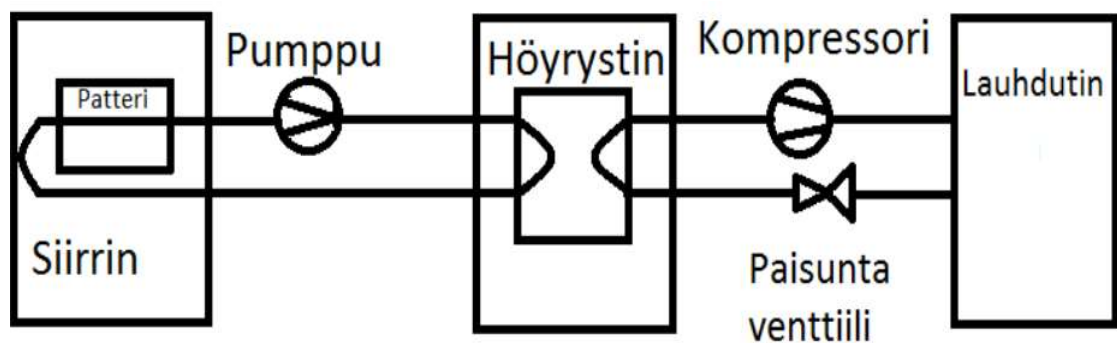


Kuva 3. Suorajähdytys

Suorajähdytys on parhaimmillaan pienissä kohteissa, jossa on pieni jähdytysentaruve sekä ilmastirrat ovat tasaisia. Suoranjähdytyksen toteutukseen tarvitaan vähemmän komponentteja sekä investointeja kuin välilliseen jähdytysjärjestelmään. Kylmäainepiirin putkiston tulee olla lyhyt, laitevalmistajan ohjeiden mukainen, hyötysuhteen parantamiseksi /5/.

4.2 Välillinen jähdytysjärjestelmä

Välillisen järjestelmän peruseräite on, että kylmäaineella jähdytetään jähdytysjärjestelmässä käytettävää virtaavaa nestettä, yleensä vettä höyrystimen välityksellä. (kuva 4).

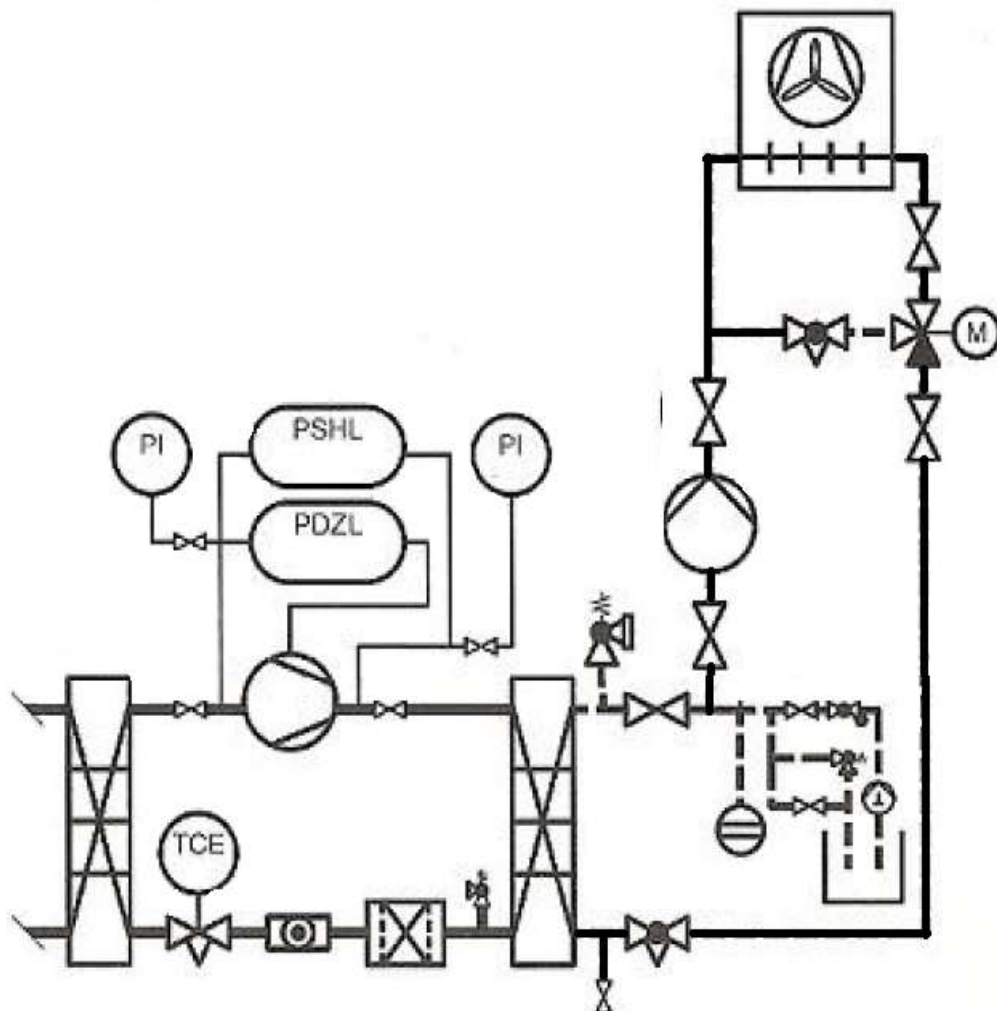


Kuva 4. Välillinen jähdytys

Välillinen jäähdytysjärjestelmä on parhaimmillaan isoissa jäähdytystarpeissa sekä muuttuvissa olosuhteissa. Järjestelmän palvelualueita voidaan lisätä pienin muutoksin. Välillisen järjestelmän yhteydessä voidaan käyttää ulkoilmasta saatavaa vapaajäähdytystä, tällöin käytettävänä lämmönsiirtoaineena käytetään ensiöpuolella pakkasenkestävää lämmönsiirtonestettä ja toisiopuolella yleensä vettä. /6./

4.3 Liuos ja ilmalauhdutus/jäähdytys vedenjäähdytyskoneessa

Liuosjäähdyttimellä varustettu toiminta perustuu vedenjäähdytyskoneissa kompressorin jäähdyttämiseen kylmäaineen avulla. (kuva 5).

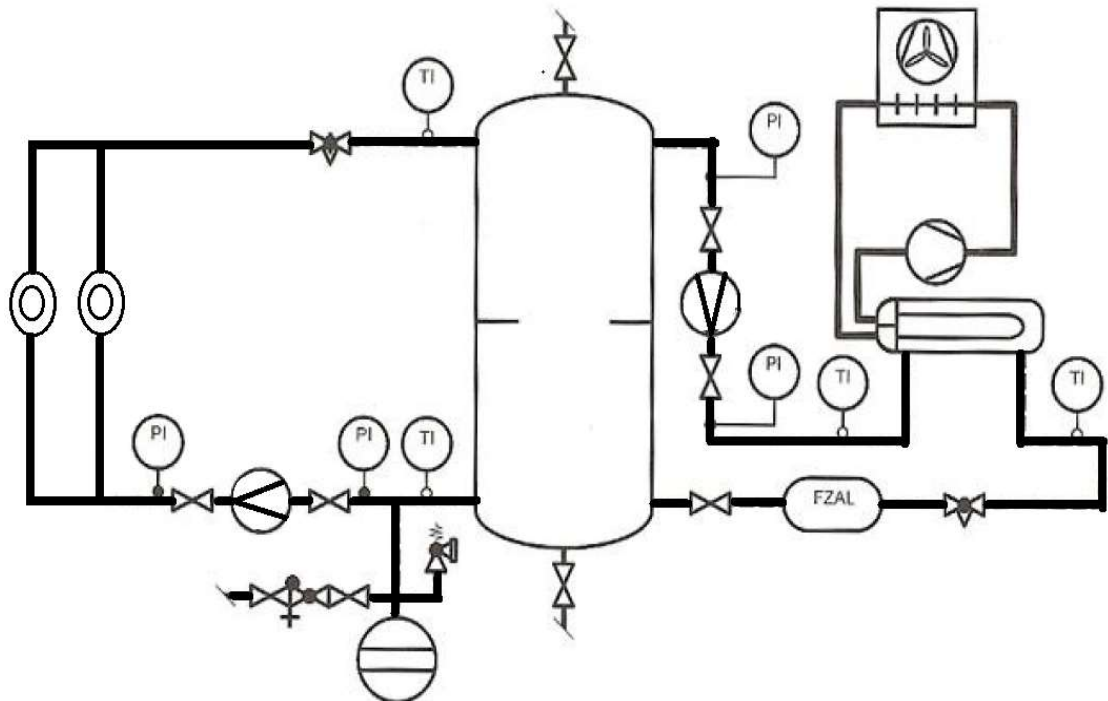


Kuva 5. Liuosjäähdyttimellä varustettu vedenjäähdytyskone. Muokattu /8 s.226/

Pääsääntöisesti katolle/ulkoilmaan sijoitettava nestejäähdytin jäähdyttää vedenjäähdytyskoneen lauhdutinta pakkasenkestävällä lämmönsiirtonesteellä. /6./ Tutkimuksen kohteessa käytetään etyleeniglykoli-vesi seosta 30-35 % sekoitussuhteella. Ulkoilmassa sijaitseva liuosjäähdytin luovuttaa lauhduttimesta

tulevaa lämpöä ulkoilmaan jäähdyttäen virtaavaa lämmönsiirtonestettä. Vedenjäähdytyskoneen sekä liuosjäähdyttimen etäisyydelle ei ole tiettyä pituutta, vaan laitteistot voivat olla toisistaan kaukana. Liuosjäähdytyn voidaan varustaa puhaltimilla, jotka tehostavat virtaavan lämmönsiirtonesteen jäähdytystä. Liuosjäähdyttimen avulla voidaan hyödyntää vapaajäähdytystä ulkoilmasta ulkolämpötilojen ollessa matalat. /5./

Ilmalauhdutuksen toiminta perustuu vedenjäähdytyskoneissa kompressorin sekä höyrystimen jäähdyttämiseen ulos sijoitetulla lauhduttimella. (kuva 5). Lauhduttimessa kiertää kylmäaine. Ilmalauhdutuksella varustettuja vedenjäähdytyskoneita käytetään yleensä kesäisin. /8, s. 222./



Kuva 6. Ilmalauhdutus vedenjäähdytyskoneessa. Muokattu /8 s.231/

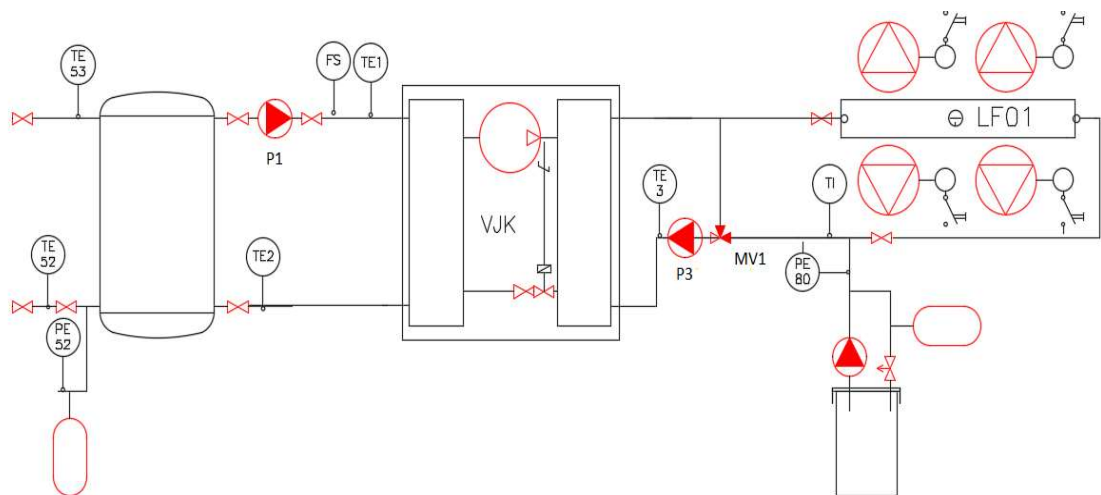
Mikäli koko kone asennetaan ulkoilmaan, pitää huolehtia talvella jäätyksen estosta. Ympäri vuoden toimivat koneistoissa pitää huolehtia lauhtumispaineen säädöistä. Lauhtumispaineen hitaasta noususta seuraa kompressorin sekä paisuntaventtiilin toimintahäiriöitä. /8, s. 222./

5 VAPAAJÄÄHDYTYKSEN HYÖDYNTÄMINEN

Vapaajäähdytystä voidaan hyödyntää monella tavalla. Vesistöjen äärellä voidaan hyödyntää kylmää vettä vapaajäähdytys siirtimen avulla esimerkiksi merestä. Tässä työssä keskitytään ilmasta-nesteeseen saatavissa olevasta kylmäenergiasta, jota saadaan ulkoilmassa sijaitsevien nestejäähdyttimien avulla. Vedenjäähdytyskoneen komponentit muuttuvat vapaajäähdytys siirtimen sekä 3-tieventtiin verran.

5.1 Periaatekytkentä vedenjäähdytyskoneessa ilman vapaajäähdytystä

Vedenjäähdytyskoneessa kytkentä on yksinkertainen. Vedenjäähdytyskoneesta lähtevät nestejäähdyttimelle putket, joiden välityksellä vedenjäähdytyskoneen tuottama lämpö jäähdytetään viileää ulkoilmaa hyväksikäyttäen. Putkistossa käytetään lämmönsiirtonesteenä vesi-glykoliseosta.

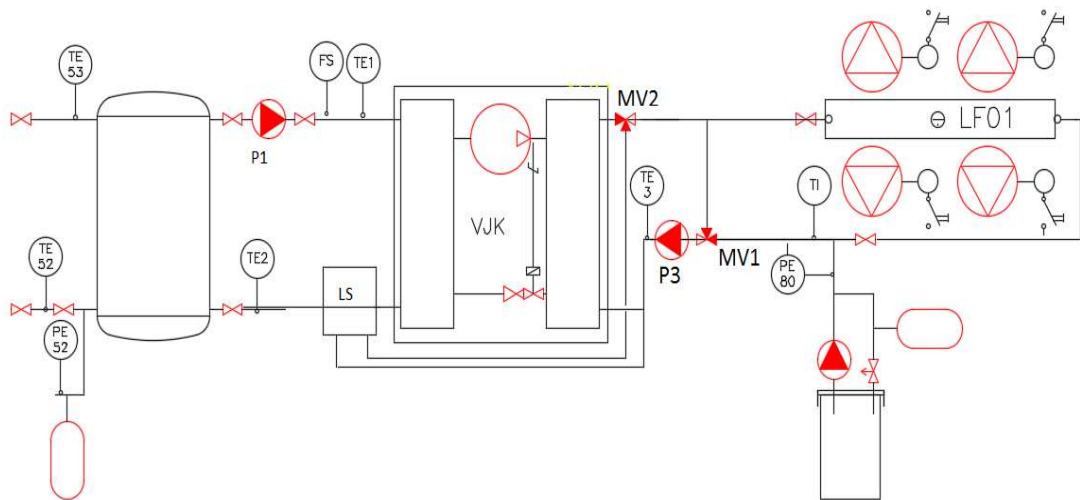


Kuva 7. Kytkenä ilman vapaajäähdytys siirintä. /muokattu 3/

Kuvassa 7 oleva pumppu (P3) kierrättää jäähdytysnestettä vedenjäähdytyskoneen sekä nestejäähdyttimen (LF01) välillä. Kolmitie-venttiilillä (MV1) säädetään vedenjäähdytyskoneelle palaavan nesteenlämpötilaa oletusarvon mukaisesti. Pumppu (P1) toimii latauspumpuna. Pumppu kierrättää jäähdytysvettä kylmävesivaraajan sekä vedenjäähdytyskoneen välillä. Kylmävesivaraajalla pidetään puskurivarastoa, jotta vedenjäähdytyskone ei käy koko ajan.

5.2 Periaatekytkentä vedenjäähdytyskoneessa vapaajäähdytyksen kanssa

Vedenjäähdytyskoneen kytkentä vapaajäähdytys siirtimellä varustettuna on yksinkertainen. Vedenjäähdytyskoneesta lähtevät jäähdyttimelle putket, joiden välityksellä vedenjäähdytyskoneen tuottama lämpö jäähdytetään viileää ulkoilmaa hyväksikäyttäen. Putkistossa käytetään lämmönsiirtonesteinä vesi-glykoliseosta. Ulkolämpötilojen salliessa käytetään nestejäähdyttimiä vapaajäähdytyksen hyödyntämiseen.



Kuva 8. Kytkenä vapaajäähdytys siirtimellä. /muokattu 3/

Ulkolämpötilan ollessa riittävän alhainen tutkimuksen kohteessa laitteisto on säädetty hyödyntämään vapaajäähdytystä ulkolämpötilan ollessa -1°C tai alle. Kuvassa 8 kolmitieventtiilin (MV2) avulla nestejäähdyttimellä (LF01) jäähdytetty lämmönsiirtoneste ohjataan vapaajäähdytys siirtimelle (LS). Kylmä lämmönsiirtoneste ei kierrä vedenjäähdytyskoneen kautta, vaan jäähdytys otetaan vedenjäähdytyskoneen sekä kylmävesivaraajan välistä vapaajäähdytys siirtimellä. Pumppu (P1) kierrättää vapaajäähdytys siirtimen (LS) sekä kylmävesivaraajan välissä jäähdytysvettä. Pumppu (P3) kierrättää jäähdytysnestettä vapaajäähdytys siirtimen (LS) sekä nestejäähdyttimen (LF01) välillä. Kolmitieventtiilillä (MV1) säädetään kylmäsiirtimelle menevän nesteen lämpötilaa oletusarvon mukaisesti. Vapaajäähdytys siirtimelle ei voida ohjata liian kylmää lämmönsiirtonestettä, jäähdytysveden jäätymisriskin vuoksi. Jäähdytyspiirissä käytetään vettä, jäähdytinpiirissä käytetään vesi-glykoliseosta.

Vedenjäähdytyskoneen toimiessa ilman vapaajäähdytystä kolmitieventtiili (MV2) sulkeutuu ohjaten vedenjäähdytyskoneen jäähdytysnesteen nestejäähdyttimille (LF01). Pumppu (P3) kierrättää jäähdytysnestettä vedenjäähdytyskoneen sekä nestejäähdyttimen (LF01) välillä. Kolmitieventtiilillä (MV1) säädetään vedenjäähdytyskoneelle palaavan nesteenlämpötilaa oletusarvon mukaisesti. Pumppu (P1) toimii latauspumppuna. Pumppu kierrättää jäähdytysvettä kylmävesivaraajan sekä vedenjäähdytyskoneen välillä. Kylmävesivaraajalla pidetään puskuri varastoa tasaamaan kulutusta sekä ettei vedenjäähdytyskone käy koko ajan.

6 CASE MIKKELIN SAIRAALA

Mikkelin sairaalassa jäähdytyksen tarve on ympärivuotista, ja kiinteistön lämpökuormat ovat suuret. Lämpökuormia aiheuttavat lukuisat laitteet, potilaat sekä henkilökunta. /7./ Tutkimuksessa käsiteltiin magneettikuvauslaitteen tekniikkakaapin, röntgenosaston (GJK01) sekä G-osassa (GJK02) käytettävien vedenjäähdytyskoneiden toimintaa sekä vapaajäähdytyksen tuomaa energian säästöä.

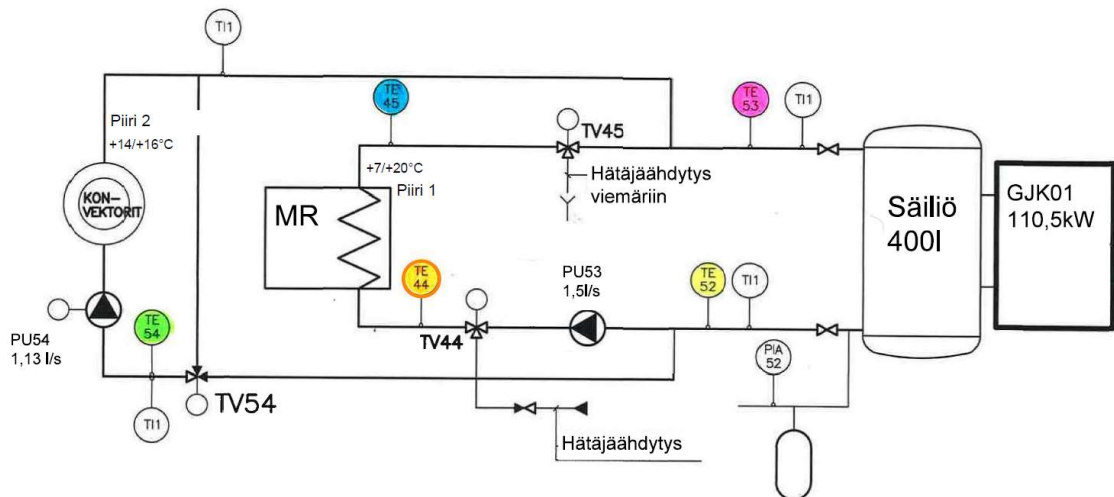
ESSOTElla on käynnissä tällä hetkellä Kuuma sairaala- sekä Perhetalo-hankkeet. Tulevina hankkeina on ainakin Mielentalo suljettavan Moision sairaalan tilalle. /7./ Tutkimukseni perusteella suunnitelmiin voidaan vielä vaikuttaa, jonka johdosta käynnissä oleviin sekä tuleviin hankkeisiin voidaan suunnitella vapaajäähdytyksen hyödyntämistä vedenjäähdytyskoneissa. Lisäkustannukset uudiskohteessa suunnitteluvaiheessa ovat pienemmät kuin valmiiseen jäähdytysjärjestelmään vapaajäähdytystä lisättäessä. Vedenjäähdytyskoneisiin integroidaan tehtaalla vapaajäähdytys siirrin sekä muut toimilaitteet, kuten säätöventtiilit sekä automatiikka. Lisähinta vapaajäähdytysjärjestelmällä varustetulla laitteistolla noin 5500 € enemmän verrattuna ilman vapaajäähdytystä olevaan vedenjäähdytyskoneeseen. /9./

6.1 Vedenjäähdytin GJK01

Vedenjäähdytin GJK01 on kaksipiirinen, kahdella kierukkakompressorilla varustettu vedenjäähdytin. Laitteeseen on sisäänrakennettu 400 litran tasaussäiliö. Vedenjäähdytin on Chiller Oy:n valmistama, mallimerkinnältään CGIW-28-2D-V4-P1-W2-P3-ECO. Ottoteho sähköverkosta on 46,8 kW. Jäähdytysteho

kesäkäytöllä 110,5 kW. Talvikäytöllä vapaajäähdytystä hyödyntäen 107,8 kW. Katolla sijaitseva nestejäähdytin on Ekocoil Oy:n valmistama CDCC-1228-690-2,5-H-80-66-METTK. Jäähdytinteho on 142,8 kW.

Lämmönsiirtonesteena katolla sijaitsevissa vedenjäähdytyskoneen jäähdyttimissä käytetään 35 % vesiglykoliseosta jäätymisen ehkäisemiseksi. Laitteistot palvelevat magneettikuvauksen tekniikkakaappia sekä röntgenosaston tiloja. Lämmönsiirtonesteena jäähdytysverkostossa käytetään vettä aineen ympäristöystävällisyyden, edullisuuden sekä veden paremman ominaisuuslämpökapasiteetin vuoksi. Tilojen ilmoitettu jäähdytystehon tarve on 99 kW.



Kuva 9. Havaintokuva vedenjäähdytyskoneen GJK01 palvelualueesta /muokattu 3/

Piirin 1. jäähdytysveden mitoituslämpötilat ovat $+7^{\circ}\text{C}$ / $+20^{\circ}\text{C}$. Palvelualueena on magneettikuvauksen tekniikkakaappi (MR). Tehon tarve piirissä 1 on 63 kW.

Piirin 2. jäähdytysveden mitoituslämpötilat ovat $+14^{\circ}\text{C}$ / $+16^{\circ}\text{C}$. Palvelualueena on röntgenosaston jäähdytyspalkit sekä iv-jäähdytyspatterit. Tehon tarve piirissä 2 on 36 kW.

MR-jäähdytysjärjestelmä on varustettu lisäksi hätäjäähdytysjärjestelmällä. Kylmää käyttövedtä ajetaan käyttövesiverkoston paineella, vedenjäähdytyskoneen vikatilanteessa suoraan MR-laitteiston jäähdytyspiiriin 3-tieventtiin kautta (TV44), lämmennyt jäähdytysvesi ohjataan paluupuolelta olevan 3-tieventtiin (TV45) välityksellä suoraan viemäriverkostoon. Tilojen jäähdytyksen

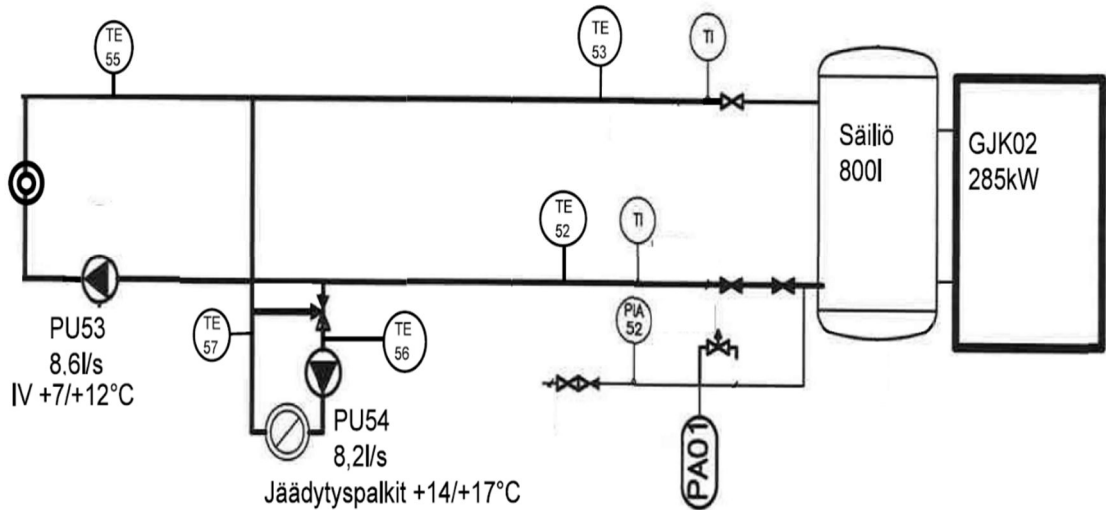
yhteistehon tarve on 36 kW. Jäähdytyspalkkien osuus on 11 kW sekä iv-jäähdytyspattereiden 25 kW.

Vapaajäähdytyksen tutkiminen tässä laitteessa ei onnistunut ongelmatilanteen vuoksi, kompressori kävi 5 minuuttia sekä oli sammuksissa 6 minuutin sykleissä. Jäähdytyspiirin nesteiden lämpötilat vaihtelivat suuresti, sekä lisäksi todettiin, että nestejäähdyttimessä olevat sähköpuhaltimet eivät pyörineet, vaikka vapaajäähdytyksen tehostamiselle olisi ollut mahdollisuus ulkolämpötilojen puitteissa. Järjestelmä kävi siis vedenjäähdytyskoneen varassa, eikä vapaajäähdytystä hyödynnetty. Syy on todennäköisesti automatiikasta johtuva virhe. Mittauspöytäkirjoista voidaan todeta automatiikan mittaustulosten eriävän jonkin verran lämpömittareiden luetuista arvoista.

6.2 Vedenjäähdytin GJK02

Vedenjäähdytin GJK02 on kaksipiirinen, kahdella kierukkakompressorilla varustettu vedenjäähdytin. Laitteessa on sisäänrakennettu 800 litran tasaussäiliö. Vedenjäähdytin on Chiller Oy:n valmistama, malli merkinnältään CGIW-80-4D-V8-P1-W2-P3-ECO. Ottoteho sähköverkosta on 110 kW. Jäähdytysteho kesäkäytöllä 285 kW. Talvikäytöllä vapaajäähdytystä hyödyntäen 190 kW. Katolla sijaitseva nestejäähdytin on Ekocoil Oy:n valmistama CDCC-13210-690-2,5-100-97. Jäähdytinteho on 361 kW.

Lämmönsiirtonesteena katolla sijaitsevissa vedenjäähdytinkoneen jäähdyttimissä käytetään 30 % vesiglykoliseosta jäätymisen ehkäisemiseksi. Laitteiston palvelualueena on G-osan iv-patterit, jäähdytyspalkit sekä konvektorit. Lämmönsiirtonesteena toisiopuolella jäähdytyspiirissä käytetään vettä, aineen ympäristöystävällisyyden sekä veden paremman ominaislämpökapasiteetin vuoksi. Tilojen jäähdytyksen yhteistehon tarve on 276,3 kW.



Kuva 10. Havaintokuva vedenjäähdytyskone GJK02. /muokattu 3/

Piirin 1 jäähdytysveden mitoituslämpötilat ovat $+14\text{ °C}$ / $+17\text{ °C}$. Palvelualueena on G-osan jäähdytyspalkit. Tehon tarve piirissä 1. on $40,6\text{ kW}$.

Piirin 2 mitoituslämpötilat ovat $+7\text{ °C}$ / $+12\text{ °C}$. Palvelualueena G-osan puhallin-konvektorit, joiden jäähdytystehontarve on $50,9\text{ kW}$. Lisäksi G-osan ilmastointikoneiden jäähdytyspatterit sekä jälkijäähdytyspatterit, joiden tehon tarve on $184,4\text{ kW}$. $+7\text{ °C}$ / $+12\text{ °C}$ nesteiden lämpötiloilla voidaan kuivata sisäilmaa, jos jäähdytyslaitteet ovat varustettu kondenssivesiviemäröinnillä.

7 MITTAUKSET JA MENETELMÄT

Työssä selvitettiin mittauksin, kuinka paljon vapaajäähdytyksen avulla voidaan pienentää vedenjäähdytyskoneiden energiankulutusta. Mittausjakson alussa havaittiin vapaajäähdytyksen toimivan GJK02:ssa. Kompressorit eivät lähde käyntiin ulkolämpötilan ollessa riittävän kylmä -1 °C tai alle. Tällä mittausjakson pituus oli 5 päivää. Laskelmissa hyödynnettiin lämpötilojen pysyvyydestaulukkoa (liite 5), ja näin ollen saatiin pidemmältä ajanjaksolta tarkasteltua vapaajäähdytysjärjestelmän energiansäästöä. Mittausten tarkoitus oli samalla selvittää, vastaavatko kiinteistöautomaatiosta saatavat tiedot mitattuja arvoja. Vapaa-jäähdytyksellä on mahdollista saada energiansäästöä, kun ulkolämpötilat ovat välillä $+5\text{ °C}$ ja -29 °C .

Käyttäjältä saatujen tietojen perusteella laitteet ovat toimintavarmempia ulko-lämpötilojen ollessa -1 °C tai alle. /10/. Ulkolämpötilojen nousun sekä laskun

vaihtelun rajapinnoilla (0-+3°C) aiheuttavat hälytyksiä kiinteistönvalvontaan, minkä johdosta vapaajäähdytykselle siirtyminen on säädetty alkamaan ulkolämpötilan ollessa -1°C. Hälytykset todennäköisesti johtuvat siitä, että laitteistot sekä automaatio eivät ehdi reagoimaan lämpötilaeron vaihtelun ollessa rajapinnoilla.

7.1 Mittaus

Jäähdytyskoneen GJK01 toimintaa seurattiin kolmen päivän ajan. Jäähdytyskoneen GJK02 toimintaa seurattiin viiden päivän ajan. Jäähdytysverkostosta luettiin lämpötilat sekä pumppujen käyntitilatiedot, joiden perusteella oli havaittavissa, että jäähdytyksen tarvetta kiinteistössä on myös talvella. Tulokset kirjattiin ylös mittauspöytäkirjaan (Liite 1).

GJK01:n toimintaa seurattiin, ja todettiin laitteen vapaajäähdytyksen toimimattomuus. GJK01:sen käyttämä energiankulutus on laskettu koneen käyntiaikojen perusteella. Säästö on myös laskennallisesti arvioitu tilanteessa, jossa vapaajäähdytysjärjestelmä olisi toiminnassa ulkolämpötilojen ollen -1°C tai alle. Laskelmissa on oletettu, että kaikki tarvittava teho saataisiin otettua nestejäähdyttimien avulla ulkoilmasta ulkolämpötilojen ollen -1°C tai alle. Mittausaikana ulkolämpötila pysyi -9°C sekä -25°C välissä. GJK02-kompressorit eivät lähteneet kertakaan käyntiin, vaan kaikki jäähdytysteho saatiin ulkoilmasta nestejäähdyttimien avulla vapaajäähdytyksenä. Mittauksilla selvitettiin myös mittaustulosten täsmäminen kiinteistövalvonnasta saamiin tietoihin.

7.1.1 Vedenjäähdytin GJK01

Ennen mittauksia perehdyttiin vedenjäähdyttimien säätö- ja kytkentäkaavioihin. Kaavioiden perusteella selvitettiin lämpötila-antureiden mittauspisteet, tunnisteet sekä mahdollisesti asetetut oletusarvolämpötilat. Vedenjäähdytyskoneen jäähdyttimen menopaluuulämpötiloja ei voida seurata kiinteistövalvonnasta. Lämpötilat ovat luettavissa konehuoneessa sijaitsevista lämpömittareista. Lämpötilamittarit ovat Bi-metallisia mittareita, joiden anturitaskut koskettavat putkistossa virtaavaa nestettä, ollen näin tarkempia kuin esimerkiksi pintalämpötilamittarit.

Lämpötila-anturit ovat suomalaisen Pro dual Oy:n valmistamia TEAT NTC-20 -mittareita, joissa on nestevirtaukseen ulottuva mittatasku, johon mittausanturi asennetaan. Mittaustaskussa on lämpöä johtavaa pastaa, joka parantaa mit-taustulosta. Mittausvirhe antureissa on $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$). /2./ Automaatiojärjes-telmään liitetyt lämpötila-antureita on järjestelmässä kuusi kappaletta, lisäksi visuaalisesti luettavissa on kuusi kappaletta lämpömittareita.

Mittauksen aikana seurattiin laitteiston käyntiaikoja, ja todettiin kompressorei-den käyvän 5 minuuttia, minkä jälkeen kompressorit sammuvat 6 minuutin ajaksi. Tällä käyntijaksolla vedenjäähdytyskoneisto kävi koko mittausprosessin ajan. Mittauspöytäkirjoista (liitteet 1 & 2) on nähtävissä, että lämpömittareista ja kiinteistöautomaatikasta saatavat lämpötila-arvot poikkeavat toisistaan 1°C – 2°C . Poikkeuksena ovat mittausanturi TE52 sekä visuaalisesti luettava läm-pötilamittari: näiden arvot poikkesivat 10°C toisistaan. Teoreettiset kulutukset saadaan laskemalla vedenjäähdytyskoneen energiankulutus käyntiaikojen pe-rusteella.

Lämpötilojen pysyvyystiedoista saadaan tuntimäärä -1°C - -29°C välisillä ulko-lämpötiloilla. Tuntimääräksi saadaan $T_w = 3233 \text{ h/a}$. /2./

GJK01-palvelualueen jäähdytystehontarpeeksi (Φ_{tot}) saadaan kertomalla jäähdytyspiirien nesteenvirtaus, virtaavan nesteen tiheys, virtaavan nesteen ominaislämpökapasiteetti sekä lämpötilan muutos keskenään.

$$\begin{aligned}\Phi_{tot} &= qv_{jp} \cdot \rho \cdot c_{pv} \cdot \Delta T = 2,63 \frac{l}{s} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 4,2 \frac{kJ}{Kg^\circ C} \cdot 6,81^\circ C = 75\,223 \text{ kW} \\ &= 75 \text{ MW}\end{aligned}$$

Vapaajäähdytyksen päivät vuodessa (d_a) saadaan jakamalla vapaajäähdytyk-sen vuotuiset tunnit vuorokauden tunneilla.

$$d_a = \frac{T_w}{T_d} = \frac{3233 \frac{h}{a}}{24 \frac{h}{d}} = 134,7 \frac{d}{a}$$

Vapaajäähdytyksen aika vuodessa (T_{vp}) saadaan kertomalla jäähdytyskoneen päivittäinen käyntiaika vuodessa olevilla vapaajäähdytys päivillä.

$$T_{vp} = T_p \cdot d_a = 10,8 \frac{h}{d} \cdot 134,7 \frac{d}{a} = 1455 \frac{h}{a}$$

Vedenjäähdytyskoneen sähkönkulutukseksi (E_o) saadaan kertomalla jäähdytyskoneen ottoteho vuodessa olevilla vapaajäähdytyksen tuntimäärällä.

$$E_o = P_o \cdot T_{vp} = 46,8 \text{ kW} \cdot 1455 \frac{h}{a} = 68\,094 \frac{\text{kWh}}{a} = 68 \frac{\text{MWh}}{a}$$

Vedenjäähdytyskoneen antotehoksi (E_a) saadaan kertomalla jäähdytystehontarpeet vuodessa olevilla vapaajäähdytyksen tuntimäärällä.

$$E_a = \Phi_{tot} \cdot T_{vp} = 75,2 \text{ kW} \cdot 1455 \frac{h}{a} = 109\,416 \frac{\text{kWh}}{a} = 109 \frac{\text{MWh}}{a}$$

Vedenjäähdyttimen kylmäkertoimeksi (COP) saadaan mittauksien perusteella osakuormalla jakamalla antoteho ottoteholla.

$$COP = \frac{E_a}{E_o} = \frac{109 \text{ MWh}}{68 \text{ MWh}} = 1,6$$

Vedenjäähdyttimen konekilvestä luetut täysillä jäähdytystehonmäärillä saadaan kylmäkertoimeksi (COP) jakamalla antoteho ottoteholla.

$$COP = \frac{E_a}{E_o} = \frac{110,5 \text{ kW}}{46,8 \text{ kW}} = 2,36$$

Vedenjäähdytyskoneen mahdolliselle vapaajäähdytystuotoksi (E_{vp}) saadaan kertomalla tilojenjäähdytystarve vuodessa olevilla vapaajäähdytyksen tuntimäärällä.

$$E_{vp} = \Phi_{tot} \cdot T_{vp} = 75,2 \text{ kW} \cdot 1455 \frac{h}{a} = 109\,416 \frac{\text{kWh}}{a} = 109 \frac{\text{MWh}}{a}$$

Vapaajäähdytyksellä saatava energia euroina vuodessa (S_{vp}) saadaan kertomalla vapaajäähdytyksen jäähdytysenergian tuotto sähköenergian hinnalla.

$$S_{vp} = E_{vp} \cdot S_h = 109 \frac{MWh}{a} \cdot 42,40 \frac{\text{€}}{MWh} = 4621 \frac{\text{€}}{a}$$

Nykyinen sähköenergiankulutus euroissa (K_n) saadaan jäähdytyskoneen otto-teho kertomalla sähköenergian hinnalla.

$$K_n = E_o \cdot S_h = 68 \frac{MWh}{a} \cdot 42,40 \frac{\text{€}}{MWh} = 2883 \frac{\text{€}}{a}$$

Takaisinmaksuajaksi vapaajäähdytysjärjestelmällä varustettu vedenjäähdytyskoneelle (T_{maksu}) saadaan jakamalla vapaajäähdytyksellä varustetun laitteen lisähinta ottoenergian kulutuksen hinnalla tällä hetkellä.

$$T_{maksu} = \frac{\text{Laitteen hinta}}{K_n} = \frac{5500\text{€}}{2883 \frac{\text{€}}{a}} = 1,9 a$$

Tässä tilanteessa ei huomioida nestejäähdyttimien puhaltimien ottamaa virtaa, koska puhaltimet eivät pyörineet.

Tarkastellaan tilannetta, jossa vapaajäähdytysjärjestelmä kytkeytyisi päälle +2 °C ulkolämpötilassa. Vapaajäähdytysjärjestelmää voidaan käyttää periaatteessa tilanteessa, jossa siirtimen ensiö-sekä toisiopuolella lämpötilaero on 5 °C. Tuntimääräksi pysyvyykäyrästä saadaan 4337 tuntia vuodessa (T_w).
/2./

Vapaajäähdytyksen päivät vuodessa saadaan jakamalla vapaajäähdytyksen vuotuiset tunnit vuorokauden tunneilla.

$$d_a = \frac{T_w}{T_d} = \frac{4337 \frac{h}{a}}{24 \frac{h}{d}} = 180,7 \frac{d}{a}$$

Vapaaajähdytyksen aika vuodessa saadaan kertomalla jäähdytyskoneen päivittäinen käyntiaika vuodessa olevilla vapaaajähdytys päivillä.

$$T_{vp} = T_p \cdot d_a = 10,8 \frac{h}{d} \cdot 180,7 \frac{d}{a} = 1951 \frac{h}{a}$$

Vedenjäähdytyskoneen sähkönkulutukseksi saadaan kertomalla jäähdytyskoneen ottoteho vuodessa olevilla vapaaajähdytyksen tuntimäärällä.

$$E_o = P_o \cdot T_{vp} = 46,8 \text{ kW} \cdot 1951 \frac{h}{a} = 91\,333 \frac{\text{kWh}}{a} = 91 \frac{\text{MWh}}{a}$$

Vedenjäähdytyskoneen antotehoksi saadaan kertomalla jäähdytystehontarpeet vuodessa olevilla vapaaajähdytyksen tuntimäärällä.

$$E_a = \phi_{tot} \cdot T_{vp} = 75,2 \text{ kW} \cdot 1951 \frac{h}{a} = 146\,757 \frac{\text{kWh}}{a} = 147 \frac{\text{MWh}}{a}$$

Vapaaajähdytyksellä saatu säästö euroina vuodessa (S_{vp}) saadaan kertomalla vapaaajähdytyksen jäähdytysenergian tuotto sähköenergian hinnalla.

$$S_{vp} = E_{vp} \cdot S_h = 147 \frac{\text{MWh}}{a} \cdot 42,40 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 6233 \frac{\text{€}}{a}$$

Nestejäähdyttimissä olevat jäähdytystä tehostavien puhaltimien ottoteho (P_o) on 0,95 kW/kpl. Puhaltimia on 8 kappaletta. Puhaltimien ottoteho saadaan kertomalla puhaltimien lukumäärä puhaltimien ottoteholla. Puhaltimet ovat automaattisesti säätäviä, joten laskennassa otetaan huomioon puhaltimien konekilvestä saatu teho.

$$P_o = \phi_p \cdot P_m \cdot T_{vp} = 0,95 \text{ kW} \cdot 8 \cdot 1455 \frac{h}{a} = 11058 \frac{\text{kWh}}{a} = 11 \frac{\text{MWh}}{a}$$

Puhaltimien sähkönkulutus euroissa saadaan kertomalla puhaltimien ottoteho sähköhinnalla.

$$P_s = P_o \cdot S_h = 11 \frac{\text{MWh}}{a} \cdot 42,40 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 469 \frac{\text{€}}{a}$$

Laskennallisesti vapaajähdytyksellä saatu säästö saadaan vähentämällä puhaltimien sähkönkulutus vapaajähdytyksellä saadusta tuotosta.

$$S_{vp} = S_{vp} - P_s = 6233 \frac{\text{€}}{a} - 469 \frac{\text{€}}{a} = 5764 \frac{\text{€}}{a}$$

Takaisinmaksuajaksi vapaajähdytysjärjestelmällä varustettu vedenjähdytyskoneelle (T_{maksu}) saadaan jakamalla vapaajähdytyksellä varustetun laitteen lisähinta ottoenergian säästön määrällä.

$$T_{maksu} = \frac{\text{Laitteen hinta}}{S_{vp}} = \frac{5500\text{€}}{5764 \frac{\text{€}}{a}} = 0,95 a$$

7.1.2 Vedenjähdytin GJK02

Ennen mittauksia perehdyttiin vedenjähdyttimien säätö- ja kytkentäkaavioihin. Kaavioiden perusteella selvitettiin lämpötila-antureiden mittauspisteet, tunnisteet sekä mahdollisesti asetetut oletusarvolämpötilat. Vedenjähdyttimen jähdyttimen menopaluuilämpötiloja ei pystytä seuraamaan kiinteistövalvonnasta. Lämpötilat ovat luettavissa konehuoneessa sijaitsevista lämpötilamittareista. Lämpömittarit ovat Bi-metallisia mittareita, joiden anturitaskut koskettavat putkistossa virtaavaa nestettä, ollen näin tarkempia kuin esimerkiksi pintalämpötilamittarit.

Lämpötila-anturit ovat suomalaisen Produal Oy:n valmistamia TEAT NTC-20 -mittareita, joissa on nestevirtaukseen ulottuva mittatasku, johon mittausanturi asennetaan. Mittaustaskussa on lämpöä johtavaa pastaa, joka parantaa mitaustulosta. Mittausvirhe antureissa on $\pm 0,2 \text{ °C}$ (25 °C). /2./ Automaatiojärjestelmään liitettyjä lämpötila-antureita on järjestelmässä kuusi kappaletta, visuaalisesti luettavissa yhdeksän kappaletta lämpömittareita. Mittauspöytäkirjoista (liitteet 3 & 4) havaitaan mitaustulosten poikkeavan osittain toisistaan.

Talviajan jäähdytystarve lasketaan kiinteistövalvonnasta sekä visuaalisesti konehuoneesta saatujen jäähdytysverkoston menopaluuolinjojen nesteiden lämpötilojen keskiarvolla.

Jäähdytyspalkkien ottotehoksi (Φ_{jp}) saadaan kertomalla jäähdytyspalkkiin nesteenvirtaus, virtaavan nesteen tiheys, virtaavan nesteen ominaislämpökapasiteetti sekä lämpötilan muutos keskenään.

$$\begin{aligned}\Phi_{jp} &= qv_{jp} \cdot \rho \cdot cpv \cdot \Delta T = 8,2 \frac{l}{s} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 4,2 \frac{kJ}{Kg^{\circ}C} \cdot 1,5^{\circ}C = 51\,660W \\ &= 0,05MW\end{aligned}$$

Jäähdytysenergian kulutuksen tuntihinta (K_n) saadaan kertomalla jäähdytyspalkkien ottoteho sähköenergian hinnalla.

$$K_n = \Phi_{jp} \cdot S_h = 0,05MW \cdot 42,40 \frac{\text{€}}{MWh} = 2,2 \frac{\text{€}}{h}$$

Vapaa jäähdytyksellä saatava säästö euroina vuodessa (S_{vp}) saadaan kertomalla pakkasjaksolla oleva tuntimäärä sähköenergian tuntihinnalla.

$$S_{vp} = T_w \cdot K_n = 3233 \frac{h}{a} \cdot 2,2 \frac{\text{€}}{h} = 7128 \frac{\text{€}}{a}$$

Ilmastoinnin jäähdytyspattereiden ottotehoksi (Φ_{iv}) saadaan kertomalla jäähdytyspatteripiirin nesteenvirtaus, virtaavan nesteen tiheys, virtaavan nesteen ominaislämpökapasiteetti sekä lämpötilan muutos keskenään.

$$\begin{aligned}\Phi_{iv} &= qv_{jp} \cdot \rho \cdot cpv \cdot \Delta T = 8,6 \frac{l}{s} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 4,2 \frac{kJ}{Kg^{\circ}C} \cdot 1,1^{\circ}C = 42\,570W \\ &= 0,04MW\end{aligned}$$

Jäähdytysenergian kulutuksen tuntihinta (K_n) saadaan kertomalla ilmastoinnin jäähdytyspattereiden ottoteho sähköenergian hinnalla.

$$K_n = \Phi_{iv} \cdot S_h = 0,04MW \cdot 42,40 \frac{\text{€}}{MWh} = 1,8 \frac{\text{€}}{h}$$

Vapaajäähdytyksellä saatava energian säästö vuodessa euroina (S_{vp}) saadaan kertomalla pakkasjaksolla oleva tuntimäärä jäähdytysenergian tuntihinnalla.

$$S_{vp} = T_w \cdot K_n = 3233 \frac{h}{a} \cdot 1,8 \frac{\text{€}}{h} = 5835 \frac{\text{€}}{a}$$

Nestejäähdyttimissä olevat jäähdytystä tehostavien puhaltimien ottoteho (P_o) on 0,95 kW/kpl. Puhaltimia on 8 kappaletta. Puhaltimien ottoteho saadaan kertomalla puhaltimien lukumäärä puhaltimien ottoteholla. Puhaltimet ovat automaattisesti säätyviä, joten laskennassa otetaan huomioon puhaltimien konekilvestä saatu teho.

$$P_o = \phi_p \cdot P_m \cdot T_{vp} = 0,95 \text{ kW} \cdot 8 \cdot 1455 \frac{h}{a} = 11058 \frac{\text{kWh}}{a} = 11 \frac{\text{MWh}}{a}$$

Puhaltimien sähkönkulutus euroissa saadaan kertomalla puhaltimien ottoteho sähkön hinnalla.

$$P_s = P_o \cdot S_h = 11 \frac{\text{MWh}}{a} \cdot 42,40 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 469 \frac{\text{€}}{a}$$

Vapaajäähdytyksellä saatava kokonaissäästö (S_{vp}) saadaan lisäämällä vapaajäähdytyksellä saatavat säästöt yhteen. Lasketaan jäähdytyspalkkien sekä jäähdytyspattereiden vapaajäähdytyksellä saatavat sähköenergian säästöt euroissa, joista vähennetään puhaltimien sähkönkulutus.

$$S_{vp} = S_{vp} + S_{vp} - P_s = 7128 \frac{\text{€}}{a} + 5835 \frac{\text{€}}{a} - 469 \frac{\text{€}}{a} = 12\,494 \frac{\text{€}}{a}$$

Takaisinmaksuajaksi vapaajäähdytysjärjestelmällä varustettu vedenjäähdytyskoneelle (T_{maksu}) saadaan jakamalla vapaajäähdytyksellä varustetun laitteen lisähinta vapaajäähdytysenergian kokonaissäästön määrällä.

$$T_{maksu} = \frac{\text{Laitteen hinta}}{S_{vp}} = \frac{5500\text{€}}{12\,494 \frac{\text{€}}{a}} = 0,44 \text{ a}$$

Tarkastellaan tilannetta, jossa vapaajähdytysjärjestelmä kytkeytyisi päälle +2 °C ulkolämpötilassa. Vapaajähdytysjärjestelmää voidaan käyttää periaatteessa tilanteessa, jossa siirtimen ensiö- sekä toisiopuolella lämpötilaero on 5 °C. Tuntimääräksi pysyvyyssäyrästä saadaan 4337 tuntia vuodessa (T_w).

/2./

Lasketaan vedenjäähdytyskoneen piirien 1 ja 2 tehot yhteen (Φ_{tot})

$$\Phi_{tot} = \Phi_{jp} + \Phi_{iv} = 0,05 MW + 0,04 MW = 0,09 MW$$

Lasketaan vapaajähdytyksellä saatava tuotto (S_{vp}) tunnissa kertomalla piirien jäähdytystehontarve vuotuisella tuntimäärällä. (+2°C - -29°C).

$$S_{vp} = \Phi_{tot} \cdot S_h = 0,09 MW \cdot 4337 \frac{h}{a} = 390 \frac{MWh}{a}$$

Vapaajähdytyksellä saatava säästö euroina vuodessa (S_{vp}) saadaan kertomalla vuotuinen tuntimäärä sähköenergian tuntihinnalla ja vähentämällä siitä puhaltimien sähkönkulutus euroissa.

$$S_{vp} = T_w \cdot K_n - P_s = 4337 \frac{h}{a} \cdot 3,8 \frac{\text{€}}{h} - 469 \frac{\text{€}}{a} = 16\,012 \frac{\text{€}}{a}$$

Takaisinmaksuajaksi vapaajähdytysjärjestelmällä varustettu vedenjäähdytyskoneelle (T_{maksu}) saadaan jakamalla vapaajähdytyksellä varustetun laitteen lisähinta vapaajähdytysenergian kokonaissäästön määrällä.

$$T_{maksu} = \frac{\text{Laitteen hinta}}{S_{vp}} = \frac{5500 \text{€}}{16\,012 \frac{\text{€}}{a}} = 0,34 a$$

8 TULOKSET

GJK01

Vedenjäähdytyskoneen ottotehoksi saatiin 68 MWh vuodessa. Vedenjäähdytyskoneen antotehoksi saatiin 109 MWh vuodessa. Vapaajäähdytyksen tuotoksi saatiin 0 MWh vuodessa. Nykyinen ottoenergian kulutus euroissa tällä hetkellä on 2883 euroa vuodessa. Nykyinen antoenergian määrä euroissa tällä hetkellä on 4621 euroa vuodessa. Korjausten jälkeen vapaajäähdytyksellä saatava energian säästö on 2883 euroa vuodessa. Takaisinmaksuaika vapaajäähdytyslaitteistolla on 1,9 vuotta.

Tilanteessa, jossa laitteisto käynnistyisi ulkolämpötilan ollessa +2°C tai alle, vapaajäähdytyksellä saatava tuotto olisi 146 MWh/a. Vapaajäähdytyksellä saatu säästö euroina vuodessa olisi 6222 €. Takaisinmaksuajaksi laitteelle olisi 0,95 a. Nestejäähdyttimien puhaltimien kulutukseksi saatiin 11 MWh/a.

GJK02

Vedenjäähdytyskoneen vapaajäähdytystoiminto riittää kattamaan koko palvelualueen jäähdytyksen tarpeen. Jäähdytystehontarve talvella laitteen palvelualueella on 90 kW. Vapaajäähdytyksellä saatava tuotto on 12 105 euroa vuodessa. Takaisinmaksuaika laitteistolla on 0,44 vuotta.

Tilanteessa, jossa laitteisto käynnistyisi ulkolämpötilan ollessa +2°C tai alle, vapaajäähdytyksellä saatava tuotto olisi 390 MWh/a. Vapaajäähdytyksellä saatu säästö euroina vuodessa olisi 16 012€. Takaisinmaksuajaksi laitteelle olisi 0,34 a. Nestejäähdyttimien puhaltimien kulutukseksi saatiin 11 MWh/a.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskelmien tuloksista voidaan päätellä vapaajäähdytyksen hyödyntämisen vedenjäähdytyskoneissa olevan kustannustehokasta. Laitteistojen takaisinmaksuaika on varsin lyhyt, GJK01:n osalta 1,9 vuotta. GJK02:n osalta takaisinmaksuaika on 0,4 vuotta, eli periaatteessa se maksaa itsensä takaisin yhden/kahden talvijakson aikana. Laitteistojen huolto sekä käytön optimointi toimii korkeana osana, koko kiinteistön jäähdytysjärjestelmien aiheuttamasta energian kulutuksesta. Laitteistojen käynnistyslämpötilojen muuttaminen

+2°C:seen vaikuttaisi huomattavasti takaisinmaksuaikaan sekä energian säästöön. Nestejäähdyttimien puhaltimien kulutus poikkeaa todellisuudessa kuitenkin siltä osin, että puhaltimien kierrosluvut säätyvät automaattisesti. Tässä tutkimuksessa otettiin huomioon vain puhaltimien täydet tehot. Tutkimuksen perusteella voidaan tuleviin rakennushankkeisiin suositella vapaajäähdytyksellä varustettua vedenjäähdytyskoneistoa. Lämpömittareiden ja lämpötila-antureiden tulokset pääosin vastaavat toisiaan. Tarkistusmittauksilla sekä lämpötila-antureiden kalibroinnilla saataisiin tarkemmat tulokset. Kiinteistövalvonta järjestelmään lisäämällä nestejäähdyttimien menopaluu lämpötila-anturit voitaisiin seurata nestejäähdyttimien toimintaa.

LÄHTEET

1. Produal Oy. WWW-dokumentti. Päivitetty 19.4.2018 Saatavissa: http://www.produal.com/fi/shop/by_measured_property_ctemperature_web_duct_sensors/sku-1176070. Luettu 19.4.2018 [viitattu 19.4.2018]
2. Lämpöpumppujen energianlaskentaopas 3.10.2012. Luettu 21.3.2018
3. Lvi-suunnitelmat.
Kuva 6 LVI-710 30.9.2009
Kuva 7 LVI-707 11.1.2012
4. Hakala, P. & Kaappola, E. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus. 2005
5. Haapa, T. LVI-ammattilainen. Haastattelu 23.03.2018 Johnsson Oy.
6. Vanhanen, W. Projektipäällikkö. Haastattelu 1.3.2018 Star Expert Oy
7. Yli-Karro, T. Tekniikanpäällikkö 12.1.2018 ESSOTE
8. Seppänen Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa. Suomen LVI-liitto. 2004
9. Chiller Oy. Tarjouspyyntö 10.4.2018
10. Pukkila, P. Erikoisammattimies. Haastattelu. ESSOTE 12.1.2018

GJK01 kiinteistöautomaatio

Liite 1.

Jäähdytin Jäähdytin

	Meno	Paluu	TE53	TE54	TE45	TE52	TE44	Tu
Ke 7	17	-9	13,9	15,2	10,8	14,8	10,6	-10,4
Ke12	24	-1	15,7	15,2	12,6	14,6	9,5	-14,1
Ke 15	19	4	15,6	15,2	12,5	16,5	11,4	-11,1
To 7	24	-10	13,9	10,2	10,7	15,6	10,4	-23,1
To 12	25	4	14,8	15,2	11,5	15,4	10,2	-9,1
To 15	19	14	16,8	15,2	14,3	16,3	11,2	-6,1
Pe 7	18	-10	15,1	15,2	11,5	16,6	11,4	-22,1
Pe 12	19	4	15	15,2	11,4	16,4	10,2	-10,1
Pe 15	19	10	17	15,2	14,3	15,3	10,1	-6,1

GJK01 Konehuone

Liite 2

Jäähdytin Jäähdytin

	Meno	Paluu	TE53	TE54	TE45	TE52	TE44	Tu
Ke 7	17	-9	11	15	10	5	10,6	-10,4
Ke 12	24	-1	14	15	11	5	9,5	-14,1
Ke 15	19	4	11	15	10	6	11,4	-11,1
To 7	24	-10	12	15	10	5	10,4	-23,1
To 12	25	4	14	15	11	5	10,2	-9,1
To 15	19	14	12	15	10	6	11,2	-6,1
Pe 7	18	-10	11	15	9	5	11,4	-22,1
Pe 12	19	4	12	16	10	5	10,2	-10,1
Pe 15	19	10	12	15	10	6	10,1	-6,1

GJK02 Kiinteistövalvonta

Liite 3.

Jäähdytyn

VJK

Maanantai 26.2		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
7.00	-1	7.00	21,6	12,5	-9,9	15,1	14,3	17	18,3	10,4	100
12.00	4	12.00	21,3	12,5	-11,8	15,1	14,1	17	18,5	10,5	100
15.00	-2	15.00	21,1	12,6	-11,1	15,1	14,3	17,1	18,5	10,5	100

Tiistai 27.2		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
7.00	-6	7.00	21	12,7	-22,3	15,1	14,3	17	18,4	10,4	100
12.00	-4	12.00	21,3	12,6	-17,2	15	14	17	18,4	11	100
15.00	-5	15.00	21,2	12,6	-16,3	15,1	14,4	17	18,3	10,6	100

Keskiviikko 28.2		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
7.00	-4	7.00	20,9	12,2	-22,1	14,9	13,8	17,1	18,6	10,2	100
12.00	-1	12.00	21,6	12,6	-15,4	15,1	14	16,9	18,5	10,6	100
15.00	-4	15.00	21,5	12,7	-11,1	15,2	14,2	16,9	18,7	10,6	100

Torstai 1.3		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
7.00	-7	7.00	21,4	12,7	-24,9	15,1	13,9	16,9	18,4	10,6	100
12.00	-2	12.00	21,3	12,4	-9,3	15,1	14,3	17,1	18,4	10,7	100
15.00	0	15.00	21,4	12,6	-7,5	15,1	14,2	16	18	13	100

Perjantai 2.3		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
7.00	-4	7.00	21,1	12,7	-24,7	15,1	14,3	16,9	18,4	10,6	100
12.00	-1	12.00	21,2	12,7	-9,4	15,1	14	17	18,5	10,7	100
15.00	1	15.00	21,3	12,7	-6,6	15,1	13,9	17	18,4	10,7	100

GJK02 Konehuone

Liite 4.

VJK

Jäähdytін

		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
Maanantai 26.2											
7.00	14 °C	7.00	10	8	15,1	14,3	16	16	16	13	100
12.00	14 °C	12.00	10	7	15,1	14,1	16	16	18	13	100
15.00	14 °C	15.00	10	7	15,1	14,3	16	16	17,5	13	100

		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
Tiistai 27.2											
7.00	14 °C	7.00	9	7	15,1	14,3	16	16	18	13	100
12.00	14 °C	12.00	9,5	7	15	14	16	16	18	14	100
15.00	14 °C	15.00	10	7	15,1	14,4	16	16	18	13	100

		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
Keskiviikko 28.2											
7.00	14 °C	7.00	9	7	14,9	13,8	16	16	17,5	13	100
12.00	14 °C	12.00	10	7	15,1	14	16	16	18	12	100
15.00	14 °C	15.00	10	7	15,2	14,2	16	16	18	13	100

		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
Torstai 1.3											
7.00	14 °C	7.00	10	7	15,1	13,9	16	16	17,5	13	100
12.00	14 °C	12.00	10	7	15,1	14,3	16	16	18	13	100
15.00	14 °C	15.00	10	8	15,1	14,2	16	16	18	13	100

		TE53	TE52	Tulko	TE1.1	TE1.2	TE56	TE57	TE55	PU54%	PU53%
Perjantai 2.3											
7.00	14 °C	7.00	9	7	15,1	14,3	16	16	17,5	13	100
12.00	14 °C	12.00	9,5	7	15,1	14	16	16	18	13	100
15.00	14 °C	15.00	10	7	15,1	13,9	16	16	18	13	100

Säävyöhyke III

Ulkoilman lämpötila Tu, °C	Lämpötilavälin kesto h	Kumulatiivinen	DH (20 °C)	Kumulatiivinen
		lämpötilavälin kesto h	astetunnit °Ch	DH (20 °C) kumulatiiviset astetunnit °Ch
-29	0	0	0	0
-28	6	6	294	294
-27	9	15	412	706
-26	6	21	282	988
-25	14	35	631	1619
-24	14	49	617	2236
-23	12	61	527	2763
-22	15	76	625	3388
-21	31	107	1257	4645
-20	62	169	2488	7133
-19	67	236	2596	9730
-18	42	278	1598	11328
-17	32	310	1199	12527
-16	50	360	1798	14324
-15	41	401	1441	15765
-14	38	439	1281	17046
-13	44	483	1445	18491
-12	54	537	1738	20229
-11	76	613	2363	22592
-10	120	733	3600	26192
-9	140	873	4065	30257
-8	241	1114	6745	37002
-7	186	1300	5014	42016
-6	255	1555	6628	48644
-5	263	1818	6570	55214
-4	329	2146	7884	63098
-3	375	2521	8623	71722
-2	370	2891	8133	79854
-1	343	3233	7193	87047
0	470	3703	9391	96438
1	357	4060	6791	103229
2	277	4337	4983	108211
3	299	4636	5078	113290
4	248	4884	3967	117256
5	335	5218	5019	122276
6	298	5516	4170	126445
7	262	5778	3405	129850
8	257	6035	3080	132930
9	243	6277	2669	135600
10	295	6573	2952	138552
11	270	6842	2428	140980
12	257	7099	2053	143033
13	268	7367	1876	144910
14	223	7590	1335	146245
15	217	7807	1086	147331
16	202	8009	809	148140
17	156	8165	468	148608
18	126	8291	252	148860
19	115	8406	115	148975
20	133	8539	0	148975
21	85	8624	0	148975
22	53	8678	0	148975
23	39	8717	0	148975
24	18	8735	0	148975
25	11	8745	0	148975
26	9	8754	0	148975
27	2	8756	0	148975
28	4	8760	0	148975

595