

Roope Häyrynen

**VAPAAJÄÄHDYTYSRATKAISUT LAITESALIN ENERGIATEHOKKUUDEN
PARANTAMISEKSI**

VAPAAJÄÄHDYTYSRATKAISUT LAITESALIN ENERGIAEHOVUUDE PARANTAMISEKSI

Roope Häyrynen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Energiatekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Roope Häyrynen

Opinnäytetyön nimi: Vapaajäähdytysratkaisut laitesalin energiatehokkuuden parantamiseksi

Työn ohjaaja: Timo Kiviahde

Työn valmistuslukuksi- ja vuosi: Kevät 2016

Sivumäärä: 34 + 3

Työssä tutkittiin vapaajäähdytyksen käyttömahdollisuuksia laitesalin jäähdytykseen. Työn toimeksiantaja oli Caverion Suomi Oy, jonka asiakkaan tilauksesta työ tehtiin. Asiakkaan pyrkimyksenä oli selvittää laitesaliensa energiansäästöpotentiaali. Alkutapaamisessa sovittiin, että opinnäytetyössä tulitaisiin suunnittelemaan kolme erilaista ratkaisua laitetalan jäähdyttämiseksi nykyistä pienemmällä kulutuksella. Suunnitelmien tuli sisältää ratkaisujen toimintaperiaatteet, piirrosmallit säätökaavioista ja toimintaselostukset. Suunnitelmiin tuli kuulua myös säästölaskelmat ja arviot takaisinmaksuajoista.

Työ suoritettiin pääasiassa Caverionin Oulun toimipisteessä Paulaharjunttiellä. Käytettävissä oli tarvittavat tiedot laitesalien jäähdytyksestä, kulutuksista ja muista olennaisista asioista. Aineistona hyödynnettiin kylmätekniikan ja laitesalitekniikan julkaisuja, aiheeseen liittyviä opinnäytetöitä sekä Caverionin henkilökuntaan kuuluville asiantuntijoille tehtyjä haastatteluja.

Selvitysvaiheessa laadittiin aluksi suunnitelmat kolmelle jäähdytystavalle, joita olivat vapaajäähdytys ilmalla, nestekiertoisen jäähdytyspatterin asentaminen ja jäähdytyskoneikon tyyppin uusiminen vapaajäähdytteiseksi. Suunnitelmista piirrettiin säätökaaviot CAD-ohjelmistolla ja kirjoitettiin toimintaselostukset. Tämän jälkeen selvitettiin kunkin ratkaisun vaikutusta laitesalin energiankulutukseen ja luotiin laskelmat kulutuksista ja säästöistä. Laskelmien tukena käytettiin mittauksissa kerättyjä tietoja sekä asiakkaan luovuttamia energiankulutustietoja. Selvityksestä tehtiin erillinen raportti tilaajalle ja se esiteltiin asiakkaan edustajille työn valmistuttua.

Lopullisissa laskelmissa selvisi, että jokaisella kolmesta ratkaisusta voidaan saavuttaa säästöjä energiankulutuksessa. Suurin säästö saataisiin käyttämällä suoraa vapaajäähdytystä ilmalla, kuten tämän selvityksen ensimmäisessä ratkaisumallissa on esitetty. Asiakas oli kiinnostunut ratkaisun toteuttamisesta ja tilasi vapaajäähdytyskartoituksen sekä tarkemmat suunnitelmat ratkaisumallista muihinkin lähialueen laitesaleihinsa. Suunnitelmien valmistuttua asiakkaan tilauksesta aloitettiin yksi toteutus, joka valmistui kesällä 2016.

Asiasanat: vapaajäähdytys, laitesali, datakeskus, energiatehokkuus, energiankulutus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	6
2 JÄÄHDYTYKSEN TEORIAA.....	7
2.1 Kylmäkoneen kiertoprosessi.....	7
2.2 Vapaajäähdytys.....	8
2.3 SFP-luku.....	8
3 LAITESALIN ENERGIANKÄYTTÖ.....	10
3.1 Kulutus.....	10
3.2 Jäähdytys.....	11
3.3 PUE-arvo.....	12
4 KOLME RATKAISUA JÄÄHDYTYSENERGIAN TUOTTAMISEKSI LAITESALEISSA.....	14
4.1 Suoravapaajäähdytys ilmalla.....	14
4.1.1 Toimintaperiaate.....	14
4.1.2 Mittaukset.....	15
4.1.3 Puhaltimen mitoitus.....	16
4.2 Vapaajäähdytys nestekiertoisella jäähdytyspatterilla.....	18
4.3 Jäähdytyskoneikon uusiminen vapaajäähdytteiseksi.....	19
5 SELVITYSTYÖ.....	21
5.1 Lähtötiedot.....	21
5.2 Selvityksen kohteena olevan laitesalin nykytilanne.....	21
5.3 Suuret laitesalit.....	22
6 SÄÄSTÖPOTENTIAALI.....	24
6.1 Ratkaisu 1.....	24
6.2 Ratkaisu 2.....	26
6.3 Ratkaisu 3.....	27
6.4 Vaikutus PUE-lukuun.....	28
6.4.1 Laskuesimerkki 1.....	29
6.4.2 Laskuesimerkki 2.....	30
6.4.3 Laskuesimerkki 3.....	31
7 YHTEENVETO.....	32

LÄHTEET.....	33
LIITE 1 RATKAISUMALLIN 1 SÄÄTÖKAAVIO	33
LIITE 2 RATKAISUMALLIN 2 SÄÄTÖKAAVIO	33
LIITE 3 RATKAISUMALLIN 3 SÄÄTÖKAAVIO	33

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tehdään laitesalien jäähdytysratkaisuja koskeva selvitys Caverion Suomi Oy:n asiakkaan tilauksesta. Selvityksessä perehdytään laitesalien energiankulutukseen ja IT-laitteiden tarvitseman jäähdytyksen tuottamiseen. Tarkoituksena on selvittää energiansäästöpotentiaalia laitesaleissa erilaisilla vapaajäähdytysratkaisuilla. Selvitykseen kuuluu kolme teknistä ratkaisua, joista laaditaan suunnitelmat, piirustukset, toimintaselostukset ja säästöarviot. Työstä tehdään asiakasta varten erillinen raportti, joka esitellään asiakkaan edustajalle. Tässä opinnäytetyön raportissa esitetään työn vaiheet ja tulokset.

Työn toimeksiantaja Caverion Suomi Oy syntyi YIT Oy:n osittaisjakauduttua kesäkuussa 2013, jolloin YIT-konsernin kiinteistötekniiset ja teollisuuden palvelut irtautuivat itsenäiseksi konsernikseen. Sen toimialoja ovat kiinteistötekniikan ja teollisuuden palveluiden suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Toimipisteitä sillä on ympäri Suomea, myös Oulussa, jossa tämäkin työ on toteutettu.

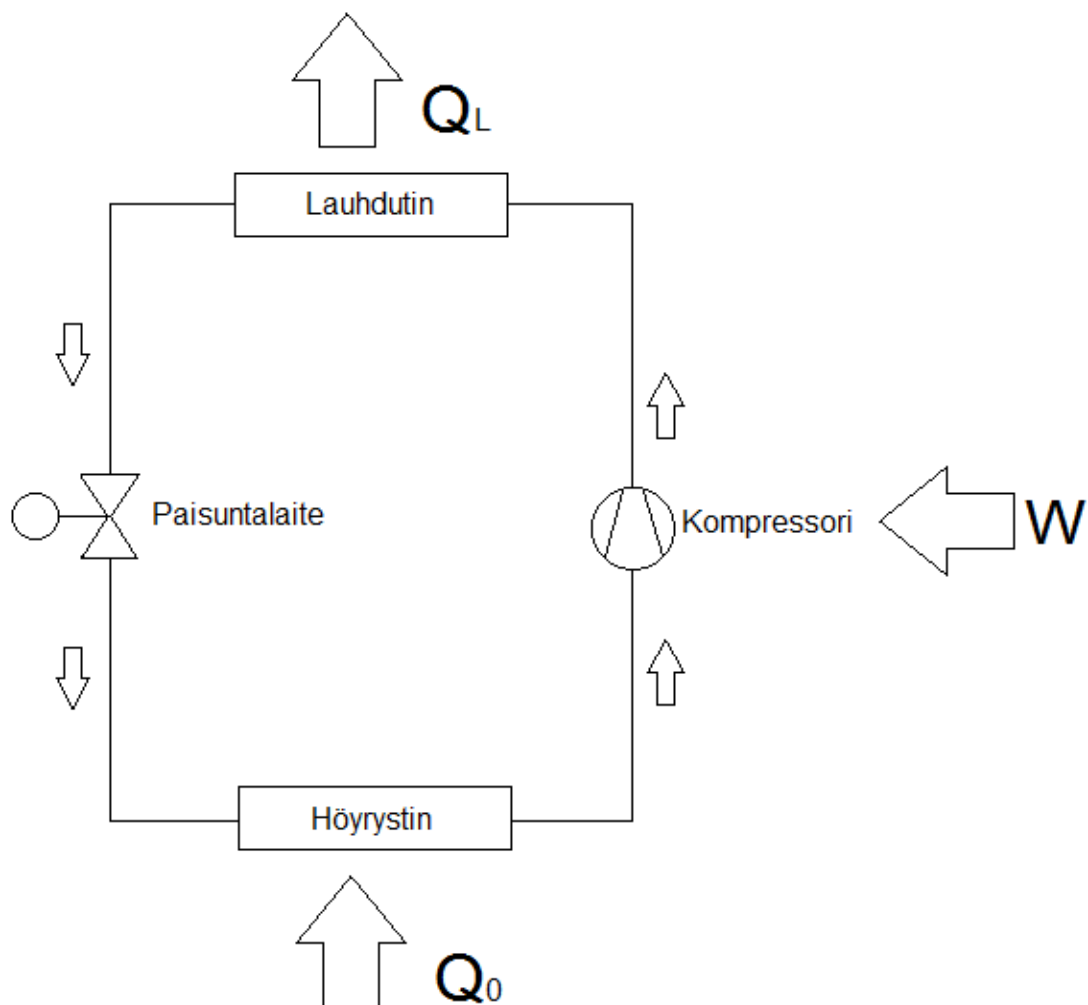
Laitesalit vaativat jatkuvaa jäähdytystä 24 tuntia vuorokaudessa ympäri vuoden. Ulkoilman lämpötila ei pääse vaikuttamaan laitesalin sisätiloihin merkittävästi. Suunnitelmat tehdään suurille laitesaleille, joissa säästöpotentiaalia on eniten. Jäähdytys on laitesalin toiseksi suurin energiaa kuluttava tekijä itse IT-laitteiden jälkeen. Asiakas pyysikin, että työssä keskityttäisiin jäähdytyksen toteuttamisratkaisuihin. Suunnitelmista piirretään säätökaaviot ja niiden perustoimintaperiaatteet selitetään. Lisäksi tehdään laskelmat kunkin suunnitelman toteuttamisen vaikutuksesta laitesalin energiankulutukseen sekä esitetään arvioita takaisinmaksuajoista ja vuosittaisista säästöistä.

2 JÄÄHDYTYKSEN TEORIAA

Luvussa käydään läpi jäähdytyksen luontitapoja kuten kylmäkoneen höyrystinkierto ja vapaajäähdytys.

2.1 Kylmäkoneen kiertoprosessi

Useimmissa kylmäkoneistoissa kylmän luominen perustuu kiertoprosessiin, jossa kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu kiertäen koneiston sisällä. Kylmäkoneiston pääkomponentit ovat höyrystin, kompressor, lauhdutin ja paisuntalaite, joka on usein paisuntaventtiili. (1.) Komponentit on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1 Kylmäkoneisto

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ympäristöä alhaisemmassa lämpötilassa ja sitoo samalla lämpöä ympäristöstä. Kompressorin imee matalapaineisen höyrystä olevan kylmäaineen höyrystimeltä ja puristaa sen korkeampaan paineeseen nostamalla kylmäainehöyrystä lämpötilaa. Lauhduttimessa kylmäainehöyry on ympäristöä korkeammassa lämpötilassa. Höyry lauhtuu eli muuttuu nesteeksi ja luovuttaa lämpöä ympäristöön. Paisuntalaitteessa nestemäisen kylmäaineen lämpötila ja paine laskevat ja neste muuttuu neste-höyryseokseksi. (1.)

Lauhduttimen luovuttama lämpö Q_L vastaa teoriassa höyrystimessä sitoutuvaa lämpöä Q_0 ja kompressorin tekemää työtä W . Todellisuudessa muutama prosentti lämmöstä häviää ympäristöön kompressorin ja paineputken kautta. (1.)

Kylmäkoneen hyötysuhteesta käytetään nimitystä kylmäkerroin ϵ ja se lasketaan jakamalla höyrystimen sitoma lämpö Q_0 kompressorin tekemällä työllä $W(1)$.

2.2 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytys tarkoittaa viileän ulkoilman hyödyntämistä jäähdytyksessä. Tarkoituksena on vähentää esimerkiksi laitesalikohteen jäähdytyskoneiden sähkönkulutusta, sillä vapaajäähdytyksen sähkönkulutus on kompressorikäyttöistä jäähdytyskoneita alhaisempi. Ulkolämpötilan ollessa riittävän matala vapaajäähdytykseen voidaan jäähdytyskoneiden käyttöä vähentää tai kytkeä kokonaan pois päältä. Vapaajäähdytystä voidaan käyttää paljon varsinkin viileinä kuukausina ja yöaikaan. (2.)

Vapaajäähdytystä voidaan hyödyntää suoraan siirtämällä ulkoilmaa sisälle tai epäsuorasti nestekierron kautta. Nesteenä toimii yleensä pakkasolosuhteiden vuoksi vesi-glykoli. Suoraan ilmaa hyödynnettäessä ilman liikuttamiseen käytetään esimerkiksi tulo- ja poistoilmahuuhtimia. Nestekierroratkaisussa nesteen kierto toteutetaan pumpulla.

2.3 SFP-luku

SFP-lukua (Specific Fan Power) eli ominaissähkötehoa käytetään kuvaamaan ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuutta. Se kertoo, kuinka paljon sähkötehoa ilmanvaihtojärjestelmä tarvitsee vaaditun ilmamäärän tuottamiseen. Yksittäisen

ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho lasketaan jakamalla puhaltimen sähköverkosta ottama teho puhaltimen mitoitusilmavirralla. Puhaltimen sähköverkosta ottama teho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi taajuusmuuttajan tai muun tehonsäätölaitteen ottaman sähkötehon. (3.)

Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien kulutukseen vaikuttavat kaikki järjestelmään kuuluvat komponentit, kuten ulkosäleikkö, kanavistot, ilmankäsittelykone ja päätelaitteet. Suurimman osan järjestelmän kokonaispainehäviöstä muodostaa tyypillisesti ilmankäsittelykone. (3.)

Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP lasketaan jakamalla kaikkien rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään kuuluvien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama teho järjestelmän mitoitusulkoilma- tai jäteilmavirralla (kaava 1) (3.)

$$SFP = \frac{P_{Tuloilmapuhaltimet} + P_{Poistoilmapuhaltimet}}{q_{max}} \quad \text{KAAVA 1}$$

SFP = ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (kW/(m³/s))

P_{Tuloilmapuhaltimet} = tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä (kW)

P_{Poistoilmapuhaltimet} = poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä (kW)

q_{max} = mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta (m³/s)

Yksittäisen puhaltimen ominaissähköteho lasketaan jakamalla puhaltimen sähköverkosta ottama teho sen ilmavirralla (kaava 2). Puhaltimen sähköverkosta ottama teho sisältää myös taajuusmuuttajan tai muun tehonsäätölaitteen sähkötehon. (3.)

$$SFP = \frac{P_{Puhallin}}{q} \quad \text{KAAVA 2}$$

SFP = puhaltimen ominaissähköteho (kW(m³/s))

P_{Puhallin} = puhaltimen ottama sähköteho (kW)

q = puhaltimen ilmavirta (m³/s)

3 LAITESALIN ENERGIANKÄYTTÖ

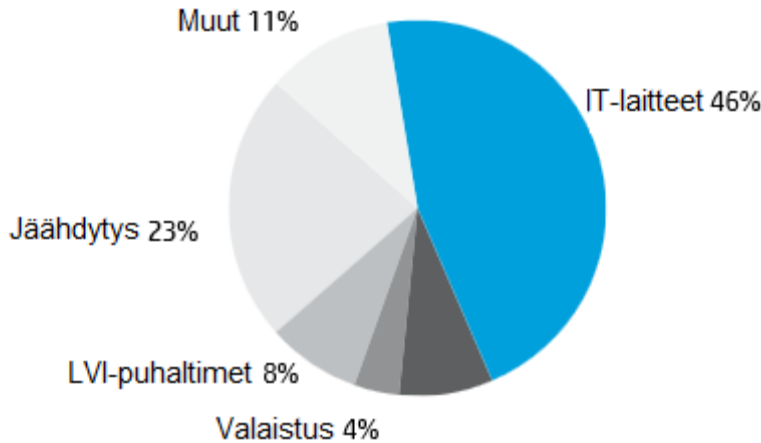
Laitesalilla tarkoitetaan IT-laitteita ja niiden vara- ja suojausjärjestelmiä sisältävää tilaa. Laitteisto koostuu palvelimista, tallennusjärjestelmistä ja tietoliikennelaitteista. Pieniä laitesaleja kutsutaan usein palvelinhuoneiksi ja suuria datakeskuksiksi. Laitesali voi olla joko yhden toimijan omassa käytössä tai kaupallisen toimijan vuokraamana usealle asiakkaalle. Palvelinten on toimittava varmuudella 24 tuntia vuorokaudessa ympäri vuoden, mikä vaatii jatkuvaa valvontaa ja suojausjärjestelmiä. Valvonta ja suojaus lisäävät laitesalien energiankulutusta. (4.)

Suomessa laitesaleja on perustettu iältään, kooltaan, sijainniltaan ja laitteistoltaan erilaisiin kohteisiin. Kohteet ovat voineet olla täysin erityyppisessä käytössä ennen laitesaliksi muuttamista. Energiansäästöpotentiaalia selvitettyä onkin käsiteltävä laitesaleja kohteesta riippuvina yksittäistapauksina. (4.)

3.1 Kulutus

Laitesalien kokonaissähkökulutus Suomessa kaksinkertaistui vuosina 2005–2010. Nykyään arvioidaan, että ne kuluttavat noin 0,5–1,5 prosenttia koko Suomen käyttämästä sähköstä. Sähkön hinnan kasvulla on merkittävä vaikutus laitesalien ylläpitokustannuksiin. Onkin ryhdytty tutkimaan, miten kulutusta voitaisiin vähentää mahdollisimman paljon. Laitesaleissa eniten kuluttavat IT-laitteet ja niiden jäähdytys, joiden toiminnan optimoinnissa suurin energiansäästöpotentiaali piilee. (4.)

Laitesalien energiakulutus jakautuu tyypillisesti siten, että tilassa toimivien IT-laitteiden kulutuksen osuus on hieman alle puolet kokonaiskulutuksesta. Noin neljäsosa energiasta kuluu jäähdytykseen ja jäljelle jäävä osuus muuhun talotekniikkaan kuten valaistus ja ilmastointi. Talotekniikan osuus kulutuksesta on pienempi kuin esimerkiksi asuin- tai toimistorakennuksissa, sillä valaistus ja lämmitys eivät ole käytössä suurimman osan ajasta. (4.) Kulutusjakauma on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2 Laitesalin kulutusjakauma (5)

3.2 Jäähdytys

Laitesaleissa ei yleensä tarvita erillistä lämmitysjärjestelmää IT-laitteiden runsaan lämpökuorman takia. Jäähdytystä sen sijaan tarvitaan jatkuvasti. Yleisin jäähdytystapa on ilmajäähdytys, jossa laitesalin sisätilassa sijaitseva jäähdytyskone imee lämmintä ilmaa salissa ja puhalttaa sen takaisin IT-laitteille jäähdytettynä. Tällä tavalla ei kuitenkaan päästä hyödyntämään viileää ulkoilmaa. (4.)

Ulkoilman hyödyntämistä jäähdytyksessä kutsutaan vapaajäähdytykseksi ja se voidaan toteuttaa joko nestekierrolla tai ilmalla. Ulkoilman ollessa tarpeeksi viileää jäähdytyskonetta voidaan käyttää pelkkänä puhaltimena, joka kierrättää ulkoilman jäähdyttämän ilman laitesalissa. Jäähdytyskoneen eniten kuluttavaa komponenttia kompressoria voitaisiin näin ollen pitää pois päältä. Tämä vaatii kuitenkin nestekierron ja ulkona sijaitsevan lauhduttimen, tai tulo- ja poistoilmapuhaltimen siinä tapauksessa, että ulkoilmaa käytettäisiin jäähdytykseen suoraan. Vapaajäähdytys kytkeytyy päälle aina, kun ulkoilman lämpötila on alle asetusarvon, joka voi olla esimerkiksi 15 °C. Mitä korkeampaa lämpötilaa vapaajäähdytyksen ylärajana käytetään, sitä suurempi virtaama vaaditaan tarvittavan jäähdytysenergian luomiseen ulkoilmasta. Tämä vaatii isompitehoisia puhaltimia ja lauhduttimia, mutta samalla vapaajäähdytyksen käyttötuntimäärä vuodessa kasvaa. (4.)

3.3 PUE-arvo

PUE-arvo (Power Usage Effectiveness) (kaava 3) on käytetyin mittari kuvaamaan laitesalin energiatehokkuutta. Arvo saadaan helpoiten selville, kun tiedetään laitesalin palvelimien, varajärjestelmien, jäähdytyksen ja muun talotekniikan kulutukset erikseen. Sen on kehittänyt kansainvälinen IT-alan järjestö The Green Grid. (4.)

$$PUE = P_{tot}/P_{it}$$

KAAVA 3

P_{tot} = Laitesalin kokonaisteho, kW

P_{it} = Laitesalin palvelimien teho, kW

DCiE (Data center infrastructure efficiency) on PUE-arvon käänteisarvo ja se lasketaan jakamalla laitesalin palvelinten teho laitesalin kokonaisteholla.

Laitesalissa talotekniikan ja laitteiston kulutukset jakautuvat tyypillisesti tasan, jolloin PUE-arvo on 2. Mitä pienempi PUE-arvo on, sitä parempi on laitesalin energiatehokkuus. Vanhojen laitesalien PUE-arvot ovat yleensä uusia saleja suurempia johtuen vanhentuneesta talotekniikasta. PUE-arvo mittaakin pelkästään talotekniikan energiatehokkuutta, sillä se ei kerro mitään palvelimien energiatehokkuudesta tai hukkalämmön talteenotosta. (4.) Kuvassa 3 on esitetty The Green Gridin ohjearvot energiatehokkuudelle eri PUE- ja DCiE-arvoilla.

PUE	DCiE	Energiatehokkuus
3.0	33%	Hyvin heikko
2.5	40%	Heikko
2.0	50%	Keskimääräinen
1.5	67%	Tehokas
1.2	83%	Hyvin tehokas

KUVA 3 Energiatehokkuus eri PUE-arvoilla (6)

On olemassa myös kehittyneempi versio PUE-arvosta, NPUE (Net Power Usage Effectiveness) (kaava 4), joka ottaa huomioon myös salista ulossyötetyn energian kuten esimerkiksi hyötykäyttöön siirrettävä hukkalämpö. (4)

$$NPUE = E_{it} / (E_{in} - E_{out})$$

KAAVA 4

E_{in} = Saliin syötetty energia, kWh

E_{out} = Salista ulos syötetty energia, kWh

E_{it} = Palvelinten sähkönkulutus, kWh

4 KOLME RATKAISUA JÄÄHDYTYSENERGIAN TUOTTAMISEKSI LAITESALEISSA

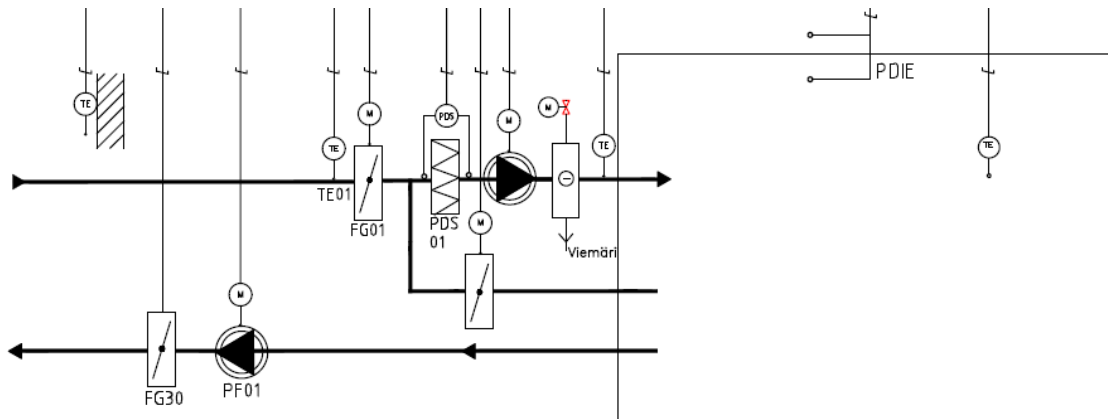
Asiakkaan tarpeena oli saada tietää, kuinka paljon voitaisiin parantaa laitesalien energiatehokkuutta ottamalla käyttöön vapaajäähdytystä hyödyntävä jäähdytysratkaisu. Tässä luvussa esitellään kolme vapaajäähdytystä hyödyntävää teknistä ratkaisua laitesalin jäähdytyksen toteuttamiseksi. Jokaisesta ratkaisusta laadittiin säätökaaviot ja toimintaselostukset.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa rakennetaan laitesalin ulkoseinään tulo- ja poistoilmakanavat, joiden avulla hyödynnetään ulkoilmaa suoraan vapaajäähdytyksenä. Toisessa vaihtoehdossa jäähdytyskoneikon imu- tai painepuolen kanavaan lisätään nestekiertoinen jäähdytyspatteri, jossa kiertävä neste-glykoliseos jäähdytetään ulkona sijaitsevalla lauhduttimella. Kolmannessa vaihtoehdossa laitesalin koko jäähdytyskoneikko uusitaan vapaajäähdytystä hyödyntäväksi malliksi ja verrataan kulutuksia nykyiseen suoraohyrysteiseen jäähdytyskoneikkoon.

4.1 Suoravapaajäähdytys ilmalla

4.1.1 Toimintaperiaate

Suorin tapa hyödyntää ulkoilman viileyttä jäähdytyksessä on suoravapaajäähdytys ilmalla. Periaatteessa ulkoilma puhalletaan tuloilmakanavan kautta suoraan laitesaliin ja ohjataan laitteille. Tuloilmakanavaan lisätään tarvittaessa kiertoilmaa laitesalin sisältä, jotta saadaan pidettyä laitteille puhallettava ilma oikeassa lämpötilassa. Tämä on tärkeää, sillä liian viileä ilma saavuttaa kastepisteen ja kondensoituu. Samalla laitesalista poistetaan lämmintä ilmaa sisälle otettavan ulkoilman verran poistoilmakanavasta. Toimintaperiaate on nähtävissä kuvasta 4.



KUVA 4 Suoravapaajäähdytys ilmalla

Laitesalin ulkoseinään rakennetaan tulo- ja poistoilmakanavat. Tuloilmakanavaan sijoitetaan raitisilmapelti, tuloilmansuodatin ja taajuusmuuttajalla ohjattava puhallin sekä lämpötilan mittausanturit. Tuloilmakanavaan rakennetaan kiertoilmakanava, jossa on kiertoilmapelti. Poistoilmakanavaan sijoitetaan poistoilmapuhallin taajuusmuuttaja-ohjauksella sekä poistoilmapelti. Laitesalin sisä- ja ulkopuolista paine-eroa mitataan paine-eroanturilla. Laitesalissa on suunnitteluhetkellä jatkuvasti toimiva jäähdytyskone, joka viilentää laitesalia kierrättämällä kylmäaineella jäähdytettävää ilmaa salin sisällä. Sen kuormaa pyritään vähentämään käyttämällä ulkoilmaa salin jäähdytykseen.

Ulkolämpötilan ollessa alle vapaajäähdytyksen ylärajan kytkeytyy jäähdytyskoneen kompressori pois päältä. Vapaajäähdytys käynnistetään, ja tuloilmapuhallin alkaa siirtää ulkoilmaa sisälle. Vapaajäähdytyksen käytön ylärajana voi toimia esimerkiksi ulkolämpötila 15 °C. Tällöin säävyöhykkeellä III käyttötunteja vapaajäähdytysratkaisulle kertyisi 86,64 % vuodesta eli 7 590 tuntia. (7.)

4.1.2 Mittaukset

Erään suuren laitesalin laitehuoneen jäähdytystehontarpeen selvittämiseksi suoritettiin mittaukset 11.3.2016 klo 9. Tilavuusvirran määrittämistä varten tuloilmakanavasta mitattiin ilmavirta ja virtausnopeus. Lisäksi mitattiin jäähdytyskoneen kompressorin ja puhaltimen ottama sähkövirta.

Mittaukset suoritettiin mikromanometrillä kahdesta kanavan kohdasta yhteensä kymmenen kertaa. Mittari antoi ilman virtausnopeuden kanavassa ja tilavuusvirran. Kymmenestä

mittauksesta laskettiin keskiarvot. Mittaus tehtiin kymmenen kertaa ja tuloksista laskettiin keskiarvo. Tulokset näkyvät taulukossa 1.

TAULUKKO 1 Mittaustulokset

Mittaus	Tilavuusvirta	Virtausnopeus
1	3230 l/s	16 m/s
2	2380 l/s	12 m/s
3	2680 l/s	13,3 m/s
4	2680 l/s	13,4 m/s
5	2480 l/s	12,5 m/s
6	2140 l/s	10,6 m/s
7	2540 l/s	13,3 m/s
8	3280 l/s	16,2 m/s
9	3120 l/s	15,7 m/s
10	2580 l/s	12 m/s
keskiarvo	2711 l/s	13,5 m/s

Kymmenen mittauksen perusteella kahdesta kanavan osasta saatiin ilman tilavuusvirran keskiarvoksi 2,711 m³/s. Virtausnopeuden keskiarvoksi samoilla mittauksilla tuli 13,5 m/s. Jäähdytyskoneeseen oli huoneilman asetusarvoksi asetettu 22,2 °C, ja puhallettavan ilman lämpötila oli mittauksen perusteella 16 °C. Tästä laskettiin jäähdytystehoksi 21,7 kW kaavasta 3. Virtamittauksen perusteella puhaltimen teho oli mittaushetkellä 1,4 kW, jolla saadaan siis puhallettua tarvittavat 2,7 kuutiota ilmaa sekunnissa. Tehontarve ei kuitenkaan ole täysin suoraan verrannollinen ratkaisussa 1 tehtävään tuloilmapuhallinratkaisuun, sillä painehäviöt ovat kylmäkoneen puhaltimella pienemmät suodattimien, peltien ja säleikköjen puutteen takia.

4.1.3 Puhaltimen mitoitus

Tuloilmakoneen mitoittamiseksi oli saatava tietää suuren laitesalin jäähdytysenergian tarve. Kaavasta 5 saadaan ratkaistua tarvittava ilmavirta kuutioina sekunnissa tietyllä sisä-ulkolämpötilaerolla.

$$\Phi = q_v c_p \rho \Delta T$$

KAAVA 5

$$\Phi = \text{Jäähdytysteho (W)}$$

- qv = Ilmavirta (m^3/s)
 ρ = Ilman tiheys (kg/m^3)
 ΔT = Lämpötilaero kylmälaitteessa (K)
 c = Ilman ominaislämpökapasiteetti ($kJ/kg \cdot K$)

Mitoituksessa on kuitenkin otettava huomioon myös kiertoilman liikuttamiseen ja kanavien painehäviöiden kompensoimiseen tarvittava paineenkorotus. Taulukossa 2 alla on laskettu tarvittava tuloilman ilmavirta (m^3/s) eri tehontarpeille eri lämpötilaeroilla ennen kuin on otettu kiertoilmaa tai painehäviöitä huomioon.

TAULUKKO 2 Tarvittavat ilmavirrat (m^3/s) eri lämpötilaeroilla (K) ja jäähdytystehontarpeilla (kW)

Vaadittava tuloilmavirta kuutioina sekunnissa:

teho (kW)/ lämpötila (K)	10	15	20	25	30	35	40	45
5	1,5	2,3	3,1	3,9	4,6	5,4	6,2	7,0
10	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5
15	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3
20	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7
25	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4

Sisälämpötilan asetusarvoksi on oletettu 22 °C. Taulukosta huomataan, että talviolosuhteissa ulkolämpötilan ollessa pakkasen puolella tarvittavat tuloilmavirrat jäävät melko pieniksi. Tässä vaiheessa ei ole kuitenkaan vielä laskettu mukaan ilman siirtämisestä aiheutuvien painehäviöiden vaikutusta puhaltimen tehontarpeeseen. Kiertoilmaa otetaan laitesalin sisätilasta aina kun ulkoilman lämpötila on alhaisempi kuin puhallettavan ilman asetusarvo.

4.2 Vapaajäähdytys nestekiertoisella jäähdytyspatterilla

Tässä ratkaisuvaihtoehdossa laitetilassa olevan jäähdytyskoneen tuloilmakanavaan lisätään nestekiertoinen jäähdytyspatteri (kuva 6), joka hyödyntää ulkoilman viileyttä jäähdytyksessä. Jäähdytyspatteri sijoitetaan tuloilmakanavaan, jossa patterissa kiertävä neste viilentää laitteille puhallettavaa ilmaa. Tarkoituksena on, että vapaajäähdytyspatterilla saataisiin viilennettyä jäähdytyskoneen ottamaa ilmaa mahdollisimman paljon, niin että sen kompressorit käyvät mahdollisimman pienellä teholla säästäten sähköä.



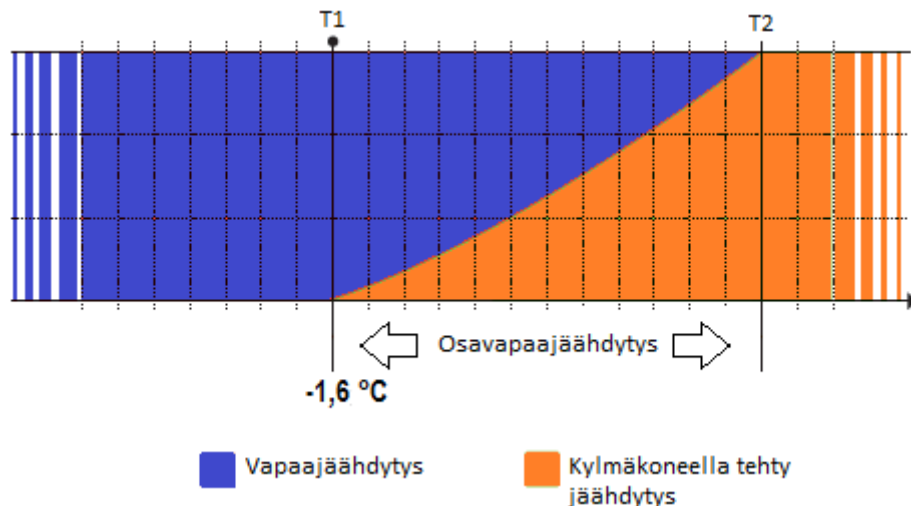
KUVA 5 Jäähdytyspatteri (8)

Tässä ratkaisussa jäähdytyskoneen kompressorin käyttö korvataan jäähdytyskoneen tuloilmakanavaan asennettavalla jäähdytyspatterilla, jonka sisällä virtaava neste jäähdytetään vapaajäähdytyksenä ulkoilmalla. Jäähdytysnesteenä käytetään vesi-glykoliseosta. Ulkoasenteisten lauhduttimien kautta IT-laitteiden tuottama lämpö siirretään ulkoilmaan aina kun lämpötilaolosuhteet mahdollistavat sen. Ulkolämpötilan ollessa riittävän alhainen mahdollistaen 100-prosenttisen vapaajäähdytyksen, kuluu IT-laitteiden jäähdytykseen ainoastaan kylmäkoneen puhaltimien, lauhdutinpuhaltimien ja nestekiertopumpun ottama sähkö sen sijaan, että käytettäisiin kylmäkoneen kompressoria.

Ratkaisuvaihtoehdon hyödyn selvittämiseksi täytyy selvittää, mikä on korkein ulkolämpötila, jossa vesi-glykoliseos saadaan vielä jäähdytettyä tarpeeksi kylmäksi 100-prosenttista vapaajäähdytystä varten ja minkälainen lauhdutinpuhaltin tähän vaaditaan. Veden käyttö väliaineena huonontaa luonnollisesti jonkin verran hyötysuhdetta, joten tällä ratkaisulla ei todennäköisesti tulla pääsemään yhtä suuriin säästöihin kuin suoralla puhallinvapaaäähdytyksellä.

4.3 Jäähdytyskoneikon uusiminen vapaajähdytteiseksi

Laitesalin kylmäkoneen uusimisen yhteydessä voitaisiin vaihtaa jäähdytyskoneikon nykyinen suora höyrysteinen eli kompressorikäyttöinen tyyppi vapaajähdytteiseksi. Vapaajähdytteinen kone toimii nestekierrolla (vesi-glykoli) ja neste lauhdutetaan ulkoilmalla aina sen ollessa mahdollista. 100-prosenttinen vapaajähdytys eli kylmäkoneen kompressorin pudottaminen kokonaan pois onnistuu laitetyypistä riippuen alle $(-1,6)-2$ °C:n ulkolämpötilassa eli noin kolmasosan vuodesta. Suuren osan vuodesta olisi kuitenkin mahdollista käyttää osavapaajähdytystä eli tehdä loput jäähdytysenergiasta kylmäkoneen kompressorilla. Automaatiikka ohjaa kylmäkoneen ja vapaajähdytyspatterin toimimaan yhtäaikaaisesti, jotta saadaan maksimaalinen hyöty ulkoilman jäähdytysenergiasta. Kuva 7 alla havainnollistaa vapaajähdytyksen ja kylmäkoneella tehdyn jäähdytyksen suhdetta osavapaajähdytyskaudella.



KUVA 6 Osavapaajähdytys

100-prosenttisellä vapaajähdytyksellä ulkolämpötilan yläraja T_1 on $1,4$ °C ja osavapaajähdytyksen ulkolämpötilan ylärajaksi T_2 oletetaan tässä tapauksessa 14 °C, koska laitetietojen mukaan vapaajähdytys on mahdollista ulkolämpötilan ollessa 1 °C matalampi kuin jäähdyttimelle palaavan nesteen lämpötila. Ilmatieteen laitoksen pysyvyystilaston mukaan säävyöhykkeellä III ulkolämpötila on alle T_1 42,27 % vuodesta eli tunneiksi muutettuna $3\ 703/8\ 760$ tuntia.

Välillä T1 – T2 ulkolämpötila pysyttelee vuodessa yhteensä

$$0,841 * 8\,760\ h - 3\,703\ h = 3\,664\ h.$$

Osavapaajäähdetyksen tuottamistapojen käyttösuhteiden voidaan olettaa nousevan lineaarisesti ja jäähdystehon tarve pysyy samana ympäri vuoden. Näin ollen osavapaajäähdetyksen kulutus voidaan laskea kertomalla kompressorijäähdetyksen ja vapaajäähdetyksen tehot puolella osavapaajäähdetyksen (T2-T1) tuntimäärästä.

5 SELVITYSTYÖ

Opinnäytetyössä selvitettiin edellä esitettyjen vapaajäähdytysratkaisujen säästöpotentiaali ja laadittiin arvioita ja laskelmia niiden suuruudesta. Laskelmia ei kohdistettu suoraan yhteen tiettyyn laitesaliin vaan laadittiin taulukot eri kokoisia kohteita varten.

5.1 Lähtötiedot

Energiansäästöpotentiaalin selvittämiseksi tarvittiin seuraavia tietoja:

- Suurten laitesalien tyypilliset jäähdytystehontarpeet
- suurten laitesalien energiankulutukset ja kulutusjakaumat
- jäähdytyksen kulutusosuus laitesaleissa
- jäähdytyskoneen kulutusjakaumat (kompressori/puhaltimet)
- ulkoilman lämpötilojen pysyvyydet eri sääalueilla
- alin ja ylin lämpötila, jossa vapaajäähdytystä voidaan hyödyntää
- kuinka suuri osa vuodesta vapaajäähdytystä voidaan hyödyntää
- vapaajäähdytyksen sähkönkulutus verrattuna nykyiseen ratkaisuun
- sähkön hinta.

5.2 Selvityksen kohteena olevan laitesalin nykytilanne

Selvityksessä tutkitaan suurta laitesalia, jossa jäähdytys toteutetaan tällä hetkellä ilmakiertoisella jäähdytyskoneikolla. Jäähdytyskone ottaa tarvitsemansa ilman laitesalin sisältä, suodattaa sen ja jäähdyttää sen tarvittavaan lämpötilaan kylmäaineen avulla. Jäähdytyskoneessa sähköä kuluttaa eniten kompressori, jota tarvitaan kylmäaineen höyrystämisprosessissa. Lisäksi koneessa on puhaltimet, joiden avulla jäähdytysilma jaetaan kanaviston kautta laitesalin eri osiin.

5.3 Suuret laitesalit

Selvitystä lähdettiin tekemään selvittämällä suuren laitesalin energiankulutus ja jäähdytysenergian tuottamiseen kuluvan energian osuus tästä. Käytössä oli laitesalin omistajalta saatu taulukko erään laitesalin kokonaissähkökulutuksista vuosilta 2013 ja 2014. Taulukossa listatut tiedot näkyvät alla taulukossa 3.

TAULUKKO 3 Laitesalin sähkökulutukset vuosina 2013–2014

energia	kk/v	energia	kk/v	erotus
50596,5	tammi.13	48482,5	tammi.14	2114
44690	helmi.13	42217,5	helmi.14	2472,5
49497	maalis.13	45363,5	maalis.14	4133,5
42798	huhti.13	41754,5	huhti.14	1043,5
44204	touko.13	43944,5	touko.14	259,5
42308	kesä.13	42711	kesä.14	-403
43123,5	heinä.13	44586	heinä.14	-1462,5
42842	elo.13	43989,5	elo.14	-1147,5
41232,5	syys.13	41816	syys.14	-583,5
43581,5	loka.13	45301,5	loka.14	-1720
43197,5	marras.13	44476,5	marras.14	-1279
44959,5	joulu.13	46052,5	joulu.14	-1093
533030	kWh	530695,5	kWh	

Laitesalissa on kaksi suorahöyrysteistä jäähdytyskonetta, jotka jäähdyttävät ilman ja kierrättävät sen IT-laitteille. Jäähdytyskoneiden teknisistä tiedoista saatiin selville niiden ottamat sähkötehot. Jäähdytyskone 1 on kaksikompressorinen ja sen käyntiä oli tutkittu kellottamalla kompressorien käyntiajat 16.4.2015 ja laskettu kompressorien käyntisuhteista ottotehoksi 9,7 kW. Jäähdytyskoneessa 2 on yksi kompressori ja kellotuksessa todettiin sen olevan käynnissä puolet ajasta. Tätä tuki myös koneen sisäisistä käyntitiedoista luettu käyttötuntimäärä, joka näytti 51 % siitä ajasta, minkä kone oli ollut asennettuna. Jäähdytyskoneen 2 ottotehoksi laskettiin 7,75 kW. Ulkoilman lämpötilalla ei ole suurta merkitystä jäähdytyksen toimintaan, mikä huomataan siitä että kuukausikulutukset pysyvät tasaisina läpi vuoden. Näin ollen kellotuksesta laskettuja tehoja voidaan pitää luotettavina arvioina vuoden keskimääräisistä tehoista.

Ottotehoista saadaan yhteenlaskettuna 17,45 kW. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan ohjearvo ilmalauhdutteen kompressori-kylmälaitoksen kylmäkertoimeksi on 2,5. Jäähdytysteho saadaan kaavasta 6 (9).

$$\varepsilon = \frac{\phi}{P_t}$$

KAAVA 6

ε = Kylmäkerroin

ϕ = Jäähdytysteho (kW)

P_t = Jäähdytyskoneen ottama teho (kW)

Näin ollen jäähdytyskoneiden jatkuva jäähdytysteho on

$$17,45 \text{ kW} * 2,5 = 43,625 \text{ kW}$$

Jäähdytyskoneiden ottotehojen avulla laskettiin myös jäähdytyksen osuus laitesalin kokonaiskulutuksesta vuodelle 2014 kaavasta 7:

$$\frac{\phi * 8\,760 \text{ h}}{E}$$

KAAVA 7

$$\frac{17,45 \text{ kW} * 8\,760 \text{ h}}{530\,695,5 \text{ kWh}} = 0,288 = 28,8 \%$$

6 SÄÄSTÖPOTENTIALI

Tässä luvussa on esitetty arvioita energiansäästöpotentiaalista eri ratkaisuilla laskuesimerkin avulla. Jokaiselle vaihtoehdolle on laskettu vapaajäähdytysjärjestelmän säästöpotentiaali energiana ja rahana vuodessa.

6.1 Ratkaisu 1

Vapaajäähdytyksellä saatava säästö laskettiin selvittämällä ensin laitesalin jäähdytyksen kulutus suorahöyrysteisellä jäähdytyskoneella ja vertaamalla sitä vapaajäähdytysjärjestelmän kulutukseen. Tiedot nykyisestä kulutuksesta saatiin asiakkaalta ja jäähdytyslaitteen valmistajalta. Vapaajäähdytysjärjestelmän kulutus laskettiin mitoitusohjelmalla. Sähkön hinta saatiin sähköyhtiöltä. Laitesali sijaitsee säävyöhykkeellä III. Laitesalin lämpötilan asetusarvo on 23 °C. Vapaajäähdytykseen käytettävien puhaltimien tehoa säädetään taajuusmuuttajilla.

Laitesalissa lämpökuorma on 21,5 kW. Tilassa on jäähdytyskone, joka jäähdyttää laitesalia kierrättämällä sisäilmaa ja jäähdyttämällä sen. Jäähdytyskoneen kylmäkerroin on 2,5, joten 21,5 kW tehon tuottamiseen jäähdytyskone ottaa sähköverkosta tehon

$$\frac{21,5 \text{ kW}}{2,5} = 8,6 \text{ kW}$$

jolloin jäähdytykseen vuosittain kuluva sähköenergian määrä on

$$8,6 \text{ kW} * 8760 \text{ h} = 75\,336 \text{ kWh.}$$

Sähkönkulutuksen hinta ilman vapaajäähdytystä on 10 snt/kWh sähköhinnalla noin 7 533 € vuodessa.

Laitetilaan puhallettavan tuloilman lämpötilan asetusarvo on 15 °C. Tarvittava ilmavirta on

$$\frac{21,5 \text{ kW}}{(23 - 15) \text{ °C} * 1,225 \text{ kg/m}^3} = 2,19 \text{ m}^3/\text{s.}$$

Tämä on tulo- ja poistoilmapuhaltimien tarvittava nimellisilmavirta. Laittevalmistajalta saatiin puhaltimelle SFP-luvun arvo 0,74 kW/(m³/s). Raitisilman osuus puhallettavasta ilmasta on 15 °C:ssa 100 prosenttia. Näin ollen tulopuhaltimen kulutus nimellisilmavirralla ulkolämpötilassa 15 °C on

$$(2,19 \text{ m}^3/\text{s} * 0,74 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) = 1,62 \text{ kW}.$$

Vuoden keskilämpötila säävyöhykkeellä III on 3,2 °C. (7.) Ulkoilman ollessa alle 15 °C otetaan laitesalin sisältä kiertoilmaa ja sekoitetaan se raitisilmaan, jotta puhallettava ilma pysyy oikeassa lämpötilassa. Tällöin ulkoa otettavan raitisilman määrä vähenee ja poistoilmapuhaltimen kulutus laskee, sillä ilmaa poistetaan salista vain otettavan raitisilman verran. Poistoilman keskimääräinen tarve on

$$1,62 \text{ kW} * (1 - (15 - 3,2)^\circ\text{C}/(23 - 3,2)^\circ\text{C}) = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Mitoitusohjelmalla laskettuna vuoden keskilämpötilalla vapaajäähdytyksen vuoden keskitenhoksi tulee

$$1,62 \text{ m}^3/\text{s} * 0,74 \text{ kW}/\text{m}^3 + 0,89 \text{ m}^3/\text{s} * 0,74 \text{ kW}/\text{m}^3 = 2,28 \text{ kW}.$$

Vapaajäähdytystä ilmalla käytetään aina ulkolämpötilan ollessa 15 °C tai alle. Säävyöhykkeellä III tämä tarkoittaa yhteensä 7590 h vuodessa. Kompressorikäyttöisen jäähdytyskoneen käyttötunneiksi vuodessa jää 1170 h. Vuoden jäähdytyksen sähkönkulutus on

$$7\,590 \text{ h} * 2,28 \text{ kW} + 1\,170 \text{ h} * 8,6 \text{ kW} = 25\,551 \text{ kWh}.$$

Säästöä verrattuna tilanteeseen ilman vapaajäähdytystä tulee vuodessa

$$75\,336 \text{ kWh} - 25\,551 \text{ kWh} = 49\,785 \text{ kWh}.$$

Säästöjen määrä euroiksi muutettuna on noin 4 979 € vuodessa. Jäähdytyksen sähkönkulutus putoaa 66 prosenttia alkuperäisestä.

6.2 Ratkaisu 2

Tässä laskuesimerkissä sijoitetaan jäähdytyspatteri laitesalin jäähdytyskoneen tuloilmakanavaan. Jäähdytyskoneen tuloilmakone toimii vapaajäähdytyksessä puhaltimena, joka jakaa jäähdytysilman IT-laitteille laitesalissa. Patterissa kiertää neste, joka jäähdytetään vapaajäähdytyksellä ulkona nestejäähdyttimen avulla. Nestejäähdyttimen ja pumpun kulutukset saatiin valmistajilta. Jäähdytyskoneen puhaltimen teho saatiin laitetiedoista. Laitesali sijaitsee säävyöhykkeellä III.

Suuressa laitesalissa IT-laitteet lämmittävät tilaa 21,5 kW:n teholla. Tilassa on jäähdytyskone, joka jäähdyttää laitesalia kylmäainekierrolla hyödyntämättä vapaajäähdytystä. 21,5 kW tehon tuottamiseen jäähdytyskone ottaa sähköverkosta tehon 8,6 kW ja sen vuosikulutus on 75 336 kWh.

Laitteille puhallettava jäähdytysilma pidetään 15 °C:n lämpötilassa. Jäähdytyspatteri asennetaan jäähdytysilmakanavaan ja sen meno- ja paluulämpötilat ovat 10/15 °C. Jäähdytyspatterien toimittajan mitoitusohjelman mukaan 15-asteisena palaavan nesteen jäähdyttämiseen 10-asteiseksi tarvitaan 3,2 kuutiometrin ilmavirtaus sekunnissa lauhduttimen läpi ulkolämpötilan ollessa 5 °C. Mitoitusulkolämpötilaksi valittiin 5 °C, sillä korkeammissa lämpötiloissa lauhduttimen koko ja tehontarve nousevat liian suuriksi.

Lauhduktimesta tehtiin tarjouspyyntö toimittajalle. Tarjouksesta kävi ilmi, että lauhduttimen nimellisteho mitoitusulkolämpötilassa on 1,35 kW. Lauhduttimessa on kolme 0,45 kW:n puhallinta, joista osa voidaan sulkea tehon säätämiseksi. Oletetaan vuoden vapaajäähdytyksen käyttökauden keskitehoksi lauhduttimelle ~1 kW.

Vapaajäähdytystä käytetään siis aina ulkolämpötilan ollessa 5 °C tai alle. Lisäksi voidaan käyttää osavapaajäähdytystä aina 14 °C:seen asti jäähdytyskoneen toimiessa vapaajäähdytyksen rinnalla. Ulkolämpötilan saavuttaessa 15 °C siirrytään täysin jäähdytyskoneen käyttöön. Vapaajäähdytyskaudella jäähdytyksen kokonaiskulutus muodostuu lauhduttimien, puhaltimen ja pumpun kulutuksesta. Yhteenlaskettuna keskikulutus on 2,5 kW (lauhdutin 1 kW, puhallin 1,4 kW, pumppu 0,1 kW).

Käyttötunteja vapaajäähdytykselle tulee 4 884, osavapaajäähdytykselle 2 483 ja jäähdytyskoneelle 1 393. (7.) Koko vuoden jäähdytykseen tarvittava kulutus vapaajäähdytyksellä on

$$2,5 \text{ kW} * \left(4\,884 + \frac{2\,483}{2}\right) \text{ h} + 8,6 \text{ kW} * \left(1\,393 + \frac{2\,483}{2}\right) \text{ h} = 37\,971 \text{ kWh}.$$

Vähennystä pelkän jäähdytyskoneen avulla jäähdytykseen on siis

$$75\,336 \text{ kWh} - 37\,971 \text{ kWh} = 37\,365 \text{ kWh}.$$

Jäähdytyksen vuosikulutus putoaa noin puoleen. Vuosisäästöjä euroissa kertyy 3 737 €/a.

6.3 Ratkaisu 3

Laitetilan lämpökuorma on 21,5 kW. Suorahöyrysteinen jäähdytyskone ottaa 21,5 kW jäähdytystehon tuottamiseen sähköverkosta 8.6 kW jatkuvaa ottotehoa. Jäähdytyskoneen vuosikulutus on 75 336 kWh.

Suorahöyrysteinen jäähdytyskone korvataan tässä esimerkkitapauksessa vapaajäähdytteisellä vedenjäähdytyslaitteella, jonka nimellisiä jäähdytysteho on 43,3 kW ja täyden kuorman ottoteho kompressorijäähdytyksellä 14,1 kW. Laitetilan jäähdyttämiseksi jäähdytyskoneen tulee käydä alle puolella nimellistehostaan, joten sen verkosta ottama teho 21,5 kW lämpökuorman jäähdytykseen on noin 7 kW. Jäähdytyskoneen ottoteho 100-prosenttisellä vapaajäähdytyksellä on 1,5 kW (vain puhaltimen ottama sähkö). 100-prosenttiseen vapaajäähdytykseen tarvittava ulkolämpötila on 1,4 °C, jotta saavutetaan vesipiirissä 15 °C / 10 °C tulo/lähtölämpötila. Säävyöhyke III:lla (Jyväskylä) ulkoilman lämpötila pysyttelee alle 1 celsiusasteen 42,27 % vuodesta eli tunneiksi muutettuna 3703/8760 tuntia vuodessa (7).

Täyttä vapaajäähdytystä käytetään 42,27 % vuodesta eli 3 703 tuntia. Tämän lisäksi käytettäisiin osavapaajäähdytystä 3 664 h vuodessa. Pelkästään kylmäkoneella tehtäväksi jäähdytyksen

käyttötunneiksi jäisi 1 393 h. Kokonaisvuosikulutus jäähdytykselle vedenjäähdyttimen asennuksen jälkeen on

$$((3\,703\,h + 1\,832\,h) * 1,5\,kW + (1\,393 + 1\,832\,h) * 8,6\,kW) = 36\,037\,kWh,$$

mikä on 39 299 kWh pienempi kuin ilman vapaajäähdytystä. Tämä tarkoittaa arviolta 3 930 €:n vuosisäästöjä. Säästöjen määrä prosentteina vuodessa on 52,16 %.

6.4 Vaikutus PUE-lukuun

Tutkitun laitesalin PUE-luku laskettiin jakamalla kokonaissähkönkulutus jäähdytyskoneiden ja muun talotekniikan kulutuksella. Talotekniikan kulutukseen lasketaan valaistus-, ilmastointi- ja lämmityslaitteet. Talotekniikan kulutuksen arvioitiin olevan 10 % kokonaiskulutuksesta ja jäähdytyksen kulutus aiemmin lasketun tuloksen perusteella 29 % kokonaiskulutuksesta. Osuudet on esitetty kuvassa 8. IT-laitteiden osuudeksi jää näin ollen 61 prosenttia kokonaiskulutuksesta eli

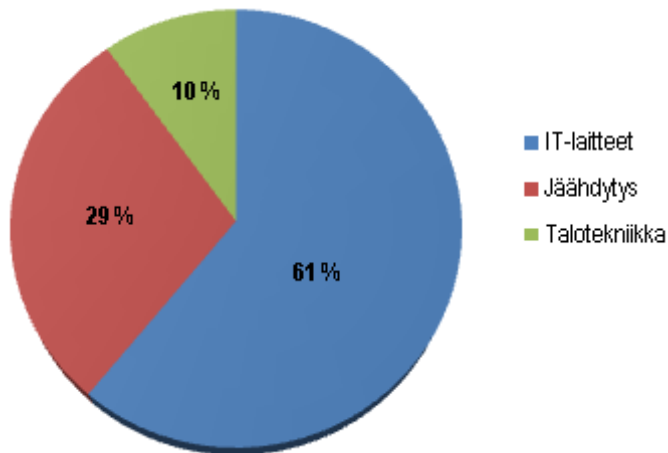
$$0,61 * 533\,695,5\,kWh = 325\,554,25\,kWh.$$

Jäähdytyskoneiden tämänhetkinen vuosikulutus on

$$0,29 * 533\,695,5 = 154\,771,695\,kWh.$$

Talotekniikan vuosikulutus on

$$0,1 * 533\,695,5 = 53\,369,55\,kWh.$$



KUVA 7 Kokonaiskulutuksen jakauma

Laitesalin tämän hetkinen PUE-luku on

$$\frac{533\,695,5 \text{ kWh}}{325\,554,25 \text{ kWh}} = 1,64.$$

6.4.1 Laskuesimerkki 1

Ensimmäisen laskuesimerkin vapaajäähdytysratkaisu pudottaa jäähdytyksen vuosikulutusta 66,1 prosenttia. Uusi jäähdytyksen vuosikulutus on

$$(1 - 0,661) * 154\,771,695 \text{ kWh} = 52\,467,6 \text{ kWh}.$$

Kokonaiskulutus putoaa seuraavasti

$$533\,695,5 \text{ kWh} - (154\,771,695 \text{ kWh} - 52\,467,6 \text{ kWh}) = 431\,391,4 \text{ kWh}.$$

Uusi jäähdytyksen kulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta on siis

$$\frac{52\,467,6 \text{ kWh}}{431\,391,4 \text{ kWh}} = 0,122 = 12,2 \text{ \%}.$$

Talotekniikan kulutus ei muutu ja sen osuus uudesta kokonaiskulutuksesta on

$$\frac{53\,369,55\text{ kWh}}{431\,391,4\text{ kWh}} = 0,124 = 12,4\%.$$

IT-laitteiden kulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta kasvaa seuraavasti

$$1 - 0,122 - 0,124 = 0,754 = 75,4\%$$

Uusi PUE-luku on

$$\frac{431\,391,4\text{ kWh}}{0,754 * 431\,391,4\text{ kWh}} = 1,33.$$

6.4.2 Laskuesimerkki 2

Toisen laskuesimerkin mukainen vapaajäähdytysratkaisu pudottaa jäähdytyksen vuosikulutusta 49,6 prosenttia. Uusi jäähdytyksen vuosikulutus on

$$(1 - 0,496) * 154\,771,695\text{ kWh} = 78\,004,9\text{ kWh}.$$

Kokonaiskulutus putoaa

$$(533\,695,5 - 78\,004,9)\text{ kWh} = 455\,690,6$$

kilowattituntiin vuodessa, jolloin jäähdytyksen kulutuksen osuus kokonaisvuosikulutuksesta on

$$\frac{78\,004,9\text{ kWh}}{455\,690,6\text{ kWh}} = 0,171 = 17,1\%.$$

Talotekniikan kulutus pysyy muuttumattomana ja sen osuus uudesta vuosikulutuksesta on

$$\frac{53\,369,55\text{ kWh}}{455\,690,6\text{ kWh}} = 0,117 = 11,7\%.$$

IT-laitteiden osuus uudesta kokonaiskulutuksesta nousee seuraavasti

$$1 - 0,171 - 0,117 = 0,712 = 71,2 \%$$

Uusi PUE-luku:

$$\frac{455\,690,6\text{ kWh}}{0,712 * 455\,690,6\text{ kWh}} = \mathbf{1,405.}$$

6.4.3 Laskuesimerkki 3

Toisen ratkaisumallin mukainen vapaajähdytysratkaisu pudottaa jäähdytyksen vuosikulutusta 52,16 prosenttia. Uusi jäähdytyksen vuosikulutus on

$$(1 - 0,5216) * 154\,771,695\text{ kWh} = 74\,042,8\text{ kWh.}$$

Kokonaiskulutus putoaa

$$(533\,695,5 - 74\,042,8)\text{ kWh} = 459\,652,7$$

kilowattituntiin vuodessa, jolloin jäähdytyksen kulutuksen osuus kokonaisvuosikulutuksesta on

$$\frac{74\,042,8\text{ kWh}}{459\,652,7\text{ kWh}} = 0,161 = 16,1 \%$$

Talotekniikan kulutus pysyy muuttumattomana ja sen osuus uudesta vuosikulutuksesta on

$$\frac{53\,369,55\text{ kWh}}{459\,652,7\text{ kWh}} = 0,116 = 11,6 \%$$

IT-laitteiden osuus uudesta kokonaiskulutuksesta nousee seuraavasti

$$1 - 0,161 - 0,116 = 0,723 = 72,3 \%$$

Uusi PUE-luku:

$$\frac{459\,652,7\text{ kWh}}{0,712 * 459\,652,7\text{ kWh}} = \mathbf{1,404.}$$

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli laatia kolme teknistä ratkaisua laitesalin jäähdytyksen energiatehokkuuden parantamiseksi ja esitellä ne asiakkaalle eli laitesalien omistajalle. Teknisiin ratkaisuihin tuli sisältyä suunnitelmat, säätökaaviot ja periaatekuvat sekä toimintaselostukset. Lisäksi säästöpotentiaali tuli selvittää mahdollisimman tarkasti.

Tavoiteaikatauluna oli, että työ olisi valmis esiteltäväksi asiakkaalle 28.4.2016 mennessä. Selvitystyö valmistui aikataulussaan. Työstä esiteltiin väliraportti asiakkaalle 30.3.2016 ja lopullinen raportti huhtikuun 2016 lopulla. Selvitystyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Kolme teknistä ratkaisua vapaajäähdytyksen toteuttamiseksi laittiloihin laadittiin suunnitelmien ja piirustuksien. Asiakas hyväksyi suunnitelmat ja piti niitä vartenotettavina ratkaisuina jäähdytyksen kulutuksen pienentämiseksi laitesaleissa. Myös säästölaskelmat tai -arviot jokaiselle vaihtoehdolle saatiin tehtyä suunnitellusti.

Energiansäästöpotentiaaliltaan ja kustannuksiltaan parhaaksi ratkaisuksi todettiin selvityksessä esitetty ensimmäinen ratkaisumalli eli vapaajäähdytys ilmalla. Viileän ilman käyttö suoraan ilman nestettä väliaineena on vapaajäähdytysjärjestelmistä yksinkertaisin ja myös hyödyllään paras. Selvityksen pohjalta tehtiin tarkempi suunnitelma sekä kartoitukset muihin lähialueen laitesaleihin.

Selvitystyön lisätyönä luotiin Microsoft Excel -pohjainen taulukkolaskentatyökalu laitesalin energialaskentaa varten. Asiakas tilasi selvitystyön pohjalta kartoituksen vapaajäähdytysjärjestelmien toteuttamismahdollisuuksista laittiloihinsa ja toteutuksien säästöpotentiaalin selvittämisestä.

Kartoitusten valmistuttua asiakas tilasi tämän opinnäytetyön mukaisen teknisen ratkaisun toteutettavaksi yhteen laitehuoneeseensa. Toteutus tehtiin alkusyksystä 2016.

LÄHTEET

1. Hakala, Pertti – Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
2. Posdalek, Gina. 2008. An investigation into using free cooling and community heating to reduce data centre energy consumption. Saatavissa: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2008/Posladek.pdf Hakupäivä 22.4.2016.
3. SFP-opas. 2009. LVI-talotekniikkateollisuus ry. Saatavissa: http://www.ilmansuodatin.com/data/sfpopas3_060709.pdf. Hakupäivä 3.6.2016.
4. Energiatohokas konesali. 2011. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatohokas_konesali.pdf. Hakupäivä: 22.4.2016.
5. A blueprint for reducing energy costs in your data center. 2009. Hewlett-Packard. Saatavissa: <http://h20195.www2.hp.com/V2/GetPDF.aspx/4AA2-7062ENW.pdf>. Hakupäivä 12.11.2015.
6. The road to a smart data center. 2014. Tanuj Khandelwal. Saatavissa: <http://www.datacenterjournal.com/road-smart-data-center/> Hakupäivä 31.5.2016.
7. Ulkoilman lämpötilojen esiintymistiheys nykyilmastossa (TRY2012) pysyvyyssarvoina vyöhykeellä III (Jyväskylä). 2012. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=001e7079-91ef-4f19-b72b-3059b3525fb5&groupId=30106. Hakupäivä: 30.1.2016.
8. Lamellipatterit. Oy Ekocoil. Saatavissa <http://www.ekocoil.fi/patterit.html>. Hakupäivä 23.4.2016.
9. D5 (2012). 2011. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma. Hakupäivä: 22.4.2016.
10. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 5.2.2016.
11. D5 (2012). 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö,

Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma.
Hakupäivä 22.4.2016.

12. D5 (2012). 2011. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma.
Hakupäivä 22.4.2016.

