

Joonas Heikkilä

KONESALIJIÄÄHDYTYKSEN TEHONTARPEEN
MÄÄRITTÄMINEN

Rakennustekniikan koulutusohjelma
2015

Konesalijäähdytyksen tehontarpeen määrittäminen

Heikkilä, Joonas
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2015
Ohjaajat: Räsänen Mika, Heinola Reino
Sivumäärä: 53
Liitteitä: 16

Asiasanat: konesali, jäähdytysjärjestelmä, jäähdytys, ilmanvaihto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli määrittellä datakeskuksen jäähdytysjärjestelmän tehontarve ja kylmälaitoksen hyötysuhde. Työssä selvitettiin myös eri osa-alueiden osuudet jäähdytysjärjestelmän kokonaistehontarpeesta. Työn kohteena toimi Suomessa sijaitseva datakeskus.

Datakeskuksen kylmälaitoksen ja konesaleja palvelevien jäähdytyslaitteiden virran- kulutuksia selvitettiin kenttämittauksin. Mittaukset suoritettiin laitteiden kytkennän alkupäistä, jolloin kaikki mahdolliset häviöt saatiin mukaan laskelmiin. Kenttämittausten kautta saatujen tietojen perusteella suoritettiin teholaskelmat, joiden tulokset jaettiin osa-alueittain tuotannon, konesalien sekä tukitoimintojen kesken. Tulosten pohjalta laskettiin myös kylmälaitoksen hetkellinen hyötysuhde.

Työn tulosten avulla voidaan tarkastella, tehostaa ja optimoida datakeskuksen jäähdytyksen toimintaa. Tuloksia voidaan käyttää myös suuntaa antavina pohjatietoina tulevissa saneeraus- ja investointipäätöksissä.

Työ osoittaa että datakeskuksen jäähdytyksen kokonaistehontarpeesta suurin osa, eli noin 74 % muodostuu kylmälaitoksen tuotantolaitteiden ottotehosta. Jakelun ja salien jäähdytyksen osuus on noin 20 % ja pääprosessia tukevien jäähdytystoimintojen osuus noin 6 % kokonaistehontarpeesta. Tuloksista voidaan päätellä, että tuotannon tehostamiseen ja optimointiin panostaminen on tehokkain tapa saada aikaan säästöjä sekä energiankulutuksessa että käyttökustannuksissa. Laitteita uusimalla ja vaihtamalla hyötysuhteeltaan parempiin laitteisiin, voidaan pudottaa kulutusta ja kustannuksia jokaisella jäähdytyksen osa-alueella.

Determining the power consumption of a datacenter

Heikkilä, Joonas

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in construction engineering

January 2015

Supervisors: Räsänen Mika, Heinola Reino

Number of pages: 53

Appendices: 16

Keywords: data center, cooling system, refrigeration, air conditioning

The purpose of the thesis was to study the power usage of the cooling system of the data center and the efficiency rate of the cooling facility. In the study the shares of different sectors of the total power consumption of the cooling system were clarified. The data center located in Finland served as the target of the work.

The power consumption of the cooling system and refrigerating devices was clarified with field measurements. The measurements were performed from the switch cabinets to cover all the possible current losses. The power consumption of the devices was calculated through the results of the current measurements. The power consumption was then divided between the different sectors of the whole cooling system. Also the coefficient of performance (COP) was calculated based on the results from the power calculations.

The results of the thesis can be used to analyze the performance and efficiency of the cooling system and to optimize and rationalize the process. The results can also be used as a basis for future renovations and investments.

The study shows that the production end devices, such as water coolers, use the majority of the power of the cooling system i.e. about 74 % of the whole power usage. The share of distribution and refrigeration is 20 % and the devices supporting the main process use 6 % of the whole power usage. The results demonstrate that the best way of making the system more efficient and cost-effective, is to rationalize the production devices, such as water coolers and pumps. By investing in devices with better efficiency rate some savings can be achieved in every sector of the cooling system.

SISÄLLYS

SYMBOLI- JA TERMI LUETTELO	6
1 JOHDANTO.....	7
2 TARKOITUS JA TAVOITTEET	8
3 KYLMÄTEKNIikka	9
4 SÄHKÖTEKNIikka	11
4.1 Kuormittavat sähkölaitteet	11
4.2 Pätö-, lois- ja näennäisteho	11
4.3 Loistehon kompensointi.....	12
4.4 Tehokerroin.....	13
5 KYLMÄLAITOS	13
6 ATK-KONESALIT	17
6.1 M210 ATK-sali.....	17
6.2 M240 ATK-sali.....	18
6.3 M270 ATK-sali.....	18
6.4 ATK-sali 2. kerros	18
6.5 Uusi konesali 2. kerros.....	18
7 KONESALIEN JÄÄHDYTYS	19
8 TUKITOIMINNOT.....	21
9 MITTAUKSET	22
9.1 Mittalaitteet	22
9.2 Virhearviointi ja tulosten luotettavuus.....	23
10 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI.....	24
10.1 Kylmäntuotanto.....	24
10.2 Jakelu	27
10.3 Konesalien ilmastointikoneet.....	27
11 TEHOJEN LASKENTA	30
11.1 Mallilaskut	31
11.2 Kylmäntuotanto.....	32
11.3 Pumppaus.....	33
11.4 Konesalit	34
11.5 Tukitoiminnot	37
11.6 Kokonaisuus, osuudet ja analysointi.....	40
12 TESTIAJOT	43
13 HYÖTYSUHTEIDEN LASKENTA	44
13.1 Laitoksen COP.....	44

13.2 Saliin hyötysuhteet	46
13.3 Tulokset ja analysointi	47
14 YHTEENVETO	48
LÄHTEET	51
LIITTEET	

SYMBOLI- JA TERMILUETTELO

COP	on hyötysuhde, joka kuvaa otetun sähkötehon ja tuotetun jäähdytystehon suhdetta. (Coefficient Of Performance).
$\cos\varphi$	tehokerroin
I	virta [A]
KJK	keskijännitekojeisto
P	sähköteho [W]
Q	jäähdytyskuorma [kW]
U	jännite [V].
UPS	on järjestelmä tai laite, jonka tehtävä on taata tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa. (Uninterruptible Power Supply).
VIK	vakioilmastointikone.
VJK	vedenjäähdytyskone.
W	laitteen ottoteho [kW]

1 JOHDANTO

Tietoliikenteen kasvaessa datankäsittely vaatii yhä enemmän ja enemmän fyysistä tilaa ja energiaa. Uusia konesaleja ja niitä sisältäviä datakeskuksia rakennetaan jatkuvasti ja yhä useammat kansainväliset yritykset sijoittavat datakeskuksiaan Skandinaviaan pohjoisen ilmaston tuomien etujen vuoksi. Datakeskukset kuluttavat valtavasti sähköä, minkä vuoksi puhutaan paljon niiden energiatehokkuudesta. Keskusten konesaleissa olevat palvelimet kuluttavat sähköä, josta 100 % muuttuu prosessissa aina lopulta lämmöksi. Datakeskusten ja konesalien suuret lämpökuormat tulee jäähdyttää, jotta pelkästään jotta konesalien palvelinlaitteet pystyvät toimimaan. Tässä työssä käsitellään erästä Suomessa sijaitsevaa datakeskusta ja sen energiankulutusta, vertaillen siinä käytettyjä jäähdytys- ja jakeluratkaisuja toisiinsa sekä pohditaan mahdollisia säästö- ja tehostuskohteita.

Datakeskuksen jäähdytysenergia tuotetaan kompressorikylmälaitoksella, jossa jäähdytyksen vaatima energia tuotetaan kompressorivedenjäähdyttimillä. Kylmäteho siirretään konesaleihin jäähdyttämällä sekä tuloilmaa että jäähdyttämällä vettä, jolla siirretään jäähdytysenergiaa saleissa oleviin laitteisiin. Kylmälaitoksen jäähdytysenergia tuotetaan sähköllä, josta olettaen suurimman osan kuluttavat kompressorivedenjäähdyttimet. Kylmätuotantoon kuuluu vedenjäähdyttimien lisäksi lauhdutuksen nestejäähdyttimien puhaltimia sekä nestepiirien pumppuja. Keskuksen jäähdytysverkosto on oman N+1 kylmäntuotantonsa varassa, mikä tarkoittaa että jäähdytystehon tuottamiseen tarvittavien jäähdyttimien lisäksi laitoksessa on ylimääräistä tuotanto- ja pumppauskapasiteettia huoltokatkojen tai laitehajoamisten varalle.

Keskuksessa on useita erikokoisia konesaleja, joiden jäähdytys on toteutettu eri menetelmin, sekä uudemmalla että vanhemmalla tekniikalla, kuten ilmastoinnin välityksellä tai suoraan huonelaitteilla. Laitoksen pääasiallinen jäähdytettävä lämpökuorma syntyy sähkölaitteista. Tilojen sijainnin ja vähäisen henkilöstömäärän takia ulkoisia kuormia ei juuri ole, ja salien sähkön tuoma lämpökuormitus on hyvin tasainen, mikä takia laitoksen kuorma säilyy suhteellisen muuttumattomana läpi vuoden.

2 TARKOITUS JA TAVOITTEET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kenttämittauksilla datakeskuksen jäähdytysjärjestelmän virrankulutukset sekä tutkia laskennan kautta sen energiankulutusta toiminta-alueittain, jakaen jäähdytysjärjestelmä päätoimintoihin ja tukeviin toimintoihin. Päätoimintoihin luetaan jäähdytyslaitteiston pääasiallinen tehtävä eli konosalien jäähdytys eri menetelmin. Tukeviin toimintoihin puolestaan luetaan kaikki laitosta muuten ylläpitävät jäähdytystoiminnot kuten UPS-tilojen, muuntamoiden ja valvomon jäähdytykset. Lisäksi tehtävänä on määrittellä jäähdytysjärjestelmän hyötysuhde eli COP.

Kenttämittausten tavoitteena oli kerätä tarpeeksi dataa perusteellisia laskentoja varten. Laskennoilla pyrittiin selvittämään jäähdytysprosessin eri toiminta-alueiden sähkötehontarvetta sekä määrittämään laitoksen sekä laitteiden COP-arvoja. Laskennassa käytettiin mitattuja virta-arvoja ja valmistajan kullekin laitteelle ilmoittamia nimellisarvoja.

Mittaus- ja laskentatulokset jaettiin prosessin osa-alueittain, jotta saatiin selville kunkin osa-alueen osuudet jäähdytyksen kokonaissähkökulutuksesta. Tarkoituksena on eritoten saada selville paljonko kylmäntuotantoon, jakeluun, salien ilmastointiin sekä tukitoimintoihin kuluu sähkötehoa. Joitain osa-alueita, kuten esimerkiksi lauhdutusta ja pumppausta tarkasteltiin prosessin osana sekä erikseen omina toimintoinaan.

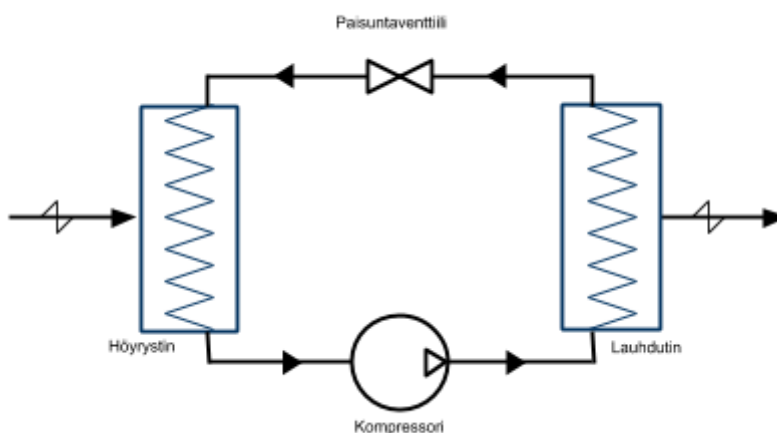
Kylmäntuotannon kokonaistehontarpeeseen otettiin mukaan vedenjäähdytyskompressorit, tuotannon pumput ja lauhdutuspuhaltimet. Lisäksi jokainen vedenjäähdytin pumppuineen sekä lauhdutus tarkasteltiin yksittäin. Salien ilmastoinnin ja muiden jäähdyttimien tulokset jaettiin saleittain, jolloin mittaustulosten avulla salien laitteistoja voitiin vertailla keskenään saleittain tai toisten salien laitteisiin. Tukitoimintoja tarkasteltiin erillisenä kokonaisuutena, koska ne eivät suoranaisesti ole osana pääprosessia, vaan ovat sitä tukevia välttämättömiä toimintoja. Tukitoimintojen kulutuksessa selvitettiin eritoten niiden osuutta jäähdytyksen kokonaiskulutuksesta.

3 KYLMÄTEKNIikka

Kylmäprosessi etenee yksinkertaisuudessaan neljän prosessin pääkomponentin kautta kuten kuvassa 1. Prosessin aikana kylmäaine käy läpi faasimuutoksia, mikä mahdollistaa energian siirtymisen nesteen ja lauhduttimen tai höyrystimen välillä. Prosessin pääkomponentit ovat kompressorin, lauhduttimen, höyrystimen sekä paisuntaventtiilin.

Kompressorin tehtävänä kylmälaitoksessa on puristaa höyrystimessä muodostunut kylmäainehöyry ja nostaa sen lämpötila niin korkeaan lämpötilaan, että se luovuttaa lämpöenergiaa ja lauhtuu. Ruuvikompressorin puristaa kylmäainehöyryä jatkuvasti samaan suuntaan nostaen kaasun paineen matalasta paineesta korkeaan. Tavallisessa ruuvikompressorissa on kaksi sylinterimäistä spiraalinmuotoista ruuvia. Ruuvien profiili on muotoiltu niin, että kun imukaasu on suljettu ruuvien väliseen tilaan ja ruuvien pyöriessä puristustila etenee samalla pienentyen poistoporttia kohti. (Nydal 2002, 150, 153-154.)

Kompressorista tuleva korkeapaineikaasu etenee lauhduttimeen, jonka tehtävänä on siirtää pois se lämpöenergia, mikä on otettu höyrystimessä ja puristuksen kautta tuotu lauhduttimeen poissirrettäväksi. Lämpöenergia siirretään pääsääntöisesti ilmaan tai veteen. Lauhtumisteho ilmoittaa kuinka suuri on se lämpövirta, joka luovutetaan kylmäaineeseen, kun se on jäädytetty kuumakaasun lämpötilasta ja nesteytynyt. (Nydal 2002, 146.)



Kuva 1. Kylmäprosessi ja sen keskeisimmät komponentit.

Ilmajäähdytteinen lauhdutin on rakennettu kupari- tai teräsputkista, joihin on prässätty lamelleja (Nydal 2002, 147). Ilmajäähdytteisen lauhduttimen tehoa säädetään ohjaamalla lauhduttimen läpi virtaavaa ilmaa tai kylmäainevirtaa. Lauhduttimen läpi virtaavaa ilmaa ohjataan käynnistämällä ja pysäyttämällä lauhdutinpuhaltimien moottoreita tai säättämällä lauhdutinpuhaltimien moottorien pyörimisnopeutta. (Aittomäki ym. 1996, 240.)

Hermeettisissä ja puolihermeettisissä kompressorikoneikoissa on erilliset lauhduttimet ja puhallinmoottorit. Tämä mahdollistaa vapaan lauhduttimen sijoituksen, jolloin voidaan varmistua viileän ilman saannista. Suuritehoisissa laitoksissa lauhdutin sijoitetaan ulos. (Nydal 2002, 147.)

Paisuntaventtiilin tehtävänä on päästää riittävästi kylmäainetta höyrystimeen ja varmistaa paine-ero korkea- ja matalapainepuolen välillä. Kun lauhduttimelta tuleva neste ohittaa paisuntaventtiilin, tulee se laitoksen matalapainepuolelle. (Nydal 2002, 60.)

Paisuntaventtiilin jälkeen neste virtaa höyrystimeen. Höyrystin on se kylmälaitoksen osa, jossa lämpöenergia sidotaan. Paineen alenemisen ansiosta neste alkaa höyrystyä sitoen lämpöenergiaa. Muodostunut höyry imetään kompressoriin ja sieltä edelleen lauhduttimeen. Kun haluttu lämpötila on saavutettu, kompressori pysähtyy. Tällöin paine höyrystimessä alkaa nousta, jolloin neste ei enää höyrysty eli lämmönsiirtyminen kylmäaineeseen loppuu. (Nydal 2002, 61.)

Koneellisen ilmastointijäähdytyksen yhteydessä on mahdollista käyttää hyödyksi ulkoilman jäähdytyspotentiaalia. Ulkoilmasta saatavaa jäähdytystehoa kutsutaan vapaajäähdytykseksi. Mitä tasaisempi on vuotuinen jäähdytyskuorma, sitä suurempi energian säästö ulkoilman käytöllä saavutetaan. Näin esimerkiksi tietokonesalit ja prosessien jäähdytys ovat yleisiä vapaajäähdytyksen soveltamiskohteita. (Aittomäki ym. 1996, 342).

4 SÄHKÖTEKNIikka

4.1 Kuormittavat sähkölaitteet

Valtaosa jäähdytettävistä sähkölaitteista on konesalien palvelimia. Palvelimet ovat yksinkertaistettuna tietokoneita, jotka sisältävät palvelinohjelmistoja, kuten www-sivustoja. Palvelimet keskitetään konesaleissa palvelinkaappeihin, jotka asennetaan saleissa usein riveihin. Palvelinten jäähdytyksen lisäksi sähkökeskukset ja muuntajatilat tuottavat jonkin verran lämpökuormaa. Lämpökuormat ovat kuitenkin suhteellisen pienet verrattuna palvelimien tai UPS-laitteiden tuottamaan lämpökuormaan.

UPS-laitteita käytetään palvelinten suojalaitteina sähkökatkojen varalta. Lisäksi niillä pidetään huolta palvelinten virransyötön ja syöttöjännitteen tasaisuudesta. UPS-laitteen yhteydessä on yleensä akusto, jonka lataaminen aiheuttaa eniten kuormitusta UPS-laitteissa. Akuston avulla varmistetaan väliaikainen sähkönsyöttö palvelimille sähkökatkojen aikana, jotta palvelimille ei pääse syntymään vahinkoa. UPS-laitteet sijaitsevat virtalähteiden ja palvelinten välillä, joko omissa tiloissaan tai konesalien sisällä.

4.2 Pätö-, lois- ja näennäisteho

Pätöteho P on piirissä työtä tekevää tehoa eli todellisuudessa kulutettua tehoa. Pätöteho on aina positiivinen. Pätötehon SI-yksikkö on watti. Eräät kulutuslaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon P ohella myös loistehoa Q . Tällaisia laitteita ovat esim. moottorit, purkauslamput ja muuntajat. Näissä laitteissa varsinaisen työn tekee pätöteho ja loistehoa tarvitaan magneettikentän ylläpitämiseen. Loisteho kuvaa jännitteen ja virran vaihe-erosta johtuvaa näennäistehon ja pätötehon erotusta. Loisteho voi olla positiivista tai negatiivista riippuen siitä tuottaako vai ottaako laite loistehoa. Sähköverkko eli kaapelit, muuntajat ja kytkinlaitteet mitoitetaan kokonaisvirran mukaan, joka sisältää loistehon syntyyn tarvittavan virtakomponentin. Loistehon tarve lisää laitteiden ja komponenttien virtarasituksia, jotka aiheuttavat muun muassa niiden lämpenemisen. Taajuusmuuttajan avulla on mahdollisuus kompensoida ohjattavan moottorin loisteho ja pienentää näin kompensoinnin tarvetta. Loistehon SI-yksikkö

on vari. Pätö- ja perustaajuinen loisteho yhdessä muodostavat näennäistehon S , jonka SI-yksikkö on voltiampeeri. (ST 52.15, 1-2).

4.3 Loistehon kompensointi

Loistehoa, joka ei tee varsinaista työtä, ei kannata kuljettaa sähköverkossa ja sen takia se pyritään kompensoimaan kulutuspisteiden lähellä. Useimmiten loisteho on induktiivista ja kompensointiin käytetään induktanssin vastaista reaktiivista kuormitusta eli kapasitanssia sisältäviä kondensaattoreita. Tällaisia kompensointikondensaattoreita käytetään sähkönjakeluverkoissa ja teollisuuslaitoksissa, joissa on paljon loistehoa aiheuttavaa moottorikuormitusta. (Säköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut 2014.)

Kompensointi voi tapahtua eri menetelmin joko keskitetysti, ryhmä- tai laitekohtaisesti. Laitekohtaisella kompensoinnilla tarkoitetaan sitä, että loistehoa tuottava laite, yleisimmin purkausvalaisin tai epätahtimoottori, varustetaan kondensaattorilla. Moottorikohtaisessa kompensoinnissa kondensaattori mitoitetaan yleensä arvoon 0,98. Isoilla moottoreilla kompensointiteho mitoitetaan korkeintaan 90 %:iin moottorin tyhjäkäyntitehosta. Moottorikäytöissä ei saa mitoittaa kompensointiparistoa liian suureksi, koska ylikompensointi aiheuttaa moottorin itseherätyksen eli moottori muuttuu generaattoriksi sammutusvaiheessa ja tästä aiheutuu ongelmia sekä ylijännitteissä että yliaalloissa. (ST 52.15, 4.)

Ryhmäkompensointia voidaan käyttää purkauslamppuvalaisimilla, joiden sähkönsyöttö on 3-vaiheinen ja kontaktoriohjattu, tai moottoreilla, jotka käynnistyvät samanaikaisesti. Kompensointi toteutetaan kompensointiparistoilla, jotka sijoitetaan ryhmäkeskukseen tai ryhmähohtoon. Ryhmäkompensoinnissa moottoreiden tarvitsema loisteho lasketaan jokaiselle moottorille erikseen. Tämän jälkeen moottorikohtaiset kompensointitehot lasketaan yhteen mahdollisella tasoituskertoimella korjattuina. (ST 52.15, 5.)

Keskitettyä kompensointia käytetään silloin, kun kompensointiparisto sijoitetaan kiinteistön tai teollisuuslaitoksen pää- tai ryhmäkeskukseen – tarvittaessa se voidaan

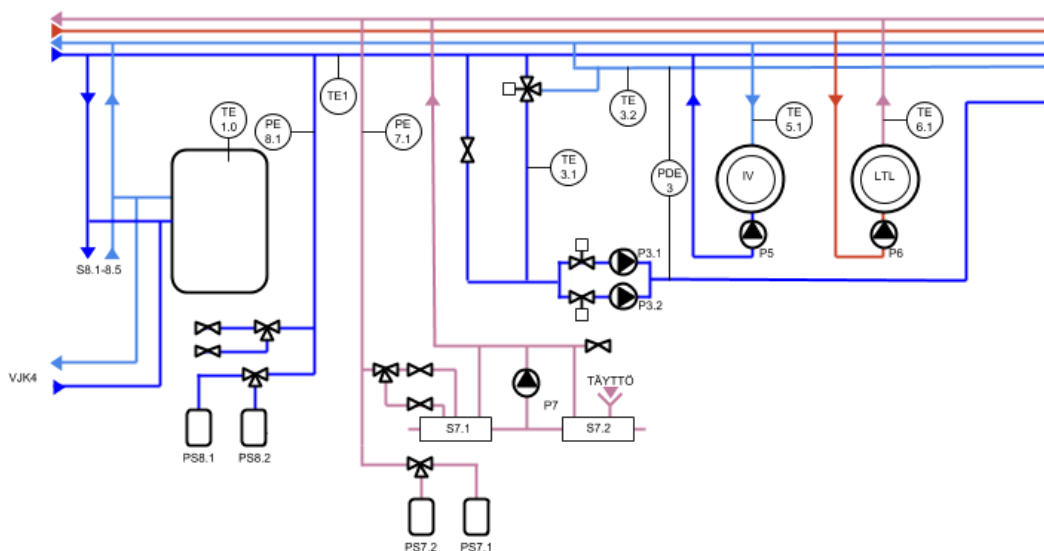
sijoittaa molempiin keskuksiin. Kompensointi toteutetaan 3-vaiheisella kondensaattoriparistolla. Mikäli sähköverkossa ei esiinny yliaaltoja, voidaan käyttää kompensointiparistoa. Jos yliaaltoja esiintyy, toteutetaan kompensointi estokelaparistolla. (ST 52.15, 5.)

4.4 Tehokerroin

Tehokerroin $\cos\varphi$ on pätötehon ja näennäistehon suhde, joka riippuen laitteesta vaihtelee välillä 0-1. Tehokerroin on 1 kun kuorma on täysin resistiivinen ja puhdas, jolloin tulojännite ja tulovirta ovat samanvaiheisia ja niillä on sama aaltomuoto. Tehokerroin on aina positiivinen. Normaalisti tehokerroin esimerkiksi vanhemmilla pumpuilla on noin 0,85 ja uudemmilla laitteilla 0,9 luokkaa, mutta tehonkertoimen korjauksella ja loistehon kompensoinnilla tehokerroin saattaa nousta jopa 0,99 asti. (ST 52.15.)

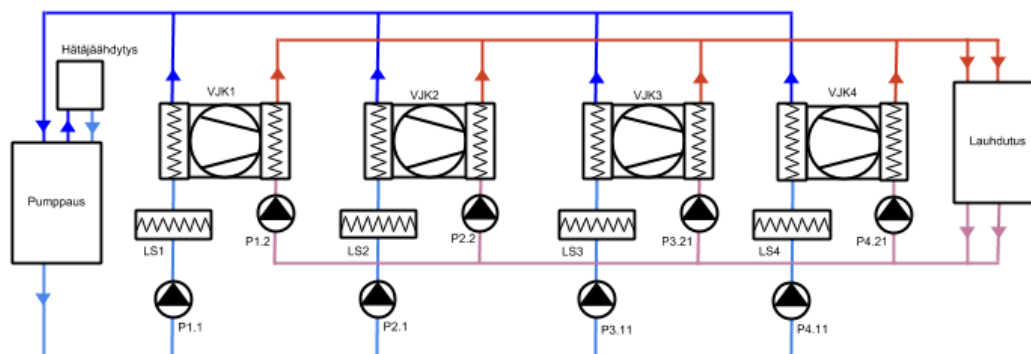
5 KYLMÄLAITOS

Datakeskuksen kaikki kylmä tuotetaan pääasiassa neljällä Carrier Oy:n kompressorivedenjäähdyttimellä. Kylmäntuotanto palvelee laitoksen kaikkia jäähdytyslaitteita kuten konesalien ilmastointia, rivijäähdyttimiä, vakioilmastointikoneita ja muita pääprosessia tukevia jäähdytyslaitteita. Laitoksen jäähdytykseen voidaan käyttää myös vapaajäähdytystä. Jäähdytystarve on laitoksen kuormituksen ja käyttötarkoituksen takia katkeamatonta. Palvelinten aiheuttamat laitekuormat ovat niin suuret, että jos jäähdytystuotanto katkeaa lämpötilat nousevat hetkessä vaarallisen korkeiksi. Tämän takia laitos on toteutettu niin sanottuna N+1-laitoksena, jossa kaikki laitoksen toiminnan kannalta tärkeät laitteet on kahdennettu. N+1 laitoksessa on tarvittavan laitemäärän lisäksi aina yksi laite varalla laitehajoamisten tai huoltokatkosten varalle esimerkiksi pääkiertopumppuja 1+1 tai vedenjäähdyttimiä 3+1.



Kuva 2. Pumppaus. Periaatekuva laitoksen pääkiertopumpusta ja vedenjakelusta.

Koko datakeskuksen jäähdytys on kytketty pääasiassa yhteen jakeluverkostoon kuvan 2. mukaisesti, lukuun ottamatta joitain omatoimisia jäähdyttimiä kuten robotti-huoneen vakioilmastointikonetta. Jäähdytyksen jakeluverkostoa palvelee kaksi pääkiertopumpua, joista toinen vuorollaan kierrättää verkoston vettä toisen ollessa varalla. Pääkiertopumput ovat taajuusmuuttaja-ohjattuja. Jakelun pumppuihin luetaan myös ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton jakelupumput.

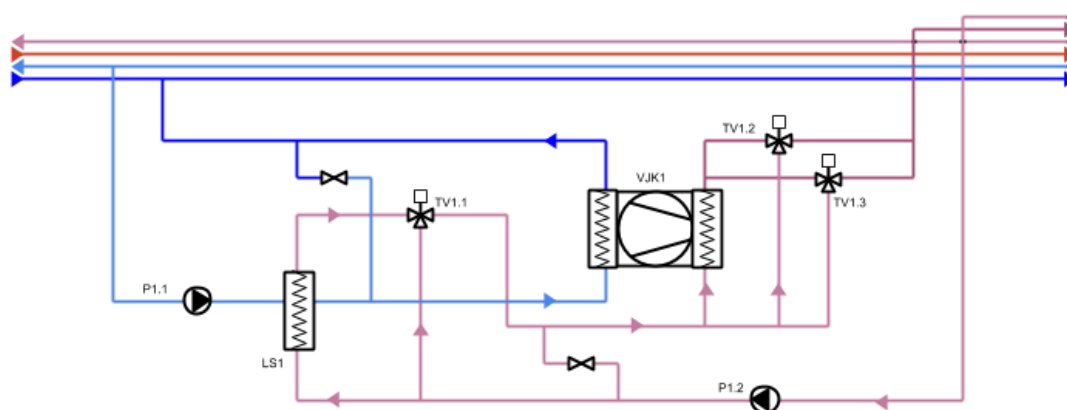


Kuva 3. Periaatekuva vedenjäähdyttimien laitteista ja kytkennästä eri piireihin.

Datakeskuksen kylmälaitos koostuu kolmesta Carrier 30HXC345 kompressorivedenjäähdyttimestä sekä yhdestä uudemmasta Carrier 30XW1162P kompressorivedenjäähdyttimestä. 30HXC-sarjan koneissa (VJK:t 1, 2 ja 4) on neljä ja uudemmassa 30XW-sarjan koneessa (VJK3) on kaksi ruuvikompressoria, joiden käyntiä koneen oma logiikka ohjaa jäähdytyskuorman mukaan. Kaikissa kohteen vedenjäähdyttimis-

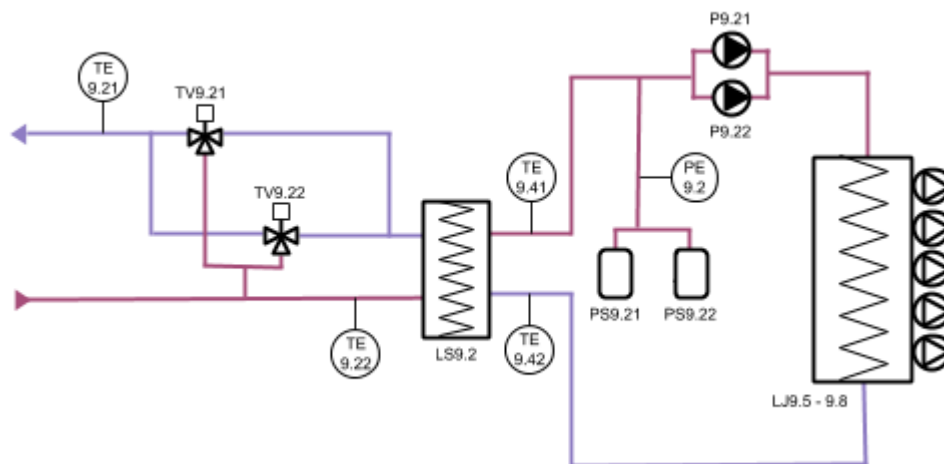
sä on kylmäaineena R134A. (Carrier Oy:n www-sivut 2014). Vedenjäähdyttimet sijaitsevat jäähdytysverkostossa kuten kuvassa 3.

Kylmäntuotannon pumppuihin luetaan kaikki vedenjäähdyttimiä palvelevat pumput ja molempien lauhduspiirien pumput. Kuten kuvissa 3. ja 4. nähdään, kutakin vedenjäähdytintä palvelee jäähdytysvesi- ja lauhdusliuospumppu eli höyrystymis- ja lauhduspuolen pumppu.



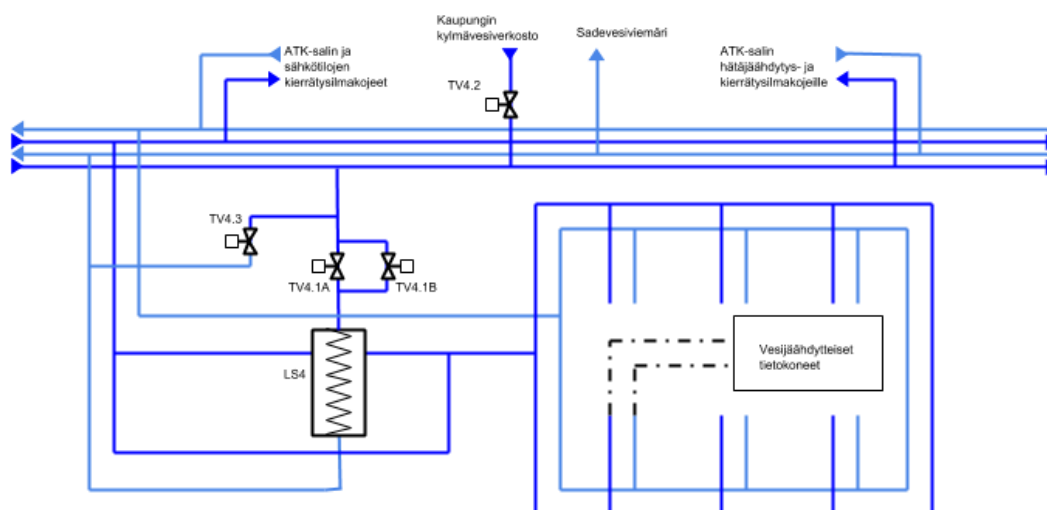
Kuva 4. Periaatekuva VJK1:n toimilaitteista ja kytkennästä jäähdytysvesiverkostoon.

Kaikki tuotantopuolen pumput ovat vakionopeuspumppuja. Vakionopeuspumppuja voidaan käyttää tuotantopuolella, koska kuormat pysyvät melko muuttumattomina läpi vuoden ja eri vedenjäähdyttimien käydessä vuorollaan pumput saavat ajaa aina vakionopeutta. Tuotannon pumppujen ohjaus menee vedenjäähdyttimien käynnin mukaan. Käyntiluvan omaavat vedenjäähdytinkokonaisuudet ovat vuorollaan käynnissä vedenjäähdyttimien ja pumppuineen kuvan 4. osoittamalla tavalla. Käynnissä olevien VJK-kokonaisuuksien määrä vaihtelee vuorottelun ja vedenjäähdyttimien yhdistelmän mukaan. Koska laitokseen kuuluu erimallisia vedenjäähdyttimiä, joista osa ajaa eri asetusarvoja, voi käynnissä olevien VJK-kokonaisuuksien määrä vaihdella yleensä 2-3 VJK:n välillä. Lisäksi vedenjäähdyttimien käynnissä olevien ruuvi-kompressoreiden määrä vaihtelee kuorman mukaan.



Kuva 5. Lauhdutus. Periaatekuva yhden lauhdutuspiirin kytkennästä.

Jäähdytysverkoston lämpöenergia lauhdutetaan ulkona sijaitsevalle lauhdutuskentälle, jossa on kahdeksan lauhdutinyksikköä eli nestejäähdytintä. Nestejäähdyttimet on kytketty kahteen neljän yksikön piiriin kuvan 5. mukaisesti. Molemmissa lauhdutinyksikeissä on omat lämmönsiirtimensä ja kahdennetut pumppunsa, joista vain toinen pumppu on vuorollaan käynnissä kummassakin piirissä. Koko lauhdutuskentän kapasiteetti on noin viisi megawattia. Nestejäähdyttimet LJ9.1-9.8 ovat Ekocoil Oy:n ECV08G-16-9A-2-80-2x75 nestejäähdyttimiä. Yhdessä nestejäähdyttimessä on 18 EBM-papst W6D800-6D01-22 aksiaalipuhallinta. Lauhdutus on ainoita prosessin osa-alueita johon ulkoiset olosuhteet vaikuttavat. Ulkoilman lämpötila vaikuttaa suoraan lauhdutukseen. Talvella lauhdutus kentän kuormitus on kevyempää, kun taas kesällä lauhduttimien toimintaa voidaan joutua tehostamaan kostutuksella.



Kuva 6. Häätäjäähdytys. Periaatekuva häätäjäähdytyksen toiminnasta ja kytkennästä.

Hätäjäähdytysvesi tulee kohteessa kaupungin kylmävesiverkostosta ja se johdetaan prosessikäytön jälkeen sadevesiviemäriin. Hätäjäähdytyksen piiriin on kytketty, ATK-salien ja sähkötilojen jäähdytyslaitteita sekä vesijäähdytteisiä tietokoneita, kuvan 6. mukaisesti. Mikäli jäähdytysvesiverkostossa tapahtuu jotain, minkä takia jäähdytys katkeaa, voidaan laitteistoa käyttää hetkellisesti hätäjäähdytyksellä. Hätäjäähdytys on kuitenkin vain hetkellinen ratkaisu, joka tarjoaa lisäaikaa kylmälaitoksen uudelleenkäynnistykseen. Laitoksen hätäjäähdytyslaitteisto on juuri käytön poikkeuksellisuutensa takia jätetty tämän työn ulkopuolelle.

6 ATK-KONESALIT

ATK-konesalien palvelimet vievät suurimman osan koko datakeskuksen jäähdytystehosta. Palvelinten kuluttamasta sähköstä 100 % muuttuu prosessissa lämmöksi, joka kuormittaa konesaleja. Myös valaistus ja muut huonetilojen sähkölaitteet kuormittavat saleja. Konesaleihin ei tule juuri lainkaan ulkoisia kuormia henkilöistä, ulkoilmasta tai muista tiloista.

Konesalien jäähdytyskuormat on määritetty Mika Räsäsen muistiossa (2013). Jäähdytystehot on laskettu patterivesivirtojen perusteella. Tehot ovat niin sanottuja patteritehoja eli ne sisältävät puhaltimien ja pumppujen aiheuttamat kuormat. Tehojen määrittämisessä on käytetty tapauskohtaisesti eri lämpötilaeroja, kuitenkin siten, että laskennassa käytetty ero on pienempi kuin laitoksen yleinen lämpötilaero. Nykyisellään konesalien vesivirtojen osuus $96,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ on noin 88 % koko laitoksen vesivirrasta laitoksen vesivirran ollessa $110 \text{ dm}^3/\text{s}$. Vesivirrat ja tehot muuttuvat hieman, kun 2. kerroksen uusi konesali valmistuu.

6.1 M210 ATK-sali

ATK-salin M210 tehoksi on saatu noin 870 kilowattia, yhteisvirtaamalla $38 \text{ dm}^3/\text{s}$, mikä on 34,5 % laitoksen kokonaisvesivirrasta. Näitä teholaskentoja varten on mitat-

tu kiertoilmakoneiden 132 KSF 1 – 6 vesivirrat sekä salissa olevat vakioilmastointikoneet 132 KSF 7 – 9.

6.2 M240 ATK-sali

ATK-salin M240 tehoksi on saatu noin 390 kilowattia yhteisvirtaamalla $17 \text{ dm}^3/\text{s}$, mikä on 15,5 % laitoksen kokonaisvesivirrasta. Näitä teholaskentoja varten on mitattu kiertoilmakoneiden 134 KSF 1 – 4 vesivirrat.

6.3 M270 ATK-sali

ATK-salin M270 tehoksi on saatu noin 580 kilowattia, yhteisvirtaamalla $23 \text{ dm}^3/\text{s}$, mikä on 21 % laitoksen kokonaisvesivirrasta. Tästä tehosta kuitenkin puuttuu salin vesiräkkien aiheuttama kuorma. Näitä teholaskentoja varten on mitattu kiertoilmakoneiden 134 KSF 5 – 8 vesivirrat.

6.4 ATK-sali 2. kerros

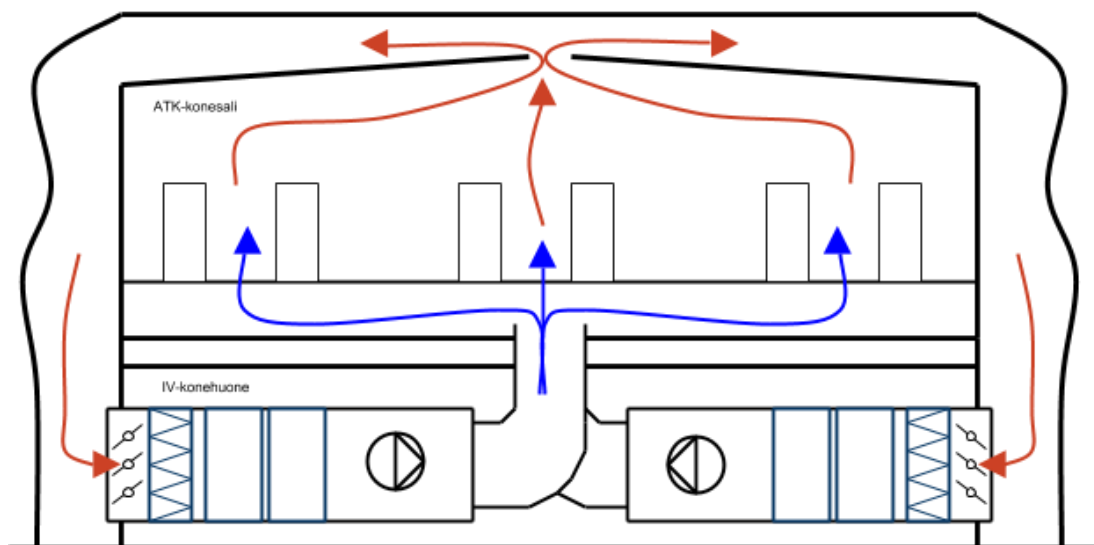
Toisen kerroksen ATK-salin tehoksi on saatu noin 310 kilowattia, yhteisvirtaamalla $18,8 \text{ dm}^3/\text{s}$, mikä on 17 % laitoksen kokonaisvesivirrasta. Näitä teholaskentoja varten on mitattu lämmönsiirtimien 136 LS 1. ja 2. vesivirrat.

6.5 Uusi konesali 2. kerros

Uuden 2. kerroksen ATK-konesalin jäähdytys tapahtuu rivijäähdyttimien välityksellä. Salin jäähdytystä ja varsinkin kosteuden hallintaa voidaan tarvittaessa tehostaa vakioilmastointikonejäähdytyksellä.

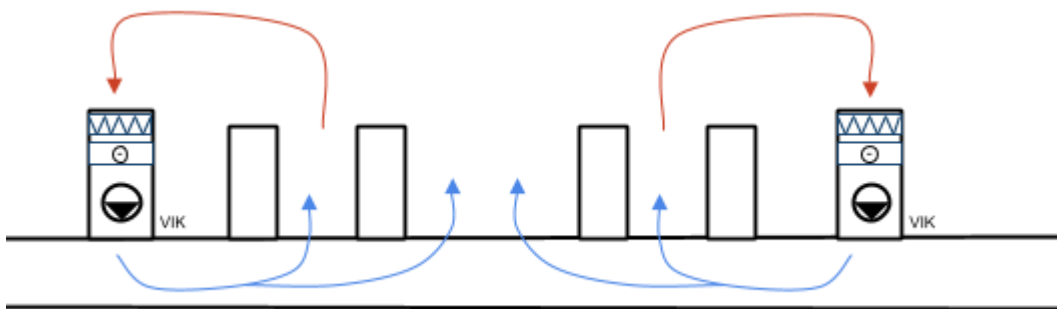
7 KONESALIEN JÄÄHDYTYYS

Konesalien M210, M240 ja M270 jäähdytys on toteutettu ilmastoinnin kautta. Kuvassa 7. on havainnollistettu keskitetyllä ilmastoinnilla toteutettu jäähdytys. Se toimii siten, että luolassa sijaitsevien konesalien katossa olevan aukon kautta imetään lämmintä jäteilmaa pois joka siirretään luolan seinämien ja konesalin seinän välissä olevaa välitilaa pitkin alas ilmastointikoneille. Ilmastointikoneet jähdyttävät ja tarvittaessa kuivaavat tai kosteuttavat ilmaa, jonka jälkeen jähdytetty ilma puhalletaan takaisin saliin. Salissa ilma jaetaan asennuslattian alla, johon asennettavilla ritilöillä saadaan tuotua ilma haluttuihin paikkoihin. Kutakin ilmajähdytteistä salia palvelee useampi ilmastointikone. Ilmastointikoneissa on suoraikäyttöiset kammio puhaltimet. Ilmastoinnilla hallitaan tilojen lämpötilan lisäksi myös kosteusolosuhteita.



Kuva 7. Periaatekuva luolakonesalin jäähdytyksestä ilmastoinnilla.

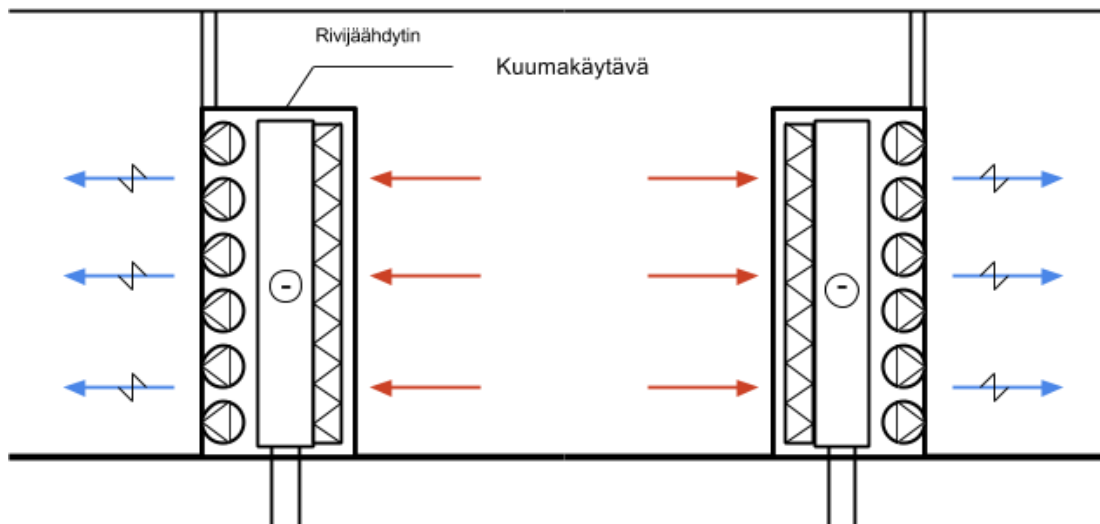
Kosteusolosuhteiden hallinta on konesalijäähdytyksessä tärkeää. Ilman liian suuri vesipitoisuus saattaa aiheuttaa kondenssia ja palvelinlaitteiden toimintahäiriöitä. Tilloissa, joissa on rivijäähdyttimiä, jäähdytyspatterit saattavat kondensoida hallitsemattomasti mikäli huoneilma sisältää liian suuren vesimäärän. Veden kondensointi puolestaan aiheuttaa laitteiden hapettumista. Liian kuiva sisäilma puolestaan saattaa aiheuttaa sähköstaattisia purkauksia, joissa jo pienetkin varaukset riittävät vaurioittamaan sähkölaitteita, kuten palvelimia.



Kuva 8. Periaatekuva vakioilmastointikoneiden käytöstä konesalin jäähdytyksessä.

Suurempien ilmastointikoneiden lisäksi konesalia M210 ja 2. kerroksen konesalia jäähdytetään pienemmillä vakioilmastointikoneilla. Salissa lämmintä ilmaa imetään ympäröivästä konesalista ja jäähdytettyä ilmaa siirretään asennuslattian alla konesaliin haluttuihin paikkoihin asennuslattian ritilöiden kautta kuten kuvassa 8. VIK-jäähdytyksessä voidaan huoneilman suoran kierrätyksen lisäksi myös jäähdyttää kylmä- tai kuumakäytävämenetelmällä, jolloin konesalien korotetun asennuslattian alla siirretään ilmaa konesalista vakioilmastointikoneeseen ja sen kautta jäähdytettyinä takaisin konesaliin kylmä- tai kuumakäytävälle.

Konesalien uudempaa jäähdytystekniikkaa edustavat rivijäähdyttimet, jotka ovat suoraan palvelinkaappeihin asennettuja puhallinpattereita. Yhdessä rivijäähdyttimessä on yleensä noin 5-6 puhallinta, jotka siirtävät ilmavirtaa rivijäähdyttimessä olevan jäähdytyspatterin läpi. Jokainen laitoksen rivijäähdytin on kytketty erikseen jäähdytysverkostoon ja niiden vesivirtoja sekä puhallintehoa voidaan ohjata yksiköittäin kuorman mukaan.



Kuva 9. Periaatekuva kuumakäytävämenetelmästä rivijäähdyttimillä.

Rivijäähdyttimillä jäähdyttäessä ei jäähdytetä koko konesalia vaan yksittäisiä räkki-rivejä kuumakäytävämenetelmää hyödyntäen kuten kuvassa 9. Kuumakäytävämene-
telmällä vastakkaiset palvelinkaappirivit muodostavat konesalin sisällä omia suljettu-
ja käytäviä. Huonelämpötila käytävien sisällä nousee palvelinten aiheuttaman
kuormituksen vuoksi. Rivijäähdyttimien jäähdytyspattereiden läpi konesalitilaan siir-
retään puhaltimin käytävän kuumaa ilmaa, jäähdyttäen sitä. Samalla imetään vii-
leämpää ilmaa palvelinkaappien läpi palvelinkäytävään, jolloin palvelinkäytävän ja
palvelinten lämpötila pysyy hallinnassa.

8 TUKITOIMINNOT

Pienempiä pääprosessia tukevia tiloja, kuten UPS-tiloja ja robottihuonetta, jäähdyte-
tään pääasiassa vakioilmastointikoneilla eli kaappikoneilla. Vakioilmastointikoneilla
on helppo hallita vakiokuormaisten tilojen sisäilmasto-olosuhteita. Vakioilmastointi-
koneilla saadaan hallittua sekä kosteus- että lämpötilaolosuhteita. Suurin osa data-
keskuksen vakioilmastointikoneista on kytketty samaan jäähdytysverkkoon kuin
muut laitoksen jäähdytyslaitteet. Laitoksessa on myös omavaraisia suorahöyrysteisiä
vakioilmastointikoneita, kuten robottihuoneen kaappikone, jotka tuottavat tilan

kuorman vaatiman jäähdytystehon omilla kompressoreillaan. Joitain tukitoimintojen tiloja, kuten muuntamoita ja sähkökeskuksia, jäähdytetään myös puhallinpattereilla. Puhallinpatterin toiminta on yksinkertainen. Puhallinpatteri imee lämmintä huoneilmaa lävitseen jäähdyttäen sen, jonka jälkeen se puhaltaa jäähdytetyn ilman takaisin tilaan.

Tukitoimintojen jäähdytyksen osuus laitoksen kokonaisvesivirrasta on noin 13,2 dm³/s eli noin 12 %. Tukitoimintojen osuutta ei ole erikseen mitattu, vaan tulos on tässä työssä määritelty Räsänen muistiossa (2013) esitetyn kokonaisvesivirran ja saaleihin osuuksien erotuksesta jäävästä osuudesta. Tukitoimintojen teho edellä mainitulla virtaamalla on noin 333 kW, kun lämpötilaero ΔT on 6 K.

9 MITTAUKSET

Kaikki virtamittaukset suoritettiin kytkentöjen lähtöpäästä kytkentätiloissa, jolloin mukaan saatiin kaikki mahdolliset häviöt, kuten kaapelihäviöt. Mittaukset suoritettiin kenttäolosuhteissa kullakin mittaushetkellä vallinneilla olosuhteilla.

Yleisten mittausten lisäksi suoritettiin erilliset mittaukset vedenjäähdyttimille, joissa ajettiin manuaalisesti vain tiettyjä vedenjäähdyttimiä kerrallaan. Nämä testiajot suoritettiin samana päivänä peräkkäin, jotta mittaustilanne olisi pienistäkin muuttujistaan huolimatta mahdollisimman samankaltainen kussakin mittauksessa. Näillä testiajoilla saatiin teoreettisten sähköarvojen lisäksi kenttäolosuhteissa mitattua konkreettista dataa. Kenttämittauksen tuloksilla voidaan vertailla vanhojen ja uuden kompressorivedenjäähdyttimien sähkönkulutuksia ajotilanteessa.

9.1 Mittalaitteet

Mittalaitteena käytettiin pääasiassa ABB:n Fluke 365 True RMS clamp master mittaria, sarja nro. 16220021, jonka pihtivirtamittarilla mitattiin jokaisen vaiheen virta-

arvot erikseen. Mittarilla voidaan mitata virta 200 ampeeriin asti. Mittarin tarkkuus mitta-alueella on $2\% \pm 5$ yksikköä (Fluke:n www-sivut 2014).

Täydennysmittauksia tehtiin Satakunnan Ammattikorkeakoulun Fluke 376 true RMS clamp master mittarilla, sarja nro. 15240012. Fluke 376 on samankaltainen pihtivirtamittari kuin 365-malli, mutta se on suuremmille virta-arvoille. Sen suurempi koko ja iFlex-ominaisuus mahdollistavat suurempien kaapeleiden mittaamisen. Mittarilla voidaan mitata virta 1000 ampeeriin asti. Mittarin tarkkuus mitta-alueella on $2\% \pm 5$ yksikköä (Fluke:n www-sivut 2014).

Virta-arvot kompressorivedenjäähdyttimille kolme ja neljä luettiin kytkentäkaapeissa olevista kiinteistä Carlo Gavazzi energy analyzer EM26-96-mittareista.

9.2 Virhearviointi ja tulosten luotettavuus

Mitta-alueiden takia mittariksi valittiin Fluken pihtivirtamittarit, koska niiden mitta-alue sekä fyysinen koko mahdollistivat suurempienkin vaiheiden mittauksen. Mittareiden epätarkkuus oli noin 2 % mittaustuloksesta, mikä on mitattavan suureen ja virran heilunnan takia riittävä tarkkuus. Mittareiden tarkkuus ei kuitenkaan riittänyt kaikkiin rivijäähdyttimien puhaltimien mittauksiin. Niiden virrat pystyttiin mittaamaan, mutta mittarin antamat lukemat olivat niin pieniä, ettei niitä voitu pitää luotettavina. Tällöin laskuissa on mittaustulosten sijaan käytetty valmistajan antamia nimellisarvoja. Mittausolosuhteet pysyivät sisätiloissa vakioina, joten kosteuden tai lämpötilan muutoksilla ei ole mittarin tarkkuuteen vaikutusta.

Mittaustuloksina virtamittauksissa on virran heilunnan takia aina käytetty virran vaihtelualueen keskiarvoa, jos esimerkiksi virtamittarin lukema on heilunut alueella 24-26 ampeeria, on tulokseksi merkattu 25 ampeeria. Tulosten hajontaa on tarkasteltu mittaamalla joitain laitteita useaan kertaan.

10 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI

Tulokset on esitetty tuotannon ja jakelun osalta laitteittain ja ATK-salien jäähdytyksen osalta saleittain. Mittaustulokset on kerätty ja lueteltu taulukoittain, joissa ne on esitetty ampeereina, kuten ne on mittauspöytäkirjoihin merkitty. Tukitoimintojen jäähdytyslaitteiden mittaustuloksia ei ole hajanaisuutensa vuoksi erikseen käsitelty tässä kappaleessa, vaan ne löytyvät liitteinä mittauspöytäkirjoista ja teholaskenta taulukoista.

10.1 Kylmäntuotanto

Vedenjäähdyttimien virta-mittaukset tehtiin niin sanotussa normaalitilanteessa, jossa kolme vedenjäähdytintä kerrallaan on käynnissä. Vedenjäähdyttimien kuormitus vaihtelee hieman laitteittain, kullakin vedenjäähdyttimellä ajettavan veden lämpötilan asetusarvon mukaan. Esimerkiksi VJK3 ajaa noin asteen kylmempää vettä kuin VJK1 ja VJK2. Identtiset vedenjäähdyttimet VJK1, VJK2 ja VJK4 ottavat kaikki noin 100 A ja uudempi vedenjäähdytin VJK3 noin 280 A virtaa. Vedenjäähdyttimien virta-arvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Vedenjäähdyttimien mittaustulokset

VJK1-A	Mitattu virta [A]		VJK2-A	Mitattu virta [A]		VJK3-A	Mitattu virta [A]		VJK4-A	Mitattu virta [A]	
L1	49,8	49,9	L1	48,0	48,8	L1	140,6		L1	94,3	
L2	49,4	49,5	L2	50,3	50,4	L2	144,0		L2	94,5	
L3	51,3	52,2	L3	48,8	51,0	L3	150,0		L3	97,3	
VJK1-B	Mitattu virta [A]		VJK2-B	Mitattu virta [A]		VJK3-B	Mitattu virta [A]		VJK4-B	Mitattu virta [A]	
L1	42,4	43,0	L1	49,1	47,2	L1	138,3		L1	47,6	47,8
L2	42,1	42,3	L2	49,4	47,0	L2	140,2		L2	47,9	48,2
L3	43,6	44,2	L3	52,1	46,4	L3	146,9		L3	49,3	49,4

Identtisten vedenjäähdyttimien ottamien virtojen lisäksi myös niiden pumput ottavat tasaisesti virtaa, kuten voidaan havaita taulukosta 2. Vedenjäähdyttimien VJK1 ja VJK2 höyrystinpuolen pumput ottavat noin 12 A virtaa, kun vedenjäähdyttimien VJK3 ja VJK4 pumput ottavat puolestaan noin 10 A enemmän eli noin 22 A. Myös lauhdepuolen pumpuissa jäähdyttimien VJK1 ja VJK2 pumput ottavat tasaisesti noin 30 A virtaa. VJK4:n virranotto on hieman yli 30 ampeeria. VJK3:n lauhdepuolen pumppu ottaa noin 22 A virtaa eli virranotossa on havaittavissa päinvastainen ilmiö

kuin höyrystinpuolen pumpussa, jossa VJK3:n pumppu otti noin 10 A enemmän kuin VJK1:n tai VJK2:n pumput.

Taulukko 2. Vedenjäähdyttimien pumppujen mittaustulokset.

Laite	Laite Pos.	Virta [A]		
		L1	L2	L3
Jäähdytysvesipumppu	131 P1.1	11,9	12,3	12,3
Lauhdutusliuospumppu	131 P1.2	31,5	30,7	32,1
Jäähdytysvesipumppu	131 P2.1	11,4	12,9	12,3
Lauhdutusliuospumppu	131 P2.2	29,2	28,2	30,0
Laite	Laite Pos.	Virta [A]		
		L1	L2	L3
Jäähdytysvesipumppu	131 P3.11	20,8	22,4	22,9
Lauhdutusliuospumppu	131 P3.21	21,6	23,6	22,5
Jäähdytysvesipumppu	131 P4.11	22,4	22,3	23,5
Lauhdutusliuospumppu	131 P4.21	34,6	31,1	33,7

Lauhdutusverkoston pumput ovat Kolmeks Oy:n AL-1202/4 mallin vakionopeuspumppuja. Niiden nimellisteho on 30 kilowattia, nimellisvirta 55,2 ampeeria ja nimellisjännite 400 voltia. Lauhdutuspiireissä oli mittaustilanteessa käytössä pumput P9.12 ja P9.22. Pumput ajavat tasaista kuormaa, joka näkyy myös mittaustulosten tasaisuudessa taulukossa 3.

Taulukko 3. Lauhdutuspiirien pumppujen mittaustulokset.

Laite	Laite Pos.	Virta [A]		
		L1	L2	L3
Pumppu	131 P9.12	46,2	47,3	48,1
Pumppu	131 P9.22	46,4	45,3	46,8

Lauhdutuspiirien pumppujen lisäksi lauhdutuksen tehontarpeeseen kuuluu nestejäähdyttimien puhaltimien ottoteho. Lauhdutuskentällä on kahdeksan nestejäähdytintä, joissa jokaisessa on 18 puhallinta eli lauhdutuskentällä on yhteensä 144 puhallinta. Puhaltimet ovat taajuusmuuttaja ohjattuja. Lauhdutuskenttä on jaettu kahteen piiriin.

Ykköspiirin puhaltimet käyvät hieman pienemmällä käyntiprosentilla kuin kakkospiirin puhaltimet. Tämä ei kuitenkaan näy suoraan mittaustuloksissa, mikä johtuu luultavasti taajuusmuuttajan vaikutuksesta puhaltimien virranottoon. Kuten taulukosta 4 voidaan havaita, nestejäähdyttimien virranotto on melko tasaista toisiinsa verrattuna lukuun ottamatta kahta poikkeusta. Lauhdutusyksikkö 131LJ9.1 ottaa vain 40 A virtaa, kun lauhdutusyksiköiden keskiarvo mittaustilanteessa oli n. 50 A. LJ9.1:n pienempään virranottoon voi vaikuttaa taajuusmuuttajakäyttö. Lauhdutusyksikkö 131LJ9.8:n virta-arvot ovat n. 20 ampeeria suuremmat kuin muiden lauhdutusyksiköiden. Tämä voi johtua siitä, että LJ9.8:n taajuusmuuttaja oli mittaustilanteessa ohitettuna. Nestejäähdytinten ottotehoon vaikuttaa myös ulkolämpötila. Ulkolämpötila oli mittaustilanteessa 29,3 °C kohteen oman lämpötila-anturin mukaan ja 29,0 °C ilmatieteen laitoksen mittauspisteen mukaan. Suhteellisen korkean ulkoilman lämpötilan vuoksi puhaltimet joutuivat kovalle kuormitukselle, minkä vuoksi myös virran kulutus oli korkea.

Taulukko 4. Lauhdutusyksiköiden mittaustulokset.

Ulkolämpötila:		TE10.3	29,3	
		Ilmatieteenl.	29,0	
Laite Pos.	Pos.	Mitattu virta [A]		
		L1	L2	L3
131LJ9.1	KJK 026	40,2	40,7	44,7
131LJ9.2	KJK 026	51,1	51,2	55,5
131LJ9.3	KJK 026	51,9	51,5	56,7
131LJ9.4	KJK 026	50,4	51,3	55,2
131LJ9.5	KJK 026	50,7	51,0	54,7
131LJ9.6	KJK 026	50,8	51,8	55,8
131LJ9.7	KJK 026	50,5	51,2	55,8
131LJ9.8	KJK 025	68,1	69,5	67,1

10.2 Jakelu

Jäähdytysverkoston pääkiertopumput 131 P 3.1 ja 3.2 ovat taajuusmuuttaja-ohjattuja, mikä pudottaa niiden virrankulutusta. Niiden käynti pysyy silti melko vakiona taseisen kuorman vuoksi. Mittaustilanteessa käytössä oli pumppu 131 P 3.1 ja sen käynti oli noin 66 – 67 %. Jakelupumppujen mittaustulokset on esitetty taulukossa 5. Taulukossa esitetty pääkiertopumpun mittaustulos ei kuitenkaan ole luotettava, koska se on liian matala. Pääkiertopumpun todellinen virrankulutus on noin 37 A, mikä on otettu huomioon laskennassa. Pääkiertopumpun virranotto mitattiin eri mittarilla kuin valtaosa työn mittauksista. Tästä syystä virheellinen mittaustulos saattaa johtua mittarin asetuksista.

Taulukko 5. Jakelupumppujen mittaustulokset.

Laite/ Piiri	Laite Pos.	Mitattu virta [A]		
		L1	L2	L3
Pääkiertopumppu/ jäähd.piiri	131 P 3.1	21,1	20,8	21,2
Lauhdutusliuospumppu/ LTL	131 P6	1,4	1,6	1,9
Jäähdytysvesipumppu/ IV	131 P5	3,0	3,0	3,2

10.3 Konesalien ilmastointikoneet

Konesalien ilmastointikoneiden tehontarve koostuu pääosin puhaltimien moottoreiden ottotehosta. Ilmastointikoneiden puhaltimet ovat suorakäyttöisiä kammiopuhaltimia. Ilmastointikoneita on ajan myötä lisätty ja vaihdettu laitoksen ja konesalien muuttuessa. Lisäksi joidenkin puhaltimien moottoreita ja puhaltimia on vaihdettu. Myös kanaviston, konesalin ja IV-koneiden rakenne on kussakin salissa hieman erilainen. Nämä muuttujat osaltaan vaikuttavat pieniin muutoksiin puhaltimien ottovirroissa.

Konesalia M210 palvelee kuusi ilmastointikonetta, joissa on yhteensä kahdeksan puhallinta 132 KSF1 - 6.1, joiden mittausravot ovat taulukossa 6. Lisäksi taulukossa 7. on esitetty konesalissa olevat kolme vakioilmastointikonetta 132 KSF7 - 9, joilla tuetaan keskitettyä ilmastointia.

Taulukko 6. Salin M210 ilmastointikoneiden mittaustulokset.

Laite	Pos.	Mitattu virta [A]		
		L1	L2	L3
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 1	18,7	19,5	19,9
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 2	17,8	18,3	19,5
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 3	15,8	16,1	16,0
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 4	16,2	16,8	17,0
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 5.2	11,9	12,3	12,4
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 5.1	12,0	12,4	12,6
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 6.2	11,7	12,2	12,3
Kierrätysilmapuhallin	132 KSF 6.1	11,7	12,2	12,2

Taulukko 7. Salin M210 vakioilmastointikoneiden mittaustulokset.

Laite	Pos.	Mitattu virta [A]		
		L1	L2	L3
Vakioilmastointikone	132 KSF7	8,9	8,6	8,1
Vakioilmastointikone	132 KSF8	6,8	6,5	6,7
Vakioilmastointikone	132 KSF9	10,2	10,3	10,3

Konesalia M240 palvelee neljä ilmastointikonetta 134KSF1 – 4, joissa on yhteensä viisi puhallinta. Puhaltimien virta-arvot eivät eroa merkittävästi toisistaan. Salia M240 palvelevien puhaltimien virrat ovat kuitenkin hieman pienemmät kuin M210- ja M270-salia palvelevien.

Taulukko 8. Salin M240 ilmastointikoneiden mittaustulokset.

Laite	Pos.	Mitattu virta [A]		
		L1	L2	L3
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 1.1	10,6	10,6	11,2
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 1.2	10,5	10,6	11,1
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 1.3	10,7	10,5	11,2
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 2.1	10,6	10,9	11,2
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 2.2	10,7	11,0	11,4
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 2.3	10,8	11,0	11,1
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 3.1	10,3	10,5	10,8
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 3.2	10,7	10,9	11,3
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 3.3	10,6	10,8	11,0
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF 4.1	12,1	12,3	12,5
Kierrätysilmapuhallin	134KSF 4.2	11,8	11,7	11,9

Konesalia M270 palvelee neljä ilmastointikonetta 134KSF5 – 8, joissa on yhteensä kahdeksan puhallinta. Lisäksi yhtä salissa olevaa palvelinkäytävää jäähdytetään rivijäähdyttimin. Rivijäähdyttimien puhaltimien virranotto oli niin pieni, ettei mittarilla saatu luotettavia mittaustuloksia. Virta-arvoina on laskennassa käytetty valmistajan nimellisarvoja.

Taulukko 9. Salin M270 ilmastointikoneiden mittaustulokset.

Laite	Laite Pos.	Mitattu virta [A]		
		L1	L2	L3
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF5.1	12,0	12,0	12,2
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF5.2	11,9	11,9	12,1
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF6.1	11,8	11,9	12,1
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF6.2	12,2	12,1	12,4
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF7.1	11,9	11,8	12,0
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF7.2	11,8	11,7	11,9
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF8.1	11,2	11,3	11,5
Kierrätysilmapuhallin	134 KSF8.2	11,2	11,2	11,5

11 TEHOJEN LASKENTA

Laskennassa virta-arvoina on käytetty kohteessa mitattuja arvoja. Ainoastaan mittarin tarkkuusalueen ulkopuolella olevat arvot, kuten rivijäähdyttimien puhaltimien arvot, on otettu valmistajalta. Pääjännitteenä laskennassa on käytetty 400 V ja vaihejännitteenä 230 V. Tehokertoimina $\cos\phi$ on käytetty valmistajien antamia nimellisarvoja ja likiarvoja väliltä 0,85 - 0,9. Loistehon kompensointia ei ole otettu laskennassa huomioon.

Jäähdytyslaitteiden pätötehot kolmi- ja yksivaiheisille laitteille laskettiin Auran ja Tonterin kirjan ”Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet” (2005. 202, 243) kaavojen mukaan.

Symmetrisen tähti- tai kolmiokytkennän pätötehon yhtälöksi on johdettu seuraava kaava

$$P = \sqrt{3} \cdot U_M \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

jossa	P	sähköteho, W
	U_M	pääjännite, 400 V
	I	virta, A
	$\cos\varphi$	tehokerroin

Yksivaiheisten laitteiden pätöteho on laskettu kaavalla

$$P = U_v \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

jossa	P	sähköteho, W
	U_v	vaihejännite, 230 V
	I	virta, A
	$\cos\varphi$	tehokerroin

11.1 Mallilaskut

Tässä kappaleessa on esitetty mallilaskuja kaikista eri osa-alueista. Mallilaskujen avulla avataan laskentaprosessia sekä esitetään käytetyt kaavat. Mallilaskuja lukuun ottamatta kaikki laskenta on suoritettu Excel-ohjelmalla ja laskennan tulokset sekä lähtöarvot on esitettyinä taulukoissa seuraavissa osioissa konesaleittain ja osa-alueittain.

Jäähdytysverkoston kolmivaiheisen pääkiertopumpun 131 P 3.1 pätöteho on laskettu kaavalla 1. seuraavasti

$$P = \sqrt{3} \cdot U_M \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 21 \text{ A} \cdot 0,85$$

$$P = 12386,5 \text{ W} \approx 12,6 \text{ kW}$$

Valvomon eli tilan M126 yksivaiheisen kierrätysilmapuhaltimen pätöteho on laskettu kaavalla 2. seuraavasti

$$P = U_v \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$P = 230 \text{ V} \cdot 0,3 \text{ A} \cdot 0,85$$

$$P = 58,7 \text{ W} \approx 0,1 \text{ kW}$$

11.2 Kylmäntuotanto

Kylmäntuotannon laskentaan otettiin mukaan kaikki tuotannon eri osa-alueet, joihin lukeutuu vedenjäähdyttimet, tuotannon pumput ja lauhdutusyksiköt. Kaikkien osuudet on laskettu ja ilmoitettu erikseen ja lisäksi kokonaisuuksina.

Taulukko 10. Vedenjäähdyttimien lähtötiedot ja laskentatulokset.

Laite	Laite Pos.	Pos.	Mitattu virta [A]			ka. [A]	cosφ	Teho [kW]	VJK yht. [kW]
			L1	L2	L3				
Carrier 30HXC345	VJK1	A-piiri	49,8	49,4	51,3	100,7	0,87	60,7	112,5
			49,9	49,5	52,2				
Carrier 30HXC345	VJK1	B-piiri	42,4	42,1	43,6	85,9	0,87	51,8	
			43,0	42,3	44,2				
Carrier 30HXC345	VJK2	A-piiri	48,0	50,3	48,8	99,1	0,87	59,7	118,2
			48,8	50,4	51,0				
Carrier 30HXC345	VJK2	B-piiri	49,1	49,4	52,1	97,1	0,87	58,5	
			47,2	47,0	46,4				
Carrier 30XV1162P	VJK3	A-piiri	140,6	144,0	150,0	144,9	0,88	88,3	174,8
Carrier 30XW1162P	VJK3	B-piiri	138,3	140,2	146,9				
Carrier 30HXC345	VJK4	A-piiri	94,3	94,5	97,3	95,4	0,87	57,5	115,8
Carrier 30HXC345	VJK4	B-piiri	47,6	47,9	49,3				
			47,8	48,2	49,4	96,7	0,87	58,3	

Taulukosta 11, jossa on esitetty lauhdutuksen puhallintehot, voidaan päätellä taajuusmuuttajakäytön vaikutuksesta lauhdutuksen puhaltimien sähkönkulutukseen. 131LJ9.8:n taajuusmuuttaja oli mittaustilanteessa ohitettu, minkä vuoksi sen virta ja tehoarvot ovat luultavasti suuremmat kuin muiden yksiköiden. Ohitetun nestejäähdyttimen yhden puhaltimen virta-arvo on lähes yhtä suuri kuin puhallinvalmistajan ilmoittama nimellinen virta 3,9 A. Valmistajan nimellisvirralla laskettuna koko lauhdutuksen tehontarpeeksi saadaan 330,73 A.

Taulukko 11. Lauhdutuksen lähtötiedot ja lasketut puhallintehot.

Ulkolämpötila:		TE10.3 Ilmatieteenl.			29,3 29,0			
Laitte Pos.	Pos.	Mitattu virta [A]			ka. [A]	cosφ	Teho [W]	Teho [kW]
		L1	L2	L3				
131LJ9.1	KJK 026	40,2	40,7	44,7	41,9	0,85	24655	24,7
131LJ9.2	KJK 026	51,1	51,2	55,5	52,6	0,85	30976	31,0
131LJ9.3	KJK 026	51,9	51,5	56,7	53,4	0,85	31427	31,4
131LJ9.4	KJK 026	50,4	51,3	55,2	52,3	0,85	30799	30,8
131LJ9.5	KJK 026	50,7	51,0	54,7	52,1	0,85	30701	30,7
131LJ9.6	KJK 026	50,8	51,8	55,8	52,8	0,85	31094	31,1
131LJ9.7	KJK 026	50,5	51,2	55,8	52,5	0,85	30917	30,9
131LJ9.8	KJK 025	68,1	69,5	67,1	68,2	0,85	40182	40,2
							Lauhdutuksen puhallinteho yht. [kW]	250,75

11.3 Pumppaus

Pumppaukseen on otettu mukaan kaikki laitoksen pumput sekä tuotannon että jakelun puolelta. Tuotannon pumppuihin on luettu kunkin vedenjäähdyttimen höyrystinja lauhdutinpuolen pumput sekä lauhdutuspiirien pumput. COP-laskelmissa ja tehontarpeen jakaumissa on käytetty vain kunkin testiajotilanteen vedenjäähdyttimen pumppupareja. Laskenta tuotannon pumppuille on suoritettu taulukossa 12.

Taulukko 12. Tuotannon pumppujen mittaus- ja laskentatulokset.

Laite Pos.	Mitattu virta [A]			Laite/ Piiri	ka. [A]	cosφ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
131 P 1.1	11,9	12,3	12,3	Jäähdytysvesipumppu/ VJK1	12,2	0,85	7165	7,2
131 P 1.2	31,5	30,7	32,1	Lauhdutusliuospumppu/ VJK 1	31,4	0,85	18511	18,5
131 P 2.1	11,4	12,9	12,3	Jäähdytysvesipumppu/ VJK 2	12,2	0,85	7185	7,2
131 P 2.2	29,2	28,2	30,0	Lauhdutusliuospumppu/ VJK 2	29,1	0,85	17157	17,2
131 P 3.11	20,8	22,4	22,9	Jäähdytysvesipumppu/ VJK 3	22,0	0,85	12975	13,0
131 P 3.21	21,6	23,6	22,5	Lauhdutusliuospumppu/ VJK 3	22,6	0,85	13289	13,3
131 P 4.11	22,4	22,3	23,5	Jäähdytysvesipumppu/ VJK 4	22,7	0,85	13388	13,4
131 P 4.21	34,6	31,1	33,7	Lauhdutusliuospumppu/ VJK 4	33,1	0,85	19512	19,5
131 P 9.12	46,2	47,3	48,1	Kiertopumppu/ lauhdutuspiiri	47,2	0,85	27796	27,8
131 P 9.22	46,4	45,3	46,8	Kiertopumppu/ lauhdutuspiiri	46,2	0,85	27187	27,2
Tuotannon pumput yhteensä [kW]								164,2

Pääkiertopumpun mittausarvoja ei käytetty laskennassa, mittausaikana tapahtuneen mittavirheen vuoksi. Mitatut virta-arvot olivat 21 ampeerin luokkaa kun todellisuudessa pumpun ottama virta on n. 37 ampeeria, kuten taulukossa 13. on esitetty. Mitastulosten hajonta pääkiertopumpun kohdalla saattoi johtua sen mittauksessa käytetyistä eri virtamittarista ja sen asetuksista mittaustilanteesta.

Taulukko 13. Jakelun pumppujen mittaus- ja laskentatulokset.

Laite/ Piiri	Laite Pos.	Mitattu virta [A]			ka. [A]	cosφ	P [W]	P [kW]
		L1	L2	L3				
Pääkiertopumppu/ jäähd.piiri	131 P 3.1	37	37	37	37,0	0,85	21789	21,8
Lauhdutusliuospumppu/ LTL	131 P6	1,4	1,6	1,9	1,6	0,85	962	1,0
Jäähdytysvesipumppu/ IV	131 P5	3,0	3,0	3,2	3,1	0,85	1806	1,8
Jakelun pumput yhteensä [kW]:							24,6	

11.4 Konesalit

Konesalin M210 jäähdytyslaitteiden kokonaistehontarve muodostuu salia palvelevien ilmastointikoneiden 132 KSF 1-6 ja salissa olevien vakioilmastointikoneiden 132 KSF 7-9 puhallintehoista. Tehontarve salissa on 85,2 kW, josta keskitetyn ilmastoinnin tehontarve on 70,2 kW ja salissa olevien vakioilmastointikoneiden 15,0 kW. Ilmastoinnin osuus salin jäähdytyslaitteiden kokonaistehontarpeesta on 82,4 % ja vakioilmastointikoneiden 17,6 %. Keskitetyn ilmastoinnin koneiden tehontarpeet on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. M210-salin ilmastointikoneiden mittaus- ja laskentatulokset.

Pos.	Mitattu virta [A]			Laite	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
132 KSF 1	18,7	19,5	19,9	Kierrätysilmapuhallin	19,4	0,85	11405,0	11,4
132 KSF 2	17,8	18,3	19,5	Kierrätysilmapuhallin	18,5	0,85	10914,2	10,9
132 KSF 3	15,8	16,1	16,0	Kierrätysilmapuhallin	16,0	0,85	9402,7	9,4
132 KSF 4	16,2	16,8	17,0	Kierrätysilmapuhallin	16,7	0,85	9815,0	9,8
132 KSF 5.2	11,9	12,3	12,4	Kierrätysilmapuhallin	12,2	0,85	7184,5	7,2
132 KSF 5.1	12,0	12,4	12,6	Kierrätysilmapuhallin	12,3	0,85	7263,1	7,3
132 KSF 6.2	11,7	12,2	12,3	Kierrätysilmapuhallin	12,1	0,85	7106,0	7,1
132 KSF 6.1	11,7	12,2	12,2	Kierrätysilmapuhallin	12,0	0,85	7086,4	7,1
Kiertoilmakoneet yhteensä:								70,2

M210 konesalissa olevien vakioilmastointikoneiden mittaus- ja laskentatulokset on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. M210-salin vakioilmastointikoneiden mittaus- ja laskentatulokset.

Laite pos.	Mitatut arvot			Laskennan arvot			Teho [W]	Teho [kW]
	L1	L2	L3	Virta [A]	Pääjännite [V]	cosφ		
132 KSF7	8,9	8,6	8,1	8,5	400,0	0,85	5025	5,0
132 KSF8	6,8	6,5	6,7	6,7	400,0	0,85	3926	3,9
132 KSF9	10,2	10,3	10,3	10,3	400,0	0,85	6046	6,0
Vakioilmastointikoneiden teho yhteensä [kW]:								15,0

Konesalin M240 jäähdytyslaitteiden kokonaistehontarve muodostuu salia palvelevien ilmastointikoneiden 134 KSF 1-4 puhallintehoista. Salin ilmastointikoneiden tehontarve on 71,6 kW. Salin M240 keskitetyn ilmastoinnin tehontarve sekä mittaus- ja laskentatulokset on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. M240-salin mittaus- ja laskentatulokset.

Laite Pos.	Mitattu virta [A]			Laite	ka. [A]	Cos ϕ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
134 KSF 1.1	10,6	10,6	11,2	Kierrätysilmapuhallin	10,8	0,85	6360,1	6,4
134 KSF 1.2	10,5	10,6	11,1	Kierrätysilmapuhallin	10,7	0,85	6320,8	6,3
134 KSF 1.3	10,7	10,5	11,2	Kierrätysilmapuhallin	10,8	0,85	6360,1	6,4
134 KSF 2.1	10,6	10,9	11,2	Kierrätysilmapuhallin	10,9	0,85	6419,0	6,4
134 KSF 2.2	10,7	11,0	11,4	Kierrätysilmapuhallin	11,0	0,85	6497,5	6,5
134 KSF 2.3	10,8	11,0	11,1	Kierrätysilmapuhallin	11,0	0,85	6458,2	6,5
134 KSF 3.1	10,3	10,5	10,8	Kierrätysilmapuhallin	10,5	0,85	6203,1	6,2
134 KSF 3.2	10,7	10,9	11,3	Kierrätysilmapuhallin	11,0	0,85	6458,2	6,5
134 KSF 3.3	10,6	10,8	11,0	Kierrätysilmapuhallin	10,8	0,85	6360,1	6,4
134 KSF 4.1	12,1	12,3	12,5	Kierrätysilmapuhallin	12,3	0,85	7243,4	7,2
134KSF 4.2	11,8	11,7	11,9	Kierrätysilmapuhallin	11,8	0,85	6949,0	6,9
Konesali M240 yhteensä [kW]:								71,6

Konesalin M270 jäähdytyslaitteiden kokonaistehontarve muodostuu salia palvelevien ilmastointikoneiden 134 KSF 5-8 ja salissa olevien rivijäähdyttimien puhaltimien puhallintehoista. Ilmastoinnin osuus salin jäähdytyslaitteiden tehontarpeesta on 55,7 kW eli noin 91 %. Rivijäähdyttimien osuus 5,6 kW on salin kokonaistehontarpeesta noin 9 %. Konesalin jäähdytyslaitteiden tehontarpeet on esitetty laitteittain ja kokonaisuutena taulukossa 17. Rivijäähdyttimien laskentaa ei ole sisällytetty taulukkaan.

Taulukko 17. M270-salin mittaus- ja laskentatulokset.

Laite Pos.	Mitattu virta [A]			Laite	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
134 KSF5.1	12,0	12,0	12,2	Kierrätysilmapuhallin	12,1	0,85	7106,0	7,1
134 KSF5.2	11,9	11,9	12,1	Kierrätysilmapuhallin	12,0	0,85	7047,1	7,0
134 KSF6.1	11,8	11,9	12,1	Kierrätysilmapuhallin	11,9	0,85	7027,5	7,0
134 KSF6.2	12,2	12,1	12,4	Kierrätysilmapuhallin	12,2	0,85	7204,2	7,2
134 KSF7.1	11,9	11,8	12,0	Kierrätysilmapuhallin	11,9	0,85	7007,9	7,0
134 KSF7.2	11,8	11,7	11,9	Kierrätysilmapuhallin	11,8	0,85	6949,0	6,9
134 KSF8.1	11,2	11,3	11,5	Kierrätysilmapuhallin	11,3	0,85	6674,2	6,7
134 KSF8.2	11,2	11,2	11,5	Kierrätysilmapuhallin	11,3	0,85	6654,5	6,7
Konesali M270 yhteensä [kW]:								61,3

11.5 Tukitoiminnot

Tukitoimintojen jäähdytyslaitteiden laskenta on jaettu useampaan taulukkoon keski-jännitekojeistoittain, koska erilaisten ja tyyppisten laitteiden määrä on niin suuri. Jäähdytyslaitteet palvelevat erilaisia tukitoimintoja kuten UPS-tiloja ja muuntamoita. Ennen jokaista taulukkoa on mainittu mitä kaikkia alueita kunkin KJK:n jäähdytyslaitteet palvelevat. Tarkemmat tiedot kullekin laitteelle on ilmoitettu liitteissä olevissa mittauspöytäkirjoissa.

KJK 05:n tukitoimintojen jäähdytyslaitteet palvelevat pohjoisluolaa, eteläluolan laajennusosaa, ajotunnelia, UPS- ja sähkölaitetiloja, savunpoistoa, öljysäiliöhuonetta sekä valvontalaitetilaa. Mittaus- ja laskentatulokset KJK 05:n laitteille on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. KJK 05 tukilaitteiden mittaus- ja laskentatulokset.

Laite Pos.	Mitattu virta [A]			Laite	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
141 PF1	0,5		0,5	Poistoilmapuhallin	0,5	0,85	98	0,1
101 TF1	9,7	9,5	9,9	Tuloilmapuhallin	9,7	0,85	5712	5,7
101 PF1	4	4,6	4,8	Poistoilmapuhallin	4,5	0,85	2630	2,6
101 PF2	0,3	0,4	0,4	Poistoilmapuhallin	0,4	0,85	216	0,2
101 P4	0,4	0,5	0,5	Lämpöjohtopumppu	0,5	0,85	275	0,3
102 TF1	5,4	5,3	5,4	Tuloilmapuhallin	5,4	0,85	3160	3,2
102 PF1	3,3	3,2	3,4	Poistoilmapuhallin	3,3	0,85	1943	1,9
111 PF1	0,7	0,7	0,7	Poistoilmapuhallin	0,7	0,85	412	0,4
104 TF1	4,3	4,2	4,3	Tuloilmapuhallin	4,3	0,85	2513	2,5
104 PF1	2,5	2,4	2,6	Poistoilmapuhallin	2,5	0,85	1472	1,5
102 P3	0,4	0,4	0,4	LTL pumppu	0,4	0,85	236	0,2
133 KSF 16	-	-	-	Kierrätysilmapuhallin				
133 KSF 17	0,5	0,5	0,5	Kierrätysilmapuhallin	0,5	0,85	294	0,3
133 KSF 18	0,6	0,5	0,5	Kierrätysilmapuhallin	0,5	0,85	314	0,3
133 KSF 19	-	-	-	Kierrätysilmapuhallin				
KJK 05 tukilaitteet yhteensä:								19,28

KJK 06:n tukitoimintojen jäähdytyslaitteet palvelevat sähkölaitetiloja. Mittaus- ja laskentatulokset KJK 06:n laitteille on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. KJK 06 tukilaitteiden mittaus- ja laskentatulokset.

Laite Pos.	Mitattu virta [A]			Laite	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
133 KSF13	0,8	0,8	0,8	Kierrätysilmapuhallin	0,8	0,85	471	0,5
P9.1	1,1	1,1	1,1	Jäähdytysliuospumppu	1,1	0,85	648	0,6
133 KSF11	1,5	1,5	1,6	Kierrätysilmapuhallin	1,5	0,85	903	0,9
M142	1	1	1	Kierrätysilmapuhallin	1,0	0,85	589	0,6
KJK 06 tukilaitteet yhteensä:								2,61

KJK 07:n tukitoimintojen jäähdytyslaitteet palvelevat UPS-laitetiloja, ja KJK 09:n laitteet palvelevat sähkölaitetiloja. Mittaus- ja laskentatulokset KJK 07:n ja 09:n laitteille on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. KJK 07 ja KJK 09 tukilaitteiden mittaus- ja laskentatulokset

Laite Pos.	Mitattu virta [A]			Laite	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
KSF 133.2	3,7	3,5	3,5	Vakioilmastointikone	3,6	0,85	2100	2,1
KSF 133.4	4,6	4,8	5,1	Vakioilmastointikone	4,8	0,85	2846	2,8
KSF 133.5	4,5	4,8	5,0	Vakioilmastointikone	4,8	0,85	2807	2,8
133 KSF 3	1,5	1,5	1,6	Kiertoilmakoje	1,5	0,85	903	0,9
133 KSF 7	1,5	1,5	1,6	Kiertoilmakoje	1,5	0,85	903	0,9
KJK 07 ja 09 tukilaitteet yhteensä:								9,56

KJK 10:n tukitoimintojen jäähdytyslaitteet palvelevat sähkölaitetiloja sekä valvomoa, ja KJK 15:n laitteet palvelevat varmuusarkistoa. Mittaus- ja laskentatulokset KJK 10:n ja 15:n laitteille on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. KJK 10 ja KJK 15 tukilaitteiden mittaus ja laskentatulokset.

Laite Pos.	Mitattu virta [A]			Laite	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
105 KSK01	7,8	7,9	8,8	Kierrätysilmapuhallin	8,2	0,85	4809,3	4,8
105 P4	0,1			Lämpöjohtopumppu	0,1	0,85	19,6	0,0
105 PF1	2,5	2,7	2,7	Poistoilmapuhallin	2,6	0,85	1550,8	1,6
105 TF1	4,8	4,9	5,0	Tuloilmapuhallin	4,9	0,85	2885,6	2,9
133 KSF 06	1,5	1,4	1,6	Kierrätysilmapuhallin	1,5	0,85	883,3	0,9
133 KSF 14	0,4	0,4	0,4	Kierrätysilmapuhallin	0,4	0,85	235,6	0,2
133 KSF 15	0,3			Kierrätysilmapuhallin	0,3	0,85	58,7	0,1
KJK 10 ja KJK 15 tukilaitteet yhteensä:								10,44

KJK 020:n tukitoimintojen jäähdytyslaitteet palvelevat UPS-laitetiloja, sekä eteläluolaa. Mittaus- ja laskentatulokset KJK 020:n laitteille on esitetty taulukossa 22.

Taulukko 22. KJK 020 tukilaitteiden mittaus- ja laskentatulokset.

Laitte Pos.	Mitattu virta [A]			Laitte	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
135 KSF1	-	-	-	Kierrätysilmapuhallin				
135 KSF2	5,1	5,0	5,2	Kierrätysilmapuhallin	5,1	0,85	3003,4	3,00
135 KSF3	-	-	-	Kierrätysilmapuhallin				
135 KSF4	5,3	5,2	5,4	Kierrätysilmapuhallin	5,3	0,85	3121,2	3,12
135 KSF5	1,5	1,5	1,6	Kierrätysilmapuhallin	1,5	0,85	903,0	0,90
135 KSF6	6,1	6,3	6,7	Kierrätysilmapuhallin	6,4	0,85	3749,3	3,75
103 P4	0,2	0,2	0,2	Lämpöjohtopumppu	0,2	0,85	117,8	0,12
103 TF1	8,6	8,8	9,1	Tuloilmapuhallin	8,8	0,85	5201,9	5,20
103 PF1	5,4	5,3	5,7	Poistoilmapuhallin	5,5	0,85	3219,3	3,22
KJK 020 tukilaitteet yhteensä:								19,32

KJK 023:n tukitoimintojen jäähdytyslaitteet palvelevat UPS-laitetiloja. Mittaus- ja laskentatulokset KJK 023:n laitteille on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. KJK 023 tukilaitteiden mittaus- ja laskentatulokset.

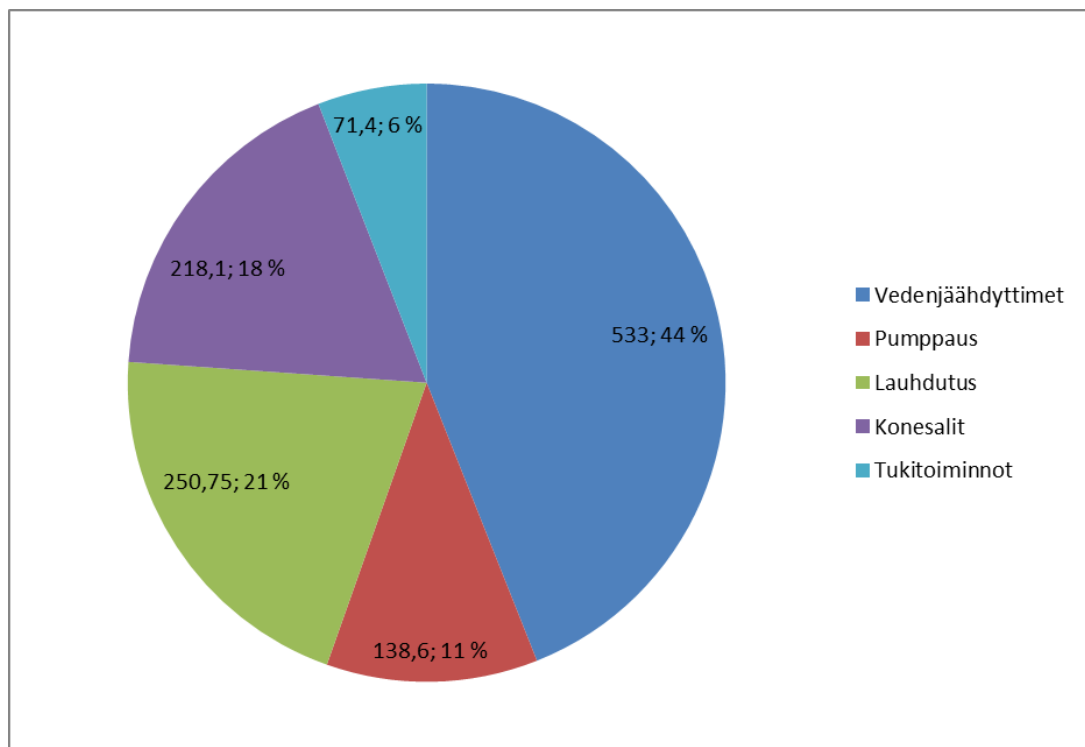
Laitte Pos.	Mitattu virta [A]			Laitte	ka. [A]	Cos φ	P [W]	P [kW]
	L1	L2	L3					
135 KSF7	0,3	0,4	0,2	Kierrätysilmapuhallin	0,3	0,85	176,7	0,18
135 KSF8	8,4	8,6	8,2	Kierrätysilmapuhallin	8,4	0,85	4946,7	4,95
135 KSF9	0,3	0,3	0,1	Kierrätysilmapuhallin	0,2	0,85	137,4	0,14
135 KSF10	8,5	8,6	8,2	Kierrätysilmapuhallin	8,4	0,85	4966,4	4,97
KJK 023 tukilaitteet yhteensä:								10,23

11.6 Kokonaisuus, osuudet ja analysointi

Tulosten analysointi suoritetaan epäsuotuisimman tilanteen kautta eli kappaleen tehot ja prosenttiluvut on laskettu testiajotilanteen 1. Testiajotilanteessa 1. oli käytössä kaksi vanhemman mallin kompressorivedenjäähdytintä sekä niiden höyrystin- ja lauhdutinpuolen pumput.

Datakeskuksen kokonaistehontarpeesta merkittävimmän osuuden vievät vedenjäähdytyskoneet ja lauhdutus. Näiden kahden osuus koko laitoksen tehontarpeesta on yli

puolet. Testiajotilanteessa 1. vanhojen 30HXC vedenjäähdyttimien osuus 533 kW on laitoksen kokonaistehontarpeesta 44,0 %, ja lauhdutuksen osuus 250,75 kW on 20,7 %. Lauhdutuksen osuus kuitenkin vaihtelee ulkoilman lämpötilan mukaan, mikä edelleen vaikuttaa koko laitoksen hyötysuhteen suuruuteen. Koko datakeskuksen pumppauslaitteiston tehontarve on noin 138,6 kW eli noin 11,4 % kokonaistehontarpeesta. Konesalien yhteenlaskettu osuus kokonaistehontarpeesta on 18 % eli 218,1 kW. Tukitoimintojen osuus datakeskuksen kokonaistehontarpeesta on yhteensä 71,4 kW eli noin 5,9 %.



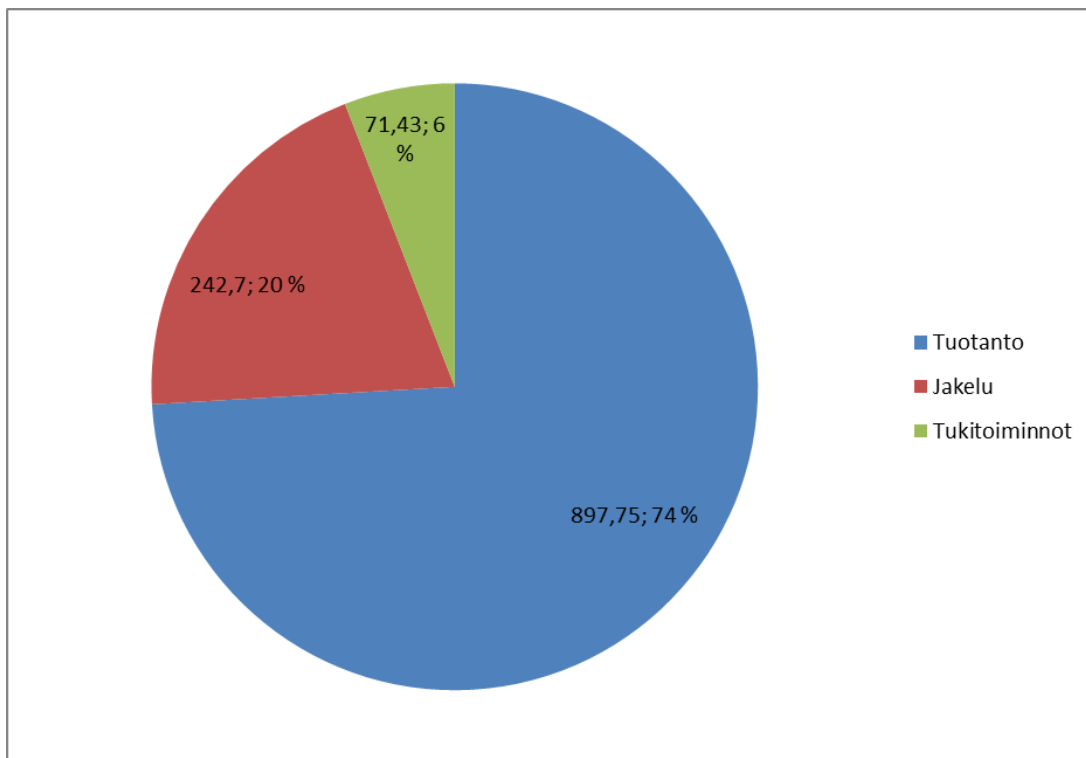
Kuva 10. Jäähdytysjärjestelmän tehontarpeen jakauma testiajotilanteessa 1. kilowatteina ja prosentteina.

Laskentojen perusteella tehdyn kuvan 11. avulla nähdään, että kaikkein suurin osuus datakeskuksen kokonaistehontarpeesta on kylmätuotannon laitteistolla eli vedenjäähdyttimillä, nestejäähdyttimillä sekä pumppauksella. Niiden yhteenlaskettu osuus 897,75 kW on koko laitoksen tehontarpeesta 74,1 %. Merkittävän osuutensa vuoksi tuotannon laitteistoa tehostamalla, kuten vaihtamalla laitteita hyötysuhteeltaan parempiin laitteisiin, saadaan aikaan eniten säästöjä.

Konesalien ja jakelun pumppujen osuus 20 % kokonaistehontarpeesta on myös merkittävä, mutta niiden laitteistoa tehostamalla ei saada aikaan yhtä suuria vaikutuksia

kokonaiskulutukseen kuin tuotannon laitteilla. Konesalien jäähdytyksen tehontarpeeseen voitaisiin vaikuttaa muuttamalla koko salin jäähdytysmuotoa tai lisäämällä ja päivittämällä laitteistoa. Mutta keskitetyn ratkaisun muuttaminen saattaa olla riskialtista ja kustannustehotonta.

Tukitoimintojen osuus 6 % jäähdytyksen kokonaistehontarpeesta on laitemääräänsä nähden melko pieni. Tukitoimintojen jäähdytystä tehostamalla ei päästä merkittäviin säästöihin. Vaihtamalla vakioilmastointikoneita ja muita tukitoimintojen jäähdytyslaitteita uudempiin malleihin voidaan kuitenkin pudottaa tehontarvetta hieman ja lisätä laitteiden toimintavarmuutta.



Kuva 11. Jäähdytysjärjestelmän tehontarpeen jakauma tuotannon ja muiden toimintojen välillä testiajotilanteessa 1. kilowatteina ja prosentteina.

Tuloksista voidaan myös päätellä taajuusmuuttajakäytön vaikutuksesta tehontarpeeseen. Taajuusmuuttajakäyttö oikein sovellettuna pudottaa virranottoa ja tehontarvetta. Hyvänä esimerkkinä tästä on lauhdutusnestejäähdyttimet, joissa taajuusmuuttaja oli käytössä, virta-arvo yhdelle yksikölle oli noin 30 kW ja yksikölle jonka taajuusmuuttaja oli ohitettu, teho oli noin 40 kW. Ohitetun yksikön yhden puhaltimen virta lähenteli puhallinvalmistajan ilmoittamaa nimellisvirtaa. Nimellisvirroilla las-

kettu tehontarve lauhdutukselle on 330,73 kW eli noin 80 kW enemmän kuin lauhdutuskentän tehontarve mittaustilanteessa. Taajuusmuuttajat eivät kuitenkaan sovellu prosessin kaikkien osa-alueiden käyttöön tai niiden käyttö voi olla niissä tarpeetonta laitoksen tasaisen käynnin vuoksi.

12 TESTIAJOT

Testiajoissa ajettiin kahta erilaista tilannetta: tilannetta 1, jossa kaksi vanhempaa 30HXC-sarjan vedenjäähdytintä ylläpitävät kahdestaan koko verkon jäähdytystä sekä tilannetta 2, jossa jäähdytysverkostoa ylläpidetään yhdellä 30HXC-sarjan sekä uudemmalla 30XW-sarjan vedenjäähdyttimellä. Ennen kutakin mittausta verkoston lämpötilojen annettiin tasaantua. Lämpötilojen vakiinnuttua suoritettiin virtamittaukset kummastakin vedenjäähdyttimestä. Mittausten jälkeen vedenjäähdyttimet vaihdettiin manuaalisesti järjestelmän logiikan kautta seuraaviin mitattaviin vedenjäähdyttimiin.

Testiajotilanteessa 1. ajettiin koko verkoston jäähdytystä kahdella 30HXC-sarjan kompressorivedenjäähdyttimellä VJK 1:llä ja VJK 4:llä. Vanhemmat vedenjäähdyttimet eivät pystyneet kahdestaan ajamaan verkostoon halutun lämpöistä vettä, eli noin 7 °C vettä, vaan menoveden lämpötila nousi noin 10 °C:een.

Taulukko 24. Testiajon 1. mittaus- ja laskentatulokset.

Laitte	Laitte Pos.	Pos.	Mitattu virta [A]			ka. [A]	cosφ	Teho [kW]	VJK yht. [kW]
			L1	L2	L3				
Carrier 30HXC345	VJK1	A-piiri	113,7	114,0	117,5	230,7	0,87	139,1	272,5
			114,0	115,0	118,0				
Carrier 30HXC345	VJK1	B-piiri	108,5	111,0	111,8	221,3	0,87	133,4	
			109,0	112,2	111,5				
Carrier 30HXC345	VJK4	A-piiri	212,0	219,0	223,0	218	0,87	131,4	260,2
Carrier 30HXC345	VJK4	B-piiri	212,0	213,0	216,0	213,7	0,87	128,8	
Testiajo yhteensä [kW]:								533	

Testiajotilanteessa 2. ajettiin koko verkoston jäähdytystä yhdellä 30HXC- ja yhdellä 30XW-sarjan kompressorivedenjäähdyttimellä. Verrattuna tilanteeseen 1. 30XW-sarjan koneella pystytään ajamaan paremmin jäähdytysverkoston kuormaa. Lisäksi

taulukoiden 24. ja 25. tuloksista huomataan, että uudempi 30XW-sarjan kone kuluttaa huomattavasti vähemmän sähköä saman kuorman ajamiseen kuin vanhempi 30HXC-sarjan jäädyt-in. Kulutusero testiajojen välillä on noin 100 kW, mikä on noin 19 % parannus tilanteeseen, missä laitoksen jäädytyskuormaa ajetaan vain vanhemman mallin vedenjäädyttimillä.

Taulukko 25. Testiajon 2. mittaus ja laskentatulokset.

Laitte	Laitte Pos.	Pos.	Mitattu virta [A]			ka. [A]	cosφ	Teho [kW]	VJK yht. [kW]
			L1	L2	L3				
Carrier 30WV1162P	VJK3	A-piiri	139,4	142,0	147,2	142,9	0,88	87,1	175,5
Carrier 30XV1162P	VJK3	B-piiri	141,0	144,0	150,0	145,0	0,88	88,4	
Carrier 30HXC345	VJK4	A-piiri	209,0	211,5	217,0	212,5	0,87	128,1	256,5
Carrier 30HXC345	VJK4	B-piiri	211,0	213,0	215,0	213,0	0,87	128,4	
Testiajo yhteensä [kW]:									432

13 HYÖTYSUHTEIDEN LASKENTA

Kylmälaitokselle ja sen osa-alueille sekä laitteille voidaan määrittellä hyötysuhteita. Erilaisia hyötysuhteita voidaan käyttää vertailemaan laitoksen toimintaa eri olosuhteissa tai eri laitteilla. Näiden tietojen perusteella laitoksen toimintaa voidaan tehostaa ja punnita eri teknisten toteutusten toimivuutta tulevilla investoinneilla.

13.1 Laitoksen COP

COP on kylmälaitoksen tai laitteen ottaman sähkötehon ja tuottaman jäädytystehon suhdeluku. Laitekohtainen COP 3 tarkoittaa yksinkertaisuudessaan, että yhdellä kilowatilla sähköä saadaan tuotettua kolme kilowattia jäädytystehoa. Laitoskohtaiseen COP-arvoon sisällytetään koko kylmäntuotannon laitteiston sähkötehon ja tuotetun jäädytystehon suhde. COP:n suuruuteen vaikuttaa käyntivuorossa olevat vedenjäädyttimet. Pelkästään vanhojen vedenjäädyttimien käydessä COP:n pitäisi olla matalampi kuin uudemman laitteiston käydessä. Myös lämpötilavaihtelut vaikuttavat laitoksen COP-arvoon. Lämpötila-eron muuttuessa myös COP muuttuu.

Laitoksen COP:n laskennassa hyödynnetään olemassa olevaa mittausdataa sekä opinnäytetyötä varten tehtyjä mittauksia. Jäähdytyskuormat perustuvat Räsänen muistiossa esitettyihin arvoihin. Tuotannon kulutusarvot perustuvat tässä työssä esitettyihin laskentojen tuloksiin. COP lasketaan molempien testiajojen vedenjäähdyttimien ottotehon mukaan, jotta voidaan vertailla vanhojen sekä uusien vedenjäähdyttimien toimintaa ja tehokkuutta keskenään.

$$COP_{laitos} = Q_{jäähdytys} / W_{tuotanto} \quad (3)$$

jossa COP_{laitos} kylmälaitoksen hyötysuhde
 $Q_{jäähdytys}$ datakeskuksen jäähdytyskuorma, kW
 $W_{tuotanto}$ jäähdytyksen ottoteho, kW

$$W_{tuotanto} = W_{vedenjäähdytin} + W_{lauhdutus} + W_{pumpput} + W_{jakelu} \quad (4)$$

jossa $W_{tuotanto}$ jäähdytyksen ottoteho, kW
 $W_{vedenjäähdytin}$ vedenjäähdyttimien ottoteho, kW
 $W_{lauhdutus}$ lauhdutuksen ottoteho, kW
 $W_{pumpput}$ tuotannon pumppauksen ottoteho, kW
 W_{jakelu} salien ilmastoinnin ja jakelupumppujen ottoteho, kW

joten $COP_{laitos1} = Q_{jäähdytys} / W_{vedenjäähdytin} + W_{lauhdutus} + W_{pumpput} + W_{jakelu}$
 $COP_{laitos1} = 2500 \text{ kW} / 533 \text{ kW} + 250,8 \text{ kW} + 113,6 \text{ kW} + 242,7 \text{ kW}$
 $COP_{laitos1} = 2,19$

$COP_{laitos2} = Q_{jäähdytys} / W_{vedenjäähdytin} + W_{lauhdutus} + W_{pumpput} + W_{jakelu}$
 $COP_{laitos2} = 2500 \text{ kW} / 432 \text{ kW} + 250,8 \text{ kW} + 114,1 \text{ kW} + 242,7 \text{ kW}$
 $COP_{laitos2} = 2,40$

13.2 Salien hyötysuhteet

Koko kylmälaitoksen hyötysuhteen lisäksi voidaan määritellä luolissa sijaitseville koneseleille M210, M240 sekä M270, salikohtaiset hyötysuhteet. Salikohtaisilla hyötysuhteilla voidaan vertailla salien tehokkuutta toisiinsa. Kaikissa saleissa on keskitetyllä ilmanvaihdolla toteutettu jäähdytys, mutta sen lisäksi saleissa on myös muita jäähdytyslaitteita, jotka on kussakin toteutettu eri menetelmin. Salikohtainen hyötysuhde kertoo noiden eri menetelmien tehokkuudesta. Salikohtainen COP ei ole yhtä tarkka kuin laitoskohtainen, mutta sitä voidaan kuitenkin käyttää työkaluna eri menetelmien vertailussa.

Kunkin salin hyötysuhteen laskennassa on käytetty Räsänen muistiossa ilmoitettuja jäähdytyskuormia ja virtaamia, sekä tässä työssä laskettuja ottotehoja. Vedenjäähdyttimien sekä tuotannon pumppaukseen on käytetty näissä laskuissa testiajojen keskiarvoja. Konesalin hyötysuhde on laskettu seuraavalla kaavalla.

$$COP_{konesali} = Q_{konesali} / W_{konesali} \quad (5)$$

jossa	$COP_{konesali}$	konesalikohtainen hyötysuhde
	$Q_{konesali}$	konesalin jäähdytyskuorma, kW
	$W_{konesali}$	konesalin jäähdytyksen ottoteho, kW

$$W_{konesali} = (W_{vedenjäähdytin} + W_{lauhdutus} + W_{pumput} + W_{jakelu}) \cdot V_{sali} + W_{sali} \quad (6)$$

jossa	$W_{tuotanto}$	jäähdytyksen ottoteho, kW
	$W_{vedenjäähdytin}$	vedenjäähdyttimien ottoteho, kW
	$W_{lauhdutus}$	lauhdutuksen ottoteho, kW
	W_{pumput}	tuotannon pumppauksen ottoteho, kW
	W_{jakelu}	jakelupumppujen ottoteho, kW
	V_{sali}	konesalin jäähdytyksen osuus kokonaisjäähdytyksestä, %
	W_{sali}	konesalin ilmastoinnin ja jäähdytyslaitteiden ottoteho, kW

$$\begin{aligned} \text{joten} \quad W_{M210} &= (482,5 \text{ kW} + 250 \text{ kW} + 114 \text{ kW} + 233 \text{ kW}) \cdot 0,345 + 85 \text{ kW} \\ W_{M210} &= 386,0 \text{ kW} \\ COP_{\text{konesali210}} &= 870 \text{ kW} / 386,0 \text{ kW} \\ COP_{\text{konesali210}} &= 2,25 \end{aligned}$$

Taulukko 26. Konesalikohteiset hyötysuhteet ja laskenta-arvot.

Sali	Tuotanto [kW]	Vsali [%]	Salin osuus [kW]	Wsali	Salin ottoteho [kW]	Salin jäädytyskuorma [kW]	COP
M210	871,85	34,5	300,8	85,2	386,0	870	2,25
M240	871,85	15,5	135,1	71,6	206,7	390	1,89
M270	871,85	21	183,1	61,3	244,4	580	2,37

13.3 Tulokset ja analysointi

Laskennan tuloksena koko laitoksen hyötysuhteeksi eli COP-arvoksi saatiin testiajotilanteessa 1. COP=2,19 ja testiajotilanteessa 2. COP=2,40 ulkolämpötilan ollessa 29 °C. Uudemman 30XW vedenjäähdyttimen vaikutus ottotehon suuruuteen ja koko laitoksen hyötysuhteeseen näkyy selvästi. Jäähdytysjärjestelmän kokonaistehontarve putoaa noin 100 kW ja laitoksen COP paranee 0,21 yksiköllä eli noin 8,8 %.

Ulkolämpötila oli mittaustilanteessa melko korkea, jolloin lauhdutinkenttä kuormittuu enemmän. Kyseisillä olosuhteilla kentän toimintaa tehostetaan pisarakostuttimilla. Ulkolämpötilan vaikutus ei näy juurikaan laitoksen sisäisissä kuormissa, mutta se vaikuttaa nestejäähdyttimien kykyyn luovuttaa energiaa ulkoilmaan. Ulkolämpötilan jäähtyessä lauhdutuskentän nestejäähdyttimien tehontarve pienenee, mikä parantaa laitoksen COP-arvoa. Vertailuarvona mittaustilanteen COP-arvoille voidaan käyttää lauhdutuksen nimellisvirroilla laskettuja COP-arvoja 2,05 ja 2,23. Tässä vertailussa nähdään lauhdutuksen ottotehon vaikutus koko laitoksen hyötysuhteeseen. Testiajotilanteessa 1. laitoksen hyötysuhde on 0,14, ja tilanteessa 2. 0,17 yksikköä suurempi kuin nimellisarvoilla laskettuna eli keskimäärin noin 7 % parempi.

Konesalia M240 ja sen hyötysuhdetta 1,89 voidaan pitää vertailukohtana salien vertailussa, koska salissa ei ole muuta jäähdytystä kuin keskitetyllä ilmanvaihdolla toteutettu. Taulukon 26. tuloksista nähdään selvästi konesalien väliset erot. Mittausten ja laskennan perusteella konesalit M210 ja M240 ovat selvästi tehokkaampia kuin M240. COP-luvuista voitaisiin päätellä, että tehokkain ratkaisu konesalijäähdytyksen tehostuksessa olisi rivijäähdytys, jolla päästään 2,37 hyötysuhteeseen. Myös vakioilmastointikoneilla tuotetulla jäähdytyksellä päästään lähtökohtaa parempaan hyötysuhteeseen. Konesalien välisiin eroihin vaikuttaa kuitenkin paljon myös keskitetyn ilmastoinnin koneiden ja kanaviston rakenne sekä laitteiston malli ja ikä. Lisäksi koneiden asetusarvot ja ohjaus vaikuttavat virranottoon. Ilmastointikoneisiin liittyvien ja lukuisten muiden muuttujien takia ei voida vetää suoria johtopäätöksiä salien ja eri jäähdytysratkaisuiden tehokkuuksien välille ilman syvempää tutkimista.

14 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli selvittää datakeskuksen jäähdytysjärjestelmän tehontarvetta ja sen jakautumista laitoksen toiminnan eri osa-alueiden välillä. Tutkimuskohdeena oli Suomessa sijaitseva datakeskus. Jäähdytysjärjestelmän virrankulutukset selvitettiin kenttämittauksin, joiden perusteella suoritettiin varsinaiset teholaskelmat. Tehontarpeiden ja niiden jakauman perusteella voidaan pohtia järjestelmän toiminnan tehostamista sekä uusien investointien kannattavuutta. Teholaskelmien lisäksi laitokselle laskettiin COP eli hyötysuhde, joka kuvaa laitoksen ottaman sähkötehon ja tuottaman jäähdytystehon suhdetta.

Datakeskuksen jäähdytys on monimutkainen prosessi, joka vaatii toimintaherkkytensä vuoksi toimintavarman ja riskittömän laitteiston. Prosessilla tulee hallita konesalien ja tukilaitteiden lämpökuormia sekä ilmankosteutta. Suurien lämpökuormien vuoksi katkoksia jäähdytykseen ei voi missään tilanteessa tulla ja kaikki laitteet onkin varmistettu N+1 menetelmällä sekä varavoimalla. Myös ilmankosteuden hallinta

on erittäin tärkeää. Sekä liian kostea että liian kuiva ilma voivat aiheuttaa haittaa ja jopa vaaraa datakeskuksen sähkölaitteiden toiminnalle. Energiatavaraan ja turvallisen datakeskusjäähdytyksen edellytyksenä on koko prosessin kokonaisvaltainen hallinta, jossa kaikkia muuttujia ja olosuhteita pystytään varmasti hallitsemaan. Laitoksen tehokkaan toiminnan kannalta on äärimmäisen tärkeää hahmottaa yksityiskohtien lisäksi myös kokonaisuus. Esimerkiksi pelkkä ilmastoinnin jäähdytyspattereiden vaihtaminen voi pudottaa ottotehoja puhallin ja pumppauspuolella ja se saattaa mahdollistaa pienempien moottoreiden ja pumppujen käytön.

Suurin osuus datakeskuksen jäähdytyksen kokonaistehontarpeesta on kylmätuotannon laitteistolla eli vedenjäähdyttimillä, nestejäähdyttimillä ja pumppauksella. Niiden vanhemman mallisilla vedenjäähdyttimillä yhteenlaskettu osuus 922 kW on koko laitoksen tehontarpeesta 76 %. Merkittävän osuutensa vuoksi tuotannon laitteistoa tehostamalla, kuten vaihtamalla laitteita uudempiin tai hyötysuhteeltaan parempiin laitteisiin, saadaan aikaan eniten säästöjä. Vaihtamalla vanhoja 30HXC kompressorivedenjäähdyttimiä uudemman mallisiin 30XV jäähdyttimiin saataisiin aikaan merkittäviä säästöjä, jotka olisivat takaisinmaksuajan (TMA) kannalta kannattavia. Toimintavarmuutensa ja tehokkuutensa vuoksi keskitetty tuotanto on hyvä ja kustannustehokas ratkaisu.

Pumppaustekniikan osuus kokonaistehontarpeesta on 11,4 %. Laitoksen pumppujen uudelleen mitoitus, optimointi ja vaihtaminen uudemman mallisiin pumppuihin toisivat säästöjä. Investointien TMA pysyisi melko lyhyenä uusien pumppujen matalampien käyttökustannusten johdosta. Lisäksi pumppujen optimointi ja uusiminen toisi lisävarmuutta laitoksen käyntiin.

Konesalien keskitetyn ilmastoinnin ja sen apulaitteiden osuus kokonaistehontarpeesta on 18 %. Se on suuruudeltaan myös merkittävä, mutta ilmastoinnin laitteistoa tehostamalla ei saada suoraan aikaan yhtä suuria vaikutuksia kokonaiskulutukseen kuin tuotannon laitteilla. Konesalien jäähdytyksen tehontarpeeseen voitaisiin vaikuttaa muuttamalla koko salin jäähdytysmuotoa, mutta konesalien jäähdytystä pohdittaessa on kuitenkin punnittava useita seikkoja kuten ilmankosteutta, lämpötilaa, laiteturvallisuutta sekä investointi- ja käyttökustannuksia. Näiden seikkojen vuoksi toimivan

jäähdytysjärjestelmän uusiminen vanhaan infrastruktuuriin saattaa olla riskialtista ja kustannustehotonta.

Myös konesalien sisäisellä rakenteella on merkitystä jäähdytysjärjestelmän tehokkuuteen. Oikein sijoitetut ja tiiviit palvelinrivit mahdollistavat tehokkaan jäähdytysympäristön, joka minimoi jo itsessään hukkatetta esimerkiksi vuotojen kautta. Ilmakierron suunnittelulla ja hyvällä toteutuksella saadaan aikaan mahdollisimman häviötön prosessi, mikä vähentää salien hukkatetta ja sitä kautta datakeskuksen kokonaistehontarvetta.

Mittaus- ja laskentatulosten avulla voitiin määrittää laitokselle hyötysuhde eli COP. Datakeskuksen kompressorikylmälaitoksen COP-arvoksi mittaustilanteessa saatiin 2,42. Tämä tarkoittaa sitä, että laitos pystyy kilowatin teholla tuottamaan 2,42 kilowattia jäähdytystehoa. Laitoksen COP:n suuruuteen vaikuttaa suuresti ulkolämpötila, joka noustessaan pudottaa hyötysuhdetta ja lasiessaan parantaa sitä. Ulkolämpötilan vaikutus tulee lauhdituksen kautta, koska korkeammilla lämpötiloilla nestejäähdyttimien toiminta kuormittuu enemmän, jolloin niiden tehontarve kasvaa. Uudempiin ja hyötysuhteiltaan parempiin laitteisiin investoiminen parantaisi myös koko laitoksen hyötysuhdetta. Laitoksen COP paranee yksittäisten osa-alueiden tehontarpeiden pudotessa ja jäähdytyskuormien pysyessä vakiona.

LÄHTEET

Aura, L. & Tonteri, A. J. 2005. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Porvoo: WSOY.

Aittomäki, A. Aalto, E. Alijoki, T. Hakala, P. Kaappola, E. Karvinen, T. Lahdenperä, H. Rauno, O. & Seinelä, A. 1996. Kylmäteknikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Carlo Gavazzi:n www-sivut. Viitattu 22.10.2014.
<http://www.gavazzionline.com>

Carrier Oy:n www-sivut. Viitattu 6.10.2014.
<http://www.carrier.fi/>

Carrier 30HXC-sarjan vedenjäähdytin tekninen esite 2006, Carrier.
http://www.carrier.fi/images/PSD/30HXC080_375/13179_PSD_01_2006.pdf

Carrier 30XW-sarjan vedenjäähdytin tekninen esite 2011, Carrier.
http://www.carrier.fi/images/PSD/30XW%28H%290252_1762/13457_PSD_05_2011_30XW_LR.pdf

Conteg:in www-sivut. Viitattu 10.10.2014.
<http://www.conteg.com/files/1/soubory/72/en/ds-coolteg-plus-en.pdf>

Fluke:n www-sivut. Viitattu 31.10.2014.
<http://www.fluke.com>

Huuhka, T. 2012. Konesalien energiatehokkuus. Kyselytutkimus IT-konesalitiilojen energiatehokkuudesta. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012121118986>

Jäähdytysjärjestelmien energianlaskentaopas. 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 10.11.2014 <http://www.ym.fi/>

Nydal, R. 2002. Käytännön kylmäteknikka. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry.

Kylmäainetilanne 2008. 2008. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry. Viitattu 23.10.2014 <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>

LVI 61-10461. Kylmäainetilanne 2010. 2010. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 8.10.2014 <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Silvonen, K. 2009. Sähkötekniikka ja piiriteoria. Helsinki: Otatieto.

ST 52.15. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. 2014. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo.

Sähköturvallisuuden edistämiskeskuksen www-sivut. Viitattu 18.11.2014
<http://www.sahkoturva.info/>

Suomen RakMK D5. 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Väre, J. 2009. Atk-konesalien jäähdytys. AMK-opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200904081931>

LIITTEET

LIITE 1. KJK 025 ja KJK 026 mittauspöytäkirja

LIITE 2. KJK 09 mittauspöytäkirja

LIITE 3. KJK 021 mittauspöytäkirja

LIITE 4. KJK 10 mittauspöytäkirja

LIITE 5. KJK 07 mittauspöytäkirja

LIITE 6. KJK 05 mittauspöytäkirja osa 1.

LIITE 7. KJK 05 mittauspöytäkirja osa 2.

LIITE 8. KJK 06 mittauspöytäkirja

LIITE 9. KJK 11 mittauspöytäkirja

LIITE 10. KJK 020 mittauspöytäkirja osa 1.

LIITE 11. KJK 020 mittauspöytäkirja osa 2.

LIITE 12. KJK 023 mittauspöytäkirja osa 1.

LIITE 13. KJK 023 mittauspöytäkirja osa 2.

LIITE 14. Vedenjäähdyttimien ja VJK4:n pumppujen mittauspöytäkirja

LIITE 15. M210 salin vakioilmastointikoneiden ja KJK 15 mittauspöytäkirja

LIITE 16. Täydennysmittausten mittauspöytäkirja

