

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma / Tietoverkkotekniikka

Patrik Stengård

KONESALIN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT

Opinnäytetyö 2014

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikan koulutusohjelma

STENGÅRD PATRIK

Konesalin jäähdytysjärjestelmät

Opinnäytetyö

36 sivua

Työn ohjaaja

Lehtori Jouko Pahlama

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Toukokuu 2014

Avainsanat

konesali, datacenter, datakeskus, jäähdytysjärjestelmät

Internetin suosion myötä erilaisia palveluja tuottavien palvelinkoneiden ja edelleen niiden sijoituspaikkana toimivien konesalien määrä on kasvanut huomattavasti viime vuosien aikana. Suuret yhtiöt, kuten Google, Microsoft ja Yandex, ovat investoineet konesalikeskuksia Suomeen ja määrän uskotaan kasvavan entisestään. Koska samanaikaisesti yhä pienemmät suorittimet tuottavat entistä suuremman tehon, tämä prosessi lisää konesalien keskitettyä jäähdytystarvetta.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli perehtyä konesalien erilaisiin jäähdytysjärjestelmiin, tutkia niiden ominaisuuksia ja eroja. Lisäksi tarkoitus oli tarkastella konesaleihin vaikuttavia tekijöitä, energialaskentaa ja selvittää konesalien energiatehokkuuden periaatteita.

Opinnäytetyössä tarkastellaan edellä mainittuja konesalien jäähdytykseen liittyviä asioita teoreettisista lähtökohdista ja aineistona käytettiin internetistä löytyneitä monia tietolähteitä ja Optimum Cooling of Data Centers -kirjaa. Internetistä saatu aineisto oli pääasiassa eri osa-alueita käsitteleviä raportteja, internet-dokumentteja tai muuta hajautettua tietoa. Aineistoa etsittiin varmuuden vuoksi melko laajasti englannin- ja suomenkielisiltä sivustoilta.

Aineiston hajanaisuudesta huolimatta opinnäytetyön dokumentista saatiin suhteellisen yhtenäinen kokonaisuus konesalien jäähdytysjärjestelmistä. Asetetut tavoitteet saavutettiin työhön varatussa aikataulussa.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Information Technology

STENGÅRD PATRIK

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2014

Keywords

DATACENTER COOLING TECHNIQUES

36 pages

Jouko Pahlama, Senior Lecturer

Kymenlaakso University of Applied Sciences

Datacenter, cooling, free air cooling

The number of datacenters has grown during the last few years. Large companies, such as Google, Microsoft and Yandex have invested in building datacenters in Finland and more are coming. Simultaneously chips continue to get smaller, with more circuits packed into smaller spaces, the amount of power grows together with the heat. This process increases the need of centralized cooling in datacenters.

The objective of this study was to get acquainted with different cooling techniques in datacenter technology. In addition, the aim was to investigate energy effectiveness and pay attention on energy efficiency calculations and list facts that affect datacenters.

This study was a literature review. The sources used in this study were gathered mostly from the internet. Also Optimum Cooling of Data centers book was used in this thesis. However, the available material found from the internet were mainly reports, documentaries, manufacturing instructions or other scattered information. Therefore, the materials were gathered widely to prevent misunderstanding.

As a result, complete thesis was created about datacenter cooling techniques and all goals were reached in time. This study might help anyone who desires to know about datacenters and its cooling systems.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1 JOHDANTO	6
2 DATAKESKUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	7
2.1 Suomen ilmasto-olosuhteet	7
2.2 Geologinen vakaus	7
2.3 Poliittinen vakaus	7
2.4 Sähkövero	8
3 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMIEN ENERGIALASKENTA	9
3.1 Yksinkertainen laskentamenetelmä	9
3.2 Yksityiskohtainen laskentamenetelmä	13
4 ERILAISET JÄÄHDYTYSMENETELMÄT	15
4.1 Pääasialliset jäähdytysmenetelmät	15
4.1.1 Ilmajäähdytys	15
4.1.1.1 Kuuma- ja kylmäkäytävät	15
4.1.1.1 Active Floor	16
4.1.2 Nestejäähdytys	18
4.1.3 Nesteupotusmenetelmä	20
4.1.4 Vapaajäähdytys	21
4.1.4.1 Kylmän ulkoilman käyttö	22
4.1.4.2 Kylmä järvi-, meri- tai pohjavesi	23
4.1.4.3 Jäähdytys kaukojäähdytyksen avulla	23
4.2 Virranhallintateknologiat	24
4.3 Pääasiallisten jäähdytysjärjestelmien vertailu	25
4.4 Potentiaaliset riskit	26
4.4.1 Lämpösykliin aiheuttamat ongelmat	27
4.4.2 Korroosio	27
4.4.3 Saasteet	28

5	ENERGIATEHOKKUUDEN PERIAATTEET KONESALEISSA	29
5.1	Sähköä kuluttavat kohteet ja niiden merkitys	29
5.2	Konesalin energiatehokas jäähdytys	30
5.3	Hukkalämmön hyötykäyttö	30
5.4	Konesalin laitteiden kytkentäperiaate	31
6	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	33

## 1 JOHDANTO

Datakeskusten kapasiteetti ja suorituskyky on kasvanut jatkuvasti samalla, kun suorittimien koko on pienentynyt ja teho lisääntynyt. Yhä suorituskykyisemmät prosessorit vaativat keskitetympää ja tehokkaampaa jäähdytystä. Ilman asianmukaista jäähdytystä saattaa aiheutua laitteiden ylikuumentumista ja järjestelmien vikaantumista. Lisäksi jäähdytysjärjestelmien toimimisen on oltava ympärivuotista, jotta laitteistojen keskeytymätön toiminta saadaan varmistettua

Datakeskuksia syntyy jatkuvasti lisää ja monessakin mielessä voidaan sanoa, että Suomi on niin sanotusti konesalien luvattu maa. Suurilla yrityksillä, kuten esimerkiksi Googlella, Microsoftilla ja Yandexilla, on Suomessa jo jättihankkeet, ja toivottavasti myös muut yritykset investoivat Suomeen vielä lisää vastaavia yksiköitä. Suomi on konesalien toiminnan kannalta monin tavoin edullinen sijoituspaikka, koska ilmasto on viileä, jolloin vapaajäähdytyksen tehokkuus kasvaa, ja lisäksi Suomi on melko saasteeton verrattuna moniin muihin maihin. Ympäristö on vakaa, eikä täällä ole poliittisia kriisejä tai luonnonkatastrofeja. Konesalien sähkövero on alentunut ja työvoimaakin löytyy, ainakin toistaiseksi.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ja selvitetään datakeskusten ja konesalien jäähdytysjärjestelmiä, niiden energiatehokkuutta ja niihin liittyviä ongelmia. Opinnäytetyössä ei tutkita ja mitata toimivien konesalien jäähdytystekniikoita tai niiden energiatehokkuutta, vaan kaikki tarkastelu perustuu eri lähteistä kerättyyn teoreettiseen tietoon ja sen pohjalta suoritettuun eri tekniikoiden keskinäiseen vertailuun.

## 2 DATAKESKUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 2.1 Suomen ilmasto-olosuhteet

Monet kansainväliset suuryritykset ovat olleet kiinnostuneita tekemään konesali-investointeja Suomeen, koska maamme on monessa suhteessa varsin vakaa toimintaympäristö. Suomessa on pääosin kolea ilmasto, kesät ovat viileitä ja talvet leutoja eikä maa juurikaan järise. Esimerkiksi Suomen keskilämpötila Helsingin Kaisaniemessä oli 5,9 celciusastetta vuosina 1981-2010. (1)

Hirmumyrskyjä ei Suomessa esiinny pohjoisen sijainnin ja viileiden merivesien vuoksi. Sen sijaan meille tutuissa rintamarakenteen omaavissa matalapaineissa voi tuulen nopeus tietyissä tapauksissa ylittää rajan 33 m/s, jolloin puhutaan hirmumyrskyistä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita hirmumyrskyä vaan paikallista erittäin kovaa tuulta. (3)

### 2.2 Geologinen vakaus

Geologinen vakaus on tärkeä asia, kun suunnitellaan konesalia. Geologisella vakaudella tarkoitetaan maanjäristyksiä, maanvyrjä, tulvia tai muuta maan liikehdintää.

Vaikka Suomessa on mitattu maanjäristyksiä, eivät ne ole laisinkaan samaa kokoluokkaa kuin muualla maailmassa. Suomen alla oleva peruskallio suojaaa maanjäristyksiltä. Suomi sijaitsee siis juuri suotuisalla paikalla maailman kartalla geologiselta näkökannalta. (2)

### 2.3 Poliittinen vakaus

Konesalit tai toiselta nimeltään datakeskukset pyritään rakentamaan mielellään rauhalliselle alueelle. Konesalin toimivuus ja vikasetokyky ovat tärkeitä, kun haalitaan asiakkaita esimerkiksi teleyrityksille, jotka tarjoavat konesalipalveluita. Kuitenkaan pelkästään tehokkaalla vikasetokyvyllä tai laitteiden laadulla ei yksinään tee mitään, jos ympäristössä vallitsee poliittinen kaaos. Poliittinen vakaus toimii siis yhtenä pohjakerroksena konesaleille. (4)

On otettava huomioon, että joissakin maissa tai alueilla on käytössä dataliikenteen sensurointia, filtterointia, estoja tai monitorointia. Nämä vaikuttavat usein negatiivisesti dataliikenteeseen ja aiheuttavat usein myös muita ongelmia dataliikenteen kannalta. Mainittakoon esimerkkinä Kiina, joka kontrolloi tarkkaan tulevaa ja menevää dataliikennettä. (5)

Suomessa ei ole lainkaan väkivaltaisia levottomuuksia tai muita poliittisia kriisejä kuten monissa Lähi-idän maissa. Millä tahansa poliittisella kriisillä voi olla pitkällä aikavälillä vakavatkin seuraukset esimerkiksi luottamuksen suhteen. Tällä hetkellä Suomessa on positiivinen ja avoin ympäristö ulkomaalaisille konesaliyrityksille, ja tilannetta on syytä pitää vireillä. Luottamuksen menettäminen voi ajaa investoijat pois Suomen markkinoilta Saksaan tai muuhun vastaavaan tasapainoiseen valtioon. (6)

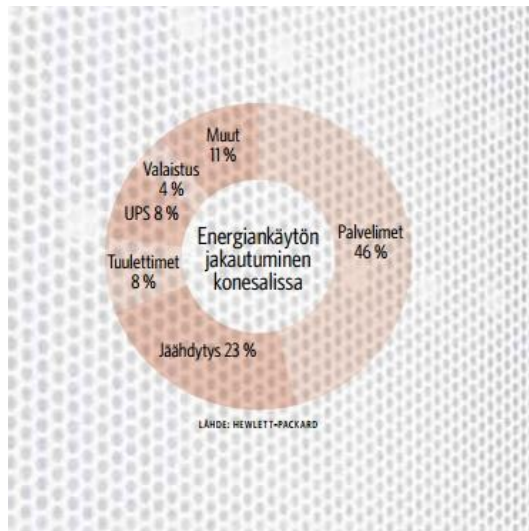
Suomen liiketoimintaympäristö arvioidaan kansainvälisissä vertailuissa varsin tehokkaaksi. Syyskuussa 2012 World Economic Forum (WEF) julkaisemassa kilpailukykyvertailussa Suomi sijoittui listan kolmanneksi. Suomen vahvuuksina ovat mm. poliittinen ja taloudellinen vakaus, korkea elintaso, kilpailukykyinen innovaatioympäristö sekä avoin talousjärjestelmä. (6)

Mainittakoon, että pelkästään Google on sijoittanut Haminan palvelinkeskukseen 350 miljoonaa euroa ja suunnittelee lisäinvestointia yli 450 miljoonalla eurolla. Ministeriö on laskenut, että parhaimmillaan Amazon ja Facebook voisivat tehdä Suomeen satojen miljoonien eurojen investoinnit. (7)

## 2.4 Sähkövero

Sähköverolla on merkityä, kun yritykset valitsevat paikkaa konesaleilleen. Konesalien energiakulutuksen jakautumisen voi jakaa kuuteen osaan, joista suurimmat ovat palvelimet 46 % , jäähditys 23 % ja muut 11 % . Jäähdytykseen kuluu siis toiseksi eniten energiaa, 23 % koko konesalin sähkönkulutuksesta. Sähkönkulutukseen vaikuttavat toki laitteiden laatu ja ikä, mutta jäähdityksen on syytä olla tehokasta. Ilman toimivaa, luotettavaa ja varmaa jäähdytysjärjestelmää laitteet saattavat ylikuumentua ja vahingoittaa kallista palvelinlaitteistoa. Kuvasta 1 näkyy energian käytön jakautuminen konesaleissa. (8)





Kuva1. Energiankäytön jakautuminen kesäaikaan (8)

Suomen sähkövero kiristyi 1.1.2014. Konesaliyrityksille on kuitenkin tiedossa helpotuksia. Hakujätti Googlen investoinnin jälkeen Suomessa on pyritty tosissaan huomioimaan sähköveron alennus konesaliyrityksille. Tavoitteena olisi haalia Suomeen enemmän Googlen kaltaisia jättiyrityksiä. Sähköveron alennushanke oli vaarassa jumiutua EU:n rattaisiin, mutta komission mukaan veroale on hyväksyttävissä. Näillä näkymin veroalen pitäisi astua voimaan 2014 ja sen myötä sähkövero putoaa 1,9 sentistä 0,7 senttiin kilowattitunnilta. Veroedulla on merkitystä, kun valtiot kilpailevat keskenään kansainvälisten jättiyritysten datakeskusinvestoinneista. (9)

### 3 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMIEN ENERGIALASKENTA

Tässä osiossa tarkastellaan kesäaikaan jäähdytysjärjestelmien energialaskentaa.

#### 3.1 Yksinkertainen laskentamenetelmä

Yksinkertainen energialaskentamenetelmä on suuntaa antava vuositaso menetelmä, joka pääosin tukeutuu suuruusluokkia kuvaaviin taulukkoarvoihin. (10, s. 5).

Datakeskuksen tilojen jäähdytykseen tarvittava jäähdytysenergia tuodaan tiloihin joko ilma- tai vesivirran avulla. Usein kuitenkin käytetään molempia tapoja samanaikaisesti. Jäähdytysjärjestelmien energiakulutus koostuu jäähdytysenergian



Sähköä käyttävälle järjestelmälle vuotuinen sähköenergian tarve lasketaan kaavalla

$$W_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_E}$$

missä  $\varepsilon_E$  on jäähdytysenergian tuotto-prosessin vuotuinen kylmäkerroin.

Vastaavasti lämpö- tai kylmäenergiaa jäähdytysenergian tuottamiseen käyttävälle järjestelmälle vuotuinen energiantarve lasketaan kaavalla

$$Q_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_Q}$$

missä  $\varepsilon_Q$  on jäähdytysenergian tuotto-prosessin vuotuinen kylmäkerroin. (10. s. 6)

Jäähdytysenergian tuotto-prosessin vuotuinen kylmäkerroin määritellään prosessilla vuosittain tuotetun jäähdytysenergian suhteena ko. prosessiin vuosittain käytetyn energian määrään. (10. s. 6)

Vuotuisille kylmäkertoimille on esitetty ohjearvoja taulukossa 1 ja häviökertoimille taulukossa 2. Ohjearvojen tilalla voidaan myös käyttää muita luotettavasti määriteltyjä suoritusarvoja. (10. s. 7)

Taulukko 1. Jäähdytysenergian tuotto-prosessin vuotuisia kylmäkertoimia. (10. s. 7)

Jäähdytysenergian tuottotapa	$\varepsilon_E$	$\varepsilon_Q$
Kompressori-kylmälaitos ilmalauhdutteinen	2,5	-
Kompressori-kylmälaitos ,vesilauhdutteinen	3	-
Vapaajäähdytys, liuosjäähdytin (kuiva)	5	-
Vapaajäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7	-
Vapaajäähdytys, maaputkisto (vertikaalinen)	30	-
Split laitteet	3	-
Kaukojäähdytys (lämmönsiirrin)	-	1
Absorptiojäähdytys	-	0,7

Taulukko 2. Jäähdytyksen häviökertoimen ohjearvoja. (10. s. 7)

Jäähdytyksen menoveden lämpötila	$\beta_{hji}^{1)}$	$\beta_{hji}^{2)}$	$\beta_{hiv}$
7 C	0,3	0,6	0,2
10 C	0,2	0,5	0,15
15 C	0,1	0,2	0,1
18 C	0,0	0,0	0,0

Kun rakennuksessa tai tilassa käytettävä jäähdytysenergia tuotetaan kahdella eri prosessilla, esim, vapaajäähdytyksellä ja sitä täydentävällä kompressoriyksiköllä, järjestelmän vuotuinen energiankulutus lasketaan kaavalla

$$W_{j\ddot{a}ahdytys} = \alpha_1 \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_{E1}} + \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_{E2}}$$

missä

$\alpha_1$  tuotto prosessilla 1 tuotetun vuosittainen jäähdytysenergian suhteellinen osuus,

$\alpha_2$  tuotto prosessilla 2 tuotetun vuosittainen jäähdytysenergian suhteellinen osuus,

$\varepsilon_{E1}$  tuotto prosessin 1 vuotuinen kylmäkerroin,

$\varepsilon_{E2}$  tuotto prosessin 2 vuotuinen kylmäkerroin.

(10. s. 7)

Edellisen lisäksi järjestelmät käyttävät sähköä mm. pumppujen, puhaltimien ja muiden apulaitteiden toimintoihin jäähdytyksen luovutus- ja jakelutoimintojen yhteydessä.

Näiden apulaitteiden sähkönkulutukseen lasketaan jäähdytysenergian jakeluun

tarvittava pumppausenergia sekä jäähdytysenergian tehostukseen käytettävä energia,

esimerkiksi puhallinkonvektorin puhallinenergia. Kuitenkaan ilmanvaihdon tai

ilmastoinnin ilman siirtämisen käytettävää energiaa ei lasketa mukaan apulaitteiden

sähkönkulutukseen. Apulaitteiden sähkönkulutus riippuu monesta asiasta, kuten

esimerkiksi järjestelmän tyypistä, ja se lasketaan kaavasta

$$W_{apu j\ddot{a}ahd.} = \beta_{apu} Q_{jk}$$

$\beta_{apu}$  on järjestelmän vuotuinen apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskerroin. Kulutuskertoimelle on esitetty ohjearvoja taulukossa 3. Ohjearvon tilalla voidaan käyttää yksityiskohtaisella menetelmällä laskettuja arvoja. (10. s. 7)

Taulukko 3. Jäähdytysjärjestelmien apulaitteiden sähkönkulutuksen kertoimen ohjearvoja. (10. s. 7)

Jäähdytysjärjestelmä	$\beta_{apu}$
Vesijärjestelmä, jäähdytyspalkki	0,06
Vesijärjestelmä, puhallinkonvektori	0,08
Ilmajärjestelmä, IMS järjestelmä	0,05

### 3.2 Yksityiskohtainen laskentamenetelmä

Datakeskuksen tilojen jäähdyttämiseen tarvittava jäähdytysenergian nettotarve on vuodenajasta riippuva ilmiö, joka määritetään parhaiten simuloimalla. Rakennuksen tilojen jäähdytysenergian nettotarpeen mukaan lasketaan jäähdytysjärjestelmän vuotuinen energiantarve. Tiloissa tarvittavan nettoenergian tuotossa, varastoinnissa, jakelussa ja luovutuksessa tapahtuu lähes aina häviötä. Jäähdytysenergiaa voidaan myös tuottaa vapaajäähdyttämällä eli ulkoilman, vesistön tai maaperän kylmää hyödyntämällä. Näin jäähdytysjärjestelmän käyttämän energian määrä poikkeaa tiloihin tuotavasta nettoenergiasta sekä määrältään että laadultaan. (10. s. 8)

Yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä voidaan määrittää jäähdytysjärjestelmän käyttämän energian tarve yksityiskohtaisemmin kuin edellisen luvun vahvasti yksinkertaistetulla menetelmällä. Jäähdytysenergian nettotarve jakautuu ilmankanaviston kautta tilaan tuotavaan osuuteen sekä esimerkiksi vesiverkoston kautta tuotavaan osuuteen. Laskennan periaatteena on ensin määrittää jäähdytysjärjestelmän käyttämä energia vuoden kunakin tuntina ja lopuksi laskea yhteen koko vuoden aikana käytettävä energia. Sähköä käyttävän järjestelmän vuosienenergia silloin on

$$W_{\text{jäähdytys}} = \sum_{8760} W_{\text{jäähdytys}}$$

$W_{\text{jäähdytys}}$  järjestelmän käyttämä sähköenergia laskentatunnin aikana, kWh. (10. s. 8)

Järjestelmän käyttämä energia tuntitasolla saadaan lisäämällä ilmastointikoneelle sekä huonelaitteisiin tuotavaan energiaan järjestelmähäviöt sekä jakamalla jäädytysenergian tuoton kylmäkerroimella seuraavasti:

$$W_{jäädytys} = \frac{q_{ji} + q_{jv} + \Delta q_{hi} + \Delta q_{hv}}{\varepsilon_E}$$

$q_{ji}$  ilmastointikoneen jäädytyspatterin käyttämä jäädytysenergia laskentatunnin aikana kWh

$q_{jv}$  huonelaitteiden käyttämä jäädytysenergia laskentatunnin aikana, kWh

$\Delta q_{hj}$  ilmapuolen häviöt laskentatunnin aikana, kWh

$\Delta q_{hv}$  vesipuolen häviöt laskentatunnin aikana, kWh

$\varepsilon_E$  jäädytysenergian tuotto prosessin kylmäkerroin laskentatunnin aikana. (10. s. 8)

Vastaavasti lämpö- tai kylmäenergia käyttävän järjestelmän (scorptiojäädytys tai kaukojäädytys) vuotuinen energiantarve lasketaan kaavalla

$$Q_{jäädytys} = \sum_{8760} q_{jäädytys}$$

$Q_{jäädytys}$  järjestelmän käyttämä lämpö- tai kylmäenergia laskentatunnin aikana kWh.  
(10,9)

Tuntitason energia saadaan vastaavasti kuin edellä. Vaihdetaan vain kylmäkerroin lämpö- tai kylmäenergiaa käyttävän järjestelmän kylmäkerroimeksi

$$Q_{jäädytys} = \frac{q_{ji} + q_{jv} + \Delta q_{hi} + \Delta q_{hv}}{\varepsilon_Q}$$

$\varepsilon_Q$  jäädytysenergian tuotto prosessin kylmäkerroin laskentatunnin aikana. (10. s. 9)

## 4 ERILAISET JÄÄHDYTYSMENETELMÄT

Tässä osiossa käsitellään konesalien jäähdytysmenetelmiä ja niiden eroja. Lisäksi tarkastellaan niiden eri variaatioita, vapaajäähdytysmenetelmiä, virransäästötekniikkaa ja riskitekijöitä. (11. s. 47)

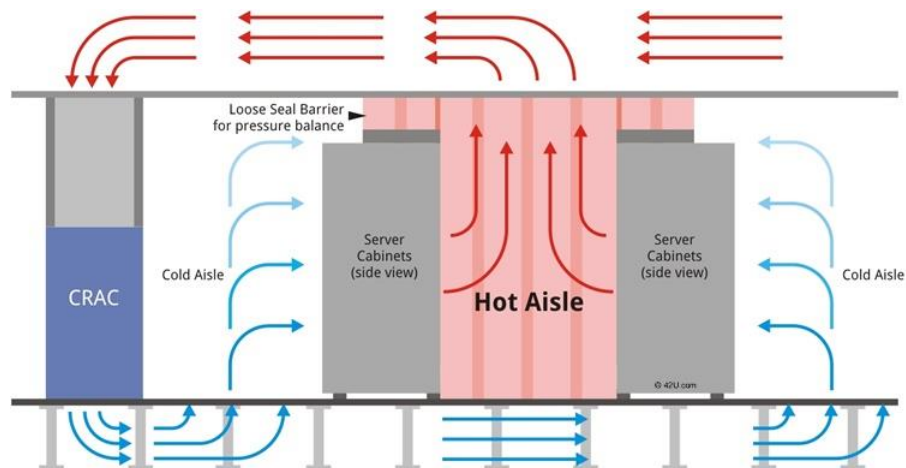
### 4.1 Pääasialliset jäähdytysmenetelmät

#### 4.1.1 Ilmajäähdytys

Perinteisin ilmajäähdytys on vielä käytössä monessa konesaliyrityksessä ainoana pääjäähdytysmenetelmänä. Kuitenkin osa datakeskuksista on jo siirtynyt uudempiin ja tehokkaampiin jäähdytys- ja energiansäästömenetelmiin. Näitä ovat esimerkiksi lämmön tehokkaampi poisto, hukkalämmön hyötykäyttö, järjestelmän kokonaisvaltainen tehokkuuden parantaminen ja laitteiden elinkaaren kustannustehokkuus. (11. s. 47)

##### 4.1.1.1 Kuuma- ja kylmäkäytävät

Tyypillisessä ilmajäähdytyksessä prosessoreiden tuottama lämpö ohjataan jäähdytyslevyjen ja kuumakäytävien avulla CRAC-yksikköön eli jäähdyttimeen (Computer Room Air-Conditioning unit). Jäähdyttimessä kuuma ilma jäähtyy viileäksi ja se ohjataan takaisin konesalilaitteille. Kuuma ilma perinteisesti imetään pois huoneen yläosasta ja puhalletaan viileänä takaisin laitteiden käyttöön lattian alaosasta (Kuva 3). (11. s. 47)



Kuva 3. Kylmä- ja kuumakäytävät. (12)

Kylmä- ja kuumakäytävien sijoitteluperiaatteessa tavoitteena on, että saadaan pidettyä kylmä ja kuuma ilma erillään toisistaan. Tyypillisesti laitekaapit sijoitetaan ”selät vastakkain” -periaatteella. Tällöin mm. saadaan kahdelle laitekaapille yksi yhteinen kylmäkäytävä. Lisäksi operointihenkilöt pystyvät operoimaan palvelimia viileässä. Tätä tekniikkaa käyttäen pystytään jäähdyttimet optimoimaan niin, että ne tuottavat juuri sen verran kylmää ilmaa, kuin palvelimet tarvitsevat. (13)

Kuitenkin konesalin kokonaisvaltaisen jäähdytysjärjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen tulee kiinnittää huomiota. Joidenkin tutkimusten mukaan jopa 50 % jäähdytysjärjestelmän tehosta voi mennä hukkaan vuotavien lattiarakojen, kuuma- ja kylmäkäytäväasettelun vuotojen, korotetun lattian vuotojen tai tukosten tai heikosti suunnitellun kuuman ilman poiston takia. (14. s. 9)

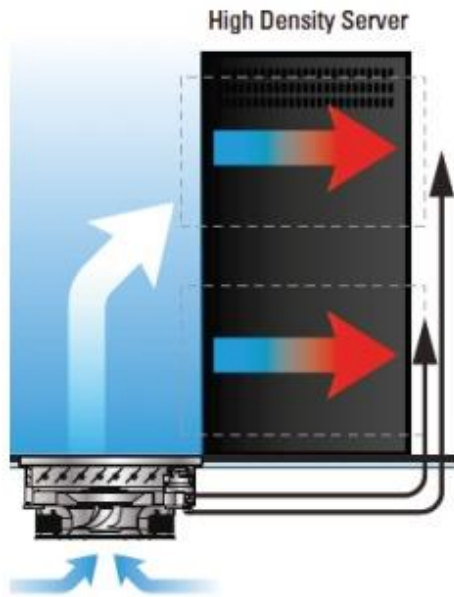
#### 4.1.1.1 Active Floor

Active Floor on modulaarinen ja mukautuva jäähdytysjärjestelmä keskitason tai suurten lämpökuormien konesaleille. Järjestelmää pystytään kuitenkin hyödyntämään pienemmissäkin konesaleissa. Active Floorin tarkoituksena on parantaa ilmankiertoa ja estää lämpimien ilmakohtien eli ”hot spottien” muodostuminen. Active Floor -ratkaisua voidaan käyttää itsenäisenä stand-alone-tyyppisenä tai asennuslattian alaisen paineen ohjauksella varustettujen vakioilmastointikoneiden kanssa. Järjestelmä kykenee säätymään myös lisääntyneen laitteiston määrään ja lisääntyneen lämpökuorman mukaisesti jopa automaattisesti. (15. s. 2)

Active Floor asennetaan käytännössä niin, että ensin lattiaa korotetaan 30 – 150 cm alkuperäisestä lattiatasosta. Tukivarret valitaan ja asennetaan niin, että lattialaatat kestävät laitekaappien ja niihin asennettujen laitteiden painon. Sen jälkeen Active Floor -puhallin sijoitetaan esim. laitekaapin alla olevaan asennustilaan, jotta sisääntuloilman virtaus saadaan mahdollisimman tehokkaaksi.

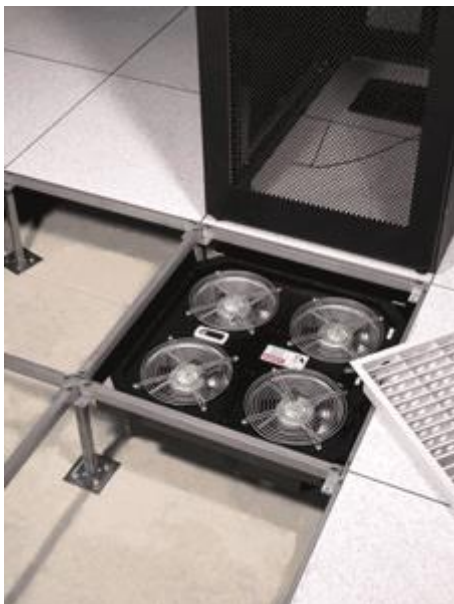
Vakioilmastointikoneilla tuotettu kylmä ilma johdetaan suoraan lämpökuorman lähteelle suuntaamalla ilmavirta tarkoin oikeaan kohteeseen. Kuva 4. (15. s.2)





Kuva 4. Active Floor puhallin laitekaapin ilman sisääntulon edessä. (15. s. 2)

Active Floor on asennettavissa yleisimpiin markkinoilla oleviin modulaarisiin asennuslattioihin. Lisäksi usein järjestelmän moduulit voidaan asentaa jo valmiiksi olemassa oleviin konesaleihin, joissa tarvitaan perinteisiä ratkaisuja tehokkaampia jäähdytysratkaisuja. Kuvasta 5 näkyy lattioiden korotus ja Active Floor -asennus kokonaisuudessaan kuvitettuna. (15. s. 7)



Kuva 5. Kuva Active Floor -asennuksesta. (16)

#### 4.1.2 Nestejäähdytys

Vesijäähdytystekniikkaa on käytetty laajasti konosalien jäähdytyksessä. Nestejäähdytyksessä periaatteena on siirtää laitteiden tuottama lämpö jäähdytysnesteeseen mahdollisimman lähellä lämmön lähdettä. Näin ollen nestejäähdytys on tehokas jäähdytystapa erityisesti suuren lämpömäärän tuottaville komponenteille, erityisesti prosessoreille. Verrattuna ilmajäähdytykseen, vesijäähdytystekniikassa nesteellä on korkeampi lämmönsiirtokyky kuin ilmalla. Nestejäähdytystekniikalla pystytään siis poistamaan suurempi määrä lämmennettyä ilmaa. Nesteenä voidaan käyttää vettä tai jäähdytysnestettä. Kuitenkin nestejäähdytystekniikan käyttö konosalin pääjäähdytysjärjestelmänä voi nostaa jäähdytyskustannuksia ja lisätä järjestelmän monimutkaisuutta. (11. s. 49)

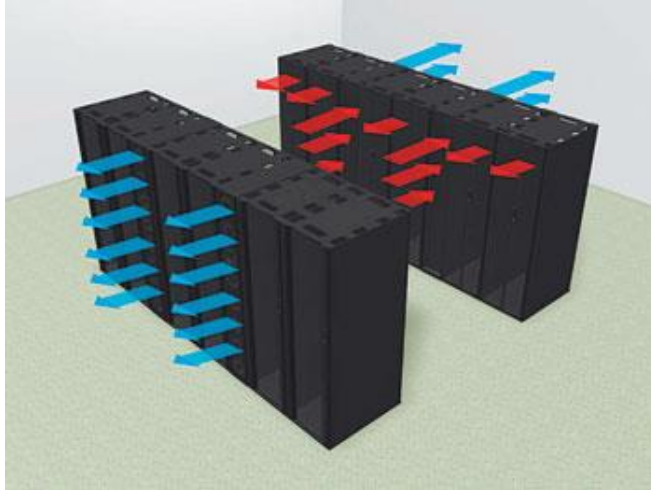
Jotkut yhtiöt, kuten Intel, suosittelevat, että nestejäähdytystekniikkaa hyödynnetään rajoitetusti vain sellaisissa erikoisemmissä komponenteissa, jotka ovat lämpökapasiteetiltaan tiheämpiä. Mooren lain mukaan tehokkuus mikrosiruissa on yhä kasvamassa ja samalla niiden koot muuttuvat yhä pienemmiksi. Näin ollen ne vaativat tehokkaampaa keskitettyä jäähdytystä. Asiantuntijoiden mukaan nestejäähdytyksen eri variaatiot yleistyvät konosalitekniikassa vähintään yhtäaikaisesti jonkun muun jäähdytystekniikan rinnalla. (11. s. 49)

Nestejäähdytyksestä on olemassa useita eri variaatioita, joita voidaan käyttää palvelinkaappien jäähdyttämisessä. Eräs jäähdytystapa on nimeltään Liquid-cooled door, joka toimii niin, että nestejäähdytysjärjestelmä on integroituna palvelinkaapin takaoveen ja se viilentää laitekaapissa kulkevaa ilmaa huoneenlämpöiseksi ja siten poistaa kuumuuden palvelinlaitteilta. Tämä järjestelmä käyttää huoneessa olevaa ilmaa ja siten vaatii palvelinhuoneeseen oman jäähdytystekniikan. (11. s. 49)

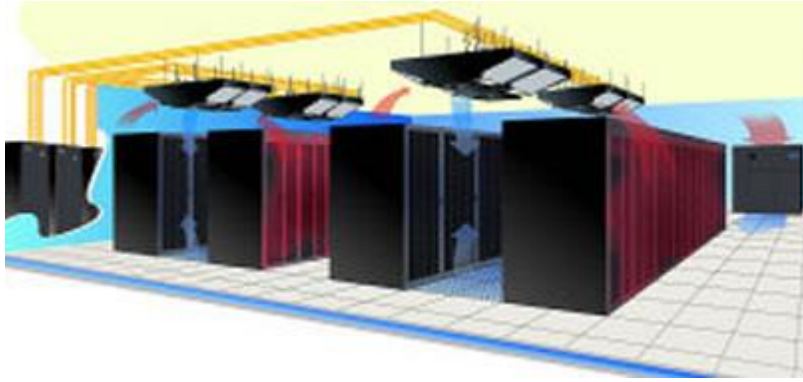
Toinen samankaltainen toteutustapa on niin sanottu closed-liquid rack eli suljettu palvelinkaappi. Siinä on erillinen lämmönvaihdin, joka poistaa lämmön palvelinkaapin laitteilta. Lämmönvaihdin on kytketty nestejäähdytysjärjestelmään, joka siirtää lämmön nesteeseen. Tämä tekniikka on itsenäinen eikä muodosta ilmankiertoa palvelinhuoneeseen. Lisäksi se on myös usein hiljainen, koska siinä ei ole suuria tuulettimia. Jos jäähdytysjärjestelmän toiminta estyy esimerkiksi laitevian

vuoksi, on palvelinkaapin kehikot avattava manuaalisesti, jotteivät laitekaapin laitteet ylikuumene. (11. s. 49)

On olemassa kolmaskin nestejäähdytystapa, jossa on kaksi strategiaa ja joita käytetään usein yhtäaikaisesti. Nämä ovat inrow liquid cooling, (kuva 9) ja overhead liquid cooling, (kuva 10). Inrow liquid cooling tarkoittaa sitä, että laitekaapit sijoitetaan vierekkäin, jotta saadaan tehokkaampi ja keskitetty lämmönsiirto. Overhead liquid cooling tarkoittaa, että käytetään kuuma- ja kylmäkäytävätekniikkaa, jossa kuuma ilma nousee kuumakäytävässä ylöspäin ja yläpuolella oleva jäähdytin nappaa sen. Jäähdyttimessä kuumaa ilmaa viilennetään ja sitten palautetaan takaisin laitteiden käyttöön usein lattian alaosaan. Nämä variaatiot poistavat lämmön lähellä lämmönlähdettä ja siten eivät kuormita huoneen lämpötilaa, vaikka siellä olisi huoneilmavirtausta. Näiden kahden tekniikan yhtäaikaisen käytön etu on se, että ne ovat kaappiriippumattomia ja eivät ole rajoitettu johonkin tiettyyn valmistajaan. Haittapuolena nämä tekniikat vievät kuitenkin paljon tilaa. (11. s. 49)



Kuva 6. Inrow liquid cooling –menetelmä.



Kuva 7. Overhead liquid cooling -menetelmä.

Eräs päähuolenaihe nestejäähdytystekniikan käytössä on mahdollinen nesteen vuotaminen lähellä palvelinlaitteistoa. Nesteen joutuminen komponenteille aiheuttaa lähes välittömän järjestelmän vikaantumisen ja voi pahimmillaan aiheuttaa kalliit korjauskustannukset. Yleensä nykyisin nestejäähdytystekniikkaa käyttävät laitteet on valmistettu laadukkaista osista ja ovat yleensä luotettavia. Lisäksi erilaiset kattavat nestejäähdytystekniikan valvontamenetelmät mahdollistavat jatkuvan valvonnan ja nopean reagoinnin vikaantumisen sattuessa. (11. s. 50)

#### 4.1.3 Nesteupotusmenetelmä

Nesteupotusmenetelmä on jonkin verran harvinaisempi jäähdytysmenetelmä. Sitä käytetään vain erikoistilanteissa, joissa tarvitaan nopeaa ja keskitettyä jäähdytystä suuren lämpökuorman omaaville komponenteille. Harvinaisuudestaan huolimatta nesteupotus ei ole kuitenkaan uusi menetelmä. IBM on käyttänyt sitä jo yli 20 vuotta erilaisissa komponenttien testausympäristöissä. Nykyisin nesteupotusmenetelmä on hieman yleistynyt konesaleissa, koska sen käyttöönotto on yksinkertaisempaa ja halvempaa kuin tavallisten nestejäähdytysmenetelmien käyttö. (11. s 50.)

Muun muassa SGI:n ja Intelin supertietokoneet pidetään viileinä upottamalla ne suoraan jäähdytysnesteeseen. Jäähdytys tapahtuu suosituilla 3M:n kehittämällä erikoisnesteellä, joka virtaa suoraan komponenttien päälle. Erikoisneste, jota käytetään upotusaineena, on Novec- nestettä, joka on käsitelty fluorilla. Novec- neste viilennetään erillisen nestejäähdytysjärjestelmä avulla, jolloin järjestelmän sähkökulut ovat hyvin pienet. Tämä tekniikka vähentää jäähdytyskuluja parhaimmillaan jopa 95

prosentilla. Jäähdytysnesteinä toimivat myös erilaiset mineraaliöljyt, mutta tutkimusten mukaan 3M:n kehittämä Novec on todettu kaikkein parhaimmaksi. Se on muun muassa ympäristöystävällisempää kuin useimmat muut öljyt ja se ei ole tulenarkaa. (17)

Intelin mukaan upotusmenetelmä voi parhaimmillaan tuottaa suuret säästöt esimerkiksi infrastruktuurissa. Käyttäjät voisivat operoida palvelimia ilman kömpelöitä jäähdytyslementtejä, kuumakäytäviä, CRAC- yksiköitä, tuulettimia tai muita ilmajäähdytykseen liittyviä tekijöitä. Upotusmenetelmän käytössä olisi lisäksi positiivisia vaikutuksia niin laitteisto- kuin laitospuolellakin. Ilmavirtauksia, pölyä tai tuulettimista aiheutuvia ääniä ei olisi. Lisäksi siisti ympäristö ja elegantti muotoilu olisivat mahdollisia, koska jäähdytyslementtejä, tuulettimia tai tuuletuskanavia ei olisi. (11. s. 52)

Jos jäähdytettävä laite tai elementti pitäisi poistaa jäähdytystankista, se tulisi ulos kuivana. Se ei olisi märkä, tahmea tai öljyinen. Kuivaus- tai kangasliinoja ei myöskään tarvittaisi. (11. s 52)

Toinen hyöty upotusmenetelmässä olisi se, että se pystyisi pitämään matalan lämpötilan ilman lämpötilanvaihtelua tai kuumia alueita. Myös tuulettimien rikkoutumisista aiheutuvat lämpötilavaihtelut olisi eliminoitu, koska järjestelmä olisi tuuletinvapaa. Lisäksi upotusmenetelmä parantaisi luotettavuutta, koska jäähdytysnesteinä käytettävä käsitelty öljy suojaisi korroosiolta, sähkömagneettiselta säteilyltä, kosteudelta ja ympäristöstä aiheutuvilta epäpuhtauksilta. (11. s. 52)

Hyvä ominaisuus on se, että minkä tahansa kokoista tai muotoista komponenttia tai levyä voisi jäähdyttää upotusmenetelmällä, sillä säiliöt ovat yleensä suurikokoisia ja monikäyttöisiä. Myöskään ympärillä oleva ilmasto ei vaikuta upotusmenetelmän toimintaan eikä järjestelmän käyttö kuormita luontoa. (11. s 52)

#### 4.1.4 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytysmenetelmä jäähdyttää konesaleja hyödyntämällä luonnon omia energiavaroja. Päämääränä on laskea energiakustannuksia käyttämällä erillistä lämmönsiirrinjärjestelmää, joka siirtää esimerkiksi suodatetun ulkoilman palvelimien ja laitteiden käyttöön. Lämmin ilma siirretään pois palvelimilta viileän ilman tieltä

samaa periaatetta käyttämällä. Vapaajäähdytysmenetelmä on suosittu ja sitä ovat käyttäneet laajasti muun muassa jättiyritykset Intel, Google ja Microsoft. (11. s. 55)

Vapaajäähdytys soveltuu lähes kaikkien teollisuuden prosessien sekä toimi- ja liiketilojen jäähdyttämiseen. Viileät olosuhteet tehostavat jäähdytystä ja etenkin pohjoismaissa menetelmä on suosittu, koska niissä on pääosin kylmät talvet ja viileät kesät. Menetelmää voidaan siis usein käyttää ympärivuotisesti. (19. s. 4) Kuitenkin joillakin alueilla liian kuuma ilmasto tai ilman kosteus estävät vapaajäähdytyksen käytön (11. s. 56).

Vapaajäähdytys voidaan toteuttaa osatehovapaajäähdytyksellä tai täydellä vapaajäähdytyksellä. Osatehovapaajäähdytyksessä neste jäähdytetään jäähdytyspatterissa ja sen jälkeen tarvittaessa höyrystimessä kompressorilla. Täysi vapaajäähdytys tapahtuu jäähdytyspatterissa. Käytettävän vapaajäähdytyksen osuus kokonaistehosta riippuu vallitsevan ympäristön lämpötilasta, palaavan nesteen lämpötilasta ja täydestä jäähdytyskuormasta. (19. s.5)

Intel suoritti vuonna 2007 kymmenen kuukautta kestäneen testin käyttämällä pelkästään kylmää ulkoilmaa jäähdyttämään suurta datakeskusta New Mexikossa. Datakeskus oli varustettu 900 raskaalla tuotantopalvelimella ja yli sadalla pienemmällä palvelimella. Tässä testissä järjestelmä käytti 100-prosenttista ilmanvaihtoa lämpötilanvaihtelulla 18 °C ja 32 °C. Lisäksi testissä huomioitiin ilmakestius, joka asetettiin suotuiselle tasolle, ja ilman suodatus minimoitiin. Tuloksena saatiin yli 2,87 miljoonan dollarin säästö energiakustannuksissa. (11. s. 55)

#### 4.1.4.1 Kylmän ulkoilman käyttö

Ensimmäinen vapaajäähdytyksen menetelmä on käyttää kylmää ulkoilmaa, joka puhalletaan suoraan laitteiden käyttöön. Ennen käyttöä ilmasta poistetaan kosteus ja suodatetaan epäpuhtaudet. Tämä tekniikka vaatii ehdottomasti varajäähdytysjärjestelmän, joka voi toimia itsenäisesti tai pääjäähdytysjärjestelmän rinnalla Jos muita vapaajäähdytyksen keinoja ei ole saatavilla, voidaan käyttää tätä menetelmää ja saada silti huomattavia säästöjä energiakustannuksissa. (11. s. 55)

#### 4.1.4.2 Kylmä järvi-, meri- tai pohjavesi

Toinen jäähdytysmenetelmä on käyttää kylmää järvi-, meri- tai pohjavettä. Esimerkiksi merivedellä jäähdytetty vesi voidaan johtaa suoraan kiertoan konesaliin, jossa se jäähdyttää palvelimia ja laitteita lämmönvaihtimen avulla. Esimerkiksi Googlen palvelinkeskus Haminassa käyttää juuri tätä jäähdytystapaa. Kuitenkin kesällä Suomen-lahden merivesi lämpenee hieman, jolloin jäähdytyksen teho laskee. Silloin jäähdytystä täytyy tilapäisesti tehostaa esimerkiksi kylmäkoneen avulla. (20)

Eräs jäähdytystapa on käyttää kylmää pohjavettä. Joillakin alueilla pohjaveden käyttö on edullisempaa kuin meri- tai järiveden käyttö. Pohjavesi on tasaisen kylmää ympäri vuoden eikä se lopu kesken. Esimerkiksi Salpausselkä pursottaa pohjavettä Upon vanhan liesitehtaan tiloihin noin 100 kuutiometriä vuorokaudessa. Tiloihin tuleva vesi on noin kuusiasteista ja se varastoidaan altaisiin, joista se johdetaan jäähdyttämään nykyistä LahtiNetworksin konesalia. (21)

#### 4.1.4.3 Jäähdytys kaukojäähdytyksen avulla

Yksi energiatehokas jäähdytystapa on kaukojäähdytysmenetelmä. Erityisesti suurissa kaupungeissa kaukojäähdytyksen käyttö on yleistymässä. Toiminnaltaan kaukojäähdytys muistuttaa kaukolämpöä mutta putkistoissa kulkee kuumaa vettä sijaan kylmä vesi. Jäähdytysenergian jakelu rakennuksiin tapahtuu putkistoverkoston kautta ja energian tuottaja on aina energiayhtiö. Kaukojäähdytyksellä voidaan mainiosti korvata perinteiset kompressorijäähdytysmenetelmät, jotka kuluttavat paljon sähköä ja joissa jäähdytysaineena käytetään ympäristölle haitallisia HCFC-yhdisteitä. (22)

Kaukojäähdytysmenetelmässä tilaa vapautuu muuhun käyttöön, koska suurien CRAC – yksiköitä, pumppuja, kuumakäytäviä ja muita jäähdytystarvikkeita ei tarvita. Kylmä vesi ohjataan putkiston kautta suoraan laitteiden käyttöön. Valvonta on usein mahdollista ulkoistaa suoraan energiayhtiölle. (23. s. 5 )

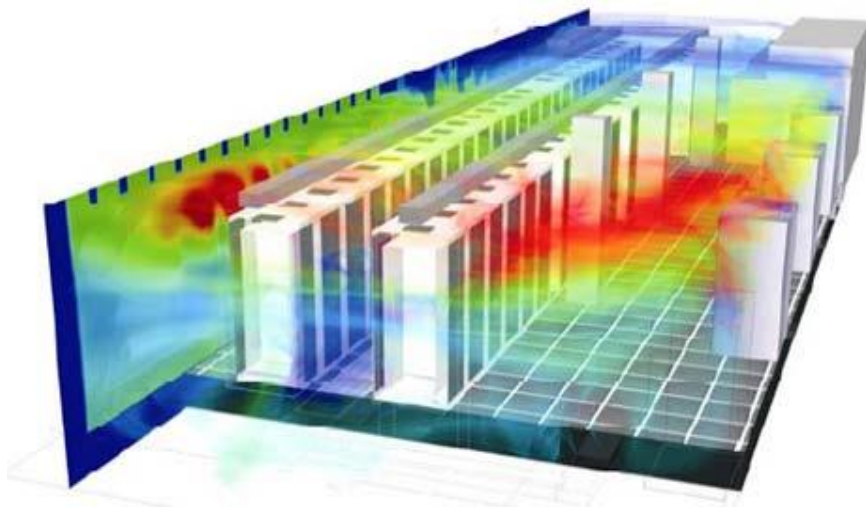
Nykyisin kaukojäähdytyksen yleistyessä joutuvat energiayhtiöt varaamaan kylmää vettä energiakuorman helpottamiseksi. Näin ollen on kehitetty niin sanotut kylmäakut. Helsingin energia toteutti vuosina 2011-2012 massiivisen projektin, jossa louhittiin Pasilan alle 11,5 miljoonaa litraa vettä varastoiva kylmäallas. Kylmäakun tehtävä on

varastoida kylmää vettä ja tasata kulutushuippuja jäähdyttämisessä. Akussa kylmä ja lämmin vesi kerrostuvat ja automaatiojärjestelmä seuraa jatkuvasti lämpötiloja eri kerroksilla. Tarvittaessa se ohjaa kylmän ja lämpimän veden rajaa ja tämän tiedon perusteella se laskee akun varauksen sekä ohjaa akun latausta ja purkamista. Yleisesti kylmäakun lataus tapahtuu silloin, kun kulutus on pientä. (24)

#### 4.2 Virranhallintateknologiat

Ilmajäähdytysmenetelmät ovat vieläkin suosituimpia jäähdytysmenetelmiä konesalien keskuudessa. Usein huoneen lämpötila on säädetty johonkin määrättyyn kohtaan. Uudet virranmittaus- ja virranhallintateknologiat on luotu, jotta pystytään monitoroimaan, hallitsemaan ja parantamaan energiatehokkuutta ilmajäähdytyksessä. (11. s. 53)

Eräs esimerkki on IBM:n kehittämä MMT -järjestelmä (Measurement and Management Technologies). Se on järjestelmä, joka auttaa havainnollistamaan ja ymmärtämään lämpöjälkiä konesaleissa. Lisäksi se auttaa ilman virtauksen hallitsemisessa. MMT-tekniikka antaa yksityiskohtaisen kolmiulotteisen kuvan konesalin lämpötiloista. Järjestelmän tarkoitus on estää ylijäähdytys ja säästää sähkökuluissa. Järjestelmää testattiin Toyota Motor Salesin suurissa tiloissa viiden kuukauden ajan. Järjestelmän ansiosta yhtiö saattoi huoletta sammuttaa kaksi CRAC- yksikköä ja säästää huomattavasti energiakuluissa. Ohessa oleva kuva kertoo miltä MMT- järjestelmän tuottama lämpöjälkikuva näyttää (11. s 54).



Kuva 8. MMT- järjestelmää vastaava lämpöjälkikuva, jossa näkyy muun muassa kuumat tilat ja ilmavirtaukset. (18)



Toinen vastaava järjestelmä on nimeltään Kool-ITTM, jonka on kehittänyt AFCO Systems-yhtiö (11. s 54).

#### 4.3 Pääasiallisten jäähdytysjärjestelmien vertailu

Jäähdytysmenetelmät pyritään yleisesti valitsemaan niin, että hyötysuhteet maksimoituvat. Liian tehokkaat jäähdyttimet ylijäähdyttävät, ja tehottomuus voi taas aiheuttaa laitteiden kuumenemistä. IBM:n mukaan nestejäähdytys on paras ratkaisu vain paljon kuumuutta tuottaville laitteille, esimerkiksi suuren tehotiheyden omaaville prosessoreille. Tätä perustellaan nesteen suurella lämmönjohtamiskertoimella. (11. s. 54)

Kuitenkin Intelin tutkimusten mukaan nestejäähdytys toimii erinomaisesti koko datakeskuksen pääjäähdytysjärjestelmänä. Erilaisia näkemyksiä siis on. Suuryhtiöiden mukaan kuitenkin ilmajäähdytysjärjestelmät ovat pääosin edullisia ratkaisuja ja energiatehokkuudeltaan keskitasoa. Vapaajäähdytys on tutkitusti myös erittäin energiatehokas ratkaisu konesalin jäähdytysratkaisuksi. Nykyisin kuitenkin suositetaan erilaisten jäähdytysjärjestelmien samanaikaista käyttöä. Jotkut yhtiöt käyttävät esimerkiksi vapaailmajäähdytystä pääjäähdytysjärjestelmänä ja lisäksi tehostavat tarvittaessa jäähdytystä ottamalla käyttöön nestejäähdytysjärjestelmän. (11. s. 54)

Jälkikäteen asennettu ilmajäähdytysjärjestelmä, jossa on uudet virranhallintajärjestelmät, on kohtuullisen hintainen. Tämä johtuu siitä, että järjestelmän vaatimat tarvikkeet ja välineistö ovat helposti saatavilla ja ovat pääosin myös edullisia. IBM:n mukaan nestejäähdytysjärjestelmän asennus jälkikäteen on taas kohtuuttoman kallista, koska nesteputket, joissa neste virtaa, pitää asentaa. Nesteputkien asennus on kallista ja tarkkaa työtä ja se vaatii usein myös huippuammattitaitoa. Lisäksi nestejäähdytyksen tyyppistä riippuen palvelimia ja laitteita pitää usein siirrellä, mikä tarkoittaa ainakin laitteiden osittaista sammuttamista. Esimerkiksi upotusmenetelmän jälkiasennus edellyttää, että laitteiston emolevyt on erikseen irrotettava ja siirrettävä nestesäiliöön. Tämä tarkoittaa käytännössä koko datakeskuksen kokonaisvaltaista käsittelyä ja siirtämistä, operaatio on kallis ja aikaa vievä. (11. s 54)

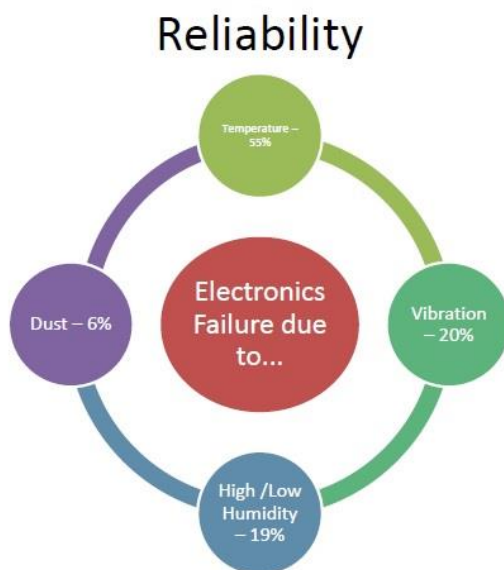
Ilma- ja nestejäähdytysjärjestelmät eivät ole säariippuvaisia. Vapaailmajäähdytys on puolestaan vahvasti riippuvainen vallitsevasta ilmastosta joten se vaatii viileät olosuhteet, jotta jäähdytyksestä saadaan maksimaalinen hyöty. (11. s. 54)

Taulukko 4. Tässä on keskeisten jäähdytysmenetelmien ominaisuuksia. (11. s. 54)

Comparison of cooling methods			
Different cooling methods	A/C with powermanagement technologies	Liquid cooling	Free cooling
Energy efficiency	Medium	High for high power density but medium for whole data centers	High
Retrofit cost	Medium	High	Medium
Weather dependence	Low	Low	High

#### 4.4 Potentiaaliset riskit

Tässä osiossa käsitellään konesalikeskuksien riskitekijöitä. Konesalien erilaiset vikatilanteet johtuvat usein pölyn, lämmön, kosteuden tai tärähdyksen aiheuttamista komplikaatioista (kuva 9). Lisäksi tässä osiossa käsitellään muita mahdollisia vikatilanteisiin johtavia riskitekijöitä (30).



Kuva 9. Tässä kuvassa esitetään konesalin elektroniikan vikatilanteiden syitä. (30)

#### 4.4.1 Lämpösykliä aiheuttamat ongelmat

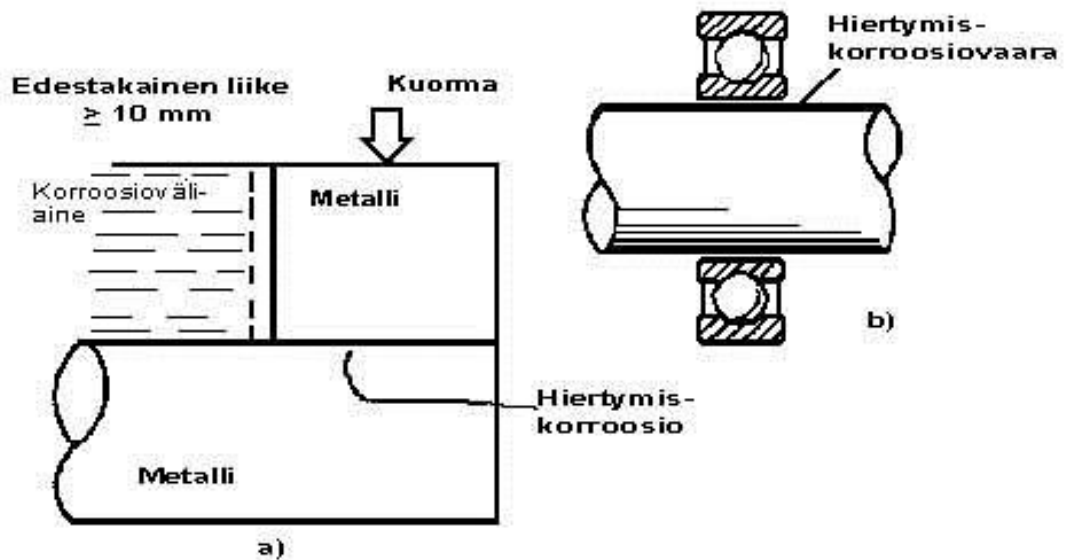
Yleisesti ottaen vapaailmajäähdytyksellä tuotettu laitteiston käyttölämpötila on altis ulkoilman lämpötilojen vaihtelulle. Tämä voi vaikuttaa laitteiden käyttöikänsä ja aiheuttaa toimintavarmuushuolia. Joskus kosteusarvojen kontrollointia on vähennetty, jotta säästetään niihin liittyvissä menoissa. Tämä kuitenkin voi aiheuttaa laitteiston erilaisia vioittumistilanteita. (11. s. 71)

Intel on tutkinut laitteiden käyttöikänsä vapaailmajäähdytyksessä. Yhtiö on todistanut tutkimuksillaan, että keskimääräinen vuorokautinen lämpötilanvaihtelu voi olla lämpöasteikolla 13-17 C°. Tällöin laite, jonka käyttöikä on noin viisi vuotta, altistuu 1825 lämpötilasyklille. Tämä puolestaan kiihdyttää erityisesti tuulettimien loppuun kulumista. Loppuun kulumisella tarkoitetaan tässä tapauksessa vikaantumista, eli mitä enemmän laite kuluu, sitä todennäköisemmin se voi vikaantua. Kun laitteiden käyttölämpötila muuttuu, algoritmi muuttaa tuulettimien nopeutta joko jäähdyttääkseen tai lämmittääkseen. Esimerkiksi, jos lämpötila yllättäen nousee, palvelinten sisäiset tuulettimet nostavat kierrosnopeutta jäähdyttääkseen tehokkaammin. Kun lämpötila on palautettu tuuletuksen ansiosta sopivalle tasolle, tuulettimet palautuvat vakiokierrosnopeudelle. (11. s. 72)

Optimaalinen tilanne olisi siis täysin lämpötilaneutraali konesali, jossa ei olisi käyttölämpötilan vaihteluja. Tämä estäisi tuulettimien algoritmia muuttamasta kierrosnopeutta ja näin vähentäisi kulumista. (11. s. 72)

#### 4.4.2 Korroosio

Jotkut virheet saattavat aiheuttaa epäsuorasti vapaailmajäähdytyksen käytössä sen, että potentiaaliset vikaantumismekanismit tulevat enemmän aktiivisiksi uudessa toimintaympäristöissä. Eräs mekanismi, joka aiheuttaa vikatilanteita, on korroosio. Sillä on erilaisia muotoja ja niitä ovat esimerkiksi sähkökemiallinen korroosio, hiertymiskorroosio ja galvaaninen korroosio. Korroosio voi ns. tarttua erilaisiin metallisiin komponentteihin huonosti kontrolloidussa ympäristöissä. Erityisesti virtapiirit, liittimet, liitospinnat ja suoritinkannat ovat alttiita. Korroosiota aiheuttaa ilmankosteus ja ilman epäpuhtaudet. On siis erityisen tärkeää, että vapaailmajäähdytyksessä ilma suodatetaan perusteellisen hyvin ja siitä poistetaan kosteus. (11. s. 76) Seuraavassa kuvassa havainnollistetaan tyypillistä hiertymiskorroosiota.



Kuva 10. Hiertymiskorroosio: a) periaatteellinen esitys, b) tavanomainen esiintymispaikka käytännön rakenteissa. (29)

#### 4.4.3 Saasteet

Erilaiset saasteet ovat potentiaalinen riski sellaisissa konesaleissa, jossa käytetään vapaajäähdytystä. Käyttämällä luonnon omia energiavaroja samalla imetään ympäristössä olevat saasteet konesaleihin. Monien tutkimusten mukaan erilaiset laitteiden vikaantumiset ovat lisääntyneet etenkin sellaisissa konesaleissa, jotka sijaitsevat teollisuusalueiden lähetyvillä. (11. s. 74)

Kaasumaiset saasteet konesaleissa voivat aiheuttaa muun muassa korroosiota. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen muodostaa rikkidioksidi- (SO<sub>2</sub>) ja typen oksidi- (NO<sub>2</sub>) päästöjä ja muun muassa nokea. Rikkidioksidi liukenee helposti veteen ja voi päästä konesaliin esimerkiksi sellaisissa tapauksissa, joissa jäähdytetään palvelimia meriveden avulla. Esimerkiksi kloridi-ionit syövyttävät useita metalleja ja hydrosulfaatti (H<sub>2</sub>S) syövyttää kaikenlaisia kupariseoksia ja hopeaa kaikilla kosteustasoilla. (11. s. 74)

Kaasumaiset ja pienhiukkassaasteet voivat aiheuttaa mekaanisia ja elektronisia vikaantumisia etenkin sellaisissa konesaleissa, joissa ei ole kunnollista pölyn, lämpötilojen, kosteuden ja saasteiden suodatusta. (11. s. 74)

## 5 ENERGIATEHOKKUUDEN PERIAATTEET KONESALEISSA

Tässä osiossa kuvataan yleisellä tasolla konesalien energiatehokkuuden tekijöitä ja pääperiaatteita.

### 5.1 Sähköä kuluttavat kohteet ja niiden merkitys

Konesaleissa sähköä kuluttavat erityisesti IT-laitteet, jäähdytysjärjestelmät, ilman kosteutta säätelevät järjestelmät, valaistus ja valvontalaitteet. Konesalien energiantarve on muodostunut merkittäväksi haasteeksi koko IT-alalle ja sillä on kasvava merkitys myös yhteiskunnallisesti. IBM:n laskelmien mukaan konesalien jatkuvista käyttökustannuksista jopa 75 % kohdistuu sähkönkulutukseen ja investointikustannuksista 60 % sähkötekniisiin laitteisiin. (25. s. 7)

Vuonna 2007 Yhdysvaltain ympäristösuojeluviranomaisen EPA:n (U.S Environmental Protection Agency) laskelmien mukaan konesalien osuus Yhdysvaltojen sähkönkulutuksesta oli jopa 1,5 prosenttia. Tämä on noin 60 terawattitunnin vuosittaista sähkönkulutusta, mikä on kaksi kolmasosaa Suomen koko sähkönkulutuksesta. Kuitenkin arvioitaessa on otettava huomioon Suomen pitkä lämmityskausi. Suomen konesalien sähkönkulutus on arvioiden mukaan noin 0,5-1,5 prosenttia kaikesta sähkönkulutuksesta. Suomen konesalien sähkönkulutus on kaksinkertaistunut viimeisten viiden vuoden aikana, ja juuri se tekee tilanteesta erityisen haastavan. (25. s. 7)

Konesalien energiatehokkuutta kuvataan PUE-luvun (Power Usage Effectiveness) avulla. Luku ilmaisee konesalin palvelinten kuluttaman energian ja koko konesalin energiankulutuksen välisen suhteen. Yleisesti ottaen, mitä energiatehokkaampi konesali, sitä pienempi PUE-luku. Aikaisemmin PUE-luvun teoreettinen ja tavoiteltu raja-arvo oli 1, mutta uusi raja-arvo on 0. Uuden raja-arvon saavuttaminen edellyttää, että hukkalämpö otetaan hyötykäyttöön. (25. s. 7)

Konesalien energiatehokkuuden suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota kaikkiin osaluokiin, mukaan lukien palvelinten energiatehokkuus. Esimerkiksi palvelinten energiatehokkuuden kasvaessa PUE-luku kasvaa, jos konesalien energiatehokkuutta ei pystytä parantamaan. (25. s. 7)

## 5.2 Konesalin energiatehokas jäähdytys

Hukkalämmön hyödyntämisellä ja jäähdytykseen kuluvan energian vähentämisellä on konesaleissa suuri merkitys. Tyypillisen konesalin suurimmat energiasyöpöt ovat palvelimet ja jäähdytysjärjestelmät. (25. s. 8)

Jäähdytyksen energiatehokkuuden merkittävimmät parantavat toimenpiteet ovat palvelinten optimaalinen sijoittelu, jäähdytysilman kohdentaminen, keskitetyn ja dynaamisen jäähdytysratkaisun hyödyntäminen, vapaajäähdytyksen hyödyntäminen ja hukkalämmön hyötykäytön hyödyntäminen. (25. s. 8)

Keskeinen asia energiatehokkuudessa on tarkastella, miten jäähdytykseen tarvittava energia tuotetaan. Saadaanko se esimerkiksi muualta, miten tehokkaasti ja miten ylimääräinen lämpö voidaan hyödyntää siellä, missä tarvitaan lämmitystä? (25. s. 8)

## 5.3 Hukkalämmön hyötykäyttö

Hukkalämpöä voidaan hyödyntää useallakin tavalla. Eräs ratkaisu on ottaa palvelimien ja laitteiden tuottama hukkalämpö talteen lämmönvaihtimien avulla ja ohjata se hyötykäyttöön energiayhtiön kaukolämpöverkkoon. Academican konesali Helsingin Katajanokalla käyttää nimenomaan tätä ratkaisua hyödyntääkseen hukkalämpöä. (26)

Telehouse West on Telehouse-yhtiön uusi konesali Lontoossa. Se valmistui vuonna 2010 ja se käyttää hukkalämpöä lämmittääkseen vieressä olevia kerrostaloasuntoja. Lämmin vesi ohjataan erilliseen lämpöverkkoon ja sieltä paikallisiin asuntoloihin. Kyse ei ole pienestä konesalista vaan suuren kokoluokan konesalikeskuksesta. Sen budjetti on noin 121 miljoonaa Yhdysvaltain dollaria ja koko lähes 15 000 m<sup>2</sup>. Se on Telehouse-yhtiön 35. konesali ja konesalien yhteinen hiilijalanjälki on valtava. Pelkästään Telehouse West -konesali vähentää hukkalämpötekniikallaan hiilijalanjälkeä yli 1110 tonnilla vuodessa. (27)

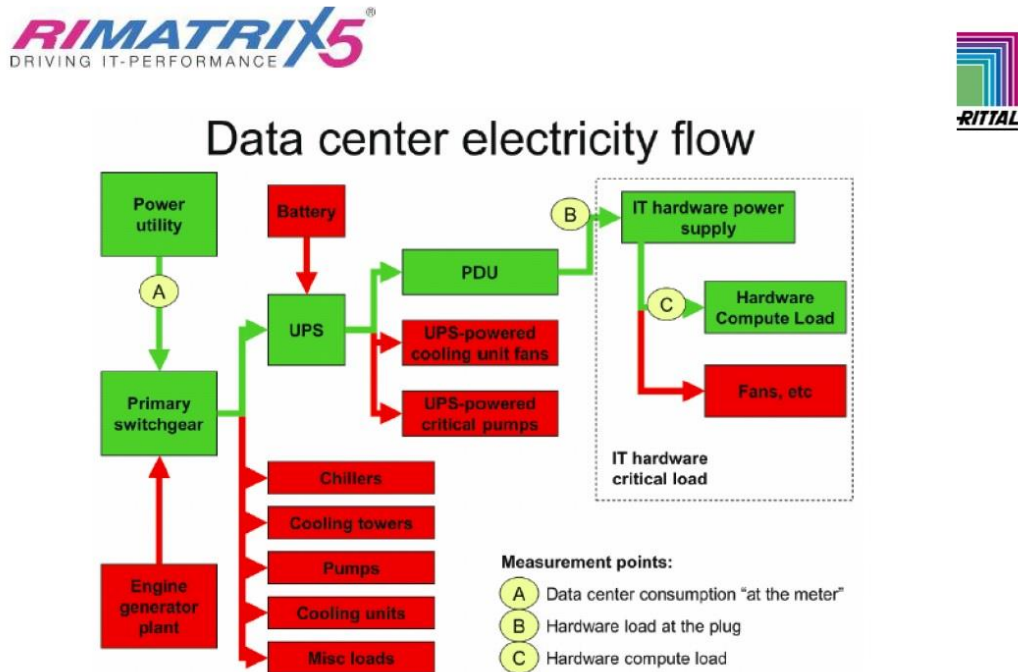
Puolestaan Sveitsissä uusi IBM:n konesali lämmittää lähistöllä sijaitsevan uimahallin vesialtaita. Hukkalämpö otetaan talteen lämmönvaihtimien avulla ja ohjataan kaupungin uimahallin tiloihin. Kaupunki maksoi osan laitteistosta, joka ohjaa lämpimän veden vesipuiston tiloihin. Kuitenkin täysin ilmainen vedenlämmitys

maksaa itsensä nopeasti takaisin. Hukkalämpöä hyödyntämällä GIB-Services -konesali pienentää 130 tonnilla hiilijalanjälkeä vuodessa. GIB-Services -konesali olisi vastaavasti voinut lämmittää jopa 80 asuntoa. Kuitenkin uimahallin tilat valittiin, koska asuntolat sijaitsivat liian kaukana. (28)

IBM:n mukaan uimahallin altaiden lämmittäminen konesalien hukkalämmön avulla on kekseliäs ratkaisu. Tämä kertoo siitä, että konesalien hukkalämpöä voidaan hyödyntää lukemattomilla tavoilla. Konesalit ovat lämmöntuottokeskuksia, ja niiden avulla voidaan lämmittää esimerkiksi asuntoloita, omakotitaloja, uima-altaita, liiketiloja tai mitä vain, missä tarvitaan lämpöenergiaa. Lisäksi nykyisin huoli ilmastonmuutoksesta painostaa yrityksiä ottamaan huomioon hiilijalanjäljen. Tätä voidaan hallita varsin tehokkaastikin käyttämällä esimerkiksi hukkalämpöä hyödyksi. (28)

#### 5.4 Konesalin laitteiden kytkentäperiaate

Energiatehokkaan konesalin suunnittelussa pitää huomioida järjestelmän kytkentä ja mitoittaa laitteet tehon mukaan sopivasti. Seuraavassa kuvassa on kaavio, josta ilmenee karkea kytkentäperiaate. (Kuva 11)



Kuva 11. Tässä kuvassa on konesalin keskeisiä laitteita ja niiden karkea kytkentäperiaate. (31)

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää konesalien jäähdystekniikan perusteita, variaatioita ja koota tietoa eri toimintaperiaatteista sekä dokumentoida kerätty tieto Kyamkin tulevaa datakeskusprojektiä varten. Tietoa erityyppisistä ratkaisuista hankittiin verkon kautta ja Optimum cooling of Data Centers -kirjasta. Verkosta hankittu materiaali oli pääasiassa osa-alueita käsitteleviä raportteja ja erilaisia dokumentteja. Varsinaisia konesaleihin liittyviä suomenkielisiä kirjoja ei löytynyt kirjastosta eikä kirjakaupoista.

Opinnäytetyön toteuttaminen oli erittäin työlästä siksi, että yhtenäistä materiaalia oli hyvin vähän tarjolla. Tietoa piti etsiä monista lähteistä ja koota niistä yksi yhtenäinen kokonaisuus. Tiedon hajanaisuus vaikeutti joskus kokonaiskuvan hahmottamista ja se hidasti kaiken halutun datan löytämistä. Lopulta kuitenkin muodostui suhteellisen yhtenäinen kokonaisuus, joka käsittää perustiedot erityyppisistä konesalien jäähdytysjärjestelmistä ja niiden valintaan vaikuttavista tekijöistä.

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun ICT-laboratorioon on tarkoitus rakentaa lähitulevaisuudessa kyberturvallisuuslaboratorio , jonka osana on oma pienehkö konesali. Tämä opinnäytetyö voi mahdollisesti antaa tietoa palvelinkaappien ja koko rakennettavan laittilan jäähdytykseen liittyvissä kysymyksissä.



## LÄHTEET

- (1) Ilmatieteen laitos. Vuositilastot. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot> [viitattu 19.3.2014]
- (2) Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen laitos. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/geo/seismo/maanjaristykset/suomi.html> [viitattu 19.3.2014]
- (3) Ilmatieteen laitos. Hirmumyrskyt Suomen lähialueilla. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/hirmumyrskyt-suomen-lahialueilla> [viitattu 20.3.2014]
- (4) Datacenterknowledge. 10 considerations in building a global data center strategy. Saatavissa: <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2013/02/20/10-considerations-in-building-a-global-data-center-strategy/> [viitattu 24.3.2014]
- (5) Linda, K. 2013 How Chinese censorship works. Saatavissa: <http://www.newrepublic.com/article/115797/bloomberg-news-scandal-how-chinese-censorship-works> [viitattu 29.3.2014]
- (6) Team Finland strategia ulkomaisten investointien edistämiseksi. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/36951/TeamFinland\\_strategia.pdf](http://www.tem.fi/files/36951/TeamFinland_strategia.pdf) [viitattu 1.4.2014]
- (7) Yle. Googlelta jätti investointi Haminaan. Saatavissa: [http://yle.fi/uutiset/googlelta\\_jatti-investointi\\_haminaan/6915349](http://yle.fi/uutiset/googlelta_jatti-investointi_haminaan/6915349) [viitattu 2.4.2014]
- (8) Motiva. Energiatehokas konesali. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas\\_konesali.pdf](http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas_konesali.pdf) [viitattu 3.4.2014]
- (9) Kainuusanomat. Artikkelikonesalien verosiunaus EU:lta. Saatavissa: <http://www.kainuusanomat.fi/Kainuu/1194877537019/artikkeli/konesalien+veroale+sai+siunauksensa+eu+lta.html> [viitattu 6.4.2014]
- (10) Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BB9D6D2F2-A816-4ECF-BE33-B8D56869253D%7D/30752> [viitattu 7.4.2014]

- (11) Jun Dai, Michael M. Ohadi, Diganta Das & Michael G. Pecht. 2014. Optimum Colling of Data Centers. Application of Risk Assessment and Mitigation Techniques. Springer
- (12) Hot aisle containment. Saatavissa: <http://www.42u.com/images/Hot-aisle-containment-42u-750.jpg> [viitattu 8.4.2014]
- (13) Mikko, P. Kylmäkujaa konesaliin. Saatavissa: <https://www.cs.helsinki.fi/story/61816/kylm-kujaa-konesaliin> [viitattu 9.4.2014]
- (14) Motivanhankintapalvelu. Konesalipalvelujen energiatehokkuuden periaatteet . Saatavissa: [http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/227/Konesalipalvelujen\\_energiatehokkuuden\\_periaatteet.pdf](http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/227/Konesalipalvelujen_energiatehokkuuden_periaatteet.pdf) [viitattu 10.4.2014]
- (15) Kojan kauppasivu. Active Floor guide. Saatavissa: [http://www.koja.fi/uploads/pdf/Coolin%20PDF/Uniflair/active%20floor%20v3\\_fi.pdf](http://www.koja.fi/uploads/pdf/Coolin%20PDF/Uniflair/active%20floor%20v3_fi.pdf) [viitattu 12.4.2014]
- (16) Tateinc –yhtiön kauppasivu. Active Floor –jäähdytin. Saatavissa: [http://tateinc.com/products/poweraire\\_quad.aspx](http://tateinc.com/products/poweraire_quad.aspx) [viitattu 12.4.2014]
- (17) Digitoday. Artikkelit supertietokoneiden jäähdyttämisestä. Saatavissa: <http://www.digitoday.fi/tiede-ja-teknologia/2014/04/09/sgin-supertietokoneen-suorittimet-uivat-jaahdytysnesteessa/20145068/66> [viitattu 12.4.2014]
- (18) CFD modeling. Saatavissa: <http://www.datacenterknowledge.com/wp-content/uploads/2008/10/cfdmodeling.jpg> [viitattu 13.4.2014]
- (19) Vapaa jäähdytys. Suunnittelijan opas. Saatavissa: [http://www.vapaaajaahdytys.fi/ladattavat/onninen\\_suunnittelijan\\_net.pdf](http://www.vapaaajaahdytys.fi/ladattavat/onninen_suunnittelijan_net.pdf) [viitattu 16.4.2014]
- (20) Tekniikka ja talous. Artikkelit googlen haminan konesalista. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/ict/googlen+haminan+konesali+otetaan+kayttoon+viikonloppuna/a683568> [viitattu 17.4.2014]

- (21) Renorin kotisivu. Lehtiartikkeli pohjavesijäähdytysmenetelmästä. Saatavissa:  
[http://www.renor.fi/sites/default/files/kylma\\_pohjavesi\\_kullan\\_arvoista\\_ess\\_006102012.pdf](http://www.renor.fi/sites/default/files/kylma_pohjavesi_kullan_arvoista_ess_006102012.pdf) [viitattu 20.4.2014]
- (22) Motivan kotisivu. Energiatehokas konesali –pdf. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas\\_konesali.pdf](http://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas_konesali.pdf) [viitattu 20.4.2014]
- (23) Helsingin energia. Kaukojäähdytys ohje. Saatavissa:  
kotisivu<https://www.helen.fi/Documents/Suunnittelijat%20ja%20urakoitsijat/Kaukoj%C3%A4hdytys/kaukoj%C3%A4hdytys-j%C3%A4rjestelm%C3%A4ohje.pdf> [viitattu 24.4.2014]
- (24) Instan kotisivut. Artikkelit kaukojäähdytyksen ja ja kaukolämmön ohjauksesta automaation avulla. Saatavissa:  
<http://www.insta.fi/automation/artikkelit/kaukojaahdytysta-ja-kaukolampoa-ohjataan-automaaion-avulla/> [viitattu 27.4.2014]
- (25) Motivan kotisivu. Konesalin energiatehokkuuden periaatteet –pdf. Saatavissa:  
[http://www.motiva.fi/files/4427/Konesalipalvelujen\\_energiatehokkuuden\\_periaatteet.pdf](http://www.motiva.fi/files/4427/Konesalipalvelujen_energiatehokkuuden_periaatteet.pdf) [viitattu 27.4.2014]
- (26) Jukka, M. 2010 Hukkalämpö hyötykäyttöön. Saatavissa:  
<http://www.abb.com/cawp/seitp202/e60f38c751dcae1dc125782c002a745d.aspx>  
[viitattu 4.5.2014]
- (27) Rich, M. 2008 Huge Expansion for Telehouse London Hub. Saatavissa:  
<http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/03/14/huge-expansion-for-telehouse-london-hub/> [viitattu 4.5.2014]
- (28) Rich, M. 2008 data center used to heat swimming pool. Saatavissa:  
<http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/04/02/-data-center-used-to-heat-swimming-pool/> [viitattu 6.5.2014]
- (29) Opettajien verkkopalvelut. Oppimateriaalia korroosiosta. Saatavissa:  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_f2\\_korroosionesto\\_esiintymismuodot.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html) [viitattu 6.5.2014]

(30) Introduction to Data Centres.pdf. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun intrasivut.  
[viitattu 7.5.2014]

(31) Energiataloudellinenkonesali.pdf. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Quality  
of Services -kurssilla jaettu materiaali. Saatavilla: Kyamkin intrasivut [viitattu  
7.5.2014]