

Eeki Ahlqvist

Nestejäähdytyksen käyttömahdollisuudet data centerissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

20.4.2017

Tekijä Otsikko	Eeki Ahlqvist Nestejäähdytyksen käyttömahdollisuudet data centerissä
Sivumäärä Aika	39 sivua 20.4.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää ryhmäpäällikkö Petteri Hajanti
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää nestejäähdytteisen data centerin hyödyt verrattuna perinteisesti ilmakiertokoneilla jäähdytettävään. Vertailtavat järjestelmät olivat teoreettisia. Ensimmäinen oli vedenjäähdytyskoneella jäähdytettävä varustettuna vapaajäähdytysoptiolla. Datasalissa CRAH-yksiköt kierrättivät ilmaa. Nestejäähdytteinen data center oli ilman vedenjäähdytyskonetta toimiva järjestelmä, joka pystyi käyttämään vapaajäähdytystä ympäri vuoden lämpötilatasojen johdosta. Datasalissa jäähdytetty vesi tuotiin suoraan jakotukkeille, josta se jaettiin servereille. Yli jäävä lämpöenergia jäähdytettiin kahdella CRAH-yksiköllä.</p> <p>Vertailun perustana työssä käytiin läpi data centerin energiankäytön jakautuminen, sisäilmasto-olosuhteet ja yleisimmin käytetyt ilmakiertokoneiden variaatiot, joita käytetään data centerin jäähdytyksessä. Nestejäähdytyksestä kerrottiin tarkemmin sen lämpötilaluokituksista ja sallituista virtausnopeuksista.</p> <p>Laskenta suoritettiin laskentaohjelmaa käyttäen, joka laski kummankin vertailtavan järjestelmän PUE-arvon ja paljonko energiaa kaikki jäähdytysjärjestelmän komponentit kuluttivat vuositasolla. Lisäksi järjestelmien elinkaarikustannukset laskettiin diskonttausmenetelmää käyttäen 15 vuoden pituiselta jaksolta.</p> <p>Nestejäähdytteinen data centerin PUE-arvo oli 0,033 yksikköä matalampi, kuin vertailtava CRAH-yksiköillä jäähdytettävä data center. Tästä saatiin laskettua, että nestejäähdytteinen data center kulutti 362 MWh vähemmän energiaa vuodessa. Koko elinkaaren kustannukset erosivat 10 515 405 € nestejäähdytyksen hyödyksi.</p> <p>Työ antoi peruskäsityksen, kuinka nestejäähdytteinen data center toimii ja sen tuomat mahdollisuudet suurillekin kustannussäästöille. Kuitenkin järjestelmiä tulisi tarkastella oikeassa ympäristössä, jotta saataisiin tarkemmat lukemat siitä, kuinka paljon nestejäähdytyksellä saadaan säästöjä aikaiseksi.</p>	
Avainsanat	nestejäähdytys, konesali, data center, energiatehokkuus, elinkaarikustannus

Author Title	Eeki Ahlqvist Usage of liquid cooling in a data center
Number of Pages Date	39 pages 20 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Petteri Hajanti, Team Leader, Granlund Oy
<p>The aim of this bachelor's thesis was to compare two different data center cooling systems. The first one was a chiller cooled data center with an option for free cooling. The data hall was cooled with CRAH units. The second one was a direct liquid cooled data center without a chiller unit due to the temperature levels used.</p> <p>To compare the systems, the PUE was calculated for both with a calculator program. The life cycle costs were calculated using a discounting method for 15 years. As a result it was established that the PUE for the liquid cooled data center was 0,033 units lower than that of the chiller cooled one. This meant that the energy consumption difference was 362 MWh annually. The life cycle costs of the liquid cooling system were €10,515,405 lower than those of the chiller-cooled.</p> <p>The thesis gives good basic information on how data center managers can use liquid cooling for the data center to lower life cycle costs.</p>	
Keywords	Data Center, Liquid Cooling, PUE, life cycle cost

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Energiankäyttö data centerissä	1
3	Energiankäytön mittarit	3
3.1	PUE (Power Usage Effectiveness)	3
3.2	NPUE (Net Power Usage Effectiveness)	4
3.3	ERE (Energy Reuse Effectiveness)	6
4	Sisäilmasto-olosuhteet	6
5	Jäähdytyksen jakelu datasalissa	9
5.1	CRAH (Computer Room Air Handler)	10
5.2	Rivijäähdytin	10
5.3	Cooling door (ovijäähdytin)	11
5.4	Jäähdytysseinä / puhallinseinä	12
5.5	Kyoto Wheel Cooling	13
6	Ilmanhallinta	15
6.1	Kuumakäytävä-containment	16
6.2	Kylmäkäytävä-containment	17
7	Nestejäähdytys	18
7.1	Nestejäähdytyksen lämpötilatasot	20
7.2	Nestejäähdytyksen virtaus- ja painehäviöarvot	22
7.3	Olemassa olevia nestejäähdytysratkaisuja	23
7.4	CoolIT DCLC™	24
7.5	Nestejäähdytyksen hyödyt	27
8	Nestejäähdytys vs. CRAH-jäähdytys	28
8.1	Vertailukohteet	28
8.2	Laskennassa käytettäviä kaavoja	29
8.3	Elinkaarikustannusten laskenta	31

8.4	Energiatehokkuuden arviointi	33
9	Tulokset	33
9.1	Elinkaarikustannukset	33
9.2	Energiatehokkuus	34
10	Päätelmät	37
	Lähteet	38

Lyhenteet

ASHRAE	the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan yhdistys LVIJ-insinööreille)
CACS	Cold Aisle Containment System (kylmäkäytävä-containment)
CDU	Coolant Distribution Unit (jäähdytyksen jakeluyksikkö)
CPU	Central Processing Unit (suoritin)
CRAH	Computer Room Air Handler / Air-Handling Unit (Vakioilmastointikone)
CW	Chilled Water (jäähdytysvesi)
DCPI	Data Center Physical Infrastructure (Data Centerin Fyysinen Infrastrukturi)
ERE	Energy Reuse Effectiveness (Energian uudelleenkäytön tehokkuus)
ICT	Information and Communications Technology (Informaatio- ja kommunikatioteknologia)
LS	Lämmönsiirrin (HEX)
LTO	Lämmöntalteenotto
NJ	Nestejäähdytin (Liquid Cooler)
NPUE	Net Power Usage Effectiveness (Netto energiankäytön tehokkuus)
ODP	Ozone Depletion Potential (Otsonikato potentiaali)
PUE	Power Usage Effectiveness (Energiankäytön tehokkuus)
UPS	Uninterruptible Power Supply (Katkeamaton virransyöttö)

VJK

Vedenjäähdytyskone (Chiller)

1 Johdanto

Data centerien tarve kasvaa nopeaa tahtia maailman digitalisoituessa. Kasvua Suomessa vauhdittaa energian halpa hinta, saatavuus sekä ilmaston kylmyys ja poliittiset olosuhteet.

Ajankohtaisena kysymyksenä on saada IT-laitteiden kokoa pienemmäksi. Tämä koskee myös data centereitä, kun niihin varastoidaan koko ajan enemmän tietoa, joka kasvattaa niiden kokoa. Näiden laitosten rakennus- ja ylläpitokustannukset ovat korkeita.

Isona kysymyksenä on myös data centerien jäähdytys. Tähän kuluu jopa melkein puolet koko data centerin sähkönkulutuksesta. Perinteisissä jäähdytysratkaisuissa käytetään vedenjäähdyttimiä ja CRAH:a (Computer Room Air Handler). Uusia MW luokan data centereitä on toteutettu myös suoralla ilmajäähdytyksellä mm. Yandex Mäntsälän data center. Supertietokonemaailmassa on yleisesti jo käytössä nestejäähdytyksellä toimivia data centereitä. Yleisesti serverit on upotettu nesteeseen, joka jäähdyttää niitä.

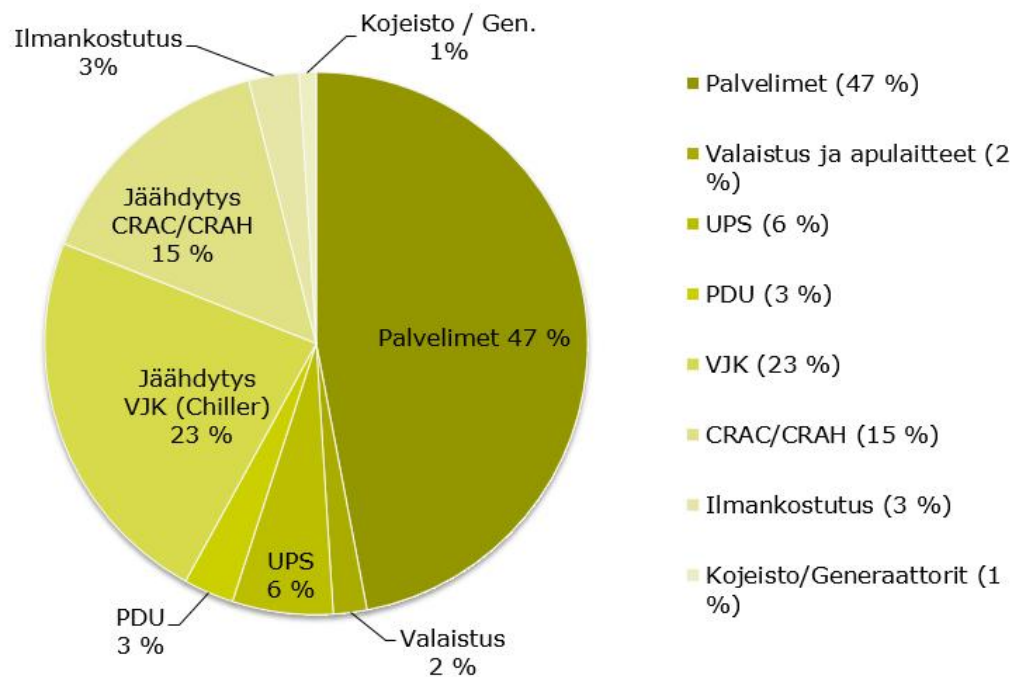
Tämän työn tutkimuskysymys on, onko nestejäähdytteinen data center energiatehokkaampi verrattuna perinteiseen ilmajäähdytteiseen ja mitä hyötyä siitä on. Työssä käsitellään eri periaatteet, joilla jäähdyttää konesalia, ja esitetään nestejäähdytteisen data centerin periaate tarkemmin ja se, kuinka se toimii ja millaisilla eri tavoilla sen jäähdytys voidaan toteuttaa. Suomessa nestejäähdytteistä data centeriä on mahdollista käyttää vapaajäähdytyksellä ympäri vuoden lämpötilatasojen johdosta. Lämmön uudelleenkäyttö on myös mahdollista data salin ulkopuolisissa kohteissa oikeanlaisilla lämpötiloilla.

2 Energiankäyttö data centerissä

Maailman digitalisoituessa tieto- ja viestintäteknologia (englanninkielinen information and communications technology, ICT) käyttää entistä enemmän energiaa. Vuonna 2013 ICT-teollisuus kulutti lähelle 10 % koko maailman tuotetusta sähköstä (1). Energian tarve kasvaa koko ajan, kun ihmiset siirtyvät käyttämään digitalisaation palveluita mm. tietokoneita, matkapuhelimia ja pilvipalveluita.

Konesalimaailmassa nouseekin esiin kysymys, kuinka energiaa voidaan säästää ja mahdollisesti uudelleen käyttää data centerien ulkopuolisten kiinteistöjen lämmityksessä tai käyttöveden tuotannossa.

Data centerin energian kulutus tulee ICT-laitteista ja konesalin fyysisestä infrastruktuurista (engl. Data Center Physical Infrastructure, DCPI), joka koostuu mm. valaistus-, jäähdytys-, lämmitys-, ilmanvaihto-, varavoima- ja UPS-järjestelmästä (Uninterruptible Power Supply) tukevine komponentteineen. Tavanomaisessa data centerissä vain noin puolet käytetystä energiasta menee ICT-laitteiden käyttöön. Fyysinen infrastruktuuri käyttää toisen puolikkaan energiasta. Kuvassa 1 on esitetty 2N data centerin energiankulutus eri osa-alueilla (2, s. 3). Suomessa tämä kuva ei ole aivan vastaava mm. kylmän ilmaston takia, jolloin jäähdytykseen ei mene vastaavaa määrää energiaa.



Kuva 1. Energiankäytön jakautuminen 2N konesalissa (2, s. 3)

Kuvasta näkee, että kaksi suurinta energiankuluttajaa ovat palvelimet ja jäähdytyksen tuotanto. Näin ollen näillä kahdella sektorilla on mahdollisuudet isoimpiin energiansäästöihin. Tämän vuoksi ICT-laitteiden kehittäminen energiatehokkaammiksi on tärkeää,

koska säästöt, jotka saadaan aikaiseksi palvelintasolla, vaikuttavat fysikaaliseen infrastruktuuriin kumulatiivisesti. (2, s. 4.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään enimmäkseen, kuinka paljon energiaa saadaan säästettyä uudenaikaisilla jäähdytystavoilla.

3 Energiankäytön mittarit

Data centereiden energiankulutukseen on kehitetty mittareita, jotka auttavat määrittelemään miten energiatehokas se on. Näitä ovat mm. PUE (Power Usage Effectiveness) ja NPUE (Net Power Usage Effectiveness).

3.1 PUE (Power Usage Effectiveness)

PUE-arvo on laskennalliseen tai mittaukseen perustuva energiankäytön mittari, joka on kehitetty The Green Gridin toimesta vuonna 2007, jota on sittemmin uudistettu vuonna 2012 (3).

PUE soveltuu lähes kaikkiin ratkaisuihin aina kaukojäähdytyksestä ja varavoimalla tuotettuun jäähdytykseen asti.

PUE lasketaan kaavalla 1.

$$PUE = \frac{P_{tot}}{P_{it}} \quad (1)$$

jossa

P_{tot} on konesalin kokonaisenergian kulutus tai teho

P_{it} on IT-laitteiden energiankulutus tai teho

Jos kohteessa ei kuluteta muuta kuin sähköä, energiamuotoja ei tarvitse ottaa huomioon, koska tämä ei muuta kokonaisenergian kulutuksen ja palvelinten kuluttaman energian suhdetta. PUE:n laskemisessa voidaan käyttää kansallisia tai kansainvälisiä energiamuotojen kertoimia, kuten Suomessa rakentamismääräyskokoelman D3-osaa (4).

Laskennassa otetaan huomioon kaikki data centerin toimintoja tukevien laitteiden energiankulutus. Vaikka data center-rakennuksessa mahdollisesti ilmenee muutakin kulu- tusta, joka ei vaikuta suoraan sen ylläpitoon, sitä ei laskennassa oteta huomioon.

Teoreettinen minimiarvo PUE:lle on 1. Todellisuudessa tähän arvoon on mahdoton päästä, koska arvo 1 tarkoittaa, että kaikki energia menee IT-laitteiden käyttöön. Ener- giatehokkaimmissa konesaleissa on päästy jopa 1,1:n alle, mutta tyypillisesti PUE-arvo on 2 (3, s. 18).

PUE-arvoa ilmoitettaessa lukeman perässä tulee olla arvon luokitus, mittauksen intervalli ja mittausjakson pituus. Taulukossa 1 on esitetty vaatimukset mittausten ja intervallien osalta.

Taulukko 1. PUE-mittauksen laskenta (5, s. 14)

	Level 1 (L1) Basic	Level 2 (L2) Intermediate	Level 3 (L3) Advanced
IT Equipment Energy	UPS Outputs	PDU Outputs	IT Equipment Input
Total Facility Energy	Utility Inputs	Utility Inputs	Utility Inputs
Measurement Interval	Monthly/Weekly	Daily/Hourly	Continuous (15 minutes or less)

Esimerkiksi PUE-arvo 1,2 edistynyt tasolla (L3), jatkuvalla mittauksella (C) ja vuoden pituisella mittausjaksolla (Y), ilmoitetaan muodossa PUE: 1,2_{L3YC}.

PUE-arvoa käytetään yleisesti johtamisen ja hallinnon työkaluna, mutta sitä käytetään myös markkinoinnissa ja myynnissä. Energiantehokkuudella saadaan enemmän asiak- kaita data centereihin, kun asiakkaat voivat taas markkinoida omaa toimintaansa ympä- ristöystävällisenä.

3.2 NPUE (Net Power Usage Effectiveness)

NPUE on kehitetty Kungliga Tekniska Högskolanissa vuonna 2010, jolla voidaan laskea hukkalämmön uusiokäyttö lämmityksessä (6).

NPUE lasketaan samanlaisella periaatteella kuin PUE. Kaavalla 2 laskettaessa ei voida laskea kaukojäähdytteistä laitosta. NPUE:n laskenta perustuu jäähdytyslaitteiden osalta sähköenergian laskentaan. Laskenta tapahtuu kaavalla 2 (3, s. 19).

$$NPUE = \frac{P_{net}}{P_{it}} = \frac{P_{in} - P_{out}}{P_{it}} \quad (2)$$

jossa

P_{net} konesalin nettoenergiankulutus

P_{it} IT-laitteiden energiankulutus

P_{in} konesalin energiankulutus

P_{out} hyötykäytetty energia

NPUE lasketaan kaavalla 3 silloin, kun kaukojäähdytys on käytössä (3).

$$NPUE = \frac{P_{it}}{P_{in} - P_{out}} \quad (3)$$

P_{it} IT-laitteiden energiankulutus

P_{in} konesalin energiankulutus

P_{out} hyötykäytetty energia

3.3 ERE (Energy Reuse Effectiveness)

ERE (energian uudelleenkäytön tehokkuus) -mittari on PUE:ta vastaavanlainen laskentamenetelmä data centerin energiankäytölle. PUE:n laskennasta poiketen ERE:ssä lasketaan energian uudelleenkäyttö konesalin ulkopuolisissa rakennuksissa kaavan 4 (7, s. 8) mukaisesti.

$$ERE = \frac{Jäähdytys + Tehohäviöt + Valaistus + IT - \text{Energian uudelleenkäyttö}}{IT} \quad (4)$$

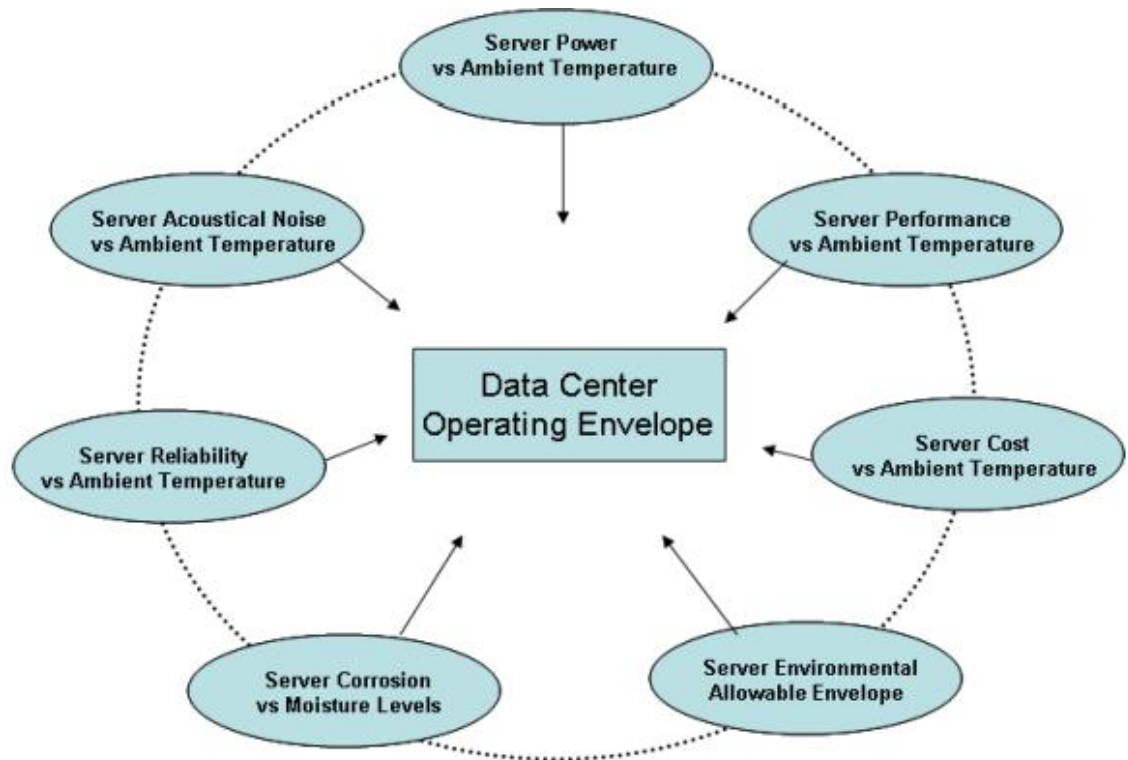
ERE:n käyttöväli on 0:sta äärettömään. Tämä eroaa PUE:n minimiarvosta 1,0. ERE:n arvo 0 tarkoittaa sitä, että konesaliin tuotu energia otetaan käyttöön 100 % data centerin ulkopuolisissa rakennuksissa. ERE:ä verrattaessa pitää muistaa, että sitä ei voida suoraan verrata numeraalisesti PUE:hen. Niitä pitää tarkastella yksittäin.

4 Sisäilmasto-olosuhteet

The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) on laatinut ohjeavot data centereiden sisäilmastolle (8, s. 4). Ennen tätä IT-laitteiden valmistajilla oli omat ohjeavot sille minkä lämpöistä ilmaa laitteet tarvitsevat, etteivät ne kuumene. Ajateltiin myös, että mitä kylmempi, sitä parempi (8). Tällä ajattelulla on taustansa, koska vikaantumistiheys pienenee matalammissa lämpötiloissa.

ASHRAE:n ohjearvoilla on pyritty siihen, että pystytään tekemään energiansäästötoimenpiteitä ilman haitallisia vaikutuksia laitteiston varmuuteen, akustiikkaan tai suorituskykyyn (8).

Nämä ohjeet ASHRAE:n julkaisussa TC 9.9 eivät ole kiveen hakattuja, mutta ne ovat käytössä maailman laajuisesti. Kuvassa 2 on esitetty, mitä eri asioita tulee ottaa huomioon, jos ASHRAE:n ohjearvoja ei käytetä.



Kuva 2. ASHRAE-huomioitavat asiat suunnittelussa (8, s. 3)

Kuten kuvassa 2 näkyy, konesalin sisäilmasto-olosuhteiden suunnittelussa on otettava huomioon mm. kustannukset, käyttövarmuus, korroosio ja kosteustasot. Taulukossa 2 on esitetty sallitut lämpötilat, kosteus, kastepiste, korkeustaso, jossa konesali sijaitsee, lämpötilan vaihtelu ja suhteellinen kosteus.

Taulukko 2. ASHRAE-olosuhteet (8, s. 9 Figure 2)

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
Recommended (Applies to all A classes; individual data centers can choose to expand this range based upon the analysis described in this document)								
A1 to A4	18 to 27	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP						
Allowable								
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Data centerit on jaettu 4 eri tasoon ja sen lisäksi 2 omaa luokkaa henkilökohtaisille tietokoneille. Suositeltu lämpötilataso data center-ympäristössä on 18 ja 27 °C:n välissä. Tämä tarkoittaa sitä, että IT-laitteille tulevan ilman lämpötila on 18 °C minimitasolla. 27 °C on maksimi-lämpötila laitteiden luovutuslämpötilalle. Nykyään monessa konesalissa käytetään lämpötilojen tasoa 20–28 °C, jolloin säästetään energiaa. Henkilökohtaisten tietokoneiden lämpötilat ovat 5–40 °C. Tässä työssä ei käsitellä henkilökohtaisia tietokoneita.

Kuvassa 3 vastaavanlaisesti näytetään sallitut lämpötilat, suhteellinen kosteus ja luokat diagrammimuodossa konesaliympäristöön.

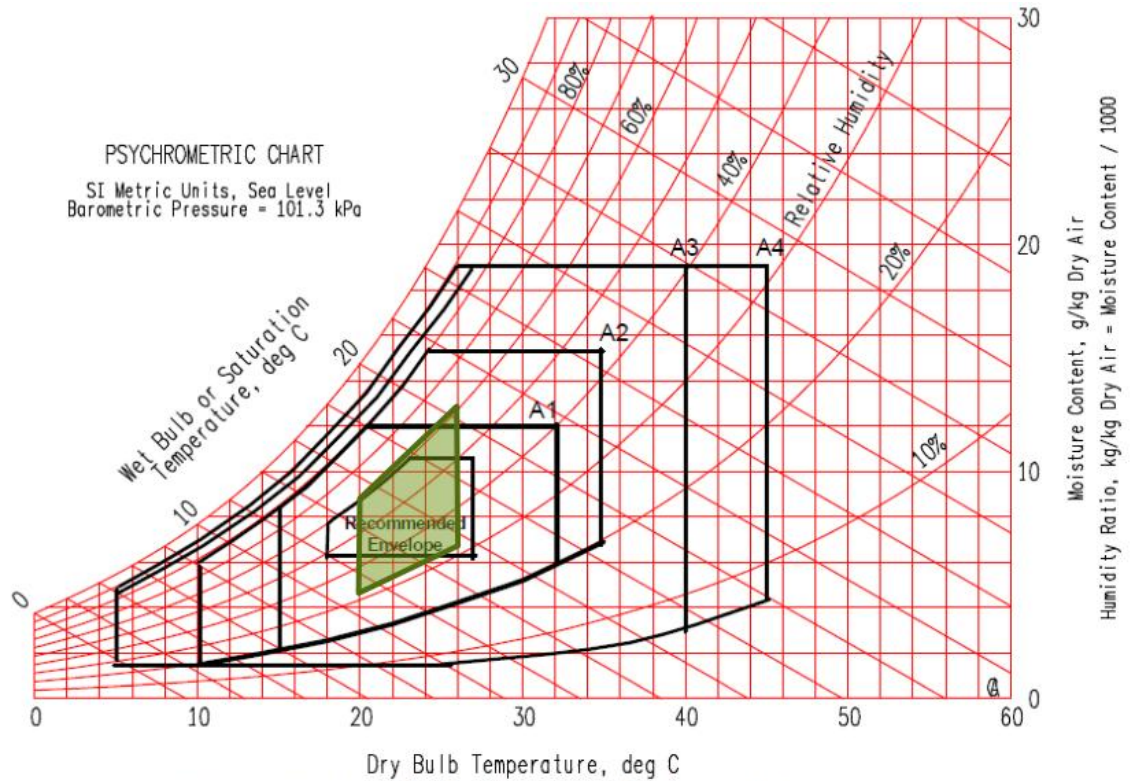


Figure 2. ASHRAE Environmental Classes for Data Centers

Kuva 3. ASHRAE-olosuhdediagrammi (8, s. 9)

Vihreällä merkitty alue näyttää lämpötiloille tason 20–28 °C ja suhteelliselle kosteudelle 30–60 %.

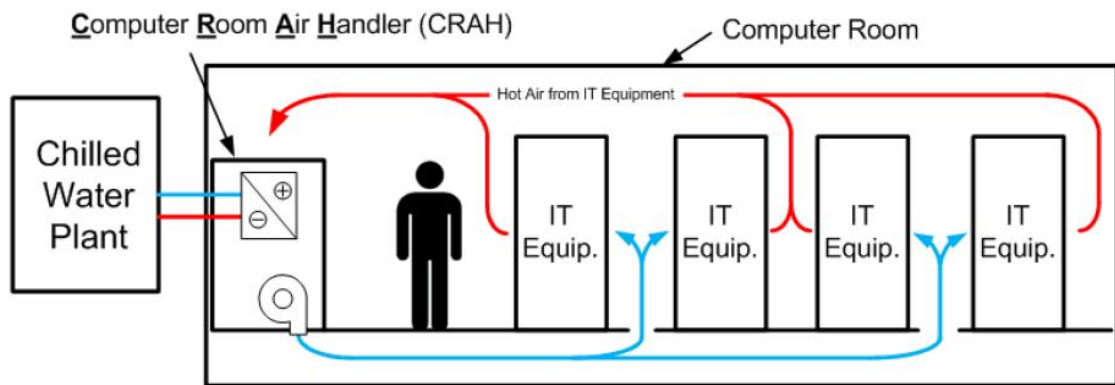
Nämä ohjearvot on annettu, jotta voitaisiin päästä sellaisiin olosuhteisiin, että energiaa voidaan säästää mahdollisimman tehokkaasti. Nämä ovat todettu hyviksi arvoiksi data centerin käytettävyydelle, sekä laitteiden kestävyydelle.

5 Jäähdytyksen jakelu datasalissa

Tässä osiossa käydään läpi yleisimmin käytettyjen datasalin jäähdytystapojen periaatteet. Yleisimpien jäähdytystapojen joukossa on ilmajäähdytys. Tästä on kehitetty monenlaisia variaatioita, kuinka ilma saadaan kuljetettua servereille kiertoilmakoneilla. Näihin kuuluvat mm. suora ilmajäähdytys ulkoilmalla, CRAH eli vesipatterikone (engl. Computer Room Air Handler)- tai CRAC eli suorahöyrystyskone (engl. Computer Room Air Conditioner) -jäähdytys.

5.1 CRAH (Computer Room Air Handler)

CRAH-jäähdytyksessä jäähdytetty vesi tuodaan jäähdytyksen tuotantolaitteistolta (yleensä VJK eli vedenjäähdytyskone) jakeluputkistoja pitkin yksikköön, jossa on sisällä ilma-vesilämmönvaihdin ja puhallin. Kuvassa 4 on esitetty CRAH periaate.



Kuva 4. CRAH-jäähdytysperiaate (9)

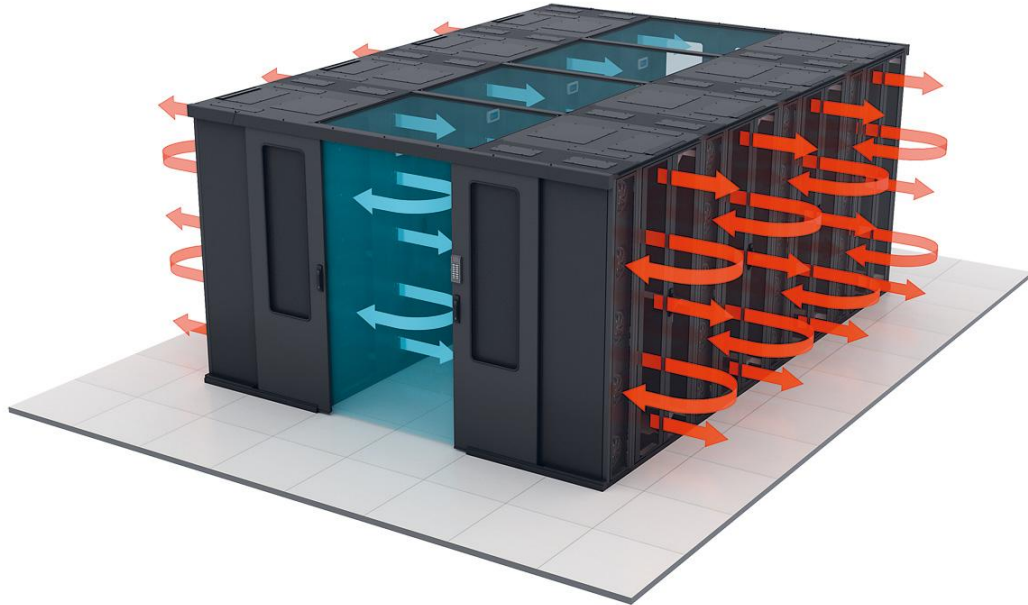
CRAH:iä käytetään yleisesti korotetun lattian kanssa, jolloin kylmä ilma saadaan eroteltua lämpimästä. Kylmä ilma puhalletaan asennuslattian alapuolelle, josta se jaetaan rei'itettyjen lattialaattojen kautta serverikaappien kylmälle käytävälle, josta serverit imevät kylmän ilman. Tämän jälkeen kylmä ilma lämpenee matkatessa servereiden lävitse. Lämmennyt ilma nousee ylöspäin serveritilassa eli data salissa, josta se imetään CRAH:iin jäähtymään.

CRAH-jäähdytyksen hyviä puolia ovat muutosmahdollisuudet datasalissa, joka mahdollistaa uusien serverikaappien tuomisen tilaan. Tämä tarkoittaa, että CRAH-yksiköt palvelevat koko tilaa, jolloin serverikaappeja voidaan tuoda tilaan jäähdytyskapasiteetin niin salliessa.

5.2 Rivijäähdytin

Rivijäähdytysyksikkö asennetaan serverikaappien väliin, jolloin yksikkö palvelee 2–4 serverikaappia sen ympärillä. Kuvassa 5 näkyy ilmanjakelun periaate. Rivijäähdytin puhalltaa kylmän ilman datasalin kylmälle käytävälle tai palvelinkaappien eteen, josta sen vie-

reiset serverikaapit imevät kylmän ilman. Serverit puhaltavat kuuman ilman poistopuolelle eli kuumalle käytävälle, josta rivijäähdytin imee kuuman ilman ja jäähdyttää sen puhaltamallaan jäähdytetyn ilman taas kylmälle käytävälle.



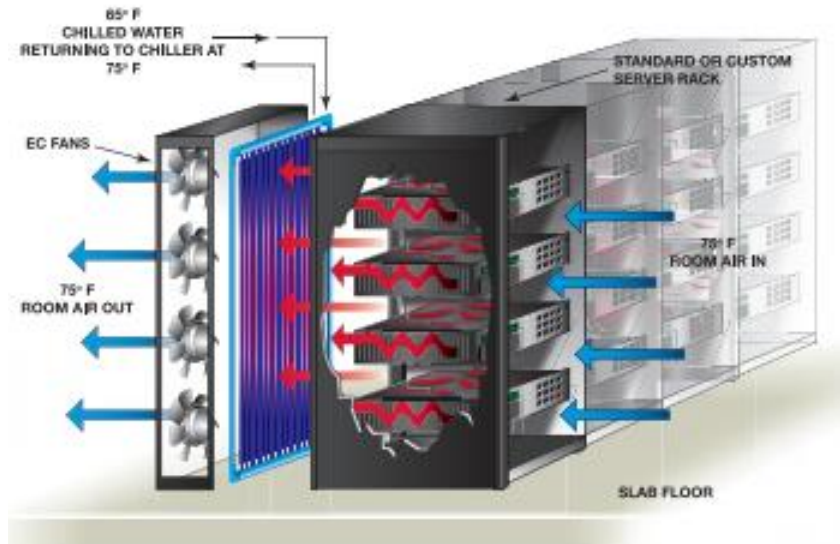
Kuva 5. Rivijäähdytinperiaate (10)

Rivijäähdytinratkaisu ei ole niin muuntojoustava kuin CRAH-ratkaisu. Tämä johtuu siitä, että yksiköiden täytyy olla yhteydessä serverikaappeihin. Sen lisäksi tämä on kalliimpi ratkaisu, koska tarvitaan enemmän yksiköitä saman tehon tuottamiseksi, toisin sanoen euroja kilowattia kohden (€/kW) kalliimpi. Toisaalta näin voidaan jäähdyttää tehokkaasti korkeamman tehotiheyden (high density) serverikaappeja.

5.3 Cooling door (ovijäähdytin)

Cooling door-jäähdytyksessä jäähdytinsyysikkö asennetaan standardiserverikaapin taka-paneeliin. Ovi koostuu EC-puhaltimista ja ilma-vesilämmönvaihtimesta. Puhaltimien määrä voi olla 2–5 muuntojoustavuuden ja redundanssin tarpeisiin mukautuen. Jäähdytetty vesi tuodaan kylmäntuotantolaitteistolta lämmönvaihtimelle, josta jäähdytys puhalletaan EC-puhaltimien avulla huoneilmaan. (11.) Asennuslattiaa ei tarvita, koska IT-laitteiden kuumentama ilma jäähdytetään ennen kuin se päästetään serverikaapilta kone-salitilaan.

Jäähdytysprosessi on esitetty kuvassa 6. Ilma imetään servereille EC-puhaltimilla, jotka ovat serverikaapin takaosassa. Ilma lämpenee matkatessa serverien lävitse. Ennen kuin ilma pääsee serverikaapin ulkopuolelle, lämpö luovutetaan lämmönvaihtimeen, josta se viedään jäähdyttäväksi kylmäntuotantolaitteille.

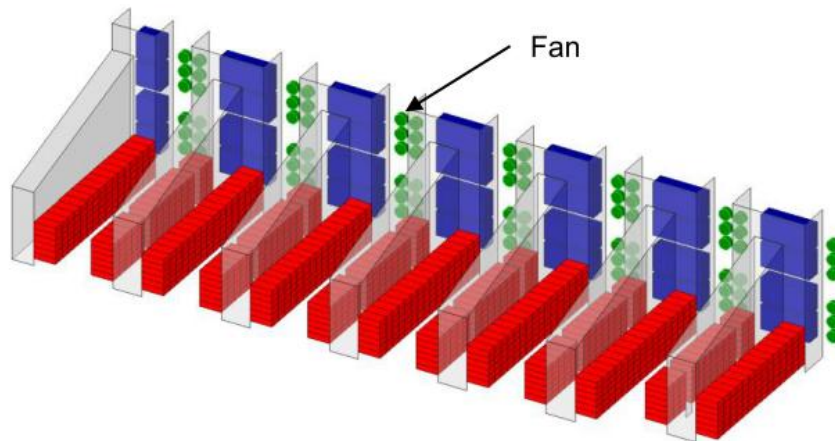


Kuva 6. Cooling Door-periaate (11)

EC-puhaltimet työntävät viilennetyn ilman takaisin datasaliin. Näin tässä ratkaisussa kylmää ja kuumaa ilmaa ei tarvitse osastoida. Jäähdytysteho tällä konfiguraatiolla voi olla jopa 75 kW serverikaappia kohden. (11.)

5.4 Jäähdytysseinä / puhallinseinä

Datasalin jäähdytys toteutetaan ilma-vesijäähdytinpattereilla ja puhaltimilla, jotka kierrättävät ilmaa. Kuvassa 7 on esitetty järjestelmän periaate. Kuuma ilma on osastoitu omaksi tilakseen, joka on yhdistetty jäähdytinpattereille. Datasalin ja jäähdytysseinän komponenttien toisella puolella on tila, jossa jäähdytetty ilma kulkeutuu puhaltimille. Puhaltimet puhaltavat ilman datasaliin, josta se kulkeutuu serverikaapeille.

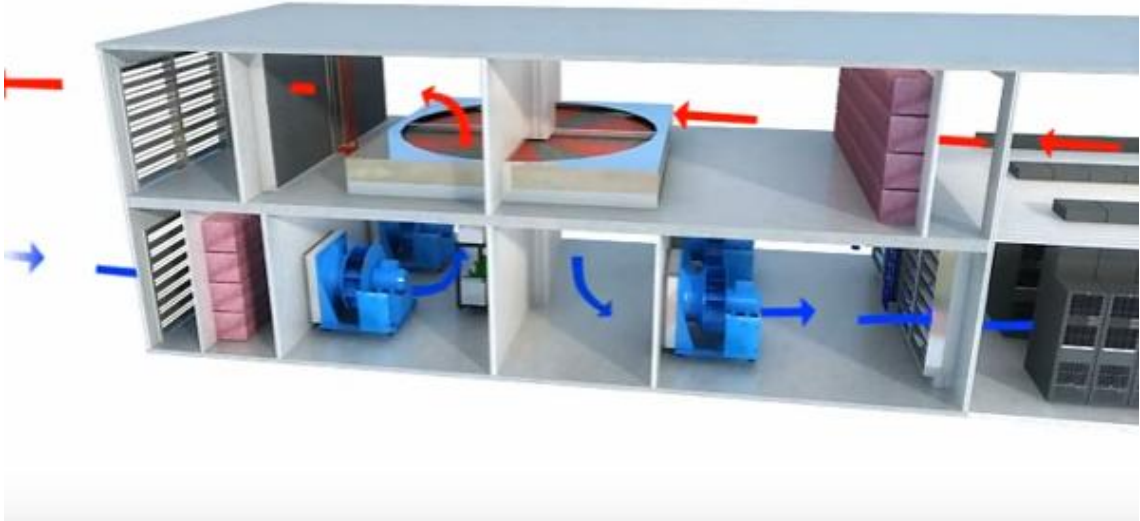


Kuva 7. Jäähdytysseinän periaate

Jäähdytysseinä on toiminnoltaan samanlainen, kuin CRAH-yksiköillä jäähdytettävä datasali. Lisäksi se soveltuu vertikaaliseen, että horisontaaliseen ilmanjakoon. Hyvänä puolena on järjestelmän hiljaisuus. Alhaisen virtausnopeuden ansiosta se on myös energiatehokas. Hyvänä puolena voidaan sanoa myös, että datasalitiilaa jää enemmän käyttöön, kun jäähdytysyksiköt eivät ole salin lattiatilassa.

5.5 Kyoto Wheel Cooling

Tässä järjestelmässä ei ole ollenkaan nestettä. Keskeisellä sijalla on pyörivä lämmönsiirtokiekko (Kyoto Wheel), joka käyttää yksinkertaista läpikulkujohtumista. LTO:n eli lämmöntalteenottokiekon toiminta perustuu samaan ideaan. Kuvassa 8 on esitetty tämän järjestelmän periaate. Kyoto Wheel on eroteltu seinällä puolivälistä, jolloin kylmä- ja lämmin ilma eivät sekoitu keskenään. Sisäilman puhaltimet imevät lämpimän ilman datasalin ylätasolta lämmönsiirtokiekon lävitse, jossa lämpö absorboidaan ja puhaltavat jäähtyneen ilman takaisin datasaliin. (12.)

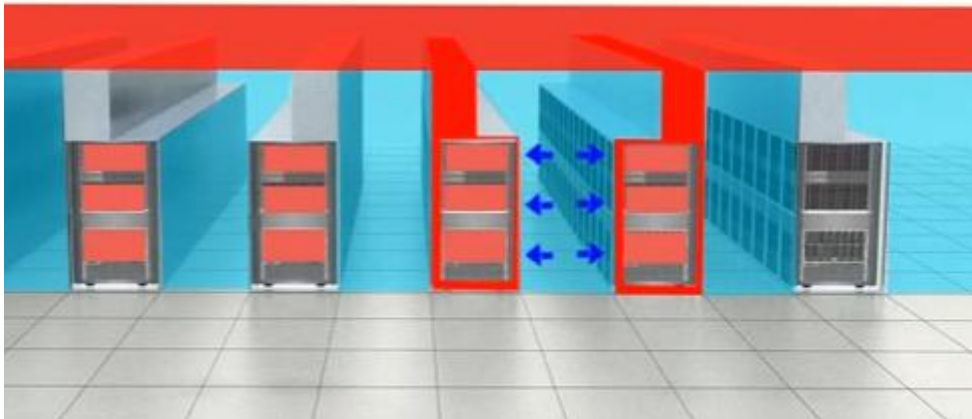


Kuva 8. Kyoto Wheel jäähdytyksen periaate (12).

Tämän jälkeen lämmönsiirtokiekko pyörittää lämmenneen kohdan ulkoilmavirtaan. Tämä kohta kiekosta jäähdytetään kylmällä ulkoilmalla. Lämmennyt ulkoilma puhalletaan ulos rakennuksesta. (12.)

Jäähdytys pelkällä kiekolla toimii aina ulkolämpötilaan $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ asti. Tämän jälkeen järjestelmä käy osittaisella jäähdytyksellä yhdessä DX eli suorahöyrystysjärjestelmän kanssa aina $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Näiden lämpötilojen ylittyessä DX-järjestelmä hoitaa jäähdytyksen kokonaan. Data saliin menevän ilman lämpötila on $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja palaavan ilman $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$. (13.)

Tässä ratkaisussa ei tarvita korotettua asennuslattiaa. Kylmä ilma puhalletaan datasaliin, josta jokainen serveri saa tarvitsemansa jäähdytystehon. Kuuma ilma nostetaan kattoon erillisiä kanavia käyttäen (kuva 9).



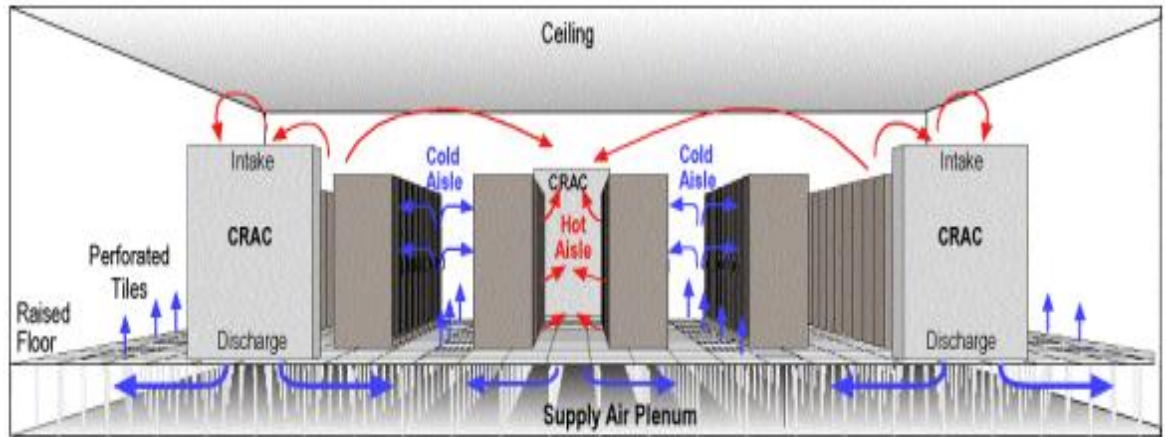
Kuva 9. Kyoto-jäähdytysilmanjako datasalissa (12)

Tämä tehostaa datasalin energiatehokkuutta, kun ilmat eivät sekoitu keskenään, kuten perinteisessä CRAH-ratkaisussa. Tällä saadaan säästettyä myös asennuslattian kustannuksissa.

6 Ilmanhallinta

Kylmän ja kuuman ilman erillään pitämisellä saadaan aikaan säästöjä, koska silloin ilmaa ei jäähdytetä turhaan. Nykyisin olemassa olevia tapoja erotella kylmä ja kuuma ilma ovat mm. kylmäkäytävä-containment ja kuumakäytävä-containment. Tässä osiossa näiden periaatteet käydään läpi.

Kuvassa 10 on esitetty periaatetasolla datasalin ilmanjakelu, johon pyritään pääsemään suunniteltaessa data centeriä.

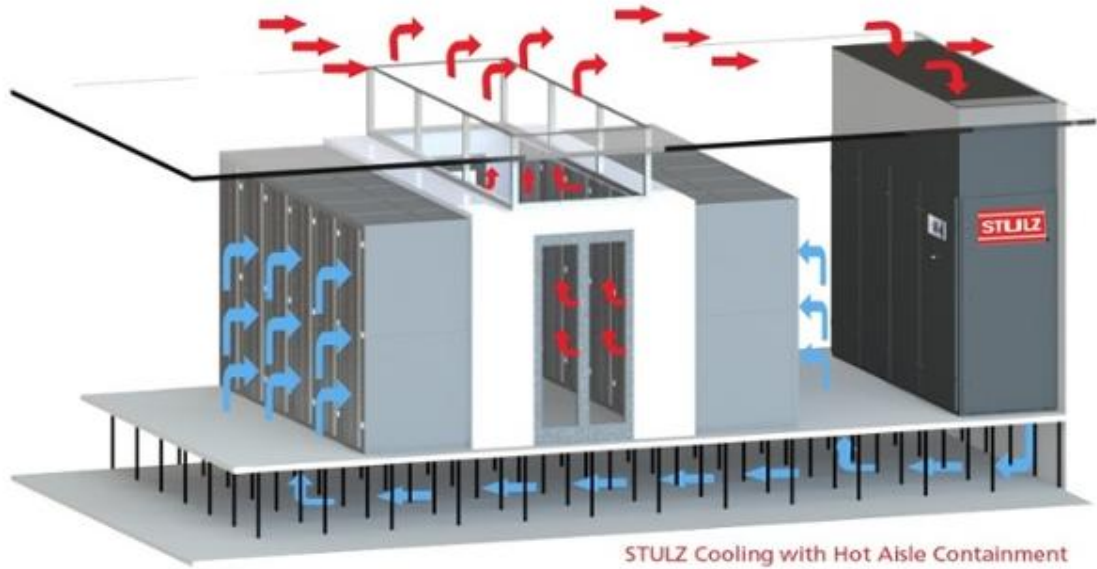


Kuva 10. Datasalin ilmanjakelu (14)

Esitys on tehty CRAH-yksiköillä. Datasalissa on asennuslattia. Jäähdytysyksiköiltä kylmä ilma puhalletaan asennuslattian alapuolelle, josta se nousee reiitetyjen lattialaattojen läpi serverien kylmälle käytävälle, josta se matkaa serverien läpi jäähdyttäen ne. Lämmennyt ilma tulee kuumalle käytävälle. Ilman fysikaalisten ominaisuuksien johdosta kuuma ilma nousee ylöspäin. CRAH-yksiköt sitten imevät kuumaa ilmaa ja jäähdyttävät sen.

6.1 Kuumakäytävä-containment

Ilmanhallintaa voidaan tehostaa erittelemällä kylmä ja kuuma ilma fyysisillä esteillä. Kuvassa 11 on esitetty kuumakäytävän periaate. Kylmä ilma tuodaan asennuslattian alapuolelta servereiden kylmälle käytävälle.

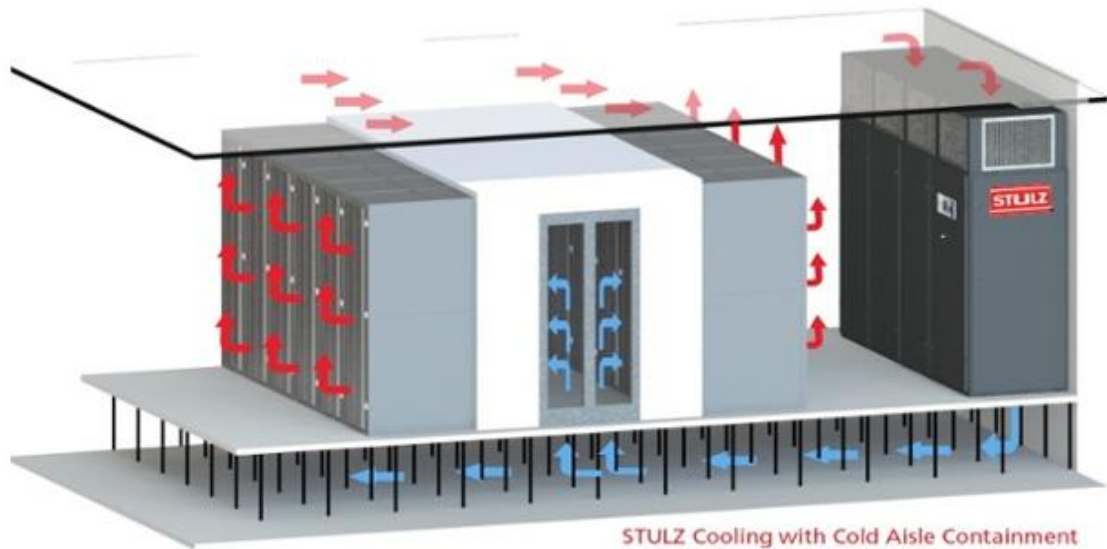


Kuva 11. Kuumakäytävä-containment (15)

Ilma jatkaa matkaa serverin läpi kuumalle käytävälle, joka on eristetty seinillä ja katolla muusta tilasta. Tällöin kuuma ilma ei pääse sekoittumaan missään tilanteessa kylmän ilman kanssa. Kuumakäytävä-containementiin on tehty kanava tilan yläpuolelle, joka johtaa suoraan CRAH-yksikölle, jossa se jäähdytetään ja prosessi toistuu.

6.2 Kylmäkäytävä-containment

Kylmäkäytävä-containment toimii samalla lailla kuin kuumakäytävä containment, mutta kylmä ilma on osastoitu, kuten kuvassa 12 on esitetty. Kylmä ilma tuodaan asennuslattian alapuolella rei'itetyjen lattialaattojen läpi servereiden kylmälle käytävälle. Tämä on osastoitu muusta tilasta seinillä ja katolla.



Kuva 12. Kylmäkäytävä-containment (15)

Kuuma ilma saa liikkua vapaasti serverihuoneessa, josta se imetään CRAH-yksikölle.

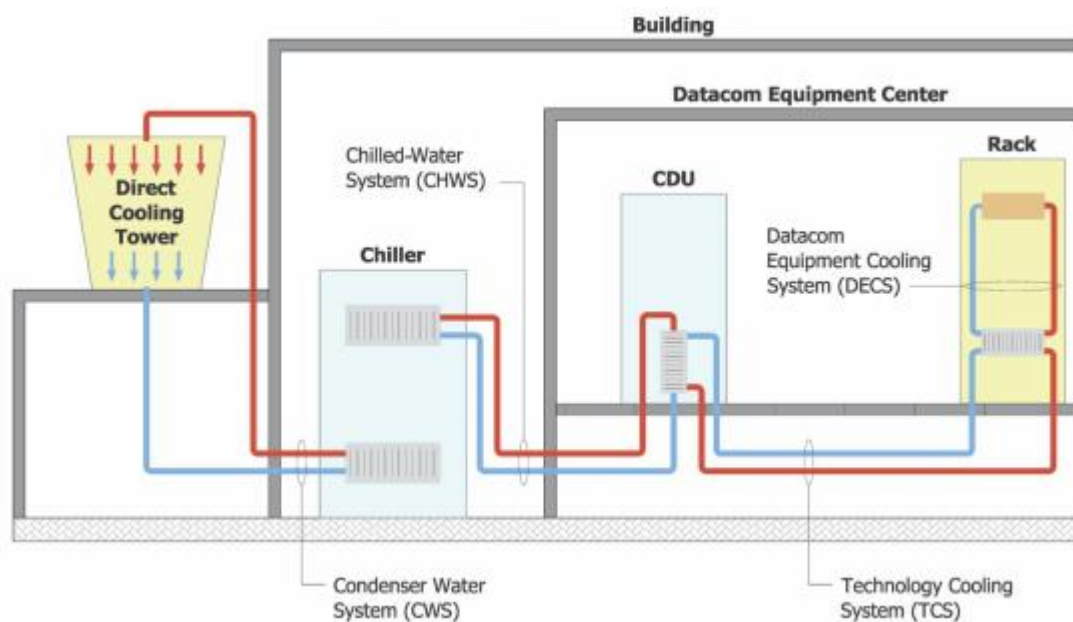
7 Nestejäähdytys

Energiatehokkuuden, kustannusten säästön ja serverin käyttöasteen maksimoimiseksi data center operaattorit ovat miettineet mitä erilaisia tapoja on jäähdyttää data centereitä. Tämä on johtanut osaltaan pienempiin komponentti kokoihin, joka taas vaikeuttaa niiden jäähdyttämistä. Perinteisesti data centereissä käytetään yleensä ilmajäähdytystä. Tällä jäähdytysperiaatteella on kumminkin rajansa. Näiden yllämainittujen asioiden vuoksi on mietitty uudenlaisia tapoja jäähdyttää data centereitä. Supertietokoneille ja laskentatietokoneille on ollut jo pidempään käytössä nestejäähdytys. Tätä tekniikkaa on alettu käyttämään myös kaupallisen ympäristön (commercial environment) data centereissä. Nestejäähdytys on mahdollistanut serverikaappien tehotiheyden kasvun, joka mahdollistaa lattiapinta-alan tehokkaamman käytön (kW/m²). Näin säästetään rakennuskustannuksissa. (16.)

Nestejäähdytystä on sanottu yhdeksi tehokkaimmista tavoista jäähdyttää IT-laitteita. Nestejäähdytyksen kysyntä yhtenä avainjäähdytystapana kasvaa koko ajan sen lämmönsiirron tehokkuuden johdosta. Nesteen käyttäminen jäähdyttämisessä vähentää virtausta, koska nesteen tiheydet ovat n. 1000 kertaa suurempia kuin ilmalla (16).

Nestejäähdytystä on kahdenlaista: yksivaiheinen nestejäähdytys ja kaksivaiheinen nestejäähdytys. Nämä jakautuvat vielä suoraksi (kontakti komponenttiin) nestejäähdytykseksi ja epäsuoraksi (ei kontaktia komponenttiin) jäähdytykseksi ja upotusjäähdytykseksi. Kaksivaiheinen nestejäähdytys perustuu nesteen höyrystymiseen, joka poistaa lämpöä. Kuuma pinta jäähdytetään latenttisella lämpöimeytymisellä, joka johtaa korkeampaan lämmönsiirtymiseen, kuin yksivaiheisessa nestejäähdytyksessä. (16.)

Nestejäähdytyksessä jäähdytys kohdistetaan suoraan servereihin, joten tällöin tarpeettoman jäähdytyksen osuus jää pieneksi (16). Näin jäähdytysprosessin yleisen tehokkuuden parantuessa jäähdytyksen vaatima sähköenergia pienenee.



Kuva 13. Nestejäähdytyksen periaate (17, s. 41)

Kuvassa 13 on esitetty nestejäähdytteisen data centerin periaate. Vedenjäähdytyskone (VJK) tuottaa jäähdytettyä vettä. Tästä prosessista syntynyt lämpö siirretään jäähdytystorniin, jossa lämpö siirretään konvektion avulla ulkoilmaan, minkä jälkeen palaava vesi on viileämpää. Toisella puolella VJK:ta jäähdytetty vesi pumpataan Central Distribution Unit (CDU):lle, jossa vesi jaetaan eri palvelinkaapeille, joissa jokaisessa on lämmönsiirrin. Neste, joka kiertää servereillä, on yleensä liuosvalmiste, kuten 3M™ Novec™-neste (18). Näitä nesteitä käytetään niiden ominaisuuksien takia joita ovat: Ne eivät aiheuta korroosiota, ja niillä on hyvät dielektriset ominaisuudet, jolloin vuotojen sattuessa ei vahingoita laitteita, ODP on 0, ei syttyvä (18). Joissain uusissa sovelluksissa käytetään

myös vettä. Tällöin tulee muistaa, että vuotojen tapahtuessa vesi voi vahingoittaa laitteita.

7.1 Nestejäähdytyksen lämpötilatasot

Kuten yleisemmin käytetyissä ilmajäähdytyssovelluksissa ASHRAE on määritellyt sallitut lämpötilatasot ja virtausnopeudet nestejäähdytteisille konesaleille. Nämä on annettu sen takia, jotta voidaan päästä mahdollisimman energiatehokkaisiin ratkaisuihin. Taulukossa 3 on esitetty eri luokat ja sallitut lämpötilat.

Taulukko 3. ASHRAE:n nestejäähdytyslämpötilat (17, s. 42)

Equipment Environment Specifications for Liquid Cooling			
Liquid Cooling Class	Typical Infrastructure Design		Facility Water Supply Temperature, °C (°F)
	Primary Facilities Cooling Equipment	Secondary/ Supplemental Cooling Equipment	
W1	Chiller/cooling tower	Water-side economizer	2 to 17 (35.6 to 62.6)
W2			2 to 27 (35.6 to 80.6)
W3	Cooling tower	Chiller	2 to 32 (35.6 to 89.6)
W4	Water-side economizer (with dry-cooler or cooling tower)	N/A	2 to 45 (35.6 to 113)
W5	Building heating system	Cooling tower or dry-cooler	>45 (>113)

Nestejäähdytysluokat taulukon 3 mukaan määritellään seuraavasti:

W1/W2

- Nämä ovat tyypillisesti data centereitä, jotka ovat perinteisesti jäähdytetty käyttämällä chillereitä ja jäähdytystorneja, optiona vesipuolen suuttimilla, joilla voidaan parantaa energiatehokkuutta, riippuen data centerin kohteesta (17, s. 42).

Luokka W3

- Useimmille kohteille nämä data centerit voivat toimia ilman chillereitä. Jotkut kohteet silti vaativat chillereitä. (17, s. 42.)

Luokka W4

- Nämä data centerit toimivat ilman chillereitä energiatehokkuuden lisäämiseksi ja, että voidaan säästää kustannuksissa (17, s. 42).

Luokka W5

- Veden lämpötila on tarpeeksi korkea, jotta IT-laitteilta tulevaa vettä voidaan käyttää paikallisten rakennuksien lämmittämiseen, jotta energiatehokkuutta saadaan tehostettua, vähennetään käyttökustannuksia chillerittömän järjestelmän käytöstä sekä hyötykäytetään hukkalämpöä. (17, s. 43.)

Kaikissa näissä luokissa jäähdytetyn veden lämpötilanmuutosnopeus ei saa ylittää arvoa 3 °C / 5 minuuttia. Tämä voi johtaa siihen, että infrastruktuurissa on UPS eli katkeamaton tehonsyöttö (engl. uninterruptible power supply). (17, s. 44.)

Luokituksissa W1 ja W2 jäähdytetyn veden lämpötila täytyy olla sellainen, että se sopii koko laitoksen IT-laitteiden vaatimuksiin. Vastaavasti luokissa W3, W4 ja W5 infrastruktuuri on todennäköisesti yksilöity data centeriin. Täten jäähdytetyn veden lämpötila riippuu data centerin maantieteellisestä paikasta. On myös mahdollista, että näiden luokituksen omaavissa data centreissa ei ole vedenjäähdytyskoneita (VJK). Tämän johdosta on erittäin tärkeää, että ymmärretään IT-laitteiden käyttörajoitukset. (17, s. 44–45.)

Taulukosta 3 voidaan havaita, että nesteen lämpötila voi jopa ylittää 45 °C IT-laitteiden niin salliessa. Tämä mahdollistaa isojenkin säästöjen syntymiseen. Tällaisessa konfiguraatiossa ei tarvita erillistä kylmäntuottolaitteistoa ja nesteen lämpöä voidaan hyötykäyttää konesalin sisäiseen tai ulkoiseen lämmittämiseen tai lähellä olevien muiden kiinteistöjen lämmittämiseen.

Kaikkia luokkia ei voida käyttää kaikissa maantieteellisissä kohteissa. Tämä johtuu siitä, että ulkolämpötila on liian korkea. Suomessa ei ole tätä ongelmaa, joten vapaajäähdytyksen käyttö on mahdollista luokassa W5 ympäri vuoden. Tämä avaa hyvät mahdollisuudet energian säästämiseen Suomessa.

Yleisenä kommenttina voidaan sanoa, että kannattaa käyttää korkeimpia lämpötilata-
soja, jotka on sallittu. Näin säästetään energiakustannuksissa, kun VJK:n ei tarvitse
tehdä niin paljon työtä nesteen jäähdyttämiseksi.

7.2 Nestejäähdytyksen virtaus- ja painehäviöarvot

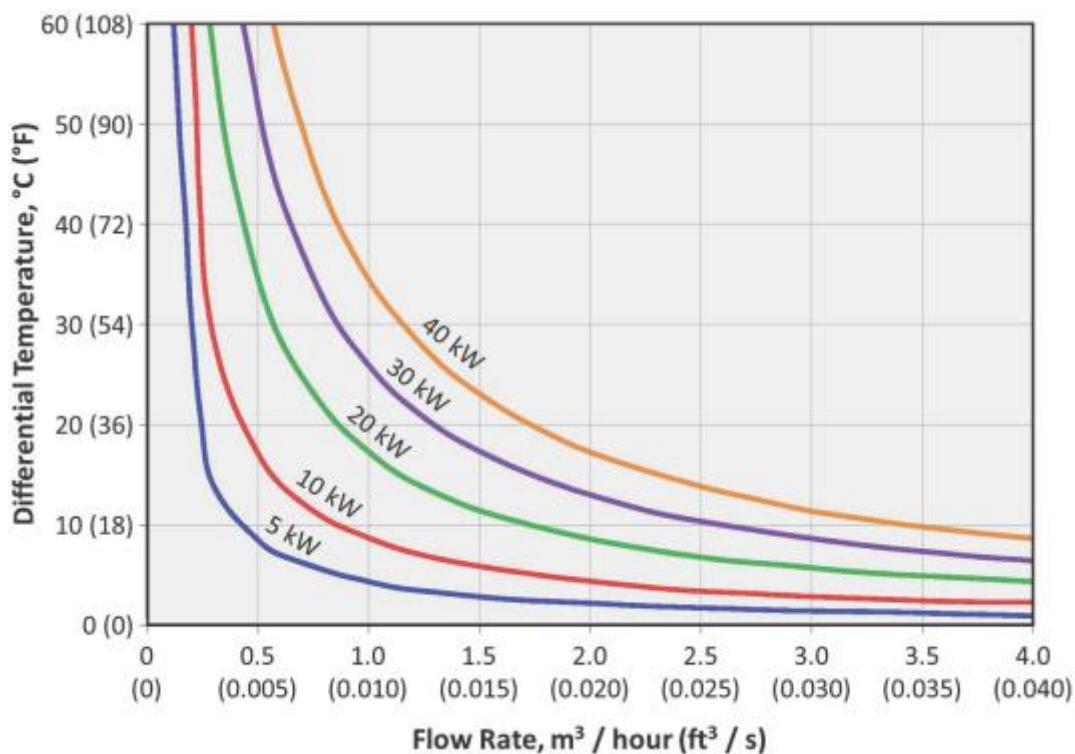
ASHRAE on antanut ohjearvot putkistojen virtaus- ja painehäviöarvoille. Taulukossa 4
on esitetty sallitut virtausnopeudet eri putken halkaisijoille.

Taulukko 4. ASHRAE:n sallimat virtausarvot putkille (17, s. 46)

Pipe Size, mm (in.)	Maximum Velocity, m/s (ft/s)
>75 (>3)	2.1 (7.0)
38 to 75 (1.5 to 3)	1.8 (6.0)
25 (<1)	1.5 (5.0)
All flexible tubing	1.5 (5.0)

Esimerkkinä voidaan ottaa putkikoko DN 65. Putken nimellishalkaisija on 76,1 mm. Tau-
lukosta luettuna maksimivirtausnopeus tämän koon putkelle on 2,1 m/s. Vastaavasti put-
kikoon DN 32 (nimellishalkaisija 42,16 mm) sallittu virtausnopeus on 1,8 m/s.

Kuvassa 14 on esitetty tyypilliset virtausarvot tunnissa, jatkuvaan lämpökuormaan näh-
den.



Kuva 14. ASHRAE:n virtausarvot (17, s. 45)

Esimerkkinä lämpötilaerolla 10 °C ja virtausarvolla 0,8 m³/h saadaan 10 kW jäähdytys-tehoa. Tyypillisesti lämpötilaerot ovat 5–10 °C. Laitoksen minimi paine-ero ei saisi olla alhaisempi kuin 40 kPa (14, s. 46). Koko laitoksen painehäviö ei saisi ylittää rajaa 690 kPa. Tämä ei saa ylittyä edes äkillisen tehon muutoksen aikana (17, s. 44).

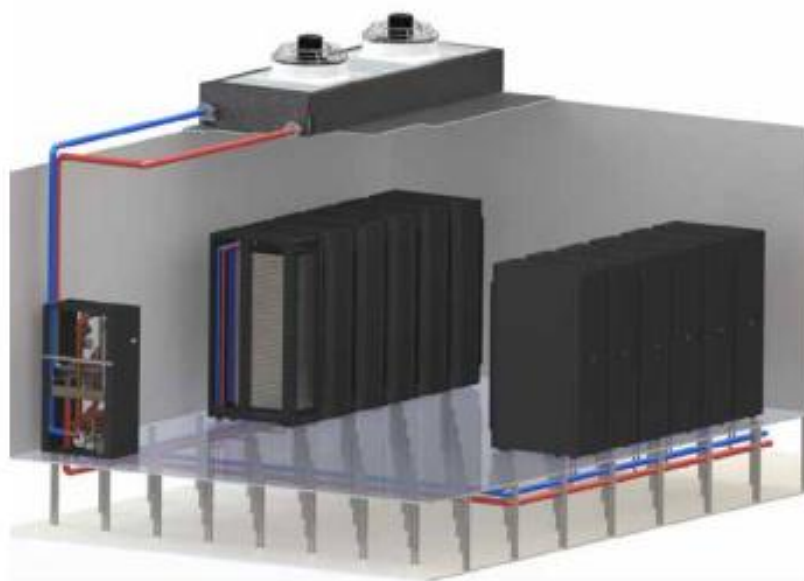
7.3 Olemassa olevia nestejäähdytysratkaisuja

Markkinoilla on muutaman eri valmistajan järjestelmiä nestejäähdytykselle. Valmistajien joukossa ovat mm. Dell, Asetek, Cray ja Intel. Tässä osiossa käydään läpi CoolIT:n sovellukset nestejäähdytykselle. Tämä valmistaja on valittu, koska valmistajilla on useampi variaatio toteuttaa nestejäähdytys.

7.4 CoolIT DCLC™

Valmistajalla on 3 erilaista tapaa toteuttaa nestejäähdytys. Sovellukset soveltuvat standardikoon serverikaappeihin. Nämä järjestelmät palvelevat aina yhdestä serverikaapista kokonaiseen jäähdytysverkostoon asti. (19.)

Rack DCLC CHx650 on neste-nestelämmönvaihdin, joka hallinnoi IT-kaappien verkostoa. Maksimi jäähdytysteho, joka voi kulkea tämän lämmönvaihtimen kautta on 650 kW. Lämpötiloina käy ASHRAE:n W3-W5 (2-45 °C) -luokat. Pumput on tehty periaatteella N+1, joka tarkoittaa, että on tarvittava määrä komponentteja ja yksi on varalla. Kuvassa 15 on esitetty järjestelmän toimintaperiaate. Erillistä vedenjäähdytyskonetta ei tarvita, jos järjestelmää käytetään korkeammilla lämpötiloilla. Vesi lauhdutetaan katolla olevalla nestejäähdyttimellä (NJ). Lauhtunut vesi kiertää CHx650-lämmönvaihtimelle, jossa lauhdevesi ottaa lämmön vastaan IT-laitteiden piiriltä (19.)



Kuva 15. CHx650-järjestelmän periaate (19)

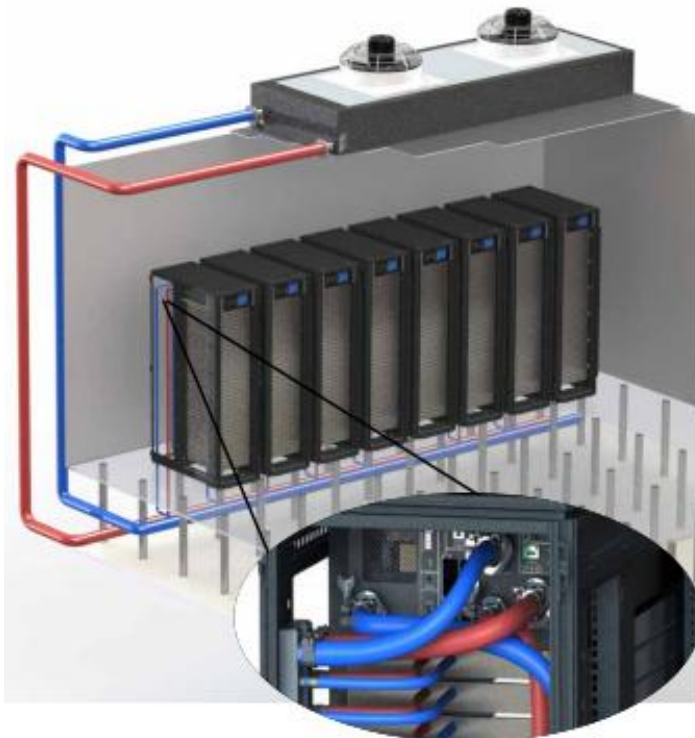
Jokainen serveri yhdistetään järjestelmään pikaliittimillä jakotukkiin. Tästä jakotukista neste jaetaan jokaiselle serverille sen jäähdytystarpeen mukaan. Yhden lämmönvaihtimen piiriin voi asentaa 5–20 serverikaappia. IT-laitteilta palaavaa lämmintä nestettä voidaan käyttää rakennuksen sisäiseen- tai ulkoiseen lämmitykseen. Maksimi energiankulutus on 4,2 kW. (19.)

CHx80-moduuli palvelee yhtä palvelinkaappia. Jäähdytysteho voi olla jopa 80 kW+ palvelinkaappia kohden. ASHRAE:n W3-W5 (2–45 °C) -luokat käyvät tähänkin konfiguraatioon. (19.)



Kuva 16. CHx80-jäähdytysyksikkö (19)

Nesteen lauhdutus tapahtuu samalla lailla kuin CHx650-järjestelmässä. Tässäkin on mahdollista uusiokäyttää IT-laitteistolta palaavaa lämmintä nestettä rakennuksen lämmitykseen. Kuvassa 17 on tarkemmin esitetty CHx80:n periaate. (19.)



Kuva 17. CHx80:n periaate (19)

Yksikkö on yhdistetty joustavilla letkuilla jakotukkiin, josta neste jaetaan servereille. Liitokset servereille on toteutettu pikaliittimiä käyttäen. Energiankulutuksen maksimi on 652 W @ 115VAC jännitteellä. (19.)

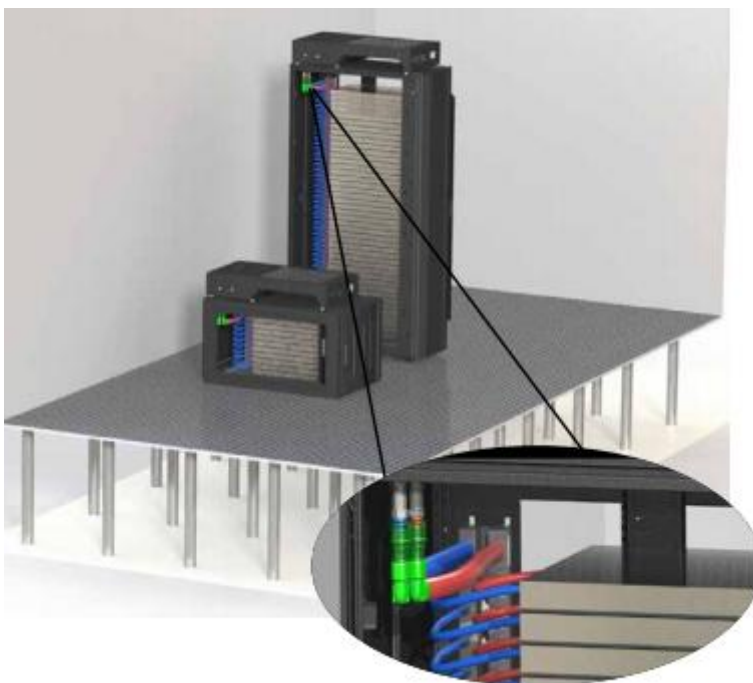
CHx40-lämmönvaihdin palvelee yksittäistä serverikaappia. Jäähdytysteho on 40 kW+ yksittäisellä laitteella ja maksimi energiankulutus on 110–120W. Järjestelmän toiminta ja kiinnitys servereihin tapahtuu samalla lailla kuin järjestelmillä CHx80 ja CHx650. Kuvassa 18 on esitetty CHx40-yksikkö. (19.)



Kuva 18. CHx40-lämmönvaihdin (19)

Kuvasta voidaan nähdä, kuinka kompaktiin tilaan kaikki komponentit on laitettu. Yksikössä on sisäinen vuodonilmaisus- ja varojärjestelmät.

Ilma-vesilämmönvaihdin AHx20 on erittäin kompakti ratkaisu. Tämä järjestelmä voi palvella vain yhtä serverikaappia. Yksikkö sijoitetaan serverikaapin yläpuolelle, kuten kuvassa 19 on esitetty. (19.)



Kuva 19. Neste-ilmalämmönvaihdin AHx20 (19)

Tällä ratkaisulla voidaan toteuttaa high density-serverikaapin jäähdytys perinteisessä ilmajäähdytteisessä datasalissa. Näin ilmajäähdytystä ei tarvitse tehostaa serverikaapille.

7.5 Nestejäähdytyksen hyödyt

Toteutustavasta riippumatta voidaan sanoa, että nestejäähdytys säästää lattiapinta-alaa korkeamman tehotehokkuuden ansiosta, jolloin data centeristä voidaan rakentaa pienempiä.

Nestejäähdytysserverikaappeja voidaan myös asentaa perinteiseen ilmajäähdytteiseen data centeriin. Tällöin samaan data centeriin voidaan sovittaa eri tarpeisiin sopivia ratkaisuja (eri tehotehokkuus). Lämpötilatasojen ollessa korkeat (ASHRAE-luokitus W5) erillistä vedenjäähdytyskonetta ei tarvita, mikä säästää niin investointi- kuin operointikustannuksissa.

Lämmön uusiokäyttö data centerin ulkopuolisissa rakennuksissa avaa mahdollisuuden myydä energiaa, jolloin data center toimija saa kokonaiskustannuksia vähennettyä.

8 Nestejäähdytys vs. CRAH-jäähdytys

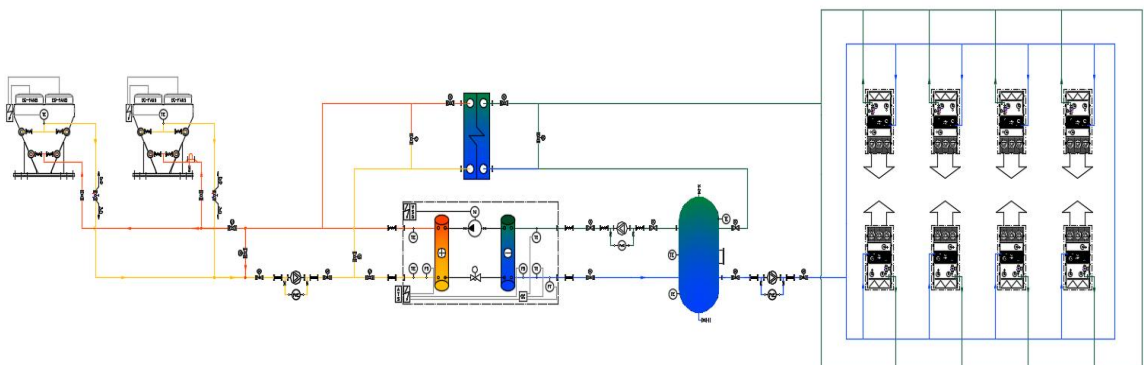
Tässä osiossa käydään läpi nestejäähdytyksen investointi- ja elinkaarikustannukset sekä PUE ja se, kuinka nämä eroavat perinteisen CRAH-jäähdytteisen data centerin arvoista. Laskenta on tehty laskentakoneella, joka on tehty PUE:n arvioimiseksi.

Vertailtava kohde on pelkistetty versio data centeristä, jossa käytetään vain tarvittavia pääkomponentteja kuten nestelauhduttimet, vedenjäähdytyskoneet, tarvittavat pumput ja CRAH-yksiköt.

Laskennassa tarkastellaan yhden vuoden jaksoa (8760 h).

8.1 Vertailukohteet

Laskennallinen jäähdytysteho kohteessa on 1, 25 MW. Jäähdytys on toteutettu yhdellä piirillä. Datasalissa on kahdeksan CRAH-yksikköä. Veden jäähdyttämiseen järjestelmässä on VJK ja nestejäähdyttimet, joissa on vapaajäähdytys mahdollisuus. Tarvittavia pumppuja on kolme kappaletta. Lauhdutinpiirillä on yksi ja kylmävesipuolella toinen pumppu ja kolmas VJK:lla. Kuvassa 20 on esitetty kohteen järjestelmä periaatekaaviolla, jossa kaikki pääkomponentit näkyvät.



Kuva 20. Data centerin-jäähdytysperiaate VJK:lla ja CRAH-yksiköillä vapaajäähdytyksellä

Lämmönvaihdin on vapaajäähdytystä varten, jolloin nestejäähdyttimet kierrättävät jäähtyneen veden lämmönvaihtimen kautta suoraan jäähdytyspiiriin. Jäähdytyspiirin puolella

vesi kiertää tasaussäiliön kautta. VJK:ta käytettäessä erillinen pumppu kierrättää veden tasaussäiliölle ja sieltä datasaliin CRAH-yksiköille.

Data centeriä pyritään jäähdyttämään vapaajäähdytyksellä mahdollisimman paljon. Vapaajäähdytyksessä nestelauhduttimet viilentävät nesteen. Vapaajäähdytystä käytetään aina +15 °C:seen asti. Koneellinen jäähdytys (VJK) tulee osittain mukaan, kun ulkolämpötila ylittää +15 °C. Jäähdytys on kokonaan koneellinen +21 °C:n jälkeen. Lämpötilatasot jäähdytyspiirissä ovat: +19,7/28 °C ja lauhdutuspiirissä +26,7/19 °C

Nestejäähdytteinen järjestelmä toteutetaan samalla periaatteella kuin CRAH-yksiköillä toimiva. Erona on se, että jäähdytysvesi/-neste viedään suoraan serverikaapeissa oleville jakotukeille, joista se jaetaan servereille. Lämpötilatasot ovat jäähdytyspiirissä +44,64/53 °C ja lauhdutuspiirissä 44/51,6 °C. Järjestelmässä ei tarvita VJK:ta lämpötilatasojen johdosta.

8.2 Laskennassa käytettäviä kaavoja

Laskentakoneessa lähtöarvoihin syötetään alustavat tiedot data centeristä. Näihin kuuluu mm. IT-laitteiden teho, jäähdytysveden lämpötilat, vedenjäähdytyskoneen teho ja kuluttama energia, pumppujen tehot ja ilmanvaihtokoneen teho. Tässä osiossa käydään läpi, mitä kaavoja laskennassa on käytetty.

Kaavalla 5 voidaan laskea tarvittava jäähdytysteho.

$$\phi = \rho * q_v * c_p * \Delta t \quad (5)$$

ϕ on jäähdytysteho, kW

ρ on tiheys, kg/l

q_v on tilavuusvirta, l/s

c_p on ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg °C

Δt on lämpötilaero, °C.

Jäähdytysteho on määritelty valmiiksi, joten virtaus voidaan laskea kaavalla 6

$$q_v = \frac{\phi}{\rho \cdot q_v \cdot c_p \cdot \Delta t} \quad (6)$$

ϕ on jäähdytysteho, kW

ρ on tiheys, kg/l

q_v on tilavuusvirta, l/s

c_p on ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg °C

Δt on lämpötilaero, °C.

Pumppujen teoreettinen teho saadaan laskettua nostokorkeuden ja tilavuusvirran avulla kaavalla 7.

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (7)$$

ρ on tiheys, kg/l

g on putoamisliikkeen kiihtyvyys, m/s²

Q on tilavuusvirta, m³/s

H on nostokorkeus, m

η on hyötysuhde, %

Näiden kaavojen avulla saadaan laskettua data centerin LVI-teknisten järjestelmien energian kulutus.

8.3 Elinkaarikustannusten laskenta

Laskennassa yritetään selvittää, mikä toteutustapa on mahdollisimman kustannustehokas. Laskennassa otetaan huomioon rakennuksen eri vaiheet sen elinkaareissa. Kuvassa 21 on esitetty laskennassa huomioon otettavat asiat (20).

Elinkaarikustannuslaskenta	
A0 Ennen rakentamista	Tontin hankinta veroineen, hankevaiheen suunnitelmat ja kustannukset. Jos tontti vuokrataan, vuokratkustannukset kohdistetaan tälle vaiheelle. Jos rakennus hankitaan käyttöön olemassa olevana, kohdistetaan hankintahinta ja -kulut tähän vaiheeseen.
A1-A5 Ennen käyttövaihetta	Vaiheet A1-A5 voidaan käsitellä yhteensä kokonaisuutena, joka voi perustua urakkatarjouksiin tai muuhun kustannusarvioon. Myös muut hankkeen projektinjohto-, tarkastus- ja valvontakulut kuuluvat tähän vaiheeseen. Kunnallistekniikan liittymiskustannukset kuuluvat tähän vaiheeseen.
B1 Käyttö	Kiinteistövero, isännöinti, vakuutukset ja turvallisuuspalvelut. Taloushallintoon (esim. asunto-osaakeyhtiön kirjanpito ja tilintarkastus) liittyviä kustannuksia ei huomioida.
B2 Kunnossapito	Huolto- ja ylläpitopalvelut, mm. siivous, pintojen ja teknisten järjestelmien huolto. Tarkastukset ja muut toistuvat toimenpiteet (esim. nuohous).
B3 Korjaus	Ennakoimattomista rikkoutumisista johtuvat korjauskustannukset.
B4 Osien vaihto	Suunnitelluista rakennuksen osien vaihdoista johtuvat korjauskustannukset ja tähän liittyvien suunnittelu- ja valvontatehtävien kustannukset.
B5 Laajamittaiset korjaukset	Rakennuksen käyttötarkoituksen muuntamisesta johtuvat kustannukset.
B6 Energian käyttö	Rakennukseen ostettava energia- ja polttoaineet siirtomaksuineen. Kulutuksesta tulee poistaa kuluttajalaitteiden osuus (tai mainittava jos se on huomioitu), mutta tontilla kulutettava energia huomioidaan. Periaate on sama kuin hiilijalanjalan osalta (katso Värkki-loppuraportti luku 6.3.)
B7 Veden käyttö	Puhtaan veden ostosta ja jäteveden käsittelystä syntyvät kustannukset. Kulutuksesta tulee poistaa kuluttajalaitteiden osuus kulutuksesta (tai mainittava jos se on huomioitu).
C1-C4 Purkuvaihe	Rakennuksen purkaminen ja purkujätteen käsittely ja kuljetus. Maaperän tai tontin ennallistaminen hanketta edeltävälle tasolle ja valmiiksi seuraavaa käyttäjää varten. Kohta voidaan käsitellä urakkasummana purku-, siivous- ja ennallistamistöistä, josta poistetaan materiaalien hyötykäytön hyvytykset. Jos näitä ei tunneta, niitä ei huomioida.
D Elinkaaren ulkopuoliset lisätiedot	Lisätiedot kattavat rakennuksen elinkaaren ulkopuoliset vaiheet, jotka koostuvat energian myynnistä ja rakennuksen materiaalien tai osien uudelleen- tai hyötykäytöstä. Uudelleen- ja hyötykäyttö huomioidaan ensisijaisesti syntyneitä kustannuksia vähentävänä alennuksena, ja kustannukset ylittävät tulot raportoidaan lisätiedoissa. Lisäksi lisätietomodulissa todetaan rakennushankkeen saamat mahdolliset subventiot.

Kuva 21. Elinkaarikustannuslaskennan vaiheet (19)

Tässä työssä lasketaan ainoastaan jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset, jotta niitä voidaan verrata toisiinsa tarkemmin. Elinkaarikustannuslaskennan ohjeet saadaan Green Building Council Finlandin sivustolta (20).

Green Building Council Finland on antanut vähimmäishinnat sähköenergialle, kevyelle polttoöljylle ja energian hinnan nousulle vuositasolla laskentaa varten (20). Suurempia-kin arvoja voidaan käyttää, jos energian hinta on korkeampi. Kuvassa 22 on esitetty minimiarvot.

Muuttuja	Arvo	Lähde
Sähköenergian vähimmäishinta (alv 0%)	5,2 snt / kWh	Energiamarkkinavirasto, sähköenergian hinta, veroton, tyyppikäyttäjä L1, keskiarvo jaksolta 1.11.2007 – 1.11.2012
Kevyen polttoöljyn vähimmäishinta (alv 0%)	65 snt / litra	Tilastokeskus, Energian hinnat, verollinen kuluttajahinta 2007-2011 vuosien keskiarvot, josta poistettu arvonlisäveron osuus.
Energian hinnan nousu vuositasolla	4,60 %	EU Energy trends to 2030: reference scenarion perusteella laskettu keskiarvo energiatuotteiden hintojen kehityksestä aikajänteellä 2025-2030, jota korjattu inflaatiolla

Kuva 22. Vähimmäisparametrit elinkaarikustannuslaskennassa (20)

Laskennassa täytyy tehdä diskonttaus eli tulevien maksujen siirtäminen nykyarvoon. Suositeltu laskennallinen korko on kolme prosenttia. Tästä voidaan kumminkin poiketa ja käyttää korkoa joka sopii tapaukseen. Kaavalla 8 voidaan laskea diskonttaus (21, s. 140).

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{c_t}{(1+i)^t} \quad (8)$$

jossa

n projektin kesto vuosina

c_t kustannus vuodessa t

i diskonttauskorko

Elinkaaren pituus voidaan määrittellä rakennuksen tai järjestelmänkäyttötarkoitukseen sopivaksi. Elinkaaren pituudeksi tässä työssä määritellään viisitoista vuotta, diskonttauskoroksi kolme prosenttia ja energian hinnan nousu vuositasolla 4,60 %.

8.4 Energiatehokkuuden arviointi

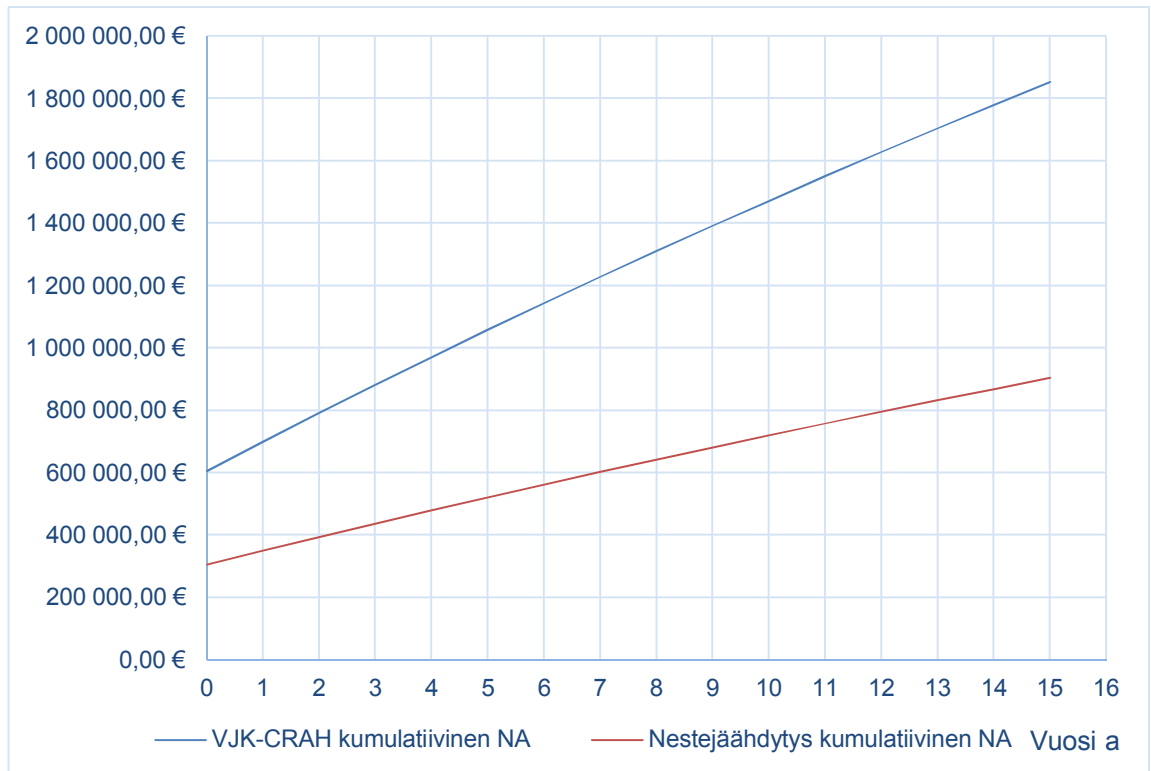
Kummallekin järjestelmälle lasketaan PUE-arvo kaavalla 1, jolloin lasketaan kokonaistehon kulutus ja jaetaan se IT-laitteiden tehonkulutuksella. Näin järjestelmien energiaterhokkuutta voidaan arvioida ja verrata toisiinsa.

Tässä työssä PUE lasketaan laskentaohjelmaa käyttämällä, johon on syötetty data centerin jäähdytysjärjestelmän tiedot. Laskennasta on jätetty valaistuksen ja muiden apujärjestelmien käyttämä energia pois. Tämä siksi, että jäähdytysjärjestelmiä voidaan verrata keskenään paremmin.

9 Tulokset

9.1 Elinkaarikustannukset

Järjestelmien kustannusten erot muodostuvat investointi-, energia- ja huoltokustannuksista. Perinteisen VJK-jäähdytteisen datasalin vuotuiset käyttökustannukset ovat 73 916,00€ vuodessa nykyhinnoilla. Investointikustannukset ovat 605 000 €. Nestejäähdytteisen datasalin käyttökustannukset ovat 34 216 €. Investointikustannukset ovat 305 000 €. Kuvassa 23 on esitetty elinkaarikustannukset kummallekin järjestelmälle aikajanakaavion muodossa.



Kuva 23. Elinkaarikustannukset

Vuotuisten kustannusten ero on 39 699 €. Koko elinkaaren aikana kustannusten ero on 10 515 405 €. Tähän kuuluvat investointi- ja käyttökustannukset. Näiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että nestejäähdytteisen datasalin käyttö on kustannustehollisesti paljon suurempi, kuin perinteinen VJK-jäähdytteinen datasali.

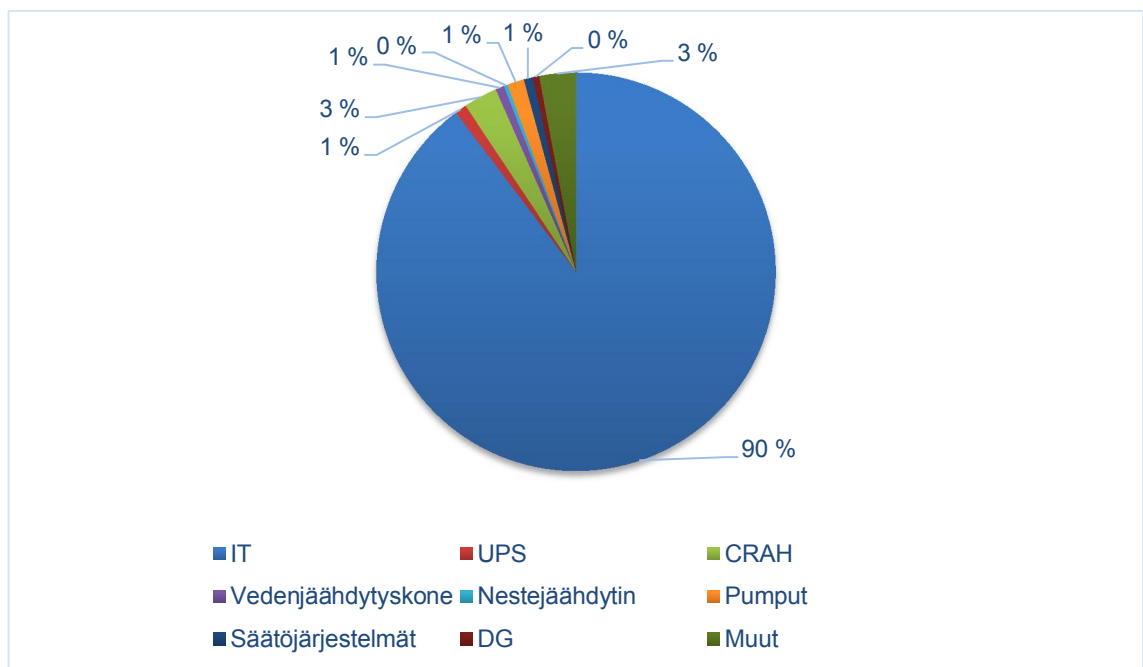
9.2 Energiatohokkuus

Data centerin energiatohokkuutta laskettaessa kokonaisenergian kulutusta verrataan IT-laitteiden energiankulutukseen. IT-laitteiden kulutus laskentakohteissa on 10 950 MWh vuodessa. Taulukossa 5 on esitetty VJK-jäähdytteisen data centerin energiankulutus.

Taulukko 5. VJK-jäähdytteisen data centerin energiankulutus

	MWh
UPS	116
PD	199
CRAH	334
WCC	86
DCR	38
Pumps	166
AHU	89
Humidifier	4
Controls	88
DG	65
Other	70
Yhteensä	1 255

Kuvassa 24 on esitetty energiankäytön jakautuminen prosenttiyksiköin.



Kuva 24. VJK-jäähdytteisen data centerin energiankulutus prosentteina

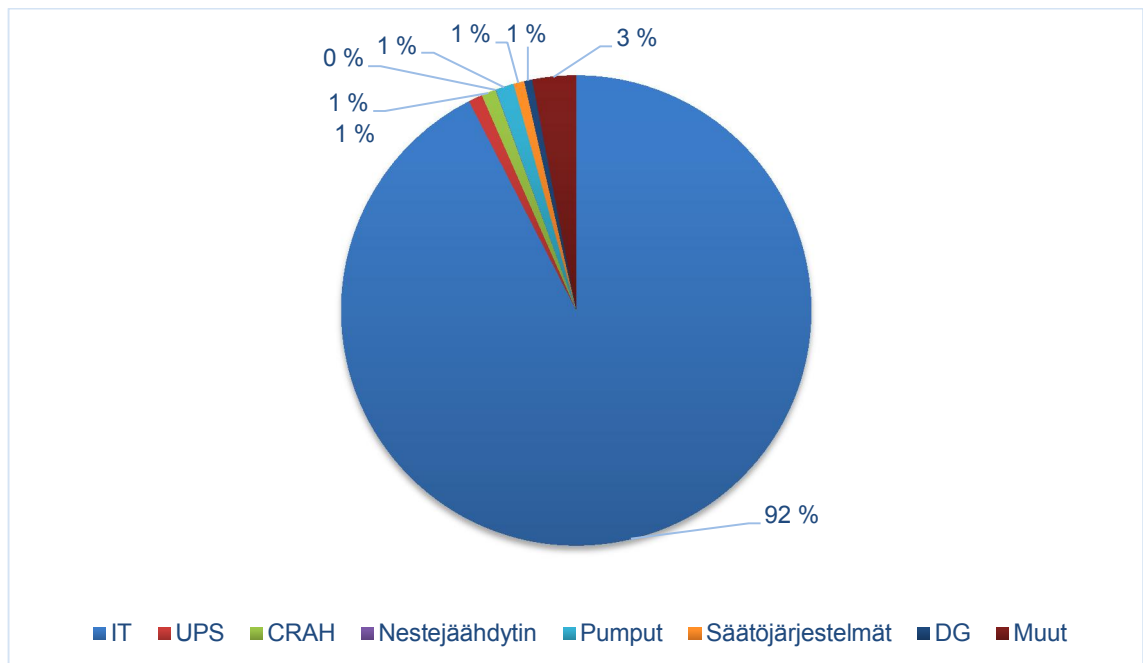
PUE-arvoksi saadaan 1,115 jakamalla kokonaisenergian kulutus IT-laitteiden kulutuksella.

Nestejäähdytteisen data centerin energiankulutuksen laskennassa saadut tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Nestejäähdytteisen data centerin energiankulutus

	MWh
UPS	113
CRAH	118
PD	193
DCR	3
Pumps	150
AHU	89
Humidifier	4
Controls	88
DG	65
Other	70
Yhteensä	893

Kuvassa 25 on esitetty energiankäytön jakautuminen prosenttiyksikköinä. Tästä voidaan havaita, että prosentuaalisesti IT-laitteiden käyttämä energia on tehostunut 2 prosenttiyksikköä VJK-jäähdytteisestä data centeristä.



Kuva 25. Nestejäähdytteisen data centerin energiankulutus

Nestejäähdytteisen data centerin PUE-arvoksi saadaan 1,082. Näiden kahden järjestelmän PUE-arvo eroaa toisistaan 0,033 yksikköä. Taulukoiden 5 ja 6 perusteella voidaan havaita, että nestejäähdytteisessä data centerissä energiaa kuluu vuoden aikana vähemmän kuin VJK-jäähdytteisessä 362 MWh. Voidaan sanoa, että nestejäähdytteinen data center on energiatehokkaampi.

10 Päätelmät

Nestejäähdytteinen datasali verrattuna perinteisesti VJK:lla jäähdytettävään ilmakiertoiseen datasaliin on jo investointivaiheessa kustannustehokkaampi. Sama teema jatkuu läpi laitoksen elinkaaren. Kustannusero on vuositasolla 39 699 € ja koko elinkaaren aikana 10 515 405 €. Tätä tulosta ei voida pitää täysin absoluuttisena, koska laskennassa otettiin ainoastaan huomioon kylmäntuotantolaitteet.

Työssä nousi esiin nestejäähdytyksen rinnankäyttö mahdollisuus perinteisessä ilmajäähdytteisessä datasalissa. Tämä mahdollistaa eri tehotehtävien serverikaappien sijoittamisen samaan datasaliin. Toisena asiana on se, että datasalin laitteiden jäähdyttämiseen ei tarvita erillistä kylmäntuotantoa, vaan vapaajäähdytystä voidaan käyttää ympäri vuoden, joka tuo säästöjä.

Nestejäähdytystä voitaisiin alkaa käyttämään enemmän datasaleja rakennettaessa. Järjestelmä ei ole niin monimutkainen kuin luullaan. Tämä edistäisi kaupallisten data centerien joustavuutta ottaen erilaisten asiakkaiden IT-laitteistoja samaan tilaan. Lattiapinta-alaa myös säästyy, kun ei tarvita niin montaa kiertoilmakoneyksikköä.

Nestejäähdytystä tulee tutkia vielä tarkemmin, että saataisiin parempaa tietoa, kuinka nestejäähdytys toimii oikeassa datasaliympäristössä.

Lähteet

- 1 Mills, Mark P. 2013. The Cloud Begins With Coa. Verkkodokumentti. Digital Power Group < https://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/Cloud_Begins_With_Coal.pdf?c761ac>. Luettu 7.4.2017.
- 2 Rasmussen, Neil. 2011. An Improved Architecture for High-Efficiency, High-Density Data Centers. White Paper 126, s. 21. Schneider Electric. Verkkodokumentti. <http://www.engineering.schneider-electric.dk/Attachments/sol/tech_pub/Improved_architecture_datacenters.pdf>. Luettu 24.2.2017.
- 3 Energiategokas konesali. 2011. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/files/4828/Energiategokas_konesali.pdf>. Luettu 7.2.2017.
- 4 D3 Rakennusten energiategokkuus, määräykset ja ohjeet. 2012. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf>. Luettu 2.2.2017.
- 5 Avelar, Victor; Azevedo, Dan; Frenc, Adam. 2012. PUETM: A Comprehensive Examination of the Metric. Verkkodokumentti. The Green Grid. <<https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/237-WP#49---PUE:-A-Comprehensive-Examination-of-the-Metric>>. Luettu 18.2.2017.
- 6 Greijer, Anders. 2010. Energieffektivitet i datahallar. Tuotantotalous. Opinnäyte-työ. Verkkodokumentti. Kungliga Tekniska Högskolan. <http://www.eko-fysiskdatormiljo.se/ovrigt/NPUE.pdf>. Luettu 7.2.2017
- 7 Patterson, Mike. 2010. ERE: A Metric For Measuring The Benefit of Reuse Energy From a Data Center. Verkkodokumentti. The Green Grid. <https://eehpcwg.llnl.gov/documents/infra/06_energyreuseefficiencymetric.pdf>. Luettu 15.2.2017
- 8 Thermal Guidelines for data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance. 2011. Verkkodokumentti. ASHRAE. <http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/ashrae_2011_thermal_guidelines_data_center.pdf>. Luettu 23.2.2017.
- 9 Van Geet, Otto. 2013. Trends in Data Center Design – ASHRAE Leads the Way to Large Energy Savings, s. 23. Verkkojulkaisu. National Renewable energy Laboratory. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc836155/m2/1/high_res_d/1086359.pdf>. Luettu 7.4.2017.
- 10 Data Centre – cold / hot aisle containment. 2017. Verkkojulkaisu. ZPAS. <<http://serwerownie.co/language/en/2014/03/04/data-centre-cold-hot-aisle-containment/>>. Luettu 27.3.2017

- 11 Chilled Door, Rack Cooling System. 2016. Verkkodokumentti. Motivair. <http://www.chilleddoor.com/files/uploads/2014/10/MOT_chilledDoor_9-2016_FINAL.pdf>. Luettu 27.2.2017.
- 12 Cloudsite Data Center with KyotoCooling. 2017. Verkkodokumentti. KyotoCooling <https://www.youtube.com/watch?v=1afSq_vSOvY>. Luettu 15.3.2017.
- 13 How KyotoCooling Works. 2017. Verkkodokumentti. KyotoCooling. <<http://kyoto-cooling.com/how-kyotocooling-works/>>. Luettu 15.3.2017.
- 14 Optimizing facility operation in high density data center environments. 2007. Verkkojulkaisu. Hewlett-Packard Company, L.P. <<http://h20564.www2.hp.com/hpsc/doc/public/display?docId=c00064724>>. Luettu 20. 2.2017.
- 15 Meadows, Dave. 2015. Gaining Data Center Efficiency Through Containment – Part 2. Verkkojulkaisu. Stulz-USA <<http://blog.stulz-ats.com/data-center-containment-tc-9.9-0/>>. Luettu 3.3.2017.
- 16 Kleyman, Bill. 2016. Data Center Liquid Cooling. Verkkodokumentti. Data Center Frontier. <<http://datacenterfrontier.com/white-paper/data-center-liquid-cooling/>>. Luettu 21.2.2017.
- 17 the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2016. Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 4th Edition. Atlanta: ASHRAE.
- 18 Safe Sustainable Cooling Performance. 2009. Verkkojulkaisu. 3M Electronics. <<http://multimedia.3m.com/mws/media/65495O/3mtm-thermal-management-fluids.pdf>>. Luettu 20.4.2017.
- 19 Rack DCLC Product Guide. 2016. Verkkojulkaisu. CoolIT systems. <http://www.coolitsystems.com/phocadownload/coolit/marketing/771-00012%20reva12_coolit%20systems%20rack%20dclc%20product%20guide.pdf>. Luettu 27.3.2017.
- 20 Rakennusten elinkaarimittarit. 2017. Verkkojulkaisu. Green Building Council Finland. <<http://figbc.fi/elinkaarimittarit/laskentaohjeet/elinkaarikustannusten-laskenta/>>. Luettu 1.4.2017.
- 21 Boardman, Anthony; Greenberg, David; Vining, Aidan; Weimer, David. 2011. Cost-benefit Analysis: Concepts and Practice. 4th edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall