



Valtteri Ranne

Datakeskusten LVI-suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

6.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Valteri Ranne
Otsikko:	Datakeskusten LVI-suunnittelu
Sivumäärä:	59 sivua
Aika:	6.5.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	LVI-suunnittelija DI Siiri Hammar Yliopettaja Aki Valkeapää

Insinööriyössä käsiteltiin datakeskusten LVI-suunnittelua, ylijäämäenergian hyödyntämistä ja ympäristövaikutusten näkökulmia. Työssä selvitettiin konesalien ja datakeskusten suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä sekä erilaisia ratkaisuja, joilla voidaan saavuttaa laitevalmistajien ja tilaajien asettamat olosuhderajat. Lähteinä hyödynnettiin kotimaisia sekä kansainvälisiä tutkimuksia, asetuksia ja standardeja.

Teknisten toteutusvaihtoehtojen lisäksi työssä käydään läpi datakeskusten LVI-suunnitteluohjeistus. Ohjeistuksessa on kuvattu kansainväliset RIBA-vaiheet eli brittiläisen rakennussuunnittelun vaiheet, joita voi hyödyntää LVI-projektin vaiheistuksessa. Vaiheiden kuvausten tarkoituksena on havainnollistaa datakeskusprojektin etenemistä ja esitellä vaiheiden aikana suoritettavat suunnittelutehtävät ja laadittavat dokumentit.

Insinööriyö antaa yleiskuvan datakeskusten LVI-suunnittelusta ja sen erityispiirteistä. Työtä voidaan hyödyntää suunniteltaessa tilaajalle konseptitason ehdotuksia jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmistä eri kokoisiin ja tehoisiin datakeskuksiin. Lisäksi työ tarjoaa tietoa energiatehokkuuden parantamisen ohjeista ja vaatimuksista.

Avainsanat: datakeskus, suunnittelu, energiatehokkuus, RIBA

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Valtteri Ranne
Title: HVAC Design for Data Centers
Number of Pages: 59 pages
Date: 6 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Siiri Hammar, HVAC Designer
Aki Valkeapää, Principal Lecturer

The main objective of this final year project was to produce learning material to support the training of new employees in the Data Center Design department of the commissioning company. Therefore, the key aspects of HVAC design specific to data centers were studied.

The project was conducted as a literary study of various domestic and international standards and regulations. Various technical implementation variations were described and compared in the thesis. The study indicated that most design guidelines originate from abroad and must be adapted to the Finnish operational environment. Additionally, the thesis highlighted reasons why Finland is an attractive location for new data centers.

The project provided comprehensive information on data center design and energy efficiency aspects and introduced various guidelines to assist the design. The introduced documents included the RIBA process flowchart for data center design that can be used to assist new designers to understand the phases of an HVAC design project. The thesis can be used as an introduction to this and other essential project documents.

Keywords: data centre, design, energy efficiency, RIBA

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Datakeskusten ominaisuudet ja vaatimukset	2
2.1	Datakeskusten rooli ja merkitys yhteiskunnassa	2
2.2	Datakeskuksen tilat	2
2.3	Konesalien toiminnan edellytykset	3
2.4	Konesalien energiankulutus ja ympäristövaikutukset	5
2.5	Datakeskusten energiatehokkuusvaatimukset ja laskenta	6
2.5.1	PUE	8
2.5.2	ERF / ERE	10
2.5.3	Muut tunnusluvut	12
3	Konesalin LVI-suunnittelun erityispiirteet	13
3.1	Suunnittelua ohjaavat asetukset ja ohjeet	14
3.1.1	ASHRAE:n ohjeistus	14
3.1.2	Eurooppalaiset ohjeistukset	16
3.1.3	Muita kansainvälisiä suunnitteluohjeita	17
3.2	Datakeskuksen perustiedot ja lähtökohdat	18
3.3	Suunniteltavat LVI-järjestelmät	18
3.4	Vikasetoisuus ja redundanssi	19
4	Olosuhdehallinta datakeskuksen palvelintilassa	23
4.1	Jäähdytystavan valinta	24
4.2	Jäähdytyksen tuotanto	28
4.3	Ilmajäähdytyksessä ilman ominaisuudet	30
4.4	Ilmajäähdytyksen toteutustavat	34
4.5	Nestejäähdytys	36
4.6	Ilman olosuhdehallinnan suunnittelu	39
4.6.1	Kostutus	40
4.6.2	Kuivatus	40
5	Energiatehokkuuden parantaminen konesaleissa	41
5.1	Suunnittelun ongelmakohtia	42

5.2	Energiatehokkaita toteutusvaihtoja	45
5.3	Ilma- ja nestevirtojen optimointi jäähdytyksessä	45
5.4	Hukkaenergian hyödyntäminen	46
6	Datakeskuksen suunnitteluprosessi	47
6.1	Suunnittelun toteutuspolku	48
6.2	RIBA 0 – Strateginen määrittely (Strategic Definition)	49
6.3	RIBA 1 – Valmisteluvaihe (Preparation and Briefing)	49
6.4	RIBA 2 – Konseptisuunnittelu (Concept Design)	50
6.5	RIBA 3 – Suunnittelun kehitys (Spatial Coordination)	51
6.6	RIBA 4 – Tekninen suunnittelu (Technical Design)	52
6.7	RIBA 5 – Rakentaminen (Manufacturing and Construction)	52
6.8	RIBA 6 – Käyttöönotto (Handover)	53
6.9	RIBA 7 – Käyttö ja ylläpito (Use)	54
6.10	Takaisinkytkennät	54
7	Yhteenveto	55
	Lähteet	56

Lyhenteet

- ANSI: *American National Standards Institute*. Amerikan Yhdysvalloissa toimiva standardointijärjestö.
- ATEX: *Atmosphères Explosibles*. Räjähdyksvaarallinen tila.
- ASHRAE: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Amerikkalainen yhdistys, jonka tarkoituksena on edistää LVIJ-järjestelmien suunnittelua ja valmistusta.
- CFD: *Computational fluid dynamics*. Numeerinen virtausdynamiikka, laskee ja analysoi laskennallisesti nesteiden tai kaasujen käyttäytymistä.
- CRAC: *Computer room air conditioning*. Suorahöyrystyskone, jossa oma kylmäainepiiri ilman jäähdyttämiseksi.
- CRAH: *Computer room air handler*. Vesipatterikone, jonka jäähdyttävä neste tulee muualta.
- ERF: *Energy Reuse Factor*. Hukkaenergian hyötykäytön kerroin.
- IEC: *International Electrotechnical Commission*. Kansainvälinen sähköalan standardoimisorganisaatio.
- ISO: *International Organization for Standardization*. Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
- PUE: *Power usage effectiveness*. Suhdeluku, joka kuvaa datakeskusten energiatehokkuutta.
- TIA: *Telecommunications Infrastructure Standard*. Amerikkalainen telekommunikaatioalan standardisarja.

1 Johdanto

Datakeskusten määrä on lisääntynyt Suomessa ja maailmalla viime vuosien aikana huomattavasti. Kasvava pilvipalveluiden määrä, virtuaalitodellisuuden yleistyminen ja tekoälyn lisääntynyt käyttö ovat antaneet näitä palveluja tarjoaville yrityksille mahdollisuuden lisätä palveluiden kapasiteettia kannattavasti. Palveluiden tuottaminen on kuitenkin lisännyt tehokkaamman laskentatehon tarvetta.

Tehokkaamman datakeskuksen ylläpitämiseksi tarvitaan jäähdytysjärjestelmä, joka pystyy ylläpitämään tarvittavaa jäähdytystehoa jatkuvasti ilman häiriöitä. LVI-järjestelmiä datakeskuksiin suunniteltaessa onkin otettava huomioon järjestelmien fyysinen turvallisuus, luotettavuus, huollettavuus ja laajennettavuus. Järjestelmien suunnittelua ohjaavat laitteiston luotettavan toiminnan vaatimat olosuhteet, asiakkaan tarpeet, valtiolliset asetukset ja kansainväliset ohjeistukset.

Työn tavoitteena on tuottaa datakeskuksen LVI-suunnittelun erityispiirteistä tietopaketti, jota voidaan hyödyntää DC (Data Center) -osaston uusien työntekijöiden kouluttamisessa. Opinnäytetyössä selvitetään datakeskusten LVI-suunnitteluun vaikuttavia viranomaisvaatimuksia, alalla käytettäviä standardeja, toteutusvaihtoehtoja ja energiatehokkuusnäkökulmia. Energiatehokkuus ja sen edistäminen suunnittelussa on otettu opinnäytetyössä monessa kohtaa esille sen ajankohtaisuuden ja tärkeyden takia.

Työn suunnitteluprosessin osuus tehdään yhteistyössä Granlund Oy:n kanssa. Granlund Oy on Helsingissä sijaitseva suunnittelutoimisto, jonka yhtenä toimialana on datakeskusten suunnittelu ja konsultointi. Työn ohjaajana yrityksen puolella oli datakeskusosaston LVI-suunnittelija diplomi-insinööri Siiri Hammar.

Tutkimusasetelman ideoinnissa, työn jäsentelyssä ja otsikoinnissa on käytetty OpenAI:n ChatGPT:n versiota 4. Samaa ohjelmaa on käytetty tekstin kieliasun

viimeistelyyn ja lähdeviitteiden muotoiluun. Opinnäytetyön tekijä on vastuussa kaikesta opinnäytetyön sisällöstä ja muotoilusta.

2 Datakeskusten ominaisuudet ja vaatimukset

2.1 Datakeskusten rooli ja merkitys yhteiskunnassa

Datakeskukset ovat osa nyky-yhteiskunnan infrastruktuuria. Ne tarjoavat palveluja kuluttajille, yrityksille ja yhteiskunnan kriittisille osa-alueille, kuten valtiovalalle, puolustusvoimille, energiajärjestelmille ja pankeille. Datakeskukset ovat myös monien alojen työllistäjiä, rakennustyöntekijöistä ylläpitoinsinööreihin.

Datakeskukset käyttävät toiminnassaan paljon sähköä. Ympäristövaikutuksien vähentämiseksi moni datakeskusoperaattori vaatii uusiutuvan energian käyttöä. Tämän tyyppisen energiantuotannon lisääntynyt kysyntä mahdollistaa myös sijoitukset uusiutuvan energian tuotantoon. (Li ym. 2021: luku 19.3.5.)

Tyypillisesti datakeskukset luokitellaan kolmeen eri luokkaan niiden IT-laitteiston tehon perusteella: Suurimpia ovat niin sanotut Hyperscale-datakeskukset, joiden IT-laitteiden tehontarve on välillä 50–300 MW. Seuraavaksi isompia ovat co-location ja pilvipalveluja tuottavat datakeskukset, joiden IT-laitteiden tehontarve usein alle 50 MW. Keskuksissa yksittäisten palvelinkaappien teho on tyypillisesti 1–12 kW. Pienimpiä ovat Enterprise-datakeskukset, joita omistavat ja ylläpitävät yksityiset yritykset ja julkinen sektori. Näiden kokonaistehontarve on tyypillisesti alle 2 MW ja yksittäisen palvelinkaapin 20–30 kW. (Gynther ym. 2022: 7.)

2.2 Datakeskuksen tilat

Konesalitilaa kutsutaan englanninkielisellä termillä White space. Tila on erillinen alue datakeskuksessa, missä palvelimilla on edellytykset häiriöttömään toimintaan ja hyvään ylläpitoon. Konesalin varustukseen kuuluvat palvelimien ja laitekaappien lisäksi myös muu toimintaan liittyvä infrastruktuuri, kuten

verkkoliikennelaitteet, virransyötön komponentit ja tilojen jäähdytyslaitteet. (Bercovich 2023.)

Konesalin varustuksen suunnittelussa kiinnitetään huomiota laitteiden oikeanlaiseen sijoitteluun tilassa, kaapeleiden reitteihin ja laitekaappien varusteluun. Kiinnittämällä näihin asioihin huomiota pyritään saamaan jäähdyttävälle ilmavirroille häiriötön reitti oikeisiin paikkoihin. (Bercovich 2023.)

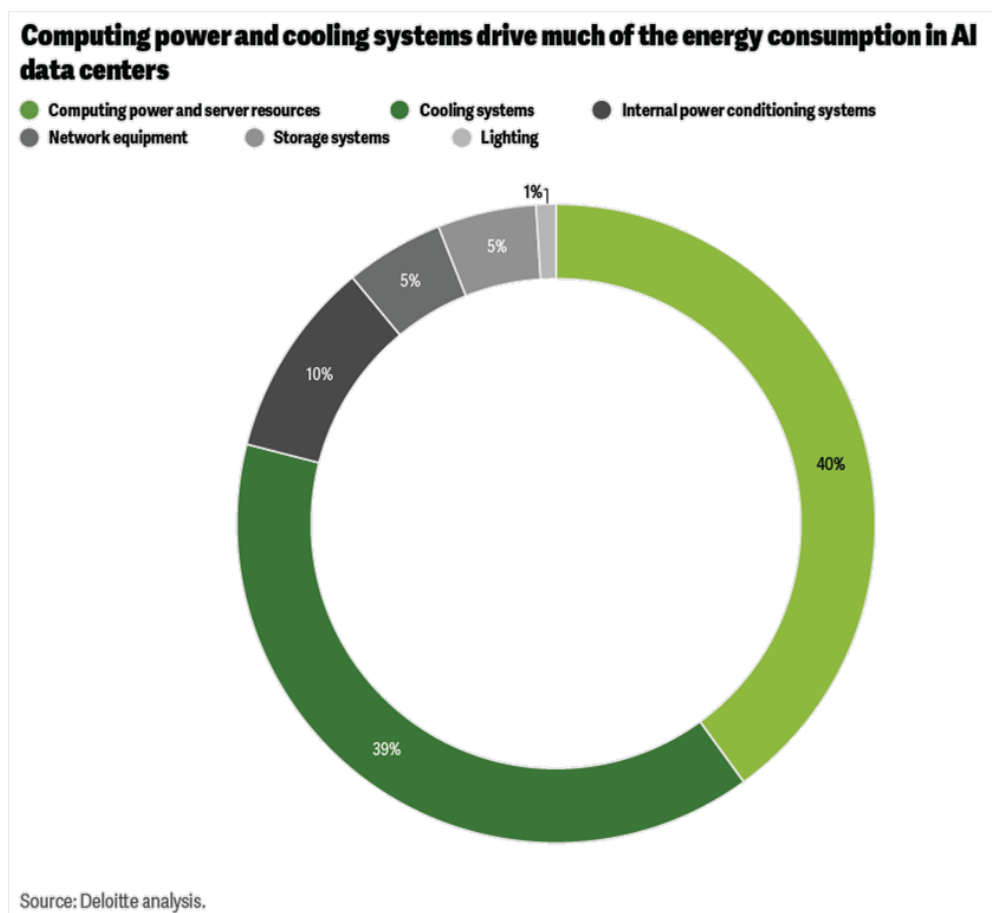
Datakeskuksissa konesalin tilan ulkopuolella löytyy konesalia tukeva alue, jota kutsutaan englanniksi termillä Grey space. Tilassa on konesaltilaa tukeva tekniikka, kuten jäähdytysjärjestelmät, generaattorit, tietoliikennekytkimet ja UPS (Uninterrupted Power Supply) -laitteet. (Bercovich 2023.)

2.3 Konesalien toiminnan edellytykset

Datakeskuksissa toimivat järjestelmät suunnitellaan turvallisiksi, luotettaviksi ja vikasietoisiksi, kuten muut teollisuusprosessit. Samalla on suunnitelmassa huomioitava järjestelmien laajennettavuus ja tehojen kasvattaminen. Näiden lisäksi taustalla vaikuttavat valintoihin hankkeen kannattavuus, rahoitus ja käytön aikaiset kustannukset. Laitetehojen kasvaessa sähkönkulutus ja sähkön riittävyys on kasvanut merkittäväksi huolenaiheeksi maailmanlaajuisesti. (Hwaiyu 2021: luku 24.2.)

Datakeskukset ja niissä olevat konesalit vaativat toimiakseen sähköenergiaa, sadoista kilowateista jopa useisiin megawatteihin. Konesaleissa olevat palvelimet kuluttavat tyypillisen datakeskuksen energiasta vain alle puolet. Jäähdytys ja ilmastointi kuluttavat noin 40 % energiasta, ja loput kuluva valaistukseen, UPS-järjestelmään, virransyöttöön ja muihin laitteisiin. Energiankulutuksen jakautuminen eri alueisiin vaihtelee hieman datakeskuksen palvelimien käyttötarkoituksen ja varustuksen mukaan. Ennen 2020-lukua palvelinten suorituskyky tehtiin lähes kokonaan prosessorien avulla. Viime vuosikymmenen aikana on laskenta siirtynyt näytönohjaimien tehtäväksi ja samalla tehontarve on kasvanut moninkertaiseksi. (Crossan ym. 2024.)

Kuvassa 1 on tekoälylaskentaan keskittyneen datakeskuksen energiankulutuksen jakautuminen. Kuvaajan mukaan palvelimien kuluttama energia ja jäähdytysenergia ovat lähes yhtä suuret. Tämä tarkoittaa, että lähes kaikki palvelimilla kulutettu energia muuttuu lämmöksi, joka joudutaan jäähdyttämään eli siirtämään pois ilman tai nesteen avulla.



Kuva 1. Tekoälydatakeskuksen energiankulutusjakauma (Crossan ym. 2024).

Konesalien sähkövirransaanti on varmennettava sähkökatkoksia varten. Pidentyneen katkoksen aikaisen virransyötön varmistamiseksi datakeskuksissa voi olla varavoimanlähteenä generaattorit, jotka vaativat dieseliä toimiakseen. Palavan nesteen säilytystä varten on suunnittelijan huomioida suojaustoimenpiteet ATEX (Atmosphères Explosibles) -direktiivin mukaisesti. (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.13.)

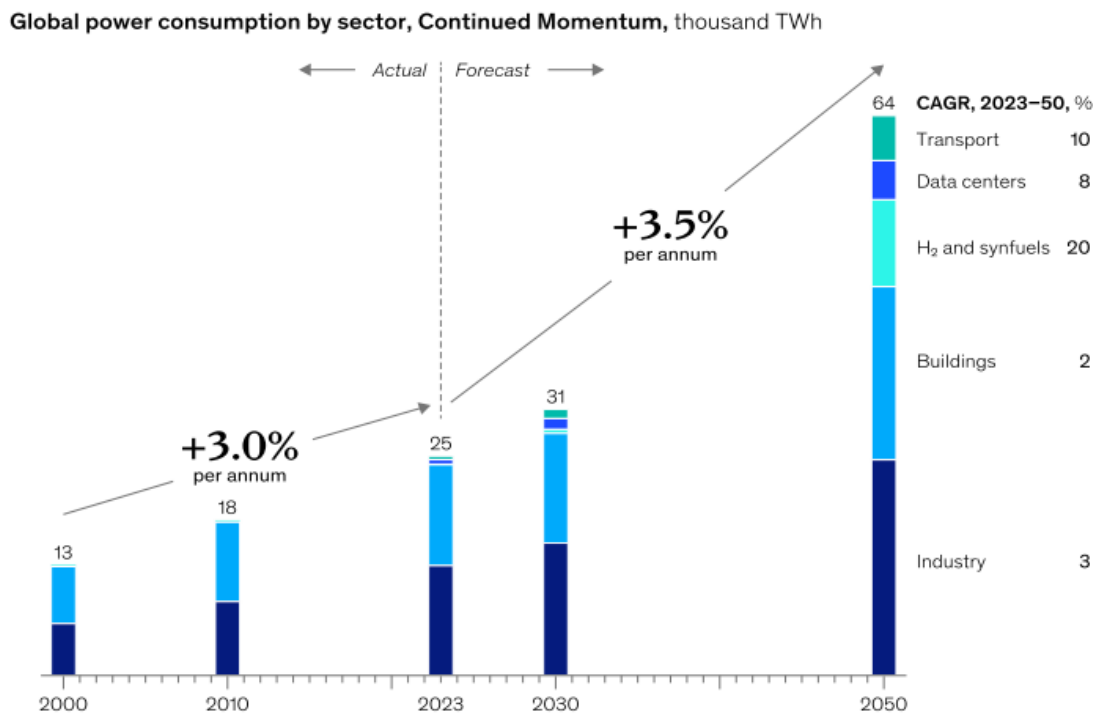
Palvelimilla toimivien palveluiden mukaan konesalit tarvitsevat luotettavat tietoliikenneyhteydet. Palveluiden ollessa ohjelmistojen etäkäyttöä tai hakukoneiden tulosten suorittamista on verkkoyhteyden oltava pienellä latenssilla. Jos palvelimilla ajetaan esimerkiksi tekoälylle osoitettuja tehtäviä, jotka vaativat palvelimilta laskentatehoa, ei verkkoyhteyden viiveellä ole niin suurta merkitystä. Tekoälylle osoitetun komennon ei oleteta tapahtuvan välittömästi, koska suuren tietomäärän yhdistäminen ja analysoiminen kielimallien avulla kestää normaalia hakusanapyyntöä pidemmän ajan. (Muller 2021: luku 15.10.1.)

Konesalien toimintaan liittyy vahvasti myös tietoturva ja fyysinen turvallisuus. Konesalit sijaitsevat usein niitä varten rakennetuissa datakeskuksissa, joissa on konesalien lisäksi usein ylläpitohenkilökunnan tilat. Rakennusmateriaalit ovat paloturvallisia ja häiriösuojattuja ulkopuolisia uhkatekijöitä vastaan. Tilat on myös suojattu turvatoimilla, kuten kulunvalvonnalla ja valvontajärjestelmillä. (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.12.)

2.4 Konesalien energiankulutus ja ympäristövaikutukset

Maailmanlaajuisesti datakeskukset kuluttivat sähköenergiaa vuonna 2022 240–340 TWh, joka vastasi 1–1,3 % maailmanlaajuisesta sähkönkulutuksesta. Tutkijoiden mukaan datakeskusten kuluttama sähkön määrä voi nousta jopa 4 500 TWh:iin vuoteen 2050 mennessä, jolloin se vastaisi viidestä yhdeksään prosenttia koko maailman sähkönkulutuksesta. (Global Energy Perspective 2024).

Kuvassa 2 havainnollistetaan, kuinka maailmanlaajuinen energiankulutus kehittyy seuraavien vuosikymmenien aikana. Sen mukaan datakeskusten energiankulutus tulee kasvamaan kahdeksan prosenttia vuotuisesti vuosien 2023 ja 2050 välisenä aikana.



Kuva 2. Maailmanlaajuisen energiankulutuksen jakautuminen ja kehitys (Global Energy Perspective 2024).

Kasvainvälisen energiajärjestö IEA:n mukaan datakeskukset ja niihin liittyvä tiedonsiirto vastaavat noin yhtä prosenttia energialiitännäisistä kasvihuonepäästöistä. Tämä määrä vastasi 300 miljoonaa tonnia vuonna 2020. Tietoliikenteen määrän kasvusta huolimatta päästöjen kehitys on ollut maltillista vuodesta 2010 lähtien, mikä johtuu palvelinlaitteistojen energiatehokkuuden parantumisesta ja uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämisestä energian tuotannossa. (Data Centres and Data Transmission Networks 2023).

2.5 Datakeskuksien energiatehokkuusvaatimukset ja laskenta

EED (Energy Efficiency Directive) on EU:n energiatehokkuusdirektiivi, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä. Direktiivi on tullut voimaan 2012, ja sitä on päivitetty viimeksi vuonna 2023 syyskuussa. Direktiivin (2023: 46–49) artikla 11 vaatii muun muassa energiakatselmuksien järjestämisen yrityksissä, joiden kolmen edellisen vuoden keskimääräinen energiankulutus ylittää 10 TJ (noin 2,78 GWh), joka vastaa noin 320 kW tehoa jatkuvassa käytössä. Lisäksi yli 85 TJ (noin 26,6

GWh) kuluttavat yritykset joutuvat hankkimaan energianhallintajärjestelmän. Kulutettu energia vastaa noin 2,7 MW tehoa jatkuvassa käytössä.

CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) eli yritysten kestävyysraportointidirektiivi on astunut voimaan 1.1.2023, ja sitä on pitänyt soveltaa 1.1.2024 alkaen. Tämä EU:n vihreän kehityksen ja kestävä rahoituksen toimintasuunnitelman yksi toimenpiteistä velvoittaa tietyinkokoiset yritykset suorittamaan raportointia ja seuranta toiminnastaan. Datakeskusliiketoimintaa harjoittavien yritysten raportointi ja seuranta toteutetaan EN 50600 -standardin mukaisesti, jonka osan 4 tunnusluvut on suoraan johdettu kansainvälisestä ISO/IEC 30134-standardista.

ISO/IEC 30134-1 (2016:6) -standardissa määritellään tiettyjen energiatehokkuuden tunnuslukujen laskentaan vaikuttavat osa-alueet sekä tunnuslukujen seurannan tavoitteet. Tavoitteita ovat muun muassa energian ja muiden resurssien kulutus, IT-laitteiden tehokkuuden parantaminen, hukkaenergian ja uusiutuvan energian hyödyntäminen.

ISO/IEC 30134 -standardien tunnuslukuja ei tarkoitettu käytettävän eri datakeskusten vertailuun keskenään, sillä niissä olevat rakenteelliset ratkaisut redundanssin suhteen ovat erilaisia. Datakeskukset suunnitellaan lähtökohtaisesti tilaajan kanssa sovitun palvelutason eli SLA (Service-Level Agreement) mukaan, jotka määrittävät muun muassa datakeskuksen olosuhdevaatimukset, saavutettavuuden ja huollettavuuden tason. Varmuustasoltaan parasta luokkaa oleva datakeskus on energiatehokkuudeltaan useimmissa tapauksissa heikompi kahdennettujen järjestelmien kuluttaman tai hyödyntämättä jätetyn tehon takia. (ISO/IEC 30134-1 2016: 4.)

Energiatehokkuuslaskelmia ja mittauksia tehdessä on huomioitava granularity-tasot, jotka määrittelevät tiedon ja mittausten tarkkuutta. Tasot määrittelevät myös, millä tarkkuustasolla dataa kerätään, analysoidaan ja esitetään. Tulosten tarkkuustaso voi vaikuttaa energiatehokkuusmittareiden tuloksiin. Mittaustasoja on määritelty tunnuslukuja käsittelevissä standardeissa, mutta myös isoilla

palveluntarjoajilla voi olla omat tasomäärittelyt tehokkuusmittauksille. (Li ym. 2021: luku 19.1.)

2.5.1 PUE

Yleisin datakeskuksen energiatehokkuutta mittaava tunnusluku on The Green Grid -yhdistyksen alun perin kehittämä PUE (Power Usage Effectiveness). Tunnusluku kuvaa datakeskuksen kokonaissähkönkulutusta kilowattitunneissa verrattuna IT-laitteiden sähkönkulutukseen kilowattitunneissa 12 kuukauden ajanjaksolla. Ideaalilanteessa PUE saisi arvon 1, jolloin kaikki kulutettu sähkö käytettäisiin IT-laitteiden toimintaan. Tunnusluku ei ota kantaa IT-laitteiden käyttöäsoon, paikallisesti tuotetun energian (aurinko- ja tuulisähkö) tehokkuuteen tai hukkaenergian hyötykäyttöön. (ISO/IEC 30134-2: 3.)

Standardin ISO/IEC 30134-2 (2016: 1–3) mukaan IT-laitteiden kuluttamaan energiaan kuuluvat datan varastointiin, käsittelyyn ja siirtämiseen käytetty energia. Koko datakeskuksen energian kulutukseen lasketaan kaikki datakeskusta palveleva ostoenergia alueen rajalta. Tähän kuuluvat sähkön lisäksi kaukolämmitys, kaasua ja kaukokylmä tai muu jäähdytetty vesi. Tunnusluku lasketaan kaavalla 1:

$$PUE = \frac{E_{DC}}{E_{IT}} \quad (1)$$

E_{DC} on datakeskuksen vuotuinen energiankulutus (kWh)

E_{IT} on IT-laitteiden vuotuinen energiankulutus (kWh).

PUE-tunnusluvulla on kolme eri alaluokkaa, jotka kuvaavat IT-laitteiden energiankulutuksen mittauksen tarkkuutta. Kuvassa 3 on taulukko, johon on merkitty eri luokkien mittauspisteet. Luokan PUE₁ mittaus suoritetaan UPS-laitteelta, joka syöttää virtaa konesalin IT- ja jäähdytyslaitteille. Luokan PUE₂ mittaus suoritetaan palvelinkaapin virransyötön kohdalta ja luokan PUE₃ mittaus suoritetaan suoraan IT-laitteen kohdalta. Tulosten raportoinnissa on huomioitava ja kirjattava ylös datakeskuksen nimi, PUE-arvo ja tunnusluvun luokka, esimerkiksi ”Datakeskus x, PUE₁ (1.5.2025) = 1,5”. (ISO/IEC 30134-2: 6.)

Table 1 — PUE categories

	PUE ₁	PUE ₂	PUE ₃
Location of IT equipment energy consumption measurement	UPS output ^a	PDU output ^b	IT equipment input ^c
^a Includes impact of fluctuating IT and cooling loads. ^b Excludes impact of losses associated with PDU transformers and static switches. ^c Excludes impact of losses associated with electrical distribution components and non-IT related devices.			

Kuva 3. PUE-tunnusluvun eri luokkien sähköenergian mittauspisteet (ISO/IEC 30134-2: 5).

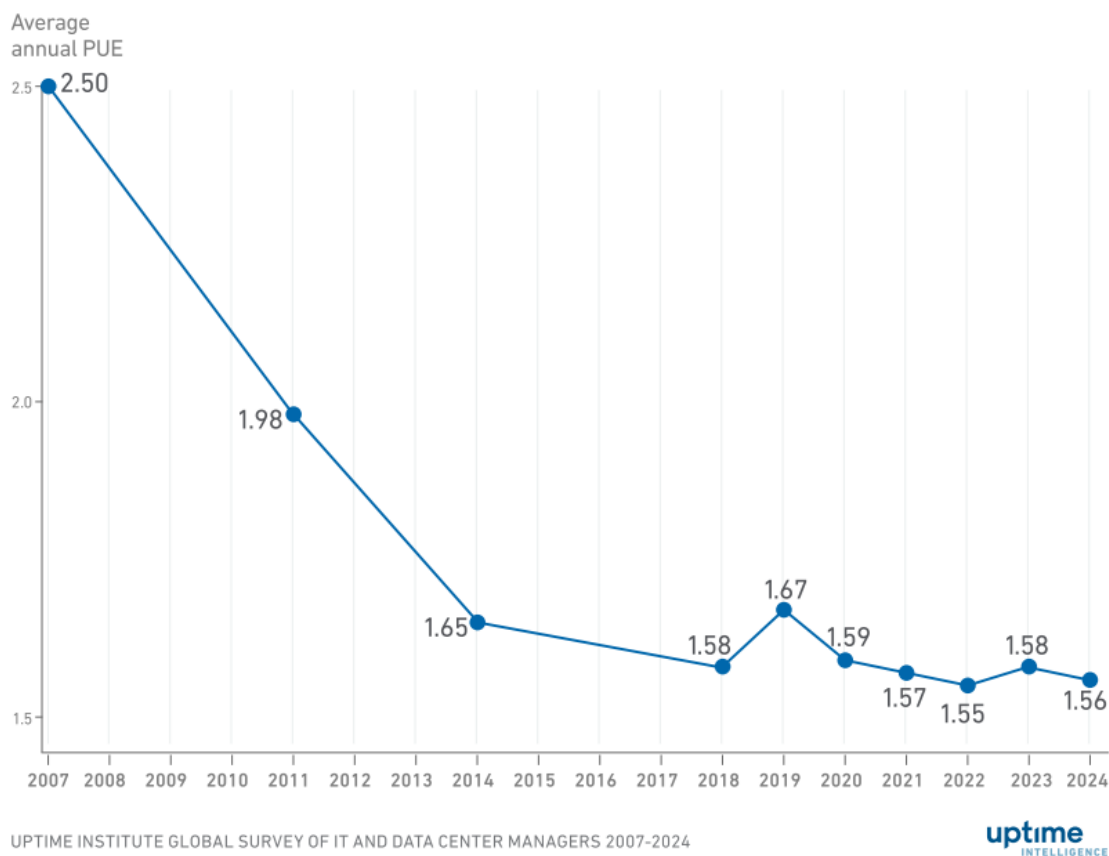
Ulkopuolista jäähdytys- tai lämmitysenergiaa käytettäessä on mahdollista käyttää ISO/IEC 30134-2:2016 -standardin liitteen B1-mukaisia kertoisia laskettaessa LVI- ja jäähdytysjärjestelmien energiankulutusosuutta. Standardi mahdollistaa myös kansallisten energiakertoimien käytön, jos sellaiset ovat olemassa. Suomessa energiamuotojen kertoimet on määriteltä valtionneuvoston asetuksessa 788/2017 (2017: § 1). Kuvassa 4 on mainittu eri energiamuotojen kertoimet, jos ei käytetä kansallisia kertoimia.

Table B.1 — Standard energy conversion factors

Energy type	Standard energy conversion factor
District chilled water	0,4
District hot water	0,4
District steam	0,4
Fuel (for absorption type chiller)	0,35

Kuva 4. ISO/IEC 30134-2:2016 mukaiset energiamuotojen kertoimet.

Kuvassa 5 on kuvattu datakeskusten keskimääräisen PUE-arvon kehitystä vuosien 2007 ja 2024 välisenä aikana. Kehitys on ollut merkittävää vuosien 2007 ja 2013 välisenä aikana, jonka jälkeen kehitys on tasaantunut.



Kuva 5. Energiatehokkuuskertoimen kehitys vuosina 2007–2024 (Uptime Institute Global Data Center Survey 2024: 5).

PUE-tunnusluvun käyttö vertailussa ei ole järkevää tapauksissa, joissa hukkaenergiaa käytetään hyödyksi datakeskusten ulkopuolella. Usein näissä tapauksissa hukkalämpö nostetaan korkeampaan lämpötilaan lämpöpumppujen avulla, joiden kuluttama energia laskettaisiin PUE-tunnusluvussa datakeskusten kuluttamaksi energia. Tällöin suhdeluku heikkenee, kun kulutettu energia kasvaa eikä ulkopuolella hyödynnettyä energiaa lasketa. (Konesalien energia- ja energiahyötykäytön tehokkuus energiaverotuksessa 2021: 9.)

2.5.2 ERF / ERE

ISO/IEC 30134-6 (2021:4) -standardi määrittelee tunnusluvun ERF (Energy Reuse Factor), joka kuvaa hukkaenergian hyödyntämisen suhdetta koko energian kulutukseen. Suhdeluku lasketaan kaavalla 2 ja saa arvon nollan ja yhden väliltä.

$$ERF = \frac{E_{Reuse}}{E_{DC}} \quad (2)$$

E_{DC} on koko datakeskuksen kuluttama energia sisältäen IT-laitteiden energiankulutuksen (kWh)

E_{Reuse} on datakeskuksesta ulos johdettu energia (kWh).

Kuvassa 6 on havainnollistettu energian liikkeen suunta ja mittausalueiden rajat datakeskuksessa. Raja (boundary) määrittää osa-alueet, jotka kuuluvat datakeskuksen kuluttamaan energiaan.

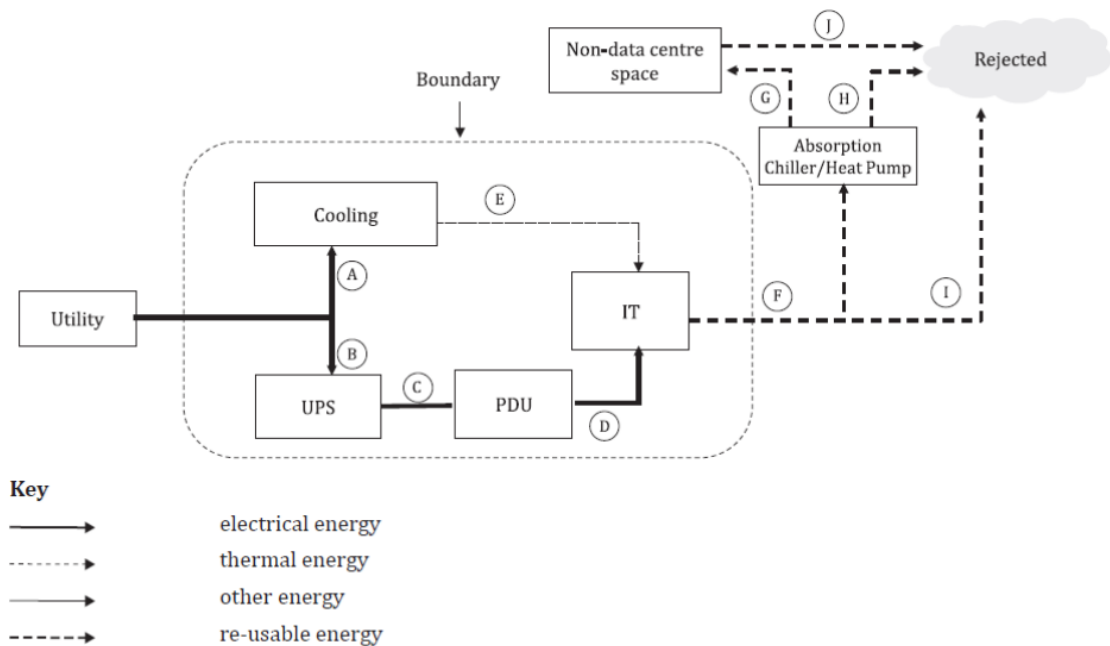


Figure A.1 — Reuse of data centre waste heat

Kuva 6. Periaatekuva ERF-tunnusluvun laskennassa käytettävistä energiavirroista (ISO/IEC 30134-6:2021: 3).

Tunnusluku ERE (Energy Reuse Effectiveness) on suunniteltu ERF-tunnusluvun pohjalta, ja se ottaa huomioon energiatehokkuuden ja hyödynnetyn hukkalämmön. Sitä ei ole kuitenkaan määritelty standardeissa, mutta sitä käytetään esimerkiksi valtiovarainministeriön ohjeistuksissa. Tunnusluku lasketaan kaavalla 3. (Konesalien energia- ja energiahyötykäytön tehokkuus energiaverotuksessa 2021: 5.)

$$ERE = \frac{IT+Infrastruktuuuri-Talteenotto}{IT} \quad (3)$$

IT on IT-laitteiden kuluttama energia (kWh)

Infrastruktuuuri on datakeskuksen muu energiankulutus IT-laitteiden lisäksi (kWh)

Talteenotto on hukkaenergian määrä, joka on otettu talteen (kWh).

ERE- ja PUE-tunnusluvuilla on merkitystä sähköveroluokan määrittämisessä. Vuodesta 2022 alkaen konesalien sähköveron perusteita on muutettu ja veroluokan II veroon ovat oikeutettuja konesalit, joiden palvelinlaiteteho on enemmän kuin 0,5 MW. Lisäksi vaatimuksena ERE- ja PUE-tunnusluvuille ovat:

- Palvelinlaitteiden tehovälillä 0,5–5 megawattia vuotuinen ERE-luku saa olla korkeintaan 0,90.
- Palvelinlaitteiden tehovälille 5–10 megawattia sovellettava ERE-luku saa olla korkeintaan 1,00.
- ERE-lukuun liittyvää vaatimusta ei sovelleta siltä osin kuin konesalin palvelinlaiteteho ylittää 10 megawattia, joten 10 megawatin ylittävältä osalta talteenottovelvoitetta ei enää ole.
- Mikäli ERE-luvun määrittäminen ei ole mahdollista, niin PUE-luvun on oltava vuosina 2022–2026 alle 1,25 ja vuodesta 2027 alkaen 1,20. (Laki sähkön ja eräin polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta. 2021: § 4 a.)

Laissa mainitut ERE-tunnuslukurajat ohjaavat ja kannustavat datakeskustoimijoita ottamaan hukkaenergiaa talteen, mutta se mahdollistaa myös energiatehokkaan toiminnan matalien PUE-arvojen kautta ilman energian talteenottovelvoitetta.

2.5.3 Muut tunnusluvut

Taulukossa 1 on kuvailtu muut ISO/IEC 30134 -sarjan tunnusluvut. Standardeja on tullut viime vuosina uusia ja niiden tarkoituksena on tuottaa vakioituja seurattavia arvoja datakeskusten toiminnasta. Seuraamalla tunnuslukuja ja vertailemalla niitä muihin vastaaviin datakeskuksiin voidaan kehittää toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi.

Taulukko 1. ISO/IEC-standardisarjan 30134 osien tunnuslukuja.

Standardi	Nimi	Kuvaus
ISO/IEC 30134-3:2018	Renewable Energy Factor (REF)	Uusiutuvan energian osuus kaikesta laitoksen kuluttamasta energiasta
ISO/IEC 30134-4:2017	IT Equipment Energy Efficiency for Servers (ITEEsv)	Palvelimien suorituskyvyn ja energiankulutuksen suhde
ISO/IEC 30134-5:2017	IT Equipment Utilization for Servers (ITEUsv)	Prosessoreiden käyttöaste per palvelin
ISO/IEC 30134-7:2022	Cooling Efficiency Ratio (CER)	Jäähdytys- ja lämmitysenergian välinen suhde
ISO/IEC 30134-8:2022	Carbon Usage Effectiveness (CUE)	Hiilidioksidipäästöjen ja IT-laitteiden energian suhde
ISO/IEC 30134-9:2022	Water Usage Effectiveness (WUE)	Vedenkulutuksen ja IT-laitteiden energian suhde
ISO/IEC 30134-7:2023	Cooling Efficiency Ratio (CER)	Jäähdytyksen tehokkuuden tunnusluku

3 Konesalin LVI-suunnittelun erityispiirteet

Datakeskuksessa olevien muiden tilojen, kuten toimisto- ja varastotilojen, LVI-suunnittelu noudattaa normaaleja suunnitteluohjeistuksia esimerkiksi lämpöiloista, sisäilmavirtojen määristä ja viemäroinnistä. Palvelinsalien LVI-suunnittelussa kartoitetaan aina asiakkaan tavoitetaso toimintaympäristölle. Asiakas voi vaatia kansainvälisten asetusten mukaiset olosuhteet tiloihin, tai heillä voi olla vielä tarkempia sekä tiukempia vaatimuksia. Yleisimmin suunnittelussa pyritään optimoimaan energiatehokkuus ja varmistetaan toiminnan jatkuvuus sekä IT-laitteiden suorituskyky. Palvelimissa olevat korkean lämpötilan turvaominaisuudet, kuten kellotaajuuden rajoittaminen (thermal throttling) aktivoituvat, jos komponenttien lämpötilat nousevat liian korkeaksi. Pitkäaikainen korkea lämpötila

lyhentää palvelinten elinikää ja nostaa sitä kautta datakeskuksen investointikustannuksia ja heikentää kannattavuutta. Vastaavasti liian tehokas jäähdytys lisää käyttökustannuksia. (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.9.)

McFarlane ja Weale (2021: luku 24.3) kuvailevat teoksessaan Data Center Handbook datakeskuksen suunnittelua tasapainotteluksi nopean, halvan ja tehokkaan vaihtoehdon välillä. Näistä ominaisuuksista voi heidän mukaansa valita vain kaksi. Tämän takia projektin perusteelliset taustatiedot ja asiakkaan tahtotila sekä taloudelliset rajat on tärkeä määritellä projektin alkuvaiheessa ennen suunnitelmien tekemistä.

3.1 Suunnittelua ohjaavat asetukset ja ohjeet

Palvelintilojen LVI-suunnittelua ohjaavat suurelta osalta sinne sijoitettava laitteisto ja sen vaatimat jäähdytystehot sekä ilmanlaatuvaatimukset. Ennen vuosituhatien vaihdetta palvelimien jäähdytys järjestettiin lähes aina mahdollisimman alhaisilla ilman lämpötiloilla. Tämä oli laitetoiminnan kannalta suotuisa mutta energiankulutuksen kannalta huono ratkaisu. (Kosik 2021: luku 3.3.)

Datakeskusten olosuhteisiin vaikuttavien laitteiden suunnittelua ohjaavat monet kansainväliset asetukset ja ohjeet. Ohjeistukset ovat tarkentuneet viime vuosikymmenien aikana vastaamaan tekniikan kehitystä. Päivitykset ohjeistuksiin mahdollistavat laajemman ja energiatehokkaammat käyttöolosuhteet laitteiston toimivuuden häiriintymättä.

3.1.1 ASHRAE:n ohjeistus

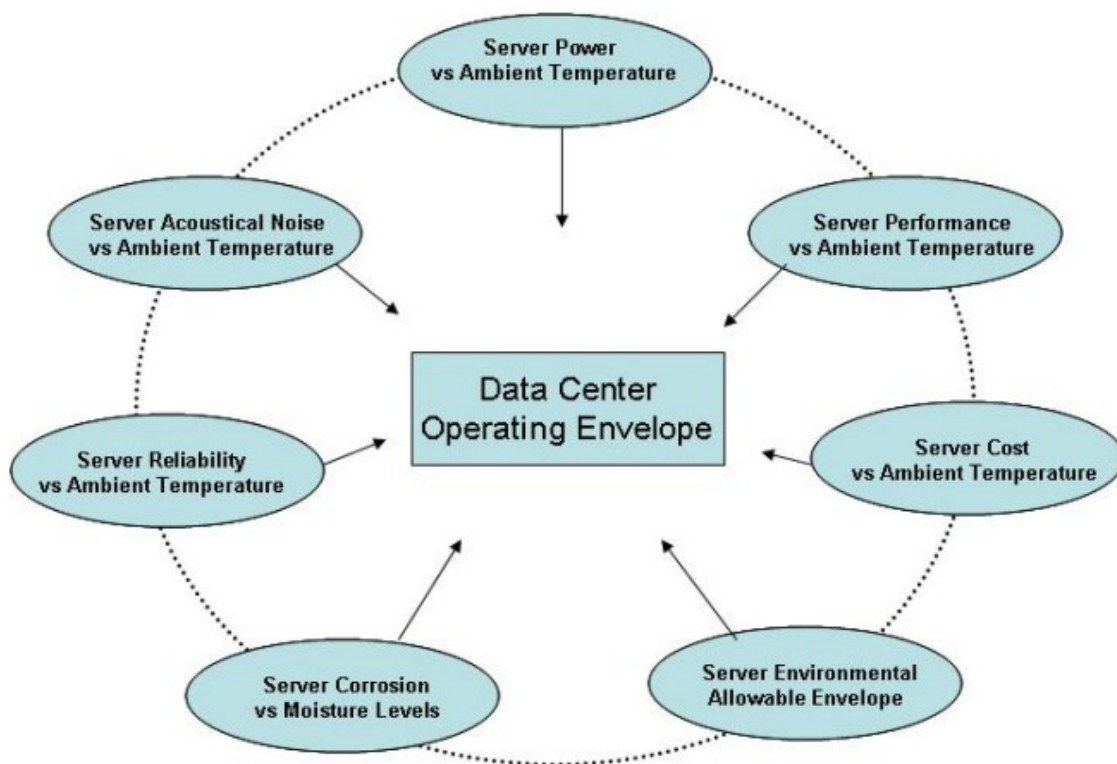
Vuonna 2004 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) -järjestön tekninen komitea 9.9 julkaisi ensimmäisen version olosuhdeohjeistuksen datankäsittely-ympäristöihin eli käytännössä datakeskuksille. Ensimmäisessä versiossa, joka julkaistiin vuonna 2004, oli mukana tunnusluku PUE ja suositukset tuloilmalämpötiloille ja kosteusarvoille. Seuraavassa versiossa vuonna 2008 ohjeistuksesta päivitettiin suositeltavia olosuhdearvoja eri ilmasto-olosuhteisiin ja toimintaympäristöihin. Kolmannessa

versiossa vuonna 2011 esiteltiin uusia käyttöluokkia, joissa laitteet voivat toimia. Neljäs versio vuonna 2015 päivitti tutkimustulosten perusteella kosteusarvoja alatasolta energiatehokkuuden parantamiseksi. Viimeisimmässä viidennessä versiossa vuodelta 2021 keskityttiin päivittämään kosteusarvoja ylätasolta. (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 9–11.)

Uusimmat ASHRAE:n teettämät tutkimukset osoittivat, että kosteusrajoja voidaan määritellä ilmansaasteiden mukaan eri alueille. Jos ympäristö ei ole saasteista, niin lämpötilan ja kosteuden ylärajaa voidaan pitää ylempänä, jolloin energiatehokkuus paranee, kun tuloilmaa ei tarvitse kuivata. Viides versio ohjeistuksesta on lisännyt olosuhdeohjeistuksen HPC (High Power Computing) -laitteille, joiden määrä on viime vuosina lisääntynyt. (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 11.)

ASHRAE:n ohjeistus syntyi vastaamaan kasvaneeseen energiankulutukseen antamalla uudet lämpötila- ja kosteussuositukset. Nostamalla jäähdytysilman suosituslämpötilaa vuonna 2008 27 asteeseen mahdollistettiin pidemmän aikajakson vapaajäähdytys siellä, missä se oli mahdollista. (Lei & Masanet 2021: luku 2.6.2.4.)

Kuvassa 7 on ASHRAE:n ohjeistuksen mukaisia asioita mitä suunnittelussa on otettava huomioon. Kuvan ulkokehällä moni kohta liittyy nimenomaan käyttöympäristön lämpötilan ja sen muutoksen aiheuttamiin vaikutuksiin. Optimaalisen energiankulutuksen saavuttaminen onkin monen osa-alueen summa ja vaatii käytönaikaista seuranta ja järjestelmien yhteistoimintaa automaation avulla.



Kuva 7. Datakeskuksen järjestelmien suunnitteluun vaikuttavat asiat (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 23).

3.1.2 Eurooppalaiset ohjeistukset

Euroopassa datakeskusten suunnittelua ohjaa toimintaohje The European Code of Conduct for Data Centres. Tämän lisäksi on energiatehokkuuden parantamiseen ohjaava vapaaehtoinen ohjelma European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centres. Ohjeesta julkaistaan uusi versio vuosittain. Ohjeen tarkoituksena on lisätä datakeskusten tilaajien ja käyttäjien tietoisuutta toimista, joilla voidaan lisätä datakeskusten energiatehokkuutta. Ohjeistus on kokonaisvaltainen ja antaa käytäntöjä sekä suosituksia myös palvelujen käyttäjille. (Acton 2024: 5–7.)

Eurooppalainen standardisarja EN 50600 sisältää virallisen ohjeistuksen datakeskusten suunnittelusta, rakentamisesta, toiminnasta ja energiatehokkuudesta. Standardin ensimmäiset osat ovat julkaistu vuonna 2012, jonka jälkeen sitä on päivitetty useasti. Sarjan neljäs osa sisältää keskeiset suorituskykyindikaattorit,

vastaavat kuin ISO/IEC 30134 -standardin neljännessä osassa. (SFS-EN 50600-2-4: 4.)

Toimintaohjeet ja standardi tukevat toisiaan. Toimintaohjeet antavat rakennuttajalle tai käyttäjälle käytännön ohjeistusta, kuinka saavuttaa standardin mukaiset energiatehokkuuden ja kestävä kehityksen tavoitteet. Standardi antaa mittarit, joilla osoittaa datakeskuksen noudattavan toimintaohjeistuksen periaatteita.

3.1.3 Muita kansainvälisiä suunnitteluohjeita

Kiinassa on käytössä standardi GB 50174 Code for Design of Data Centers, joka on kokonaisvaltainen suunnitteluohje laitoksen sijoittelusta alkaen. Japanissa on käytössä Japan Data Center Councilin ohjeistus Outline of Data Center Facility Standard. (Hwaiyu 2021: luku 1.5.1.)

Saksassa datakeskusten suunnittelua ohjaavat muun muassa DIN EN ISO 50001 ja DIN EN 50600, joka on standardia EN 50600 tiukempi paloturvallisuuden, redundanssin ja energiatehokkuuden vaatimusten kohdalla. Saksassa otettiin käyttöön vuonna 2023 laki Energy Efficiency Act (EnEfG), joka sakon uhalla pakottaa tietyn kokoluokan datakeskukset tavoittelemaan ja toimimaan tietyllä energiatehokkuustasolla. Vaatimuksena on saavuttaa ERF-tunnusluvun taso 10–20 % porrastetusti vuoteen 2028 mennessä. Lisäksi datakeskusten pitää saavuttaa PUE-tunnusluvun taso 1,2 vuoteen 2026 mennessä. (Ebert ym. 2024: 5.)

Kansainvälinen ISO/IEC 22237 -standardisarja käsittelee datakeskusten suunnittelua, rakentamista ja ylläpitoa. Sen pohjana on toiminut eurooppalainen EN 50600 -standardi. Sarja sisältää luokittelujärjestelmän saavutettavuudelle, turvallisuudelle ja energiatehokkuudelle datakeskuksen suunnitellulle käyttöiälle. Standardi käsittelee myös liiketoiminnallisia riskejä ja käyttökustannusanalyyskejä. (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.30.)

3.2 Datakeskuksen perustiedot ja lähtökohdat

EU:n energiatehokkuusdirektiivin (2023: 49) 12 artiklassa määritellään ehdot ja tiedot, jotka datakeskusten omistajat ja ylläpitäjät on velvoitettu asettamaan julkiseen tietoon. Direktiivin liite VII määrittelee tiedot, jotka IT-laitteiden tehoa yli 500 kW kuluttavat datakeskukset joutuvat toimittamaan. Tietoja ovat datakeskuksen nimi, datakeskuksen omistajan ja operaattoreiden nimet ja päivämäärä, jolloin datakeskus on aloittanut toimintansa. Lisäksi sijaintikunta on ilmoitettava. Datakeskuksen ominaisuuksista on ilmoitettava sen pinta-ala, laitteiston asennettu teho, vuotuinen sisään tuleva ja ulos lähtevä dataliikenne sekä tallennetun ja käsitellyn datan määrä.

Perustietoihin kuuluvat myös EN 50600-4 -standardin mukaiset tiedot energiankulutuksesta, sähkökäytöstä, lämpötilan asetuspisteistä, hukkalämmön hyödyntämisestä ja veden sekä uusiutuvan energian käytöstä. Euroopan komissio tulee tarkastelemaan näitä tietoja vuonna 2025 ja toimittaa tietojen perusteella lainsäädäntöehdotuksia, joiden avulla energiatehokkuutta voidaan parantaa. (Energiatehokkuusdirektiivi 2023: 49.)

LVI-järjestelmien suunnittelun kannalta tärkeimmät lähtötiedot ovat IT-laitteiden maksimitehontarve suurimmalla kulutuksella ja fyysisen tilan tarve palvelinkaapeille. Projektin alkuvaiheessa kokonaisenergiantarve voi ohjata datakeskuksen sijoittamisessa maantieteellisesti viileämmille alueille tai vesistöjen äärelle, joissa voidaan hyödyntää viileää ilmaa tai vettä laitoksen jäähdyttämisessä.

3.3 Suunniteltavat LVI-järjestelmät

Jäähdytyksen suunnittelu on tärkein osa-alue datakeskuksen suunnittelussa. Palvelimet tuottavat tyypillisesti lämpöä kymmeniä kilowatteja ympäri vuorokauden ja tämä lämpö on johdettava tilasta pois. Jäähdytyksen eri toteutusvaihdot käydään läpi seuraavissa työn osissa.

Kuten normaalissa toimisto- ja asuintilojen suunnittelussa, myös palvelintiloihin suunnitellaan ilmanvaihto. Jos IT-laitteiston jäähdytys on toteutettu

nestejäähdytyksellä, niin ilmajäähdytystä tarvitaan silti noin 10–20 % jäähdytystehosta. Tällä jäähdytyksellä jäähdytetään emolevyjen komponentit ja muistipiirit, jotka eivät jäähdy vesijäähdytyksellä. (Kosik 2021: luku 3.8.6.)

Datakeskuksessa tarvitaan myös vettä. Normaalin käyttöveden lisäksi vettä tarvitaan ilmanvaihdossa tuloilman kostutukseen, jäähdytykseen (haihdutusjäähdytys) ja vesisammutusjärjestelmiin. Vettä voidaan joutua varastoimaan säiliöissä, jos jäähdytys- tai vesisammutusjärjestelmä sitä tarvitsee esimerkiksi TIER-tason vaatimusten täyttymiseksi. (Kosik 2021: luku 3.3.1.)

Lämmitys kuuluu normaalisti suunniteltaviin järjestelmiin ja se suunnitellaan työskentelytiloihin ja muihin tiloihin missä tarvitaan jäätymisenestoa. Esimerkiksi varastotilat, varavirtageneraattoritilat ja akkutilat. Usein lämmityksessä voidaan hyödyntää palvelintilan hukkalämpöä.

Datakeskuksen muita suunniteltavia järjestelmiä ovat viemärointi, sammutusjärjestelmä ja erikoistilojen ilmastointi. Näitä tiloja ovat esimerkiksi akkutilat, jotka vaativat tietyt toimintalämpötilat turvalliseen toimintaan. Erikoistiloja ovat myös generaattoritilat ja niiden polttoainesäiliöiden säilytystilat (ATEX-tilat).

3.4 Vikasietoisuus ja redundanssi

Energiatehokkuusstandardi ASHRAE 90.4 (2022:5) kuvaa redundanssia tarkoitukselliseksi komponenttien, järjestelmien, ohjaimia ja varusteiden moninkertais- tamista järjestelmien toimivuuden jatkumiseksi yli huoltojen ja järjestelmien pettämisen. Redundanssin perustasolla N on pelkästään järjestelmän toimivuuden kannalta tarvittavat osat. Tasoilla N+1, N+2 ja N+n on yhden järjestelmän osan komponentit kahdennettu tai varmistettu useamman kerran. Tasoilla 2N, 2N+1 ja 2N+n on tuplavarmistettu järjestelmä, jonka lisäksi yhden järjestelmän komponentit ovat lisäksi varmistettu useamman kerran. Tason 2N ja sitä paremmin varmennetut järjestelmät ovat melko harvinaisia ja käytössä vain hyvin kriittisten järjestelmien ylläpitämiseen.

Datakeskuksen tilaaja tai käyttäjä määrittelee redundanssin tarpeen palveluiden kriittisyyden, sijoitetun pääoman tuoton ja käyttökustannusten sekä riskinsietokyvyn perusteella. Perustason redundanssi määritellään käytönaikaisen huollon mahdollistamiseksi. Redundanssin tasot kirjataan SLA-sopimukseen, jonka perusteella suunnittelijat toteuttavat järjestelmät. (Hwaiyu 2021: luku 1.5.2.)

Uptime Institute on kehittänyt TIER-luokituksen datakeskusten infrastruktuurin redundanssin ja vikasietoisuuden eri tasoille. Tasot määrittelevät tietyt raja-arvot, joiden sisällä järjestelmien pitää toimia. Määritellyt tasot eivät ole pakottavia. Datakeskukset voivat hakea Uptime Institutelta tietyn tason sertifikaattia, joka kuvastaa järjestelmien ja liiketoiminnan jatkuvuuden tasoa.

Tier I -tasolla järjestelmässä on vain yksi reitti järjestelmän sähkölle, jäähdytykselle, vedelle tai muulle käyttöhyödykkeelle. Tämä aiheuttaa vikatilanteessa katkon koko järjestelmän käytettävyyteen. (Tier Classification System.)

Tier II -tasolla on pääsääntöisesti vain yksi reitti järjestelmän pääkäyttöhyödykkeille. Osa yksittäisistä komponenteista, kuten pumpuista, vakioilmastointikoneista tai sähkönsyötöstä on varmennettu tai kahdennettu toiminnan jatkuvuuden parantamiseksi. (Tier Classification System.)

Tier III -tasolla on useampi käyttöhyödykkeiden reitti, esimerkiksi sähkönsyötössä. Tasolla on järjestelmän osien käytön aikainen huollettavuus mahdollista, mutta esimerkiksi katkeamaton jäähdytys ei ole vaatimus. (Tier Classification System.)

Tier IV -tason vaatimuksena on täysi vikasietoisuus, joka takaa esimerkiksi automaattisen vikoihin reagointi. Tällainen on esimerkiksi sähköjärjestelmän automaattinen siirto toiseen jakelureittiin pääreitinvikaantuessa. Jäähdytysjärjestelmätkin ovat suunniteltu jatkuvaan toimintaan eli putket, pumput ja muut laitteet ovat kahdennettu. (Tier Classification System.)

TIA-942 (Telecommunications Infrastructure Standard) on amerikkalainen standardi, joka määrittelee yksityiskohtaisemmin datakeskusten teknisiä

vaatimuksia järjestelmille, kuten sähkölle, jäähdytykselle, turvallisuudelle ja verkkoyhteyksille. Standardissa on vastaavanlaiset tasomäärittelyt kuin Uptime Instituten Tier-tasoissa. Rating 1 on perustason infrastruktuuri. Rating 2 on parannettu infrastruktuuri. Rating 3 on samanaikaisesti huollettava infrastruktuuri ja Rating 4 on vikasietoinen infrastruktuuri. (ANSI/TIA-942-C 2024: 66–67.)

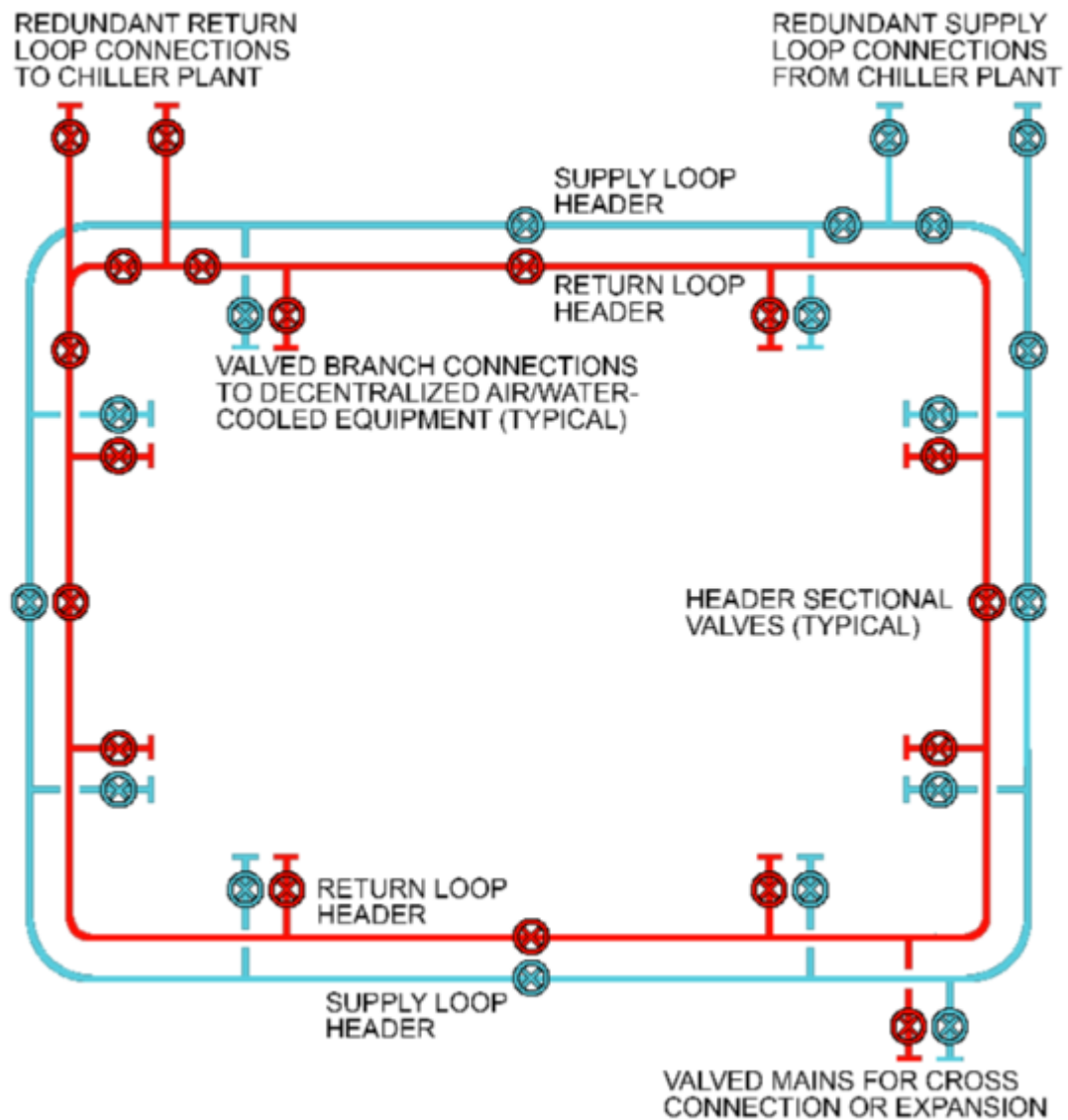
Kuvan 8 taulukossa on vertailua Tier-tasojen ja TIA-942-standardin tasojen vaatimusten välillä.

TABLE 1 Summary of data center tier requirements.				
TIA-942	RATED-1	RATED-2	RATED-3	RATED-4
Data Center Availability, %	99.671	99.749	99.982	99.995
Downtime	28.8 h	22.7 h	1.6 h	25 min
Cooling and Power Distribution Path	N	$N + 1$	$N + 1$	$2N$ Uninterrupted
UPTIME INSTITUTE	TIER 1	TIER 2	TIER 3	TIER 4
Active Capacity Components to Support IT Load	N	$N + 1$	$N + 1$	N After Any Failure
Distribution Paths	1	1	1 Active and 1 Alternate	2 Simultaneously Active
Concurrently Maintainable	No	No	Yes	Yes
Fault Tolerance (Single Event)	No	No	No	Yes
Compartmentalization	No	No	No	Yes
Continuous Cooling	Load Density Dependent			Yes (Class A)

Kuva 8. TIA-942-standardin ja Uptime Instituten TIER-tasot (Cho & Lee 2024: 36).

Eurooppalainen standardi EN 50600 ottaa kantaa datakeskusten vikasietoisuuteen ja redundanssiin. Standardin ensimmäisessä osassa EN 50600-1 määritellään luokat yhdestä neljään (Availability Classes). Vastaavasti kuin Tier-tasojen kanssa, EN-50600-standardin ensimmäinen luokka kuvaa järjestelmien perustason luotettavuuden, jossa on yksi käyttöhyödykkeiden syöttö. Luokassa kaksi järjestelmän redundanssia on lisätty yksittäisten komponenttien osalta. Luokassa kolme on järjestelmä suunniteltu huollettavaksi käytönaikana. Luokan neljä järjestelmät ovat suunniteltu vikasietoiseksi ja järjestelmä on täysin redundantti. Standardin toisessa pääosiossa EN 50600-2 on kuvattu laajasti viiden eri osa-alueen suunnitteluvaatimuksia eri luokkien osalta. Standardi kattaa osa-alueet rakenne, virransyöttö, olosuhdehallinta, telekaapelointi ja turvallisuusjärjestelmät. (SFS-EN 50600-2-4 2023: 4.)

Eri järjestelmien redundanssitasoille ei ole olemassa mallitoteutusratkaisua, minkä takia suunnittelijan pitää tarkistaa toteutussuunnitelmien toimivuus redundanttivaatimusten osalta. Kuvassa 9 on yksi toteutusvaihtoehto vikasietoisesta jäähdytysputkiston rengasverkostosta.



Kuva 8. Redundantti jäähdytysnesteen rengasverkosto (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.22).

4 Olosuhdehallinta datakeskuksen palvelintilassa

Olosuhdehallintaa palvelintilassa suunniteltaessa on huomioitava neljä asiaa. Ensimmäinen asia on palvelimien tuottama lämpökuorma ja sen jäähdytys. Toinen asia on tilan jäähdytys eli palvelimilta tulleet lämmön siirto eteenpäin ilman tai nesteen avulla. Kolmas on siirtäjäaineen lämpöenergian luovutus datakeskuksen ulkopuolelle. Neljäs on palaavan siirtäjäaineen olosuhdemuokkaus sopivaksi jäähdytykseen. (Heslin 2015.)

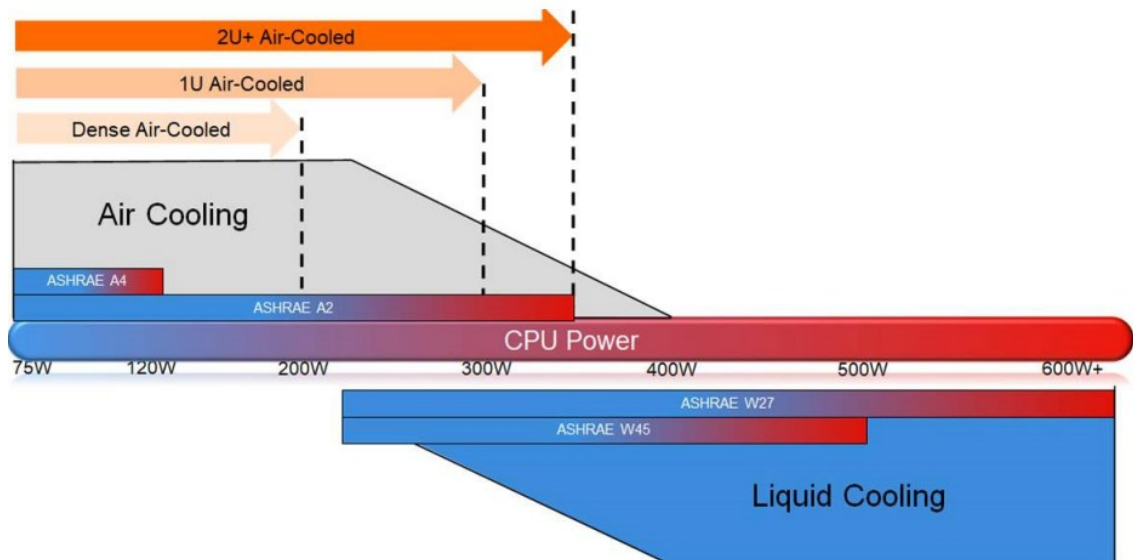
Palvelintilan olosuhteita suunniteltaessa on huomioitava laitteiden vaatima teho ja niiden tuottama lämpöenergia. IT-laitteiden lisäksi tilassa on lämpöä tuottavia laitteita, kuten sähkö- ja verkkolaitteet, valaistus ja työskentelevät ihmiset. Lämpötilan lisäksi tilassa pitää huolehtia oikeasta suhteellisen kosteuden määrästä. Korkea suhteellinen kosteus aiheuttaa pölyhiukkasten kasaantumisen ja kertymisen komponenttien pinnalle aiheuttaessa mahdollisesti korroosiota ja mikrobikasvua. Kasaantuva pöly kertyminen lämmönsiirtopinnoille heikentää niiden lämmönsiirtokykyä. Liian matala suhteellinen kosteus aiheuttaa staattisen sähköön purkautumisen riskin. (McFarlane & Weale 2021: luku 24.3.2.2.)

Käytettävän jäähdytyslämpötilan valinta vaikuttaa monella tavalla. Korkeampi jäähdytyslämpötila vähentää jäähdytysjärjestelmän energiankulutusta, mutta palvelimen energiankulutus nousee lämpötilan noustessa. Tämä johtuu suuremmasta ilmamäärän tarpeesta, minkä palvelimien puhaltimet joutuvat tuottamaan. Puhallinlakien mukaan tuplaantunut puhaltimien nopeus johtaa kahdeksankertaiseen energiankulutukseen. (McFarlane 2021: luku 11.2.)

Datakeskusten jäähdytysvaihtoehtoja on monia erilaisia. Energiatehokas jäähdytys vaatii järjestelmien optimoinnin usean eri muuttajan suhteen. Tässä opinäytetyössä ei käydä tarkasti eri jäähdytysjärjestelmien eroja tai eri tekniikoiden kustannuslaskelmia. Seuraavissa osuuksissa käydään läpi yleisimmät jäähdytysjärjestelmien toimintatavat ja valintaan vaikuttavat asiat.

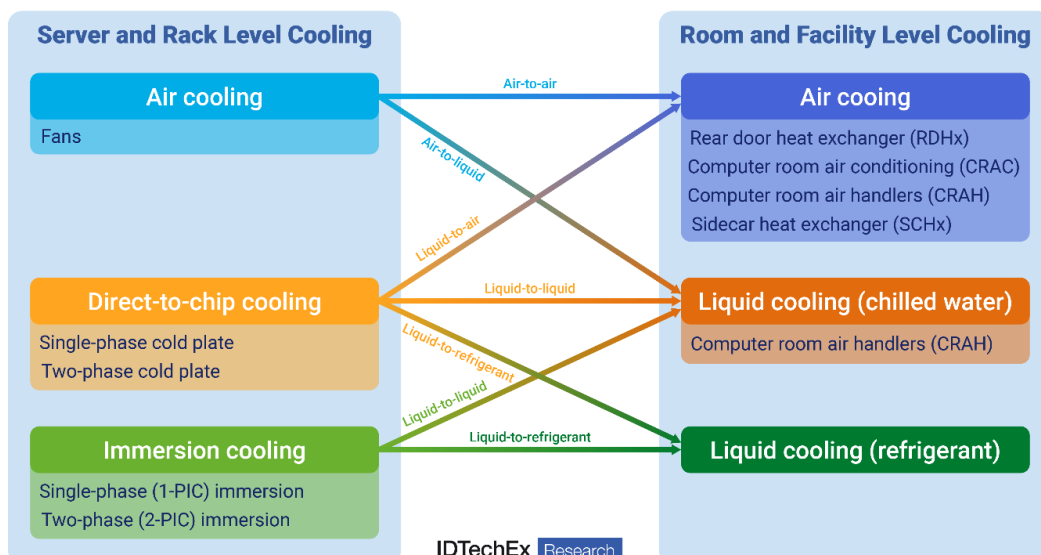
4.1 Jäähdytystavan valinta

Palvelimien ja komponenttien jäähdytystavan valintaan vaikuttaa niiden kuluttama sähköenergia, joka lopulta käytön aikana muuttuu lämmöksi. Prosessorin (CPU) lisäksi nykypalvelimissa lämpöä tuottavat tehonäytönohjaimet (GPU) ja lisääntynyt tarve käyttömuistille (RAM). Kuvassa 10 on vertailtu ilma- ja nestejäähdytyksen soveltuvuus prosessorin tehon mukaan.



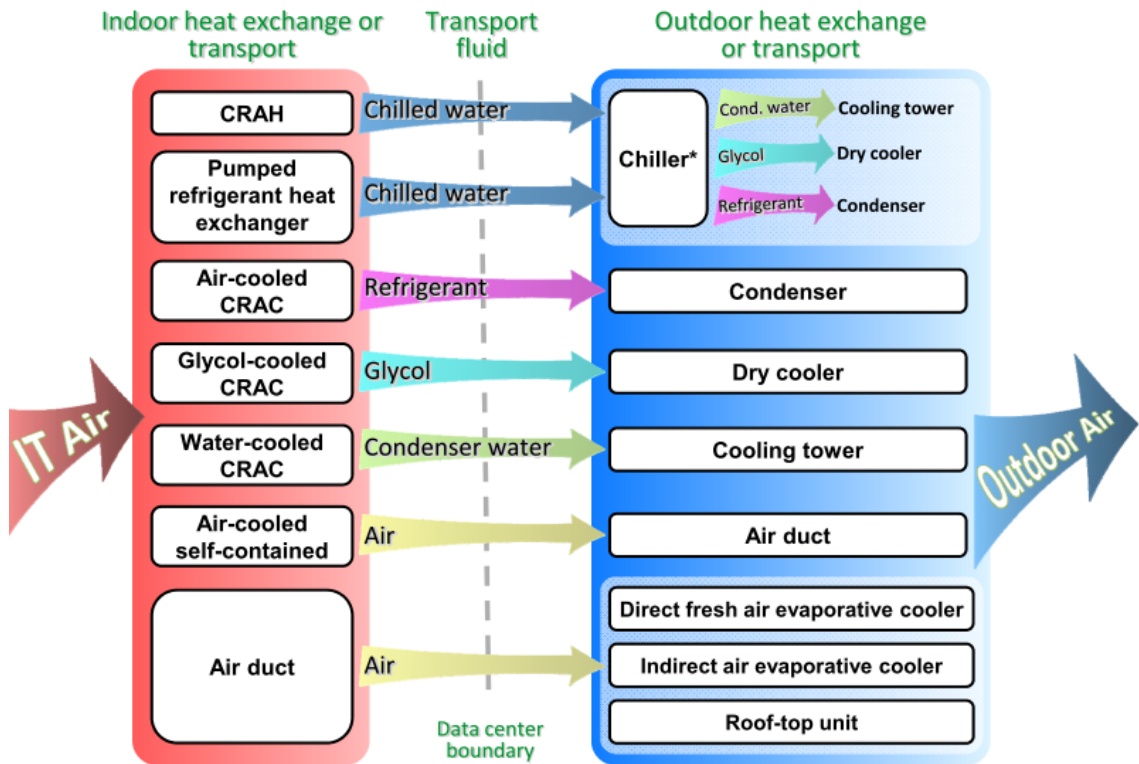
Kuva 9. Ilma- ja vesijähdytyksen soveltuvuus prosessoritehon perusteella (Emergence and Expansion of Liquid Cooling in Mainstream Data Centers 2021: 13).

Kuvassa 11 on havainnollistettu, miten ilma ja vesi liittyvät toisiinsa energian kuljettajina eri jäähdytysjärjestelmissä. Laitteiden tuottama lämpö siirretään eteenpäin ilman tai nesteen avulla. Jäähdytetyn ilman tai nesteen tuottamiseen on eri vaihtoehtoja, kuten CRAC:t ja CRAH:t sekä kylmäkoneet.



Kuva 10. Palvelin- ja huonetason jäähdytysvaihtoehdot (Wang 2024).

Kun laitteiden lämpöenergia on siirretty eteenpäin jäädyttävälle laitteelle, pitää energia vielä siirtää siitä eteenpäin johonkin lämpönieluun. Usein lämpö siirretään ulkoilmaan, mutta se voidaan myös siirtää meriveteen tai jopa geotermisiin maakaivoihin. Kuvassa 12 on havainnollistettu, millä eri siirtotavoilla ja laitteilla datakeskuksen sisältä tuleva lämpöenergia voidaan siirtää ulkoilmaan.



* Note that in some cases the chiller is physically located indoors.

Kuva 11. Lämmönsiirtotapoja IT-laitteilta ulkoilmaan (Evans 2017: 3).

Kun palvelintilan lähtötiedot ovat tarkentuneet, valitaan jäähdytysratkaisu ja päätetään laitteiden asettelu palvelintilassa. Valittu jäähdytystapa ohjaa palvelinkaappien sijoittelua optimaalisen jäähdytyksen tuottamiseksi. Jos jäähdytystavaksi on valittu ilmajäähdytys pitää rivistöt olla ilmavirroille optimaaliset. Jos jäähdytystapa on vesijäähdytys, voivat rivistöt olla tiiviimmin, kunhan laitteet ovat huollettavissa. (Kosik 2021: luku 3.8.6.)

Suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon järjestelmien päivitettävyys. Tulevaisuuden konetehoista voidaan tehdä ennusteita. Kuvassa 13 on esimerkkejä

trendeistä, jotka tulevat lähitulevaisuudessa vaikuttamaan yhden palvelinkaapin kuluttamaan energianmäärään. Eniten kuluttaa tieteellinen laskenta, joka nykyään suoritetaan pääsääntöisesti näytönohjainten ytimillä. Kasvukäyrä osoittaa tehontarpeen lisääntyvät tulevaisuudessakin ja tämä on otettava huomioon jäähdytysjärjestelmiä suunniteltaessa ja mitoituslaskelmia tehdessä.

Data Centers and Telecommunication Facilities

20.9

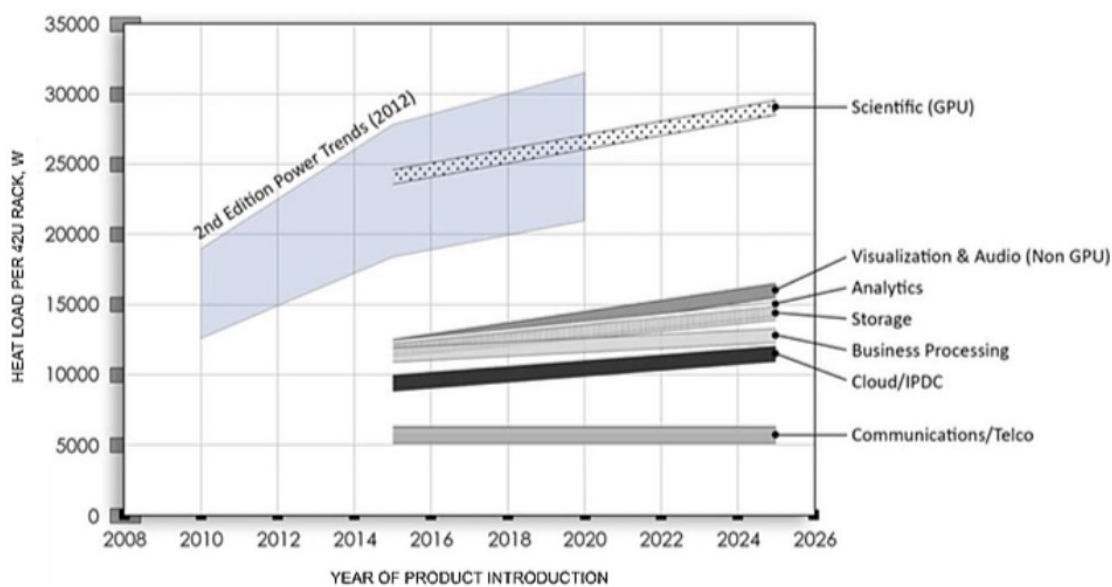


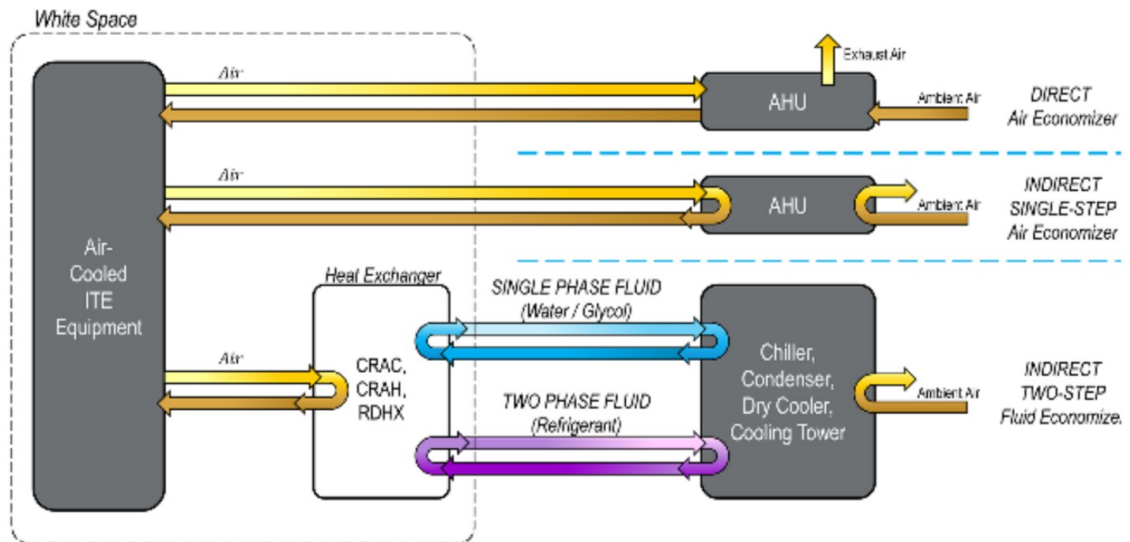
Fig. 7 ASHRAE Projected Power Trends for 2U 2-Datacom Hardware by Workload Type (ASHRAE 2018)

Kuva 12. Palvelimien käyttökohteen vaikutus energian kulutukseen (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.9).

Jäähdytystapaa- ja järjestelmää valittaessa on konesalin tilaajan tehtävä päätös neljän tekijän perusteella. Nämä ovat konesalin käyttökuorma, sähkön hinta, valitus jäähdytystavan investointihinta ja palvelinten käyttöikä. Valintaan vaikuttaa esimerkiksi, miten paljon jäähdytyksestä voidaan tehdä vapaajäähdytyksen avulla ja miten paljon tarvitaan koneellista vedenjäähdytystä. (Li ym. 2016: 10.)

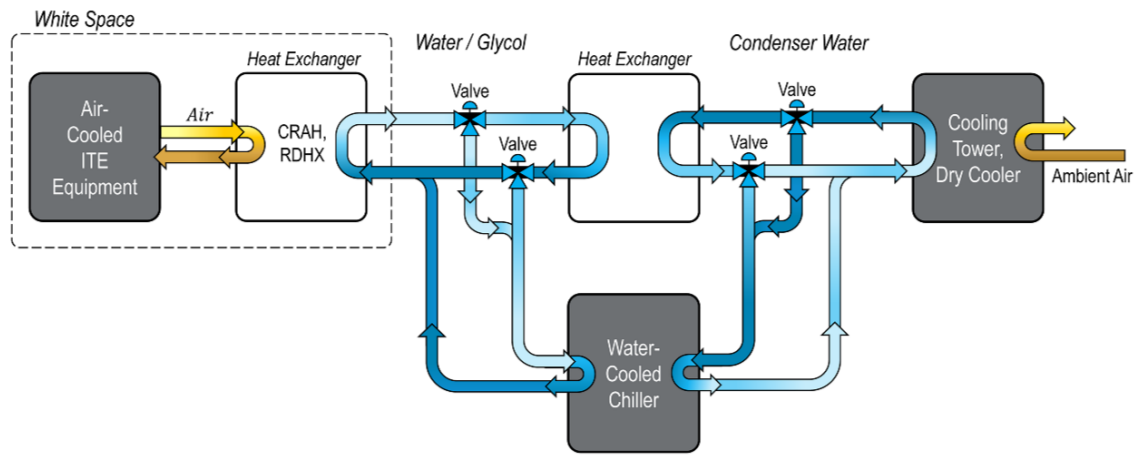
4.2 Jäähdytyksen tuotanto

Palvelinhuoneen jäähdytysenergian tuotanto voidaan järjestää monella eri tavalla. Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen on useimmissa tapauksissa energiatehokkain vaihtoehto, jos se on datakeskuksessa toteutettavissa. Kuvassa 14 on vapaajäähdytyksen eri toteutusvaihtoja, joissa ulkoilmaa hyödynnetään suoraan tai epäsuorasti palvelintilan jäähdyttämisessä.



Kuva 13. Vapaajäähdytyksen eri vaihtoehtoja (ASHRAE Handbook 2023: 24).

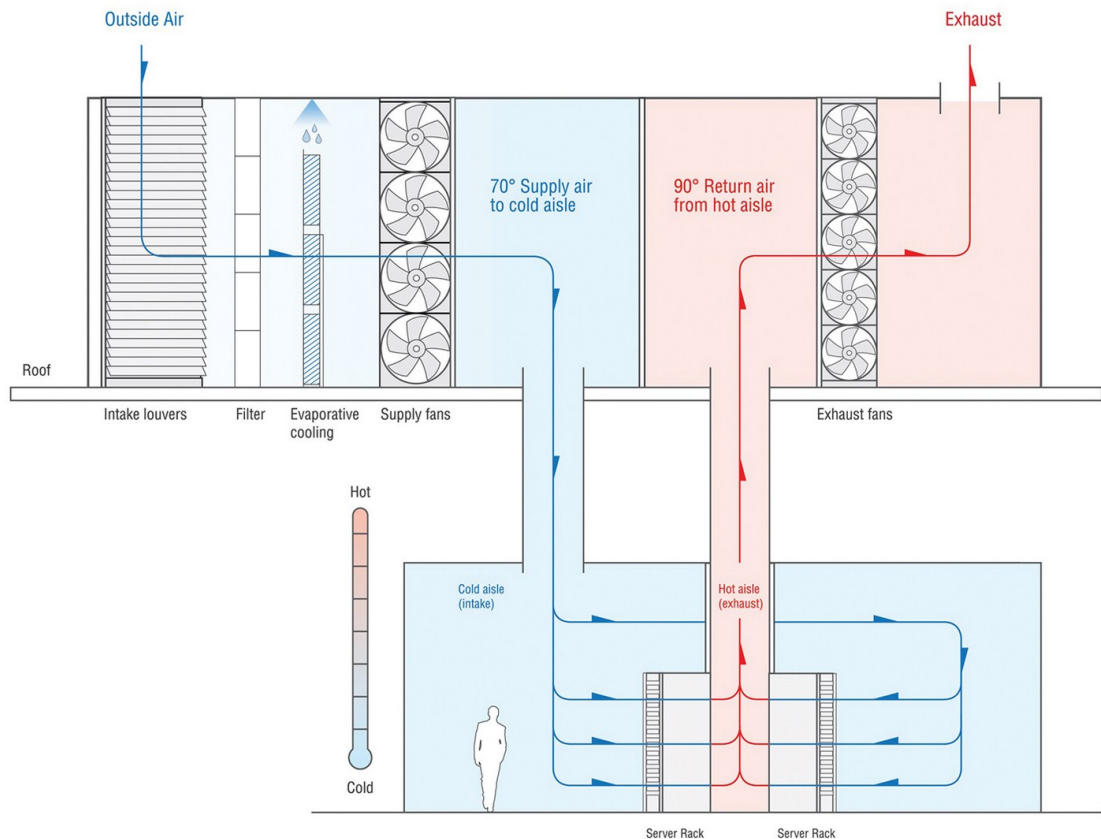
Jos jäähdytysjärjestelmien mitoituslaskelmat näyttävät, ettei pelkällä vapaajäähdytyksellä pystytä järjestelmään tarvittavaa jäähdytysteho, voidaan lisjäähdytys tehdä vedenjäähdytyskoneella. Kuvassa 15 on periaatekuva jäähdytysjärjestelmästä, jossa vapaajäähdytys ja koneellinen jäähdytys ovat yhdistetty.



Kuva 14. Epäsuora vapaajähdytysjärjestelmä vedenjäähdytyskoneella (ASHRAE Hand book 2023: 26).

Jäähdytys voidaan järjestää myös haihdutusjäähdytyksellä. Tämä on sähkönkulutuksen kannalta energiatehokas vaihtoehto, mutta tarvitsee paljon puhdasta vettä. Redundanteissa järjestelmissä myös veden saatavuus vikatilanteissa on suunniteltava, esimerkiksi tankkivarastoinnilla. Haihdutus lisää aina kosteuden määrää ilmavirrassa, joten se ei sovellu maantieteellisesti lämpimille alueille, joissa ilmankosteus on valmiiksi korkea. (Des Champs 2021: luku 13.3.1.2.)

Kuvassa 16 on periaatekuva haihdutusjäähdytyksen toiminnasta ilmajäähdytyksessä. Siinä ulkoilma suodatetaan ennen haihdutuspinnalle saapumista, jonka jälkeen noin 21 celsiusasteeseen jäähtynyt ilma johdetaan palvelintilaan kylmäkäytävälle. Tämän jälkeen ilma kulkeutuu palvelimien läpi, lämpenee ja poistuu osastoidun kanavan kautta ulkoilmaan.



Kuva 15. Ilmajäähdytys haihdutusjäähdyttimellä käytäväosastoidulle palvelinsalille (Heslin 2015).

4.3 Ilmajäähdytyksessä ilman ominaisuudet

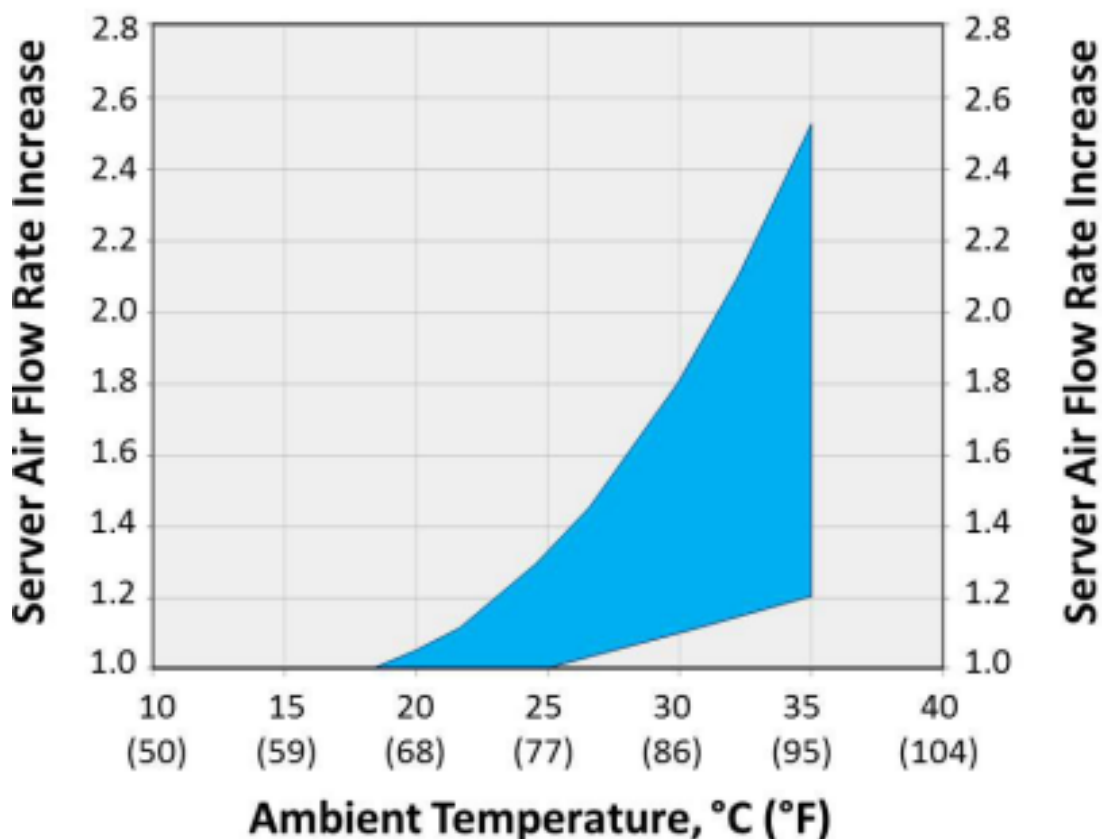
Ilmajäähdytyksessä ilman lämpötila vaikuttaa konesaleissa monella tavalla. IT-laitteisiin lämpötila vaikuttaa tehonkulutukseen puhaltimien ja itse piirissä tapahtuvien oikosulkujen kautta. Äänitasoon lämpötila vaikuttaa puhaltimien äänien kautta. Palvelimien suorituskykyyn ja niiden käyttöikään liian korkea lämpötila vaikuttaa heikentävästi. Kuvassa 17 on ASHRAE:n määrittelemät lämpötila- ja kosteusrajat ilmajäähdytykselle. Lämpötila-alue määritellään tilaajan kanssa SLA-sopimuksessa tiloihin suunniteltavien laitteiden ominaisuuksien perusteella. Tavoitteena on usein Recommended-taso (lämpötila-alue 18°C–27°C) normaalitehoisille palvelimille ja Recommended H1-taso (lämpötila-alue 18°C–22°C) tiheätehoisille palvelimille.

Table 1 2021 Thermal Guidelines: Equipment Environment Specifications for Air Cooling

Class ^a	Product Operation ^{b,c}				Product Power Off ^d		
	Dry-Bulb Temperature, ^{e,g} °C	Humidity Range, Noncondensing ^{h,i,k,j,n}	Maximum Dew Point, ^k °C	Maximum Elevation, ^{e,j,m} m	Maximum Rate of Change, ^f K/h	Dry-Bulb Temperature, °C	Relative Humidity, ^k %
Recommended (suitable for all classes; explore datacom facility metrics in ASHRAE [2021] for conditions outside this range)							
A1 to A4	18 to 27	-9 to 15°C dp and 70% rh ⁿ or 50% rh ⁿ					
H1 ^o	18 to 22	-9 to 15°C dp and 70% rh ⁿ or 50% rh ⁿ					
Allowable							
A1	15 to 32	-12°C dp and 8% rh to 17°C dp and 80% rh	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A2	10 to 35	-12°C dp and 8% rh to 21°C dp and 80% rh	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A3	5 to 40	-12°C dp and 8% rh to 24°C dp and 85% rh	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A4	5 to 45	-12°C dp and 8% rh to 24°C dp and 90% rh	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
H1 ^o	5 to 25	-12°C dp and 8% rh to 17°C dp and 80% rh	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80

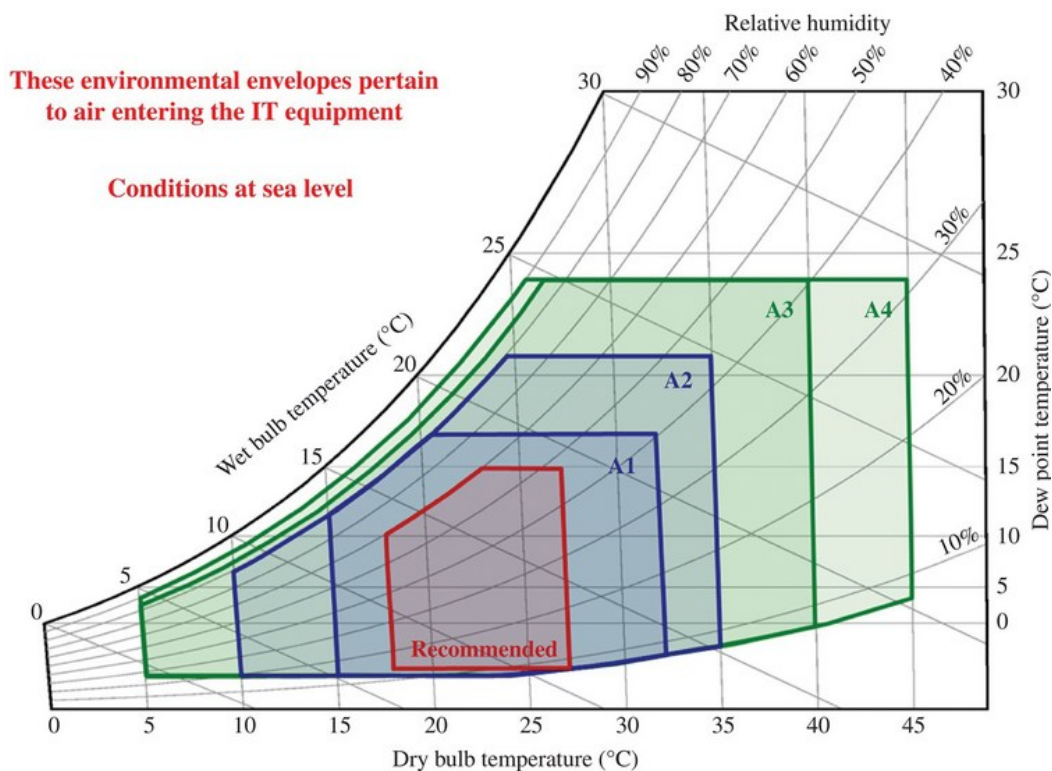
Kuva 16. Ilmajäähdytyksen ohjelämpötilat (Thermal Guidelines for Air Cooling 2021: 28).

Ilmajäähdytystä käytettäessä on huomioitava palvelimelle tulevan ilman lämpötilan vaikutus läpi puhallettavan ilman määrään. Varsinkin jos käytetään lämpötiloja yli suositellun 27 celsiusasteen. Ilmamäärät voivat olla jopa 250 % suurempia perustasoon verrattuna, kun käytetään korkeampia lämpötiloja. Kuvassa 18 on kuvattu lämpötilan vaikutus palvelimen ilmavirran määrään. Kasvanut ilmavirran määrä vaikuttaa palvelimen energiankulutukseen puhaltimien lisääntyneenä energiankulutuksena. (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 29.)

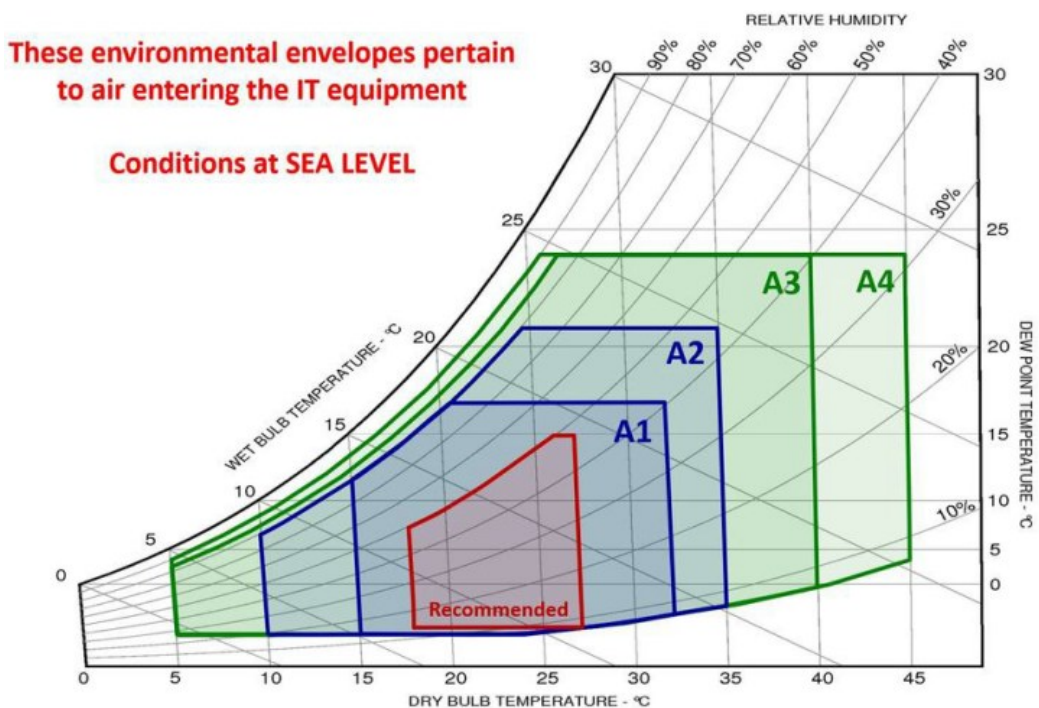


Kuva 17. Lämpötilan vaikutus palvelimen ilmavirran määrään (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 29).

Ilmajäähdytyksessä on huomioitava myös datakeskuksen maantieteellinen sijainti ja paikallinen ilmanlaatu. Kuvan 19 mukaan suositeltava kosteusprosentti on likaisessa ympäristössä matalampi kuin kuvan 20 mukaisessa puhtaassa ympäristössä. Kosteampi ilma vaikuttaa ilmaansaasteiden kanssa herkkiin palvelimien komponentteihin korroosion avulla.



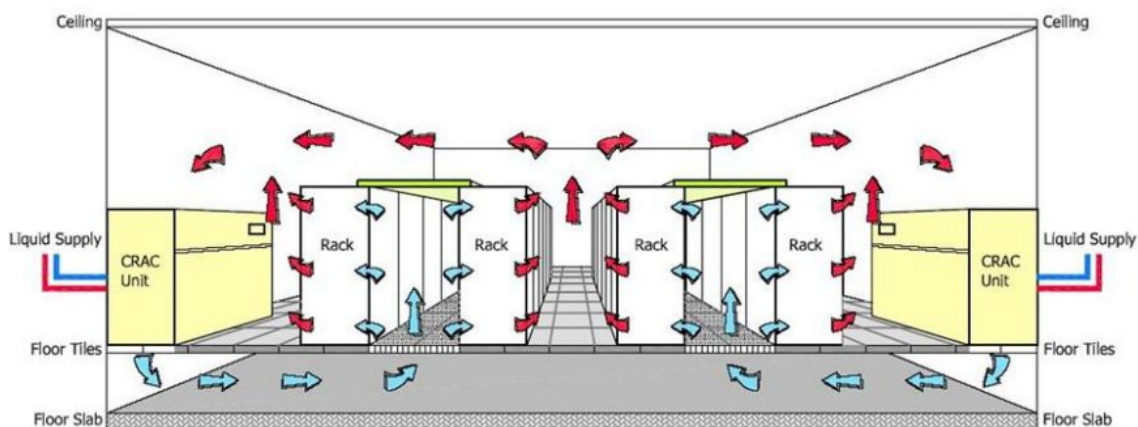
Kuva 19. Ilmajäähdytyksen olosuhdesuosituksat matalasaasteisessa sijainnissa (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 27).



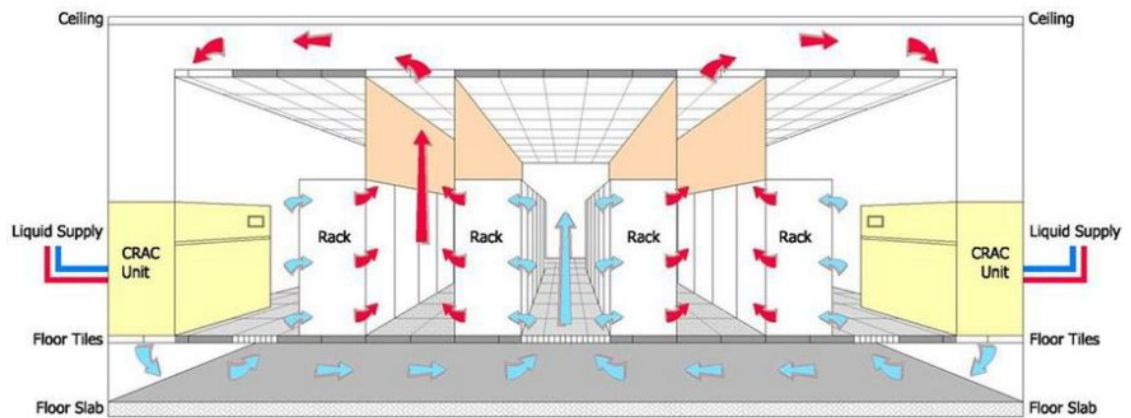
Kuva 20. Ilmajäähdytyksen olosuhdesuosituksat korkeasaasteisessa sijainnissa (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 27).

4.4 Ilmajäähdytyksen toteutustavat

Konesalitilan ilmajäähdytyksen suunnittelussa ja mitoituksessa on huomioitava palvelinkaappien IT-laitteiden maksimiteho, niiden läpivirtausominaisuudet, lämpimän ilman jäähdytys ja ilmavirtojen liikkeet. Palvelinkaappien sijoittelu riveihin on tärkeää ilmavirtojen liikkeiden hallinnassa. Kuvissa 21 ja 22 on kuvattu tyypillinen ilmajäähdytysratkaisu CRAC (Computer Room Air Conditioning) -laitteella. CRAC on suorahöyrystyskone, jonka sisäinen kylmäpiiri jäähdyttää palvelimien läpi lämminneen ilman ja palauttaa sen korotetun lattian kautta palvelimien eteen. Jos jäähdytetty neste tuodaan palvelintilan jäähdytyskoneelle ulkopuolelta, on kyseessä CRAH (Computer Room Air Handler). Palvelimien sijoittelulla riveittäin ohjataan, miten päin jäähdytysilma saavuttaa palvelimien etuosan ja mitä kautta lämmennyt ilma kiertää takaisin jäähdytyslaitteelle.



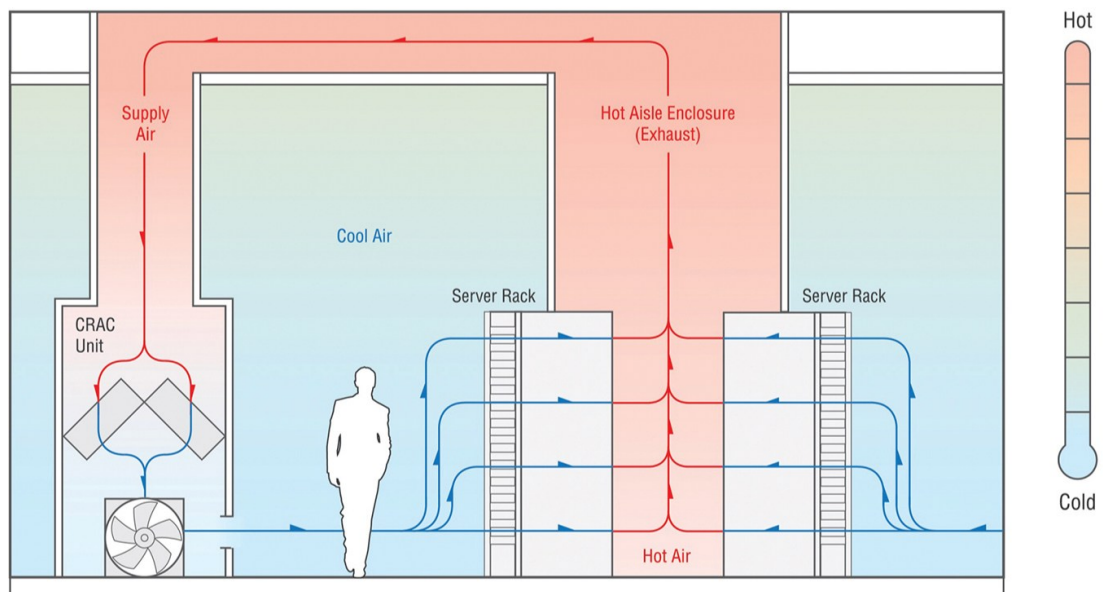
Kuva 18. Ilmajäähdytys kylmäkäytäväosastoinnilla (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2024: 61).



Kuva 19. Ilmajäähdytys kuumakäytäväosastoinnilla korotetun lattian kautta (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2024: 61).

Jos palvelintilassa ei ole korotettua lattiaa kylmän ilmavirran kuljettamiseen voidaan ilmavirta ohjata kulkemaan kuvan 23 mukaisesti.

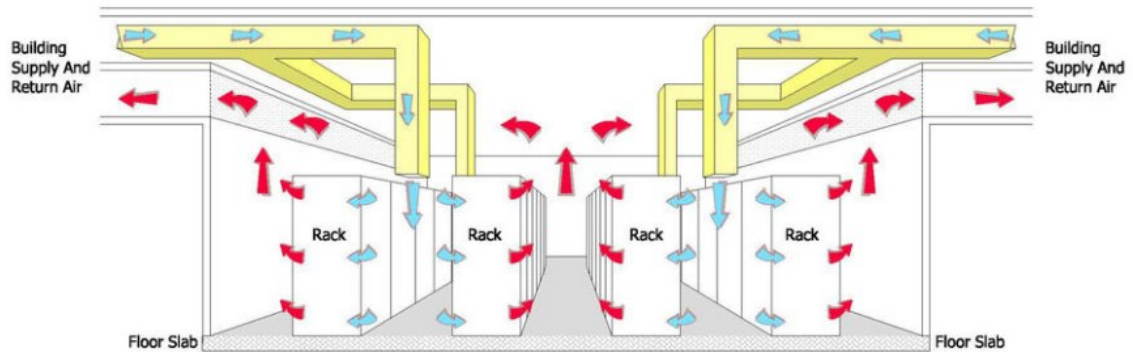
Hot Aisle Enclosure Diagram



Kuva 20. Ilmajäähdytys kuumakäytäväosastoinnilla palvelintilassa ilman korotettua lattiaa (Heslin 2015).

Jäähdytetty ilmavirta voidaan tuoda palvelintilaan myös ilman osastointia kuvan 24 mukaisesti. Ilmanjäähdytys tapahtuu ilmanvaihtokoneessa tai muussa

keskitetysti. Yläpuolelta jaettavassa ilmajäähdytyksessä riski ilmavirtojen sekoittumiselle on suurempi kuin kylmä- tai kuumakäytäväratkaisuissa.

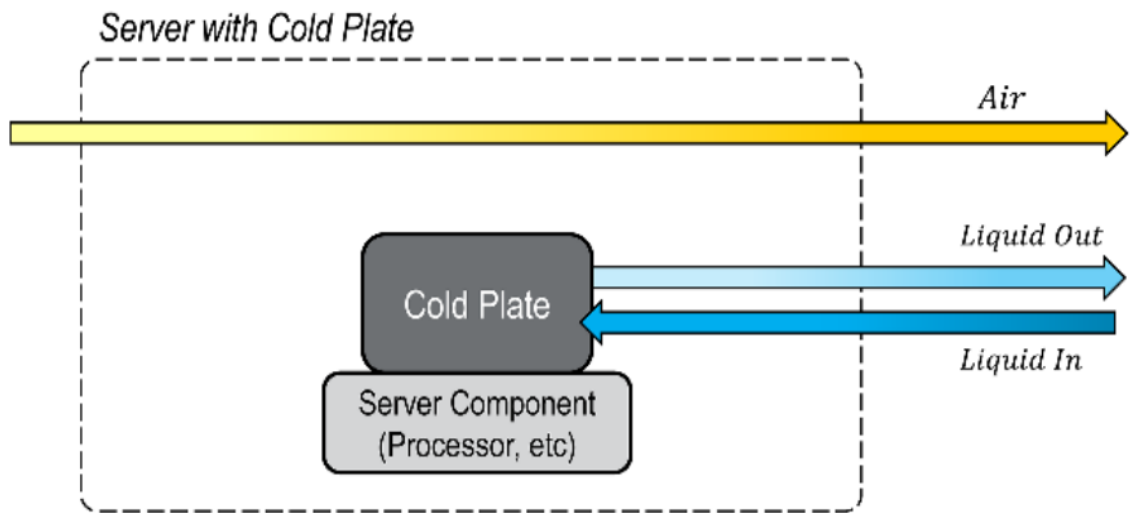


Kuva 21. Yläpuolinen jäähdytysilman jakelu kylmä- ja kuumakäytävillä (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2024: 60).

4.5 Nestejäähdytys

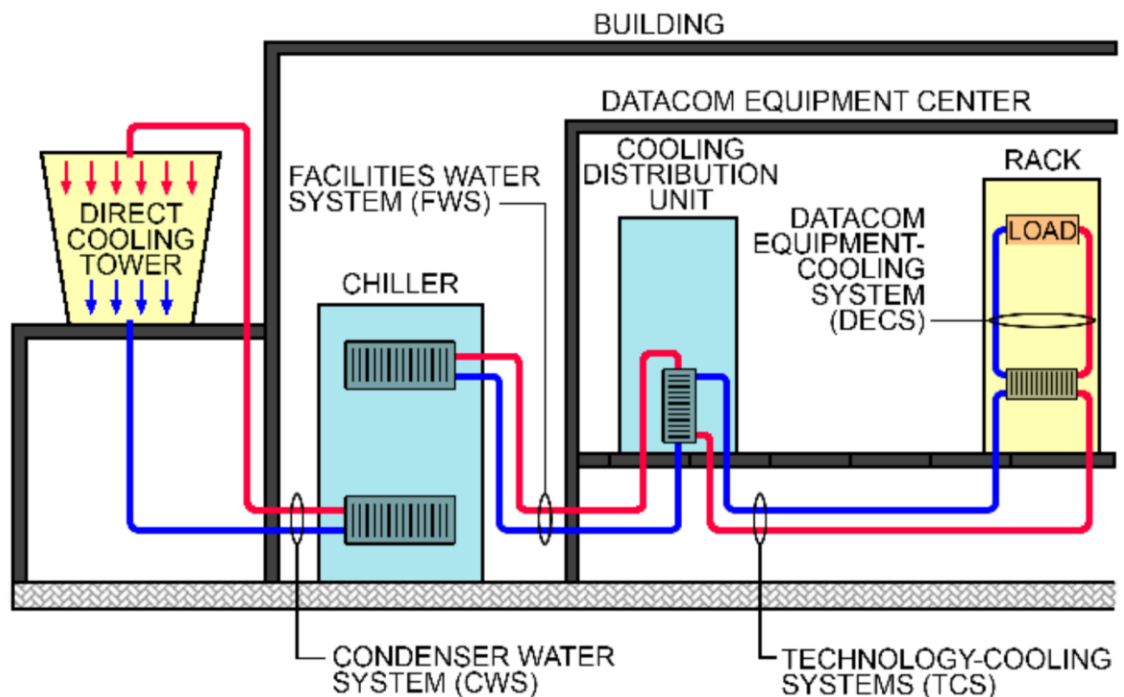
Nestejäähdytykseksi kutsutaan jäähdytystapaa, jossa komponenttien tuottama lämpö siirretään ensimmäiseksi nesteeseen. Sen jälkeen nesteen lämpöenergia siirretään lämmönvaihtimen kautta jäähdytettäväksi toisaalle. Lämpö voidaan siirtää komponenteilta nestejäähdytyslevyjen avulla kiertävään nesteeseen tai koko palvelin voi olla upotettuna sähköä johtamattomaan nesteeseen. Tätä jäähdytystapaa kutsutaan immersiojäähdytykseksi. (Kosik 2021: luku 3.8.7.)

Nestejäähdytyksistä yleisempi tapa on tällä hetkellä Direct to Chip (DtC). Tässä jäähdytysmuodossa lämpöä eniten tuottavat komponentit, kuten prosessori ja näytönohjain varustetaan jäähdytysblokilli, jonka sisällä kiertää jäähdyttävä neste. Blokeissa kiertävä neste on yleensä vettä. Kuvassa 25 on periaatemalli DtC-nestejäähdytyksen toiminnasta. Tämän jäähdytystavan kanssa on huomioitava, että palvelimissa on muitakin komponentteja, joiden tuottama lämpö pitää siirtää pois. Näiden komponenttien osuus on noin 10 % laitteen kokonaistehosta, ja niiden tuottama lämpö siirretään ilmaan puhaltimien avulla. (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.20.)



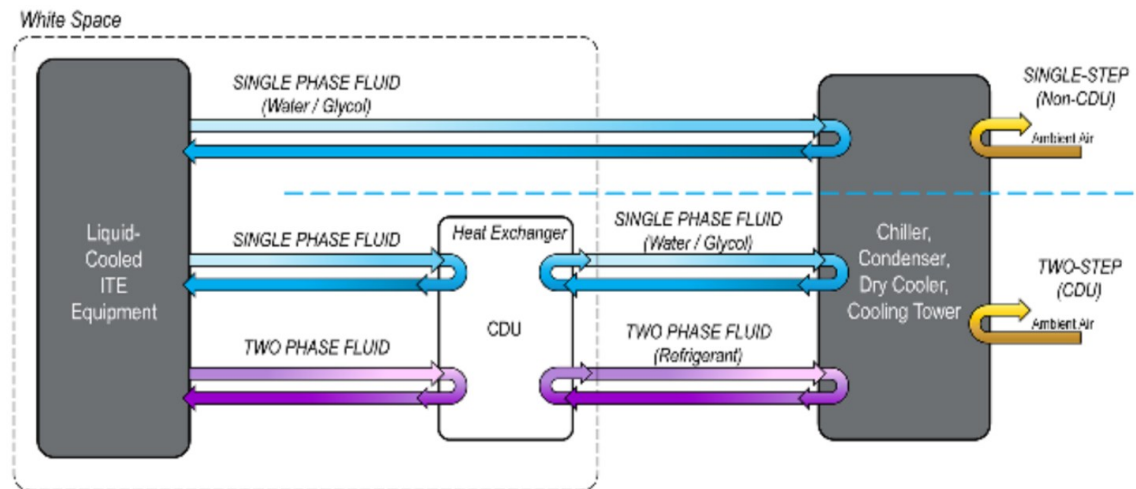
Kuva 22. Komponenttien pintaan tulevan jäähdytyslevyn toimintaperiaate (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.20).

Kuvassa 26 on yksinkertaistettu esimerkki palvelinkaapin sisällä toteutetusta nestejäähdytysjärjestelmästä, jossa jäähdytetty vesi tulee lämmönsiirtimelle toisaalta, esimerkiksi vedenjäähdytyskoneelta.



Kuva 23. Nestejäähdytyksen osien sijoittelu kiinteistössä (Ashrae Hand Book 2023: luku 20.21).

Nestejäähdytyksen siirtämä lämpöenergia voidaan siirtää myös suoraan lauhduttimelle tai vedenjäähdytyskoneelle kuvan 27 mukaisesti.



Kuva 24. Nestejäähdytyksen eri toimintatavat (ASHRAE Hand book 2023: luku 20.22).

ASHRAE on määritellyt myös nestejäähdytyksille omat lämpötilarajat, joita tilaaja voi palvelusopimuksissa vaatia tavoiteltavan. Kylmimpien lämpötilatasojen saavuttaminen vaatii yleensä vedenjäähdytyskoneen jäähdytykseen, lisäksi mahdollisesti vesikiertoisen vapaajäähdytin. Mitä lämpimämpää vettä jäähdytykseen voidaan käyttää, sitä energiatehokkaampaa jäähdytyksen tuotanto on. Kuvassa 28 ovat muut nestejäähdytyksen lämpötilaluokat.

Equipment Environment Specifications for Liquid Cooling			
Liquid Cooling Class	Typical Infrastructure Design		Facility Water Supply Temperature, °C (°F) ^a
	Primary Facilities	Secondary/ Supplemental Facilities	
W17	} Chiller/cooling tower	Water-side economizer (cooling tower)	17 (62.6)
W27			27 (80.6)
W32	} Cooling tower	Chiller or district heating system	32 (89.6)
W40			40 (104)
W45	} Cooling tower	District heating system	45 (113)
W+			>45 (>113)

a. Minimum water temperature for all classes is 2°C (35.6°F).

Kuva 25. Nestejäähdytyksen lämpötilaluokitukset (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 46).

4.6 Ilman olosuhdehallinnan suunnittelu

Lämpötilan lisäksi ilman kosteuspitoisuudella ja puhtaudella on merkitystä suunnittelun kannalta. Palvelintila on suunniteltava hieman ylipaineiseksi, yleensä 5–10 Pa ylipaine riittää. Tämä vähentää rakennuksen muista tiloista ilman mukana tulevien epäpuhtauksien pääsemisen palvelintilaan. (Muller 2021: 15.5.1.2.)

Palvelintilan sisällä ja ulkoa johdettu ilma tulee olla hiukkastasoltaan standardin ISO 14644-1 luokkaa 8. Tämä tarkoittaa hiukkaspitoisuutta 100 000 000 hiukasta per kuutiometri ilmaa. ASHRAE:n ohjeistuksen mukaan palvelintilan sisällä kiertävä ilma pitää suodattaa MERV 8-tason suodattimella, joka vastaa eurooppalaista uutta suodatintasoa ePM 10 ($\geq 50\%$ PM_{2.5}). Ulkoa johdettu ilma pitää suodattaa MERV 11-13 tai paremmilla suodattimilla, jotka vastaavat tasoa ePM1 ($\geq 50\%$ PM₁). (Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2021: 17.)

4.6.1 Kostutus

Matalan lämpötilan alueilla voi ilmajähdytteisissä tiloissa joutua kostuttamaan ilmaa, että päästään ilman olosuhdehallinnassa tavoitellulle tasolle suhteellisen kosteuden osalta. Kostutus voidaan hoitaa tiloihin kolmella tavalla: höyrykostutuksella, haihdutuskostutuksella ja sumutuskostutuksella.

Höyrykostutuksessa höyrystymisen tarvitsema energia saadaan sähkövastuksesta. Kostutin sijaitsee samassa tilassa, vakioilmastointikoneessa tai tuloilmakanavassa. (McFarlane & Weale 2021: luku 24.4.1.4.)

Haihdutuskostutuksessa kosteus syntyy tuloilmakoneessa sijaitsevan huokoisesta kostutuskenno läpi puhallettavan ilman energialla. Kostutuskenno vesi tulee olla käsitelty suodattimen tai UV-valopuhdistimen läpi. (McFarlane & Weale 2021: luku 24.4.1.4.)

Sumutuskostutuksen höyrystymisenergia saadaan tuloilmasta tai tilan ilmasta. Sumun tuottamiseen tarvittava vesi tulee olla käsitelty mineraalien poistolla, esimerkiksi ioninvaihdolla tai käänteisosmoosilla. (McFarlane & Weale 2021: luku 24.4.1.4.)

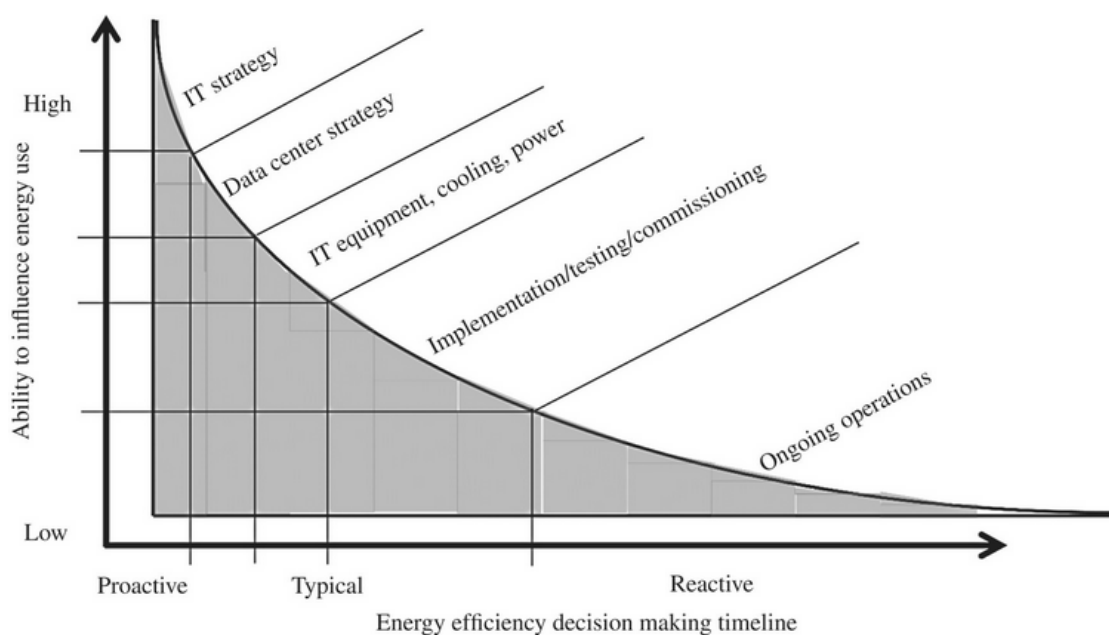
4.6.2 Kuivatus

Ilmanvaihto kuljettaa kosteutta ulkoilmasta palvelintiloihin. Kuumina ja kosteina päivinä suhteellinen kosteus voi nousta niin korkealle, että ilmaa on kuivattava. Kosteus poistetaan ilmasta kondensoimalla se kylmään pintaan tuloilmakoneen jäähdytyspatterissa. Jäähdytyspatterissa kierrätetään viileää vettä (7–10°), jolloin jäähdytyskenno pintalämpötila on alle kastepisteen ja kosteus tiivistyy siihen. Jäähdytyspatteri voi olla myös kylmäainepiirin höyrystin, jolloin puhutaan suorahöyrystyspatterista. (McFarlane & Weale 2021: luku 24.4.1.5.)

5 Energiatohokkuuden parantaminen konesaleissa

Datakeskukset kuluttavat normaaliin toimistorakennukseen verrattuna arviolta 40-kertaisesti tai jopa sitäkin enemmän energiaa. (Kosik 2021: luku 3.1.1).

Tästä syystä on tärkeää pyrkiä vähentämään energiankulutusta, jos se on taloudellisesti ja liiketoiminnan jatkuvuuden kannalta mahdollista. Jos energiankulutuksen vähentäminen vaatii sijoituksia uusiin järjestelmiin tai ohjausohjelmistoihin, niin niille pitää laskea investointina takaisinmaksuaika (Kosik 2021: luku 3.1.3). Kuvassa 29 on esitetty kuvaajana päätösten teko-aika verrattuna sen energiankulutuksen vaikuttavuuteen. Kuvaajan mukaan suurimmat päätökset ovat IT-strategia ja datakeskuksen toimintastrategia, jotka vaikuttavat eniten energiatehokkuuteen.



Kuva 29. Päätösten aikataulutus energiatehokkuuteen vaikuttamiseen (Kosik 2021: luku 3.1.3)

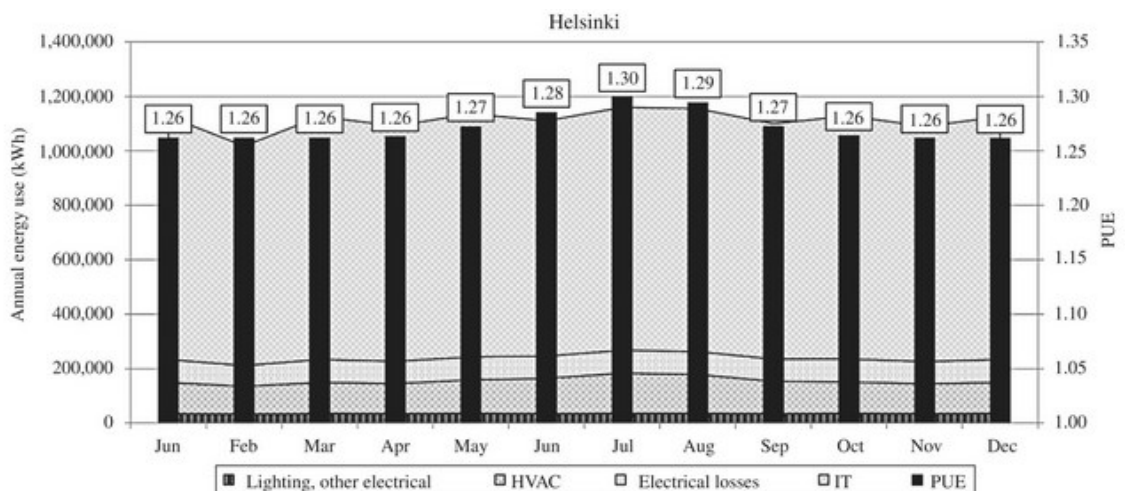
Datakeskusten suunnitteluvaiheessa voi käyttää hyväksi EU:n datakeskusten käytännesääntöjä (EU Code of Conduct for Data Centres). Se antaa parhaita käytäntöjä ja suosituksia energiatehokkuuden parantamiseen datakeskuksessa. Myös EN 50600-4-standardi auttaa optimoimaan jäähdytysjärjestelmiä, sähköjakelua ja IT-infrastruktuurin energiankäyttöä KPI-mittareiden avulla.

Energiatohokkuuden parantamiseen kannustavat myös sertifikaatit, joita voi hakea, jos tunnusluvut täyttävät tavoitetasot. Esimerkiksi Yhdysvaltain EPA (Environmental Protection Agency) myöntää Energy Star-sertifikaatteja. Konesaleille voi hakea myös ympäristösertifikaatteja, kuten LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Assessment Method) ja CEEDA (Certified Energy Efficient Datacenter Award). (Hwaiyu 2021: luku 1.5.4.)

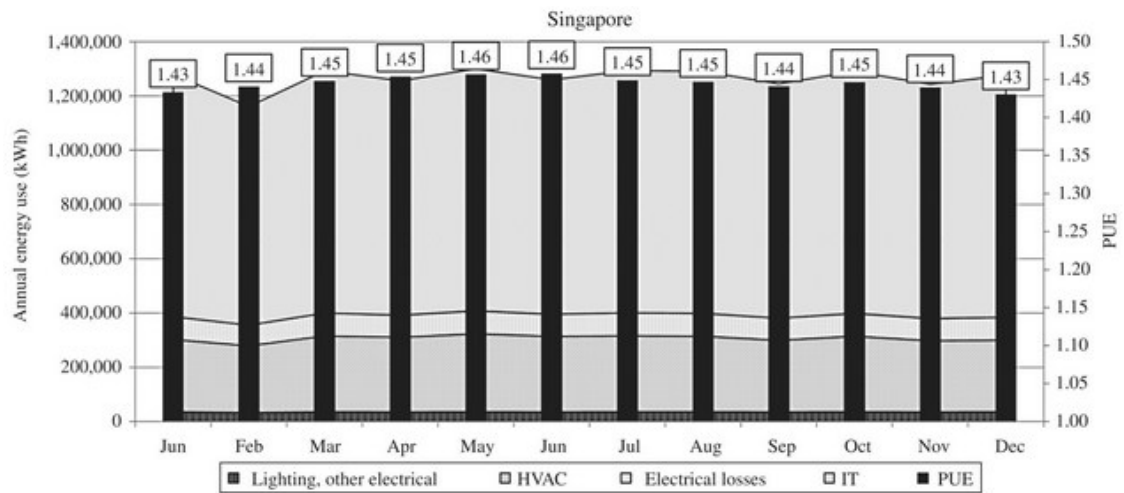
5.1 Suunnittelun ongelmakohtia

Bill Kosikin mukaan (2021: luku 3.5) on yleisesti tunnistettu suunnitteluvirheitä, jotka vaikuttavat datakeskusten energiatohokkuuteen merkittävästi. Seuraavat kohdat ja ratkaisumallit ovat vain muutamia monien joukossa. Käytännössä ongelmakohdat selviävät vasta käytön aikana, ja niiden korjaaminen on jälkikäteen vaikeampaa kuin suunnitteluvaiheessa.

Ensimmäinen ongelmakohta on, että jätetään sijoituspaikan ulkoilmasto-olosuhteet huomioimatta tai vähäiselle huomiolle. Esimerkkinä tästä on vapaajäähdytyksen hyödyntämättä jättäminen viileän olosuhteen paikoissa. Kuvissa 30 ja 31 on kuvattu saman datakeskuksen energiankulutuksen simulointi ja vaikutus PUE-lukuun eri maantieteellisissä sijainneissa. (Kosik 2021: luku 3.5.1.)



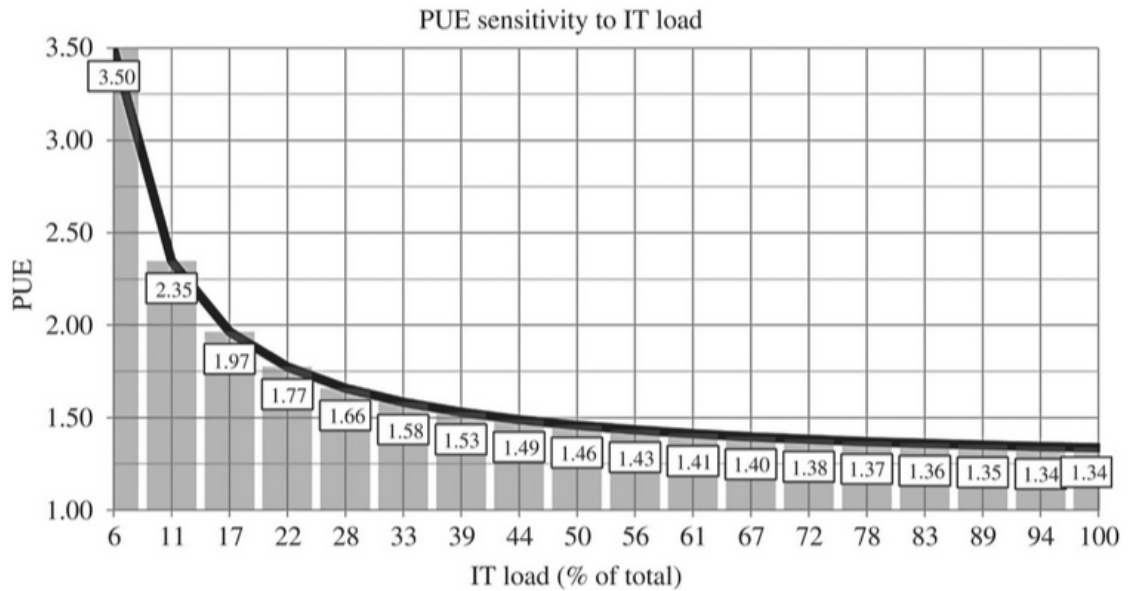
Kuva 26. Kuukausittainen energiankulutus ja PUE-arvo Helsingissä (Kosik 2021: luku 3.5.1).



Kuva 27. Kuukausittainen energiankulutus ja PUE-arvo Singaporessa (Kosik 2021: luku 3.5.1).

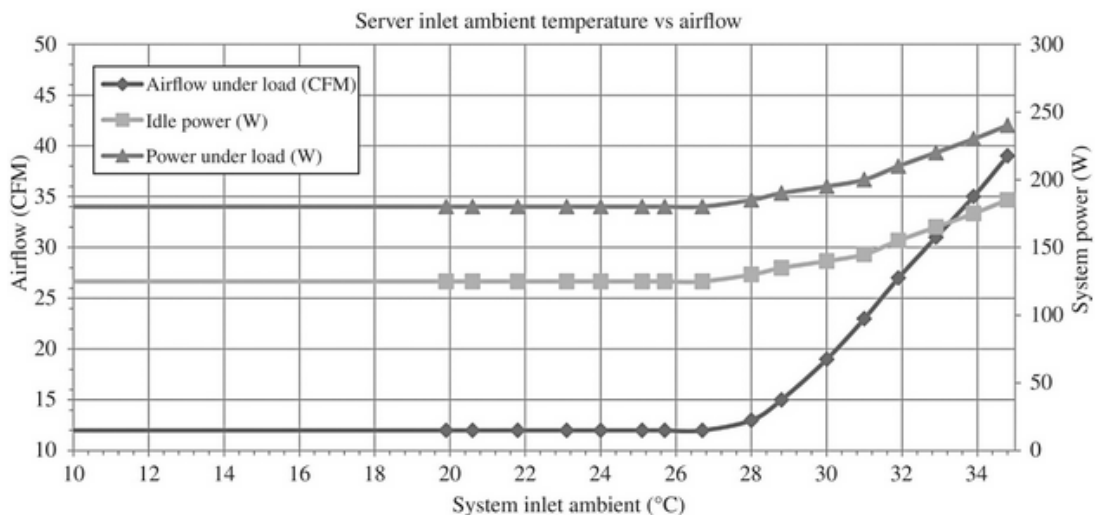
Toinen ongelmakohta on jättää huomioimatta redundantin sähköjärjestelmän aiheuttama lisääntynyt energiankulutus. Varmennetut tai kahdennetut sähköjärjestelmät, jotka toimivat normaalissa käytössä alhaisemmilla kuormilla varmuusreititysten takia, toimivat huonommilla hyötysuhteilla. Tämä energiankulutus voi vastata jopa järjestelmän tuulettimien ja pumppujen kuluttamaa energiaa. (Kosik 2021, luku 3.5.2.)

Kolmas ongelmakohta on, että palvelintilan lämpötila jäädytetään liian matalaksi. Nostamalla lämpötila suositellulle käyttöalueelle voidaan hyödyntää vapaajäähdytystä pidemmän aikaa vuodesta. Neljäs ongelmakohta on, että ei arvioida IT-laitteiden energiankulutusta oikealle tasolle. Datakeskuksissa on aina normaali peruskulutus, jonka päälle IT-laitteiden kulutus lasketaan PUE-arvoa määriteltäessä. Jos IT-laitteiden todellinen kulutus ja käyttöaste ovat todella pienet, niin siitä seuraa muiden järjestelmien kuluttaman energian suuri osuus kokonaisuudesta. Tämä nostaa PUE-arvoa huomattavasti kuvan 32 mukaisesti. (Kosik 2021, luvut 3.5.3; 3.5.4.)



Kuva 28. PUE-arvon ja IT-laitteiden käyttöasteen välinen yhteys (Kosik 2021, luku 3.5.4).

Viides ongelmakohta on, että ei huomioida palvelintilan lämpötilan nousun vaikutusta jäähdytysjärjestelmän energiankulutukseen. Käytännössä tietyn lämpötilan jälkeen ilmajäähdytyksen puhaltimet alkavat nostamaan kierroksia, koska palvelimelle saapuvan ilman lämpötila nousee liian korkealle kuvan 33 mukaisesti. Näin palvelimen kuluttama kokonaisenergia nousee enemmän kuin lämpötilan nostosta säästetty energiankulutus olisi. (Kosik 2021, luku 3.5.5.)



Kuva 29. Palvelimen energiankulutuksen käyttäytyminen sisään tulevan ilman lämpötilan mukaan (Kosik 2021, luku 3.5.5).

5.2 Energiatehokkaita toteutusvaihtoja

Palvelinsaleissa voidaan parantaa teknisillä toteutuksilla energiatehokkuutta. Esimerkiksi palvelimien käyttöasteen nostaminen virtuaalipalvelimien käytöllä ja IT-laitteiden päivittäminen vähävirtaisempiin komponentteihin vähentää sähkönkulutus samalla laskentateholla. (Lei & Masanet 2021: luku 2.6.1.)

LVI-suunnittelun näkökulmasta hyväksi todettuja ja suositeltavia datakeskuksen jäähdytysjärjestelmän toteutusratkaisuja ovat esimerkiksi:

- palvelinkaappien sisäinen DtC-nestejäähdytys- tai upotusjäähdytysjärjestelmä
- palvelimelle tulevan ilman lämpötilan nostaminen ja kosteustason säätäminen sallitun vaihteluvälin yläpäähän
- kylmä- ja kuumakäytävät sekä osastointi ilmajäähdytyksessä
- ilmavirtausten hallinta, ohivirtauksen ja ilmavirtojen sekoittumisen estäminen
- vapaajäähdytyksen hyödyntäminen suorilmajäähdytyksellä tai nestejäähdyttimen avulla. (Hwaiyu 2021: luku 1.5.4.)

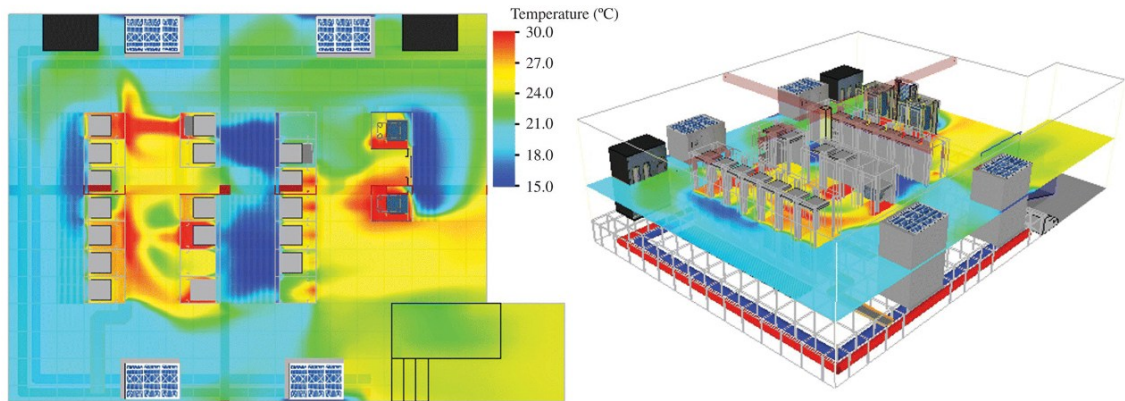
Sähkö- ja automaatiojärjestelmien suunnittelussa energiatehokkaita toteutusratkaisuja ovat:

- korkean hyötysuhteen UPS:n käyttäminen
- muuttuvalla kierrosluvulla varustettujen kiintolevyn käyttäminen
- polttokennotekniikan hyödyntäminen sähkön tuotannossa
- DC-sähkönsyöttö komponenteille suoraan ilman virranmuunnoksia
- tekoälyn ja data-analyysin hyödyntäminen käyttöhyödykkeiden ohjauksessa. (Hwaiyu 2021: luku 1.5.4.)

5.3 Ilma- ja nestevirtojen optimointi jäähdytyksessä

Ilma- ja nestevirtojen mallintaminen suoritetaan CFD-analyysien avulla. CFD-analyysissä voidaan mallintaa neste- tai ilmavirtoja hyödyntämällä Navier-Stokesin virtausyhtälöitä. Yhtälöiden avulla voidaan laskea massan, liikemäärän ja energian säilyvydet matemaattisesti. Datakeskuksissa laskentaa voidaan hyödyntää mallintamalla ilmavirtojen ja samalla jäähdytyksen toimivuutta

palvelinsaleissa. Ilmavirtojen laskenta voidaan tehdä palvelinten komponenttitasolta koko kiinteistön tasolle ja analysoida optimaalisimmat toteutusvaihtoehdot. (Seymour 2021: luku 30.1). Kuvassa 34 on mallikuva palvelinsalin CFD-mallinnuksesta, jossa näkyy palvelinkaappien sijoittelun vaikutus ilmajäähdytyksen lämpötiloihin.



Kuva 30. CFD-mallinnus palvelinhuoneen lämpötiloista (Seymour 2021: luku 32.2.7.1).

Mallinnusten avulla voidaan parantaa energiatehokkuutta suunnittelemalla palvelinlaitteiston sijoittelun mahdollisimman hyväksi jäähdytystä varten. CFD-laskelmia voidaan hyödyntää myös ulkotiloissa nestejäähdyttimien ilmavirtojen mallintamiseen, generaattoreiden lämpövirtojen tai sähkölaitteiden jäähdytyksen mallintamiseen. Ulkotiloissa olevien nestejäähdyttimien ilmavirran varmistaminen esteettömästi on tärkeää niiden optimaalisen toimivuuden kannalta. (Seymour 2021: luku 30.3.1.)

5.4 Hukkaenergian hyödyntäminen

Hukkalämpö, joka datakeskuksista tulee ja voidaan tarvittaessa ottaa talteen, on matalalämpöistä ilmaa tai nestettä. Tätä lämpöä voidaan lähes suoraan käyttää rakennuksen toimisto- ja muiden tilojen lämmittämiseen tai adiabaattisen kostuttimen toimintaan. Matalalämpöinen neste voidaan lämpöpumpuilla nostaa korkeampaan lämpötilaan, jolloin sitä voidaan hyödyntää lämmitykseen kaukolämpöverkossa. Hyödyntämismahdollisuus kannattaa aina tutkia paikalliselta

lämmityslaitokselta ennen järjestelmien suunnittelua. (McFarlane & Weale 2021: luku 24.2.6.)

Suurissa datakeskuksissa, joissa ei ole mahdollisuutta hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkkoon, voidaan tutkia adsorptiojäähdyttimen hyödyntämistä. Adsorptiojäähdytin pystyy hyödyntämään ylimääräisen lämpöenergian jäähdytysenergian tuottamiseen, mitä voidaan hyödyntää datakeskuksen laitteen jäähdyttämiseen. (Emergence and Expansion of Liquid Cooling in Mainstream Data Centers 2021: 17.)

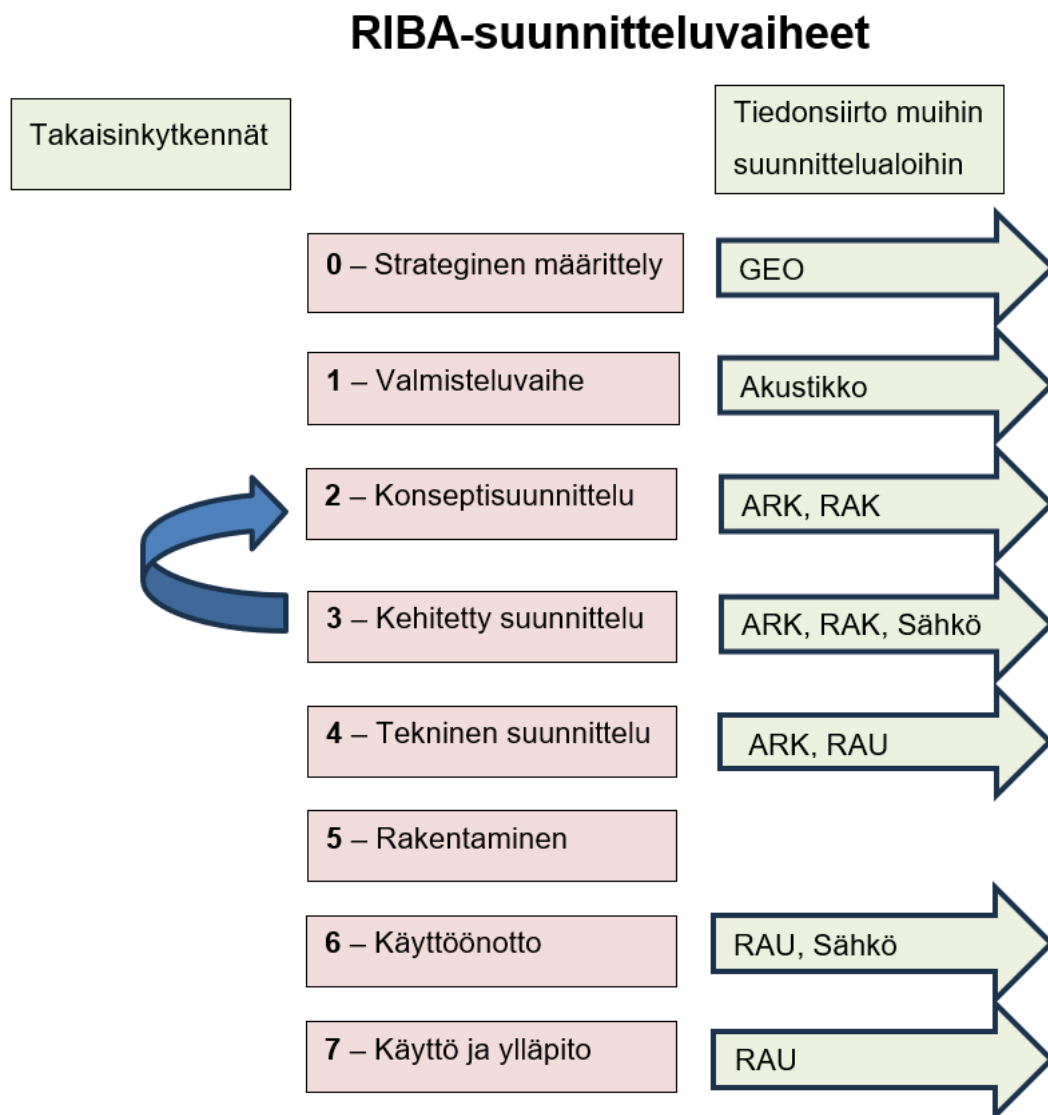
6 Datakeskuksen suunnitteluprosessi

Datakeskusten suunnittelun vaiheistuksessa käytetään usein RIBAn (Royal Institute of British Architects) määrittelemiä vaiheita. Vaiheet kuvaavat rakennusprojektin vaiheita ja niihin kuuluvia tehtäviä. LVI-suunnittelun tehtävien määrittämisessä käytetään kansainvälisen BSRIA (Building Services Research and Information Association) -yhdistyksen listauksia. Vaiheita ja tehtäviä voi verrata Suomessa käytettäviin TATE2018-tehtäväluetteloon ja rakennushankkeen vaiheisiin, joita ovat tarveselvitys, hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto ja takuu-aika. (Talonrakennushankkeen kulku 2016: 1.)

Datakeskusten suunnitteluprojektit ovat hyvin usein tietomallikohteita, ja kohteet mallinnetaan 3D-malliksi projektin edetessä. Projektin laajuudesta ja suuruudesta riippuen suunnittelun eri vaiheissa voi olla määritelty 3D-mallien tarkkuustaso eli LOD (Level of Development/Detail). Tämä arvo kuvastaa millä tieto- ja tarkkuustasolla objektit mallinnetaan kuviin. Vaatimukset mallien LOD-tasolle suunnittelun eri vaiheissa tulevat yleensä asiakkaalta jo tarjousvaiheessa. Perusarvot tasolle ovat LOD 100, 200, 300, 350, 400 ja 500. Tasot on määritelty BIMForum-järjestön ohjeistuksessa. (Level of Development Specification 2024: 11–13.)

6.1 Suunnittelun toteutuspolku

Datakeskuksen LVI-suunnittelun toteutuspolku on kehitetty Granlund Oy:n voimassa olevien suunnitteluohjeiden pohjalta. Suunnittelun vaiheistuksessa käytetään kansainvälisiä RIBA-suunnitteluvaiheita, joita on sovellettu ja tarkennettu jokaisen vaiheen kohdalta. Kuten RIBA-vaiheiden virallisessa ohjeistuksessa, myös todellisuudessa vaiheet voivat mennä toistensa päälle eikä täysin selkeää rajaa vaiheiden välillä ole. Prosessina suunnittelun vaiheet ovat hyvin eteenpäin vieviä ja takaisinkytkentöjä on hyvin vähän. Kuvassa 35 on havainnollistettu eri vaiheiden aikana tapahtuvat tiedonsiirrot muiden suunnittelualojen kanssa ja mahdollinen takaisinkytkentä kolmannen vaiheen päätteeksi.



Kuva 31. Datakeskuksen RIBA-suunnitteluvaiheet.

6.2 RIBA 0 – Strateginen määrittely (Strategic Definition)

Tavoitteena tässä vaiheessa on määritellä datakeskuksen liiketoiminnalliset ja tekniset tarpeet, mukaan lukien laskentakapasiteetti, redundanssi ja energiatehokkuusvaatimukset. Jos vaiheen aikana tehdään 3D-kuvia, niin niiden LOD-taso tässä vaiheessa on LOD 100. Mallinnus tehdään konseptitasolla.

Toimenpiteinä ovat tiedonvaihto asiakkaan ja sidosryhmien välillä, missä käydään läpi tarpeet ja tavoitteet. Kestävän kehityksen ja energiatehokkuuden tavoitteita voidaan alustavasti määritellä tässä vaiheessa. Jos asiakas on co-location-palveluntarjoaja, niin suunnittelun tavoitetasot määritellään SLA-palvelutasosopimuksessa.

Tiedonvaihtoa voidaan tehdä arkkitehdin kanssa esimerkiksi rakennuksen koosta, muodosta ja sijoittelusta. Tiettyjä tietoja voidaan tiedustella ja käydä vuoropuhelua geosuunnittelijan kanssa kohteen sijoituspaikan ominaisuuksista. Esimerkiksi tarvittavia tietoja voivat olla maaperän ominaisuudet, ulkolämpötilan pysyvyys vuoden ympäri ja ilmanlaadun tiedot. Muiden suunnittelualojen kanssa tässä vaiheessa ei ole merkittävää tiedonvaihtoa.

6.3 RIBA 1 – Valmisteluvaihe (Preparation and Briefing)

Tavoitteena tässä suunnittelun vaiheessa on saada toteutettua projektin suunnitteluohjeistus ja määritellä alustavat tekniset tiedot datakeskukselle. Arkkitehdin ja asiakkaan välillä keskustelua voidaan käydä rakennuskustannuksista ja hankkeen kannattavuudesta eri toteutusvaihtoehdoilla. 3D-mallien tarkkuus tässä vaiheessa on LOD 100 tai LOD 200, joka sisältää karkeat luonnokset ja alustavat tilamallit.

Toimenpiteistä tärkein on datakeskuksen sijainnin valinta ja siihen liittyvät liittymätarpeet. Vesi- ja sähköyhtiöiltä varmistetaan liittymien saatavuudet ja riittävyydet. Varsinkin suurien ja tehokkaiden datakeskusten sähkönsaanti alueelle on varmistettava varhaisessa vaiheessa. Myös mahdollisen hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkostossa selvitetään tässä vaiheessa projektia.

IT-laitteiston teho on tässä vaiheessa tiedossa, joten alustavia suunnitelmia jäähdytyslaitteiston voi tehdä tilaajalle esitettäväksi. Tiedonsiirtoa voi tapahtua esimerkiksi akustiikkasuunnittelijan kanssa, joka voi tarvittaessa tehdä ulkotiloihin sijoitettavien jäähdytyslaitteiden puhaltimien tai polttoainekäyttöisten generaattoreiden äänihaittalaskelmia. Äänilaskelmia voi joutua tekemään viranomaisia varten rakennuslupaa haettaessa.

6.4 RIBA 2 – Konseptisuunnittelu (Concept Design)

Konseptisuunnitteluvaiheen tavoitteena on luoda projektille BoD (Basis of Design). Tämä on dokumentti, jossa määritellään suunnittelun lähtökohdat, periaatteet ja vaatimukset. Dokumentti toimii viestintävälineenä suunnittelutiimin, rakennuttajan ja muiden sidosryhmien välillä.

3D-mallin tarkkuus konseptisuunnitteluvaiheessa on LOD 200. Siinä mallin objekteilla on perusmuodot ja karkea geometria.

Toimenpiteiden osalta konseptisuunnittelun vaihe on yksi monipuolisimmista ja laajimmista. Vaiheen aikana määritellään jäähdytysjärjestelmän toteutusperiaatteet ja sen redundanssitasot. IT-järjestelmien tehot ovat tiedossa ja niiden perusteella voidaan tehdä jäähdytysjärjestelmien ehdotussuunnitelmia. Jäähdytysjärjestelmien eri toteutusvaihtoehdoista tehdään energiatehokkuuslaskelmia ja niiden vaikutuksista PUE-arvon tavoitteisiin. Myös muiden tilojen, kuten konehallin, sähkötilojen ja toimistojen olosuhdetiedot määritellään toteutussuunnittelua varten.

Vaiheen aikana LVI-suunnittelijat voivat tehdä järjestelmäkaavioita ja asemapiirustukseen liittymä- ja viemäröintisuunnitelmia. Toteutussuunnitelmia varten tehdään käytävä- ja alakattoleikkauskuvia sekä runkolinjojen reittisuunnitelmia huollettavuusnäkökulmat huomioiden. Tiedonvaihtoa tehdään arkkitehdin kanssa tekniikan vaatimista tilavarauksista ja reikävarauksista rakennesuunnittelijan kanssa. Sähkösuunnittelijalle toimitetaan alustavat laskelmat jäähdytysjärjestelmien tarvitsemasta sähköön kokonaistarpeesta. Sähkösuunnittelija mitoittaa tietojen perusteella UPS- ja varavoimageneraattoreiden tehot.

Toteutusvaihtoehtojen rajautuessa todennäköisiin, voidaan tässä vaiheessa tehdä tarkempia kustannuslaskelmia tilaajalle. Vaiheen lopputulemana tilaaja yleensä antaa toteuttamispäätöksen (Green Light) projektille tai toteaa projektin kannattamattomaksi ehdotetuilla toteutusehdotuksilla. Tilaaja voi pyytää palautamaan suunnitelmat edelliseen vaiheeseen vaihtoehtoisia toteutussuunnitelmia varten.

6.5 RIBA 3 – Suunnittelun kehitys (Spatial Coordination)

Vaiheen tavoitteena on saada LVI-suunnitelmia yhteensopivimmaksi muun tekniikan kanssa. Laitetiloissa tehdään laitteistojen todellisia sijoituksia sekä mallinetaan isompien runkolinjojen reitit käytäville ja kuiluihin. 3D-mallien tarkkuustaso on LOD 300.

Vaiheen toimenpiteinä voidaan tehdä alustavia laskelmia, esimerkiksi runkoputkien ja -kanavien mitoituksia. Näiden lisäksi voidaan mitoittaa puhaltimien ja pumppujen kokoja ja suunnitella niiden sijoituspaikkoja. Vaiheen aikana valmistellaan periaatetasolla mittarointisuunnitelma.

Tässä vaiheessa tehdään usein myös CFD (Computational Fluid Dynamics) -mallinnuksia ilma- ja lämpövirtojen liikkeistä. Mallinnuksien avulla voidaan laitteiden sijoittelua optimoida sisä- ja ulkotiloissa.

Tiedonvaihtoa vaiheen aikana tehdään arkkitehdin kanssa päivitettyjen kanava- ja putkistokokojen tilatarpeiden osalta käytäville ja kuiluihin. Rakennesuunnittelulle voidaan toimittaa painotietoja käytettävistä laitteista ja kanavista kantavuuslaskelmia varten. Sähkösuunnittelulta saadaan LVI-suunnittelua varten sähkö- ja UPS-laitteiden lämpökuormatietoja, jotka pitää ottaa jäähdytys suunnitelmissa huomioon. Sähkösuunnittelu tekee myös suunnitelman redundanssitason määrittelemän sähkönsyötön jäähdytysjärjestelmille.

6.6 RIBA 4 – Tekninen suunnittelu (Technical Design)

Teknisen suunnittelun vaiheen tavoitteena on laatia toteutuskelpoiset suunnitelmat ja valmistautua rakentamisvaiheeseen. 3D-mallien tarkkuustaso on LOD 350. Tällä tarkkuudella kuvissa ovat esimerkiksi kannakoinnit ja muut tukirakenteet, joita tarvitaan kestäväälle rakenteelle.

Toimenpiteitä on edellisten vaiheiden toteutussuunnitelmien jatkojalostus käytämällä piirustuksissa todellisia laitteita, venttiilejä ja pumppuja. Verkostot mitoitetaan ja tasapainotetaan rakennus- ja testausvaihetta varten. Toteutussuunnitelmiin otetaan huomioon ylläpito ja huollettavuus esimerkiksi puhdistusluukkujen ja venttiilien sijoittelussa. Laittevalintojen varmistuessa voidaan suunnitella hätäjähdytys ja mahdollinen hukkalämmön talteenotto.

Tiedonsiirto arkkitehdin suuntaan ovat esimerkiksi lopulliset asennusvaatimukset ja tilatarpeet huollettavuusalueineen. Tässä vaiheessa myös automaatio- ja valvontajärjestelmien suunnittelijoille toimitetaan laitetiedot ohjausta varten. Tärkeä vaiheen dokumentti on SoO (Sequence of Operation), joka määrittelee järjestelmän normaalin toiminnan, kuormituksen mukaisen säätyvyyden ja poikkeustilojen hallinnan. Toimintaohje ja sen ohjelmointi ovat aina kohdekohtaisia, mutta energiatehokkaan jäähdytysjärjestelmän käytön yleisiä ohjeita löytyy esimerkiksi ASHRAE:n ohjeistuksen Guideline 36-2018 liitteestä u.

6.7 RIBA 5 – Rakentaminen (Manufacturing and Construction)

Vaiheen tavoitteena on suunnitelmien mukaisten LVI-järjestelmien asennus ja laadunvarmistus. 3D-mallien tarkkuustaso on LOD 400, joka vastaa työmaan toteutuskuvaa.

Toimenpiteinä suunnittelun puolelta voi olla asennuksia tukevia suunnitelmia, kuten detaljikuvia. Toteutuskuviin päivitetään todellisten asennusten mukaiset liitoskohdat ja tarvittaessa punakynäkorjaukset. Lisäksi suunnittelijat tekevät laitehyväksynnät tässä vaiheessa ja Plan for Use Strategy-ohjeistuksen ennen käyttöönottovaihetta. Laitteista kasataan myös käyttöoppaat ja huolto-ohjeet

käyttäjän koulutusta ja ylläpitoa varten. Tiedonsiirto muiden alojen kanssa on pääosin urakoitsijan ja laitetoimittajien välistä.

6.8 RIBA 6 – Käyttöönotto (Handover)

Vaiheen tavoitteena on LVI-järjestelmien asennusten viimeistely ja käyttöönotto. 3D-mallien tarkkuustaso on LOD 500, joka on lopullinen ”as built”-malli.

Datakeskuksen ja sen LVI-laitteiden käyttöönotto on usein jaettu viiteen vaiheeseen (Five Levels of Commissioning), joista ensimmäiset kolme suorittaa valmistaja ja urakoitsija. Kahdessa viimeisessä ovat suunnittelijoiden käyttöönotto-ryhmä mukana. Ensimmäinen testauksen taso on tehdastestaus FAT (Factory Acceptance Testing), jossa komponentit ja laitteet ovat testattu ennen toimitusta työmaalle yleensä tehtaalla. Toinen testi on työmaalla tehtävät SAT (Site Acceptance Testing) -vastaanottotestit, esimerkiksi CRAC-yksikön kytkennät ja puhallintestit. Kolmannessa testissä PFT (Pre-Functional Testing) testataan järjestelmät ilman kuormitusta ja tarkistetaan automaatio- ja ohjausjärjestelmien toiminta.

Neljännessä vaiheessa suoritetaan kokonaisvaltainen FPT (Functional Performance Testing) -testaus suunnitelluilla ja todellisilla lämpökuormilla. Vaiheen aikana myös testataan yhteistoiminta muiden järjestelmien, kuten automaation kanssa ja tarkistetaan redundanssitason toteutuminen käytännön tilanteessa. Jäähdytysjärjestelmän vaste kuormitustilanteen vaihteluun on tärkeä osa järjestelmän toimivuutta energiatehokkuuden kannalta. Viides vaihe on IST (Integrated Systems Tests) -testaus, jossa kaikki datakeskuksen järjestelmät testataan yhdessä eri tilanteissa. Vaiheeseen kuuluvat kriittisten tilanteiden testaus, joita ovat esimerkiksi sähkökatkokset, jäähdytysyksikön osien vikaantuminen ja tulipalo. Vaiheen testien lopputuloksena saa varmistuksen, että järjestelmät toimivat suunnitellusti ja pystyvät toimimaan luotettavasti sekä energiatehokkaasti.

Tiedonsiirtoa vaiheen aikana tapahtuu sähkö- ja automaatio suunnittelun välillä järjestelmien ohjauksesta ja vikatilanteiden tilastoimisesta. Esimerkiksi

sähkösyötön oikeanlainen ja nopea reagointi sähkökatkoksiin on kriittisen tärkeää datakeskuksen toiminnan kannalta.

6.9 RIBA 7 – Käyttö ja ylläpito (Use)

Käyttövaiheen tavoitteena on varmistaa toimivat ja luotettavat järjestelmät, jotka toimivat niin kuin ovat suunniteltu.

Toimenpiteinä voidaan suorittaa käyttäjän havaitsemien ongelmien tai suoritushaasteiden korjausta. Käytönaikaisiin toimenpiteisiin voi myös kuulua jäähdytysjärjestelmien laajennusten suunnittelu ja toteutus. Parhaimmassa tapauksessa laajennettavuuteen on varauduttu alkuperäisissä suunnitelmissa, jolloin toteutus helpottuu.

Tiedonsiirtoa tapahtuu toteutuneen seurantadatan avulla käyttäjältä tai ylläpitäjältä. Tämän datan avulla voidaan myös tehostaa järjestelmien toimintaa ja parantaa energiatehokkuutta IT-laitteiden toiminnan kärsimättä. Varsinkin toteutuneen PUE-luvun seuranta on monelle asiakkaalle tärkeä tieto. Tällä on suora kustannusvaikutus esimerkiksi veroluokan kautta.

6.10 Takaisinkytkennät

Suunnitteluprosessien vaiheet ovat melko suoraviivaiset, vaikka osa vaiheista voi olla mennä päällekkäin suunnittelun aikana. Takaisinkytkentöjä on hyvin vähän, mahdollisesti suunnitteluvaiheen kolme aikana. Jos suunnittelun edetessä toteutusvaihtoehdot ovat jostain syystä toteuttamiskelvottomia, liian kalliita tai toimintaympäristössä on tapahtunut muutoksia, voi tilaaja pyytää palaamaan suunnittelussa edelliseen vaiheeseen. Suunnitelmia muokataan ja tehdään uusia toteutusehdotuksia asiakkaalle.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli käydä läpi datakeskusten LVI-suunnitteluun vaikuttavat asetukset ja standardit. Lisäksi tavoitteena oli käydä läpi erilaisia jäähdytysjärjestelmien toteutusvaihtoja ja energiatehokkuuden mittareita, jotka molemmat ohjaavat pitkälti järjestelmätason toteutussuunnitelmia.

Opinnäytetyö antaa tietoa datakeskusten konesalien LVI-suunnittelusta teknisten ratkaisujen ja suunnittelumetodin avulla. Teknisiä toteutusvaihtoja esitettiin palvelinsalien jäähdytysratkaisuista, sillä ne ovat datakeskuksissa yksi tärkeimmistä järjestelmistä luotettavan toiminnan kannalta. Esitetyt ratkaisumalleja voidaan soveltaa eri kokoisten ja tehoisten konesalien suunnitteluun eri maantieteellisissä sijainneissa.

Datakeskusten konesalien LVI- ja rakennesuunnittelussa on huomioitava työkentelyolosuhteiden lisäksi tilassa olevien laitteiden jäähdytystarve ja järjestelmien vikasietoisuus. Jäähdytystä suunniteltaessa on päätettävä pääsääntöinen lämmönsiirtotapa pois tilasta. Yleisin tapa on johtaa lämpö ilman mukana, mutta jäähdytystehon tarpeen kasvaessa, joudutaan nykyään käyttämään nesteitä niiden paremman lämpökapasiteetin takia. Konesaleista pois johdettu lämpö voidaan parhaimmissa tapauksissa hyödyntää esimerkiksi toimistojen tai asuntojen lämmityksessä.

Jäähdytys- ja ilmanvaihtoratkaisut toteutetaan nykyisiä ja tulevia tarpeita varten asiakkaan toiveiden ja laitevaatimusten mukaisesti. Opinnäytetyötä tehdessä selvisi, kuinka paljon nykyisten tietoteknisten palveluiden tuottaminen kuluttaa energiaa ja kuinka suuret lämpöenergiakuormat saadaan hallittua energiatehokkaasti.

Opinnäytetyötä voisi jatkaa esimerkiksi Basis of Design tai Sequence of Operation -toimintasuunnitelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen, sillä ne ovat kaksi tärkeimmistä energiatehokkaan järjestelmän suunnitteludokumenteista.

Lähteet

Acton, M.; Beltodi, P. & Booth, J. 2024. 2024 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency. Verkkoaineisto. Joint Research Centre. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2024-04/JRC136986_2024_best_practice_guidelines.pdf>. 27.2.2024. Luettu 27.3.2025.

ANSI/ASHRAE Standard 90.4-2022. Energy Standard for Data Centers. ASHRAE.

ANSI/TIA-942-C. Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. 2024. Telecommunications Industry Association.

ASHRAE Handbook – HVAC Applications. 2023. ASHRAE.

Bercovich, Dave. 2023. Data Center White Space vs. Gray Space: What's the Difference. Verkkoaineisto. Enconnex. <<https://blog.enconnex.com/data-center-white-space-gray-space-meet-me-room>>. 19.7.2023. Luettu 4.2.2025.

ChatGPT. Versio 4. 2025. OpenAI.

Cho, Jinkyun & Lee, Jinyoung. 2024. Higher-efficiency redundancy strategy for data center cooling. ASHRAE Journal. Vol. 66, s. 34–46.

Crossan, Gillian; Hardin, Kate; Ramachandran, Karthik & Stewart, Duncan. 2024. As generative AI asks for more power, data centers seek more reliable, cleaner energy solutions. Verkkoaineisto. Deloitte Center for Technology Media & Communications. <<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2025/genai-power-consumption-creates-need-for-more-sustainable-data-centers.html>>. 19.11.2024. Luettu 27.3.2025.

Data Centres and Data Transmission Networks. Verkkoaineisto. International Energy Agency. <<https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>>. Päivitetty 11.7.2023. Luettu 28.1.2025.

Des Champs, Nicholas; Dunnivant, Keith & Fisher, Mark. 2021. Air-side economizer technologies. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

Ebert, K., Alder, N., Herbrich, R. & Hacker, P. 2024. AI, Climate, and Regulation: From Data Centers to the AI Act. Verkkoaineisto. Ithaca. <<https://www.proquest.com/docview/3115207104>>. 9.10.2024. Luettu 23.2.2025.

Emergence and Expansion of Liquid Cooling in Mainstream Data Centers. 2021. Verkkoaineisto. ASHRAE. <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/emergence-and-expansion-of-liquid-cooling-in-mainstream-data-centers_wp.pdf>. Luettu 25.2.2025.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta ja asetuksen (EU) 2023/955 muuttamisesta. Direktiivi 2023/1791. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 20.9.2023. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>>. Luettu 8.2.2025.

Evans, Tony. 2017. The Different Technologies for Cooling Data Centers. Verkkoaineisto. Schneider Electric Data Center Science Center. <https://www.se.com/us/en/download/document/SPD_VAVR-5UDTU5_EN/>. 26.9.2017. Luettu 8.3.2025.

Global Energy Perspective 2024. 2024. Verkkoaineisto. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/energy-and-materials/our-insights/global-energy-perspective>. Luettu 28.1.2025.

Gynther, Lea; Tomi, Kiuru & Juhamatti Meetteri. 2022. Energy Efficiency of Data Centers in Finland. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/20769/Energy_Efficiency_of_Data_Centers_in_Finland.pdf>. Luettu 8.2.2025.

Heslin, Kevin. 2015. A Look at Data Center Cooling Technologies. Verkkoaineisto. Uptime Institute. <<https://journal.uptimeinstitute.com/a-look-at-data-center-cooling-technologies/>>. 30.7.2015. Luettu 8.2.2025.

Huang, Dongmei; Li, Bang & Yang, Chao. 2021. Rack-level cooling and server-level cooling. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

Hwaiyu Geng. 2021. Sustainable data center: Strategic planning, design, construction, and operations with emerging technologies. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

ISO/IEC 30134-1. 2016. Information technology – Data centres – Key performance indicators. Part 1: Overview and general requirements. ISO/IEC.

ISO/IEC 30134-2. 2016. Information technology – Data centres – Key performance indicators. Part 2: Power usage effectiveness (PUE). ISO/IEC.

ISO/IEC 30134-6. 2021. Information technology – Data centres – Key performance indicators. Part 6: Energy Reuse Factor (ERF). ISO/IEC.

Konesalien energia- ja energiahyötykäytön tehokkuus energiaverotuksessa. Verkkoaineisto. Valtiovarainministeriö.

<[https://vm.fi/documents/10623/307625/Konesalien+energia-+ja+ener-
giahya%C3%B6tyk%C3%A4yt%C3%B6n+tehokkuus+energiaverotuk-
sessa.pdf/7714b200-ff52-10a9-45d5-b19484cc0190/Konesalien+energia-
+ja+energiaha%C3%B6tyk%C3%A4yt%C3%B6n+tehokkuus+energiaverotuk-
sessa.pdf?t=1642422721916](https://vm.fi/documents/10623/307625/Konesalien+energia-+ja+ener-
giahya%C3%B6tyk%C3%A4yt%C3%B6n+tehokkuus+energiaverotuk-
sessa.pdf/7714b200-ff52-10a9-45d5-b19484cc0190/Konesalien+energia-
+ja+energiaha%C3%B6tyk%C3%A4yt%C3%B6n+tehokkuus+energiaverotuk-
sessa.pdf?t=1642422721916)>. 22.9.2021. Luettu 9.2.2025.

Kosik, Bill. 2021. Energy and sustainability in data centers. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta. 2021. 1215/22.12.2021.

Lei, Nuoa & Masanet, Eric. 2021. Global data center energy demand and strategies to conserve energy. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

Level of Development Specification. 2024. Verkkoaineisto. BIMForum. <<https://bimforum.org/wp-content/uploads/2024/11/LOD-Spec-2024-Part-I-official-English.pdf>>. Luettu 23.3.2025.

Li, Li; Wenli, Zheng; Xiaodong, Wang & Xiaorui, Wang. 2016. Data center power minimization with placement optimization of liquid-cooled servers and free air cooling. Sustainable Computing: Informatics and systems. Vol. 11, s. 3-15.

Li, Keqin; Lin, Weiwei & Wu, Wentai. 2021. Energy-saving technologies of servers in data centers. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

McFarlane, Robert. 2021. ASHRAE standards and practices for data centers. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

McFarlane, Robert & Weale, John. 2021. Mechanical design in data centers. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

Muller, Christopher. 2021. Corrosion and contamination for mission critical facilities. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

RIBA Plan of Work. 2020. Verkkoaineisto. RIBA. <<https://www.architecture.com/-/media/GatherContent/Test-resources-page/Additional-Documents/2020RIBAPlanofWorkoverviewpdf.pdf>>. Luettu 18.2.2025.

Seymour, Mark. 2021. Computational fluid dynamics for data centers. Teoksessa Hwaiyu Geng (toim.). Data Center Handbook. E-kirja. John Wiley and Sons Ltd.

SFS-EN 50600–1. 2019. Information technology. Data centre facilities and infrastructures – Part 1: General concepts. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 50600-2-4. 2023. Tietotekniikka. Datakeskusten varustelut ja infrastruktuurit. Osa 2-4: Tietoliikennekaapeloinnin infrastruktuuri. Suomen standardisoimisliitto.

Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. 2016. RT 10-11224. Rakennustieto.

Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 5th Edition. 2021. ASHRAE.

Tier Classification System. Verkkoaineisto. Uptime Institute. <<https://uptimeinstitute.com/tiers?>>. Luettu 18.3.2025.

Uptime Institute Global Data Center Survey 2024. 2024. Verkkoaineisto. Uptime Institute. <<https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/uptime-institute-global-data-center-survey-results-2024>>. Luettu 18.3.2025.

Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvosta. 2017. 788/30.11.2017.

Wang, Yulin. 2024. The Rise of AI Drives 9 Fold Surge in Liquid Cooling Technology. Verkkoaineisto. IDTechEx. <<https://www.idtechex.com/en/research-article/the-rise-of-ai-drives-9-fold-surge-in-liquid-cooling-technology/31836>>. 8.10.2024. Luettu 25.2.2025.