

VISIIRI.

Vihreän siirtymän ICT-ekosysteemi



Opas vihreän datakeskuksen rakentamiseksi Suomeen



Green ICT -hanke VISIIRI:
Jarmo Koponen ja Marko Jäntti, Itä-Suomen yliopisto (UEF)



Sisällysluettelo

Lyhenteet.....	5
Tiivistelmä.....	7
1 Johdanto.....	9
1.1 Mitä vihreä ensin tarkoittaa käytännössä.....	10
1.2 Suunnitteluvaiheen konkreettiset valinnat.....	11
1.3 Rakentamisvaiheen toteutusvaatimukset.....	11
1.4 Operoinnin jatkuva optimointi.....	12
1.5 EU-raportointivelvoitteet ja mittausvalmius.....	13
1.6 Siirtymä menetelmäoppaaseen.....	13
2. Datakeskus palvelutuotantojärjestelmänä.....	15
2.1 Palvelutuotannon peruslogiikka.....	15
Ympäristövaikutuksen ankkurointi IT-palveluun.....	16
2.2 Tehomitoitusketju: IT-työkuormasta infrastruktuuriin.....	16
Perustermit ja yksiköt.....	17
Tehomitoitusketjun ydinajatus.....	19
Varmistusperiaate ja IT-työkuorman mallinnus.....	19
2.3 Kapasiteetin hallinnan vaikutus energiankulutukseen, päästöihin ja vedenkäyttöön.....	20
3. Tekniset perusteet.....	23
3.1 Teho vs. energia.....	23
Energiankulutuksen jakautuminen datakeskuksessa.....	23
3.2 Sähkönsyötön, muunnon ja jakelun häviöt.....	24
3.3 Energian muuntuminen lämmöksi.....	25
Räkkien tehotiheys.....	26
IT-vaiheen energiatehokkuus.....	26
Datakeskuksen käytönaikaisten päästöjen tekninen perusta.....	26

4. KPI-mittarit ja mittausperiaatteet	29
4.1 PUE – Power Usage Effectiveness	29
4.2 REF ja ERF	30
REF – Renewable Energy Factor	30
4.3 CUE ja WUE	31
CUE – Carbon Usage Effectiveness	31
4.4 Mittausjärjestelmän suunnittelu	32
Tyypilliset datalähteet ja mittauspisteet	33
4.5 Mitä mittareilla pitää tehdä käytännössä	33
4.6 Siirtymä operatiiviseen optimointiin	34
5. Jäähdytysjärjestelmät ja hukkalämmön talteenotto	36
5.1 Jäähdytysarkkitehtuurit	36
Rakennus- ja tilaratkaisut	37
5.2 Lämpötilaketju IT-laitteelta lämmön talteenottoon	37
Vedenkulutuksen vähentäminen käytännössä	38
5.3 Hukkalämmön talteenoton arviointi	39
6. Elinkaaren hallinta	42
6.1 Elinkaaren vaiheet	42
6.2 Sijaintivalinta	43
6.3 Pitkäikäisyys, muutettavuus ja käytöstä poisto	45
7. Sääntely ja uusiutuva energia	48
7.1 EU:n energiatehokkuusdirektiivin vaatimukset	48
7.2 Uusiutuvan energian hankinta: PPA ja alkuperätakuut	49
7.3 "100 % uusiutuva" -väitteiden kriittinen arviointi	50
8. Yhteenveto	52
8.1 Vähimmäistarkistuslista hankkeelle	53
Suunnittelu	53



Rakentaminen.....	53
Operointi.....	53
8.2 Käyttönotossa luovutettavat dokumentit ja liitteet	54
Lähdeluettelo.....	59

Lyhenteet

2N	Varmistusperiaate, jossa kriittinen kapasiteetti on kahdennettu kokonaan.
AC	Vaihtosähkö (alternating current).
AI/ML	Tekoäly ja koneoppiminen.
BMS	Building Management System, rakennusautomaatiojärjestelmä.
BREEAM	Rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä.
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti; eri kasvihuonekaasujen yhteismitallinen päästöyksikkö.
COP	Lämpöpumpun tai jäähdytysjärjestelmän lämpökerroin (Coefficient of Performance).
CPU	Keskussuoritin (Central Processing Unit).
CSRD	EU:n kestävyysraportointidirektiivi (Corporate Sustainability Reporting Directive).
CUE	Carbon Usage Effectiveness, hiilipäästöjen suhde IT-energiaan.
DC	Tasavirta (direct current).
DCIM	Data Center Infrastructure Management, datakeskuksen infrastruktuurin hallinta- ja seurantajärjestelmä.
EED	EU:n energiatehokkuusdirektiivi (Energy Efficiency Directive).
EN 50600	Eurooppalainen datakeskusstandardisarja tiloille, infrastruktuurille ja mittareille.
ERF	Energy Reuse Factor, energian uudelleenkäytön tunnusluku.
GDPR	EU:n yleinen tietosuoja-asetus.
HPC	Suurteholaskenta (High-Performance Computing).
ICT	Informaatio- ja viestintäteknologia.
IPMI	Laitteiston hallintarajapinta (Intelligent Platform Management Interface).
ISO 14001	Ympäristöjohtamisjärjestelmän standardi.
ISO 14064-1	Kasvihuonekaasupäästöjen kvantifioinnin ja raportoinnin standardi organisaatiotasolla.
ISO 50001	Energianhallintajärjestelmän standardi.
ISO/IEC 30134	Datakeskusten KPI-standardisarja.
IT	Tietotekniikka; tässä oppaassa erityisesti palvelimet, tallennus ja verkkolaitteet.
KPI	Keskeinen suorituskyky mittari (Key Performance Indicator).
LEED	Rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä.
N	Varmistusperiaate, jossa kapasiteettia on juuri vaadittu määrä ilman ylimääräistä varaa.
N+1	Varmistusperiaate, jossa vaaditun kapasiteetin lisäksi on yksi ylimääräinen yksikkö vika- tai huoltotilanteita varten.
PDU	Sähköjakeluyksikkö (Power Distribution Unit).
PDCA	Jatkuvan parantamisen sykli: Plan–Do–Check–Act.
PPA	Pitkäaikainen sähkönhankintasopimus (Power Purchase Agreement).
PSU	Virtalähde (Power Supply Unit).
PUE	Power Usage Effectiveness, datakeskuksen kokonaisenergia jaettuna IT-energialla.
RAM	Keskusmuisti (Random Access Memory).
Redfish	Palvelinlaitteiden standardoitu hallintarajapinta mittausta-, tila- ja hallintatiedolle.



REF	Renewable Energy Factor, uusiutuvan energian osuutta kuvaava tunnusluku.
RH	Suhteellinen kosteus (Relative Humidity).
RPO	Palautuspistetavoite (Recovery Point Objective).
RTO	Palautumisaikatavoite (Recovery Time Objective).
SLA	Palvelutasosopimus (Service Level Agreement).
SLO	Palvelutavoite (Service Level Objective).
UPS	Keskeytymätön sähkösyöttö (Uninterruptible Power Supply).
WUE	Water Usage Effectiveness, vedenkäyttö jaettuna IT-energialla.

Tiivistelmä

Julkaisun nimi

Opas vihreän datakeskuksen rakentamiseksi Suomeen

Tekijät

VISIIRI-hankkeen TP4-työryhmä: Jarmo Koponen, Marko Jäntti, Itä-Suomen yliopisto (UEF)

Julkaisu vuosi

2026

Tämä perusopas käsittelee vihreän datakeskuksen suunnittelua, rakentamista ja käyttöä Suomessa. Se kokoaa kansainvälisen tutkimuksen keskeiset periaatteet, sovittaa ne suomalaiseen toimintaympäristöön. Samalla opas ohjaa mitoitusta kokonaisvaltaisella mallilla, jossa IT-kapasiteetti johdetaan palvelutasovaatimuksista ja IT-työkuormasta. Opas antaa julkisille toimijoille, pk-yrityksille ja TKI-verkostoille yhteisen mallin vihreän datakeskuksen suunnitteluun ja mitoittamiseen palvelutasosta ja IT-työkuormasta. Samalla opas yhdistää palvelutarpeen, kapasiteetin, IT-tehon sekä sähkö- ja jäähdytysinfrastruktuurin yhdeksi Suomessa sovellettavaksi kokonaisuudeksi. Malli kytketään EU:n raportointi- ja KPI-kehikoon, jotta ratkaisuja voidaan myöhemmin arvioida ja vertailla yhtenäisesti.

Opas on tarkoitettu organisaatioille, jotka suunnittelevat uutta datakeskusta tai kehittävät olemassa olevaa konesaliympäristöä vihreän siirtymän tavoitteiden mukaisesti. Se auttaa tekemään keskeiset suunnittelupäätökset ja varmistamaan, että mitoitus, toteutus ja mittausvalmius tukevat toisiaan. Oppaassa tarkastellaan kapasiteettia, sähkönsyöttöä, jäähdytystä, hukkalämmön hyödyntämistä, elinkaarta, sääntelyä ja uusiutuvaa energiaa sekä sitä, miten ratkaisujen vaikutukset voidaan myöhemmin osoittaa luotettavasti mittausten ja raportoinnin avulla. Oppaan tavoitteena on tukea vihreän datakeskuksen käytännön suunnittelu- ja toteutustyötä. Opas kuvaa, mitä on ratkaistava suunnittelussa, mitä on varmistettava rakentamisessa ja mitä on mitattava käytön aikana, jotta energiankulutusta, päästöjä, vedenkäyttöä ja käyttövarmuutta voidaan tarkastella yhtenä kokonaisuutena.

Käytönaikainen analytiikka, automaatio ja tekoälypohjainen optimointi käsitellään erillisessä menetelmäoppaassa.

Green ICT -datakeskusopassarja

Tämä perusopas on osa kolmen oppaan kokonaisuutta:

- 1) Itseopiskelijan opas antaa yleiskuvan datakeskuksen ympäristövaikutuksista ja perusmekanismeista.
- 2) Perusopas ohjaa suunnittelua ja rakentamista: mitä päätetään ja miten mittausvalmius rakennetaan.
- 3) Menetelmäopas ohjaa käytönaikaista tekemistä: miten mittausdata muutetaan optimoinniksi ja todistetuksi vaikutukseksi.

Avainsanat – vihreä datakeskus, Green ICT, energiatehokkuus, jäähdytys, lämmön talteenotto, mittaristo, uusiutuva energia, sääntely

1 Johdanto

Tämä opas käsittelee vihreän datakeskuksen suunnittelua, rakentamista ja käyttöä Suomessa. Oppaan lisäarvo on siinä, että se kokoaa kansainvälisen tutkimuksen keskeiset periaatteet sovittaa ne suomalaiseen toimintaympäristöön. Samalla se ohjaa suunnittelua mallilla, jossa palvelutarpeesta, palvelutasovaatimuksista ja IT-työkuormasta johdetaan kapasiteetti, IT-teho sekä sähkö- ja jäähdytysinfrastruktuurin mitoitus. Näin voidaan arvioida jo suunnitteluvaiheessa, miten ratkaisut vaikuttavat energiankulutukseen, päästöihin ja vedenkäyttöön.

Opas rakentuu kuuden teeman ympärille: datakeskus palvelutuotantojärjestelmänä, tekniset perusteet, mittarit ja mittausperiaatteet, jäähdytys ja hukkalämmön talteenotto, elinkaaren hallinta sekä sääntely ja uusiutuva energia. Se tukee sekä uusien datakeskusten suunnittelua että olemassa olevien konesaliympäristöjen kehittämistä vihreän siirtymän tavoitteiden mukaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kapasiteetti, sähkönsyöttö, jäähdytys ja hukkalämmön hyödyntäminen mitoitetaan tarkoituksenmukaisesti. Sijainti valitaan datakeskuksen kannalta olennaisten reunaehtojen perusteella. Sähkön hankinta ja alkuperä todennetaan, ja rakennus- sekä laiteratkaisuissa otetaan huomioon energiatehokkuus, kestävyys, pitkä käyttöikä ja kierrätettävyys. Lisäksi opas kuvaa, miten päätökset tehdään ja miten mittausvalmius rakennetaan niin, että datakeskuksen energiatehokkuutta koskevat keskeiset KPI-mittarit voidaan laskea ja ratkaisujen vaikutukset osoittaa myöhemmin luotettavasti Suomen toimintaympäristössä.

Perinteisessä datakeskussuunnittelussa palvelutaso ja kapasiteetti lukitaan ensin, ja vasta sen jälkeen mitoitetaan sähkö, jäähdytys ja varmistus. Tällöin energia- ja ympäristövaikutukset jäävät helposti myöhemmin optimoitaviksi ominaisuuksiksi. Seurauksena voi olla pysyvä ylikapasiteetti, matala käyttöaste ja tarpeettoman suuri energiankulutus.

[1][5][6]

Vihreän datakeskuksen suunnittelussa ketju kulkee toisin. Palvelutarpeesta johdetaan tarvittava IT-kapasiteetti, mutta samalla arvioidaan jo varhaisessa vaiheessa, mitä ratkaisu

tarkoittaa energiankulutukselle, päästöille, vedenkäytölle ja hukkalämmön hyödyntämiselle. Sähköliittymä on tällöin suunnittelun reunaehto, ei lähtökohta, ja kapasiteetti mitoitetaan kysynnän mukaan, ei varmuuden vuoksi liian suureksi. [1][2][4][8]

Tässä oppaassa vihreä datakeskus ymmärretään holistisena suunnittelu- ja ohjausmallina. Kyse ei ole yhden osa-alueen optimoinnista, vaan mallista, jossa palvelutarve, työkuorma, kapasiteetti, IT-teho, sähkö, jäähdytys ja mittaus kytketään samaan suunnittelulogiikkaan. EU:n raportointi- ja KPI-kehikko tukee sitä, että mallin ratkaisut voidaan todentaa ja vertailla yhtenäisellä tavalla.

1.1 Mitä vihreä ensin tarkoittaa käytännössä

Sähkön hankinta ei ole vain tekninen liittymäkysymys, vaan osa datakeskuksen ympäristövaikutusten hallintaa. Päätä varhaisessa vaiheessa sähkön hankintamalli ja alkuperän todentaminen (uusiutuvan osuuden periaatteet ja todennustapa) sekä se, millä varmistusperiaatteella [3] käyttövarmuus toteutetaan vähäpäästöisesti ja energiahäviöt huomioiden. Seurauksena on, että vihreys ei jää pelkäksi PUE-tavoitteeksi, vaan ulottuu myös energian alkuperään (REF) ja päästövaikutuksiin, kuten hiilipäästöjen vaikutusta kuvaavaan CUE-mittariin tai raportoituun CO₂-intensiteettiin. [1][2][5][6]

Hukkalämpöä ei pidä tarkastella vain poistettavana sivutuotteena, vaan mitattavana rajapintana, jonka kautta lämpö voidaan ottaa talteen ja luovuttaa hyötykäyttöön. Suunnittele sijainti ja jäähdytysarkkitehtuuri niin, että lämpö voidaan luovuttaa ulos (esim. kaukolämpöön tai teolliseen käyttöön) ja toteutuminen voidaan osoittaa mittauksin (ERF ja luovutetun lämpöenergian rajaus). Seurauksena on, että lämpörajapinta (mittaus, vastuut, sopimus) suunnitellaan samalla vakavuudella kuin sähköketju. [1][5]

Jäähdytysratkaisun valinnassa on tarkasteltava samanaikaisesti kuormatiheyttä, paikallisia olosuhteita, energiankulutusta ja vedenkäyttöä. Suomessa tämä tarkoittaa erityisesti vapaajäähdytyksen hyödyntämistä silloin, kun olosuhteet sen sallivat, ja nestejäähdytyksen

harkintaa korkeilla tehotehoksillä. Samalla on arvioitava, miten ratkaisu vaikuttaa vedenkäyttöön ja WUE-mittariin. [3][4][5]

1.2 Suunnitteluvaiheen konkreettiset valinnat

Suunnitteluvaiheen suurin vaikeus on, että "vihreys" jää helposti yleiseksi tavoitteeksi. Tässä oppaassa vihreys puretaan konkreettisiksi päätöksiksi: miten palvelutarve ja IT-työkuorma toimivat suunnittelun lähtökohtana, miten datakeskuksen sijainti, sähkönhankinta, jäähdytys, vedenkäyttö, materiaalit ja uusiutuva energia arvioidaan, ja millä mittareilla ratkaisut tehdään vertailukelpoisiksi.

- Aloita palvelutarpeesta ja IT-työkuormasta, älä sähköliittymästä. Kuorma, palvelutaso ja varmistus määrittävät oikean kapasiteetin.
- Vertaa sijainteja samalla mallilla: sähkö ja verkko, ilmasto, vedenkäyttö, hukkalämpö, lupa- ja riskitekijät sekä raportointikyky.
- Valitse jäähdytys kuormatiheyden, free cooling -potentiaalin, vedenkäytön ja lämmön talteenoton perusteella, ei vain nimellishyötysuhteen perusteella.
- Lukitse jo suunnittelussa vähintään PUE-, CUE-, WUE-, ERF- ja REF-laskennan rajat niiltä osin kuin ne ovat hankkeelle relevantteja.
- Arvioi materiaalit ja laitekierto elinkaarinäkökulmasta: modulaarisuus, huollettavuus, vaihdettavuus ja kierrätettävyys vaikuttavat vihreyteen hetkellisen hyötysuhteen ohella.

1.3 Rakentamisvaiheen toteutusvaatimukset

Rakentamisvaiheen tyypillinen ongelma on, että ympäristötavoitteet jäävät yleisiksi kirjauksiksi eivätkä muutu toimitus- ja vastaanottovaatimuksiksi. Tässä oppaassa rakentaminen suunnitellaan niin, että mittausvalmius, dokumentointi ja hyväksymiskriteerit tukevat toisiaan. Näin vihreys voidaan osoittaa eikä sitä tarvitse arvioida jälkikäteen oletusten varassa.

- Määritä urakka- ja hankintavaiheessa pakolliset mittauspisteet datakeskuksen kokonaisenergialle, IT-energialle, jäähdytykseen kuluvalle energialle, vedenkulutukselle ja ulos luovutettavalle hukkalämmölle..

- Vaadi käyttöönottovaiheessa dokumentit, jotka kuvaavat toteutunutta rakennetta. Vaadi lisäksi hankkeen kannalta olennaisten KPI-mittareiden (esim. PUE, WUE, ERF ja REF) laskentaperiaatteet, järjestelmien alkuasetukset sekä varmistus siitä, että mittausdata siirtyy suunnitellusti valvonta- ja raportointijärjestelmiin.
- Aseta vastaanoton ehdoksi, että hankkeen kannalta olennaiset KPI-mittarit voidaan laskea suoraan mitatusta datasta ilman lisämittareita, käsin tehtävää tietojen yhdistelyä tai jälkiasennuksia.
- Dokumentoi vastuut selkeästi: kuka vastaa hankkeen kannalta olennaisten KPI-mittareiden omistajuudesta, kuka ylläpitää niiden laskennassa tarvittavaa mittausdataa, kuka hyväksyy poikkeamat ja kuka vastaa raportoinnista.
- Varmista, että rakennuksen, sähkönsyötön, jäähdytyksen ja laitteiden ratkaisut tukevat huollettavuutta, vaiheittaista laajennettavuutta, komponenttien vaihdettavuutta ja myöhempää modernisointia ilman, että mittausrajat, KPI-laskenta tai energiatehokkuus heikkenevät.

1.4 Operoinnin jatkuva optimointi

Operoinnin tavoite on pitää datakeskus energiatehokkaana, vähäpäästöisenä ja käyttövarmana muuttuvissa olosuhteissa. Tämä vaatii yhteiset mittarit, selkeät vastuut ja jatkuvan parantamisen mallin.

- Seuraa vähintään kokonaisenergiankulutusta, IT-energiaa, päästöintensiteettiä, vedenkulutusta, luovutettua lämpöenergiaa ja käyttöastetta samalla ajallisella tarkkuudella.
- Määritä lähtötaso, seuraa poikkeamia ja käsittele muutokset samalla toimintamallilla: mittaa, analysoi, tee muutos, varmista vaikutus ja ota uusi käytäntö pysyvään käyttöön.
- Tarkastele laiteuudistuksia, kuorman yhdistämistä, jäähdytyksen asetusarvoja ja uusiutuvan energian hankintaa samassa kokonaisuudessa, jotta energiansäästö ei heikennä käyttövarmuutta.
- Suunnittele huollot, varaosat ja korvausinvestoinnit osaksi normaalia käyttöä. Määritä niille vastuut, päätöskriteerit ja vaikutukset käyttövarmuuteen, energiankulutukseen ja päästöihin.

1.5 EU-raportointivelvoitteet ja mittausvalmius

EU-tasolla datakeskusten energiatehokkuus, päästöt, vedenkäyttö ja lämmön uudelleenkäyttö näkyvät raportointivelvoitteina. Datakeskukset, joiden asennettu IT-tehontarve on vähintään 500 kW, raportoivat vuosittain tietoja EU:n tietokantaan. Raportoitavat tiedot perustuvat delegoituun asetukseen (EU 2024/1364). Seurauksena on, että mittausrajat, mittauspisteet ja laskentasäännöt kannattaa suunnitella valmiiksi jo hankkeen alkuvaiheessa. Ilman yhteismitallista mittausdataa KPI-mittareita ei voida laskea luotettavasti eikä vertailla keskenään yhdenmukaisella tavalla. [25][26]

Tämä opas on jäsennetty niin, että jokainen oppaan luku (2–7) johtaa konkreettisiin päätöksiin ja tuottaa dokumentoitavia tuloksia, joita voidaan myöhemmin mitata, raportoida ja auditoida.

1.6 Siirtymä menetelmäoppaaseen

Tämä perusopas päättyy siihen, että datakeskuksella on valmius siirtyä käytönaikaiseen optimointiin. Siirtymän edellytykset ovat:

1. Mittausrajat on päätetty (mitä lasketaan mukaan, mitä rajataan ulos).
2. Mittauspisteet on nimetty ja dokumentoitu (pääkeskus, UPS/PDU, jäähdytys, vesi, lämmönluovutus).
3. KPI-laskennan säännöt on sovittu (kaavat ja mittausjakso).
4. Datan tallennus ja aikaleimat on sovittu (sama aikavyöhyke, sama ajallinen tarkkuus).
5. Käyttöön otossa mittausvalmius on hyväksytty (mittarit tuottavat dataa, jonka avulla voidaan tehdä ennen–jälkeen-vertailu).

Näiden jälkeen työ jatkuu Green ICT -datakeskusopassarjan menetelmäoppaassa. Siinä mittausdataa käytetään lähtötason määrittämiseen, analyysiin, toimenpiteiden suunnitteluun ja vaikutusten todentamiseen.

2

Datakeskus palvelutuotanto- järjestelmänä

VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

2. Datakeskus palvelutuotantojärjestelmänä

Datakeskusta tarkastellaan tässä luvussa palvelutuotantojärjestelmänä. Luku kuvaa, miten IT-työkuormasta ja palvelutasovaatimuksista johdetaan kapasiteetti, IT-teho sekä sähkö- ja jäähdytysinfrastruktuurin mitoitus. Lisäksi se kuvaa, miten nämä ratkaisut vaikuttavat energiankulutukseen, päästöihin ja vedenkäyttöön.

2.1 Palvelutuotannon peruslogiikka

Datakeskuksen perustavanlaatuisen tehtävä on tuottaa digitaalisia palveluja sähköenergian avulla. Sähkö tuodaan sähköverkosta datakeskuksen sähköinfrastruktuuriin, kuten muuntajille, kytkinlaitteisiin, UPS-järjestelmään ja sähköjakeluun. Tämän jälkeen se syötetään palvelinsaleihin. IT-laitteet, kuten palvelimet, tallennus ja verkkolaitteet, käyttävät sähköenergiaa laskentaan, datan tallennukseen ja tiedonsiirtoon. Datakeskus vastaanottaa verkon kautta IT-työkuormaa, käsittelee sen palvelimilla ja palauttaa tulokset verkon kautta käyttäjille tai muille järjestelmille. Energiataseen näkökulmasta lähes kaikki tähän käytetty sähköenergia muuttuu lopulta lämmöksi. Sähkönsyötön, palvelutuotannon ja lämmönhallinnan rinnalla toimii ohjausketju. Mittarit seuraavat tehoja, lämpötiloja, kuormituksia ja järjestelmien tilaa, ja automaatio ohjaa toimintaa niin, että olosuhteet pysyvät sallituissa rajoissa ja häviöt ovat mahdollisimman pienet. Tämän vuoksi datakeskusta ei voida tarkastella vain laitejoukkona, vaan toisiinsa kytkeytyvänä sähkö-, jäähdytys-, mittaus- ja palvelutuotantojärjestelmänä.

Datakeskuksen ympäristötehokkuuden kannalta ratkaisevat valinnat tehdään jo suunnittelussa. IT-kuorman käyttöaste ja datakeskuksen oikea mitoitus määräävät yleensä suurimman osan energiankulutuksesta, koska ne ohjaavat aktiivisen kapasiteetin määrää ja IT-tehontarvetta. Jäähdytyksen ja lämmönhallinnan ratkaisut vaikuttavat seuraavaksi eniten kokonaisenergiankulutukseen. Sähköjakelun ja varmistuksen häviöt ovat tärkeä jatkuva

tekijä, mutta vaikutus on tätä pienempi. Hukkalämmön hyödyntäminen täydentää kokonaisuutta, mutta sen vaikutus kohdistuu useimmiten enemmän koko energijärjestelmän hyötysuhteeseen kuin datakeskuksen oman kulutuksen pienentämiseen. Käytönaikaisten päästöjen näkökulmasta keskeisiä ovat myös sähkön hankintamalli ja käytetyn sähkön päästöintensiteetti.

Ympäristövaikutuksen ankkurointi IT-palveluun

Datakeskuksen suurin käytönaikainen ympäristövaikutus syntyy yleensä palvelutuotannon energiankulutuksesta. Vihreys ei ole erillinen ominaisuus, vaan se on sidottava suoraan palvelun tuottamiseen tarvittavaan energiaan, päästöihin ja resurssien käyttöön. Energiatehokkuutta ei tarkastella vain absoluuttisena kulutuksena, vaan suhteessa siihen, kuinka paljon IT-palvelua datakeskus tuottaa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että palvelutuotanto on muutettava mitoitettavaksi IT-työkuormaksi. Työkuorman määrä, vaihtelu ja palvelutasovaatimukset määräävät, kuinka paljon kapasiteettia pidetään aktiivisena, kuinka paljon varataan huippuihin ja miten suuri IT-tehontarve datakeskuksella on. Tästä syystä ympäristövaikutusten ymmärtäminen alkaa työkuormasta ja kapasiteetista, ei sähköliittymästä tai jäähdytyslaitteista. Lämmön uudelleenkäyttö täydentää tätä kokonaisuutta. Jos datakeskuksen tuottamaa lämpöä voidaan hyödyntää muualla, vaikutus näkyy energian uudelleenkäytön mittarissa ERF (Energy Reuse Factor).

2.2 Tehomitoitusketju: IT-työkuormasta infrastruktuuriin

Tehomitoitusketjun logiikka on yksinkertainen. IT-työkuorman määrä, vaihtelu, palvelutasovaatimukset ja saatavuusvaatimukset määräävät aktiivisen kapasiteetin ja varakapasiteetin. Aktiivisen IT-kapasiteetin määrä ja sen kuormitusaste muodostavat IT-tehoprofiilin $P_{IT}(t)$. IT-teho ja siihen liittyvät häviöt puolestaan määrittävät sähkö- ja jäähdytysinfrastruktuurin mitoituksen sekä poistettavan lämpötehon $Q_{th}(t)$. Vihreys ei synny yhdestä PUE-luvusta, vaan siitä, että ketjun jokaisessa vaiheessa tiedetään, mitä mitataan ja miksi. [3][5][6]

Keskeiset perussuureet ja tehomitoitusketjun keskeiset käsitteet on koottu taulukkoon 1.

Perustermit ja yksiköt

Perussuureet ja käsitteet, joihin myöhemmät mitoitus- ja raportointilaskelmat perustuvat, on määriteltävä yksiselitteisesti. Sama sana voi muuten tarkoittaa eri mittausrajaa tai eri suuretta, jolloin luvut eivät ole vertailukelpoisia eikä kehitystä voida todentaa. Taulukko 1 kokoaa yhteen tehomitoitusketjun kannalta keskeiset perussuureet, kapasiteettikäsitteet ja vaiheet.

Taulukko 1. Tehomitoitusketjun keskeiset käsitteet ja vaiheet

Perussuureet ja yksiköt		
Termi (merkintä)	Selite	Yksikkö / huomio
Teho (P)	Hetkellinen sähköteho.	W, kW, MW
Energia (E)	Teho aikajaksolla. Esimerkki: 1 kWh = 1 kW × 1 h.	Wh, kWh, MWh, GWh
IT-työkuorma (L(t))	Palvelu- ja työpyyntöjen määrä ja ominaisuudet ajan funktiona	(esim. pyyntöä/s, transaktiota/s, eräajot, datavirrat).
SLA (Service Level Agreement)	Sopimus/sitoumus palvelutasosta; määrittää SLO:t, mittaus- ja raportointitavan sekä mahdolliset seuraamukset, jos taso ei toteudu.	
SLO (Service Level Objective)	Yksittäisen palveluominaisuuden mitattava tavoitetaso tietyllä aikajaksolla (esim. saatavuus, vasteaika, virheosuus).	Esim. 99,9 %/kk; p95 < 200 ms
IT-teho (P _{IT} (t))	IT-laitteiden (palvelimet, tallennus, verkko) ottama sähköteho ajanhetkellä t.	kW (IT)
Poistettava lämpöteho (Q _{th} (t))	Poistettava lämpöteho tilasta tai jäähdytyspiiristä; määräytyy IT-tehon ja häviöiden perusteella.	kW(th)
Kapasiteettikäsitteet		

Termi (merkintä)	Selite
IT-kapasiteetti	IT-resurssit, joilla työkuorma suoritetaan sovitulla palvelutasoilla, kuten prosessorit, muisti, tallennus ja verkko.
Asennettu kapasiteetti (C_{inst})	Hankittu ja asennettu IT-resurssipooli (esim. prosessorit, muisti, tallennus ja verkko); teoreettinen enimmäiskapasiteetti.
Aktiivinen kapasiteetti ($C_{act}(t)$)	Se osa asennetusta IT-kapasiteetista, joka pidetään käytössä ajanhetkellä t .
Varakapasiteetti (C_{res})	Kapasiteetti, joka pidetään käytettävissä kuormahuippujen, ennusteen epävarmuuden tai vikatilanteiden varalta.
<u>Tehomitoitusketju</u>	
Vaihe	Selite
$L(t) + \text{SLA/SLO}$ +saatavuusvaatimukset $\rightarrow C_{act}(t) + C_{res}$	IT-työkuorman määrä, vaihtelu ja palvelutasovaatimukset määräävät, kuinka paljon IT-kapasiteettia pidetään aktiivisena ja kuinka paljon kapasiteettia varataan huippuihin ja vikatilanteisiin. [6][5]
$C_{act}(t) \rightarrow P_{IT}(t)$	Aktiivisen IT-kapasiteetin määrä ja sen kuormitusaste muodostavat IT-tehoprofiilin $P_{IT}(t)$. [3][5]
$P_{IT}(t) \rightarrow$ infrastruktuurin mitoitus + $Q_{th}(t)$	IT-teho ja siihen liittyvät häviöt määrittävät sähkö- ja jäähdytysinfrastruktuurin mitoituksen sekä poistettavan lämpötehon $Q_{th}(t)$. [3]

Taulukon tarkoitus on tehdä näkyväksi, miten palvelutaso, työkuorma, kapasiteetti ja IT-teho liittyvät toisiinsa. Kun termit, yksiköt ja mittausrajat on määritelty yhtenäisesti, voidaan sähkö- ja jäähdytysinfrastruktuurin mitoitusta tarkastella johdonmukaisesti koko ketjun läpi. Seuraavaksi tarkennetaan, miten työkuormasta johdetaan aktiivinen kapasiteetti, varakapasiteetti ja edelleen IT-tehoprofiili.

Tehomitoitusketjun ydinajatus

Tehomitoitusketju kuvaa etenemisen: IT-työkuormasta $L(t)$ ja palvelutasovaatimuksista (SLO/SLA, saatavuus) johdetaan tarvittava aktiivinen kapasiteetti $C_{act}(t)$ ja varakapasiteetti C_{res} . Näistä muodostuu IT-tehoprofiili $P_{IT}(t)$, jonka perusteella sähkö- ja jäähdytysinfrastruktuuri mitoitetaan. Saatavuus- ja toipumisvaatimukset ($N+1/2N$, RTO/RPO) kasvattavat mitoitusvaraa ja ohjaavat arkkitehtuurivalintoja. Vihreys ei synny yhdestä PUE-luvusta, vaan siitä, että ketjun jokaisessa vaiheessa tiedetään, mitä mitataan ja miksi. [5]

Konkreettiset päätökset ja ohjauskeinot:

- Mitä luvataan (SLO/SLA) ja millä aikajaksolla palvelutasoa mitataan.
- Millä varmistusperiaatteella (N , $N+1$, $2N$) ja millä jatkuvuusmallilla (RTO/RPO) palvelu toteutetaan.
- Mitkä ovat mittausrajat ja mistä IT-teho ja kokonaisteho mitataan.
- Sovitaan, mistä IT-teho mitataan (esim. PDU/UPS/räkki) ja mistä kokonaisteho mitataan (esim. pääkeskus/liittymä).
- Varmistetaan, että aikasarjat ovat samalla aikaskaalalla (esim. 1–5 min) myöhempää vertailua varten.

Varmistusperiaate ja IT-työkuorman mallinnus

Varmistusperiaate (esim. $N+1$ tai $2N$) määrittää, miten infrastruktuuri rakennetaan niin, että vaadittu IT-kuorma voidaan ylläpitää myös yksittäisen komponentin vikaantuessa tai huoltotilanteessa. Varmistus ei ole ilmaista: se lisää asennettua laitekantaa ja voi heikentää hyötysuhteita osakuormilla. [5][6]

Kapasiteettipäätösten perustana on IT-työkuorman mallinnus. Työpyynnöt on sovitettava käytettävissä olevaan palvelinkapasiteettiin niin, että palvelutasovaatimukset täyttyvät mahdollisimman pienellä aktiivisella kapasiteetilla. Käytännössä tämä ratkaistaan yleensä ennustamisen, luokittelun ja heurististen eli käytännönläheisten sijoittelumenetelmien avulla. [7]

Tämän perusteella päätetään, mitä kapasiteettia pidetään aktiivisena, mitä varataan kuormitushuippuihin ja vikatilanteisiin ja miten työ sijoitetaan resursseille niin, että palvelutaso toteutuu. Jos kuormaa ei mallinneta eikä ennusteta, kapasiteettia varataan helposti liikaa. Se laskee käyttöastetta ja kasvattaa energiahukkaa. [5][6]

Jos aktiivinen kapasiteetti ja varakapasiteetti arvioidaan liian suuriksi, myös sähkönsyöttö, UPS-järjestelmä, varavoima ja jäähdytys mitoitetaan suuremmalle huipputeholle kuin todellinen käyttö vaatii. Tämä kasvattaa sekä investointikustannuksia että osakuormalla toimivan infrastruktuurin häviöitä. [1][5][6][9]

2.3 Kapasiteetin hallinnan vaikutus energiankulutukseen, päästöihin ja vedenkäyttöön

Kapasiteetin hallinta vaikuttaa suoraan datakeskuksen energiankulutukseen. IT-laitteiden sähköteho ei riipu vain tehdystä työstä, vaan myös siitä, kuinka paljon kapasiteettia pidetään jatkuvasti aktiivisena. Siksi energiatehokkuus heikkenee erityisesti matalilla käyttöasteilla. [6]

Aktiivinen kapasiteetti $C_{act}(t)$ ja varakapasiteetti C_{res} määrittävät IT-tehoprofiilin $P_{IT}(t)$. Tämä ohjaa edelleen datakeskuksen kokonaisenergiankulutusta. Käytännössä kapasiteettipäätökset vaikuttavat siis suoraan siihen, kuinka paljon energiaa datakeskus kuluttaa palvelutuotannon aikana. [1][5][6][9]

Vaikutus ei rajoitu käyttövaiheeseen. Jos kapasiteettia mitoitetaan varmuuden vuoksi pysyvästi liian suureksi, myös sähkönsyöttö, UPS-järjestelmä, varavoima ja jäähdytys on mitoitettava suuremman huipputehon mukaan. Tämä kasvattaa investointikustannuksia jo rakennusvaiheessa. Samalla ylimitoitettu ja vajaakäytöllä toimiva ympäristö nostaa käytönaikaisia energia- ja ylläpitokustannuksia. Kun mitoitus perustuu todelliseen työkuormaan, palvelutasoon ja modulaariseen laajennettavuuteen, voidaan säästää sekä rakentamis- että käyttökustannuksissa. [1][5][6][9]

Sama vaikutus näkyy myös päästöissä ja vedenkäytössä. Kun energiankulutus kasvaa, myös käytönaikainen päästövaikutus kasvaa, ellei sähköä hankita vähäpäästöisesti. Samalla kasvava

lämpökuorma lisää jäähdytyksen tarvetta, ja vettä käyttävissä jäähdytysratkaisuissa tämä voi kasvattaa myös vedenkulutusta. [3][4][5]

Kapasiteettisuunnittelu ei ole siksi vain suorituskyvyn ja käyttövarmuuden kysymys. Se on myös energian, päästöjen ja resurssien käytön keskeinen ohjauskohta. [1][5][6][9]

Konkreettiset päätökset ja ohjauskeinot:

- Älä mitoita kapasiteettia varmuuden vuoksi pysyvästi liian suureksi. Pidä jatkuvasti aktiivisena vain se kapasiteetti, jota työkuorma ja palvelutaso oikeasti vaativat, ja varaa lisäkapasiteettia vain huippuihin ja vikatilanteisiin. Liian suuri lähtömitoitus kasvattaa IT-energian ja jäähdytyksen tarvetta, mutta myös investointikustannuksia, koska sähkönsyöttö, UPS-järjestelmä, varavoima ja jäähdytys on mitoitettava suuremman huipputehon mukaan. Kun mitoitus perustuu todelliseen työkuormaan, palvelutasoon ja modulaariseen laajennettavuuteen, voidaan säästää sekä rakentamis- että käyttökustannuksissa. [1][5][6][9]
- Arvioi kapasiteettiratkaisun päästövaikutus samalla, kun arvioit sen tehontarvetta. Suurempi aktiivinen kapasiteetti kasvattaa sähkönkulutusta, ja sen mukana kasvavat myös käytönaikaiset päästöt. Siksi kapasiteettipäätös pitää tarkistaa yhdessä sähkön hankintamallin ja käytettävän päästökertoimen kanssa. [1][5][6][9]
- Kapasiteettipäätökset vaikuttavat siksi myös jäähdytyksen, vedenkäytön ja lämmönhallinnan mitoitukseen. Varsinaiset jäähdytysratkaisujen valintaperiaatteet käsitellään luvussa 5.

3

Tekniset perusteet



VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

3. Tekniset perusteet

Tässä luvussa käsitellään tehon ja energian peruskäsitteitä, sähköketjun häviöitä sekä energian muuntumista lämmöksi. Nämä ovat datakeskuksen energiatehokkuuden ymmärtämisen ja mittaamisen kannalta keskeisiä perusteita.

3.1 Teho vs. energia

Datakeskuksen energiankulutusta kannattaa lähestyä kolmella peruskäsitteellä:

- Teho (kW): "kuinka nopeasti energiaa kuluu" tietyllä hetkellä.
- Energia (kWh): "kuinka paljon energiaa kului" tietyn ajan aikana (energia = teho × aika).
- Kuormitus: kuinka suuri osa kapasiteetista on käytössä (ja miten se vaihtelee ajassa).

Tämä erottelu on käytännössä tärkeä: pienikin tehoero muuttuu vuoden mittakaavassa suureksi energiaksi. Siksi esimerkiksi UPS-häviöiden prosentit, virtalähteiden hyötysuhde ja jäähdytyksen säätöstrategiat näkyvät suoraan vuosittaisessa energiankulutuksessa ja kustannuksissa.

Energiankulutuksen jakautuminen datakeskuksessa

Datakeskuksen energiankulutus jakautuu kahteen pääryhmään: IT-laitteisiin ja tukijärjestelmiin. IT-laitteet muodostavat yleensä suurimman yksittäisen kulutuserän, ja jäähdytys on tyypillisesti toiseksi suurin. Loput energiankulutuksesta muodostuvat pääasiassa UPS-järjestelmistä, sähkönjakelun häviöistä, valaistuksesta ja muusta infrastruktuurista.

[3][6][9]

Proessorit (CPU):

Proessori on yksi IT-kapasiteetin keskeisistä resursseista ja usein myös yksi palvelimen suurimmista yksittäisistä lämmönlähteistä. Prossessorin tehonkulutus riippuu IT-työkuormasta, arkkitehtuurista ja suorituskykyluokasta. Käytännössä prosessorin kuormitus seuraa IT-

työkuorman vaihtelua, ja käytetty sähköteho näkyy IT-tehossa ja muuttuu lopulta lämmöksi, joka on jäähdytettävä. [3][8][38]

Muisti (RAM):

Muisti on osa IT-kapasiteettia. Se vaikuttaa energiankulutukseen kahdella tavalla: se kuluttaa suoraan sähköä, ja se vaikuttaa siihen, kuinka tehokkaasti sovelluksia voidaan keskittää samoille palvelimille. Muistin ylimitoitus kasvattaa peruskuormaa, kun taas muistipula voi pakottaa lisäämään fyysisiä palvelimia. Siksi muistin mitoitus vaikuttaa sekä energiatehokkuuteen että kapasiteetin käyttöasteeseen. [3][6][38]

Virtalähteet (PSU):

Virtalähde muuntaa vaihtosähkön palvelimen käyttämäksi tasajännitteeksi. Se vaikuttaa energiankulutukseen kahdella tavalla: se aiheuttaa muuntohäviöitä, ja sen hyötysuhde vaihtelee kuormitustason mukaan. Virtalähteen hyötysuhdetta voidaan kuvata hyötysuhdeluokituksilla, esimerkiksi 80 PLUS -luokituksella. Käytännössä virtalähde toimii yleensä parhaiten keskitason kuormituksilla, ja hyvin matala kuormitus voi heikentää kokonaishyötysuhdetta. [3][6]

Verkkolaitteet:

Kytkimet, reitittimet ja palomuurit ovat osa IT-kapasiteettia, ja niiden ottama sähköteho sisältyy IT-tehoon. Verkkolaitteiden energiankulutus riippuu laitemallista, porttitiheydestä, liikennemäärästä ja arkkitehtuurista. Vaikka niiden kulutus on yleensä pienempi kuin palvelimien, suurissa ympäristöissä niiden vaikutus kokonais-IT-tehoon ja jäähdytyskuormaan voi olla merkittävä. [3][39]

3.2 Sähkösyötön, muunnon ja jakelun häviöt

Sähkösyötön, muunnon ja jakelun kokonaisuus mitoitetaan ensisijaisesti datakeskuksen tarvitseman IT-tehon perusteella. Muuntajissa, UPS-järjestelmissä ja sähkönjakelussa syntyvät häviöt kasvattavat kuitenkin kokonaisenergiankulutusta ja lisäävät poistettavaa lämpökuormaa, joka on otettava huomioon myös jäähdytyksen mitoituksessa. Datakeskuksen

sähkönsyöttö alkaa liittymästä sähköverkkoon. Kohteen koosta riippuen datakeskus liitetään yleensä alueelliseen keskijänniteverkkoon ja erittäin suurissa kohteissa myös suoraan suurjännite- tai kantaverkkoon [3][29]. Muuntajat alentavat jännitetasoa datakeskuksen käyttöön sopivaksi, usein 400 V kolmivaihesähköksi [3][29]. Muuntajilta sähkö johdetaan pääkeskuksiin, joista se jaetaan UPS-järjestelmille ja edelleen jakelukeskusten sekä PDU-yksiköiden kautta palvelinkaappitasolle asti [3][29].

UPS (Uninterruptible Power Supply) tasaa sähkönlaadun häiriöitä ja ylläpitää sähkönsyöttöä lyhyiden katkosten aikana energiavaraston, usein akuston, avulla [3][29]. UPS-järjestelmässä syntyy aina häviöitä [6][35]. Online-UPS eli kaksoismuunto parantaa sähkönlaatua, mutta aiheuttaa jatkuvia muuntohäviöitä [3][6][29]. Nykyaikaisten 3-vaiheisten UPS-järjestelmien hyötysuhde on normaalitilassa tyypillisesti noin 94–96 %. Parhaissa järjestelmissä se on noin 97 %, ja korkean hyötysuhteen eli eco-tilassa noin 98–99 %. [6][29]

Sähkönsyötössä, muunnossa ja jakelussa energiatehokkuus tarkoittaa tasapainoa luotettavuuden ja hyötysuhteen välillä [6][35]. Varmistus ja kapasiteetti mitoitetaan palvelutasovaatimusten mukaan, mutta ylimitoitusta vältetään, koska tyhjäkäynti- ja osakuormahäviöt kasvattavat jatkuvaa energiankulutusta [6][35][36].

Sähkönsyötön keskeiset suunnittelu- ja käyttöpäätökset

- Muuntajien määrän ja rinnakkaisuuden valinta käyttövarmuuden ja osakuormatehokkuuden perusteella [3][36],
- UPS-järjestelmän arkkitehtuurin ja käyttötilan valinta, kuten online- tai ekotila [3][29][35],
- Jakelukeskusten rakenteen suunnittelu siten, että kapasiteettia voidaan seurata ja kuormaa tasata [3][29], sekä
- Älykkäiden PDU-yksiköiden käyttö, jotta kuormitusta voidaan mitata ja ohjata räkkitasolla tai pistorasiatasolla [3][29].

3.3 Energian muuntuminen lämmöksi

IT-laitteet, kuten palvelimet, tallennus ja verkkolaitteet, muodostavat datakeskuksen IT-infrastruktuurin ytimen. IT-laitteet muodostavat yleensä datakeskuksen suurimman yksittäisen

kulutusryhmän, ja lähes kaikki niiden käyttämä sähköenergia päättyy lopulta lämmöksi, joka on poistettava jäähdytyksellä. [3][6][9]

Räkkien tehotiheys

Palvelimet asennetaan yleensä standardikokoisiin räkkikaappeihin, tavallisimmin 42U-räkkikaappeihin. Räkin tehotiheys ilmaistaan yleensä kilowatteina per räkki (kW/räkki). Perinteisissä ympäristöissä tehotiheys on usein luokkaa 5–10 kW/räkki, kun taas korkean suorituskyvyn ympäristöissä, kuten AI- ja HPC-klustereissa, se voi nousta selvästi tätä suuremmaksi. Suurempi tehotiheys säästää tilaa, mutta kasvattaa jäähdytyksen, ilmankierron ja sähkönsyötön vaatimuksia.

IT-vaiheen energiatehokkuus

IT-vaiheen energiatehokkuus määräytyy ennen kaikkea laitteiden hyötysuhteesta ja käyttöasteen hallinnasta. Vaikka modernit palvelimet tukevat virransäästötiloja, suurin vaikutus syntyy yleensä siitä, kuinka tehokkaasti työkuormat on keskitetty käytössä olevaan kapasiteettiin. Palvelin kuluttaa merkittävän peruskuorman jo tyhjäkäynnillä, joten laaja alikuormitettu palvelinkanta heikentää energiatehokkuutta. Tavoitteena on pitää käyttöaste hallitusti korkeana ilman, että palvelutaso tai käyttövarmuus heikkenee.

Virtualisointi ja kontit ovat keskeisiä energiatehokkuuskeinoja, koska ne mahdollistavat työkuormien keskittämisen harvemmille fyysisille palvelimille. Tallennuksessa energiatehokkuus liittyy datan sijoitteluun, redundanssin tasoon ja tarpeetonta kopiointia vähentäviin menetelmiin, esimerkiksi erasure codingiin.

Datakeskuksen käytönaikaisten päästöjen tekninen perusta

Datakeskuksen käytönaikaiset hiilidioksidipäästöt syntyvät pääosin sen käyttämän sähkön tuotannosta. Suurin yksittäinen lähde on ostosähkö. Lisäksi päästöjä syntyy varavoiman polttoaineista sekä siitä, että jäähdytyksen, UPS-järjestelmien ja sähkönjakelun häviöt kasvattavat energiantarvetta. Käytönaikaisten päästöjen lisäksi datakeskuksella on elinkaaripäästöjä, jotka liittyvät laitteiden, rakennuksen ja materiaalien valmistukseen, kuljetuksiin, käyttöön ja käytöstä poistoon. [1]



Sähkönkulutuksesta aiheutuvat käytönaikaiset päästöt vähenevät, kun sama IT-palvelu tuotetaan pienemmällä energiamäärällä. Sähkön hankinnan päästövaikutus pienenee, kun vähäpäästöisen tai uusiutuvan sähkön osuutta kasvatetaan ja sen alkuperä todennetaan. Jäähdytyksen, UPS-järjestelmien ja sähkönjakelun häviöitä pienentämällä vähennetään tukikuormien osuutta.

Koko elinkaaren päästöt pienenevät, kun laitteet mitoitetaan oikein, käyttöikä pidennetään ja materiaalit kierrätetään hallitusti.

4

KPI-mittarit ja mittausperiaatteet



VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

4. KPI-mittarit ja mittausperiaatteet

Datakeskuksen vihreyttä ei voi kehittää ilman yhteisiä mittareita. Jos mittausrajat, laskentasäännöt ja datan laatu vaihtelevat, sama kohde voi vaikuttaa hyvältä tai huonolta riippuen siitä, miten luvut on laskettu. Tässä luvussa määritellään ne tunnusluvut, joilla datakeskuksen energiankulutusta, päästöjä, vedenkäyttöä, uusiutuvan energian osuutta ja energian uudelleenkäyttöä arvioidaan johdonmukaisesti. Näitä ovat PUE, REF, ERF, CUE ja WUE. Lisäksi luvussa kuvataan, mitä mittausjärjestelmältä vaaditaan, jotta luvut ovat vertailukelpoisia, raportointikelpoisia ja myöhemmin käytettävissä kehittämistyössä.

4.1 PUE – Power Usage Effectiveness

PUE kuvaa datakeskuksen kokonaisenergiankulutuksen suhdetta IT-energiankulutukseen.

$PUE = \text{datakeskuksen kokonaisenergiankulutus} / \text{IT-energiankulutus}$.

PUE kertoo, kuinka suuri osa energiasta kuluu jäähdytykseen, UPS-järjestelmiin, sähkönjakeluun, valaistukseen ja muuhun infrastruktuuriin sen jälkeen, kun IT-energian osuus on erotettu. Ihanteellinen arvo on 1,0, jolloin kaikki energia menisi suoraan IT-laitteille. Käytännössä arvo on tätä suurempi. PUE on hyvä mittari silloin, kun halutaan parantaa datakeskuksen sisäistä energiatehokkuutta. Se ei kuitenkaan kerro, kuinka vähäpäästöistä käytetty sähkö on eikä sitä, kuinka paljon IT-palvelua datakeskus tuottaa. Siksi PUE ei riitä yksin vihreän datakeskuksen mittariksi, vaan sitä täydennetään yleensä CUE-, WUE-, REF- ja ERF-mittareilla. [2][6][16][20]

Suunnittelussa tämä tarkoittaa:

PUE paranee, kun jäähdytys, sähkönjakelu ja UPS-järjestelmät mitoitetaan oikein ja niiden häviöt pysyvät pieninä.

Tyypillinen virhe:

PUE:ta käytetään ainoana vihreyden mittarina, vaikka se ei kerro päästöistä, vedenkäytöstä eikä uusiutuvan energian osuudesta.

Käytännössä tämä tarkoittaa:

Jos tavoite on pienentää energiankulutusta, painopiste on PUE:ssa ja IT-laitteiden energiatehokkuudessa. Jos tavoite on pienentää päästöjä, mukaan tarvitaan CUE ja sähkönhankinnan malli. Jos tavoite on vähentää paikallisia resurssivaikutuksia, tarkasteluun nousevat erityisesti WUE ja veden saatavuus.

4.2 REF ja ERF

REF ja ERF vastaavat kahteen eri kysymykseen, joita PUE ei yksin ratkaise: mistä energia tulee ja mitä datakeskuksen tuottamalle lämmölle tapahtuu.

REF – Renewable Energy Factor

REF kuvaa uusiutuvan energian osuutta datakeskuksen energianhankinnassa.

$REF = \text{uusiutuvan energian osuus} / \text{datakeskuksen kokonaisenergiankulutus}$.

Käytännössä REF vastaa kysymykseen, kuinka suuri osa käytetystä energiasta on todennetusti uusiutuvaa. REF:n laskenta edellyttää, että energian alkuperä voidaan osoittaa esimerkiksi PPA-sopimuksilla, alkuperätakuilla tai omalla uusiutuvalla tuotannolla.

REF on tärkeä erityisesti silloin, kun datakeskuksen päästövaikutusta arvioidaan hankitun energian näkökulmasta. Se ei kuitenkaan yksin kerro mitään datakeskuksen sisäisestä energiatehokkuudesta. REF voi olla korkea myös ympäristössä, jossa tukijärjestelmien häviöt ovat suuret. Siksi REF täydentää PUE:ta, mutta ei korvaa sitä. [21][25][26][27]

ERF – Energy Reuse Factor

ERF kuvaa energian uudelleenkäytön osuutta.

$ERF = \text{uudelleenkäytetyn energian osuus} / \text{datakeskuksen kokonaisenergiankulutus}$.

Se vastaa kysymykseen, kuinka suuri osa datakeskuksen tuottamasta lämpöenergiasta saadaan hyötykäyttöön datakeskuksen ulkopuolella, esimerkiksi kaukolämpöverkkoon tai muuhun rakennusten lämmitykseen.

ERF on tärkeä silloin, kun halutaan arvioida, jääkö datakeskuksen tuottama lämpö pelkäksi poistettavaksi kuormaksi vai muuttuuko se hyödyksi muualla energiajärjestelmässä. ERF ei

kuitenkaan pienennä suoraan datakeskuksen omaa sähkönkulutusta. Se kertoo ennen kaikkea siitä, kuinka hyvin lämpö saadaan hyötykäyttöön. [17][33]

Suunnittelussa tämä tarkoittaa:

REF liittyy energianhankinnan valintaan ja todentamiseen. ERF liittyy lämpötilatasoon, lämmön talteenoton rajapintaan ja siihen, onko kohteessa realistinen lämmön vastaanottaja.

Tyypillinen virhe:

REF ja ERF sekoitetaan toisiinsa. REF kertoo energian alkuperästä. ERF kertoo lämpöenergian uudelleenkäytöstä.

4.3 CUE ja WUE

CUE ja WUE vastaavat kahteen käytännön kysymykseen: paljonko datakeskus aiheuttaa päästöjä ja kuinka paljon se käyttää vettä suhteessa IT-energiaan.

CUE – Carbon Usage Effectiveness

CUE kuvaa datakeskuksen hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen suhdetta IT-energiankulutukseen.

$CUE = \text{datakeskuksen hiilidioksidiekvivalenttipäästöt} / \text{IT-energiankulutus}$.

Käytännössä CUE kertoo, kuinka paljon päästöjä syntyy yhtä IT-energiayksikköä kohti. CUE:n laskenta edellyttää tietoa sähkön päästöintensiteetistä, joka vaihtelee alueittain, ajallisesti ja hankintamallin mukaan. CUE on tärkeä, koska se yhdistää energiatehokkuuden ja sähkön päästövaikutuksen samaan lukuun. PUE voi olla hyvä ja CUE silti korkea, jos käytetyn sähkön päästöintensiteetti on korkea. Toisaalta CUE voi parantua, jos sähkön hankintamalli muuttuu vähäpäästöisemmäksi tai uusiutuvan sähkön osuus kasvaa ja sen alkuperä todennetaan, vaikka datakeskuksen sisäinen energiatehokkuus ei muuttuisi. Siksi CUE ja PUE täydentävät toisiaan. [24][25][26][27]

WUE – Water Usage Effectiveness

WUE kuvaa datakeskuksen vedenkulutuksen suhdetta IT-energiankulutukseen.

$WUE = \text{datakeskuksen vedenkulutus} / \text{IT-energiankulutus}$.

Se on erityisen tärkeä silloin, kun jäähdytyksessä käytetään vettä, esimerkiksi haihdutusjäähdytyksessä (adiabaattinen jäähdytys), sumutus- tai kostutusjärjestelmissä tai vesikiertoisissa ratkaisuissa. WUE:n laskenta edellyttää erillisiä vesimittareita jäähdytyksen vesilinjoissa. WUE tuo näkyväksi sellaisen resurssivaikutuksen, joka jää helposti energiamittareiden varjoon. Kohde voi olla sähkön näkökulmasta energiatehokas, mutta silti kuluttaa paljon vettä. Tämän vuoksi WUE on tärkeä erityisesti sijainneissa, joissa veden saatavuus tai paikallinen vesistressi on olennainen kysymys. [19][25][26]

Suunnittelussa tämä tarkoittaa:

CUE liittyy suoraan sähkön hankintamalliin ja päästökertoimiin. WUE liittyy jäähdytysratkaisun valintaan, mittauspisteisiin ja paikallisiin vesivaroihin.

Tyypillinen virhe:

Päästöjä yritetään arvioida pelkällä PUE-luvulla tai vedenkäyttö jätetään kokonaan tarkastelun ulkopuolelle, vaikka jäähdytysratkaisu sitä selvästi edellyttäisi.

4.4 Mittausjärjestelmän suunnittelu

Tunnuslukuja lasketaan mittausdatasta, mutta niiden luotettavuus riippuu mittausjärjestelmästä. Jos mittausrajat ja mittauspisteet on määritelty huonosti, myös tunnusluvut ovat epäluotettavia. Siksi mittausrajat, mittauspisteet ja laskentasäännöt pitää ottaa yhtä vakavasti kuin kapasiteetti- ja käytettävyyksivaatimukset.”

EN 50600-4-sarjan rooli

EN 50600 on eurooppalainen standardiperhe datakeskusten rakenteelle, järjestelmille ja ylläpidolle. Sen 4-osat keskittyvät erityisesti tunnuslukuihin ja siihen, miten ne mitataan, lasketaan ja raportoidaan yhdenmukaisesti. Standardin tärkein käytännön hyöty on vertailukelpoisuus: sama tunnusluku tarkoittaa samaa asiaa vain, jos mittausrajat, mittauspisteet ja laskentasäännöt ovat yhtenäiset. [4][20][21]

Mitä pitää päättää jo suunnittelussa:

– Mikä on kohteen virallinen mittausraja (mitä sisältyy "datakeskuksen kokonaisenergiaan", mitä rajataan ulos).

- Mistä mitataan IT-energia (esim. UPS-lähdöt, PDU-taso, rakkikohtaiset mittaukset) ja millä tarkkuudella.
- Millä aikajänteellä raportoidaan (tunti, päivä, kuukausi, vuosi) ja miten kausivaihtelu huomioidaan.
- Miten uusiutuvan energian alkuperä todennetaan.
- Miten lämmön talteenotto ja vedenkäyttö mitataan.

Tyypilliset datalähteet ja mittauspisteet

Pääsyötön energiamittaus (kWh) pääkeskuksella tai liittymässä: tuottaa datakeskuksen kokonaisenergian mittausrajan sisällä.

IT-energian mittaus tehdään yleensä UPS-lähdöissä ja PDU-tasolla, tarvittaessa räkki- tai laitetasolle tarkennettuna.

Jäähdytyksen energiankäyttöä mitataan kylmäntuotossa, pumpuissa ja puhaltimissa.

Vedenkulutus mitataan jäähdytyksen vesilinjoissa.

Lämmön talteenotto ja luovutus edellyttävät lämpöenergiamittausta rajapinnassa.

Rakennusautomaatiojärjestelmän (BMS) ja datakeskuksen infrastruktuurin hallintajärjestelmän (DCIM) rajapinnat on toteutettava niin, että sähkönkulutusta, jäähdytyksen toimintaa, lämpötila- ja kosteusolosuhteita sekä laitteiden tila- ja kuormitustietoja voidaan kerätä yhdenmukaisessa muodossa. Aikaleimojen ja mittauspistetunnisteiden on oltava yhtenäisiä ja pysyviä. [4][16][17][18][19][20][21]

4.5 Mitä mittareilla pitää tehdä käytännössä

Mittarit eivät ole vain raportointia varten. Niiden tehtävä on ohjata suunnittelua, hankintaa, vertailua ja raportointivalmiuden rakentamista. Mittarit ovat hyödyllisiä vasta, kun niihin sidotaan tavoitteet, vastuut ja laskentasäännöt.

Vähintään nämä päätökset kannattaa tehdä selviksi:

- aseta kohteelle tavoitemittarit, esimerkiksi PUE ja tarpeen mukaan CUE, WUE, REF tai ERF
- kytke mittarit suunnittelu-, hankinta- ja investointipäätöksiin

- dokumentoi mittausrajat, mittauspisteet ja laskentasäännöt
- varmista, että kohde voidaan ottaa käyttöön niin, että raportointi ja myöhempi kehittäminen ovat mahdollisia ilman uusia perusmuutoksia

Tyypillisiä käyttötapoja

- perustele investointeja energiankulutuksen, päästöjen, vedenkäytön ja raportointikyvyn näkökulmasta
 - määritä mittausvalmius niin, että sähkö, IT-energia, jäähdytys, vesi ja lämmön talteenotto ovat myöhemmin todennettavasti mitattavissa
 - suunnittele lämmön talteenoton rajapinta niin, että lämpöteho ja lämpötilataso voidaan todentaa
 - tee raportointivalmiudesta osa toteutusta
 - jätä kohteeseen selkeä kehityskyky myöhempää seurantaa, analytiikkaa ja menetelmäoppaan mukaisia kehitystoimia varten
- [6],[22],[23],[24],[25],[26] ja [27].

4.6 Siirtymä operatiiviseen optimointiin

Kun mittausrajat, mittauspisteet, tunnuslukujen laskenta ja raportointivalmius on määritelty, datakeskuksella on tekniset valmiudet siirtyä käytönaikaiseen optimointiin. Tässä vaiheessa työ etenee erillisen menetelmäoppaan mukaisesti: lähtötaso muodostetaan mitatusta datasta, poikkeamat tunnistetaan järjestelmällisesti, toimenpiteet toteutetaan hallitusti ja niiden vaikutus todennetaan ennen–jälkeen-vertailulla. [4][24][25][26]

5

Jäähdytysjärjestelmät ja hukkalämmön talteenotto

VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

5. Jäähdytysjärjestelmät ja hukkalämmön talteenotto

Tässä luvussa tarkastellaan datakeskuksen lämmönhallintaa Green ICT -näkökulmasta. Keskeinen kysymys ei ole vain se, miten lämpö poistetaan. Olennaista on myös, miten tämä tehdään mahdollisimman pienellä lisäenergialla, mahdollisimman vähäisellä vedenkäytöllä ja niin, että lämmön talteenotto on myöhemmin mahdollista. Jäähdytys on yksi datakeskuksen suurimmista tukikuormista, joten sen ratkaisut vaikuttavat suoraan energiatehokkuuteen, päästöihin, vedenkäyttöä kuvaavaan WUE-mittariin ja käyttökustannuksiin.

5.1 Jäähdytysarkkitehtuurit

Jäähdytyksen tehtävä on pitää IT-laitteet sallituissa lämpötila- ja kosteusrajoissa mahdollisimman pienellä lisäenergialla. Green ICT -näkökulmasta jäähdytysratkaisun valinta ei ole vain tekninen laitevalinta, vaan päätös energiankulutuksesta, vedenkäytöstä, lämmön talteenoton mahdollisuuksista ja järjestelmän myöhemmästä laajennettavuudesta tai muunneltavuudesta.

Keskeiset ratkaisut ovat käytännössä nämä:

Ilmajäähdytys on perinteisin vaihtoehto. Se on yksinkertainen ja usein toimiva ratkaisu tavanomaisilla kuormatiheyksillä, mutta sen energiatehokkuus heikkenee, jos ilmavirtojen hallinta on puutteellinen tai kuormatiheys kasvaa suureksi.

Vapaajäähdytys hyödyntää ulkoilmaa tai kylmää vettä silloin, kun ulko-olosuhteet sen sallivat. Suomessa tämä on erityisen kiinnostava ratkaisu, koska kylmä ilmasto voi pienentää jäähdytyksen energiantarvetta merkittävästi suuren osan vuodesta.

Nestejäähdytys siirtää lämpöä ilmaa tehokkaammin ja soveltuu erityisesti suuriin kuormatiheyksiin, kuten AI- ja HPC-ympäristöihin. Sen etu ei ole vain parempi lämmönsiirto, vaan myös se, että korkeampi lämpötilataso voi helpottaa lämmön talteenottoa.

Adiabaattinen jäähditys tehostaa jäähdytystä veden haihdutuksen avulla. Se voi pienentää sähkönkulutusta, mutta kasvattaa vedenkäyttöä. Siksi sen arviointi ei saa perustua vain energiansäästöön vaan myös siihen, miten ratkaisu vaikuttaa vedenkäyttöön ja WUE-mittariin.

Suunnittelussa tämä tarkoittaa:

- valitse jäähditysmenetelmä todellisen kuormatiheyden, ei oletetun maksimikuorman perusteella
- hyödynnä Suomen ilmasto siellä, missä vapaajäähditys on tarkoituksenmukainen
- arvioi jo etukäteen, kasvattaako ratkaisu vedenkäyttöä tai helpottaako se lämmön talteenottoa
- vältä ratkaisua, joka toimii hyvin vain nimellistilanteessa mutta huonosti osakuormalla

Tyypillinen virhe:

Jäähditys valitaan nimellishyötysuhteen perusteella ilman, että tarkastellaan osakuormaa, ilmavirtojen hallintaa, vedenkäyttöä ja tulevaa kuormakehitystä samassa kokonaisuudessa.

Rakennus- ja tilaratkaisut

Jäähditysratkaisu ei toimi irrallaan rakennuksesta. Käytäväerottelu, tiivistys, ohivirtausten minimointi ja modulaarinen, vaiheittainen laajennettava rakenne vaikuttavat usein enemmän käytännön energiatehokkuuteen kuin yksittäinen laitevalinta. Modulaarinen rakentaminen on Green ICT -näkökulmasta hyödyllinen, koska se vähentää ylläpidon ja mahdollistaa kapasiteetin kasvattamisen vaiheittain.

5.2 Lämpötilaketju IT-laitteelta lämmön talteenottoon

Jäähdityksen toiminta kannattaa nähdä lämpötilaketjuna, ei vain laitteiden ja kanavien järjestelmänä. IT-laite ottaa sisään jäähditysilmää tai jäähditysnestettä ja sen käyttämä sähköenergia muuttuu lähes kokonaan lämmöksi. Tämä lämpö on poistettava hallitusti. Jos lämpö halutaan myöhemmin talteen, ratkaisevaa ei ole vain jäähdityksen toimivuus vaan myös se, millä lämpötilatasolla lämpö on käytettävissä.

Modernissa palvelinsalissa jäähdytys perustuu usein kylmä- ja kuumakäytäväerotteluun. Tavoitteena on, että kylmä ilma ohjautuu laitteiden ilmanottoon ja lämmin poistoilma kerätään hallitusti pois ilman, että se sekoittuu kylmään ilmaan. Sama periaate pätee nestejäähdytykseen: lämpö otetaan talteen mahdollisimman hallitusti ja mahdollisimman korkealla, hyötykäytön kannalta käyttökelpoisella lämpötilatasolla

Energiätehokkuusperiaatteet:

- asetusravot pidetään riittävän korkeina valmistajien sallimissa rajoissa
- kylmän ja kuuman ilman sekoittuminen estetään
- puhaltimien, pumppujen ja kompressorien ohjauksen tulee seurata kuormaa
- mittaus- ja säätövalmius rakennetaan jo suunnitteluvaiheessa

Suunnittelussa päätettävät asiat:

- tavoitelämpötila-alueet ja turvalliset käyttörajat
- käytäväerottelun, tiivistyksen ja ilmavirtojen hallinnan fyysiset edellytykset
- jäähdytyksen energiankulutuksen, lämpötilojen, virtausten ja mahdollisen vedenkulutuksen mittauspisteet
- mahdollisuus siirtyä myöhemmin tarkempaan optimointiin ilman perusrakenteen uusimista

Vedenkulutuksen vähentäminen käytännössä

Datakeskuksen vedenkulutus määräytyy ennen kaikkea jäähdytysratkaisusta. Siksi vedenkäyttöä ei hallita vasta operointivaiheessa, vaan ennen kaikkea suunnitteluvaiheen valinnoilla.

Green ICT -näkökulmasta käytännön periaatteet ovat nämä:

- suosi ilmajäähdytystä tai suljettuja nestekiertoja, jos ne täyttävät kuormatiheyden ja käyttövarmuuden vaatimukset
- käytä vettä kuluttavaa adiabaattista tai haihduttavaa jäähdytystä vain, jos energiatehokkuushyöty on selvästi suurempi kuin vedenkulutuksen haitta

- mittaa vedenkulutus erillisellä mittauspisteellä
- varmista, että lämpötila- ja virtausasetukset seuraavat kuormaa eivätkä perustu suuriin varmuusmarginaaleihin
- päätä jo suunnittelussa, seurataanko vedenkäyttöä hankkeessa keskeisenä mittarina

Tyypillinen virhe:

WUE:n merkitys huomataan vasta raportointivaiheessa, vaikka sen ratkaisevat päätökset tehtiin jo jäähdytysarkkitehtuuria valittaessa.

5.3 Hukkalämmön talteenoton arviointi

Hukkalämmön talteenotto ei ole automaattisesti hyvä ratkaisu jokaisessa kohteessa. Green ICT -näkökulmasta oikea kysymys ei ole vain, saadaanko lämpö talteen. Olennaista on myös, saadaanko se talteen sellaisella lämpötilatasolla, sellaisella lisäsähkön tarpeella ja sellaiseen käyttökohteeseen, että kokonaisratkaisu on järkevä. Datakeskuksessa poistettava lämpö kerätään jäähdytysjärjestelmän kautta ja siirretään lämmönvaihtimen avulla hyötykäyttöön. Usein lämpö on kuitenkin matalalämpöistä, jolloin sitä ei voida hyödyntää sellaisenaan, vaan lämpötilatasoa on nostettava lämpöpumpulla. Tällöin ratkaisevia ovat lämpöpumpun COP eli lämpökerroin ja se, kuinka paljon lisäsähköä talteenotto vaatii.

Talteenoton arvioinnissa ratkaisevat käytännössä nämä tekijät:

- millä lämpötilatasolla lämpöä saadaan ulos järjestelmästä
- onko lähellä käytännössä mahdollinen lämmön vastaanottaja
- kuinka suuri osa vuodesta lämpöä voidaan oikeasti hyödyntää
- kuinka paljon lisäsähköä lämpöpumppu ja muut apulaitteet tarvitsevat
- onko kokonaisuus teknisesti ja taloudellisesti perusteltu

Talteenoton tekniset periaatteet

Lämpö kerätään jäähdytysjärjestelmän vesikiertoiseen piiriin ja siirretään lämmönvaihtimen kautta hyötykäyttöpiiriin. Jos lämpötilataso ei riitä käyttöön sellaisenaan, sitä nostetaan lämpöpumpulla. COP paranee, kun lähdelämpötila on korkea ja tarvittava lämpötilan nosto on pieni. Talteenottoa kannattaa ohjata kysynnän mukaan: jos lämpöä ei voida hyödyntää, lämpötilaa ei pidä nostaa lämpöpumpulla turhaan.

Hukkalämmön potentiaali ja realiteetit

Datakeskus tuottaa lämpöä jatkuvasti, mutta se ei yksin tee talteenotosta hyvää ratkaisua. Talteenoton hyöty riippuu vahvasti sijainnista, vastaanottajasta, lämpötilatasosta ja siitä, kuinka suuri osa vuodesta lämpöä voidaan oikeasti käyttää. Siksi hukkalämmön hyödyntäminen on arvioitava jo suunnitteluvaiheessa, ei vasta sen jälkeen, kun datakeskus on rakennettu. [13][33]

Mittareiden näkökulmasta:

Energian uudelleenkäytön tasoa kuvataan ERF-mittarilla. ERF kertoo, kuinka suuri osa datakeskuksen tuottamasta lämpöenergiasta saadaan hyötykäyttöön datakeskuksen ulkopuolella. ERF ei kuitenkaan yksin riitä päätöksenteon perusteeksi. Sen rinnalla on tarkasteltava myös lämpö- ja sähköenergian tasetta sekä sitä, kuinka paljon lisäsähköä talteenotto vaatii. [17][33]

6

Elinkaaren hallinta



VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

6. Elinkaaren hallinta

Tässä luvussa tarkastellaan vihreän datakeskuksen elinkaarta sijoituspaikan valinnasta kapasiteetin kasvattamiseen, modernisointiin ja käytöstä poistoon Suomen toimintaympäristössä. Luvun tarkoitus on tehdä näkyväksi ne päätökset, jotka vaikuttavat energiatehokkuuteen, päästöihin, vedenkäyttöön, mittausvalmiuteen ja myöhempään muutettavuuteen. Ympäristötehokkuus ei synny yhdestä teknologiasta, vaan siitä, että sijainti, mitoitus, toteutusmalli, laajennettavuus ja poistopolku tukevat samaa tavoitetta koko elinkaaren ajan.

6.1 Elinkaaren vaiheet

Vihreän datakeskuksen elinkaaren hallinta alkaa ennen varsinaista suunnittelua ja jatkuu käytöstä poistoon asti. Elinkaaren eri vaiheet eivät ole toisistaan irrallisia, vaan varhaisissa vaiheissa tehdyt päätökset vaikuttavat myöhempään energiatehokkuuteen, päästöihin, vedenkäyttöön, mittausvalmiuteen, laajennettavuuteen ja käytöstä poistoon. Green ICT - näkökulmasta elinkaaren hallinnan tavoitteena on varmistaa, että datakeskus voidaan toteuttaa, käyttää, kehittää ja lopulta purkaa hallitusti ilman tarpeetonta ylikapasiteettia, resurssihukkaa tai mittaus tiedon jatkuvuuden katkeamista.

Elinkaari alkaa esiselvityksestä ja tavoiteasettelusta. Tässä vaiheessa määritellään, mitä kuormaa datakeskus palvelee, millaista kapasiteettia ja palvelutasoa se tarvitsee ja mitä vihreällä datakeskuksella hankkeessa tarkoitetaan. Samalla asetetaan tavoitteet energiatehokkuudelle, päästöille, vedenkäytölle, lämmön talteenotolle ja mittausvalmiudelle.

Suunnitteluvaiheessa tavoitteet muunnetaan arkkitehtuuriksi, mitoitukseksi ja toteutusmalliksi. Tässä vaiheessa päätetään muun muassa sähkösyötön ja varmistuksen periaatteet, jäähdytysratkaisu, mittauspisteet, laajennettavuus ja mahdollinen hukkalämmön

hyödyntäminen. Ratkaisut on tehtävä niin, että kohde täyttää käyttövarmuus- ja raportointivaatimukset myös myöhemmissä muutoksissa.

Rakentamisvaiheessa suunnitelmat muutetaan fyysiseksi toteutukseksi. Tällöin on varmistettava, että tilaratkaisut, tekniset järjestelmät, mittauspisteet, tiedonsiirto ja dokumentaatio toteutuvat niin, että käyttöönotto, raportointi ja myöhempi kehittäminen ovat mahdollisia ilman perusrakenteen olennaista uudelleensuunnittelua

Käyttöönotossa määritellään vertailutaso myöhempää seuranta varten ja varmistetaan, että mittausjärjestelmä, KPI-laskenta ja raportointivalmius toimivat suunnitellusti. Tämän jälkeen datakeskus siirtyy käyttö- ja ylläpitovaiheeseen, jossa suurin osa käytönaikaisista vaikutuksista syntyy. Kuorman hallinta, jäähdytyksen säätö, huollot, korvausinvestoinnit ja poikkeamien käsittely näkyvät suoraan energiankulutuksessa, päästöissä ja vedenkäytössä.

Elinkaaren kuuluvat myös modernisointi, kapasiteetin muutos ja käytöstä poisto. Laitteita ja järjestelmiä ei tulisi uusia vain iän perusteella, vaan silloin, kun muutos on perusteltu energiatehokkuuden, käyttövarmuuden, päästöjen tai kapasiteetin riittävyyden näkökulmasta [3]. Käytöstä poistossa korostuvat tietoturva, materiaalivirrat, uudelleenkäyttö ja kierrätettävyys. Elinkaaren hallinnan kannalta olennaista on, että nämä myöhemmät vaiheet otetaan huomioon jo suunnittelussa.

6.2 Sijaintivalinta

Elinkaaren ensimmäinen ratkaiseva päätös on sijainti, koska se määrittää datakeskuksen sähkönhankinnan, jäähdytyksen toteutettavuuden, vapaajäähdytysmahdollisuudet, vedenkäytön, hukkalämmön hyödyntämisen ja myöhemmän laajennettavuuden reunaehdot Suomessa. Tässä vaiheessa ei vielä tehdä yksityiskohtaista sähkö- tai LVI-suunnittelua, mutta kriittiset reunaehdot on tunnistettava ja dokumentoitava ennen mitoituksen lukitsemista.

Tehtävä, kapasiteetti, palvelutaso ja toteutusmalli

Sijaintia ei pidä valita ennen kuin on määritelty, mitä kuormaa datakeskus palvelee ja millä

palvelutasolla. HPC-, AI-, tallennus- ja perinteinen palvelutuotanto vaativat erilaisen kapasiteetin, tehotehden, jäähdytyksen ja jatkuvuustason. Samassa vaiheessa päätetään myös toteutusmalli: oma datakeskus, colocation, pilvi tai hybridi. Suunnittelun kannalta ratkaisevaa on, tukeeko valittu malli mittausrajoja, raportointia, energian alkuperän todentamista ja myöhempää optimointia.

Datakeskuksen tyyppi ja toteutusmalli

Hyperscale kuvaa mittakaavaa ja operointimallia. Colocation kuvaa palvelumallia. Oma datakeskus tarkoittaa itse hallittua ympäristöä. Hybridi tarkoittaa kuormien jakamista useaan ympäristöön. Nämä eivät sulje toisiaan pois, vaan kuvaavat datakeskusta eri näkökulmista. Käytännön kysymys on, missä mallissa organisaatio pystyy mittaamaan, raportoimaan ja hallitsemaan energian, päästöjen ja vedenkäytön vaikutuksia.

Mitä sijaintipaikasta pitää varmistaa

Sijaintipaikka on käyttökelpoinen vasta, kun vähintään seuraavat asiat on varmistettu:

- sähkön saatavuus, liittymäpolku, aikataulu ja toimitusvarmuus
- tietoliikenneyhteyksien kapasiteetti, viive ja fyysinen redundanssi
- ilmasto-olosuhteet ja niiden vaikutus valittuun jäähdytysratkaisuun
- veden saatavuus ja lupaehdot, jos jäähdytys käyttää vettä
- mahdollinen hukkalämmön vastaanottaja
- lupa-, turvallisuus- ja sääntelyreunaehdot

Ympäristö- ja energiatehokkuustekijät

Sijainti määrittää jo varhaisessa vaiheessa datakeskuksen ympäristötehokkuuden käytännön ylärajan. Jos alueella ei ole käytännössä toteuttamiskelpoista vähäpäästöisen sähkön hankintamallia, vapaajäähdytysmahdollisuutta, tai lähellä sijaitsevaa datakeskuksen hukkalämpöä vastaanottavaa kaukolämpöverkkoa, näitä etuja ei voi myöhemmin korjata pelkällä laitevalinnalla. Siksi sijainnin arvioinnissa on käsiteltävä vähintään sähkön päästöintensiteetti, uusiutuvan energian todentaminen, jäähdytyksen olosuhde-etu ja hukkalämmön hyödyntämisen realismi.

Riskit, resilienssi ja regulaatio

Sijaintipäätös on myös riskipäätös. Tarkoitus ei ole rakentaa tässä vaiheessa täydellistä riskimallia, vaan varmistaa, että kriittisille riskeille on nimetty omistaja, tehty arvio ja määritelty hallintatoimi. Näitä ovat sähkön saatavuus, verkkohäiriöt, sääolosuhteet, tulvariskit, fyysinen turvallisuus, ympäristöluvut ja datan sijaintiin liittyvät vaatimukset.

Tavoitteet, mittarit ja todentaminen

Sijaintia ei pidä valita ilman tavoitetasoa. Käytännön minimi on: valittu KPI, mittausraja, mittauspisteet, laskentasaäntö ja todentamistapa. Kun nämä päätetään ennen toteutuksen lukitsemista, myös myöhempi vertailu, hankinta ja raportointi ovat mahdollisia ilman tulkintariitoja.

Sijaintivertailu käytännössä

Sijaintivertailu kannattaa tehdä kahdessa vaiheessa. Ensin karsitaan vaihtoehdot, jotka eivät täytä kriittisiä ehtoja, kuten sähkön saatavuutta, jäähdytyksen toteutettavuutta tai sääntelyä. Sen jälkeen jäljelle jääneet vaihtoehdot pisteytetään samoilla kriteereillä, ja pisteiden perustelut dokumentoidaan.

6.3 Pitkäikäisyys, muutettavuus ja käytöstä poisto

Vihreän datakeskuksen elinkaaren hallinnan kannalta keskeistä on, että ratkaisut kestävät käyttöä, muutoksia ja myöhempiä uudistuksia. Rakennuksen, sähkösyötön, jäähdytyksen, jakelun ja mittausjärjestelmän tulee mahdollistaa vaiheittainen laajentaminen ja osittainen uusiminen ilman, että koko perusrakenne joudutaan korvaamaan. Samalla materiaalien ja laitteiden valinnassa on otettava huomioon huollettavuus, vaihdettavuus, käyttöikä ja myöhempi kierrätettävyys.

Käytöstä poistoa ei tule tarkastella vasta elinkaaren lopussa. Dokumentaatio, modulaarisuus ja teknisten järjestelmien rajapinnat vaikuttavat jo suunnitteluvaiheessa siihen, voidaanko laitteita, moduuleja tai infrastruktuurin osia käyttää myöhemmin uudelleen. Suunnittelussa on varmistettava, että datakeskuksen koko elinkaarta ohjaavat samat periaatteet: vaiheittainen



rakentaminen, yllirakentamisen välttäminen, yhtenäiset mittausrajat ja riittävä dokumentointi. Lisätietoa elinkaaritarkastelusta, materiaalien vaikutuksista ja käytöstä poistosta on tämän oppaan lähteissä [3], [30], [31], [32] ja [35].

7

Sääntely ja uusiutuva energia



VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

7. Sääntely ja uusiutuva energia

Tässä luvussa tarkastellaan vihreän datakeskuksen sääntely- ja energiahankintaympäristöä Suomessa. Tavoitteena on tehdä näkyväksi, mitä datakeskuksen suunnittelussa on päätettävä jo varhaisessa vaiheessa, jotta raportointi, auditointi ja uusiutuvan energian todentaminen onnistuvat ilman myöhempiä korjausprojekteja.

7.1 EU:n energiatehokkuusdirektiivin vaatimukset

EU:n energiatehokkuusdirektiivi ja sitä täydentävä sääntely nostavat datakeskusten energiankulutuksen, päästöjen, vedenkäytön ja lämmön uudelleenkäytön osaksi raportoitavaa tietoa. Suunnittelijan kannalta tämä tarkoittaa kahta käytännön asiaa. Ensinnäkin mittauspisteet, mittausrajat ja laskentasäännöt on päätettävä jo suunnittelussa, jotta raportointi on mahdollista ilman myöhempiä lisäprojekteja. Toiseksi osa tiedoista on luonteeltaan julkisia tai auditoinnissa tarkistettavia, jolloin datan laatu, rajaukset ja todentamistapa korostuvat. [25][26]

Raportointivalmiuden tarkistuslista:

- varmista, että kokonaisenergia ja IT-energia ovat mitattavissa standardin mukaisella rajauksella
- dokumentoi laskentasäännöt, kuten aikajänne, rajaukset ja poikkeamatilanteiden käsittely
- kytke mukaan sähkönhankinnan todentaminen, REF-laskenta ja Scope 2 -raportointiperiaate [21][27]
- jos lämmön talteenottoa tehdään, mittaa ja raportoi ERF [17]
- sovi vastuut, datan omistajuus ja auditointiketju jo ennen käyttöönottoa [25][26]

Ympäristöstandardit ja sertifiointit

Standardit ja sertifiointit eivät korvaa teknistä suunnittelua, mutta ne antavat yhteisen

viitekehyksen johtamiselle, todentamiselle ja vertailulle. Datakeskuksen kannalta keskeisiä ovat:

- ISO 50001, joka tuo energianhallintaan jatkuvan parantamisen mallin. [22]
- ISO 14001, joka tuo ympäristöjohtamisen rakenteen. [23]
- ISO 14064-1, joka määrittää kasvihuonekaasupäästöjen kvantifioinnin ja raportoinnin organisaatiotasolla. [24]
- LEED ja BREEAM ovat rakennusten ympäristösertifiointi- ja arviointijärjestelmiä.
- EU Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency, joka kokoaa käytännön parhaita käytäntöjä datakeskusten energiatehokkuuteen. [35]
- Climate Neutral Data Centre Pact, joka toimii toimialatason sitoumuksena ja vertailukehyksenä. [34]

Yritystason kestävyysraportointi, erityisesti CSRD, nostaa lisäksi datakeskusten energia-, päästö- ja resurssitiedot osaksi konsernitason raportointia. [28]

7.2 Uusiutuvan energian hankinta: PPA ja alkuperätakuut

Datakeskuksen sähkön hankintamalli vaikuttaa suoraan päästöihin, CUE-tasoon ja raportoinnin uskottavuuteen. Siksi jo suunnitteluvaiheessa on päätettävä, miten sähkön alkuperä todennetaan ja mitä hankintamallista voidaan väittää.

Sähkön alkuperä voidaan käytännössä todentaa usealla tavalla:

-PPA (Power Purchase Agreement), on pitkäaikainen sähkönhankintasopimus uusiutuvan energian tuottajan kanssa. Se on vahva ratkaisu silloin, kun tavoitteena on pitkäjänteinen päästöohjaus ja läpinäkyvä sähkönhankinta.

-Alkuperätakuut (Guarantees of Origin, GoO), ovat todistuksia siitä, että sähkö on tuotettu uusiutuvilla energialähteillä. Ne soveltuvat uusiutuvan energian todentamiseen, mutta ne

eivät tarkoita, että juuri datakeskuksen käyttämä sähkö virtaisi fyysisesti suoraan kyseisestä tuotantolähteestä.

-Oma tuotanto, tarkoittaa datakeskuksen yhteyteen tai läheisyyteen rakennettua uusiutuvaa tuotantoa, kuten aurinkosähköä. Suomessa tämä on yleensä täydentävä ratkaisu, ei yksin riittävä sähkönlähde.

-Hankintaportfolio, tarkoittaa usean hankintatavan yhdistelmää, esimerkiksi PPA:ta, alkuperätakuuta ja omaa tuotantoa.

Uusiutuvan energian hankinnassa on tärkeää erottaa kaksi asiaa:

-Vuositason vastaavuus tarkoittaa, että datakeskus hankkii vuoden aikana saman määrän uusiutuvan sähkön alkuperätakuuta kuin se kuluttaa sähköä.

-Tuntitason vastaavuus tarkoittaa, että sähkön käyttö pyritään kattamaan jokaisella tunnilla samanaikaisella vähäpäästöisellä tai uusiutuvalla tuotannolla. Tämä on selvästi kunnianhimoisempi tavoite ja vaatii enemmän sekä hankintamallilta että raportoinnilta. [27]

7.3 "100 % uusiutuva" -väitteiden kriittinen arviointi

"100 % uusiutuva sähkö" ei ole yksiselitteinen väite. Datakeskuksen suunnittelussa ja viestinnässä on erotettava toisistaan markkinointilause, raportointiperiaate ja teknisesti todennettava väite.

Vuositason vastaavuus ei ole sama asia kuin jatkuva uusiutuvan sähkön käyttö.

Vuositason vastaavuus tarkoittaa, että uusiutuvan sähkön alkuperä on katettu vuoden kokonaiskulutuksen tasolla. Se ei kuitenkaan tarkoita, että datakeskus toimisi joka hetki uusiutuvalla energialla. Yöllä, tyyninä jaksoina tai korkean kuorman aikana käytetty sähkö voi tulla muista tuotantomuodoista, vaikka vuositason alkuperätakuut kattavat kokonaiskulutuksen. [27]

Tärkeä kysymys on myös se, synnyttääkö hankinta uutta tuotantoa.

Pelkkä uusiutuvan sähkön ostaminen ei vielä takaa, että sähköjärjestelmään syntyy lisää

vähäpäästöistä tuotantoa. Suurempi ilmastohyöty syntyy silloin, kun hankinta tukee uuden uusiutuvan tuotannon rakentamista eikä kohdistu vain jo olemassa olevaan tuotantoon.

Paikallisuus on tässä yhteydessä rajallinen väite.

Alkuperätakuumarkkina on Euroopan laajuinen. Siksi suomalainen datakeskus voi ostaa alkuperätakuuta toisessa maassa tuotetusta sähköstä ilman, että sähkö virtaa fyysisesti Suomeen. Tämä ei tee hankinnasta automaattisesti virheellistä, mutta väitteet paikallisesta vaikutuksesta on tehtävä varovasti.

Päästöraportoinnissa tarvitaan kaksi näkökulmaa.

GHG Protocol Scope 2 -raportoinnissa käytetään kahta rinnakkaista tapaa.

Verkkoperusteinen laskenta perustuu paikallisen sähköverkon keskimääräiseen päästöintensiteettiin.

Sopimusperusteinen laskenta ottaa huomioon sähkö sopimukset, alkuperätakuut ja muut hankintajärjestelyt.

Datakeskuksen raportoinnissa molemmat on syytä esittää läpinäkyvyyden vuoksi. [27]

Suunnittelun kannalta olennainen ohjauskeino on valita sähkönhankinnan malli, todentamistapa ja raportointiperiaate niin, että väitteet kestävät auditoinnin. "100 % uusiutuva" voi olla joko markkinointiviesti tai teknisesti todennettava väite. Ero syntyy siitä, mitä oikeastaan on hankittu, miten se on todennettu ja mitä väitteellä tarkoitetaan.

8. Yhteenveto

Tämä perusopas on kuvannut vihreän datakeskuksen suunnittelun, rakentamisen ja operoinnin periaatteet Suomessa kuuden teeman kautta.

Lukujen ydinviestit:

1. Johdanto: Vihreä datakeskus ei synny yksittäisestä laitevalinnasta, vaan suunnittelun, rakentamisen ja operoinnin yhteisestä toimintamallista. Jo alussa on päätettävä palvelutarve, mittausrajat, KPI-laskennan periaatteet ja se, miten ratkaisut voidaan myöhemmin todentaa.
2. Datakeskus palvelutuotantojärjestelmänä: Datakeskuksen ympäristövaikutus syntyy koko tehomitoitusketjusta. Vihreys alkaa kuormien mallinnuksesta ja kapasiteettipäätöksistä, ei vasta jäähdytyksen optimoinnista.
3. Tekniset perusteet: Teho, energia ja häviöt ovat fysiikan peruslakeja, joita ei voi kiertää. Pienetkin hyötysuhde-erot sähköketjussa ja IT-laitteissa kertautuvat vuositasolla suuriksi energiamääräksi, ja lähes kaikki käytetty sähkö muuttuu lopulta jäähdytettäväksi lämmöksi.
4. KPI-mittarit ja mittausperiaatteet: Ilman selkeitä mittausrajoja, yhtenäisiä laskentasääntöjä ja riittävän tarkkaa dataa datakeskuksen energiatehokkuutta ei voida vertailla, raportoida eikä kehittää luotettavasti. PUE, WUE, CUE, ERF ja REF muodostavat yhteismitallisen mittariston, jonka avulla vihreys voidaan tehdä todennettavaksi ja ohjattavaksi.
5. Jäähdytys ja hukkalämmön talteenotto: Jäähdytys on usein suurin ei-IT-kuorma. Oikein toteutettu jäähdytys ja hukkalämmön talteenotto voivat muuttaa hukkalämmön hyödykkeeksi (ERF). Suomessa vapaajäähdytyksen potentiaali ja kaukolämpöverkkojen saatavuus luovat erityisiä mahdollisuuksia.
6. Elinkaaren hallinta: Sijaintivalinta määrittää ympäristötehokkuuden käytännön rajat. Modulaarisuus, mittausvalmius ja dokumentointi ovat poikkileikkaavia periaatteita, jotka pitävät elinkaaren vaiheet hallinnassa.
7. Sääntely ja uusiutuva energia: EU:n raportointivelvoitteet edellyttävät mittausjärjestelmää, selkeitä rajoja ja datan laatua. Uusiutuvan energian hankinnassa se, tukeeko hankinta

uuden tuotannon syntymistä, tuntitason vastaavuus ja läpinäkyvä raportointi vahvistavat väitteiden uskottavuutta ja erottavat todennettavat väitteet markkinointiviesteistä.

Energiatehokkuus ei ole yksittäinen tekninen temppu, vaan toimintamalli. Olennaista on asettaa tavoitteet, lukita mittausrajat, tehdä toteutuksesta dokumentoitava ja varmistaa, että kohde on myöhemmin kehitettävissä hallitusti.

8.1 Vähimmäistarkistuslista hankkeelle

Suunnittelu

- Palvelutaso, IT-työkuorma, varmistusperiaate ja kapasiteettimalli on dokumentoitu ennen mitoitusta.
- Sijainti on arvioitu sähkö-, verkko-, ilmasto-, vesi-, hukkalämpö- ja riskikriteereillä.
- Jäähdytysarkkitehtuuri on valittu kuormatiheyden, vedenkäytön ja lämmön talteenoton perusteella.
- Sähkön hankintamalli ja todentamistapa on määritelty ja kytketty raportointiperiaatteisiin.
- Mittausrajat ja vähimmäistunnusluvut on lukittu ennen hankintojen käynnistämistä.

Rakentaminen

- Mittauspisteet on toteutettu, tiedonsiirto käyttöön otettu, ja kokonaisuus testattu sekä dokumentoitu.
- As-built-dokumentaatio, laiteasetukset, rajaukset ja laskentasäännöt on luovutettu vastaanotossa.
- Käyttöön otossa on osoitettu, että PUE/CUE/WUE/ERF/REF voidaan laskea hankkeelle olennaisilta osin.
- BMS- ja DCIM-rajapinnat tukevat myöhempää seuranta- ja raportointia ilman uudelleenrakentamista.

Operointi

- Kohteelle on nimetty vastuuhenkilöt energialle, vedelle, päästöille, lämmön hyödyntämiselle ja raportoinnille.
- Poikkeamien käsittely, kuukausi- tai viikkokatselmointi ja PDCA-malli on sovittu.

- Laitteiden uusiminen, keskittäminen ja kapasiteetin muutos perustuvat mitattuun dataan eivätkä oletuksiin.
- Käyttövarmuutta, energiatehokkuutta ja päästövaikutuksia arvioidaan yhdessä, jotta optimointi ei siirrä ongelmaa toiseen kohtaan.
- Käytöstä poiston ja kiertotalouden periaatteet on otettu osaksi elinkaarisuunnitelmaa jo käyttöaikana.

Tämä perusopas päättyy siihen, että datakeskuksella on tekninen ja dokumentoitu valmius siirtyä käytönaikaiseen optimointiin. Mittausrajat, mittauspisteet, KPI-laskennan säännöt, raportointiperiaatteet, aikaleimat, rajausdokumentit ja käyttöönotossa hyväksyty mittausetju muodostavat perustan, jonka varaan myöhempi analytiikka, optimointi ja todentaminen voidaan rakentaa ilman uusia perusratkaisuja. Menetelmäoppaan tehtävä alkaa tästä: se käyttää tässä oppaassa määriteltyä mittausvalmiutta, KPI-kokonaisuutta ja raportointiperustaa lähtötason muodostamiseen, poikkeamien tunnistamiseen, toimenpiteiden toteuttamiseen sekä vaikutusten ennen–jälkeen-todentamiseen.

8.2 Käyttöönotossa luovutettavat dokumentit ja liitteet

- Mittausrajakartta, mittauspisteluetelo ja mittauspistematriisi (Liitteet 1A., ja 1B.).
- KPI-laskentasäännöt ja raportointiperiaatteet.
- Sähkönhankinnan todennus ja uusiutuvan energian rajausperiaatteet.
- Hukkalämmön rajapintakuvaus, lämpöenergian mittaus ja energiatase.
- Käyttöönoton mittausvarmennus, tarkistuslistat ja vastuutaulukko.

Liite 1A. Datakeskuksen mittauspistematriisi

Mittauspisteet, jotka tarvitaan datakeskuksen suunnitteluun, rakentamiseen, käyttöönottoon, KPI-laskentaan ja raportointivalmiuteen.

Mittaussuure	Tunnus	Tarkoitus	Ensisijainen mittauspiste	Vähimmäisvaatimus	Käyttö
Datakeskuksen kokonaisenergi ankulutus	E_DC	Koko kohteen energiaseuranta sekä PUE-, ERF-, REF- ja CO2e-laskennan perussuure	Datakeskuksen syöttökohta; primääri-, sekundääri- ja lisäsyötöt erikseen	Etäluettava mittaus, synkronoidut aikaleimat, vähintään 15 min tarkkuus, dokumentoitu mittausraja	PUE, ERF, REF, lähtötaso, CO2e-aikasarja
IT-laitteiden energiankulutus	E_IT	IT-kuorman energiankulutuksen mittaus sekä PUE-, WUE-, CUE- ja palvelukohtaisen laskennan perussuure	Ensisijaisesti UPS-lähdössä, vaihtoehtoisesti PDU-tasolla	Vähintään salikohtainen mittaus; tavoitetilassa rivi-, räkki- tai PDU-taso	PUE, WUE, CUE, IT-kuorman seuranta, palvelukohtainen tehokkuus
Jäähdytykseen kuluva energia	E_COOL	Tukikuormien erottelu ja jäähdytyksen optimoinnin todentaminen	Kylmäntuotanto, pumput ja puhaltimet; tarvittaessa alajärjestelmittäin	Samassa aikatasossa kuin E_DC ja E_IT	Jäähdytysanalyysi, PUE, optimoinnin todentaminen
Datakeskukseen tulevan veden määrä	W_IN	Vedenkäytön näkyväksi tekeminen ja WUE-laskenta	Datakeskuksen toimintojen kokonaisvedensyöttö; vähintään jäähdytyksen vesilinja	Oma vesimittaus, sama raportointijakso kuin energiadatalla	WUE, vedenkäytön seuranta
Hyötykäyttöön luovutettu lämpöenergia	E_REUSE	Hukkalämmön hyötykäytön todentaminen ja ERF-laskenta	Lämmönvaihtimen tai muun luovutusrajapinnan kohdalla	Energiamittauksen lisäksi lämpötilataso, virtaus ja käytettävyyys dokumentoidaan	ERF, hukkalämmön seuranta
Uusiutuvan energian kokonaismäärä	E_RES-TOT	Uusiutuvan energian osuuden todentaminen ja REF-laskenta	Dokumentoitu energianhankinnan tietovirta, ei yleensä yksi fyysinen kenttämittari	Hankintamalli, alkuperän todennus ja rajausperiaate dokumentoidaan	REF, raportointi, uusiutuvan energian kohdistus
UPS-häviöt	E_UPS_LOSS	UPS:n hyötysuhteen ja käyttötilan vaikutuksen todentaminen	UPS-syöttö ja UPS-lähtö	Mittaukset samassa aikatasossa	Häviöseuranta, käyttötilan optimointi
Räkkien tai käytävien sisäilman lämpötila	T_IN	Kuumien pisteiden ja olosuhderiskien tunnistaminen	Räkkien sisäänmeno tai käytäväkohtaiset anturit	Useita mittauspisteitä, jatkuva trendi	Jäähdytyksen asetusarvojen optimointi, ilmavirtojen hallinta
Puhallin- ja pumpputehot	P_FAN / P_PUMP	Jäähdytyksen oman sähkönkulutuksen kohdistaminen	Puhaltimien ja pumppujen sähkönsyöttö	Jatkuva mittaus tai luotettava trendidata	Jäähdytyksen optimointi, PUE-analyysi
IT-kuorman korrelaatiodata	esim. CPU, VM, suoritusytöt	IT-energian ja palvelutuotannon yhteyden todentaminen	DCIM-, virtualisointi- tai orkestrointijärjestelmästä	Sama aikataso kuin energiadata tai yhdistettävä siihen	Kuormitusanalyysi, konsolidointi, lähtötason tulkinta

Liite 1B. Menetelmäoppaan täydentävät mittaus- ja lähtötiedot CO₂e-optimointiin

Mittaussuure	Tunnus	Tarkoitus	Ensisijainen mittauspiste	Vähimmäisvaatimus	Käyttö
PDU- tai jakeluketjukohtainen energiankulutus	E_PDU / E_DIST	PDU- ja jakeluketjukohtaisten kuormien ja häviöiden paikantaminen	PDU-lähdöt, jakelukeskukset, räkki- tai käytäväkohtaiset sähköjakelupisteet	Sama aikataso kuin E_DC ja E_IT; mittauspisteiden sijainti dokumentoidaan	PDU-analyysi, jakeluhäviöiden seuranta, kuormanjako, optimointi
Sähkönjakelun häviöt	E_DIST_LOSS	Sähkönjakelun häviöiden erottelu UPS-häviöistä ja muista tukikuormista	Jakeluketjun syöttö- ja lähtöpisteet; tarvittaessa laskennallinen erotus E_DC-, E_IT-, E_COOL- ja UPS-datasta	Laskentasaäntö dokumentoidaan; käytettävä samaa mittausrajaa ennen ja jälkeen muutoksen	Jakeluhäviöiden todentaminen, PUE-analyysi, käyttövarmuuden ja tehokkuuden arviointi
Ulkolämpötila	T_OUT	Sään vaikutuksen huomiointi jäähdytysenergian, lähtötason ja poikkeaman tulkinassa	Sääasema, BMS-järjestelmä tai luotettava paikallinen säädatalähde	Sama aikataso tai laskennallisesti yhdistettävä aikataso kuin energia- ja CO ₂ e-data	Lähtötason normalisointi, jäähdytysanalyysi, sääkorjaus, ennustava analytiikka
Sisäilman suhteellinen kosteus	RH_IN	Jäähdytyksen ja olosuhteiden turvallisuuden seuranta	Sali-, käytävä- tai rakkiympäristön olosuhteanturit	Jatkuva trendi; sallitut raja-arvot dokumentoidaan	Jäähdytyksen optimointi, olosuhteiden hallinta, todentaminen
Jäähdytyksen asetusravot	T_SET / SETPOINT	Ohjausmuutosten yhdistäminen energiankulutuksen ja olosuhteiden muutoksiin	BMS-, DCIM- tai jäähdytysjärjestelmän ohjauslogiikka	Asetusravon muutoshistoria, aikaleima ja hyväksyjä dokumentoidaan	Jäähdytyksen optimointi, toimenpiteiden todentaminen, muutosten jälki
Vapaa jäähdytyksen käyttötila	FREE_COOLING_STATE	Vapaa jäähdytyksen hyödyntämisen ja hyödyntämättömien aikaikkunoiden tunnistaminen	BMS-, jäähdytysjärjestelmä- tai automaattidata	Käyttötila, aikaleima ja mahdollinen eston syy dokumentoidaan	Vapaa jäähdytyksen analyysi, jäähdytysenergian vähentäminen
Jäähdytysveden meno- ja paluulämpötila	T_CHW_SUP / T_CHW_RET	Jäähdytyskuorman, lämpötilaeron ja hukkalämmön hyödyntämisen arviointi	Jäähdytysvesipiirin meno- ja paluupuoli	Jatkuva mittaus tai luotettava trendidata; mittauspisteet dokumentoidaan	Jäähdytysanalyysi, hukkalämmön hyödyntäminen, lämpötilaketjun seuranta
Jäähdytysveden virtaus	FLOW_CHW	Lämpöenergian ja jäähdytyskuorman laskenta, jos energia johdetaan virtauksesta ja lämpötilaerosta	Jäähdytysvesipiiri tai lämmönluovutuksen rajapinta	Virtausmittaus samalla aikatasolla kuin lämpötiladata	Jäähdytyskuorman laskenta, E_REUSE-todentaminen, hukkalämmön analyysi
Sähkön päästökerron aikasarjana	EF_GRID(t)	CO ₂ e-aikasarjan ja vähäpäästöisten aikaikkunoiden muodostaminen	Sähkönmyyjän, kantaverkkoyhtiön, alueellisen päästötietopalvelun tai organisaation hyväksymä päästökertoimen tietolähde	Aikaleimattu aikasarja; sijainti- ja/tai markkinaperusteinen laskentatapa dokumentoidaan	CO ₂ e-aikasarja, CUE, päästöintensiteetin analyysi, hiilitietoinen ajoitus

Muiden energialajien kulutus	E_i(t)	Muun kuin sähköenergian sisällyttäminen CO2e-laskentaan, jos energialaji kuuluu mittausrajaan	Lämpö-, jäähdytys-, höyry- tai polttoainekulutuksen mittauspiste energialajin mukaan	Kulutus, yksikkö, aikajakso ja mittausraja dokumentoidaan	Scope 1- ja Scope 2 -laskenta, energialajikohtainen CO2e-laskenta
Muiden energialajien päästökerroin	EF_i(t)	Energialajikohtaisen CO2e-vaikutuksen laskenta, jos tarkastelu kattaa useita energialajeja	Energialajin toimittajan, raportointiohjeen tai organisaation hyväksymä päästökertoimen tietolähde	Päästökertoimen lähde, yksikkö, aikajakso ja laskentatapa dokumentoidaan	Energialajikohtainen CO2e-laskenta, Scope 1 / Scope 2 -erottelu
Tehopiikki	P_PEAK	Kuormahuippujen, kapasiteettitarpeen ja sähköjaketun mitoitusvaikutusten tunnistaminen	E_DC-, E_IT-, UPS-, PDU- tai jakeluketjudatasta mittausrajan mukaan	Vähintään 15 min tarkkuus; tehopiikin laskentasaäntö dokumentoidaan	Kapasiteettianalyysi, kuormahuiput, sähköjaketun optimointi, lähtötason tulkinta
IT-kuorma aikasarjana	IT_LOAD(t)	Energiankulutuksen, jäähdytyksen ja tukikuormien suhteuttaminen todelliseen IT-kuormaan	DCIM-, virtualisointi-, orkestrointi-, palvelinvalvonta- tai palvelutuotantojärjestelmä	Sama aikataso kuin energiadata tai yhdistettävissä siihen; kuorman määrittelmä dokumentoidaan	Lähtötason normalisointi, jäähdytysanalyysi, käyttöasteen parantaminen, optimointi
Resurssikohtaiset käyttöasteet	UTIL_CPU / UTIL_GPU / UTIL_MEM / UTIL_IO / UTIL_NET	Palvelin-, klusteri- ja palvelukohtaisen käyttöasteen sekä ylikapasiteetin tunnistaminen	Palvelinvalvonta, virtualisointiympäristö, orkestrointijärjestelmä, APM- tai DCIM-järjestelmä	Aikaleimat, resurssipooli ja kohdistussääntö dokumentoidaan	Konsolidointi, automaattinen skaalaus, palvelukohtainen tehokkuus, piirteet mallinnukseen
Asennettu kapasiteetti	C_INST	Teoreettisen enimmäiskapasiteetin ja ylikapasiteetin arviointi	CMDB, DCIM, kapasiteetin hallinta tai palvelinrekisteri	Kapasiteetin yksikkö ja rajaus dokumentoidaan	Ylikapasiteetin tunnistus, mitoituksen arviointi, käyttöasteanalyysi
Aktiivinen kapasiteetti	C_ACT(t)	Sen kapasiteetin tunnistaminen, joka on käytössä tai valmiustilassa ajanhetkellä t	DCIM-, virtualisointi-, orkestrointi- tai kapasiteetin hallintajärjestelmä	Aikaleimattu tieto aktiivisista resursseista; yhdistettävissä IT_LOAD- ja E_IT-dataan	Käyttöasteen parantaminen, konsolidointi, tyhjäkäynnin vähentäminen
Varakapasiteetti	C_RES	Tarpeellisen varakapasiteetin erottaminen tyhjäkäynnistä ja ylilimitoituksesta	Kapasiteetin hallinta, SLA/SLO-dokumentaatio, jatkuvuus- ja varmistussuunnitelmat	Minimitaso ja peruste dokumentoidaan ennen optimointitoimenpiteitä	Käytövarmuus, konsolidoinnin turvarajat, palvelutason säilyminen
Palvelu- tai työkuormatunniste	SERVICE_ID / WORKLOAD_ID	Energian ja CO2e-vaikutuksen kohdistaminen palvelulle, sovellukselle, asiakkaalle tai työkuormalle	Palvelurekisteri, CMDB, orkestrointijärjestelmä, laskutusjärjestelmä tai sovellusvalvonta	Tunniste pysyvä, dokumentoitu ja yhdistettävissä energia- ja kuormadataan	Palvelukohtainen CO2e-analyysi, työkuormien hiilitietoinen ajoitus, päästökohdistus
Palvelusuorite	SERVICE_OUTPU T	Palvelukohtaisen tehokkuuden laskenta suhteessa tuotettuun hyötyyn	Sovellus-, API-, loki-, APM-, laskutus- tai palvelutuotantojärjestelmä	Suorite määritellään pysyvästi; aikajakso ja kohdistussääntö dokumentoidaan	kWh/palvelusuorite, CO2e/palvelusuorite, palvelukohtainen tehokkuus

Työkuorman aikataulu	WORKLOAD_SC HEDULE	Työkuorman ajoituksen ja päästöintensiteetin yhteyden arviointi	Orkestrointi-, ajastus-, CI/CD-, eräajo- tai palvelutuotantojärjestelmä	Aikaleimat, suunniteltu ajoaika ja toteutunut ajoaika dokumentoidaan	Hiilitietoinen ajoitus, vähäpäästöiset aikaikkunat, toteuman todentaminen
Työkuorman määräaika	DEADLINE	Sen arviointi, voidaanko työ siirtää ilman määräaika- tai SLA-riskiä	Työnohjaus-, orkestrointi-, palvelu- tai prosessijärjestelmä	Määräaika, aikavyöhyke ja palvelutasovaatimus dokumentoidaan	Hiilitietoinen ajoitus, SLA-riskin arviointi, siirtopotentiaali
Työkuorman joustoluokka	FLEX_CLASS	Työkuormien luokittelu ei-joustaviin, osittain joustaviin ja joustaviin	Palveluomistajan määrittely, orkestrointijärjestelmä tai työkuormarekisteri	Luokitteluperuste ja hyväksyjä dokumentoidaan	Työkuormien hiilitietoinen ajoitus, optimointipäätökset
Siirtopotentiaali	SHIFT_POTENTIAL	Sen arviointi, kuinka suuri osa kuormasta voidaan siirtää vähäpäästöiseen aikaikkunaan	Työkuormarekisteri, ajastusjärjestelmä, kapasiteettiennuste ja päästökertoimen aikasarja	Laskentasääntö, rajoitteet ja siirron ehdot dokumentoidaan	Hiilitietoinen ajoitus, päästöintensiteetin pienentäminen, skenaariolaskenta
Palvelutason toteuma	SLA_METRIC / SLO_METRIC	Palvelukohtainen CO ₂ e-analyysi, työkuormien hiilitietoinen ajoitus, päästökohdistus	APM-, valvonta-, palvelunhallinta- tai SLA-raportointijärjestelmä	Sama tarkastelujakso kuin optimointitoimenpiteellä; mittari ja raja-arvo dokumentoidaan	Todentaminen, turvarajat, optimointipäätöksen hyväksyntä
Muutos- ja ohjausloki	CHANGE_LOG	Optimointitoimenpiteen, asetusarvomutoksen ja käyttöpäätöksen jäljitettävyyden	Muutoksenhallinta, BMS/DCIM-loki, ITSM-järjestelmä tai automaatioloki	Muutosajankohta, muutuja, uusi arvo, hyväksyjä ja palautusehto dokumentoidaan	Todentaminen, muutostähti, auditointi, ennen-jälkeen-vertailu
Varavoiman polttoaineenkulut	F_BACKUP	Scope 1 -päästöjen huomiointi, jos varavoima kuuluu mittausrajaan	Varavoimakoneen polttoainemittaus, tankkausdata tai käyttöaikaloki	Kulutus, polttoainelaji, käyttöaika ja päästökerroin dokumentoidaan	Scope 1 -laskenta, CO ₂ e-aikasarja, poikkeamatilanteiden raportointi
Kylmäainevuodot tai täyttömäärät	REFR_LEAK / REFR_FILL	Scope 1 -päästöjen huomiointi, jos kylmäaineet kuuluvat mittausrajaan	Huolto raportit, kylmäainekirjanpito, vuodonilmaisuus tai täyttömäärän dokumentaatio	Kylmäainetyyppi, määrä, ajankohta ja päästökerroin dokumentoidaan	Scope 1 -laskenta, jäähdytysjärjestelmän ympäristövaikutus

Lähdeluettelo

- [1] Jin, X., Zhang, F., Vasilakos, A. V., & Liu, Z. (2016). Green data centers: A survey, perspectives, and future directions. arXiv:1608.00687.
- [2] Uddin, M., & Rahman, A. A. (2012). Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers considering green metrics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4078–4094.
- [3] Geng, H. (Ed.). (2015). *Data center handbook*. John Wiley & Sons.
- [4] CENELEC. Information technology — Data centre facilities and infrastructures — Part 4: Key performance indicators (EN 50600-4). European Committee for Electrotechnical Standardization.
- [5] Wang, J., Palanisamy, B., & Xu, J. (2020). Sustainability-aware resource provisioning in data centers. In 2020 IEEE 6th International Conference on CIC (pp. 60–67). IEEE.
- [6] Whitney, J., & Delforge, P. (2014). *Data center efficiency assessment: Scaling up energy efficiency across the data center industry*. NRDC & Anthesis.
- [7] Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. W. H. Freeman.
- [8] Barroso, L. A., & Hölzle, U. (2007). The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12), 33–37.
- [9] Shehabi, A., et al. (2016). *United States data center energy usage report*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [10] Masanet, E., et al. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481), 984–986.
- [11] Andrae, A. S. G., & Edler, T. (2015). On global electricity usage of communication technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6(1), 117–157.
- [12] Evans, R., & Gao, J. (2016). DeepMind AI reduces Google data centre cooling bill by 40%. *Google DeepMind Blog*.
- [13] LVM. (2020). *The ICT sector, climate and the environment – Interim report*. Ministry of Transport and Communications, Finland.
- [14] Elavarasi, J., et al. (2025). Green data centers: Advancing sustainability in the digital era. *IEEE ICTMIM-2025*.
- [15] Sabree, R. M. S. (2025). Achieving sustainability in computing by minimizing data center carbon footprints. *Journal of Information Processing and Management*.

- [16] ISO/IEC 30134-2:2026. Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 2: Power usage effectiveness (PUE).
- [17] ISO/IEC 30134-6:2021. Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 6: Energy Reuse Factor (ERF).
- [18] ISO/IEC 30134-8:2022. Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 8: Carbon usage effectiveness (CUE).
- [19] ISO/IEC 30134-9:2022. Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 9: Water usage effectiveness (WUE).
- [20] EVS-EN 50600-4-2:2022. Information technology – Data centre facilities and infrastructures – Part 4-2: Power Usage Effectiveness.
- [21] EVS-EN 50600-4-3:2022. Information technology – Data centre facilities and infrastructures – Part 4-3: Renewable Energy Factor.
- [22] ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use.
- [23] ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use.
- [24] ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases — Part 1: Specification for quantification and reporting of GHG emissions and removals.
- [25] European Union. (2023). Directive (EU) 2023/1791 on energy efficiency (EED recast).
- [26] European Commission. (2024). Delegated Regulation (EU) 2024/1364 supplementing Directive (EU) 2023/1791.
- [27] Greenhouse Gas Protocol. (2015). Scope 2 Guidance. WRI & WBCSD.
- [28] European Union. (2022). Directive (EU) 2022/2464 on corporate sustainability reporting (CSRD).
- [29] Schneider Electric. (2013). Fundamentals of Managing the Data Center Life Cycle for Owners.
- [30] Whitehead, B., Andrews, D., & Shah, A. (2015). The life cycle assessment of a UK data centre. *IJLCA*, 20, 332–349.
- [31] Vanderbauwhede, W., & Wadenstein, M. (2025). Life Cycle Analysis for Emissions of Scientific Computing Centres. *arXiv:2506.14365*.
- [32] Manganelli, M., et al. (2021). Towards the energy efficient and sustainable data center. *Sustainability*, 13(15), 8332.
- [33] Li, H., et al. (2025). Data center waste heat for district heating networks: A review. *RSER*, 219, 115863.
- [34] Climate Neutral Data Centre Pact. <https://www.climateneutraldatacentre.net>



[35] EU Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency. European Commission JRC.

[36] Uptime Institute. (2018). Tier Standard: Topology.

[37] Sharma, P., et al. (2017). Design and operational analysis of a green data center. IEEE Internet Computing, 21(4), 16–24.

[38] Barroso, L. A., Hölzle, U., & Rangan, P. (2013). The datacenter as a computer. Morgan & Claypool.

[39] Bilal, K., et al. (2014). A taxonomy and survey on green data center networks. FGCS, 36, 189–208.

VISIIRI – Vihreän siirtymän ICT-ekosysteemi

Green ICT -hanke VISIIRI luo kokonaiskuvan Suomen ICT-alan vaikutuksista ilmastoon ja ympäristöön. Hanke tukee ICT-alan vihreää siirtymää yhdistämällä alan toimijat valtakunnalliseen ekosysteemiin, joka mahdollistaa parhaiden käytäntöjen jakamisen ja suomalaisen teollisuuden ja akateemisten toimijoiden kohtaamisen.

Hanke kehittää menetelmiä ICT-alan ympäristövaikutusten mittaamiseen ja tuottaa ympäristötietoisuutta lisääviä koulutusmateriaaleja yritysten käyttöön. Ympäristötietoisuuden lisääminen pienentää ICT-alan hiilijalanjälkeä, ja samaan aikaan kädenjälki suurenee. Samalla vihreä bisnes luo Suomeen edelläkävijyyttä, joka avaa mahdollisuuksia kansainvälisillä markkinoilla.

Rahoitus

Hanke on saanut rahoitusta vihreän siirtymän valtakunnallisesta EAKR-teemakokonaisuudesta. Rahoitus on myönnetty Pohjois-Suomen elinvoimakeskuksen kautta.

Hankeaika

01.04.2024–31.05.2026

Lisätietoja

tieke.fi/green-ict-visiiri