

Menetelmäopas datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen optimointiin mittausdatan avulla



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

Sisällysluettelo

Menetelmäopas datakeskuksen käytönaikaisen CO ₂ e-vaikutuksen optimointiin mittausdatan avulla.....	1
Lyhenteet ja symbolit.....	5
Tiivistelmä.....	7
1 Johdanto ja oppaan käyttö.....	9
1.1 Oppaan tarkoitus.....	9
1.2 Kohderyhmä.....	10
1.3 Oppaan rajaus.....	10
1.4 CO ₂ e-optimoinnin menetelmäketju.....	11
1.5 Oppaan viisi työvaihetta.....	12
1.6 Näin käytät opasta.....	13
2. Mittausvalmius ja rajaus.....	15
2.1 Luvun tarkoitus.....	15
2.2 Optimoitava kokonaisuus.....	16
2.3 Keskeiset mittauspisteet.....	17
2.4 Mittausdata ja tietolähteet.....	17
2.5 Raa'an mittausdatan vähimmäisvaatimukset.....	18
2.6 Mittausvalmius eri optimointireiteissä.....	19
2.7 Luvun tuotos: hyväksytty mittausvalmius.....	20
3. Laskentadata ja CO ₂ e-laskenta.....	23
3.1 Luvun tarkoitus.....	23
3.2 Raaka mittausdata.....	23
3.3 Laskentadatan muodostaminen.....	24
3.4 CO ₂ e-vaikutuksen peruskaava.....	24
3.5 Scope 1- ja Scope 2 -päästöt.....	26

3.6 CO ₂ e-aikasarja ja laskentatulokset	27
3.7 Tunnuslukujen muodostaminen ja suhde mallidataan	28
3.8 Luvun tuotos	28
4. Lähtötaso, toteuma ja poikkeama.....	31
4.1 Lähtötason, toteuman ja poikkeaman perusajatus.....	31
4.2 Miksi vertailutapa on datakeskuksessa tärkeä.....	31
4.2.1 Normalisoinnin muuttujat ja dokumentointi.....	32
4.3 Luvun tuotos: laskettu poikkeama ja arvioitu energia- tai CO ₂ e-vaikutus.....	33
5. Tunnuslukujen tulkinta ja data-analyysi	35
5.1 Tunnuslukujen rooli CO ₂ e-optimoinnissa.....	35
5.2 Miten tunnusluvut ohjaavat käytännön analyysiä	36
5.3 Miten tunnuslukuja luetaan käytännössä.....	37
5.4 Luvun tuotos: tunnistettu optimointikohde.....	38
6. Optimointi, tekoäly ja todentaminen	41
6.1 Luvun tarkoitus.....	41
6.2 Optimoinnin paikka menetelmäketjussa	42
6.3 Tavoitteen asettaminen CO ₂ e-vaikutuksen optimoinnissa.....	43
6.4 Tekoälymenetelmät ja datakerrokset	44
6.5 Menetelmät optimointireiteittäin.....	46
6.6 Laskentasäännöt ja raportoinnin rajat.....	49
6.7 Dokumentoidun optimointipäätöksen vähimmäisisältö.....	49
7. Menetelmäkortit CO ₂ e-optimointiin	53
7.1 Energiankulutuksen vähentämisen menetelmäkortit	55
7.1.1 Jäähdytysenergian vähentäminen.....	55
7.1.2 IT-kuorman käyttöasteen parantaminen.....	56
7.1.3 UPS-, PDU- ja jakeluhäviöiden pienentäminen	58
7.2 Päästöintensiteetin pienentämisen menetelmäkortit	59

7.2.1 Uusiutuvan sähkön hyödyntäminen.....	59
7.2.2 Vähäpäästöisten ajankohtien hyödyntäminen.....	60
7.2.3 Työkuormien ajoitus päästöintensiteetin perusteella	62
7.3 Palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamisen menetelmäkortti.....	63
7.3.1 CO ₂ e palvelusuoritetta kohti	63
8. Menetelmäkortilla saavutetun CO ₂ e-vähennyksen mittaaminen ja raportointi	66
8.1 Laskentaperiaate.....	66
8.2 Menetelmäkortin mukaiset todentamissuureet	67
8.3 Raportointiehtot.....	68
8.4 Raportoitava tulos	68
8.5 Loppuhuomio	69

Lyhenteet ja symbolit

BMS	rakennusautomaatiojärjestelmä
CO ₂ e	hiilidioksidiekvivalentti; eri kasvihuonekaasujen ilmastovaikutuksen yhteismitallinen suure
CPU	prosessori
CUE	CO ₂ e-vaikutuksen suhde IT-energiaan (Carbon Usage Effectiveness)
DCIM	datakeskuksen infrastruktuurin hallintajärjestelmä (Data Center Infrastructure Management)
E_AUX	apu- ja tukijärjestelmien energiankulutus mittausrajalla
E_COOL	jäähdytysjärjestelmien energiankulutus mittausrajalla
E_DC	datakeskuksen sähköperäinen kokonaisenergiankulutus mittausrajalla
E_IT	IT-laitteiden energiankulutus
EF_GRID(t)	sähköverkon päästökerroin ajanhetkellä t
EF_i(t)	energiälähteen i päästökerroin ajanhetkellä t
E_REUSE	hyötykäyttöön luovutettu energia, esimerkiksi hukkalämpö
E_RES-TOT	uusiutuvan energian kokonaismäärä, joka kohdistetaan datakeskukseen
ERF	energian uudelleenkäytön tunnusluku (Energy Reuse Factor)
gCO ₂ e	grammaa hiilidioksidiekvivalenttia
kgCO ₂ e	kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia
GHG	kasvihuonekaasu (Greenhouse Gas)
GPU	grafiikkaprosessori; laskenta- tai tekoälykuorman suoritusyksikkö
IPMVP	energiansäästön todentamisen yleinen menetelmäkehys (International Performance Measurement and Verification Protocol)
I/O	syöte- ja tulosteoperaatiot; datan luku- ja kirjoituskuorma
IT	tietotekniikka / IT-laitteisto
IT_LOAD	IT-kuorma tai käyttöaste tarkastelujaksolla
KPI	tunnusluku (Key Performance Indicator)
PDU	sähkönjakeluyksikkö (Power Distribution Unit)
P_PEAK	huipputeho tarkastelujaksolla
PUE	datakeskuksen kokonaisenergian suhde IT-energiaan (Power Usage Effectiveness)
REF	uusiutuvan energian osuus datakeskuksen energiasta (Renewable Energy Factor)
SERVICE_ID	palvelun yksilöivä tunniste

SLA	palvelutasosopimus tai palvelutasoraja
Scope 1	suorat päästöt, esimerkiksi polttoaineet ja kylmäaineet datakeskuksessa
Scope 2	ostoenergian epäsuorat päästöt, kuten sähkö ja lämpö
T_IN	sisälämpötila tai mittausrajasta riippuva datakeskuksen tulo-/paluu-ilman lämpötila
T_OUT	ulkolämpötila
UPS	keskeytymätön sähkönsyöttö (Uninterruptible Power Supply)
W_IN	datakeskukseen tulevan veden määrä, esimerkiksi jäähdytykseen käytettävä vesi
WORKLOAD_ID	työkuorman yksilöivä tunniste
WUE	vedenkäytön suhde IT-energiaan (Water Usage Effectiveness)

Keskeiset menetelmäkäsitteet

Piirre

Mallidataan sisältyvä syötetieto, joka on muodostettu mittausdatasta, laskentadatasta tai muusta dokumentoidusta lähteestä. Sitä käytetään käyttötilanteen ja CO₂e-vaikutuksen ennustamiseen, luokitteluun tai optimointiin.

Normalisoitu lähtötaso

Laskennallinen tai mallinnettu vertailuarvo, joka kuvaa, mikä energiankulutus tai CO₂e-vaikutus olisi ollut toteumajakson olosuhteissa ilman toimenpidettä.

Laskentadata

Laadunvarmistettu ja aikakohdistettu aineisto, josta raportoitava CO₂e-vaikutus lasketaan.

Mallidata

Mallin koulutusta, testausta, validointia ja optimointia varten valmisteltu aineisto, joka sisältää mallin käyttämät piirteet ja tarvittaessa tavoitemuuttujat. Sitä ei käytetä sellaisenaan raportoitavaan CO₂e-laskentaan.

Tiivistelmä

Julkaisun nimi

Menetelmäopas datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen optimointiin mittausdatan avulla

Tekijät

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

Julkaisuvuosi

2026

Tämä opas on Green ICT -ammattilaisille tarkoitettu menetelmäopas, joka näyttää vaihe vaiheelta, miten datakeskuksen mittausdatasta tehdään ymmärrettävä kuva käytönaikaisesta CO₂e-vaikutuksesta ja miten sitä voidaan käytännössä pienentää.

Oppaan ydinkontribuutio on yhdistää mittausdata, CO₂e-laskenta ja optimointipäätökset yhdeksi menetelmäksi: mittausdatasta muodostetaan CO₂e-aikasarja, määritetään vertailukelpoinen lähtötaso ja toteuma, erotellaan raaka mittausdata, laskentadata ja mallidata sekä hyödynnetään kolmea optimointireittiä energiankulutuksen vähentämiseen, päästöintensiteetin pienentämiseen ja palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamiseen.

Tekoäly rajataan oppaassa päätöksenteon tueksi: se voi tuottaa luokituksia, ennusteita ja suosituksia, mutta raportoitava CO₂e-vaikutus lasketaan aina hyväksytystä laskentadatasta, ei mallin sisäisistä arvoista.

Menetelmäkortit auttavat viemään analyysin käytännön toimenpiteiksi, turvarajoiksi, todentamissuureiksi ja raportointiehdoksi niin, että CO₂e-vaikutuksen pienentymisen voi osoittaa luotettavasti.

Keywords – Data centers, CO₂e emissions, energy efficiency, data analysis, environmental sustainability, key performance indicators, automation, artificial intelligence.

1

Johdanto ja oppaan käyttö

VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

1 Johdanto ja oppaan käyttö

Datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen optimoinnissa tavoitteena on tunnistaa, missä vaikutus syntyy ja millä toimenpiteillä sitä voidaan pienentää luotettavasti. Tämä menetelmäopas kuvaa, miten mittausdataa käytetään datakeskuksen CO₂e-vaikutuksen analysointiin, optimointiin ja todentamiseen.

Opas etenee viitenä työvaiheena. Ensin määritetään tarkastelun mittausraja ja varmistetaan mittaus- ja lähtötietojen laatu. Sen jälkeen raaka mittausdata muunnetaan laskentadataksi, josta muodostetaan CO₂e-aikasarja ja keskeiset tunnusluvut. Tunnuslukujen avulla tunnistetaan optimointikohteet, valitaan toimenpiteet ja todennetaan niiden vaikutus vertailukelpoisesta laskentadatasta samalla mittausrajalla ja samoilla laskentasäännöillä.

Oppaan keskeinen periaate on vertailukelpoisuus. CO₂e-vaikutuksen pienentyminen voidaan raportoida vain, jos vaikutus osoitetaan samalla mittausrajalla, samalla laskentasäännöllä ja sovitulla vertailutavalla [L3, L10]. Muussa tapauksessa tulos kirjataan havaintona, kehityskohteena tai kokeiluna.

1.1 Oppaan tarkoitus

Tämän oppaan tarkoitus on tukea datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen pienentämistä mittausdatan avulla. CO₂e tarkoittaa hiilidioksidiekvivalenttia, jossa eri kasvihuonekaasujen ilmastovaikutukset muunnetaan yhteiseen yksikköön [L1].

Oppaan painopisteenä on käytönaikainen optimointi: datakeskuksen toiminnan, energiankulutuksen ja työkuormien ajoituksen parantaminen käytön aikana. Opas ei käsittele rakentamisen päästöjä, IT-laitteiden valmistuksen ja toimitusketjun elinkaaripäästöjä eikä muita laajoja vastuullisuusteemoja, joihin tarvitaan erilliset laskentamenetelmät.

Menetelmä etenee mittaus- ja lähtötietojen varmistamisesta laskentadatan muodostamiseen, CO₂e-aikasarjan ja tunnuslukujen tuottamiseen, analyysiin, optimointipäätökseen ja vaikutuksen todentamiseen. Oppaan tavoitteena on ehkäistä sellaiset CO₂e-vaikutuksen pienentymisen väitteet, jotka eivät perustu vertailukelpoiseen dataan. Jos mittausraja,

laskentasääntö tai vertailutapa muuttuu, tulos kirjataan havaintona, kehityskohteena tai kokeiluna, ei todennettuna CO₂e-vaikutuksen pienentymisenä. Ensimmäinen tavoite on muodostaa hyväksytty mittausraja, laskentadata ja CO₂e-aikasarja.

Tässä oppaassa optimoinnin käyttötavoite on datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen pienentäminen mittausdatan avulla. Tavoitetta ei aseteta aluksi määrällisenä vähennyslupauksena, jos datakeskuksen lähtötaso ei vielä tunneta. Ensin muodostetaan hyväksytystä laskentadatasta CO₂e-aikasarja ja tunnistetaan, mihin vaikutuksen osaan mittausdata riittää. Tämän jälkeen varsinainen optimointitavoite kohdistetaan energiankulutuksen vähentämiseen, päästöintensiteetin pienentämiseen tai palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamiseen.

1.2 Kohderyhmä

Opas on tarkoitettu datakeskuksen energiatehokkuuden, CO₂e-vaikutusten ja mittausdatan parissa työskenteleville asiantuntijoille ja vastuuhenkilöille. Kohderyhmään kuuluvat erityisesti Green ICT -asiantuntijat, datakeskuksen operatiiviset vastuuhenkilöt, energia-asiantuntijat, vastuullisuusasiantuntijat, IT-palveluiden omistajat sekä IT-, vastuullisuus- ja liiketoimintajohdon edustajat.

Opas sopii lukijalle, joka haluaa käyttää mittausdataa datakeskuksen CO₂e-vaikutuksen analysointiin, optimointiin ja todentamiseen. Sisältö keskittyy operatiiviseen päätöksentekoon, käytönaikaiseen optimointiin ja vaikutusten todentamiseen, ei laajaan vastuullisuusraportointiin eikä rakentamisen päästöihin.

1.3 Oppaan rajaus

Opas käsittelee datakeskuksen käytönaikaista CO₂e-vaikutusta. Käytönaikainen vaikutus syntyy datakeskuksen energiankulutuksesta, käytetyn energian päästökertoimista sekä siitä, miten eri palvelu- ja laskentakuormat vaikuttavat kokonaisuuteen.

Tarkastelu kattaa datakeskuksen käytön aikaiset energiavirrat, kuten IT-laitteiden energiankulutuksen, jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen ja sähköjakelun häviöt.

Työkuormien ajoitus vaikuttaa CO₂e-vaikutukseen silloin, kun energian päästöintensiteetti vaihtelee ajallisesti [L12, L13].

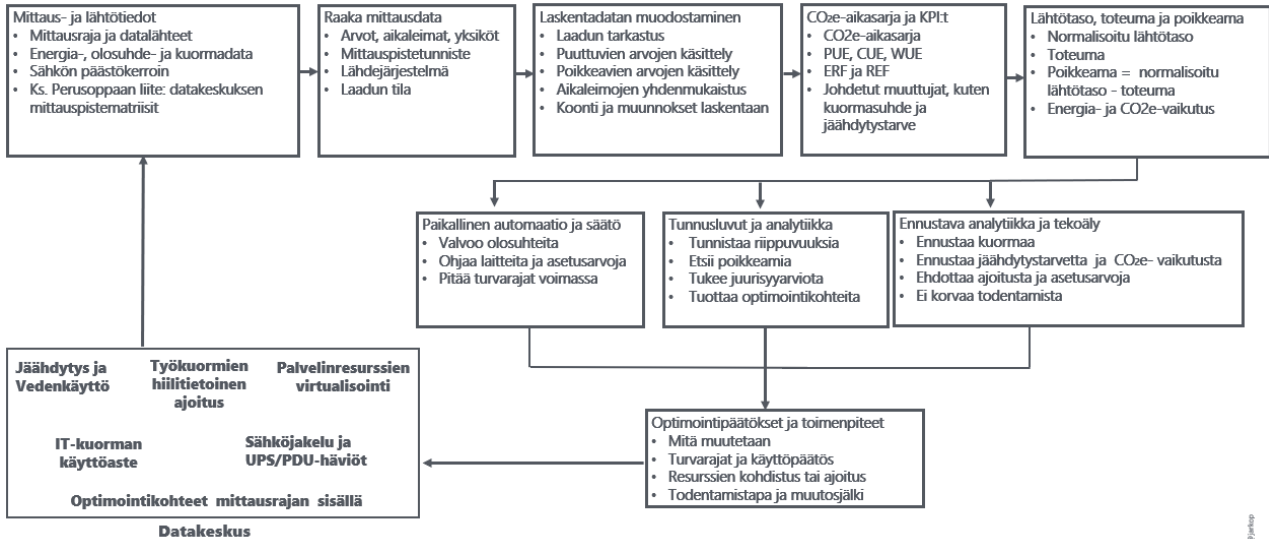
Rajaus on tarpeen, koska kaikki vastuullisuusteemat eivät ratkea samalla menetelmällä. Rakentamisen päästöt, laitehankinnat ja toimitusketjut vaativat omat laskentamenetelmänsä. Tämä opas keskittyy siihen osaan CO₂e-vaikutuksesta, johon datakeskuksen operatiivinen toiminta voi vaikuttaa käytön aikana.

1.4 CO₂e-optimoinnin menetelmäketju

CO₂e-optimoinnin menetelmäketju kuvaa työjärjestyksen mittausdatasta todennettavaan vaikutukseen. Ketju etenee seuraavasti:

1. Mittaus- ja lähtötiedot. Määritetään, mitä datakeskuksessa mitataan ja mitä lisätietoja, kuten päästökertoimia, kuormitustietoja ja olosuhdetietoja, laskenta tarvitsee.
2. Raaka mittausdata. Säilytetään mittausjärjestelmien tuottama alkuperäinen data muuttumattomana ja yhdistetään siihen tarvittavat lähdetiedot.
3. Laskentadata. Muodostetaan tarkistettu ja aikakohdistettu aineisto, jossa yksiköt, aikaleimat ja laadun tila ovat yhtenäiset.
4. CO₂e-aikasarja ja tunnusluvut. Lasketaan datakeskuksen CO₂e-vaikutuksen aikasarja ja muodostetaan keskeiset tunnusluvut, jotka tukevat analyysiä.
5. Lähtötaso, toteuma ja poikkeama. Määritetään vertailutapa, jolla optimointitoimenpiteen vaikutus erotetaan muista muutoksista.
6. Optimointipäätökset ja toimenpiteet. Valitaan analyysin perusteella optimointipäätös ja kuvataan mahdollinen toimenpide, joka kohdistuu esimerkiksi jäähdytykseen, työkuormien ajoitukseen tai sähköjakelun häviöihin.
7. Todentaminen. Osoitetaan vaikutus vertaamalla toteumaa lähtötasoon samalla mittausrajalla ja samalla laskentasäännöllä.

Kuvassa 1 esitetään tämä menetelmäketju tiivistettynä.



Kuva 1. Menetelmäketju datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen optimointiin.

Jokainen vaihe tarvitsee edellisen vaiheen tulokset. Jos mittausdata on puutteellista tai epäluotettavaa, myöskään laskentadata, analyysi, optimointipäätökset ja todentaminen eivät ole riittävän luotettavia.

1.5 Oppaan viisi työvaihetta

Oppaan rakenne perustuu viiteen peräkkäiseen työvaiheeseen:

1. Mittausvalmius ja rajaus. Varmistetaan, mitä osia datakeskuksesta mitataan ja mitä mittaus- ja lähtötietoja CO₂e-laskenta tarvitsee.
2. Laskentadatan muodostaminen ja CO₂e-laskenta. Raaka mittausdata muunnetaan laskentadataksi, josta muodostetaan CO₂e-aikasarja ja keskeiset tunnusluvut.
3. Lähtötaso, toteuma ja poikkeama. Määritetään vertailutapa, jolla optimointitoimenpiteen vaikutus erotetaan esimerkiksi kuorman, sään ja päästökertoimen muutoksista.
4. Tunnuslukujen tulkinta ja data-analyysi. Tunnistetaan merkittävimmät CO₂e-vaikutukseen vaikuttavat tekijät, poikkeamat ja mahdolliset optimointikohteet.
5. Optimointi, tekoäly ja todentaminen. Muutetaan analyysissä tunnistettu optimointikohde dokumentoiduksi optimointipäätökseksi, arvioidaan mahdollisen tekoälytuen rooli ja määritetään, miten toimenpiteen vaikutus todennetaan.

1.6 Näin käytät opasta

Oppaan luvut noudattavat edellä kuvattua työjärjestystä:

Luku 2: Mittausvalmius ja rajaus

Luku 3: Laskentadata ja CO₂e-laskenta

Luku 4: Lähtötaso, toteuma ja poikkeama

Luku 5: Tunnuslukujen tulkinta ja data-analyysi

Luku 6: Optimointi, tekoäly ja todentaminen

Näiden jälkeen luku 7 kokoaa optimointikohteet käytännön menetelmäkorteiksi ja luku 8 kuvaa, miten menetelmäkortilla saavutettu CO₂e-vaikutuksen pienentyminen mitataan, todennetaan ja raportoidaan.

Suosittelun lukujärjestys on luvut 2–8 tässä järjestyksessä.

Käytännössä opasta käytetään työketjuna: ensin varmistetaan mittausraja, mittauspisteet ja datalähteet, sen jälkeen muodostetaan hyväksytty laskentadata ja CO₂e-aikasarja. Tunnuslukujen ja data-analyysin avulla tunnistetaan optimointikohteet, joista tehdään dokumentoitu optimointipäätös. Tämän jälkeen valitaan sopiva menetelmäkortti, toteutetaan toimenpide sovittujen turvarajojen sisällä ja todennetaan vaikutus vertaamalla toteumaa normalisoituun lähtötasoon samalla mittausrajalla ja laskentasäännöllä. Jos edellytykset eivät täyty, tulos kirjataan havaintona, kokeiluna tai jatkoselvityksenä, ei todennettuna CO₂e-vaikutuksen pienentymisenä.

2

Mittausvalmius ja rajaus



VISIIRI.



European unionin
osarahoittama

2. Mittausvalmius ja rajaus

2.1 Luvun tarkoitus

Mittausvalmius määrittää, mitä CO₂e-optimointimenetelmiä datakeskuksessa voidaan käyttää. Tämän luvun tarkoitus on varmistaa, että mittausraja, mittauspisteet, datalähteet, aikaleimat, yksiköt ja datan laatu riittävät myöhempään CO₂e-laskentaan, analyysiin, optimointiin ja vaikutusten todentamiseen.

Tässä menetelmäoppaassa ei määritellä kaikkia mittauspisteitä uudelleen. Lähtökohtana on, että Green ICT -oppaan vihreän konesalin rakentamista koskevassa osassa ja sen liitteessä Datakeskuksen mittauspistematriisi on jo kuvattu keskeiset mittauspisteet, mittautunnisteet, yksiköt, datalähteet ja käyttötarkoitukset. Tässä luvussa mittauspisteitä tarkastellaan vain siltä osin kuin ne vaikuttavat CO₂e-laskentaan, analyysiin, optimointiin ja todentamiseen.

Kuvan 1 laatikko Mittaus- ja lähtötiedot kuvaa tämän luvun dataperustaa. Oppaassa oletetaan, että keskeiset energiavirrat, vedenkulutus, hyötykäyttöön luovutettu energia ja datakeskukseen kohdistettu uusiutuva energia ovat mitattavissa tai dokumentoidusti johdettavissa.

Jos jokin vaadittava mittaussuure, aikaresoluutio tai mittauspiste ei ole tässä oppaassa tarkemmin määritelty, tieto tarkistetaan edellä mainitusta mittauspistematriisista tai merkitään "ei määritelty".

Käytännön esimerkki

Jos datakeskuksesta mitataan E_DC (kokonaisenergiankulutus) ja E_IT (IT-laitteiden energiankulutus), mutta sähkön päästökerrointa ei ole saatavilla, tilannetta voidaan analysoida energiatehokkuuden kannalta, mutta kuormia ei voida ajoittaa päästöintensiteetin perusteella CO₂e-vaikutuksen pienentämiseksi. Jos lisäksi puuttuu palvelun tunniste SERVICE_ID, palvelukohtaista CO₂e-vaikutusta ei voida laskea luotettavasti. Tällöin analyysi jää kokonais-

tai järjestelmätasolle. Mittausvalmius määrittää siis suoraan, millä keinoin optimointi on mahdollista.

2.2 Optimoitava kokonaisuus

Ensin määritetään kokonaisuus, jota optimoidaan. Tässä oppaassa optimoitava kokonaisuus on datakeskuksen käytönaikainen CO₂e-vaikutus sovitun mittausrajan sisällä.

Mittausrajan hyväksyminen on myös CO₂e-optimointitavoitteen asettamisen ehto. Ennen mittausrajan hyväksymistä voidaan asettaa vain selvitystavoite: muodostaa datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen laskentaperusta. Kun mittausraja on hyväksytty, tavoite kirjataan tämän rajauksen sisällä mitattavana CO₂e-vaikutuksena ja sitä selittävänä operatiivisena suureena.

Mittausrajaan kuuluvat ne sähköenergian kulutuskohteet, lämpöenergiavirrat, laitteet ja järjestelmät, jotka organisaatio on päättänyt sisällyttää käytönaikaiseen tarkasteluun ja datakeskuksen kokonaisenergiankulutukseen eli E_DC:hen. Rajauksen pitää pysyä samana laskennassa, analyysissä, optimoinnissa ja todentamisessa. Jos mittausraja muuttuu, tuloksia ei voi vertailla suoraan.

Rajauksen ulkopuolelle jäävät esimerkiksi rakentamisen päästöt, IT-laitteiden valmistus- ja toimitusketjun elinkaaripäästöt sekä muut vastuullisuusteemat, joita ei ole päätetty sisällyttää tämän oppaan operatiiviseen tarkasteluun. Ne voidaan käsitellä muissa laskelmissa, mutta niitä ei sekoiteta käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen arviointiin.

Mittausraja dokumentoidaan ennen analyysiä. Dokumentaatioissa kirjataan vähintään:

- mitkä sähköenergian kulutuskohteet, lämpöenergiavirrat ja muut energiavirrat sisältyvät E_DC:hen
- mitkä energiavirrat ja kohteet jäävät laskennan ulkopuolelle
- rajauksen versio, hyväksymisajankohta ja vastuhenkilö
- mahdolliset rajaukseen tehdyt muutokset ja niiden perustelut.

Näin voidaan myöhemmin osoittaa, että vaikutusarvio perustuu samaan tarkastelukokonaisuuteen ennen optimointitoimenpidettä ja sen jälkeen.

2.3 Keskeiset mittauspisteet

Datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen optimoinnin kannalta keskeiset mittauspisteet ovat datakeskuksen kokonaisenergiankulutus, IT-laitteiden energiankulutus, jäähdytyksen energiankulutus, vedenkulutus, hyötykäyttöön luovutettu energia ja uusiutuvan energian määrä.

E_DC kuvaa datakeskuksen kokonaisenergiankulutusta mittausrajan sisällä. E_IT kuvaa IT-laitteiden sähköenergiankulutusta. E_COOL kuvaa jäähdytyksen energiankulutusta. W_IN kuvaa datakeskukseen tulevan veden määrää. E_REUSE kuvaa hyötykäyttöön luovutettua energiaa, kuten hukkalämpöä. E_RES-TOT kuvaa datakeskukseen kohdistettua uusiutuvaa energiaa valitun laskentatavan mukaisesti.

Näiden lisäksi CO₂e-vaikutuksen optimointi tarvitsee usein seuraavat täydentävät muuttujat ja tunnisteet:

- EF_GRID(t), sähkön päästökerroin ajanhetkellä t
- T_OUT, ulkolämpötila
- P_PEAK, tarkastelujakson huipputeho
- IT_LOAD, IT-kuormaa tai käyttöastetta kuvaava tieto
- SERVICE_ID, palvelun tunniste
- WORKLOAD_ID, työkuorman tunniste.

Palvelukohtainen tai työkuormakohtainen analyysi edellyttää, että energia- ja CO₂e-laskentatiedot voidaan yhdistää ainakin SERVICE_ID- tai WORKLOAD_ID-tunnisteeseen. Muussa tapauksessa analyysi jää datakeskuksen kokonais- tai järjestelmätasolle.

2.4 Mittausdata ja tietolähteet

Mittausdata voi tulla useasta lähteestä. Tyypillisiä lähteitä ovat energiamittarit, rakennusautomaatiojärjestelmä, datakeskuksen infrastruktuurin hallintajärjestelmä, sähkönjakeluyksiköt, UPS-järjestelmät, virtualisointiympäristöt, orkestrointijärjestelmät ja palvelurekisterit.

Rakennusautomaatiojärjestelmä eli BMS tuottaa yleensä jäähdytykseen, lämpötilaan, kosteuteen ja kiinteistötekniikkaan liittyvää dataa. Datakeskuksen infrastruktuurin hallintajärjestelmä eli DCIM voi yhdistää energia-, kapasiteetti-, tila- ja laitetietoja. PDU-laitteiden (Power Distribution Unit) ja UPS-järjestelmien data auttaa tarkentamaan IT-energian ja sähköjakelun häviöiden analyysiä.

Jokaisesta datalähteestä tai lähdejärjestelmästä kirjataan vähintään:

- mitä tietoa lähde toimittaa laskentaan
- mikä mittauksen yksikkö on
- mikä aikaresoluutio on käytössä
- kuka vastaa datan laadusta
- miten tieto siirtyy laskenta-aineistoon
- onko arvo suoraan mitattu, järjestelmästä johdettu, laskennallisesti täydennetty vai manuaalisesti lisätty.

Datalähteiden ja lähdejärjestelmien dokumentointi on auditointikelpoisuuden ehto. Tuloksesta pitää voida palata alkuperäiseen mittausdataan. Jos datalähteen alkuperä, muokkaushistoria tai vastuutaho puuttuu, tulosta ei pidä käyttää CO₂e-vaikutuksen pientymisen todentamiseen ilman lisäselvitystä.

2.5 Raa'an mittausdatan vähimmäisvaatimukset

Raa'an mittausdatan vähimmäisvaatimukset määrittävät, voidaanko mittaus- ja lähtötiedoista muodostaa myöhemmin laskentadataa. Raaka mittausdata tarkoittaa mittausjärjestelmästä saatua alkuperäistä arvoa ennen laskentaa varten tehtäviä koonteja, suodatuksia tai muunnoksia.

Jokaisesta mittausarvosta pitää olla saatavilla vähintään

- aikaleima
- mittauspistetunniste
- mittauksen arvo
- yksikkö

- lähdejärjestelmä
- laadun tila.

Laadun tila kertoo, onko arvo mitattu, arvioimalla täydennetty, korjattu vai puuttuva. Aikaleima tarvitaan, jotta energiankulutus, kuormadata, olosuhdetieto ja sähkön päästökerroin voidaan yhdistää samalle aikatasolle. Yksikkö tarvitaan, jotta sähköenergia, lämpöenergia, teho, lämpötila, vedenkulutus ja päästökerroin eivät sekoitu laskennassa. Laadun tila tarvitaan, jotta puuttuvia tai arvioimalla täydennettyjä arvoja ei käsitellä samalla tavalla kuin suoraan mitattuja arvoja.

Aikaleimojen yhdenmukaistus, koonti, suodatus ja tarvittavat muunnokset tehdään seuraavassa laskentavaiheessa. Siinä raaka mittausdata muodostetaan laskentadataksi.

2.6 Mittausvalmius eri optimointireiteissä

Mittausvalmius ratkaisee, mitä CO₂e-vaikutuksen optimointireittejä voidaan käyttää. Tässä oppaassa mittausvalmiutta arvioidaan kolmen reitin näkökulmasta: energiankulutuksen vähentäminen, päästöintensiteetin pienentäminen ja palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantaminen.

Energiankulutuksen vähentäminen edellyttää vähintään E_DC-, E_IT-, E_COOL-, IT_LOAD- ja T_OUT-dataa. Kun tarkastelussa arvioidaan kuormitushuippuja, kapasiteettia tai jakeluhäviöiden vaikutusta, tarvitaan lisäksi P_PEAK-tieto. Ilman näitä tietoja ei voida erottaa luotettavasti, johtuuko kulutus IT-kuormasta, jäähdytyksestä vai tukijärjestelmistä.

Päästöintensiteetin pienentäminen edellyttää energiankulutuksen lisäksi päästökerroindataa ja työkuormien ajoitustietoa. Ilman EF_GRID(t)-sarjaa ei voida tunnistaa vähäpäästöisiä aikaikkunoita. Ilman työkuorman ajoitustietoa ei voida arvioida, mitä kuormia voidaan siirtää ajallisesti ilman palvelusvaatimusten rikkomista. Jos tarkastelussa huomioidaan uusiutuva energia, tarvitaan lisäksi E_RES-TOT-data ja dokumentoitu kohdistusperiaate.

Palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantaminen edellyttää palvelu- tai työkuormatunnisteita sekä periaatetta, jolla energia ja CO₂e-vaikutus kohdistetaan palvelulle tai työkuormalle. Ilman SERVICE_ID- tai WORKLOAD_ID-tunnistetta energiankulutusta ja

CO₂e-vaikutusta ei voida kohdistaa luotettavasti palvelulle, asiakkaalle tai sovellukselle. Tällöin analyysi voidaan tehdä vain datakeskuksen kokonais- tai järjestelmätasolla.

E_REUSE:n ja E_RES-TOT:n vaikutusta ei pidä tulkita automaattisesti datakeskuksen oman käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen pienentymiseksi. Tulkinta voidaan tehdä vain, jos laskentaraja, kohdistusperiaate ja raportointitapa sallivat sen ja nämä valinnat on dokumentoitu.

2.7 Luvun tuotos: hyväksytty mittausvalmius

Hyväksymiskriteerit laskentaan siirtymiselle

Organisaatio siirtää datakeskuksen mittaus- ja lähtödatan laskentaan vasta, kun jokaiselle pakolliselle muuttujalle on määritelty datalähde tai lähdejärjestelmä, mittauspistetunniste, yksikkö, aikaresoluutio, laadun tila ja mahdollinen täydentämistapa. Lisäksi yksittäisistä mittaushavainnoista pitää olla saatavilla aikaleima, mittauksen arvo ja laadun tila.

Jos pakollinen muuttuja puuttuu, organisaatio rajaa pois ne optimointireitit, jotka edellyttävät kyseistä muuttujaa. Jos puuttuvien, arvioimalla täydennettyjen tai korjattujen arvojen määrä estää vertailukelpoisen lähtötason muodostamisen, tulosta ei raportoida todennettuna CO₂e-vaikutuksen pienentymisenä.

Hyväksymiskriteerit kirjataan näkyviin ennen luvun 3 laskentaa. Kirjauksessa osoitetaan, mihin optimointireitteihin dataperusta riittää ja millä ehdoilla tulos voi myöhemmin olla todennettavissa CO₂e-vaikutuksen pienentymisenä.

Tarkistuspiste: seuraavaan vaiheeseen ei siirrytä ennen kuin luvun tuotos on kirjattu, mittausraja on hyväksytty ja vastuuhenkilö on nimetty.

Tämän luvun tuotos on hyväksytty mittausvalmius. Hyväksytty mittausvalmius tarkoittaa, että mittausraja on kirjattu, mittauspisteet on nimetty, datalähteet on tunnistettu, aikaleimat ovat yhteensopivia, yksiköt ovat oikein ja datan laatu on merkitty.

Hyväksytty dataperusta sisältää vähintään mittausrajan kuvauksen, käytettävät mittauspisteet, tietolähteet, mittausyksiköt, aikaresoluution, laadun tilan, datan vastuuhenkilön ja tunnetut rajoitteet. Lisäksi kirjataan, mihin optimointireitteihin dataperusta riittää ja mihin se ei vielä riitä.

Tarkistuslista: hyväksytty mittausvalmius

- mittausraja on dokumentoitu
- mukaan kuuluvat ja ulos rajatut energiavirrat on kirjattu
- mittauspisteet ja datalähteet tai lähdejärjestelmät on nimetty
- aikaleimat ja aikaresoluutio ovat yhteensopivat
- yksiköt ja laadun tila on merkitty
- vastuuhenkilö ja mahdolliset rajoitteet on kirjattu
- soveltuvat optimointireitit on tunnistettu.

Jos nämä ehdot eivät täyty, CO₂e-vaikutuksen optimointi ei etene laskentaan. Tällöin ensimmäinen toimenpide on dataperustan korjaaminen. Korjaus voi tarkoittaa esimerkiksi puuttuvan mittauksen lisäämistä, aikaleimojen synkronointia, yksikkömuunnosten tarkistamista, datalähteen tai lähdejärjestelmän vastuun määrittelyä tai laadun tilan merkitsemistä.

Kun mittausvalmius on hyväksytty, voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen: raa'an mittausdatan muuttamiseen laskentadataksi ja CO₂e-aikasarjan muodostamiseen.

3

Laskentadata ja CO₂e-laskenta

VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

3. Laskentadata ja CO₂e-laskenta

3.1 Luvun tarkoitus

Tässä luvussa kuvataan, miten raaka mittausdata muutetaan laskentadataksi ja miten laskentadatasta lasketaan datakeskuksen käytönaikainen CO₂e-vaikutus.

Luku vastaa kuvan 1 vaiheita raaka mittausdata, laskentadata sekä CO₂e-aikasarja ja tunnusluvut. Tässä luvussa ei vielä arvioida optimointitoimenpiteen vaikutusta. Lähtötaso, toteuma ja poikkeama käsitellään luvussa 4.

Luvun perussääntö on selvä: raportoitava CO₂e-vaikutus lasketaan hyväksytystä laskentadatasta alkuperäisissä fysikaalisissa yksiköissä [L1, L2]. Normalisoitua mallidataa tai tekoälymallin sisäisiä arvoja ei käytetä suoraan raportoitavaan CO₂e-laskentaan [L17].

Kun tässä luvussa käytetään sähkön päästökerrointa EF_GRID(t), laskennassa on aina määriteltävä, koskeeko tarkastelu vain sähköperäistä energiankulutusta vai koko datakeskuksen energiankulutusta. Jos tarkastelu kattaa useita energialajeja, jokaiselle energialajille käytetään omaa päästökerrointa. Energialajikohtaiset CO₂e-tulokset summataan vasta tämän jälkeen.

Operatiivinen CO₂e-aikasarja ja tunnusluvut (KPI:t) raportoidaan samasta mittausrajasta. CO₂e-aikasarjaa ja tunnuslukuja ei pidä sekoittaa toisiinsa: CO₂e-aikasarja kuvaa CO₂e-vaikutuksen ajallista vaihtelua, kun taas tunnusluvut tiivistävät laskennan tuloksia päätöksenteon tueksi.

3.2 Raaka mittausdata

Raaka mittausdata on mittausjärjestelmästä saatu alkuperäinen arvo. Se säilytetään muuttumattomana, jotta laskenta voidaan jäljittää alkuperäiseen tietolähteeseen.

Raaka mittausdata sisältää vähintään aikaleiman, mittauspisteen tunnisteiden, mittauksen arvon, yksikön, lähdejärjestelmän ja laadun tilan. Näiden tietojen avulla voidaan myöhemmin

tarkistaa, mistä arvo on peräisin, mihin mittauspisteeseen se liittyy ja voidaanko sitä käyttää CO₂e-laskennassa.

Raaka mittausdata voi sisältää eri aikaresoluutioita, eri yksiköitä, puuttuvia arvoja ja poikkeavia arvoja. Tämä ei vielä tee datasta käyttökelpoista, mutta data on valmisteltava laskentaa varten ennen CO₂e-laskentaa.

3.3 Laskentadatan muodostaminen

Laskentadatan muodostaminen tarkoittaa sitä, että raaka mittausdata muutetaan CO₂e-laskentaan sopivaksi aineistoksi. Tässä vaiheessa tarkistetaan datan laatu, käsitellään poikkeavat ja puuttuvat arvot, yhdenmukaistetaan aikaleimat, tehdään koonti ja suodatus sekä kirjataan tarvittavat muunnokset.

Aikaleimojen yhdenmukaistus varmistaa, että energiankulutus, kuormadata, olosuhdetieto ja sähkön päästökerroin voidaan yhdistää samaan aikaresoluutioon. Aikaresoluutio voi olla esimerkiksi tunti, 15 minuuttia tai muu laskennan kannalta perusteltu jakso.

Koonti tarkoittaa sitä, että mittausarvot yhdistetään sovittuun aikaresoluutioon. Energiankulutus summataan yleensä tarkastelujakson yli. Lämpötila, käyttöaste ja sähkön päästökerroin esitetään yleensä keskiarvona tai muulla ennalta sovitulla säännöllä.

Puuttuvien, poikkeavien, päällekkäisten ja tarkastelurajan ulkopuolisten arvojen käsittely tarkoittaa, että arvot tunnistetaan ja merkitään ennen laskentaa. Arvoja ei poisteta jäljettömästi, vaan niiden tila ja käsittelytapa kirjataan laadun tilaan tai käsittelymerkintään.

Laskentadata on tämän vaiheen tuotos. Se säilyttää fysikaaliset yksiköt, kuten kWh, kW, °C, m³ ja kgCO₂e/kWh. CO₂e-laskenta, tunnuslukujen muodostaminen ja raportointi tehdään laskentadatasta.

3.4 CO₂e-vaikutuksen peruskaava

Datakeskuksen käytönaikaisen sähköperäisen CO₂e-vaikutuksen peruskaava on:

$$\text{CO}_2\text{e}(t) = E_{\text{DC}}(t) \times \text{EF}_{\text{GRID}}(t) \text{ [L2, L6]}$$

Tässä $E_{\text{DC}}(t)$ tarkoittaa datakeskuksen kokonaisenergiankulutusta ajanhetkellä t ja $\text{EF}_{\text{GRID}}(t)$ sähkön päästökerrointa samalla ajanhetkellä. Kun energia ilmoitetaan kilowattitunteina ja päästökerroin yksikössä $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kWh}$, tulos saadaan yksikössä kgCO_2e .

Infoboksi 3.1. Sama energiankulutus voi tuottaa eri CO_2e -vaikutuksen

Laskennan kohta	Esimerkki
Datakeskuksen keskimääräinen sähköteho	100 kW
Tarkastelujakso	10 h
Energiankulutus	$100 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 1\,000 \text{ kWh}$
Suomi	$1\,000 \text{ kWh} \times 0,057 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kWh} = 57 \text{ kgCO}_2\text{e}$
Yhdysvallat	$1\,000 \text{ kWh} \times 0,384 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kWh} = 384 \text{ kgCO}_2\text{e}$
Kiina	$1\,000 \text{ kWh} \times 0,525 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kWh} = 525 \text{ kgCO}_2\text{e}$
Tulkinta	Sama energiankulutus tuottaa eri CO_2e -vaikutuksen käytetystä päästökertoimesta riippuen. Tässä esimerkissä Kiinan päästökertoimella vaikutus on noin 9-kertainen ja Yhdysvaltojen päästökertoimella noin 7-kertainen Suomeen verrattuna..
Lähde ja raja	Esimerkkikertoimet perustuvat Our World in Data / Ember -aineiston vuoden 2025 elinkaaripohjaiseen sähköntuotannon hiili-intensiteettiin [L21]. Arvot ovat havainnollistavia. Varsinaisessa laskennassa ilmoitetaan aina käytetty päästökerroin, sen lähde, vuosi, laskentatapa ja Scope 2 -menetelmä.

Jos datakeskuksen IT-energia, jäähdytysenergia ja muut tukikuormat mitataan erikseen, laskentaa voidaan tarkentaa seuraavasti:

$$\text{CO}_2\text{e}(t) = [E_{\text{IT}}(t) + E_{\text{COOL}}(t) + E_{\text{AUX}}(t)] \times \text{EF}_{\text{GRID}}(t)$$

Tässä $E_{IT}(t)$ tarkoittaa IT-laitteiden energiankulutusta, $E_{COOL}(t)$ jäähdytyksen energiankulutusta ja $E_{AUX}(t)$ muiden tukijärjestelmien energiankulutusta ajanhetkellä t .

Tarkempi laskenta tukee poikkeamien ja optimointikohteiden tunnistamista, koska se erottaa IT-kuorman, jäähdytyksen ja tukijärjestelmien vaikutukset toisistaan. Raportointiin käytettävän laskentasäännön on kuitenkin oltava sama ennen optimointitoimenpidettä ja sen jälkeen.

Jos tarkastelussa on mukana sähköenergian lisäksi muita energialajeja, CO_2e lasketaan energialajikohtaisesti [L1, L2] :

$$CO_2e(t) = \sum [E_i(t) \times EF_i(t)]$$

Tässä $E_i(t)$ tarkoittaa energialajin i kulutusta aikajaksolla t ja $EF_i(t)$ kyseisen energialajin päästökerrointa samalla aikajaksolla. CO_2e -vaikutus lasketaan ensin energialajeittain ja summataan vasta sen jälkeen.

Tarkastelujakson CO_2e lasketaan summaamalla aikajakson osatulokset:

$$CO_2e_tarkastelujakso = \sum_t [E(t) \times EF(t)]$$

Organisaatio kirjaa CO_2e -laskentasäännön näkyviin ennen ensimmäistä ennen–jälkeen-vertailua. Tässä laskentasäännöllä tarkoitetaan tapaa, jolla mittausrajassa mitattu energiankulutus ja käytettävät päästökertoimet muunnetaan raportoitavaksi CO_2e -vaikutukseksi. Kirjauksessa ilmoitetaan vähintään 1) mittausraja, 2) käytettävät energialajit ja laskentamuuttujat, 3) päästökertoimen lähde, 4) Scope 2 -menetelmä, 5) aikaresoluutio, 6) koontisääntö, 7) puuttuvien, arvioimalla täydennettyjen ja korjattujen arvojen käsittely sekä 8) raportointiyksikkö. Jos jokin näistä muuttuu, laskentatulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia aiempien tulosten kanssa ilman muutoksen dokumentointia ja erillistä perustelua.

3.5 Scope 1- ja Scope 2 -päästöt

Datakeskuksen käytönaikaisen CO_2e -vaikutuksen laskennassa keskeisin päästoluokka on yleensä Scope 2, jos datakeskus käyttää ostettua sähköä. Scope 2 kattaa ostetun sähkön,

lämmön, höyryn ja jäähdytyksen päästöt [L2]. Tarvittaessa Scope 2 -laskennassa erotetaan toisistaan location-based- ja market-based-laskenta [L2].

Scope 1 sisältää datakeskuksen omat suorat päästöt [L1]. Näitä voivat olla esimerkiksi varavoiman polttoaineiden käyttö ja kylmäainevuodot. Scope 1 otetaan mukaan, jos data on saatavilla ja päästölähde kuuluu sovittuun mittausrajaan.

Tässä oppaassa Scope 1- ja Scope 2 -päästöt pidetään erillään. Erottelu helpottaa tulkintaa ja vähentää riskiä, että operatiivisen sähkönkäytön optimointi sekoittuu muihin päästölähteisiin.

Raportoitava tulos esitetään erikseen vähintään seuraavina riveinä: Scope 1, Scope 2 location-based ja Scope 2 market-based silloin, kun molemmat Scope 2 -laskentatavat ovat käytössä. Location-based- ja market-based-tuloksia ei summata keskenään yhdeksi Scope 2 -luvuksi. Jos tuloksista muodostetaan yhteenveto, siinä ilmoitetaan yksiselitteisesti käytetty Scope 2 -menetelmä, rajaus, päästökertoimen lähde ja päästökertoimen käsittelytapa. Operatiivinen toimenpide kohdistetaan siihen päästoluokkaan, johon toimenpide vaikuttaa.

3.6 CO₂e-aikasarja ja laskentatulokset

CO₂e-aikasarja on CO₂e-laskennan tärkein operatiivinen tulos. Aikasarja näyttää, milloin datakeskuksen käytönaikaista CO₂e-vaikutusta syntyy ja miten se vaihtelee kuorman, olosuhteiden, jäähdytyksen ja käytettävän päästökertoimen mukaan.

CO₂e-aikasarja muodostetaan yhdistämällä mittausrajan mukainen energiankulutus ja käytettävät päästökertoimet samaan aikaresoluutioon. Valittu aikaresoluutio kirjataan CO₂e-laskentasääntöön.

CO₂e-aikasarjaa käytetään myöhemmin lähtötason muodostamiseen, CO₂e-vaikutuksen huippujen tunnistamiseen, vähäpäästöisten aikaikkunoiden etsimiseen ja optimointitoimenpiteiden vaikutuksen todentamiseen.

Laskentatuloksia voivat olla esimerkiksi E_DC, E_IT, E_COOL, E_AUX, CO₂e-aikasarja sekä energiankulutuksen jakautuminen IT-kuorman, jäähdytyksen ja muiden tukijärjestelmien välillä. Tässä luvussa keskitytään siihen, miten laskentatulokset muodostetaan hyväksytystä

laskentadatasta. Tulosten tulkinta, poikkeamien arviointi ja optimointikohteiden tunnistaminen käsitellään luvussa 5.

3.7 Tunnuslukujen muodostaminen ja suhde mallidataan

Laskentadatasta voidaan muodostaa keskeisiä tunnuslukuja eli KPI:itä sekä johdettuja muuttujia. Näitä ovat esimerkiksi PUE, CUE, kuormasuhde ja jäähdytystarve.

PUE on suhdeluku, joka kuvaa datakeskuksen kokonaisenergiankulutuksen ja IT-energiankulutuksen suhdetta. CUE kuvaa CO₂e-vaikutuksen suhdetta IT-energiaan, ja se ilmaistaan tyypillisesti yksikössä kgCO₂e/kWh [L5, L6]. Tunnusluvut muodostetaan samalla mittausrajalla kuin CO₂e-laskenta. Jos tunnusluvun rajausta poikkeaa CO₂e-laskennan rajauksesta, tulokset voivat johtaa virheellisiin päätelmiin.

Mallidata on dataa, joka on valmisteltu mallin koulutusta, ennusteiden tuottamista tai optimointia varten [L16, L17]. Se voi olla esimerkiksi normalisoitua tai skaalattua. Mallidataa voidaan käyttää tekoälyssä ja ennustavassa analyysissä, mutta sitä ei käytetä sellaisenaan raportoitavaan CO₂e-laskentaan.

Tässä luvussa tunnusluvut on muodostettu hyväksytystä laskentadatasta. Niiden tulkinta ja käyttö optimointikohteiden tunnistamiseen käsitellään luvussa 5.

3.8 Luvun tuotos

Tämän luvun tuotoksia ovat hyväksytty laskentadata, CO₂e-laskentasääntö, CO₂e-aikasarja sekä keskeiset tunnusluvut.

Hyväksytty laskentadata kertoo, mitä dataa käytetään laskennassa. CO₂e-laskentasääntö kertoo, miten mittausrajan mukainen energiankulutus ja käytettävät päästökertoimet muunnetaan raportoitavaksi CO₂e-vaikutukseksi. CO₂e-aikasarja kertoo, milloin datakeskuksen käytönaikaista CO₂e-vaikutusta syntyy ja miten se vaihtelee tarkastelujakson aikana. Tunnusluvut tiivistävät laskennan tuloksia myöhempää tulkintaa ja analyysiä varten.

Jos laskentadataa tai CO₂e-laskentasääntöä ei ole hyväksytty, vaikutuksen todentamiseen ei siirrytä. Lähtötaso, toteuma ja poikkeama muodostetaan seuraavassa luvussa hyväksytyyn laskentadatan ja CO₂e-aikasarjan perusteella.

Tämän luvun jälkeen organisaatio voi asettaa ensimmäisen laskentaan perustuvan selvitystavoitteen: tuottaa hyväksytystä laskentadatasta CO₂e-aikasarja ja tunnistaa, milloin ja missä mittausrajan osissa datakeskuksen käytönaikainen CO₂e-vaikutus syntyy. Ilman tätä aikasarjaa optimointitavoite jäisi oletukseksi eikä sitä voisi kohdistaa tai todentaa luotettavasti.

4

Lähtötaso,
toteuma ja
poikkeama

VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama



4. Lähtötaso, toteuma ja poikkeama

4.1 Lähtötason, toteuman ja poikkeaman perusajatus

Lähtötaso, toteuma ja poikkeama kuvaavat, miten optimointitoimenpiteen vaikutus erotetaan muista samanaikaisista muutoksista. Lähtötaso on vertailujakson energiankulutus tai CO₂e-vaikutus ennen toimenpidettä. Toteuma on toimenpiteen jälkeen mitattu energiankulutus tai CO₂e-vaikutus.

Normalisoitu lähtötaso on arvio siitä, millainen energiankulutus tai CO₂e-vaikutus olisi ollut toimenpiteen jälkeisissä olosuhteissa ilman optimointitoimenpidettä [L10]. Poikkeama on normalisoidun lähtötason ja toteuman välinen ero.

Poikkeama = normalisoitu lähtötaso – toteuma

Jos tarkasteltava suure on energiankulutus tai CO₂e-vaikutus, positiivinen poikkeama tarkoittaa, että toteuma on ollut normalisoitua lähtötasoa pienempi. Tällöin muutos voidaan tulkita toimenpiteen hyödyksi, jos laskenta perustuu hyväksytyyn laskentadataan ja vertailutapa on dokumentoitu.

Energiansäästöä tai CO₂e-vähennystä ei voida mitata suoraan, koska säästö tarkoittaa käyttämättä jäänyttä energiaa tai syntymättä jäänyttä CO₂e-vaikutusta [L10]. Siksi vaikutus arvioidaan vertaamalla toteumaa siihen, mitä samoissa olosuhteissa olisi todennäköisesti tapahtunut ilman optimointitoimenpidettä.

Tässä luvussa käytetään luvussa 3 muodostettua hyväksyttyä laskentadataa ja CO₂e-aikasarjaa. Vertailu tehdään samalla mittausrajalla, samalla laskentasäännöllä ja sovitulla vertailutavalla.

4.2 Miksi vertailutapa on datakeskuksessa tärkeä

Datakeskuksen IT-kuorma, ulkolämpötila, käyttötilanne ja sähkön päästökerroin vaihtelevat jatkuvasti. Ilman lähtötason, toteuman ja poikkeaman erottelua energiankulutuksen tai CO₂e-

vaikutuksen muutos voi näyttää pienemmältä tai suuremmalta pelkästään kuorman, ulkolämpötilan, käyttötilanteen tai päästökertoimen vaihtelun vuoksi.

Käytännössä vertailu tehdään kolmessa vaiheessa. Ensin määritetään toimenpidettä edeltävä vertailujakso ja siitä muodostettava lähtötaso. Sen jälkeen arvioidaan, millainen lähtötaso olisi ollut toimenpiteen jälkeisissä olosuhteissa ilman toimenpidettä. Tätä kutsutaan normalisoiduksi lähtötasoksi. Lopuksi normalisoitua lähtötasoa verrataan toimenpiteen jälkeiseen toteumaan.

Näin saatu poikkeama lasketaan luvussa 4.1 esitetyn periaatteen mukaisesti. Se kertoo, mikä osa muutoksesta voidaan perustellusti liittää toteutettuun optimointiin eikä esimerkiksi viileämpään säähän, pienempään IT-kuormaan tai sähkön päästökertoimen muutokseen.

Positiivinen poikkeama tarkoittaa, että toteuma on pienempi kuin normalisoitu lähtötaso. Energiankulutuksen kohdalla tämä tarkoittaa arvioitua energiansäästöä. CO₂e-vaikutuksen kohdalla se tarkoittaa arvioitua CO₂e-vaikutuksen pienentymistä. Tulos voidaan hyväksyä vain, jos laskenta perustuu hyväksytyyn laskentadataan ja dokumentoituun vertailutapaan.

4.2.1 Normalisoinnin muuttujat ja dokumentointi

Tässä oppaassa normalisointi tarkoittaa ennen–jälkeen–vertailun oikaisua, ei mallidatan skaalausta. Normalisoinnilla muodostetaan lähtötaso, joka vastaa toimenpiteen jälkeisen toteumajakson olosuhteita. Näin toteumaa voidaan verrata arvioon siitä, mitä olisi tapahtunut ilman optimointitoimenpidettä.

Organisaatio valitsee normalisoinnissa käytettävät oikaisumuuttujat toimenpiteen mukaan. Jäähdytysenergian tarkastelussa tyypillisiä muuttujia ovat T_OUT, IT_LOAD ja käyttötilanne. Työkuormien ajoituksessa käytetään EF_GRID(t)-sarjaa, työkuorman kokoa, kestoja ja määräaika. Palvelukohtaisessa tarkastelussa käytetään palvelusuoritteiden määrää, kuormaprofilia ja kohdistussääntöä.

Organisaatio kirjaa normalisoinnista vähintään käytetyt oikaisumuuttujat, vertailujakson, muodostustavan ja sen, mitä muutosta normalisoinnilla ei oikaista [L10]. Normalisoitu lähtötaso lasketaan hyväksytystä laskentadatasta alkuperäisissä fysikaalisissa yksiköissä.

Käytännön esimerkki:

Jos jäähdytyksen lämpötila-asetusta nostetaan kesäkuussa eli jäähdytystä kevennetään, ja energiankulutus pienenee heinäkuussa, tulosta ei voi vielä tulkita energiansäästöksi. Ensin arvioidaan, mitä energiankulutus olisi ollut heinäkuun kuormalla ja olosuhteilla ilman asetusarvon muutosta. Vasta normalisoidun lähtötason ja toteuman välinen ero kuvaa toimenpiteen vaikutusarviota. Jos sama vertailu tehdään CO₂e-aikasarjalla, positiivinen poikkeama kuvaa toimenpiteen arvioitua CO₂e-vaikutuksen pienentymistä.

4.3 Luvun tuotos: laskettu poikkeama ja arvioitu energia- tai CO₂e-vaikutus

Tämän luvun tuotos on laskettu poikkeama, joka kuvaa arvioitavan optimointitoimenpiteen vaikutusta. Poikkeama muodostetaan vertaamalla toimenpiteen jälkeistä toteumaa normalisoituun lähtötasoon.

Koska energiansäästöä tai syntymättä jäänyttä CO₂e-vaikutusta ei voida mitata suoraan, poikkeama toimii numeerisena arviona toimenpiteen vaikutuksesta. Jos tarkasteltava suure on energiankulutus, poikkeama kuvaa arvioitua energiankulutuksen muutosta. Jos tarkasteltava suure on CO₂e-vaikutus, poikkeama kuvaa arvioitua CO₂e-vaikutuksen muutosta.

Tämän luvun jälkeen laskettua poikkeamaa, CO₂e-aikasarjaa ja tunnuslukuja hyödynnetään tunnuslukujen tulkinnessa, data-analyysissä, optimointipäätösten valmistelussa ja menetelmäkortin valinnassa.

Tulos voidaan raportoida todennettuna CO₂e-vähennyksenä vain, jos tarkasteltava suure on CO₂e-vaikutus ja laskenta perustuu hyväksytyyn laskentadataan, samaan mittausrajaan, samaan laskentasääntöön ja sovittuun vertailutapaan. Jos nämä ehdot eivät täyty, tulos kirjataan havaintona, kokeiluna tai jatkoselvityksenä.

5

Tunnuslukujen tulkinta ja data- analyysi



VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

5. Tunnuslukujen tulkinta ja data-analyysi

5.1 Tunnuslukujen rooli CO₂e-optimoinnissa

Tämän luvun tarkoitus on tulkita luvussa 3 muodostettuja tunnuslukuja ja johdettuja muuttujia sekä rajata niiden avulla optimointikohteet ennen luvun 6 optimointipäätöstä. Luku ei muuta laskentasääntöä eikä tuota uutta CO₂e-laskentaa, vaan käyttää samaa mittausrajaa, samoja määritelmiä ja samaa Scope 1- ja Scope 2 -erottelua kuin oppaan aiemmat luvut.

Tunnusluvut ovat laskentadatasta johdettuja suureita, joilla datakeskuksen toimintaa voidaan kuvata vertailukelpoisesti eri ajankohtina, eri olosuhteissa ja tarvittaessa eri palveluissa. Tässä luvussa käytettäviä tunnuslukuja ovat esimerkiksi PUE, CUE, WUE, ERF, kWh/palvelusuorite ja CO₂e/palvelusuorite. PUE, CUE, WUE, ERF ja REF kuuluvat ISO/IEC 30134 -sarjan datakeskusten KPI-tunnuslukuihin, joten niitä tulkitaan vain silloin, kun mittausraja, mittausluokka ja laskentasääntö on dokumentoitu [L4, L5, L6, L7, L8, L9].

Tunnusluvut eivät korvaa laskentadataa. Raportoitava CO₂e-vaikutus perustuu edelleen hyväksytyyn laskentadataan alkuperäisissä fysikaalisissa yksiköissä. Tunnuslukujen tehtävä on tehdä näkyviksi suhteet, poikkeamat ja prioriteetit, jotka eivät erotu yhtä hyvin pelkästä energiankulutuksen tai CO₂e-aikasarjan tarkastelusta. Jos CO₂e-tunnusluku esitetään, siinä on ilmoitettava, perustuuko tulkinta Scope 2 -laskentaan vai erikseen raportoituun Scope 1- ja Scope 2 -kokonaisuuteen.

Johdetut muuttujat ovat analyysia tukevia suureita, kuten kuormasuhde, jäähdytysenergian suhde IT-energiaan, CO₂e-vaikutuksen huippu, 95. prosenttipiste ja tehopiikki P_PEAK. Kun analyysi tehdään kuorma- tai palvelutasolla, IT_LOAD tarkoittaa IT-kuormaa, SERVICE_ID palvelun tunnistetta ja WORKLOAD_ID työkuorman tunnistetta. T_OUT tarkoittaa ulkolämpötilaa, ja EF_GRID(t) tarkoittaa sähkön päästökerrointa ajanhetkellä t.

Mallidata tarkoittaa mallin koulutusta, ennustamista tai optimointia varten valmisteltua aineistoa. Tekoälytulos tarkoittaa mallin tuottamaa ennustetta, luokitusta tai suositusta.

Mallidataa tai tekoälytuloksia voidaan käyttää tässä luvussa analyysin tukena vain, jos lähdedata, muunnokset ja käyttötarkoitus on dokumentoitu ja tulos voidaan jäljittää hyväksytyyn laskentadataan. Mallidataa tai tekoälytulosta ei käytetä sellaisenaan raportoitavaan CO₂e-laskentaan.

5.2 Miten tunnusluvut ohjaavat käytännön analyysiä

Tunnuslukujen käytännön tehtävä on osoittaa, mihin optimointi kannattaa kohdistaa datakeskuksen sovitun mittausrajan sisällä. Luvussa 3 muodostettu laskentadata kertoo, kuinka paljon energiaa kuluu, ja CO₂e-aikasarja kertoo, milloin CO₂e-vaikutusta syntyy. Tässä luvussa niistä etsitään poikkeamia, painopisteitä ja toistuvia ilmiöitä, joista voidaan johtaa optimointikohde.

Tarkastelu jäsennetään kolmeen analyysilinjaan, joiden nimet pidetään samoina kuin luvussa 7: energiankulutuksen vähentäminen, päästöintensiteetin pienentäminen ja palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantaminen. Näin luvun 5 analyysi ja luvun 7 menetelmäkortit muodostavat yhden jatkumon.

Energiankulutuksen vähentämisessä tarkastellaan erityisesti E_DC-, E_IT- ja E_COOL-arvoja sekä niistä johdettuja tunnuslukuja, kuten PUE:ta ja jäähdytysenergian suhdetta IT-energiaan. Tarvittaessa tulkintaa täsmennetään IT_LOAD- ja T_OUT-tiedoilla. Tavoitteena on tunnistaa hukka, ylivaraus, tyhjäkäynti tai ohjaustapa, joka kasvattaa energiankulutusta ilman, että palvelutaso paranee.

Päästöintensiteetin pienentämisessä tarkastellaan CO₂e-aikasarjan ja EF_GRID(t)-sarjan yhteyttä. Tavoitteena on tunnistaa ajankohdat, jolloin sama energiankulutus aiheuttaa tavanomaista suuremman tai pienemmän CO₂e-vaikutuksen, sekä arvioida, voidaanko siirrettäviä työkuormia ajoittaa toisin. Tämä analyysilinja koskee CO₂e-vaikutuksen ajoittumista ja päästöintensiteetin hyödyntämistä, ei automaattisesti energiansäästöä.

Palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamisessa tarkastellaan palveluja ja työkuormia suhteessa tuotettuun suoritteeseen. Tämä edellyttää, että SERVICE_ID- tai WORKLOAD_ID-tunnisteet, palvelusuoritteet, IT-energia ja CO₂e-laskenta voidaan yhdistää samaan tarkasteluun. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi tunnuslukuja kWh/palvelusuorite ja

CO₂e/palvelupyynnö [L12]. Jos tunnisteita ei ole, analyysi tehdään vain datakeskus- tai järjestelmätasolla.

Käytännön esimerkki:

Korkea PUE ei yksin kerro, mitä pitää muuttaa. Jos PUE nousee vain matalan IT_LOAD-arvon aikana, syy voi olla tyhjäkäynti, jäähdytyksen peruskuorma tai ylivarattu kapasiteetti. Jos samaan aikaan CO₂e-aikasarja osoittaa CO₂e-vaikutuksen huippuja korkean EF_GRID(t)-arvon tunneilla, analyysiin kannattaa ottaa mukaan myös työkuormien ajoitus. Tällöin optimointikohde ei ole pelkkä energiatehokkuus vaan myös se, milloin siirrettävät työkuormat ajetaan.

5.3 Miten tunnuslukuja luetaan käytännössä

Analyysi etenee samassa järjestyksessä jokaisessa analyysilinjassa. Ensin tehdään tunnuslukuhavainto, sitten arvioidaan, onko kyse normaalista vaihtelusta vai poikkeavasta tilanteesta eli anomaliasta. Tämän jälkeen laaditaan juurisyyarvio ja lopuksi kirjataan alustava toimenpide-ehdotus luvun 6 päätösvaihetta varten. Tämä järjestys tekee analyysistä jäljitettävän ja helpottaa myöhempää todentamista.

Tunnuslukuhavainto tehdään vertaamalla arvojen käyttäytymistä yli ajan, eri olosuhteissa ja tarvittaessa eri palvelujen välillä. Havainto voi olla esimerkiksi se, että PUE nousee matalan IT_LOAD-arvon aikana, CO₂e-aikasarja näyttää päästöpiikkejä ilman kuorman kasvua tai yksittäisen palvelun CO₂e/palvelusuorite on selvästi muita korkeampi.

Poikkeava havainto arvioidaan suhteessa omaan aiempaan toimintaan, valittuun vertailujaksoon tai asiantuntijan määrittelemään normaalialueeseen. Yksittäisiä heilahduksia ei pidä ylitulkita, vaan arvio tehdään riittävän pitkältä ja laadultaan hyväksytyltä jaksolta. Jos luvun 4 vertailutapaa käytetään jo tässä vaiheessa, se tehdään samoilla rajauksilla kuin varsinaisessa vaikutusten todentamisessa.

Juurisyyarviossa esitetään teknisesti uskottavin selitys havainnolle. Esimerkiksi korkea jäähdytysenergia matalan IT_LOAD-arvon aikana voi viitata ylijäähdytykseen, jäähdytyksen peruskuormaan tai ohjausasetusten ongelmaan. E_DC:n kasvu ilman E_IT:n kasvua voi viitata sähkönjakelun häviöihin, UPS-järjestelmän heikkoon hyötysuhteeseen tai tukijärjestelmän

poikkeavaan kulutukseen. CO₂e-vaikutuksen huippu ilman energiankulutuksen kasvua voi johtua korkeasta EF_GRID(t)-arvosta. Palvelukohtaisesti korkea CO₂e/palvelusuorite voi viitata ylimitoitettuihin resursseihin, heikkoon skaalautumiseen tai palveluarkkitehtuurin tehottomuuteen. Juurisyyarvio on analyysihypoteesi, ei vielä todennettu vaikutus.

Alustava toimenpide-ehdotus kirjataan niin, että yhteys havaintoon säilyy läpinäkyvänä. Kirjauksesta on käytävä ilmi, mitä havaittiin, millä tunnusluvuilla havainto tehtiin, mitä dataa käytettiin ja mikä muutos olisi seuraavaksi testattava. Jos ehdotus perustuu mallidataan tai tekoälytulokseen, myös käytetty malli, piirteet, versio ja dokumentoitu käyttöraja kirjataan.

Tarkastelussa arvioidaan aina samanaikaisesti energiankulutusta, CO₂e-vaikutusta ja palvelutasoa. Yhden tunnusluvun paraneminen ei riitä, jos samalla lämpötilamarginaali, käyttövarmuus, SLA tai muu operatiivinen raja heikkenee.

5.4 Luvun tuotos: tunnistettu optimointikohde

Tämän luvun tuotos on tunnistettu optimointikohde tai priorisoitu lista optimointikohteista datakeskuksen mittausrajan sisällä. Tuotos ei vielä ole optimointipäätös eikä CO₂e-vaikutuksen pienentymisväite, vaan dokumentoitu siirtymä analyysistä luvun 6 päätösvaiheeseen. Luvun 5 tuotos täsmennetään seuraavassa vaiheessa optimointitavoitteeksi ja dokumentoiduksi optimointipäätökseksi. Optimointitavoitteessa nimetään, mitä CO₂e-vaikutuksen osaa halutaan pienentää, millä mittausrajalla, millä aikaresoluutiolla ja millä turvarajoilla. Tässä vaiheessa ei vielä luvata käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen pienentymistä, vaan rajataan optimointikohde, jonka perusteella luvussa 6 tehdään dokumentoitu optimointipäätös ja luvussa 7 valitaan siihen sopiva menetelmäkortti. Hyväksytty luvun 5 tuotos sisältää vähintään seuraavat tiedot:

1. valittu analyysilinja on nimetty samoin kuin luvussa 7;
2. havaittu poikkeama (anomalia) on kuvattu tunnusluvuilla ja tarkastelujaksolla;
3. käytetty mittausraja, laskentadata ja mahdolliset SERVICE_ID- tai WORKLOAD_ID-tunnisteet on kirjattu;
4. juurisyyarvio ja alustava toimenpide-ehdotus on dokumentoitu;
5. mallidatan tai tekoälytuloksen käyttö on kuvattu, jos niitä on käytetty analyysin tukena;
6. luvun 6 päätösvaiheeseen siirrettävä optimointikohde on nimetty.



Näin tunnusluvut ja data-analyysi muodostavat sillan laskentadatan ja dokumentoidun optimointipäätöksen välille. Vasta seuraavassa luvussa päätetään, riittääkö perusanalytiikka vai tarvitaanko ennustavaa analytiikkaa tai tekoälyä, ja vasta sen jälkeen vaikutus voidaan todentaa luvun 4 periaatteilla.

6

Optimointi, tekoäly ja todentaminen



VISIIRI.



European unionin
osarahoittama

6. Optimointi, tekoäly ja todentaminen

6.1 Luvun tarkoitus

Tässä luvussa luvun 5 perusteella tunnistettu optimointikohde muutetaan dokumentoiduksi optimointipäätökseksi. Optimointipäätös voi koskea paikallisen automaation kautta toteutettavaa ohjaus- tai säätötoimenpidettä, työkuormien ajoitusta, resurssien kohdistamista, jäähdytyksen asetusarvoja, sähkönjakelun häviöiden pienentämistä tai palvelukohtaista tehokkuutta. Päätös tehdään aina sovitun mittausrajan sisällä ja sidotaan hyväksytyyn laskentadataan.

Optimointi ei tässä oppaassa tarkoita erillistä CO₂e-laskentaa. Se tarkoittaa päätöstä, jolla pyritään pienentämään energiankulutusta, käytetyn energian päästöintensiteettiä tai palvelusuoritetta kohti syntyvää CO₂e-vaikutusta. Ennuste, luokittelu, tekoälymallin suositus tai paikallisen automaation toteuttama säätö- tai ohjaustoimenpide ei vielä ole raportoitava CO₂e-vähennys. Raportoitava CO₂e-vaikutuksen pienentyminen voidaan osoittaa vasta, kun toteumaa verrataan normalisoituun lähtötasoon samalla mittausrajalla, samalla laskentasäännöllä ja sovitulla vertailutavalla.

Tekoälyä käsitellään tässä luvussa ylemmän tason optimoinnin tukimenetelmänä [L14]. Analytiikka, koneoppiminen ja tekoäly eivät korvaa datakeskuksen paikallista automaatiota ja säätöä, vaan tuottavat tietoa, ennusteita ja suosituksia siitä, mitä muutoksia kannattaa arvioida [L15, L18]. Varsinainen ohjaus ja säätö toteutetaan paikallisen automaation kautta sovittujen turvarajojen sisällä. Tekoäly voi auttaa tilanteen luokittelussa, kuorman ja päästöintensiteetin ennustamisessa, poikkeamien tunnistamisessa, toimenpidevaihtoehtojen arvioinnissa ja toistuvan päätöksenteon parantamisessa. Tekoäly ei kuitenkaan muuta CO₂e-laskennan perussääntöä: raportoitava CO₂e-vaikutus lasketaan luvun 3 hyväksytystä laskentadatasta.

Luvun tuotos on dokumentoitu optimointipäätös. Se kertoo, mitä muutetaan, miksi muutos tehdään, mitä dataa ja mahdollista tekoälytukea käytetään, millä turvarajoilla toimenpide toteutetaan ja miten vaikutus todennetaan.

6.2 Optimoinnin paikka menetelmäkettussa

Luvun 6 lähtöaineisto syntyy aiemmissa työvaiheissa. Luvussa 2 hyväksytään mittausraja ja arvioidaan, mihin optimointireitteihin mittausvalmius riittää. Luvussa 3 muodostetaan laskentadata, CO₂e-aikasarja ja tunnusluvut. Luvussa 4 määritetään lähtötaso, toteuma ja laskennallinen poikkeama. Luvussa 5 tunnistetaan tunnuslukuhavainnot ja poikkeavat tilanteet, laaditaan juurisyyarvio ja rajataan alustava optimointikohde. Tässä luvussa tehdään dokumentoitu optimointipäätös ja arvioidaan, tarvitaanko sen tueksi sääntöpohjaista analytiikkaa, koneoppimista tai oppivaa tekoälyä.

Optimointireittejä on kolme:

1. energiankulutuksen vähentäminen
2. päästöintensiteetin pienentäminen
3. palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantaminen.

Energiankulutuksen vähentäminen kohdistuu esimerkiksi jäähdytykseen, IT-kuorman käyttöasteeseen tai sähköjakelun häviöihin. Päästöintensiteetin pienentäminen kohdistuu erityisesti EF_GRID(t)-sarjan vaihtelun hyödyntämiseen, vähäpäästöisiin aikaikkunoihin ja työkuormien hiilitietoiseen ajoitukseen. Palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantaminen kohdistuu SERVICE_ID- tai WORKLOAD_ID-tunnisteen avulla palveluun, sovellukseen tai työkuormaan.

PUE, CUE, CO₂e/palvelusuorite ja muut tunnusluvut ovat päätöksenteon tukisuureita. Ne auttavat tunnistamaan optimointikohteita, mutta eivät yksin riitä optimointipäätöksen tekemiseen tai CO₂e-vaikutuksen pienentymisen todentamiseen. Päätös ja vaikutuksen todentaminen on sidottava hyväksytyyn laskentadataan, CO₂e-aikasarjaan, sovittuun mittausrajaan, turvarajoihin ja vertailutapaan. Yhden tunnusluvun paraneminen ei riitä, jos samalla lämpötilamarginaali, käyttövarmuus, kapasiteetti, SLA-vaatimus tai muu turvaraja heikkenee.

Luku 6 toimii siltana analyysin ja menetelmäkorttien välillä. Kun optimointipäätös on dokumentoitu, luvussa 7 valitaan ja täytetään siihen sopiva menetelmäkortti. Luku 8 ohjaa menetelmäkortilla saavutetun vaikutuksen mittaamista ja raportointia.

6.3 Tavoitteen asettaminen CO₂e-vaikutuksen optimoinnissa

Optimointitavoite asetetaan vasta, kun mittausraja, laskentadata ja CO₂e-aikasarja on hyväksytty. Jos datakeskuksen käytönaikaista CO₂e-vaikutusta ei vielä tunneta, ensimmäinen tavoite ei ole määrällinen vähennyslupaus. Ensimmäinen tavoite on muodostaa luotettava laskentaperusta: hyväksytty mittausraja, hyväksytty laskentadata ja CO₂e-aikasarja. Kun CO₂e-aikasarja ja tunnusluvut ovat käytettävissä, tavoite kohdistetaan valittuun optimointireittiin. Tavoite voi koskea energiankulutuksen vähentämistä, päästöintensiteetin pienentämistä tai palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamista. Tavoite kirjataan niin, että sen toteutuminen voidaan myöhemmin arvioida ja todentaa.

Optimointitavoitteesta kirjataan vähintään:

Kirjattava tieto	Tarkoitus
Vaikutettava suure	Mitä pienennetään tai parannetaan: E_DC, E_IT, E_COOL, CO ₂ e-vaikutus, CUE, CO ₂ e/palvelusuorite tai muu suure
Mittausraja	Missä rajassa vaikutus arvioidaan
Aikaresoluutio	Millä aika-askeleella laskenta ja vertailu tehdään
Lähtötaso ja toteumajakso	Mihin toteumaa verrataan ja miltä jaksolta toteuma mitataan
Turvarajat	SLA, kapasiteetti, lämpötila, kosteus, käyttövarmuus, turvallisuus ja muut rajat
Menetelmä	Käytetäänkö perusanalytiikkaa, luokittelua, koneoppimista, optimointia vai oppivaa tekoälyä
Todentamistapa	Miten vaikutus osoitetaan luvun 4 ja luvun 8 mukaisesti
Raportointiehto	Millä ehdolla tulos voidaan esittää CO ₂ e-vaikutuksen pienentymisenä

Tavoite kirjataan riittävän täsmällisesti, jotta siitä käy ilmi, mitä muutetaan, millä mittausrajalla vaikutus arvioidaan ja millä ehdolla muutos hyväksytään. Esimerkiksi "pienennetään CO₂e-

vaikutusta” on liian yleinen tavoite. Tasmällisempi tavoite on: ”pienennetään jäähdytysenergian osuutta tarkastelujaksolla säätämällä jäähdytyksen asetusarvoja turvarajojen sisällä ja todennetaan vaikutus vertaamalla toteumaa normalisoituun lähtötasoon samalla mittausrajalla ja laskentasäännöllä.”

Jos tavoite perustuu tekoälyn tuottamaan ennusteeseen, luokitukseen tai suositukseen, myös mallin käyttötarkoitus ja rajausta kirjataan. Tällöin dokumentoidaan, käytetäänkö tekoälyä vain ylemmän tason optimointipäätösten tukena vai voiko järjestelmä käynnistää rajattuja ohjaus- tai säätötoimenpiteitä paikallisen automaation kautta.

6.4 Tekoälymenetelmät ja datakerrokset

Tekoälymenetelmien käyttö CO₂e-vaikutuksen optimoinnissa edellyttää, että raaka mittausdata, laskentadata ja mallidata pidetään erillään [L17]. Raaka mittausdata on mittausjärjestelmien tuottamaa alkuperäistä dataa. Laskentadata on laadunvarmistettu ja aikakohdistettu aineisto, josta raportoitava CO₂e-vaikutus lasketaan.

Mallidata on analyysi-, ennuste- tai optimointia varten esikäsiteltyä aineistoa [L17, L19]. Se voidaan muodostaa esimerkiksi skaalaamalla tai standardoimalla muuttujia, muodostamalla viivepiirteitä (lag features), luokittelemalla havaintoja (esim. jatkuvat mittausarvot, kuten ulkolämpötila, jaetaan selkeisiin luokkiin) tai koodaamalla tunnisteita (esim. palvelun tai työkuorman nimet muutetaan numeeriseen muotoon). Mallidata voi tukea analyysiä ja päätöksentekoa, mutta raportoitavaa CO₂e-vaikutusta ei lasketa mallidatasta. Raportoitava CO₂e-vaikutus lasketaan aina hyväksytystä laskentadatasta.

Menetelmä valitaan käyttötarkoituksen mukaan:

Tarve	Sopiva menetelmä	Käytännön esimerkki
Ymmärtää, mistä CO ₂ e-vaikutus syntyy	Laskentadatan ja CO ₂ e-aikasarjan analyysi	E_DC-, E_IT-, E_COOL-, T_OUT- ja EF_GRID(t)-sarjojen vertailu
Tunnistaa tilanteen luokan	Luokittelu	Työkuorma jaetaan joustavaan, osittain joustavaan ja ei-joustavaan

Ennustaa tulevaa kehitystä	Koneoppiminen	Ennustetaan seuraavan tunnin jäähdytystarve tai päästöintensiteetti
Valita soveltuva toimenpide vaihtoehto	Optimointimalli	Valitaan työkuormalle vähäpäästöisin sallittu aikaikkuna
Parantaa toistuvaa päätöksentekoa palautteen perusteella	Oppiva tekoäly tai adaptiivinen optimointi	Järjestelmä oppii, milloin kuormia kannattaa siirtää ilman SLA-riskin kasvua

Tekoälyä ei tarvita, jos päätössääntö voidaan kirjoittaa näkyväksi ja se toimii luotettavasti. Jos esimerkiksi vähäpäästöinen aikaikkuna näkyy suoraan EF_GRID(t)-sarjassa ja siirrettäviä työkuormia on vähän, sääntöpohjainen menetelmä on usein riittävä. Tekoälystä on hyötyä silloin, kun päätös riippuu samanaikaisesti useista muuttujista, kuten kuormasta, säästä, kapasiteetista, määräajoista, päästöintensiteetin ennusteesta ja palvelutasorajoista.

Tekoälymallin käyttämät piirteet johdetaan hyväksytystä laskentadatasta ja muista dokumentoiduista lähteistä. Piirre tarkoittaa mittausdatasta tai laskentadatasta johdettua muuttujaa, joka tukee luokittelua, ennustamista tai optimointia [L16, L17]. Piirteiden muodostamistapa on dokumentoitava [L17, L18, L19].

Tyypillisiä piirteitä ovat:

Piirreluokka	Esimerkkejä	Käyttötarkoitus
Aikapiirteet	tunti, viikonpäivä, kuukausi, kausi	Kuorman, sähkön päästökertoimen ja jäähdytystarpeen ajallinen vaihtelu
Energiapiirteet	E_DC, E_IT, E_COOL, E_AUX	Energiankulutuksen ja tukikuormien mallintaminen
Kuormapiirteet	IT_LOAD, CPU, GPU, muisti, I/O, verkkokuorma	Kapasiteetin, käyttöasteen ja työkuormaprofiilin arviointi
Olosuhdepiirteet	T_OUT, T_IN, suhteellinen ilmankosteus	Jäähdytystarpeen ja olosuhderiskien arviointi

Päästöpiirteet	EF_GRID(t), CO ₂ e-aikasarja, CUE	CO ₂ e- ja päästöintensiteetti- ja EF_GRID(t), CO ₂ e-aikasarja, CUE — Päästöintensiteetin vaihtelu ja CO ₂ e-vaikutuksen huippujen tunnistaminen
Palvelupiirteet	SERVICE_ID, WORKLOAD_ID, palvelusuorite	Palvelukohtainen energiatehokkuus ja työkuormien kohdistus
Viivepiirteet	edellisen tunnin arvo, 24 tunnin keskiarvo, liukuva maksimi	Aikasarjadynamiikan ja viivevaikutusten mallintaminen
Toimenpidepiirteet	asetusarvo, ajoitusmuutos, konsolidointi	Toimenpiteiden vaikutuksen arviointi

Piirteisiin ei saa sisällyttää tietoa, joka olisi käytettävissä vasta päätöshetken jälkeen [L19]. Esimerkiksi toteutunutta tulevaa päästökerrointa, tulevaa energiankulutusta tai myöhemmin laskettua CO₂e-tulosta ei saa käyttää ennustemallin syötteenä sen koulutuksessa. Muuten malli voi näyttää testissä liian hyvältä mutta epäonnistua käytännön optimointipäätösten tukena. Tämän vuoksi koulutusjakso, validointijakso, piirteiden muodostamistapa ja mallin käyttöraja kirjataan optimointipäätökseen [L17, L18, L19].

Toisin kuin pelkästään ennustavat mallit, oppiva tekoäly, kuten vahvistusoppiminen tai muu adaptiivinen optimointi, voi ehdottaa tai rajatuissa tapauksissa käynnistää optimointitoimenpiteitä, jotka toteutetaan paikallisen automaation ja säädön kautta. Siksi se edellyttää palautemekanismeja. Järjestelmän pitää saada tieto siitä, miten toteutettu toimenpide vaikutti energiankulutukseen, CO₂e-vaikutukseen, palvelutasoon ja kustannuksiin. Oppivaa menetelmää ei pidä käyttää tuotantodakeskuksen kriittisten ohjaus- tai säätötoimenpiteiden käynnistämiseen ilman simulointia, rajattua kokeilua, turvarajoja, palautusmenettelyä ja ihmisen hyväksyntää.

6.5 Menetelmät optimointireiteittäin

Energiankulutuksen vähentäminen

Energiankulutuksen vähentämisessä tavoitteena on pienentää E_DC:tä tai sen osatekijöitä, kuten E_IT-, E_COOL- tai E_AUX-arvoja. Tällöin CO₂e-vaikutus pienenee, jos päästökertoimen käsittely pysyy samana ja energiankulutus laskee hyväksytyssä laskentadatatassa.

Perusanalytiikka riittää, kun laskentadata ja tunnusluvut osoittavat selkeän poikkeavan havainnon. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi korkea jäähdytysenergia matalan IT_LOAD-arvon aikana, UPS-häviö ilman IT-kuorman kasvua tai PUE:n nousu tietyssä olosuhteissa.

Luokittelu voi auttaa erottamaan normaalin ja poikkeavan kulutustilanteen. Esimerkiksi jäähdytyksen toiminta voidaan luokitella normaaliin, tehotonta ohjausta kuvaavaan ja vikariskiä kuvaavaan tilaan.

Koneoppiminen voi olla hyödyllistä, jos jäähdytystarvetta, kapasiteettitarvetta tai tukijärjestelmien kuormaa pitää ennustaa etukäteen. Malli voi esimerkiksi ennustaa jäähdytystarvetta T_OUT-, IT_LOAD- ja aiemman E_COOL-aikasarjan perusteella.

Oppivaa tekoälyä voidaan harkita vain, jos päätöksiä tehdään toistuvasti ja ne voidaan toteuttaa turvallisesti. Esimerkiksi jäähdytyksen asetusarvoihin tai kuormien sijoitteluun liittyvä adaptiivinen optimointi edellyttää tarkkoja turvarajoja, simulointia ja varamenettelyä, ja toteutus tehdään paikallisen automaation ja säädön kautta.

Päästöintensiteetin pienentäminen

Päästöintensiteetin pienentämisessä energiankulutus ei välttämättä vähene. CO₂e-vaikutus pienenee silloin, kun sama energiankäyttö ajoittuu tai kohdistuu matalamman päästöintensiteetin jaksolle tai kun laskennassa käytettävä hankinta- ja päästökerrointieto muuttuu dokumentoidusti.

Perusanalytiikka riittää, jos EF_GRID(t)-sarja näyttää selkeät vähäpäästöiset aikaikkunat ja työkuormia on vähän. Tällöin voidaan käyttää sääntöä: siirretään joustavat työt vähäpäästöisempään aikaikkunaan, jos määräaika ja kapasiteetti sallivat sen.

Luokittelu auttaa erottamaan työkuormat, joita voidaan siirtää. Työkuormat voidaan jakaa ei-joustaviin, osittain joustaviin ja joustaviin. Luokittelun perusteella optimointi kohdistetaan ensin suurienergiisiin ja vähäriskisiin tausta-ajoihin.

Koneoppiminen voi olla hyödyllistä, jos päästöintensiteettiä, kuormaa tai kapasiteettia pitää ennustaa etukäteen. Tällöin malli voi yhdistää EF_GRID(t)-ennusteen, IT_LOAD-arvion, P_PEAK-rajan ja työkuormien määräajat.

Oppiva tekoäly voi olla perusteltu, jos työkuormia on paljon, niiden joustavuus vaihtelee ja päätöksiä tehdään toistuvasti. Oppivan menetelmän pitää silti noudattaa määräaikoja, kapasiteettirajoja, palvelutasoa ja raportoinnin laskentasääntöä.

Palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantaminen

Palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamisessa tarkastellaan, kuinka paljon energiaa ja CO₂e-vaikutusta syntyy yhtä palvelusuoritetta kohti. Tämä edellyttää SERVICE_ID- tai WORKLOAD_ID-tunnisteita sekä sovittua kohdistussääntöä, jolla energia ja CO₂e-vaikutus kohdistetaan palvelulle tai työkuormalle.

Perusanalytiikka riittää, kun palvelusuorite on määritelty ja suurimmat CO₂e/suorite-arvot löytyvät vertailulla. Tällöin voidaan tunnistaa esimerkiksi palvelut, joiden CO₂e/palvelupyyntö on muita korkeampi.

Luokittelu voi auttaa ryhmittelemään palveluja kuormaprofiilin, resurssivarausten tai poikkeavan havainnon tyypin mukaan. Esimerkiksi palvelut voidaan luokitella vakaasti kuormittuviin, piikkikuormitteisiin ja tehottomasti skaalautuviin.

Koneoppiminen voi auttaa, jos palveluiden kuormaprofiilit vaihtelevat ja resurssitarvetta pitää ennustaa. Malli voi esimerkiksi arvioida, milloin automaattista skaalausta kannattaa säätää, jotta sama palvelusuorite tuotetaan pienemmällä energiankulutuksella.

Oppivaa tekoälyä voidaan hyödyntää palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamisessa, kun optimointi edellyttää useiden muuttujien, kuten kuorman, kapasiteetin, vasteajan, energiankulutuksen ja CO₂e-vaikutuksen yhteistarkastelua. Malli voi ennustaa resurssitarvetta, tunnistaa analyysissä tehottomiksi osoittautuvia palvelupolkuja ja ehdottaa skaalaus- tai sijoittelumuutoksia. Käyttö rajataan kuitenkin sovittuihin turvarajoihin, ja varsinainen toteutus tehdään paikallisen automaation, orkestroinnin tai resurssienhallinnan kautta.

6.6 Laskentasäännöt ja raportoinnin rajat

Optimointitoimenpide ei muuta raportoinnin laskentasääntöä. Raportoitava CO₂e-vaikutus lasketaan luvun 3 mukaisesti hyväksytystä laskentadatasta. Luvun 4 mukainen lähtötason, toteuman ja poikkeaman erottelu varmistaa, että vaikutus voidaan erottaa esimerkiksi kuorman, sään, käyttötilanteen ja päästökertoimen vaihtelusta.

Scope 1- ja Scope 2 -päästöt pidetään erillään. Jos optimointitoimenpide koskee sähkön ajoitusta, vaikutus näkyy yleensä Scope 2 -tuloksessa eikä muuta automaattisesti Scope 1 -päästöjä. Jos tarkastelussa huomioidaan varavoiman polttoaineet tai kylmäainevuodot, niiden pitää kuulua mittausrajaan ja ne käsitellään erikseen.

Scope 2 -tarkastelussa käytetty location-based- tai market-based-menetelmä kirjataan näkyvästi. Location-based- ja market-based-laskentatapoja ei saa sekoittaa eikä summata samaan Scope 2 -raportointitulokseen. Jos molempia käytetään skenaariotyössä, raportoitavassa tuloksessa ilmoitetaan yksiselitteisesti, mitä menetelmää käytetään. Uusiutuvan energian, E_RES-TOT-arvon ja REF-tunnusluvun vaikutusta ei tulkita automaattisesti datakeskuksen oman käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen pienentymiseksi. Tulkinta tehdään vain, jos laskentaraja, kohdistusperiaate ja raportointitapa sallivat sen ja valinnat on dokumentoitu.

Tekoälymallin ennuste tai suositus ei ole raportoitava vaikutus. Jos malli ehdottaa työkuorman siirtoa matalamman päästöintensiteetin aikaan, toteutunut vaikutus lasketaan vertaamalla toimenpiteen jälkeistä toteumaa normalisoituun lähtötasoon. Jos turvarajat, määrääjat tai kapasiteettirajat estävät toimenpiteen, suositusta ei toteuteta.

6.7 Dokumentoidun optimointipäätöksen vähimmäissisältö

Tämän luvun tuotos on dokumentoitu optimointipäätös. Dokumentoitu optimointipäätös yhdistää luvun 5 analyysilöydöksen luvun 7 menetelmäkorttiin ja luvun 8 mukaiseen vaikutuksen mittaamiseen. Dokumentoitu optimointipäätös sisältää vähintään seuraavat tiedot:

Kohta	Kirjattava sisältö
Optimointikohde	Mihin tunnuslukuhavaintoon, poikkeavaan tilanteeseen tai luvun 4 laskennalliseen poikkeamaan päätös perustuu
Optimointireitti	Energiankulutuksen vähentäminen, päästöintensiteetin pienentäminen tai palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantaminen
Tavoite	Vaikutettava suure, mittausraja, aikaresoluutio ja todentamistapa
Laskentadata	Käytetty laskentadata tai sen yksilöity versio
Mittausraja	Rajaus, jossa vaikutus arvioidaan
Toimenpide	Mitä muutetaan ja millä käyttörajalla
Turvarajat	SLA, kapasiteetti, lämpötila, kosteus, käyttövarmuus, turvallisuus ja muut rajat
Menetelmä	Perusanalytiikka, sääntöpohjainen menetelmä, luokittelu, koneoppiminen, optimointi tai oppiva tekoäly
Tekoälyn rooli	Suosittaleeko malli, luokitteleeko se, ennustaako se vai käynnistääkö se rajattuja toimenpiteitä paikallisen automaation kautta
Piirteet	Mallin tai analyysin keskeiset syötemuuttujat ja niiden lähteet
Mallin rajaus	Koulutusjakso, validointijakso, käyttöraja, suorituskyky ja varamenettely. Jos mallia käytetään rajattujen ohjauksen tai säätötoimenpiteiden käynnistämisen tukena, kirjataan myös turvarajat, palautusmenettely ja ihmisen hyväksynnän tarve [L15, L17, L18, L19]
Todentamissuunnitelma	Vertailujakso, toteumajakso, normalisoitu lähtötaso ja sen muodostamistapa, toteuma, poikkeama, arvioitu energiankulutuksen muutos tai CO ₂ e-vaikutuksen muutos ja raportointiehdot
Vastuut	Päätöksen tekijä, toteuttaja, todentaja ja hyväksyjä

Jos jokin näistä tiedoista puuttuu, toimenpide voidaan kirjata kokeiluksi, havainnoksi tai jatkoselvitykseksi. Sitä ei pidä esittää todennettuna CO₂e-vaikutuksen pienentymisenä.

Kun dokumentoitu optimointipäätös on hyväksytty, valitaan luvusta 7 siihen sopiva menetelmäkortti. Menetelmäkortin Tavoite-riville kirjataan sama vaikutettava suure, mittausraja, aikaresoluutio, turvarajat ja todentamistapa, jotka on määritelty tässä luvussa.

7

Menetelmäkortit CO₂e-optimointiin



VISIIRI.



Euroopan unionin
osarahoittama

7. Menetelmäkortit CO₂e-optimointiin

Tämä luku kokoaa luvussa 5 tunnistetut optimointikohteet käytännön menetelmäkorteiksi. Jokainen menetelmäkortti ohjaa valitsemaan tarvittavat mittaus- ja lähtötiedot, analyysitavan, mahdollisen tekoälytuen, toimenpiteen sekä todentamistavan niin, että vaikutus voidaan laskea luvun 3 hyväksytystä laskentadatasta samalla mittausrajalla ja samalla laskentasäännöllä [L10, L11].

Tässä luvussa käytetään samoja lyhenteitä ja symboleja kuin oppaan sanastossa ja luvussa 3. EF_GRID(t) tarkoittaa sähkön päästökerrointa ajanhetkellä t, E_DC sähköperäistä kokonaisenergiankulutusta mittausrajalla, E_IT IT-laitteiden energiankulutusta, E_COOL jäähdytyksen energiankulutusta ja E_AUX muita tukikuormia. IT_LOAD tarkoittaa IT-kuormaa, T_OUT ulkolämpötilaa ja T_IN tuloilman tai laitteelle tulevan ilman lämpötilaa. PUE:tä ja CUE:ta käytetään oppaan mukaisina tunnuslukuina. SERVICE_ID ja WORKLOAD_ID yksilöivät palvelun tai työkuorman. Jos jokin termi, tunniste tai rajausta ei ole mittausdatassa suoraan näkyvissä, sen muodostamistapa dokumentoidaan.

Menetelmäkorttia käytetään aina samassa järjestyksessä: aloita luvussa 5 tunnistetusta optimointikohteesta, varmista mittaus- ja lähtötiedot, muotoile analyysikysymys, kuvaa toimenpide, aseta turvarajat ja määritä todentamistapa. Jokaisen menetelmäkortin vähimmäisisältö on vakioitu kohta 1 (Tavoite), jonka kentät on täytettävä ennen kuin vaikutus voidaan raportoida todennettuna CO₂e-vaikutuksen pienentymisenä. Jos kortissa ei ole erikseen muuta rajausta, käytetään luvussa 2 hyväksyttyä mittausrajaa. Rajausta kirjataan kuitenkin aina näkyviin.

Kortin kohtaan 1 (Tavoite) kirjataan vaikutettava suure, mittausraja, aikaresoluutio, Scope-erottelu, päästökertoimen lähde, mahdollinen normalisointi, operatiivinen muutossuure, turvarajat ja todentamistapa. Operatiivinen muutossuure tarkoittaa käytännössä ohjattavaa muuttujaa tai toimenpidettä, jonka kautta CO₂e-vaikutukseen pyritään vaikuttamaan. Tekoälyä voidaan käyttää ylempien tason optimointipäätösten tukena, mutta raportoitava



vaikutus lasketaan aina hyväksytystä laskentadatasta eikä mallin sisäisistä arvoista. Varsinainen ohjaus ja säätö toteutetaan paikallisen automaation kautta sovittujen turvarajojen sisällä.

Vakioitu kohta 1 Tavoite

Tieto	Kirjaus
Vaikutettava suure:	[]
Mittausraja:	[]
Käytettävä laskentadata ja tunnisteet:	[]
Aikaresoluutio:	[]
Scope-erottelu:	[]
Päästökertoimen lähde:	[]
Normalisoinnin muodostamistapa:	[]
Operatiivinen muutossuure:	[]
Turvarajat:	[]
Todentamistapa:	[]

Jos jokin kenttä jää tyhjäksi, menetelmäkortti on keskeneräinen eikä sen tulosta raportoida todennettuna CO₂e-vaikutuksen pienentymisenä.

7.1 Energiankulutuksen vähentämisen menetelmäkortit

Energiankulutuksen vähentämisessä CO₂e-vaikutus pienenee, kun datakeskuksen energiankulutus pienenee luvun 3 mukaisessa laskennassa samalla päästökertoimen käsittelyllä. Tässä optimointireitissä painottuvat erityisesti E_DC, E_IT, E_COOL, E_AUX, IT_LOAD, T_OUT, T_IN ja niistä johdetut tunnusluvut, kuten PUE, sekä erotus- ja suhdeluvut, joilla hukkaenergia ja poikkeavat havainnot voidaan paikantaa.

7.1.1 Jäähdytysenergian vähentäminen

Kohta	Sisältö
Tavoite	Vähentää tarpeetonta jäähdytysjärjestelmän energiankulutusta ja pienentää E_DC:tä ilman, että lämpötila-, suhteellisen ilmankosteuden tai palvelutason rajat vaarantuvat.
Mittaus- lähtötiedot	ja E_DC, E_IT, jäähdytysenergia, IT-kuorma, ulkolämpötila, PUE, E_DC – E_IT ja jäähdytysenergia / E_IT.

Analyysikysymys	Kuluuko jäähdytykseen enemmän energiaa kuin IT-kuorma, ulkolämpötila ja sovitut olosuhderajat edellyttävät?
Tunnuslukuihin perustuva analytiikka riittää, kun	PUE tai jäähdytysenergia / E _{IT} nousee selvästi, jäähdytysenergia pysyy korkeana matalalla IT-kuormalla tai vapaajäähdytys jää hyödyntämättä selkeissä olosuhteissa.
Ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä hyötyä, kun	Jäähdytystarvetta pitää ennustaa etukäteen tai asetusarvoja pitää suositella muuttuvien kuorma-, sää- ja olosuhdetietojen perusteella.
Toimenpide	Säädetään jäähdytyksen asetusarvoja, puhallin- ja pumppuohjausta sekä vapaajäähdytyksen käyttöä sovittujen turvarajojen sisällä.
Todentaminen	Vaikutus osoitetaan PUE:n, jäähdytysenergian, E _{DC} :n ja CO ₂ e-vaikutuksen muutoksella sekä lämpötila-, kosteus- ja SLA-rajojen toteutumisella.
Mihin tilanteeseen menetelmä sopii	Menetelmä sopii tilanteeseen, jossa jäähdytyksen energiankulutus näyttää korkealta suhteessa IT-kuormaan, ulkolämpötilaan tai sovittuihin olosuhderajoihin.
Toteutusvaiheet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rajaa tarkastelujakso. 2. Vertaa jäähdytysenergiaa IT-kuormaan ja ulkolämpötilaan. 3. Tunnista ylijäähdytys, ohjauspoikkeama tai hyödyntämätön vapaajäähdytys. 4. Toteuta rajattu asetusarvon tai ohjauksen muutos sovittujen turvarajojen sisällä. 5. Seuraa olosuhde- ja SLA-rajoja.
Käytännön huomio	Älä tulkitse PUE:n paranemista yksin onnistumiseksi. Varmista myös lämpötila, kosteus, palvelutaso ja häiriöriski.

7.1.2 IT-kuorman käyttöasteen parantaminen

Kohta	Sisältö
Tavoite	Vähentää tyhjäkäyntiä, vajaakäyttöä ja ylikapasiteettia niin, että sama IT-työkuorma tuotetaan pienemmällä E _{IT} :llä.

Mittaus- ja lähtötiedot	E_IT, IT-kuorma, käyttöaste, tyhjäkäyntienergian suhde, palvelin- tai resurssipoolikohtainen kuorma sekä CPU-, GPU-, muisti-, I/O- ja verkkokuorma.
Analyysikysymys	Onko IT-kapasiteettia päällä enemmän kuin todellinen kuorma, SLA ja varakapasiteetti edellyttävät?
Tunnuslukuihin perustuva analytiikka riittää, kun	Mittausdata näyttää korkean energiankulutuksen suhteessa matalaan käyttöasteeseen tai selvästi ylimitoitettut resurssivaraukset.
Ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä on hyötyä, kun	Kapasiteettitarvetta pitää ennustaa, työkuormia pitää ryhmitellä kuormaprofiilin mukaan tai sijoittelua pitää optimoida useiden rajoitteiden sisällä.
Toimenpide	Konsolidoidaan virtuaalikoneita ja kontteja, käytetään automaattista skaalausta, poistetaan tarpeetonta kapasiteettia ja siirretään kuormia tehokkaampiin resurssipooleihin.
Todentaminen	Vaikutus osoitetaan E_IT:n, E_DC:n, käyttöasteen, CO ₂ e-vaikutuksen ja CO ₂ e/palvelusoorite-luvun muutoksella sekä SLA:n säilymisellä.
Mihin tilanteeseen menetelmä sopii	Menetelmä sopii tilanteeseen, jossa palvelimet, virtuaalikoneet tai resurssipoolit kuluttavat energiaa, vaikka käyttöaste on matala tai kapasiteetti on selvästi ylimitoitettu.
Toteutusvaiheet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tunnista matalan käyttöasteen resurssit. 2. Erottele tarvittava varakapasiteetti tyhjäkäynnistä. 3. Valitse konsolidointi-, skaalaus- tai sammutustoimenpide. 4. Toteuta muutos hallitusti. 5. Seuraa E_IT:tä, käyttöastetta ja palvelutasoa.
Käytännön huomio	Kapasiteetin pienentäminen ei saa heikentää resilienssiä tai rikkoa SLA-vaatimuksia. Dokumentoi varakapasiteetin minimitaso ennen muutosta.

7.1.3 UPS-, PDU- ja jakeluhäviöiden pienentäminen

Kohta	Sisältö
Tavoite	Pienentää sähkönjakelun ja UPS-järjestelmän häviöitä, jotka nostavat E_DC:tä ilman, että IT-työkuorma kasvaa.
Mittaus- ja lähtötiedot	E_DC, E_IT, UPS- ja PDU-data, PUE, E_DC – E_IT, tehopiikit ja IT-kuorma.
Analyysikysymys	Kasvaako tukijärjestelmien energiankulutus tai jakeluhäviö ilman vastaavaa IT-kuorman kasvua?
Tunnuslukuihin perustuva analytiikka riittää, kun	Yksi UPS, PDU tai jakeluketju poikkeaa muista tai toimii pitkään heikolla hyötysuhdealueella.
Ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä hyötyä, kun on	Poikkeama kehittyy hitaasti, liittyy useaan signaaliin tai sitä halutaan käyttää ennakoivan kunnossapidon tukena.
Toimenpide	Tasataan kuormia, tarkistetaan UPS:n käyttöalue, korjataan poikkeavat häviöt ja arvioidaan käyttötilamuutokset käyttövarmuusrajojen sisällä.
Todentaminen	Vaikutus osoitetaan UPS-häviön, jakeluhäviön, PUE:n, E_DC:n ja CO ₂ e-vaikutuksen muutoksella sekä käyttövarmuuden säilymisellä.
Mihin tilanteeseen menetelmä sopii	Menetelmä sopii tilanteeseen, jossa kokonaiskulutus kasvaa ilman vastaavaa IT-kuorman kasvua tai yksittäinen jakeluketju toimii heikolla hyötysuhdealueella.
Toteutusvaiheet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vertaa E_DC:tä ja E_IT:tä. 2. Paikanna häviö UPS-, PDU- tai jakeluketjudatasta. 3. Tarkista kuormanjako ja käyttöalue. 4. Korjaa poikkeava komponentti tai kuormitus.
Käytännön huomio	Toteutus vaatii käyttövarmuuden hyväksynnän ennen muutosta.

7.2 Päästöintensiteetin pienentämisen menetelmäkortit

Päästöintensiteetin pienentämisessä energiankulutus ei välttämättä vähene, mutta CO₂e-vaikutus voi pienentyä, kun energiankulutus ajoittuu matalamman EF_GRID(t)-arvon jaksolle, työkuormia ajoitetaan päästöintensiteetin perusteella sallittuihin aikaikkunoihin tai laskennassa käytettävä hankinta- ja päästökerrointieto muuttuu dokumentoidusti.

Tässä optimointireitissä korostuvat EF_GRID(t), CO₂e-aikasarja, CUE sekä tarvittaessa REF, työkuormien aikataulut ja hankintatiedot. Samalla on erotettava toisistaan operatiivinen kulutusmuutos, ajallinen siirto ja mahdollinen Scope 2 -raportointivaikutus.

7.2.1 Uusiutuvan sähkön hyödyntäminen

Kohta	Sisältö
Tavoite	Pientää datakeskuksen käytetyn energian CO ₂ e-vaikutusta lisäämällä todennetun uusiutuvan energian osuutta tai tekemällä uusiutuvan energian vaikutus näkyväksi päätöksenteossa.
Mittaus- ja lähtötiedot	E_DC, E_RES-TOT, REF, sähkön päästökerroin, CO ₂ e-aikasarja ja CUE.
Laskentasääntö ja Scope-erottelu	Kirjaa, käytetäänkö location-based- vai market-based-laskentaa, mikä päästökertoimen lähde on käytössä, miten uusiutuva energia kohdistetaan ja raportoidaanko vaikutus operatiivisena muutoksena vai Scope 2 -raportointivaikutuksena.
Analyysikysymys	Kuinka suuri osa datakeskuksen energiasta on todennetusti uusiutuvaa ja miten uusiutuvan energian osuus vaikuttaa CO ₂ e- ja CUE-lukuihin?
Tunnuslukuihin perustuva analytiikka riittää, kun	Tavoitteena on seurata uusiutuvan energian osuutta, vertailla laskentatapoja ja raportoida REF-, CUE- ja CO ₂ e-luvut läpinäkyvästi.
Ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä on hyötyä, kun	Uusiutuvan energian tuotantoa, sähkönhankintaa tai datakeskuksen kulutusta pitää ennustaa ja sovittaa yhteen tuntitasolla.

Toimenpide	Tuodaan uusiutuvan energian osuus osaksi mittaristoja, raportointia ja päätöksentekoa sekä yhdistetään hankintatieto kuormituksen ajalliseen tarkasteluun.
Todentaminen	Vaikutus osoitetaan REF:n, CUE:n ja absoluuttisen CO ₂ e-vaikutuksen muutoksella sekä dokumentoidulla laskentasäännöllä.
Mihin tilanteeseen menetelmä sopii	Menetelmä sopii tilanteeseen, jossa organisaatio haluaa tehdä uusiutuvan energian osuuden näkyväksi CO ₂ e-laskennassa, operatiivisessa päätöksenteossa tai raportoinnissa.
Toteutusvaiheet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Määritä uusiutuvan energian kohdistusperiaate. 2. Yhdistä E_RES-TOT kulutusdataan ja päästökertoimiin. 3. Laske REF, CUE ja absoluuttinen CO₂e-vaikutus samalla mittausrajalla. 4. Erotta raportointivaikutus operatiivisesta kulutusmuutoksesta. 5. Dokumentoi laskentatapa.
Käytännön huomio	Uusiutuvan energian osuus ei automaattisesti tarkoita operatiivista energiansäästöä [L2, L8, L10]. Pidä markkinaperusteinen laskenta, sijaintiperusteinen laskenta ja fyysinen kulutus erillään.

7.2.2 Vähäpäästöisten ajankohtien hyödyntäminen

Kohta	Sisältö
Tavoite	Tunnistaa ajankohdat, jolloin sähkön päästökerroin on pienempi, ja hyödyntää näitä ajankohtia työkuormien ajoituksessa, kapasiteetin käytön suunnittelussa sekä muussa operatiivisessa päätöksenteossa [L12, L13].
Mittaus- ja lähtötiedot	E_DC, E_IT, sähkön päästökerroin, CO ₂ e-aikasarja, CUE, CO ₂ e/E_IT ja vähäpäästöinen aikaikkuna.
Laskentasääntö ja Scope-erottelu	Kirjaa, käytetäänkö location-based- vai market-based-laskentaa, mikä päästökertoimen lähde on käytössä, miten uusiutuva energia kohdistetaan ja raportoidaanko vaikutus operatiivisena muutoksena vai Scope 2 -raportointivaikutuksena.
Analyysikysymys	Milloin sama energiankulutus aiheuttaa pienemmän CO ₂ e-vaikutuksen?

Tunnuslukuihin perustuva analytiikka riittää, kun	Luotettava EF_GRID(t)-aikasarja näyttää sähkön päästökertoimen tuntivaihtelun, vähäpäästöiset aikaikkunat erottuvat selvästi ja päätös ei vaadi kuorman, kapasiteetin tai SLA-riskin ennustamista.
Ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä on hyötyä, kun	Vähäpäästöisiä ajankohtia pitää ennustaa etukäteen tai päästöintensiteetin ennuste pitää yhdistää kuorma- ja kapasiteettiennusteeseen.
Toimenpide	Tunnistetaan vähäpäästöiset aikaikkunat ja käytetään niitä suunnittelun, ajoituksen ja operatiivisen päätöksenteon tukena.
Todentaminen	Vaikutus osoitetaan CUE:n, CO ₂ e-vaikutuksen ja aikaikkunakohtaisen päästökertoimen avulla. Energiankulutus voi pysyä samana, vaikka CO ₂ e-vaikutus pienenee.
Mihin tilanteeseen menetelmä sopii	Menetelmä sopii tilanteeseen, jossa sähkön päästökerroin vaihtelee ajassa ja suunnittelussa voidaan huomioida matalamman päästöintensiteetin tunnit.
Toteutusvaiheet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hae tai muodosta EF_GRID(t)-aikasarja. 2. Tunnista matalan, keskitason ja korkean päästöintensiteetin jaksot. 3. Vertaa jaksoja kulutus- ja kuormaprofiiliin. 4. Tunnista työkuormat tai operatiiviset päätökset, joiden ajoitusta voidaan muuttaa. 5. Laske vaikutus CUE:n ja absoluuttisen CO₂e-vaikutuksen avulla.
Käytännön huomio	Menetelmä voi pienentää CO ₂ e-vaikutusta ilman, että kWh-kulutus vähenee. Raportoi tulos päästöintensiteetin hyödyntämiseen perustuvana CO ₂ e-vaikutuksen muutoksena, ei energiansäästönä.

7.2.3 Työkuormien ajoitus päästöintensiteetin perusteella

Kohta	Sisältö
Tavoite	Siirtää joustavia työkuormia päästöintensiteetin perusteella ajankohtiin, joissa CO ₂ e-vaikutus on pienempi, ilman että SLA-, kapasiteetti- tai määräaikaariski kasvaa.
Mittaus- ja lähtötiedot	E_IT, työkuormien aikataulut, sähkön päästökerroin, CO ₂ e-aikasarja, CUE, vähäpäästöinen aikaikkuna ja siirtopotentiaali.
Laskentasääntö ja Scope-erottelu	Kirjaa, käytetäänkö location-based- vai market-based-laskentaa, mikä päästökertoimen lähde on käytössä, miten uusiutuva energia kohdistetaan ja raportoidaanko vaikutus operatiivisena muutoksena vai Scope 2 -raportointivaikutuksena.
Analyysikysymys	Voidaanko sama työ ajaa toisena ajankohtana pienemmällä CO ₂ e-vaikutuksella?
Tunnuslukuihin perustuva analytiikka riittää, kun	Työkuorma on selvästi siirrettävä, vaihtoehtoisia aikaikkunoita on vähän ja vaikutus voidaan laskea skenaariolaskennalla.
Ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä on hyötyä, kun	Siirrettäviä työkuormia on paljon, päästöintensiteettiä pitää ennustaa tai ajoitus päätös riippuu samanaikaisesti päästöintensiteetistä, kapasiteetista, määräajoista ja SLA-rajoista.
Toimenpide	Luokitellaan työkuormat ei-joustaviin, osittain joustaviin ja joustaviin. Siirretään ensin suurienergiset ja vähäriskiset eräajot, raportointiajot, analytiikka-ajot ja tausta-ajot.
Todentaminen	Vaikutus osoitetaan CUE:n, absoluuttisen CO ₂ e-vaikutuksen, valittujen aikaikkunoiden päästökertoimien vertailun ja työkuorman määräajan toteutumisen avulla.
Mihin tilanteeseen menetelmä sopii	Menetelmä sopii tilanteeseen, jossa työkuormia voidaan siirtää ajassa ilman, että määräajat, kapasiteettirajat tai palvelutasot vaarantuvat.
Toteutusvaiheet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Luokittele työkuormat joustavuuden mukaan. 2. Arvioi kunkin työn energiankulutus ja määräaika. 3. Tunnista vähäpäästöiset aikaikkunat.

	4. Siirrä ensin suurienergiset ja vähäriskiset tausta-ajot. 5. Tarkista määräaikojen ja SLA:n toteutuminen.
Käytännön huomio	Kaikkia työkuormia ei pidä siirtää. Reaaliaikaiset, asiakaskriittiset tai sääntelyyn sidotut työt voivat jäädä menetelmän ulkopuolelle.

7.3 Palvelukohtaisen energiatehokkuuden parantamisen menetelmäkortti

Palvelukohtaisessa optimoinnissa tarkastellaan, kuinka paljon energiaa ja CO₂e-vaikutusta syntyy yhtä palvelusuoritetta kohti [L12]. Tämä optimointireitti hyödyntää luvun 5 palvelukohtaista analyysia ja edellyttää, että energian, CO₂e-vaikutuksen ja palvelusuoritteen välinen kohdistussääntö on määritelty ja säilyy samana ennen-jälkeen-vertailussa.

7.3.1 CO₂e palvelusuoritetta kohti

Kohta	Sisältö
Tavoite	Tuottaa sama palvelusuorite pienemmällä energia- ja CO ₂ e-vaikutuksella.
Mittaus- ja lähtötiedot	Palvelutunniste, CPU, GPU, muisti, I/O, verkko, palvelusuoritteet, E_IT, sähkön päästökerroin, kWh/palvelu, CO ₂ e/palvelu ja CO ₂ e/palvelupyynnö.
Kohdistussääntö	Kirjaa, millä kohdistussäännöllä energia, CO ₂ e-vaikutus ja palvelusuorite liitetään SERVICE_ID- tai WORKLOAD_ID-tasolle. Samaa kohdistussääntöä käytetään lähtötason ja toteuman laskennassa. Jos kohdistussääntö muuttuu, ennen-jälkeen-vertailu ei ole vertailukelpoinen eikä tulosta raportoida todennettuna CO ₂ e-vaikutuksen pienentymisenä.
Analyysikysymys	Mitkä palvelut, sovellukset tai työkuormat aiheuttavat eniten käytönaikaista CO ₂ e-vaikutusta suhteessa tuotettuun palveluun?
Tunnuslukuihin perustuva analytiikka riittää, kun	Palvelusuorite on määritelty, resurssien kohdistussääntö on sovittu ja suurimmat CO ₂ e/suorite-arvot tai poikkeavat palvelut löytyvät vertailulla, Pareto- eli tärkeysjärjestysanalyysillä tai CO ₂ e/suorite-tunnuslukujen seurannalla.

Ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä on hyötyä, kun	Palveluita on paljon, kuormaprofiilit vaihtelevat tai optimointi edellyttää CPU:n, GPU:n, muistin, I/O:n, verkon, vasteajan, skaalauksen, energiankulutuksen ja CO ₂ e-vaikutuksen yhteistarkastelua.
Toimenpide	Korjataan ylimitoitettut resurssivaraukset, säädetään automaattista skaalausta, optimoidaan analyysissä tehottomiksi tunnistetut palvelupolut ja kohdistetaan optimointitoimenpiteet suurimpiin CO ₂ e-vaikutuksen lähteisiin.
Todentaminen	Vaikutus osoitetaan valitulla palvelukohtaisella tunnusluvulla ja kokonais-CO ₂ e-vaikutuksen muutoksella. Palvelukohtainen tunnusluku voi olla esimerkiksi CO ₂ e/palvelupyyntö, CO ₂ e/virtuaalikone, CO ₂ e/kontti, CO ₂ e/tietokantakysely, CO ₂ e/käyttäjätapahtuma tai CO ₂ e/laskentatyö.
Mihin tilanteeseen menetelmä sopii	Menetelmä sopii tilanteeseen, jossa halutaan selvittää, mitkä palvelut, sovellukset tai työkuormat aiheuttavat eniten CO ₂ e-vaikutusta suhteessa tuotettuun hyötyyn.
Toteutusvaiheet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Määritä palvelusuorite. 2. Sovi energian ja CO₂e-vaikutuksen kohdistussääntö. 3. Laske kWh/suorite ja CO₂e/suorite. 4. Etsi suurimmat CO₂e/suorite-arvot ja poikkeavat palvelupolut. 5. Kohdista optimointitoimenpiteet suurimpiin CO₂e-vaikutuksen lähteisiin.
Käytännön huomio	Palvelukohtainen tunnusluku on käyttökelpoinen vain, jos suorite ja kohdistussääntö pysyvät samoina. Muuten ennen-jälkeen-vertailu voi vääristyä.

Luvun tuotos

Tämän luvun tuotos on dokumentoitu menetelmäkortti tai rajattu joukko menetelmäkortteja. Niiden avulla luvussa 5 tunnistettu optimointikohde voidaan viedä hallitukseksi toimenpiteeksi ja toimenpiteen vaikutus voidaan todentaa luvun 3 hyväksytystä laskentadatatista. Dokumentointi on osa vaikutuksen mittausta: ilman näkyvää mittausrajaa, laskentasääntöä, oikaisuperiaatetta, päästökertoimen lähdettä ja turvarajoja tulosta ei voi pitää todennettuna CO₂e-vähennyksenä.

Seuraava tarkistuslista kokoaa luvun vähimmäistuotokset ja valmistusvaiheet.

Tarkistuslista
Menetelmäkortti on valmis vasta, kun
1. optimointikohde on tunnistettu luvun 5 analyysissä
2. mittausraja on kirjattu ja sama kuin todentamisessa,
3. käytettävä laskentadata (muuttujat, aikaresoluutio, tunnisteen) on yksilöity,
4. toimenpide ja sen turvarajat on kuvattu täsmällisesti,
5. mahdollisen tekoälyn rooli on rajattu ylemmän tason optimointipäätösten tueksi tai rajattujen toimenpiteiden käynnistämiseen paikallisen automaation kautta,
6. vertailu- ja toteumajakso sekä oikaisuperiaate on määritetty,
7. päästökertoimen lähde on dokumentoitu,
8. raportoitavat tulokset ja rajaukset on kirjattu näkyviin

8. Menetelmäkortilla saavutetun CO₂e-vähennyksen mittaaminen ja raportointi

Tässä luvussa arvioidaan, voidaanko luvun 7 menetelmäkortilla toteutetun toimenpiteen vaikutus raportoida saavutettuna CO₂e-vähennyksenä. CO₂e-vähennys tarkoittaa datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen pienentymistä valitussa mittausrajassa.

Laskennan perustaksi otetaan menetelmäkortista toimenpide, mittaus- ja lähtötiedot, todentamissuureet sekä turvarajat. Tulos lasketaan hyväksytystä laskentadatasta samalla mittausrajalla, laskentasäännöllä ja vertailutavalla kuin lähtötaso [L3, L10].

8.1 Laskentaperiaate

CO₂e-vähennystä ei mitata suoraan, koska kyse on syntymättä jääneestä CO₂e-vaikutuksesta [L10]. Siksi ensin arvioidaan normalisoitu lähtötaso ja verrataan sitä toimenpiteen jälkeiseen toteumaan.

Normalisoitu lähtötaso tarkoittaa arviota siitä, mikä datakeskuksen käytönaikainen CO₂e-vaikutus olisi ollut toteumajakson olosuhteissa ilman menetelmäkortin mukaista toimenpidettä.

Toteuma tarkoittaa toimenpiteen jälkeisestä hyväksytystä laskentadatasta laskettua CO₂e-vaikutusta.

Poikkeama lasketaan näin:

Poikkeama = normalisoitu lähtötaso – toteuma

Jos poikkeama on positiivinen ja raportointiehtot täyttyvät, poikkeama voidaan raportoida saavutettuna CO₂e-vähennyksenä. Jos poikkeama on nolla tai negatiivinen, saavutettua CO₂e-vähennystä ei raportoida. Tulos kirjataan tällöin havaintona, kokeiluna tai jatkoselvityksen kohteena.

Normalisoinnissa lähtötaso sovitetaan toteumajakson olosuhteisiin. Siinä huomioidaan vain ne muuttujat, jotka vaikuttavat tulokseen mutta eivät ole itse toimenpiteen vaikutusta. Näitä voivat olla esimerkiksi IT-kuorma, ulkolämpötila, käyttötilanne, palvelusuoritteiden määrä ja päästökerroin.

8.2 Menetelmäkortin mukaiset todentamissuureet

Käytettävät todentamissuureet valitaan menetelmäkortin mukaan.

Jäähdytysenergian vähentämisessä tarkastellaan E_COOL-, E_DC-, PUE- ja CO₂e-vaikutuksen muutosta.

IT-kuorman käyttöasteen parantamisessa tarkastellaan E_IT:tä, E_DC:tä, käyttöastetta, CO₂e-vaikutusta ja tarvittaessa CO₂e-vaikutusta palvelusuoritetta kohti.

UPS-, PDU- ja jakeluhäviöiden pienentämisessä tarkastellaan UPS-häviötä, jakeluhäviötä, PUE:ta, E_DC:tä ja CO₂e-vaikutusta.

Uusiutuvan sähkön hyödyntämisessä tarkastellaan REF:n, CUE:n ja absoluuttisen CO₂e-vaikutuksen muutosta.

Vähäpäästöisten ajankohtien hyödyntämisessä tarkastellaan CUE:ta, CO₂e-vaikutusta ja aikaikkunakohtaista päästökerrointa.

Kun työkuormia ajoitetaan päästöintensiteetin perusteella, tarkastellaan CO₂e-vaikutusta, valittujen aikaikkunoiden päästökertoimien vertailua ja työkuorman määräjän toteutumista.

Palvelukohtaisen tehokkuuden parantamisessa tarkastellaan valittua palvelukohtaista CO₂e-tunnuslukua ja kokonais-CO₂e-vaikutuksen muutosta.

8.3 Raportointiehdot

Tulos voidaan raportoida saavutettuna ja todennettuna CO₂e-vähennyksenä vain, jos mittausraja, laskentasääntö, aikaresoluutio, päästökertoimen käsittely ja vertailutapa ovat vertailukelpoisia ennen toimenpidettä ja sen jälkeen [L3, L10].

Lisäksi menetelmäkortin turvarajojen pitää toteutua. Turvarajoja ovat esimerkiksi palvelutaso, lämpötila, kosteus, kapasiteetti, käyttövarmuus ja turvallisuus.

Tulosta ei raportoida saavutettuna ja todennettuna CO₂e-vähennyksenä, jos:

- mittausraja muuttuu
- laskentasääntö muuttuu
- aikaresoluutio tai vertailutapa muuttuu
- päästökertoimen käsittely muuttuu
- palvelu- tai työkuormakohtainen kohdistussääntö muuttuu
- menetelmäkortin turvarajat eivät toteudu
- vaikutus perustuu vain mallin ennusteeseen tai suositukseen [L15, L17, L18]
- vertailutapaa tai normalisoitua lähtötasoa ei ole dokumentoitu.

Tulos kirjataan tällöin havaintona, kokeiluna tai jatkoselvityksenä.

8.4 Raportoitava tulos

Raporttiin kirjataan käytetty menetelmäkortti, toteutettu toimenpide, mittaus- ja lähtötiedot, todentamissuureet, vertailu- ja toteumajakso, normalisoitu lähtötaso, toteuma sekä absoluuttinen ja suhteellinen CO₂e-vähennys.

Luvun tuotos on dokumentoitu arvio menetelmäkortilla saavutetusta CO₂e-vähennyksestä. Jos raportointiehdot eivät täyty, tulos kirjataan havaintona, kokeiluna tai jatkoselvityksen kohteena.

Tunnettu datakeskusjäähdytyksen optimointiesimerkki:

Jäähdytysenergian vähentämisen menetelmäkortissa ennustavasta analytiikasta tai tekoälystä on hyötyä, kun jäähdytystarvetta pitää ennustaa etukäteen tai asetuservoja pitää suositella muuttuvien kuorma-, sää- ja olosuhdetietojen perusteella. Google DeepMindin datakeskusjäähdytyksen optimointi on esimerkki tällaisesta käytötavasta: malli ennustaa eri ohjausvaihtoehtojen vaikutuksia energiankulutukseen ja tuottaa suosituksen tai valitsee ylemmän tason optimointitoimenpiteen sovittujen turvarajojen sisällä [L20]. Tässä oppaassa vastaava toimenpide kuvataan ylemmän tason optimointipäätöksenä, jonka varsinainen ohjaus ja säätö toteutetaan paikallisen automaation kautta.

Vastaava tulos ei kuitenkaan ole raportoitava CO₂e-vähennys pelkän mallisuosituksen perusteella. Saavutettu CO₂e-vähennys lasketaan aina omasta mittausdatasta vertaamalla menetelmäkortin mukaisen toimenpiteen jälkeistä toteumaa normalisoituun lähtötasoon.

8.5 Loppuhuomio

Tämän menetelmäoppaan keskeinen ajatus on, että datakeskuksen käytönaikaisen CO₂e-vaikutuksen optimointi perustuu luotettavaan mittausdataan, johdonmukaiseen laskentaan ja vaikutusten todentamiseen. Ensin rakennetaan dataperusta, sen jälkeen muodostetaan laskentadata, CO₂e-aikasarja ja keskeiset tunnusluvut eli KPI:t. Näiden perusteella voidaan arvioida, mitä muutoksia kannattaa tehdä ja miten niiden vaikutukset osoitetaan.

Tässä oppaassa kuvattu menetelmä toimii parhaiten, kun jokainen optimointipäätös kuvataan samalla tavalla: mitä havaittiin, mihin laskentadataan havainto perustuu, mitä muutetaan, millä turvarajoilla muutos tehdään ja miten vaikutus todennetaan.

Tekoäly voi tukea ylemmän tason optimointipäätöksiä ennusteilla, poikkeamien tunnistamisella ja suosituksilla. Käytönaikaisen CO₂e-vaikutusten pienentyminen voidaan kuitenkin osoittaa vain hyväksytyyn laskentadatan perusteella, samalla mittausrajalla, samalla laskentasäännöllä ja sovitulla vertailutavalla.

Kun tätä ketjua noudatetaan johdonmukaisesti, yksittäiset analyysit muuttuvat auditoitaviksi toimenpiteiksi. Näin datakeskuksen energiankulutuksen ja käytönaikaisen CO₂e-vaikutusten optimointi voidaan tehdä hallitusti, vertailukelpoisesti ja todennettavasti.

Lähteet ja standardit

- [L1] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. GHG Protocol, 2004.
- [L2] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. GHG Protocol Scope 2 Guidance: An amendment to the GHG Protocol Corporate Standard. GHG Protocol, 2015.
- [L3] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. The GHG Protocol for Project Accounting. GHG Protocol, 2005.
- [L4] ISO/IEC 30134-1:2016. Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 1: Overview and general requirements.
- [L5] ISO/IEC 30134-2:2026. Information technology — Data centres key performance indicators — Part 2: Power Usage Effectiveness (PUE).
- [L6] ISO/IEC 30134-8:2022. Information technology — Data centres key performance indicators — Part 8: Carbon Usage Effectiveness (CUE).
- [L7] ISO/IEC 30134-6:2021. Information technology — Data centres key performance indicators — Part 6: Energy Reuse Factor (ERF).
- [L8] ISO/IEC 30134-3:2016. Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 3: Renewable Energy Factor (REF).
- [L9] ISO/IEC 30134-9:2022. Information technology — Data centres key performance indicators — Part 9: Water Usage Effectiveness (WUE).
- [L10] Efficiency Valuation Organization. International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). Core Concepts.
- [L11] European Commission, Joint Research Centre. 2025 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency. Publications Office of the European Union, 2025.
- [L12] Green Software Foundation. Software Carbon Intensity (SCI) Specification, version 1.1.0.
- [L13] Green Software Foundation. Carbon Aware SDK Documentation. Lisämateriaali carbon-aware-ajattelun käytännön soveltamiseen; ei standardi.
- [L14] ISO/IEC 42001:2023. Information technology — Artificial intelligence — Management system.
- [L15] ISO/IEC 23894:2023. Information technology — Artificial intelligence — Guidance

on risk management.

[L16] ISO/IEC 22989:2022. Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology.

[L17] ISO/IEC 23053:2022. Framework for Artificial Intelligence (AI) Systems Using Machine Learning (ML).

[L18] National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). NIST, 2023.

[L19] scikit-learn documentation. Common pitfalls and recommended practices; Feature extraction; Preprocessing data; Pipeline. Tekninen lisämateriaali piirteiden muodostamiseen, esikäsittelyyn, muunnosketjuihin ja data leakage -riskin välttämiseen.

[L20] Evans, R. & Gao, J. DeepMind AI reduces Google data centre cooling bill by 40%. DeepMind Blog, 2016.

[L21] Our World in Data. Lifecycle carbon intensity of electricity, 2025. Data source: Ember. Saatavilla: <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity>

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

01.04.2024–31.03.2026

Lisätietoja

tieke.fi/green-ict-visiiri