

Sami Kananen

**EN 50600-standardien mukaiset energiatehokkuus-
laskennat CSC:n Kajaanin datakeskuksissa**

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2024



**KAMK • University
of Applied Sciences**

Tiivistelmä

Tekijä(t): Kananen Sami

Työn nimi: EN 50600-standardien mukaiset energiatehokkuuslaskennat CSC:n Kajaanin datakeskuksissa

Tutkintonimike: Insinööri (AMK) Konetekniikka

Asiasanat: datakeskus, energiatehokkuus, hukkalämpö, uusiutuva energia, supertietokone, standardi

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella EN 50600-4-2 -, EN 50600-4-3 - ja EN 50600-4-6 -standardeja ja verrata CSC:n Kajaanissa operoimia datakeskuksia ja niiden energiankulutusten monitorointia standardeihin. Sen jälkeen tehtiin standardien mukaiset laskennat. Edellä mainitut standardit käsittelevät kolmea eri suorituskymittaria (KPI) eli datakeskusten energiatehokkuutta (PUE), uusiutuvan energian käyttösuhdetta (REF) ja energian uudelleenkäyttösuhdetta (ERF). Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi CSC – Tieteen tietotekniikan keskus Oy:n Kajaanin toimipiste. Työn taustalla oli Euroopan unionin vuonna 2021 uudelleenlaadittu ja 2023 uudistettu energiatehokkuusdirektiivi, joka velvoittaa muun muassa datakeskustoimijoita kiinnittämään enemmän huomiota omaan energiatehokkuuteensa sekä monitoroimaan sen osa-alueita, kuten energiankulutuksia, olemassa olevien standardien mukaisesti.

Työ suoritettiin CSC:n kummallekin Kajaanissa sijaitsevalle datakeskukselle: Kajaanin datakeskukselle, joka on kansallisessa käytössä, sekä EuroHPC JU:n omistaman LUMI-supertietokoneen operointia varten rakennetulla LUMI-datakeskukselle. Työssä selvitettiin standardien ohjeistamana energiankulutusarvoja, joiden avulla pystyttiin määrittelemään kukin KPI. Jokainen niistä on yhden vuoden mittausjaksolta. Arvot löytyivät yleensä rakennusautomaatiosta ja vuoden 2023 energiaraporteista. Kunkin KPI:n kohdalla suoritettiin standardin mukainen jakolasku. PUE:ssa noudatettiin EN 50600-4-2:n kaavaa, jossa jaetaan datakeskuksen kokonaiskulutus IT-kulutuksella. REF:ssä noudatettiin EN 50600-4-3:n kaavaa, jossa jaetaan uusiutuvan energian määrä kokonaiskulutuksella. ERF:ssä jaettiin EN 50600-4-6:n mukaisesti jakamalla uudelleenkäytetty energia kokonaiskulutuksella.

Kajaanin datakeskuksen PUE-arvoksi saatiin 1,08, joka luokitellaan todella hyväksi lukemaksi. Kajaanin datakeskuksessa on pyritty panostamaan mahdollisimman hyvään PUE-lukemaan. LUMI-datakeskuksen PUE:ksi saatiin 1,28, joka on Kajaanin datakeskukseen verrattuna heikompi, mikä johtuu siitä, että LUMI-datakeskuksella on panostettu paljon enemmän energian uudelleenkäyttöön, joka näkyy sen korkeassa ERF-lukemassa. LUMI-datakeskuksen ERF oli 0,57. Prosenttilukuna tarkastellessa se tarkoittaisi, että 57 % LUMI:n käyttämästä energiasta käytetään uudelleen. Kajaanin datakeskuksella ERF oli todella pieni, noin 0,0006. Kummankin datakeskuksen REF-luku oli 1, koska kaikki CSC:n ostama energia on uusiutuvista lähteistä, mikä mainitaan sähkön alkuperäistodistuksessa.

Kaikki halutut arvot saatiin selvitettyä ja niiden avulla saatiin laskettua kaikki halutut KPI:t. Haasteita esiintyi lähinnä Kajaanin datakeskuksen ERF-luvun laskemisessa, tarkalleen ottaen uudelleenkäytetyn energian määrän selvittämisessä, koska sille ei ollut mittarointia. Kajaanin datakeskuksen uudelleenkäytetty energia saatiin kuitenkin lopulta laskettua toimiston lämmitykseen kytketyltä lämmöntalteenottokoneelta (LTO) laskien ilmvirran sekä meno- ja sisälämpötilan erotuksen avulla.

Abstract

Author(s): Kananen Sami

Title of the Publication: EN 50600 Standard Energy Efficiency Calculations at CSC Kajaani Data Centers

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical engineering

Keywords: datacenter, energy efficiency, waste heat, renewable energy, supercomputer, standard

The aim of this thesis was to view EN 50600-4-2, EN-50600-4-3, EN 50600-4-6 standards and compare data centers operated by CSC in Kajaani, their energy efficiency and monitoring of their energy usage to the standards and perform calculations according to the standards. The standards mentioned contain definitions of three different key performance indicators: power usage effectiveness (PUE), renewable energy factor (REF) and energy reuse factor (ERF). This thesis was commissioned by CSC – IT Center for Science's office in Kajaani. The thesis was based on an energy efficiency directive by the European union, recast in 2021 and revised in 2023. The directive obligates data center operators to regard energy efficiency and monitoring of its sub areas, such as energy usages based on existing standards.

The thesis presents both data centers operated by CSC in Kajaani, the Kajaani data center, in national use and LUMI-datacenter, which hosts the LUMI-supercomputer owned by EuroHPC JU. Different energy usages were measured according to standards used in the calculations of each KPI. Each energy usage is typed as an annualized value. The values for energy usages were usually found in building automation systems and energy reports from 2023. Each KPI was calculated with a division according to the standards. PUE was calculated with a formula based on the EN 50600-4-2 standard in which, the total data center energy consumption is divided by IT-device energy consumption. REF was calculated with a formula based on EN 50600-4-3 in which the amount of renewable energy owned by data center is divided by the total energy consumption. ERF was calculated with a formula based on EN 50600-4-6 in which the amount of energy reused outside of the data center boundary is divided by total energy consumption.

The PUE in Kajaani data center was 1,08 which is considered an appropriate value. In Kajaani data center PUE has been the main focus of the KPI:s used. LUMI-datacenter PUE was 1,28, which compared to Kajaani data center is less appropriate, but its due to LUMI-datacenters focus on ERF. ERF in LUMI-datacenter was 0,57, 57 % of the energy reuse. In Kajaani data center ERF was around 0,0006, which is a very small percentage of energy reuse. REF in both data centers was 1, since CSC acquires and uses only renewable energy, which is stated in the renewable energy certificate.

There were a few challenges during the process, but every energy value was found and the KPI:s were calculated. Most challenges arose with the calculation of ERF in Kajaani data center, specifically with the amount of reused energy, since metering was lacking. The value for reused energy had to be calculated from airflow and temperature difference on heat recovery machine connected to office warming.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Energiatehokkuus	3
3	Hukkalämpö.....	6
4	EN 50600 – Datakeskusinfrastruktuuri.....	8
4.1	EN 50600-4-2 – PUE	8
4.2	EN 50600-4-3 – REF	9
4.3	EN 50600-4-6 – ERF	11
5	PUE-laskennat ja mittaukset.....	13
5.1	PUE – Kajaanin datakeskus.....	14
5.2	PUE – LUMI	14
6	REF-laskennat ja tarkastukset.....	16
6.1	REF – Kajaanin datakeskus	17
6.2	REF – LUMI	17
7	ERF-laskennat ja tarkastukset.....	19
7.1	ERF – Kajaanin datakeskus	20
7.2	ERF – LUMI	21
8	Yhteenvedo ja kehityskohteet.....	22
	Lähteet	25
	Liitteet	

Termit ja lyhenteet

PUE: Power Usage Effectiveness / Energiatehokkuus

REF: Renewable Energy Factor / Uusiutuvan energian käytösuhde

ERF: Energy Reuse Factor / Energian uudelleenkäytösuhde

KPI: Key Performance Indicator / Suorituskykymittari

PDU: Power Distribution Unit / Virranjakoyksikkö

UPS: Uninterruptible Power Supply / Katkeamaton virransyöttö

LTO: Lämmön talteenotto

HPC: High Performance Computing / Suurteholaskenta

kWh: Kilowattitunti

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantaja on CSC – Tieteen tietotekniikan keskus Oy:n Kajaanin toimipiste. CSC on valtion ja korkeakoulujen omistama voittoa tavoittelematon erityistehtäväyhtiö. CSC tarjoaa asiakkailleen erilaisia ICT-alan asiantuntijapalveluita, joita käytetään pääsääntöisesti tutkimuksen, koulutuksen sekä julkishallinnon ja kulttuurin tarpeisiin. [1.] CSC:llä on Kajaanin Renforsin rannan yritysalueella kaksi datakeskusympäristöä. Ensimmäinen niistä on vuonna 2012 valmistunut Kajaanin datakeskus, kutsumanimeltään ”Varasto”, joka on CSC:n kansalliseen käyttöön suunniteltu datakeskus, jossa sijaitsevat tällä hetkellä supertietokoneet Puhti ja Mahti sekä datanhallintajärjestelmä Allas ja muuta IT-laitteistoa. Toinen datakeskus on LUMI-datacenter, jossa sijaitsee EuroHPC JU:n (European High Performance Computing Joint Undertaking) omistama LUMI-supertietokone, joka valmistui vuonna 2021. [2.] EuroHPC JU on Euroopan maiden ja yksityisten toimijoiden yhteishanke, jonka tavoitteena on kehittää maailmanluokan suurteholaskennan ympäristöjä Euroopassa.

Opinnäytetyön taustalla on Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi vuodelta 2012, johon tehtiin 2023 sen viimeisin muutos, joka asetti kaikille EU-maille tavoitteen vähentää vuoteen 2030 mennessä 11,7 % koko yhteisestä EU:n energiankulutuksesta. Tavoitteena energiankulutuksen vähentämisessä on irtaantua entisestään fossiilisten polttoaineiden käytöstä energiatuotannossa. [3.]

Datakeskusympäristöissä direktiivin asettamien vaatimusten toteuttamista varten täytyy voimassa olevien standardien mukaisesti tarkastella ainakin yhtä seuraavista datakeskuksen kestävyiden perusulottuvuuksista: energiatehokkuutta, uusiutuvan energian käyttöä, hukkaenergian talteenottoa ja uudelleenkäyttöä, jäähdytyksen tehokkuutta, hiilienergian käyttötehokkuutta ja käytetyn makean veden määrää [4, s. 48].

Tässä opinnäytetyössä tarkastetaan CSC:n Kajaanin datakeskusten PUE:n (Power Usage Effectiveness), REF:n (Renewable Energy Factor) ja ERF:n (Energy Reuse Factor) mittarointeja voimassa olevien standardien avulla sekä lasketaan niiden kaikkien arvot standardinmukaisesti mittaroinneista saatujen tietojen avulla. PUE, REF ja ERF ovat KPI:ta (Key Performance Indicator) eli suorituskykymittareita, joilla seurataan energiatehokkuutta, uusiutuvan energian käyttöä ja energian uudelleenkäyttöä. Standardit, joita käytetään, ovat EN 50600-4-2, EN 50600-4-3 ja EN 50600-4-6, joista kukin käsittelee eri KPI:ta. Tarkastusten ja laskujen aikana ja jälkeen tehdään mahdollisista

puutteista ja muista epäkohdista havainnointeja ja ehdotetaan sekä suunnitellaan tarvittavia kehitystoimenpiteitä mahdollisuuksien mukaan.

Mittarointeja tullaan seuraamaan muun muassa kiinteistönhallintajärjestelmien kautta ja kiinteistön sähkömittareiden kautta mahdolliset energiahäviöt huomioiden, mikäli mahdollista. Jos mittarointia ei löydy jollekin arvolle lainkaan, pyritään se selvittämään jotakin muuta kautta, jotta saadaan jonkinlainen tulos aikaiseksi. Kaikkia arvoja tarkastettaessa otetaan huomioon standardien vaatimat osa-alueet. Laskutoimituksissa käytetään standardeissa esitettyjä laskukaavoja ja taulukoita.

2 Energiatehokkuus

Energiatehokkuus tarkoittaa energian tuotannon ja käytön tehokkuutta. Energian käyttökohdetta voidaan pitää energiatehokkaana silloin, kun se käyttää vain tarvitsemansa energian. Energiatehokkuuden merkitys yhteiskunnassa on kasvanut vuosien varrella osana EU:n energia- ja ilmasto-politiikkaa, jonka tarkoituksena on vähentää kokonaisvaltaisesti energian kulutusta EU-tasolla. Energiatehokkuutta edistämällä voidaan vähentää energian kulutusta ja täten myös hiilidioksidipäästöjä ja energiakustannuksia. [5.] Lisäksi, kun energiaa kulutetaan vähemmän, voidaan turvata paremmin energian saatavuutta, tuontienergian tarve vähenee, energian tuotanto on resurssitehokkaampaa ja ympäristölle tapahtuvat haittavaikutukset vähenevät [6].

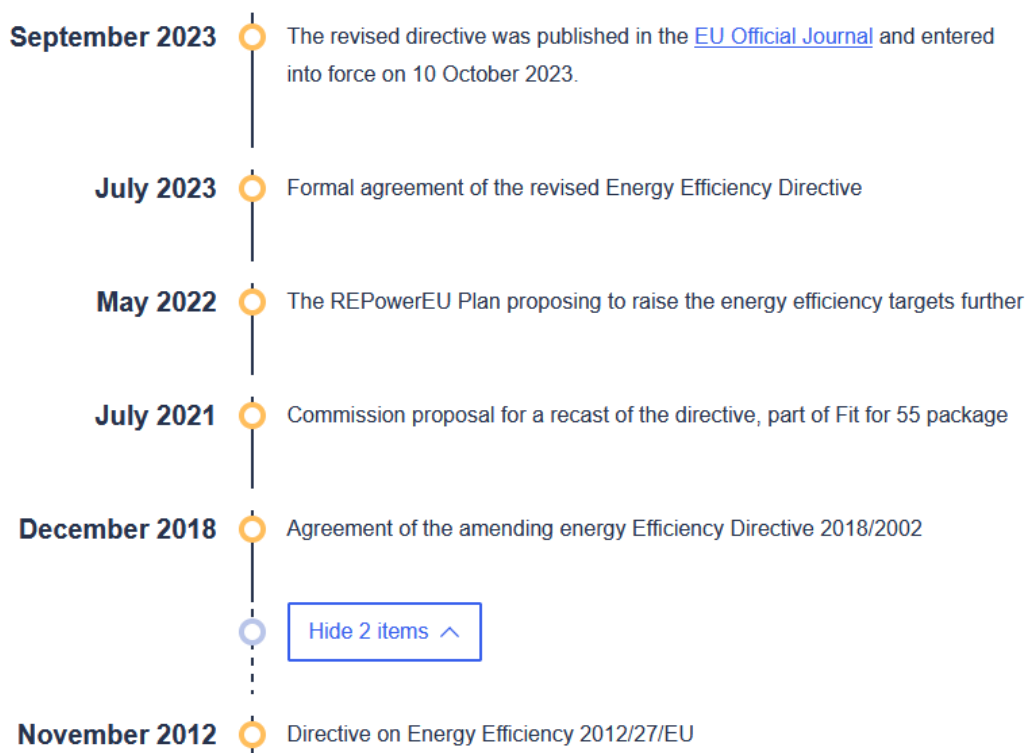
Suomea pidetään maailmanlaajuisesti energian säästötoimissa ja energiatehokkuudessa yhtenä johtavista maista. Suomessa on hyödynnetty kustannustehokkaita energiaratkaisuja ja energiatehokkuusjärjestelmää, jotka perustuvat vapaaehtoisuuteen. EU:n energiatehokkuuteen liittyvissä asioissa sekä muissa kansainvälisissä yhteistöissä energiatehokkuuteen liittyen Suomea edustaa työ- ja elinkeinoministeriö. Toimeenpanotehtävät energiatehokkuuden sopimuksiin, katselmuksiin, kuluttajaneuvontaan sekä viestintään ja tuotesuunnitteluun on energiavirastolla. Käytännön työt energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian käytön edistämiseen liittyen kuuluvat Motiva Oy:lle, joka on valtion omistama yhtiö. [6.]

Datakeskusympäristössä energiatehokkuutta mitataan standardien EN 50600-4-2:2017 ja ISO/IEC 30134-2:2016 määrittämällä PUE-lukemalla (Power Usage Effectiveness), joka kuvaa datakeskusten energiatehokkuutta sen mukaan, miten paljon energiaa käytetään sen IT-laitteisiin. Muut toiminnot näkyvät lukemassa ns. ylimääräisenä kulutuksena [7]. Koskaa datakeskukset ovat suuria energian kuluttajia maailmanlaajuisesti, kuuluvat ne tärkeimpiin kohteisiin, joissa edistää energiatehokkuutta. Suomea pidetään erinomaisena paikkana datakeskustoiminnalle, koska kylmän ilmastonsa ansiosta datakeskuksia on mahdollista pitää suuren osan vuodesta vapaajäähdytyksellä, jolloin ei ole tarvetta käyttää erillisiä vedenjäähdytyskoneita. Tämä johtaa pienempään energiankulutukseen ja parempaan energiatehokkuuteen.

EED (Energy Efficiency Directive) eli energiatehokkuusdirektiivi on Euroopan unionin vuonna 2012 laatima direktiivi, jonka tavoitteena on vähentää energian kulutusta koko EU:ssa. 2012 vuoden versio eli direktiivi 2012/27/EU sisälsi tavoitteen parantaa energiatehokkuutta 20 % koko Euroopan unionissa vuoteen 2020 mennessä. Direktiivin alaisena jokaisella jäsenvaltiolla oli velvollisuus

parantaa energian käytön tehokkuutta energiaketjun kaikissa vaiheissa. Direktiivin asettamat tavoitteet ylittyivät vuoteen 2020 mennessä. Direktiiviin on tullut vuosien varrella muutoksia ja uudistuksia, jotka ovat listattuna tiivistetysti kuvan 1 aikajanalla [2.]

Timeline 2012-2023



Kuva 1. Energiatehokkuusdirektiivin aikajana 2012–2023 [2].

Ensimmäinen muutos tehtiin vuonna 2018, jolloin esiteltiin ”Puhdasta energiaa kaikille”-paketti, jonka tarkoitus oli muuttaa energiapolitiikkaa edistämään fossiilisista polttoaineista irtautumista ja puhtaamman energian käytön lisääntymistä. Tämä uudistus otettiin käyttöön vuonna 2019, ja sillä pyrittiin pääsemään Pariisin ilmastopimuksen tavoitteisiin. Uudistuksen pääkohdat olivat rakennusten energiatehokkuus, uusiutuva energia, energiatehokkuus ja sen sisältämä uusi hallintoasetus. [8.]

Vuonna 2021 komissio ehdotti direktiiviä uudelleenlaadittavaksi osana EU:n Green Deal -pakettia, kun vuoden 2020 tavoitteisiin oli jo päästy. Ehdotusta vietiin pidemmälle vuonna 2022 osana REPowerEU-suunnitelmaa, jonka tarkoituksena on vähentää Euroopan unionin riippuvuutta venäläisestä fossiilipolttoaineesta. [2.]

Vuonna 2023 uudistetussa direktiivissä nostettiin EU:n energiatehokkuustavoitteita, jolloin nykyinen tavoite vähentää energiankulutusta 11,7 prosenttia vuoteen 2030 mennessä koko EU:ssa astui voimaan. Uudistetun direktiivin alla jäsenvaltiot ovat suostuneet tekemään osansa tavoitteisiin pääsemiseksi kansallisia olosuhteita vastaavien kriteerien, kuten esimerkiksi bruttokansantuotteen, energiasiteen, energiansäästömahdollisuuksien, ja aikaisempien energiatehokkuuden edistystoimenpiteiden, mukaan. Direktiivi sisältää myös paranneltuja keinoja aukkojen täyttämiseksi, mikäli jokin jäsenvaltio ei kykene pysymään mukana tavoitteissa. Direktiivin 2023 vuoden muutos astui voimaan 10.10.2023. [2.]

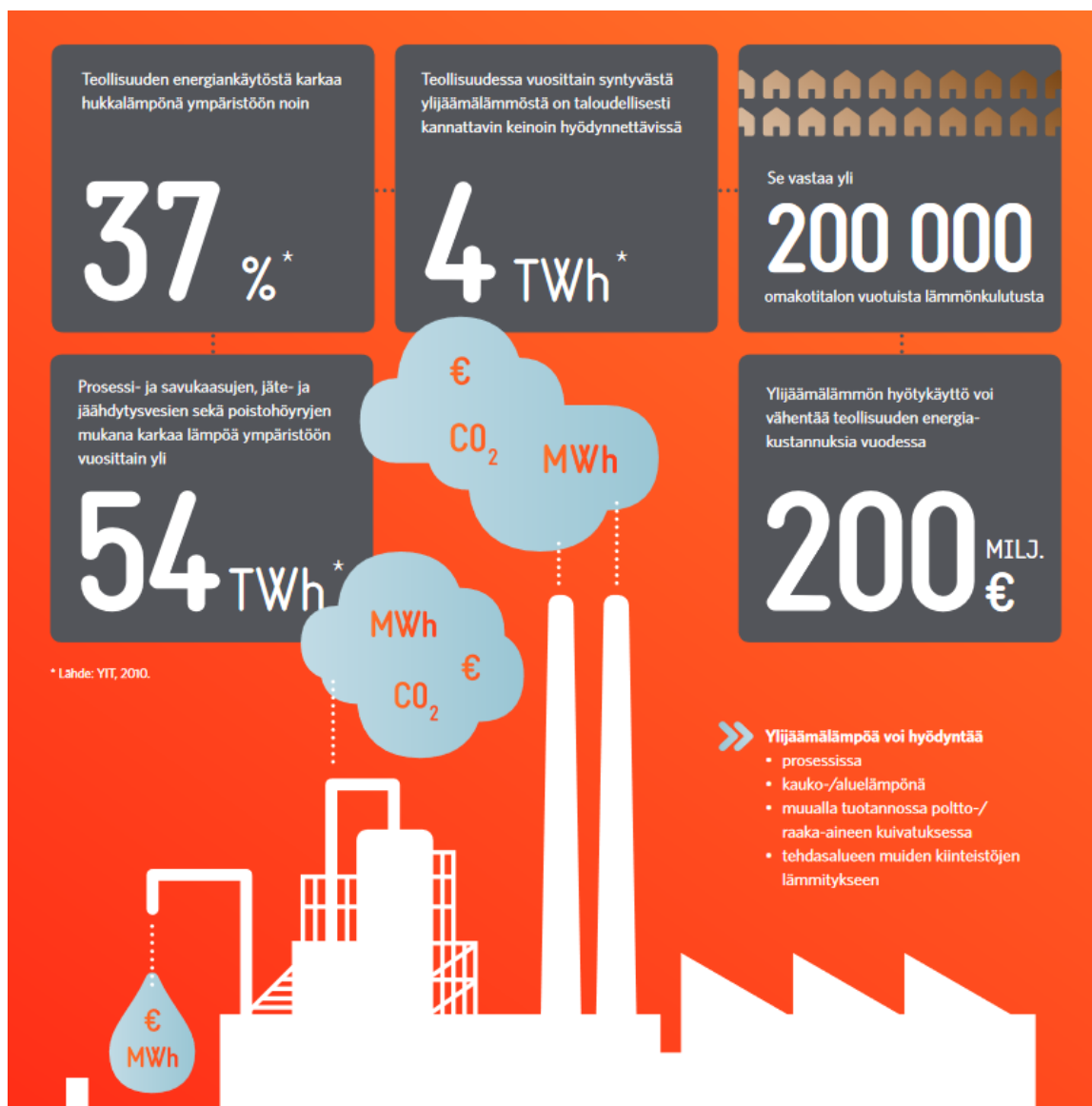
Datakeskustoiminnan osalta direktiivissä on asetettu velvollisuus monitoroida energiatehokkuutta. Monitoroinneista kerätään energiatehokkuuden kannalta oleellista dataa EU-tason tietokantaan, josta tiedot myös julkaistaan. Lisäksi komissio on järjestänyt tutkimuksen datakeskustusten energiatehokkuuden ja kestävyysparantamiseksi. [2.]

3 Hukkalämpö

Hukkalämpö on jonkin prosessin aikana syntyvää lämpöenergiaa, joka menee hukkaan. Hukkalämpöä syntyy lähes kaikenlaisissa eri prosesseissa. Suomen työ- ja elinkeinoministeriön arvio on, että Suomessa syntyy vuosittain noin 130 terawattituntia (TWh) hukkalämpöä, joista hyödynnetään noin 3 TWh. Hyödynnettävissä olevan hukkalämmön määräksi arvioidaan noin 35 TWh. Hyödyntämiseen saattaa kuitenkin liittyä erilaisia riskejä, kuten taloudellinen kannattavuus ja liiketoiminnalliset riskit. Teollisuuden tuottamasta hukkalämmöstä arvioidaan noin 15 TWh:n olevan uudelleenkäytettävissä, mutta se vaatisi suuria investointeja siirtoverkon rakentamiseen sekä lämpöpumppujen hankkimiseen ja asentamiseen. Lämpöpumput ovat kuitenkin tärkeässä roolissa hukkalämmön talteenotossa. Niiden avulla saadaan hyödynnettyä aikaisemmin kannattamattomien lämmönlähteiden lämpöenergia. [9.]

Hukkalämmön talteenotto on noussut merkittäväksi osaksi energiatehokkuuden parantamista ja ilmastomuutoksen torjumista. Hyödyntämällä ylijäämälämpöä, esimerkiksi omissa prosesseissaan, voivat tuotantolaitokset vähentää polttoaineiden tarvettaan ja kasvihuonekaasupäästöjään. On siis hyödyllistä selvittää oman prosessin hukkalämpöä tuottavat osa-alueet ja niiden hyödynnettävyys. [10, s. 2.]

Teollisuudessa yleisesti hukkalämpöä löytyy muun muassa poistohöyryistä, prosessi- ja savukaasuista, jäte- ja jäähdytysvesistä, kuivauksen poistokaasuista sekä jäähdytysjärjestelmien lauhdelämmöstä. Kuvassa 2 on arvio, jonka mukaan noin 37 % teollisuuden energiankäytöstä karkaa ympäristöön hukkalämmön muodossa. Kuvassa myös arvioidaan hyödynnettäväksi hukkalämmöksi noin 4 TWh vuodessa. Käyttökohteita talteenotetulle hukkalämmölle on monia prosessin mukaan. Teollisuuden parissa useimmiten on kannattavinta käyttää hukkalämpöä oman prosessin lämmitystarpeisiin, esimerkiksi polttoaineiden kuivattamiseen raaka-aineiden esilämmitykseen ja kiinteistöjen lämmitykseen. Vaikka hukkalämmön talteenotto voi vaatia suuriakin investointeja, voi sillä silti vähentää energiakustannuksia. Kuvan 2 mukaan säästöjä voi tulla jopa 200 miljoonaa euroa vuodessa. [10, s. 2.]



Kuva 2 Motiva: Teollisuuden hukkalämpö [10, s. 2.]

Hukkalämpöä on mahdollista hyödyntää myös kaukolämpöverkossa. Yritys voi myydä tuotta-
maansa hukkalämpöä lähialueen kauko- tai aluelämpöverkkoon, mikäli sitä ei voida hyödyntää
omassa prosessissa. Sopimus hukkalämmön myymisestä paikalliseen lämpöverkkoon voidaan
tehdä paikallisen energiayhtiön kanssa. [10, s. 3.] Yksi esimerkki hukkalämmön hyödyntämisestä
on Kajaanin Renforssin rannassa sijaitseva CSC:n operoima LUMI-supertietokone, jonka tuotta-
maa hukkalämpöä ohjataan Loiste Lämmön ylläpitämään kaukolämpöverkkoon sekä alueen ra-
kennusten lämmitykseen [11].

4 EN 50600 – Datakeskusinfrastruktuuri

EN 50600 on joukko erilaisia eurooppalaisia datakeskusinfrastruktuurin suunnitteluun ja operointiin liittyviä standardeja, jotka on laatinut eurooppalainen sähköteknisen standardoinnin komitea CENELEC. Suomessa sen on julkaissut Suomen standardisoimisliitto eli SFS ry.

Standardit käsittelevät laajasti eri datakeskusinfrastruktuurin osa-alueita, jotka ovat jaoteltu seuraavasti viiteen osaan:

- EN 50600-1: yleiskatsaus
- EN 50600-2: suunnittelu
- EN 50600-3: operointi ja hallinta
- EN 50600-4: KPI:t
- CLC/TR 50600-99-1: energian hallinnan suositellut menetelmät. [12.]

4.1 EN 50600-4-2 – PUE

EN 50600-4-2:2017/A1:2019 on tässä opinnäytetyössä käytettävä Eurooppalainen Standardi, joka käsittelee datakeskusten PUE-lukeman mittarointia ja laskemista. Standardi julkaistiin vuonna 2016 ja siihen tehtiin muutos vuonna 2019. PUE on luku, joka määrittää, kuinka tehokkaasti datakeskus käyttää energiaa. [13, s. 4.] PUE:n laskemisessa selviää, kuinka suuri osa datakeskuksen kuluttamasta energiamäärästä menee sen IT-laitteisiin, eli palvelimiin, reitittäjiin, tallennustilalaitteisiin, palomureihin ja ADC-laitteisiin (Application Delivery Controller) ja kuinka paljon sen muihin toimintoihin, kuten vaikkapa jäähdytysjärjestelmiin, valaistukseen, ilmastointiin ja hallintalaitteisiin. Eli datakeskus siis luokitellaan energiatehokkaammaksi sen mukaan, mitä vähemmän se kuluttaa sähköä muihin toimintoihin kuin IT-laitteisiin [14.]

Standardi sisältää erilaisia malleja datakeskuksista kaavioiden muodossa sähkönsyötön ja energialähteiden mukaan. Se sisältää myös taulukon, johon on määritelty eri polttoaineiden sisältämä energiamäärä kWh:na sekä kaavat PUE:n laskemiseen tilannekohtaisesti. Esimerkiksi joissain tapauksissa sähköä voi tulla muualtakin kuin kantaverkosta, kuten vaikkapa tilanteessa, jossa osa

sähköstä tuotetaan paikan päällä, esimerkiksi polttoainegeneraattorin tai aurinkopaneelien avulla. Tällaisissa tilanteissa täytyy muistaa lisätä paikan päällä tuotetun energian kulutus muuhun kulutukseen, jotta saadaan tietää datakeskuksen todellinen kokonaiskulutus. [13, s. 5–7.]

Lopullinen PUE-lukema saadaan kaavan 1. mukaisesti, jossa E_{DC} tarkoittaa datakeskuksen kuluttamaa energiamäärää vuosittaistasolla tarkasteltuna ja E_{IT} tarkoittaa kaikkien datakeskuksen sisältämien IT-laitteiden yhteen laskettua kokonaisenergiankulutusta vuosittaistasolla tarkasteltuna. Energiankulutuksissa mittayksikkönä toimii aina kWh. [13, s. 5.]

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

E_{DC} :n mittauspiste on tyypillisesti sähkönjakoaseman datakeskukselle menevällä sähkönsyötöllä. E_{IT} :n mittauspiste taas on tyypillisesti PDU:n ja IT-laitteiden välisellä sähkönsyötöllä, jolloin PDU:n kuluttamaa energiaa ei tule mukaan laskuihin. [13, s. 4–5.]

PUE-lukeman paremmuus tulkitaan aina sen mukaan, kuinka lähellä se on lukua 1,0. Koska IT-laitteiden kulutus ei voi olla datakeskuksen kokonaiskulutusta suurempi, on PUE:n oltava vähintään 1,0. NREL:in, eli National Renewable Energy Laboratoryn mukaan tyypillinen PUE-arvo maailmalla on noin 1,8 ja yleisesti datakeskustoimijat tavoittelevat 1,2 tai pienempää PUE-arvoa. [7.]

4.2 EN 50600-4-3 – REF

EN 50600-4-3:2017 on standardi, jonka tarkoitus on määrittää REF. REF on KPI, jonka avulla voidaan tarkkailla uusiutuvan energian käytön määrää datakeskuksen kokonaisenergiankulutuksessa. Standardissa esitetään tavat REF-lukeman laskemista ja esittämistä varten sekä siinä annetaan tietoa REF-lukemien oikeasta tulkinnasta. Standardi on julkaistu vuonna 2016. [15, s. 7.]

Uusiutuva energia tarkoittaa kaikkea energiaa, joka tuotetaan käyttäen uusiutuvia energianlähteitä, kuten vesivoima, tuulivoima, aurinkoenergia ja bioenergia. Uusiutuvan energian merkitys yhteiskunnassa on kasvanut merkittävästi yhtenä tapana torjua ilmastonmuutoksen etenemistä. Monet toimialat suosivat enemmän uusiutuvan energian ostamista ja sen tarpeen kasvaessa on pystytetty uusia voimalaitoksia. Esimerkiksi vuonna 2022 tuulivoimaan tehtiin Suomessa 2,9 miljardin euron edestä investointeja, jonka aikana valmistui noin 2430 MW:n nimellistehon edestä tuulivoimaloita samalla vähentäen fossiilisen energian käyttöä. [16.]

Standardin sisällössä esitellään aiheeseen kuuluvat termit, lyhenteet ja symbolit, REF:n käyttötarkoitus, ohjeistukset REF:n määrittelyyn, laskemiseen, mittaamiseen ja REF-raportin laatimiseen. REF-raporttiin kirjataan laskettu REF-lukema, datakeskus, jossa mittaukset on suoritettu, mittauksien alku- ja loppupäivämäärät, raportoinnin yhteydessä käytetyn energian alkuperä, toimijat, jotka myöntävät uusiutuvan energian sertifikaatteja, vuosittaisen paikan päällä tuotetun uusiutuvan energian määrä sekä sähkön toimittajan vuosittainen uusiutuvan energian sertifikaatti. [15, s. 7–11.]

Standardissa on kolme liitettä: A, B ja C. Liitteessä A on lista eri Euroopan maissa toimivista organisaatioista, jotka myöntävät uusiutuvan energian sertifikaatteja. Suomessa uusiutuvan energian sertifikaatteja myöntää Grexel Systems Oy. Liitteessä B on havainnollistavia esimerkkejä REF:n laskemiseen ja erilaisia esimerkkikuvia. Liitteessä C on ohjeet ja kaava REF:n laskemiseen, kun uusiutuvaa energiaa on käytetty erilaisissa aikaintervalleissa. [15, s. 12–17.]

Joillakin datakeskuksilla on käytössään omia uusiutuvan energian tuotantomenetelmiä. Yleisin tapa tuottaa uusiutuvaa energiaa paikan päällä on katolle asennettavat aurinkopaneelit, joiden suosio perustuu niiden helppoon ja nopeaan asennettavuuteen. Toinen suosittu tapa tuottaa uusiutuvaa energiaa paikan päällä on tuulivoima, mutta se vaatii oikeanlaiset olosuhteet ja paljon tilaa, joten sen toteuttaminen ei usein ole mahdollista. [17.]

REF on suhdeluku, joka kuvaa uusiutuvan energian määrän kokonaiskulutuksesta. Jotta REF voidaan selvittää, täytyy olla tiedossa koko datakeskuksen energiankulutus (E_{DC}) yhdeltä vuoden pituiselta mittausjaksolta sekä datakeskuksen omistaman uusiutuvan energian määrä (E_{ren}) samalta jaksolta. E_{DC} :n selvityksessä pätee sama menetelmä, kuten PUE:n laskemisessa, eli otetaan lukeman sähkömittarilta kaapelihäviöt huomioiden. E_{ren} sen sijaan voidaan selvittää energiaraporttien tai muiden dokumenttien ja sertifikaattien kautta. Yritykset voivat sitoutua ostamaan tietyn määrän uusiutuvaa energiaa käyttöönsä, jolloin voidaan päätellä, kuinka paljon sitä on käytössä. Jos datakeskus tuottaa itse käyttöönsä uusiutuvaa energiaa, pitää sen vuosittainen määrä lisätä E_{ren} :iin. Kun arvot ovat tiedossa, REF lasketaan kaavan 2 mukaisella jakolaskulla. [15, s. 7–8.]

$$REF = \frac{E_{ren}}{E_{DC}} \quad (2)$$

REF-luku voi olla vain välillä 0–1, eli se on muutettavissa prosenttiyksiköiksi kertomalla 100:lla. Esimerkiksi, jos REF olisi 0,7, tarkoittaisi se sitä, että uusiutuvan energian määrä kokonaisenergiankulutuksesta on 70 %.

4.3 EN 50600-4-6 – ERF

EN 50600-4-6:2020 käsittelee datakeskuksen energian uudelleenkäyttöä sen ulkopuolella ja sen suhdetta kokonaisenergiankulutukseen eli ERF:ää. Standardi julkaistiin vuonna 2020. Hukkaenergiaa tulee yleensä lämpöenergian muodossa, jota voidaan uudelleen käyttää esimerkiksi muiden datakeskuksen ulkopuolelle kuuluvien tilojen lämmittämiseen tai sitä voidaan myydä eteenpäin. Standardissa määritellään ERF energian uudelleenkäytön KPI:na, esitellään mittaus- lasku- ja raportointimenetelmät sekä kuvaillaan ERF:n käyttöä energian uudelleenkäytön tehokkuuden mittaamisessa. Standardissa on myös liite A, jossa on esimerkkejä ERF:n käytöstä sekä liite B, joka sisältää energian muuntokerroin taulukon, jossa eri energiatyyppejä ja niiden sisältämä kWh-määrä mainittua tilavuusyksikköä kohti. [18, s. 7–21]

Hukkalämpöä syntyy enimmäkseen datakeskuksen jäähdytyksestä. IT-laitteet kuumenevat käytön aikana, jolloin ylimääräinen lämpö poistuu laitteesta eri tavoin riippuen jäähdytysmenetelmästä. Ilmajäähdytteiset laitteet jäähdytetään puhaltamalla niihin viileää ilmaa, joka poistuu laitteista kuumana ilmaa tuottaen hukkalämpöä. Nestejäähdytyksessä laitteita jäähdytetään lämpöä johtavalla nesteellä tai nesteseoksella, kuten esimerkiksi vedellä tai vesiglykoliliuoksella, joka kiertää jäähdytysputkistossa laitteiden läpi johtaen lämpöä pois laitteelta. Lämpöenergiaa tulee laitteen jäähdytysnesteputkiston paluupuolelta jäähdytysnesteen mukana, jota voidaan käyttää lämmitystarkoituksiin datakeskuksen ulkopuolella. [19.]

ERF on suhdeluku, joka kertoo, kuinka suuren osan datakeskuksen hyödynnetty hukkaenergia muodostaa sen kokonaisenergiankulutuksessa. Sen selvittämistä varten täytyy tietää, kuinka paljon datakeskus kuluttaa energiaa kokonaisuudessaan (E_{DC}), sekä kuinka paljon energiaa menee uudelleen käyttöön datakeskuksen ulkopuolelle (E_{reuse}). ERF lasketaan kaavan 3 mukaisella jakolaskulla. [18, s. 7–10.]

$$ERF = \frac{E_{reuse}}{E_{DC}} \quad (3)$$

ERF-luku voi olla välillä 0–1. Jos lukema olisi 0, tarkoittaisi se sitä, että datakeskuksen kuluttamasta energiasta ei mene ollenkaan uudelleenkäytettäväksi sen ulkopuolelle. Jos taas luku olisi 1, tarkoittaisi se, että kaikki datakeskuksen käyttämä energia menisi uudelleenkäytettäväksi sen ulkopuolelle. [18, s. 10.]

ERF:n lisäksi datakeskuksen uudelleenkäytetyn energian KPI:na käytetään myös ERE:ä (Energy Reuse Effectiveness) eli energian uudelleenkäytön tehokkuutta. ERE:ssä verrataan datakeskuksen

kokonaiskulutusta, josta on vähennetty uudelleenkäytetty energia sen IT-laitteiden kulutukseen.
[20, s. 10.]

Standardien EN 50600-4-2, EN 50600-4-3 ja EN 50600-4-6 avulla suoritettiin PUE-, REF- ja ERF-laskennat. Laskennoissa noudatettiin standardeissa esitettyjä laskenta- ja mittaustapoja tilanteen mukaan. PUE-laskuissa noudatettiin kaavaa 1, REF-laskuissa kaavaa 2 ja ERF-laskuissa kaavaa 3. Kummallekin datakeskusympäristölle eli Kajaanin datakeskukselle ja LUMI-datakeskukselle suoritettiin omat erilliset laskennat. Tulevissa kappaleissa käydään laskentaprosessit ja niiden yksityiskohdat läpi yksitellen.

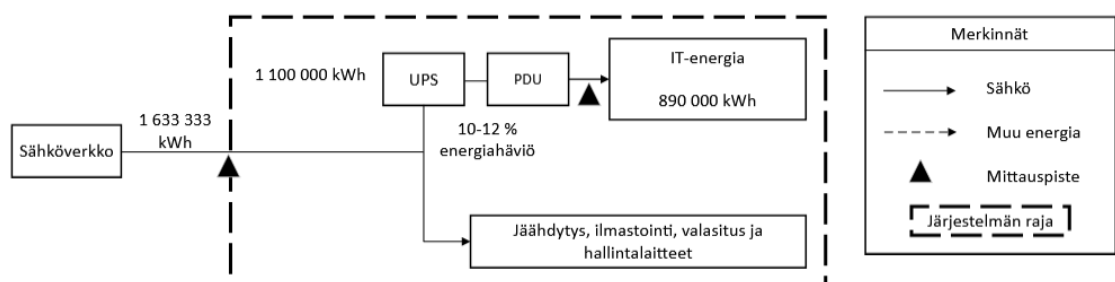
5 PUE-laskennat ja mittaukset

PUE:n laskemista varten täytyy selvittää datakeskuksen kokonaisenergiankulutus sekä IT-laitteiden yhteiskulutus. Tyypillisin tapa selvittää datakeskuksen kokonaissähkönkulutus on lukea se paikallisen sähkönjakoaseman datakeskukselle menevän sähkönsyötön sähkömittarilta, koska sieltä saatuun lukemaan sisältyy kaapeleiden energiahäviöt, jotka kuuluvat kokonaiskulutukseen.

IT-laitteiden todellinen kulutus voidaan selvittää PDU:iden (Power Distribution Unit) eli virranjakoyksiköiden syötöstä. Mittauspisteiden on oltava PDU:n ja IT-laitteiden välissä siksi, että voidaan huomioida PDU:lla sekä UPS:illa (Uninterruptible Power Supply) eli katkeamattomalla virransyötöllä tapahtuvat energiahäviöt [21]. PDU- ja UPS-laitteet voivat kuluttaa noin 10–12 % energiasta, joka syötetään IT-laitteille. PDU:iden ja UPS:ien kulutusta ei kuuluisi laskea mukaan IT-laitteiden kulutukseen [22].

Kuvassa 3 on havainnollistettu datakeskuksen energiankulutuksen mittauspisteet ja sähkön jakautuminen IT-laitteiden ja muiden laitteiden välillä yksinkertaiseen Microsoft Visiossa tehtyyn kaavioon, joka pohjautuu EN 50600-4-2:ssa olevaan samanlaiseen kuvaan.

Kuvan 3 esimerkissä on yksinkertaistamalla havainnollistettu, kuinka energia jakautuu PUE:n laskennan kannalta oleellisesti, eli IT-kulutus ja muu kulutus ovat toisistaan erillään. Kuvassa on mustilla kolmioilla merkattu mittauspisteet, joista saadaan tarkimmat mahdolliset lukemat PUE:n laskemiseen.



Kuva 3. Esimerkki, jossa datakeskuksen kaikki sähkö on ostettua [13, s.5].

5.1 PUE – Kajaanin datakeskus

PUE:n laskemisen kannalta oleelliset energiankulutuksen eli E_{DC} ja E_{IT} löytyvät datakeskuksen omasta rakennusautomaatiojärjestelmästä. E_{DC} :tä ei voida kuitenkaan luotettavasti lukea suoraan rakennusautomaatiosta, koska sen mittauspiste on kohdassa, josta ei voida huomioida kaapelihäviöitä. Kaapeleiden energiahäviöt tulee olla mukana kokonaiskulutuksen mittaamisessa. Kulutustiedot on otettava suoraan sähkönjakoaseman sähkömittarilta, jolloin saadaan kaapelihäviöt mukaan lopulliseen lukemaan. Vuoden 2023 energiaraportista löytyy sähkönjakoaseman mittaukselta saatu kulutus, joten sitä tullaan käyttämään laskuissa.

E_{IT} :n kohdalla on käytettävä rakennusautomaatiosta löytyvää lukemaa, koska lukemaa ei ole saatavilla muualta. E_{IT} :n mittauspiste on PDU:lle menevällä sähkönsyötöllä, joten PDU-häviöitä ei ole vähennetty rakennusautomaatiossa näkyvästä mittauksesta. PUE on laskettava siis rakennusautomaatiosta löytyvällä lukemalla. Rakennusautomaatioon asetetaan oikea mittausjakso. Mittausjaksona on 1.1.2023–1.1.2024 jonka ajalta tarkastellaan IT-kulutus.

Kun kaikki tarvittavat energiankulutusarvot on saatu selvitettyä, voidaan laskea PUE standardin mukaisesti kaavalla 1.

$$PUE = \frac{E_{DC}}{E_{IT}} = \frac{13499145 \text{ kWh}}{12458954 \text{ kWh}} = 1,083$$

PUE-lukemaksi saadaan laskentojen perusteella noin 1,08, eli datakeskus voidaan luokitella hyvin energiatehokkaaksi. Tässä tulee toki ottaa huomioon, ettei PDU-häviöitä ole vähennetty laskusta, joten lukema ei ole täysin totuudenmukainen.

5.2 PUE – LUMI

LUMI-datakeskuksessa laskentaa varten tarvittavat tiedot löytyvät rakennusautomaatiojärjestelmästä. Järjestelmästä voidaan seurata reaaliaikaisesti PUE:n laskentaa, mutta mittausjakso on vain yhdeltä kuukaudelta, mikä ei ole riittävä standardin mukaiseen laskentaan, vaan tarvitaan E_{DC} ja E_{IT} yhden vuoden mittausjaksolta. Järjestelmässä on kuitenkin mahdollista tarkastella energiankulutusten historiaa asettamalla mittausjakso halutulle aikavälille.

Mittausjaksoksi asetetaan taas 1.1.2023.–1.1.2024, jolta tarkastetaan E_{DC} ja E_{IT} . Tässäkin tapauksessa E_{DC} on selvítettävä sähkönjakoaseman mittarilta luetuista tiedoista, sillä rakennusautomaation mittauspiste on datakeskuksen rajan sisäpuolella. LUMI:n vuoden 2023 jakoasemalta mitattu kokonaisenergiankulutus löytyy energiaraportista.

Myös E_{IT} :n selvittämisessä pätevät samat haasteet kuin aikaisemmin. Sen mittauspiste on PDU:ille menevällä sähkönsyötöllä, josta ei vähenny PDU:lla tapahtuvaa energiahäviötä, eli on taas tyydyttävä rakennusautomaation mittauksen lukemaan.

E_{DC} :ksi saatiin mittausjaksolta 45025964 kWh ja E_{IT} :ksi 34965256 kWh. Seuraavaksi lasketaan PUE Standardin mukaisesti kaavalla 1.

$$PUE = \frac{E_{DC}}{E_{IT}} = \frac{45025964 \text{ kWh}}{35273777 \text{ kWh}} = 1,276$$

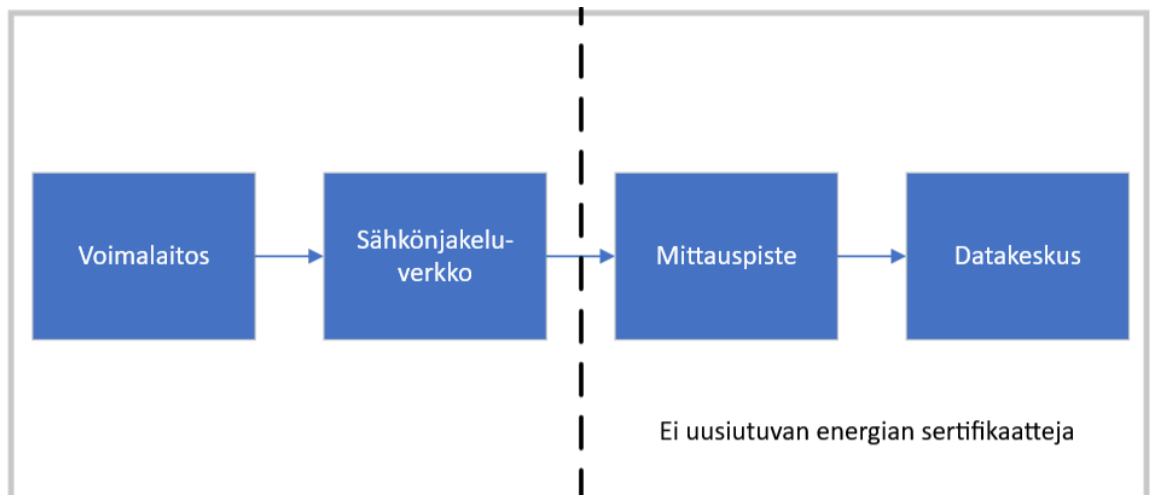
PUE:ksi saadaan noin 1,28, joka on maailmanlaajuista keskivertoa huomattavasti pienempi, mutta parantamisen varaa on silti reilusti, kun sitä verrataan Kajaanin datakeskuksen PUE-lukemaan. Tässäkin lukemassa on myös huomioitava, ettei PDU-energhiahäviöitä ole vähennetty E_{IT} :stä, joten lukema ei ole täysin tarkka.

6 REF-laskennat ja tarkastukset

REF:n laskemista varten on selvítettävä E_{DC} sekä E_{ren} . Koska tässä tapauksessa mittausjakso on sama kuin PUE:n laskemisessa, E_{DC} tulee olemaan sama kuin edellisissä laskuissa. Muuten E_{DC} :n mittaamiseen pätee täysin sama menetelmä kuin aiemminkin, eli tarkastetaan sähkömittarilta tai energiaraportista halutulta aikajaksolta koko datakeskuksen kuluttama energiamäärä mittauspisteeltä, jossa on mahdollisimman vähäiset energiahäviöt.

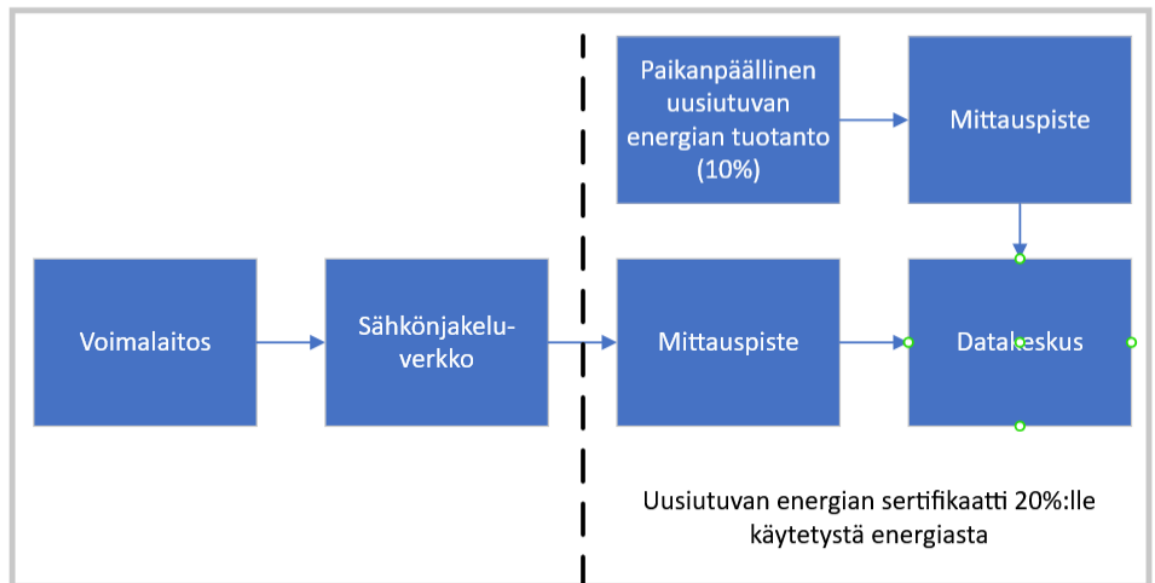
E_{ren} voidaan selvittää tarkastelemalla energiaraportteja tai muita dokumentteja ja sertifikaatteja, joista selviää, kuinka suuren osan energiastaan datakeskus on sitoutunut hankkimaan uusiutuvista energialähteistä. Jos datakeskuksella on omia uusiutuvan energian tuotantomenetelmiä, tulee niille olla oma mittarointi, josta voidaan seurata vuosittaistasolla energiantuotantoa. Paikan päällä tuotettu uusiutuva energia lasketaan mukaan ostettuun uusiutuvaan energiaan, jolloin saadaan todellinen E_{ren} -lukema. Mittayksikkönä käytetään kWh [16, s. 10].

Standardin EN 50600-4-3:2017 liitteessä B on esimerkkikuvia tilanteista, joissa on käytössä eri määriä uusiutuvaa energiaa ja eri uusiutuvan energian lähteitä. Alla on Microsoft Visiossa tehtyjä kuvia, jotka pohjautuvat standardissa esiteltyihin kuviin. Kuvan 4 esimerkissä ei olla hankittu lainkaan uusiutuvaa energiaa, eikä sitä tuoteta paikan päällä, joten REF on 0. [16, s. 13.]



Kuva 4. Tilanne, jossa ei olla hankittu uusiutuvaa energiaa [15, s. 13].

Kuvan 5 tilanteessa on hankittu uusiutuvan energian sertifikaatti 20 %:lle käytetystä energiasta sekä energiasta tuotetaan 10 % itse. Tässä tilanteessa REF olisi 0,3 [16, s. 14].



Kuva 5. Uusiutuvaa energiaa sähköverkosta ja itse tuotettuna [15, s. 13–16].

6.1 REF – Kajaanin datakeskus

REF:n laskentaa varten on jo tiedossa E_{DC} PUE-laskennoista, jota voidaan käyttää myös tässä, koska mittausjakso pysyy samana. E_{ren} on myös sama, kuin E_{DC} , sillä CSC on sitoutunut ostamaan kaiken käyttämänsä energian uusiutuvana energiana. CSC:llä on tästä todisteena Fingridin ja Nordic Green Energy:n sähkön alkuperäistodistukset.

$$REF = \frac{E_{ren}}{E_{DC}} = \frac{13499145 \text{ kWh}}{13499145 \text{ kWh}} = 1,0$$

REF on 1,0, joka toimii merkinä siitä, että kaikki energia on hankittu uusiutuvana. Omaa uusiutuvan energian tuotantoa datakeskuksella ei ole.

6.2 REF – LUMI

Kuten Kajaanin datakeskuksen, myös LUMI-datakeskuksen kaikki energia tulee uusiutuvista energian lähteistä. E_{DC} pysyy samana, kuin PUE-laskennassa, koska mittausjakso on täysin sama.

$$REF = \frac{E_{ren}}{E_{DC}} = \frac{45025964 \text{ kWh}}{45025964 \text{ kWh}} = 1,0$$

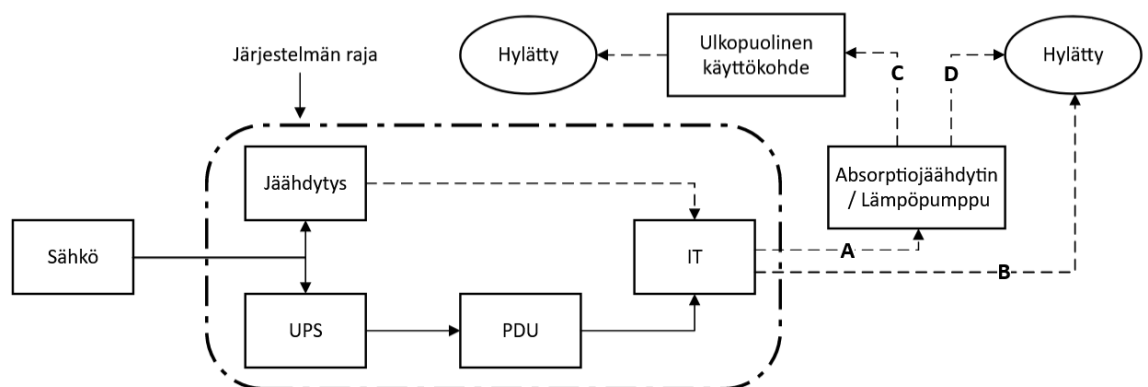
Koska kaikki energia on peräisin uusiutuvista lähteistä, on REF 1,0. LUMI-datakeskuksella ei ole omaa uusiutuvan energian tuotantoa.

7 ERF-laskennat ja tarkastukset

ERF:n laskemiseen tarvitaan E_{DC} ja E_{reuse} . E_{DC} :n selvittämisessä pätee aiemmin mainitut menetelmät. E_{reuse} :n voidaan selvittää luovutuspisteellä sijaitsevalta mittauspisteeltä. Luovutuspiste on kohta, jossa uudelleenkäytettävä energia poistuu datakeskukselta uudelleenkäytettäväksi muualle. Mittauspisteeltä tarkastetaan vuoden mittaiselta ajanjaksolta, kuinka suuri E_{reuse} on yhteensä. Tarvittaessa voidaan käyttää apuna standardin EN 50600-4-6 liitteen B energian muunto-taulukkoa, jossa on listattuna eri energiatyyppejä sekä niiden sisältämä kWh-määrä tilavuusyksikköä kohden. [18, s. 8–11, 21.]

Yleinen esimerkki suorasta energian uudelleenkäytöstä datakeskuksen ulkopuolella on sen tuottaman lämpöenergian hyödyntäminen sen läheisissä tiloissa. Lämpöenergiaa on esimerkiksi lämpimässä ilmassa ja vedessä. Lämpöenergia otetaan talteen ja ohjataan uuteen käyttökohteeseen. [18, s. 14.]

Kuvassa 6 on EN 50600-4-6-standardista löytyvä esimerkkitalaus, jossa hukkalämpöä käytetään uudelleen. Siinä kuvaillaan yksinkertaistetusti hukkalämmön uudelleenkäytön prosessi. Kohdassa A on lämpöpumpulle tai absorptiojäädyttimelle menevä uudelleenkäytettävä lämpöenergia ja kohdassa B taas se lämpöenergia, joka tulee hylätyksi ennen sitä. Kohdassa C on datakeskuksen ulkopuolelle käyttöön menevä lämpöenergia ja kohdassa D taas se lämpöenergia, joka tulee hylätyksi lämpöpumpulta tai jäädyttimeltä. Katkoviivaiset nuolet kuvaavat lämpöenergiaa ja yhtenäiset nuolet sähköenergiaa. [18, s. 14.]



Kuva 6. Lämpöenergian uudelleenkäytön prosessin kuvaus [18, s. 14].

7.1 ERF – Kajaanin datakeskus

CSC:n Kajaanin kansallisessa datakeskuksessa on jonkin verran hukkalämmön talteenottoa ja uudelleenkäyttöä, joka tulee Mahti-supertietokoneen nestejäähdytyksestä. Mahdin nestejäähdytyksessä syntyvä hukkalämpö ohjataan datakeskuksen viereisiin CSC:n toimistotiloihin, jolloin se lasketaan datakeskuksen ulkopuolella käytettäväksi. Datakeskuksen ilmajäähdytteisten laitteiden hukkalämpö menee suoraan ulkoilmaan, jolloin sitä ei oteta talteen.

Toimiston lämmitykseen käytettävän Mahti-supertietokoneen nestejäähdytyspiirin paluunesteen hukkalämmön talteenotolle ei ole minkäänlaista mittarointia, mikä hankaloittaa laskentoja huomattavasti. E_{reuse} pitää siis selvittää muulla tavalla, koska suoraa mittaritietoa ei ole saatavilla. Rakennusautomaatiosta näkee jäähdytyspiirin pumpput ja nesteen lämpötilat mitattuna eri kohdista, mutta niistäkään ei ole apua, koska ne sijaitsevat liian kaukana toimiston lämmöntalteenottokoneelta eli LTO-koneelta, eli todelliselta mittauspisteeltä.

LTO-kone sijaitsee toimistorakennuksen yläpuolella, ja se siirtää lämpöenergian nestejäähdytyksen paluunesteestä ilmapirtaan, jonka mukana lämpö kulkeutuu toimistoon. EN 50600-4-6 -standardin liitteen B muuntotaulukon mukaan yhdessä kuutiometrissä lämmitettyä tai jäähdytettyä ilmaa on noin 0,00025 kWh lämpöenergiaa per 1°C lämmitysilmän ja lämmitettävän tilan lämpötilaerossa eli ΔT :ssä. [18, s.21]

Toimistolle menevän lämpimän ilman lämpötila on 26°C. Toimiston sisälämpötila sekä poistoilman lämpötila on noin 23°C, jolloin ΔT on 3°C. Ilmavirran nopeus on 0,33 m³/s, joka on ilmoitettu laitteessa olevassa kilvessä. Lasketaan näiden arvojen avulla yhden vuoden E_{reuse} .

$$E_{reuse} = 0,00025 kWh * 3^{\circ}C * 0,33 \frac{m^3}{s} * 60 * 60 * 24 * 365 = 7805,16 kWh$$

E_{reuse} :ksi yhden vuoden mittausjaksolta saadaan 7805,16 kWh. E_{DC} on sama, kuin aikaisemmissa laskuissa, eli 13499145 kWh, koska mittausjakso pysyy samana.

$$ERF = \frac{E_{reuse}}{E_{DC}} = \frac{7805,16 kWh}{13499145 kWh} = 0,000578$$

Kajaanin datakeskuksen ERF-lukemaksi saadaan noin 0,0006.

7.2 ERF – LUMI

LUMI-supertietokoneen tuottamaa hukkalämpöä uudelleenkäytetään ohjaamalla sitä Kajaanin kaukolämpöverkkoon, jota ylläpitää kaukolämpöyhtiö Loiste Lämpö. CSC ja Loiste Lämpö ovat tehneet sopimuksen supertietokoneelle rakennetusta kaukolämpöliittymästä. Kaukolämpöliittymään ohjataan kaikki LUMI-supertietokoneen tuottama kaikki hukkalämpö, jonka osuus Loiste Lämmön kaukolämmöntuotannosta on noin 20 %. [11.]

LUMI-supertietokoneen E_{reuse} :lle on olemassa mittari, josta voidaan seurata kaukolämpöverkkoon menevää uudelleenkäytettävää lämpöenergiaa. Mittarointia voidaan seurata rakennusautomaation kautta, josta sille voidaan asettaa myös haluttu tarkastelujakso. Jaksoksi asetetaan sama, kuin aikaisemmissa laskennoissa, eli 1.1.2023-1.1.2024. Mittaukset näkyvät kumulatiivisina, joten vähennetään tarkastelujakson aloitusajankohdan arvo sen lopetusajankohdan arvolla. vuoden E_{reuse} :ksi saadaan 25182651,99 kWh. E_{DC} pysyy samana, kuin aikaisemmissa mittauksissa, eli 45025964 kWh.

$$ERF = \frac{E_{reuse}}{E_{DC}} = \frac{25182651,99 \text{ kWh}}{45025964 \text{ kWh}} = 0,568$$

ERF-lukemaksi saadaan noin 0,57, eli yli puolet LUMI-supertietokoneen energiasta uudelleenkäytetään.

8 Yhteenveto ja kehityskohteet

Työn tarkoituksena oli selvittää CSC:n Kajaanin datakeskuksen ja LUMI-datakeskuksen PUE-, REF- ja ERF-luvut sekä niiden mittarointien standardinmukaisuus vertaamalla niitä EN 50600-4-2, EN 50600-4-3 ja EN 50600-4-6 standardeissa esiteltyihin ratkaisuihin. Mittarointien etsimisessä ei ollut suurimmaksi osaksi kovin suuria haasteita. Suurin osa tarvituista lukemista oli saatavilla kummankin datakeskuksen rakennusautomaation mittarilukemista tai vuosittaisista energiaraporteista, jotka perustuvat eri mittarilukemiin.

PUE:n osalta kaikki oli suurin piirtein niin kuin pitääkin. Tarvittavat energialukemat laskemista varten oli saatavilla rakennusautomaatiojärjestelmästä ja energiaraporteista, joissa on jakoasemalta mitatut tarkat lukemat. Koska lukemat olivat saatavilla helposti, saatiin myös PUE laskettua standardin mukaisesti. IT-energian mittauspiste voisi tosin olla paremmassa kohdassa, jotta kaikki mahdolliset häviöt saataisiin vähennettyä. PUE-lukema Kajaanin datakeskuksella on 1,08 ja LUMI:lla 1,28. Molemmat ovat maailman keskiarvoa parempia (mitä lähempänä PUE on 1,0:aa, sen parempi), mutta Kajaanin datakeskuksen lukema on huomattavasti parempi. Tämä johtuu siitä, että Kajaanin datakeskuksessa on panostettu enemmän mahdollisimman hyvään PUE-lukemaan. LUMI:n kohdalla on panostettu enemmän ERF-lukemaan, mutta myös LUMI-datakeskuksen PUE on hyvä, kun sitä verrataan muihin datakeskuksiin maailmalla.

REF:n osalta prosessi oli kaikkein yksinkertaisin, sillä kaikki CSC:n hankkima energia on uusiutuvaa, joka tarkistettiin Fingridin ja Nordic Green Energyn alkuperäistodistuksista. REF:n kohdalla on kaikki siis kunnossa. Kummankin datakeskuksen REF-lukema on 1.

ERF:n osalta oli eniten haasteita, etenkin Kajaanin datakeskuksen osalta. Kajaanin datakeskuksessa toimivan Mahti-supertietokoneen toimiston lämmitykseen käytettävälle hukkalämmölle ei ole suoraa mittarointia, joten se piti selvittää laskemalla toimiston LTO-koneelta löytyvien lämpötila- ja ilmavirtamittarointien sekä SFS-EN 50600-4-6:2020-standardin muuntotaulukon avulla. Toimistoa lämmittävän hukkalämmön kWh-määrä saatiin lopulta laskettua ja ERF-lukemaksi saatiin 0,0006. LUMI-datakeskuksen osalta mittaroinnit olivat ERF:n osalta kunnossa. LUMI:n kaukolämpöverkkoon ohjatun hukkalämmön mittarointi on seurattavissa rakennusautomaatiosta, jonka avulla saatiin ERF laskettua, joka LUMI-datakeskuksessa on 0,57, joka tarkoittaa, että yli puolet sen kuluttamasta energiasta uudelleenkäytetään. LUMI:n lukema on todella hyvä, koska LUMI-supertietokoneen tuottamasta hukkalämmöstä uudelleenkäytetään kaikki käyttökelpoinen

hukkalämpö Kajaanin kaukolämpöverkossa ja Renforssin rannan alueella. Kajaanin datakeskuksessa ERF on erittäin pieni, eikä siellä ole siihen juuri panostettu. Kajaanin datakeskuksella ainut hukkalämmön käyttökohde on sen toimistotilat.

Kehityskohteista päällimmäisenä on Mahti-supertietokoneen tuottaman hukkalämmön uudelleenkäytön mittarointi Kajaanin datakeskuksessa. Kuten aiemmin mainittiin, uudelleenkäytettävälle hukkalämmölle ei ole tällä hetkellä suoraa mittarointia, mitä seurata. Kajaanin datakeskus rakennettiin vuonna 2012, jolloin ERF ei ollut määritelty missään standardissa, joten silloin ei ollut vielä ajankohtaista suunnitella mittarointia hukkalämmön uudelleenkäytölle. HPC-huoneen (High Performance Computing), infrastruktuuri on pysynyt samanlaisena sen rakennuksesta lähtien. HPC-huone on tila, jossa CSC on vuodesta 2012 lähtien operoinut supertietokoneita mukaan lukien Mahti-supertietokone. Lisäksi Kajaanin datakeskuksella otetaan hukkalämpöä talteen sen energiankulutukseen nähden todella vähän, joten ei olla nähty tähän asti tarpeelliseksi mitata sitä. Kajaanin datakeskuksella on panostettu enimmäkseen PUE-lukemaan, kun taas LUMI:ssa ERF ja ERE ovat merkittävimmät KPI:t.

Energian uudelleenkäytön mittarointi on asia, joka huomioidaan tulevissa datakeskushankkeissa, koska se on nykypäivänä ajankohtaisempi aihe. Tulevissa hankkeissa voitaisiin myös ottaa laajemmin huomioon hukkalämmön uudelleenkäyttö, esimerkiksi ilmajäähdytteisten IT-laitteiden tuottama hukkalämpö. Jotta saataisiin mitattua todellinen uudelleenkäytettävän hukkalämmön määrä, pitäisi jäähdytysputkistoon asentaa lämpöenergiamittari mahdollisimman lähelle energian luovutuspistettä. Mittareita löytyy sekä nesteen mukana virtaavan lämpöenergian mittaukseen että ilmapirran sisältämän lämpöenergian mittaukseen. Sellaisen avulla voitaisiin myös mitata ilmajäähdytteisten laitteiden tuottamaa hukkalämpöä asentamalla se konesalin poistoilma-putkeen luovutuspisteelle. [23.]

IT-energian mittaroinneissa mittauspisteen tulisi olla PDU:n ja IT-laitteen välissä, jotta saataisiin kaikkein tarkimmat IT-energielukemat. Tällä hetkellä kummankin datakeskuksen IT-energian mittauspisteet ovat PDU:lle menevillä virransyötöillä, jolloin PDU:n kuluttamaa energiaa ei saada vähennettyä IT-energiasta. Erilaisia verkkoon kytkettäviä älykkäitä PDU-ratkaisuja, jotka mittaavat itse syöttämäänsä IT-energiaa voitaisiin hyödyntää tulevissa datakeskushankkeissa. Niistä voitaisiin seurata reaaliaikaisesti etäyhteyden avulla energian kulutuksia ja muita tapahtumia, esimerkiksi häiriötilanteita. [24.]

Lisäksi voitaisiin pohtia olisiko mahdollista saada seurattua suoraan rakennusautomaation kautta jakoaseman mittausta. Mikäli rakennusautomaatiossa olisi nähtävillä, helpottuisi PUE:n, REF:n ja

ERF:n laskeminen jonkin verran. Sen avulla voisi saada luotettavan reaaliaikaisen laskennan kullekin halutulle KPI:lle.

Työn tekeminen sujui enimmäkseen melko vaivattomasti, mutta haasteitakin tuli välillä vastaan. Kuten aiemmin mainittiin, Kajaanin datakeskuksen uudelleenkäytetyn hukkalämmön vuosittaisen energiamäärän selvittäminen vaati erilaisia lähestymistapoja muihin kohteisiin verrattuna, mutta siihenkin löytyi lopulta tyydyttävä ratkaisu. Kaikki muut tarvittavat tiedot löytyivät CSC:n järjestelmistä ja kommunikoimalla muiden asiantuntijoiden kanssa.

Työ onnistui hyvin tiedonhankinnan ja laskelmien kannalta. Työn aikana löydettiin muutamia kehityskohteita, jotka CSC pystyy tämän opinnäytetyön avulla jatkossa kehittämään ja huomioimaan energiankäytön suorituskykyindikaattoreitaan ja niiden seurantaa entistä paremmin tulevaisuudessa.

Lähteet

1. <https://www.csc.fi/> [Viitattu 29.11.2023.]
2. CSC:n Kajaanin datakeskus [Viitattu 24.1.2024] Saatavilla: <https://www.csc.fi/csc-data-keskus-kajaanissa>
3. Energy efficiency directive [Viitattu 10.4.2024] Saatavilla: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en
4. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI energiatehokkuudesta ja asetuksen (EU) 2023/955 muuttamisesta (uudelleenlaadittu teksti) [Viitattu 30.11.2023] Saatavilla: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-15-2023-INIT/fi/pdf>
5. Energiatehokkuus [Viitattu 18.3.2024] Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/energiatehokkuus>
6. Energiatehokkuus [Viitattu 19.3.2024] Saatavilla: <https://tem.fi/energiatehokkuus>
7. High-Performance Computing Data Center Power Usage Effectiveness [Viitattu 19.3.2024] Saatavilla: <https://www.nrel.gov/computational-science/measuring-efficiency-pue.html>
8. Clean energy for all Europeans package [Viitattu 10.4.2024] Saatavilla: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en
9. Hukkalämpö [Viitattu 11.4.2024] Saatavilla: <https://tem.fi/hukkalampo>
10. Motiva: Tuotannon hukkalämpö hyödyksi [Viitattu 11.4.2024] Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf
11. LUMI-supertietokoneen hukkalämmöllä tuotetaan 20 prosenttia Kajaanin kaukolämmöstä: CSC ja Loiste Lämpö allekirjoittivat sopimuksen [Viitattu 14.3.2024] Saatavilla: <https://www.csc.fi/-/lumi-supertietokoneen-hukkal%C3%A4mm%C3%B6ll%C3%A4-tuotetaan-20-prosenttia-kajaanin-kaukol%C3%A4mm%C3%B6st%C3%A4-csc-ja-loiste-l%C3%A4mp%C3%B6-allekirjoittivat-sopimuksen>

12. Cappella N. The EN 50600: How to meet the European standard for data centres [Viitattu 4.12.2023] Saatavilla: <https://www.techerati.com/features-hub/opinions/the-en-50600-how-to-meet-the-european-standard-for-data-centres/>
13. SFS-EN 50600-4-2. Information technology. Data centre facilities and infrastructures. Part 4-2: Power Usage Effectiveness. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2019. Saatavilla: www.sfs.fi
14. Gillis A. Power usage effectiveness [Viitattu 11.12.2023] Saatavilla: <https://www.tech-target.com/searchdatacenter/definition/power-usage-effectiveness-PUE>
15. SFS-EN 50600-4-3. Information technology. Data centre facilities and infrastructures. Part 4-3: Energy Reuse Factor. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2017. Saatavilla: www.sfs.fi
16. Työ- ja elinkeinoministeriö. Uusiutuvan energian käyttö kiihtyi, ero fossiiliseen energiaan jo 8 prosenttiyksikköä. [Viitattu 25.1.2024] Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/uusiutuvan-energian-kaytto-kiihtyi-ero-fossiiliseen-energiaan-jo-8-prosenttiyksikkoa>
17. Should data centres invest in on-site renewable energy? [Viitattu 15.2.2024] Saatavilla: <https://datacentremagazine.com/articles/should-data-centres-invest-in-on-site-renewable-energy>
18. SFS-EN 50600-4-6. Information technology. Data centre facilities and infrastructures. Part 4-6: Reusable Energy Factor. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2020. Saatavilla: www.sfs.fi
19. DATA CENTER COOLING TECHNOLOGY: LIQUID VS AIR [Viitattu 1.2.2024] Saatavilla: <https://teamsilverback.com/data-center-cooling-liquid-vs-air/>
20. ERE: A METRIC FOR MEASURING THE BENEFIT OF REUSE ENERGY FROM A DATA CENTER [Viitattu 11.4.2024] Saatavilla: https://datacenters.lbl.gov/sites/default/files/EREmetric_GreenGrid.pdf
21. What is Power Usage Effectiveness [Viitattu 15.1.2024] Saatavilla: <https://www.digitalreality.com/resources/articles/what-is-power-usage-effectiveness>

22. Reduce Energy Losses from Power Distribution Units (PDUs) [Viitattu: 9.2.2024] Saatavilla: https://www.energystar.gov/products/reduce_energy_losses_power_distribution_units_pdus
23. Energy meters for heating and cooling [Viitattu 23.4.2024] Saatavilla <https://www.boschsystems.com/help-advice/energy-meters-for-heating-and-cooling>
24. Power, PDU's and Remote Monitoring [Viitattu 4.4.2024] Saatavilla: <https://www.critical-powersupplies.co.uk/blog/product-tech-monday-power-pdus-and-remote-monitoring/>