Tampereen yliopisto

Aava Järvelä

DATAKESKUSTEN ENERGIANKULUTUS

Vaikutukset ympäristöön ja keinoja niiden vähentämiseksi

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaatintutkielma
Toukokuu 2024

TIIVISTELMÄ

Aava Järvelä: Datakeskusten energiankulutus – Vaikutukset ympäristöön ja keinoja niiden vähentämiseksi
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2024

Datakeskuksia sijaitsee lukuisia ympäri maailmaa ja niiden läpi kulkee loputon dataliikenne. Toimiakseen datakeskukset vaativat suuret määrät energiaa. Tämä datakeskusten suuri energiankulutus aiheuttaa monenlaisia ympäristövaikutuksia. Tämän tutkielman tarkoituksena on keskittyä datan aiheuttamaan energiankulutukseen datakeskuksissa. Tässä tutkielmassa aihetta on tutkittu tutkimuskysymyksen avulla: Minkälaisia ympäristövaikutuksia datakeskusten energiankulutus aiheuttaa ja mitä niille on tehtävissä? Aihe on tärkeä sen vuoksi, että datakeskusten energiankulutuksen suuruus riippuu siitä, kuinka paljon tietoa eli dataa maailmassa käsitellään. Digitalisaatiosta aiheutuva kasvava datankulutus on aiheuttanut sen, että dataa liikkuu maailmassa koko ajan vain enemmän.

Tutkimusmenetelmänä on käytetty kirjallisuuskatsausta. Kirjallisuuskatsauksen aineistona on käytetty tieteellisiä lähteitä. Näiden lisäksi aineistoon kuuluu lähteitä, jotka eivät ole tieteellisiä, mutta ovat hyödyllisiä tutkielman aiheen kannalta. Tutkielmassa on keskitytty datakeskusten energiankulutukseen, jota on tutkittu edellä mainittujen aineistojen avulla. Datakeskusten energiankulutuksen lisäksi aineistosta on etsitty tietoa sen aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Tämän lisäksi on etsitty mahdollisia keinoja näiden ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

Tutkielman tulosten pohjalta voidaan todeta, että datakeskusten energiankulutus on hyvin suurta. Tämä datakeskusten suuri energiankulutus puolestaan aiheuttaa erilaisia ympäristövaikutuksia. Yksi esimerkki näistä aiheutuneista ympäristövaikutuksista ovat hiilidioksidipäästöt. Näihin ympäristövaikutuksiin on kuitenkin olemassa myös ratkaisuja. Ratkaisuina ovat erilaiset keinot, joilla voidaan vähentää datakeskuksissa aiheutuvaa energiankulutusta. Energiankulutusta voidaan vähentää vähentämällä datakeskuksissa käynnissä olevien palvelimien määrää. Myös datakeskusten maantieteellisellä sijoittamisella sekä kuumien pisteiden muodostumisen välttämisellä voitaisiin vähentää datakeskusten energiankulutusta. Erilaiset mittaukset energiankulutuksesta auttaisivat myös tekemään energiankulutusta vähentäviä ratkaisuja datakeskuksissa. Tämän lisäksi energiankulutusta voitaisiin vähentää vähentämällä dataliikennettä.

Avainsanat: datakeskus, energiankulutus, ympäristövaikutukset

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto 1

2 Tutkimusmenetelmä 2

3 Tiedon säilyttäminen datakeskuksissa 3

4 Datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset 5

4.1 Energiankulutus 5

4.2 Energiankulutuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset 6

5 Keinoja datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamien ympäristövaikutusten vähentämiseksi 7

5.1 Energiankulutuksen vähentäminen 7

5.2 Datakeskusten maantieteellinen sijoittaminen 9

5.3 Hukkalämmön hyödyntäminen 9

6 Keskustelu 10

7 Yhteenveto 11

Lähdeluettelo 12

1 Johdanto

Tietoa eli dataa löytyy ympäriltämme lähes kaikkialta. Tämän datan säilyttämiseen ja prosessointiin tarvitaan erilaisia keinoja. Yksi ratkaisu tähän ovat datakeskukset. Tässä tutkielmassa aihepiirinä ovat datakeskukset ja niiden energiankulutuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset. Tutkielmassa käydään myös läpi mahdollisia keinoja datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamien ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Aihe on tärkeä sen takia, että datakeskukset ovat keskeisiä yhteiskunnan toimien mahdollistajia. Datakeskusten hiilijalanjäljen arvioidaan myös olevan koko tieto- ja viestintätekniikan alan nopeimmin kasvava (Whitehead et al., 2014). Datakeskukset käsittelevät dataliikennettä, joka koostuu käytetystä datasta. Dataliikenne lisääntyy digitaalisten palveluiden kasvavan määrän mukana (Kamiya & Bertoldi, 2024). Täten datakeskukset ovat osa kaikkien meidän elämäämme, jotka käytämme tai käsittelemme dataa jossakin muodossa. Esimerkiksi suoratoistopalvelusta elokuvan katselu kaikista tarkimmalla teräväpiirrolla kuluttaa neljä kertaa enemmän vettä ja sähköä, kuin elokuvan katselu keskilaadulla (Launonen, 2020).

Aihepiiriä lähestytään kirjallisuuskatsauksen kautta. Näkökulmana tässä tutkielmassa on yhteiskunnan näkökulma. Yhteiskunnallinen näkökulma on erityisen hyvä sen vuoksi, että datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset koskettavat yhteiskunnallisella tasolla. Yhteiskunnat ovat myös niitä toimijoita, jotka voivat tehdä päätöksiä ja ratkaisuja näiden ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

Tutkimustavoitteet on esitetty tutkimuskysymyksen muodossa. Tutkimuskysymykseksi on asetettu seuraava: Minkälaisia ympäristövaikutuksia datakeskusten energiankulutus aiheuttaa ja mitä niille on tehtävissä? Tutkimuskysymykseen on vastattu kirjallisuuskatsausta hyödyntäen.

Tutkielman aineistosta löytyi tietoa datakeskusten energiankulutuksesta sekä syitä datakeskusten suurelle energiankulutukselle. Esimerkiksi datakeskuksissa olevat lukuisat palvelimet vaativat hyvin paljon energiaa (Albers, 2019). Tämän lisäksi on löydetty ratkaisuja datakeskusten energiankulutuksen vähentämiseksi. Ratkaisuina esiintyvät esimerkiksi käynnissä olevien palvelimien määrän vähentäminen (Gao et al., 2020) sekä datakeskusten maantieteellinen sijoittaminen, joka voisi puolestaan vähentää datakeskusten jäähdytysjärjestelmien energiankulutusta (Liu et al., 2020).

Tutkielman rakenne muodostuu jaotelluista luvuista. Luku 2 on tutkimusmenetelmä. Tutkimusmenetelmässä esitellään tarkemmin, mitä menetelmiä tutkielman toteuttamiseen on käytetty. Luvussa 3 esitellään datakeskukset. Tämä luku on tärkeä tutkielman aiheen ymmärtämisen kannalta, sillä datakeskukset ovat suuressa osassa tutkielmaa. Luvussa 4 käsitellään datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Tämän jälkeen luvussa 5 käydään läpi mahdollisia keinoja edellä mainittujen ympäristövaikutus-

ten vähentämiseksi. Luvussa 6 keskustellaan ja käydään läpi tutkielman tuloksia. Lopuksi luvussa 7 on yhteenveto, jossa käydään läpi tutkielman keskeiset asiat tiiviissä muodossa.

2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä tässä tutkielmassa on käytetty kirjallisuuskatsausta. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkielman aihetta on tutkittu kirjallisuuslähteiden avulla. Lähteiden haku tutkielmaa varten on tapahtunut kevään 2024 aikana. Lähteiden hakemisessa on käytetty monia eri tietokantoja. Nämä tietokannat ovat Tampereen yliopiston Andor -palvelu, Google Scholar, SpringerLink, Computer Science Database (ProQuest) sekä ACM Digital Library. Edellä mainituista tietokannoista SpringerLink, Computer Science Database (ProQuest) sekä ACM Digital Library ovat keskeisiä tietojenkäsittelytieteiden tietokantoja, minkä vuoksi niistä on suoritettu useita hakuja. Hakuja tehdessä on keskitytty etsimään tietojenkäsittelytieteiden kirjallisuutta, mutta lähteistä löytyy myös monia muiden alojen lähteitä. Muiden alojen lähteitä on käytetty sen vuoksi, että tutkielman aihe on monialainen ja sitä voi tarkastella monesta eri näkökulmasta. Tiedonhaussa on käytetty suomen- sekä englanninkielisiä hakusanoja. Tiedonhaussa käytetyt hakusanat esitellään taulukossa 1.

Taulukko 1. Tiedonhaussa käytetyt hakusanat suomeksi ja englanniksi.

Hakusanat suomeksi	Hakusanat englanniksi
datakeskus, datakesku*	data center, data centre
datakeskukset	data centers, data centres
energiankulutus	energy consumption
hukkalämpö	waste heat
päästöt	emissions
ympäristövaikutukset	environmental impact

Tässä tutkielmassa käytetyt lähteet ovat suomen- ja englanninkielisiä. Lähteitä on rajattu pois myös niiden julkaisuvuoden mukaan. Yli 20 vuotta vanhoja lähteitä ei ole otettu mukaan sen vuoksi, että tietojenkäsittelytieteiden kirjallisuus muuttuu ja päivittyy suhteellisen nopeasti. Tämän vuoksi aineiston hakua tehdessä on haluttu ottaa huomioon lähteiden julkaisuvuosi, jotta tutkittava tieto ei olisi jo vanhentunutta. Käytetyt aineistot sijoittuvat vuosien 2007–2024 välille. Vanhemmissa aineistossa on otettu huomioon se, että vaikuttaako niissä oleva tieto relevantilta vielä nykypäivänäkin.

Tiedonhaku on edennyt siten, että ensiksi on mietitty käytettävät hakusanat. Tämän jälkeen hakuja on suoritettu edellä mainituissa tietokannoissa hakusanoja ja erilaisia hakusanoista muodostuneita hakulausekkeita hyödyntäen. Tiedonhaussa on tehty rajauksia myös julkaisuvuoden ja esimerkiksi aihepiirin suhteen. Tiedonhakua on rajattu esimerkiksi siten, että on haluttu tarkastella vain tietojenkäsittelytieteiden (*computer science*)

lähteitä. Tämän lisäksi tiedonhaussa on tarkasteltu myös sitä, että onko lähde vertaisarvioitu vai ei.

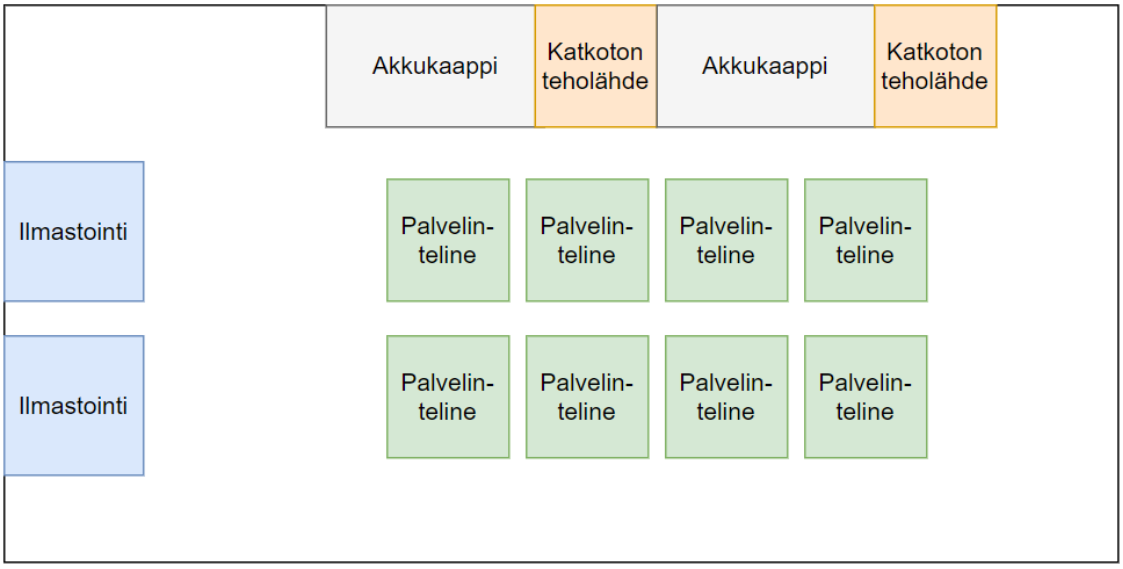
Kirjallisuuden relevanttiutta tutkielman aiheen kannalta tutkiessa on tutustuttu artikkeleiden tiivistelmään eli abstraktiin, otsikkoon sekä avainsanoihin. Ensimmäiseksi artikkeleiden otsikoiden perusteella on pohdittu, että sopiiko artikkeli tutkielman aihepiiriin. Tämän jälkeen otsikoiden perusteella valittujen artikkeleiden tiivistelmiä käytiin läpi. Tiivistelmien avulla pääsi tutustumaan artikkeleiden aiheisiin vielä tarkemmin ja pohtimaan artikkeleiden relevanttiutta tutkielman aihepiirin kannalta. Otsikon ja tiivistelmän lisäksi myös artikkeleiden avainsanoihin tutustuminen auttoi artikkeleiden relevanttiuden pohtimisessa. Artikkeli on valittu tutkielmaan mukaan, jos otsikon, tiivistelmän ja avainsanojen perusteella artikkeli on vaikuttanut siltä, että sen aihe ja näkökulma ovat tutkielmaan sopivat.

Edellä kuvattujen tiedonhaun vaiheiden jälkeen aineistoa on analysoitu, jotta siitä on saatu tarvittavaa tietoa tutkielmaa varten. Analyysi on toteutettu siten, että aineistoa etsiessä sopivilta vaikuttavista artikkeleista on luettu tiivistelmä- ja yhteenveto-osiot. Tämän jälkeen artikkeleita on luettu ja käyty silmäillen läpi. Näiden menetelmien avulla artikkeleista on löydetty tutkielman kannalta relevantti tieto. Relevantin tiedon löytämisen jälkeen aineistojen lähteet on kerätty talteen, jotta niitä on voitu hyödyntää tutkielmassa. Tutkielmassa käytetyt lähteet on luokiteltu tieteellisiin ja ei-tieteellisiin lähteisiin analyysia tehdessä.

3 Tiedon säilyttäminen datakeskuksissa

Tiedon säilyttämiseen on olemassa erilaisia tapoja. Yksi esimerkki tavasta säilyttää tietoa ovat datakeskukset. Tässä luvussa on haluttu käydä läpi datakeskuksen käsite, koska se on tärkeä ymmärtää tutkielman aiheen kannalta. Luvussa käsitellään sitä, mitä datakeskukset käytännössä ovat.

Datakeskukset ovat palvelinkeskuksia, jotka esimerkiksi sisältävät useita tietokoneita. Tietokoneiden lisäksi datakeskusten sisältämään laitteistoon kuuluu reitittimiä, palvelimia, kytkimiä, datan tallennuslaitteistoa, räkkejä (*racks*) eli telineitä, mihin laitteet saadaan kiinnitettyä, sekä muita tarvittavia laitteita (Whitehead et al., 2014). Datakeskuksen sisältämää laitteistoa käytetään datan ja tietoliikenneverkon prosessointiin ja varastointiin (Whitehead et al., 2014). Tarkemmin sanottuna datakeskukset ovat siis fyysisiä tiloja, jotka sisältävät informaatioteknologiainfrastruktuuria (IT-infrastruktuuri) (IBM, ei pvm.). Kuvassa 1 esitellään mahdollinen pohjapiirustus datakeskukselle. Kuva on pelkistetty, mutta antaa silti hyvän kuvan siitä, miltä datakeskus voisi näyttää.



Kuva 1. Yksinkertaistettu kuva datakeskuksen mahdollisesta pohjapiirustuksesta mukaillen lähteestä Hassan ja muut (2015).

Datakeskuksia on kooltaan monenlaisia. Datakeskukset voivat olla vain yksittäisiä palvelimia tai suuria palvelintiloja, jotka voivat olla kooltaan jopa 150 000 neliömetriä (Whitehead et al., 2014). Nämä suuret palvelintilat sisältävät moninkertaisen määrän laitteistoa verrattuna yhden palvelimen kokoiseen datakeskukseen ja voivat olla esimerkiksi jonkun suuren yrityksen omistuksessa. Esimerkiksi Metalla (aikaisemmalta nimeltään Facebook) on useita datakeskuksia ympäri maailmaa (Meta, ei pvm.).

Yksittäisten yritysten omistamien datakeskusten lisäksi yhteiskäytössä olevat pilvipalveludatakeskukset (*cloud data centers*) ovat lisääntyneet viime vuosien aikana (IBM, ei pvm.). Tietotekniikan termitalkoot -verkkosivu (2023) määrittelee pilvipalvelun ”hajautettuna verkkopalveluna, jossa tietokoneita, ohjelmia, tallennustilaa ja muita tietoteknisiä palveluja käytetään verkon kautta”. Suurimpia pilvipalvelujen tarjoajia ovat esimerkiksi Google Cloud Platform, IBM Cloud, Microsoft Azure, Amazon Web Services ja Oracle Cloud Infrastructure (IBM, ei pvm.). Pilvipalveludatakeskusten ideana on se, että ne ovat jonkun pilvipalveluja tarjoavan toimittajan omistuksessa ja niissä olevaa IT-infrastruktuuria käytetään internetin välityksellä useamman asiakkaan toimesta (IBM, ei pvm.). Tällöin esimerkiksi pienemmillä yrityksillä ei tarvitse olla omia datakeskuksia, vaan ne voivat hankkia datakeskusten tarjoamat palvelut ulkoiselta toimittajalta.

Datakeskuksiin liittyy myös paljon ympäristövaikutuksia. Tässä tutkielmassa tullaan keskittymään datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Datakeskusten suurella energiankulutuksella on vaikutuksia ympäristöön sekä datakeskusten sähkölaskujen suuruuteen, mikä on herättänyt huomiota datakeskusten omistajien ja toimijoiden keskuudessa (Whitehead et al., 2014). Esimerkiksi yhden tavallisen datakeskuksen energiankulutus voi vastata 25 000 kotitalouden energiankulutusta (Liu et al., 2020).

4 Datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset

Tässä luvussa käydään läpi datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Datakeskusten energiankulutus on suurta, minkä vuoksi sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia on tärkeä tutkia.

4.1 Energiankulutus

Energiankulutuksella tarkoitetaan sitä, kuinka paljon jokin asia kuluttaa sähköä eli energiaa. Vuonna 2012 datakeskusten energiankulutus oli noin 120 miljardia kilowattia (Chkirbene et al., 2018). Tämä määrä vastaa noin 2,8 % koko yhteenlasketusta Yhdysvaltojen sähkönkulutuksesta (Chkirbene et al., 2018). Launosen (2020) mukaan datakeskukset kuluttivat vuonna 2020 kolme prosenttia maailman sähköntuotannosta. Kymmenen vuoden kuluttua luku voi olla jo kahdeksan prosenttia (Launonen, 2020). Tämä arvio datakeskusten suuresta osuudesta maailman sähköntuotannon kuluttamisessa osoittaa sen, miksi datakeskusten energiankulutus on yhteiskunnallinen asia. Mitä enemmän datakeskukset kuluttavat energiaa, sitä enemmän energiaa tarvitsee tuottaa niiden käyttöön. Tämä tarkoittaa myös sitä, että luonnonvaroja tarvitaan enemmän suuren energiankulutuksen ylläpitämiseen. Datakeskusten energiankulutusta ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia pitäisi katsoa yhteiskunnallisesta näkökulmasta, koska ympäristövaikutukset kohdistuvat meidän elinympäristöihimme ja täten koskettavat meitä kaikkia.

Datakeskusten energiankulutuksesta on olemassa erilaisia arvioita, joita on haluttu esitellä seuraavissa kappaleissa sekä taulukossa 2. Datakeskusten energiankulutuksen on arvioitu olevan noin 1,1–1,5 % maailman energiankulutuksesta vuonna 2019 (Pärssinen et al., 2019). Tämän lisäksi on arvioitu, että datakeskusten energiankulutus kasvaisi 15–20 % vuosittain (Pärssinen et al., 2019). Vaikka otettaisiin tuo suurempi arvo vuonna 2019 tehdystä arviosta datakeskusten energiankulutuksesta eli 1,5 % ja kasvatettaisiin sitä 20 % olisi vuoden 2020 arvio vain 1,8 %. Tämä ei täysin yllä vuonna 2020 tehtyyn arvioon datakeskusten energiankulutuksesta, joka oli 2 % (Mao et al., 2023). Esimerkiksi tästä voidaan huomata, että eroja arvioissa datakeskusten energiankulutuksesta on olemassa, vaikkakin lukuarvot ovat hyvin lähellä toisiaan.

Albersin (2019) tekemä arvio datakeskusten energiankulutuksesta on puolestaan noin 1,5 % koko maailman energiankulutuksesta. Tämä vastaa täysin edellisessä kappaleessa mainittua Pärssisen ja muiden (2019) esittämää arviota. Liu ja muut (2020) esittävät, että vuonna 2017 datakeskukset olisivat vastanneet 3 % maailman energiankulutuksesta ja vuonna 2025 tämä luku nousisi 4,5 prosenttiin. Chkirbene ja muut (2018) esittävät, että datakeskusten energiankulutus koko maailman energiankulutuksesta olisi ollut 1,5 % jo vuonna 2010. Näistäkin edellä mainituista lukuarvoista voidaan huomata eroavaisuudet energiankulutuksen arvioissa. Kaikki edellä mainituista jo menneiden vuosien arvioista liikkuvat kuitenkin 1,5 prosentin ja 3 prosentin välillä. Näiden menneiden vuosien arvi-

oiden keskiarvon laskemalla voisi päästä lähelle todellista datakeskusten energiankulutusta. Keskiarvo on laskettuna taulukossa 2. Pärssisen ja muiden (2019) esittämästä arviosta 1,1–1,5 % on laskettu lukuarvojen 1,1 ja 1,5 keskiarvo taulukossa 2.

Taulukko 2. Keskiarvo arvioista datakeskusten energiankulutuksesta maailman energiankulutukseen verrattuna.

Lähde	Lukuarvo
(Chkirbene et al., 2018)	1,5 % (vuodelta 2010)
(Liu et al., 2020)	3 % (vuodelta 2017)
(Albers, 2019)	1,5 % (vuodelta 2019)
(Pärssinen et al., 2019)	1,3 % (vuodelta 2019)
(Launonen, 2020)	3 % (vuodelta 2020)
(Mao et al., 2023)	2 % (vuodelta 2020)
Keskiarvo:	**2,1 %**

4.2 Energiankulutuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset

Launonen (2020) esittää mielenkiintoisen esimerkin datakeskusten aiheuttamasta energiankulutuksesta. Esimerkkinä käytetään suositun artistin Luis Fonsin Despacito-kappaletta ja sen aiheuttamaa dataliikennettä datakeskuksissa. Despacito-kappaleen aiheuttama dataliikenne kulutti muutamassa viikossa saman verran sähköä kuin 40 000 amerikkalaista kotitaloutta kuluttaa yhden kokonaisen vuoden aikana. Monet ihmiset eivät varmasti ota tällaista vaikutusta huomioon kuunnellessaan lempiartistinsa kappaleita. Useimmat ihmiset eivät todennäköisesti ole edes tietoisia siitä, että heidän datankulutuksellaan on merkittävä vaikutus datakeskusten energiankulutukseen ja siten myös ympäristöön.

Dataliikenteen ja pilvipalveluiden käytön lisääntyminen kasvattaa datakeskuksissa tarvittavien palvelimien määrää (Mishra et al., 2022). Palvelimien määrän nouseminen kasvattaa myös datakeskusten energiankulutusta. Palvelimien määrän lisääntyminen tarkoittaa myös jäähdytysjärjestelmien määrän lisääntymistä, mikä lisää energiankulutusta entisestään (Mishra et al., 2022). Tämä datakeskusten kasvava energiankulutus aiheuttaa suuria toimintakustannuksia ja lisäksi haittaa ympäristölle siitä aiheutuvan hiilijalanjäljen vuoksi (Mishra et al., 2022). Datakeskusten budjetista noin 30–50 % menee energiankulutuksesta johtuviin sähkökustannuksiin (Albers, 2019). Holdrenin (2007) mukaan useat

vahingolliset ja vaaralliset ympäristöongelmat ovat yhteydessä nimenomaan energiantuotantoon. Yhtenä suurimmista ympäristöongelmista Holdren (2007) mainitsee ilmastonmuutoksen. Datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamien ympäristövaikutusten hallitsemisesta kuitenkin vaikeaa tekee sen, että nykypäivänä datakeskuksia on erittäin paljon ympäri maailmaa ja ne kuluttavat hyvin suuria määriä energiaa. Esimerkiksi Googlen datakeskuksissa sijaitsevat yli 500 000 palvelinta kuluttavat energiaa vuosittain yli $6{,}3 \cdot 10^5$ megawattituntia (MWh) (Mishra et al., 2022), joka vastaa 630 000 000 kilowattituntia (kWh).

Datakeskukset ovat osa tieto- ja viestintätekniikkaa (*information and communications technology, ICT*) ja niiden hiilijalanjäljen arvioidaan olevan nopeimmin kasvava koko ICT-alalla (Whitehead et al., 2014). OpenCO2.netin (ei pvm.) mukaan hiilijalanjäljellä tarkoitetaan jonkin tietyn asian aiheuttamaa ilmastokuormaa. Ilmastokuormalla tarkoitetaan kasvihuonekaasujen päästöjä ilmakehään. Kasvihuonekaasuja ovat esimerkiksi hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli. Udaran ja muiden (2019) mukaan kasvihuonekaasut ovat pääasiallinen syy ilmastonmuutokselle. Kasvihuonekaasuista hiilidioksidia pidetään merkittävimpänä. Tämän vuoksi tutkijat ovat alkaneet kiinnittämään huomiota keinoihin vähentää ja lieventää hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidipäästöt tulisi ottaa huomioon myös datakeskuksista puhuttaessa sillä datakeskukset tuottavat vuosittain yli 43 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä (Mao et al., 2023). Nämä datakeskusten tuottamat suuret hiilidioksidipäästöt vaikuttavat omalta osaltaan ilmastonmuutokseen. Ilmastonmuutos on yksi merkittävin ympäristöongelma globaalilla tasolla (Udara et al., 2019). Ilmastonmuutoksen aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin kuuluvat esimerkiksi ilmaston lämpeneminen ja ekologinen tasapaino (Udara et al., 2019). Näiden ympäristövaikutusten lisäksi ilmastonmuutos aiheuttaa ongelmia teknologisella, ekonomisella ja yhteiskunnallisella tasolla. Tämän vuoksi ilmastonmuutos on globaali ja meitä kaikkia koskettava ongelma, jonka syihin pitäisi kiinnittää huomiota. Datakeskusten energiankulutus on yksi näistä syistä. Onneksi datakeskusten energiankulutuksen vähentämiseen on olemassa keinoja, joita esitellään luvussa 5.

5 Keinoja datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamien ympäristövaikutusten vähentämiseksi

Tässä luvussa käydään läpi mahdollisia keinoja datakeskusten energiankulutuksen ja siitä aiheutuvien ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Luku on jaettu pienempiin alalukuihin, joiden teemoina ovat energiankulutuksen vähentäminen, datakeskusten maantieteellinen sijoittaminen sekä hukkalämmön hyödyntäminen.

5.1 Energiankulutuksen vähentäminen

Keinoja datakeskusten energiankulutuksen vähentämiseen on monia. Mao ja muut (2023) esittelevät artikkelissaan lämmönhallintaan perustuvan resurssien aikataulutusmenetelmän (*thermal management-based resource scheduling method for cloud data centers, TM-VMC*). Tämän järjestelmän avulla voitaisiin vähentää datakeskusten energiankulu-

tusta välttämällä kuumien pisteiden *(hot spot*) muodostumista datakeskuksissa. Järjestelmä toimisi siten, että se jakaisi resursseja datakeskuksen sisällä olevien verkkoasemien välillä siten, että kuumia pisteitä ei pääsisi syntymään, mikä puolestaan vähentäisi energiankulutusta. Tämän kaltainen järjestelmä voisi olla erityisen hyödyllinen silloin, kun datakeskuksissa on ruuhka-aika ja dataliikenne on vilkkaimmillaan. Ruuhka-aikana datakeskusten palvelimet kuluttavat enemmän energiaa, kuin hiljaisempana aikana (Verma et al., 2017). Tällöin edellä mainittuja kuumia pisteitä syntyy todennäköisesti helpommin, johon Maon ja muiden (2017) esittämä järjestelmä voisi tarjota ratkaisun.

Ympäristövaikutukset ovat nousseet tärkeäksi aiheeksi datakeskusten toimialalla kasvavan energiankulutuksen vuoksi (Whitehead et al., 2014). Whitehead ja muut (2014) esittävät erilaisia mittauksia ratkaisuna kasvavaan energiankulutukseen. Esimerkki tällaisesta mittauksesta on datakeskusten energiatehokkuuden laskemiseen tarkoitetun suhdeluvun (*Power Usage Effectiveness, PUE*) käyttäminen. Erilaisia mittausjärjestelmiä, kuten PUE:ta, käyttämällä saadaan tietoa siitä, kuinka paljon energiaa datakeskuksissa kuluu, mihin sitä kuluu ja kuinka tehokkaasti energiaa käytetään. Näiden mittaustulosten avulla datakeskukset pystyvät keskittymään energiatehokkaiden ratkaisujen tekemiseen ja täten vähentämään energiankulutustaan. Vähentämällä energiankulutustaan datakeskukset tekevät itsestään myös ekologisempia.

Energiankulutusta olisi mahdollista pienentää vähentämällä käynnissä olevia palvelimien määrää datakeskuksissa (Gao et al., 2020). Albersin (2019) mukaan palvelimia hyödynnetään tällä hetkellä vain 20–40 % ajasta. Tämän hyödynnetyn ajan ulkopuolella palvelimet ovat silti aktiivisia, vaikka ne seisovatkin toimettomina. Toimettomanakin palvelimet kuluttavat energiaa noin puolet siitä määrästä, mitä ne kuluttaisivat käydessään huipputeholla. Palvelimet voisivat olla valmius- tai lepotilassa ollessaan toimettomia ja näin vähentää energiankulutusta. Palvelimien energiankulutusta voisi vähentää myös käyttämällä algoritmeja, jotka jakavat työkuorman dynaamisesti palvelimien kesken (Chen et al., 2008). Tällöin tarpeettomat palvelimet voitaisiin sulkea ja näin säästää energiaa (Chen et al., 2008).

Datakeskusten energiankulutukseen olisi mahdollista vaikuttaa myös vähentämällä datan käyttöä ja siten datakeskuksissa liikkuvaa dataliikennettä. Tämä voi kuitenkin olla haastavaa lisääntyvän elektronisten laitteiden käytön sekä yhä useamman tuotantoprosessin digitalisoitumisen vuoksi (Euroopan parlamentti, 2021). Tämä digitaalisten palveluiden lisääntyminen aiheuttaa kuitenkin huolta datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamista ympäristövaikutuksista (Kamiya & Bertoldi, 2024), minkä vuoksi siihen olisi hyvä kiinnittää huomiota. Yksittäisten ihmisten kohdalla tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että tarkastelee omaa datan käyttöään ja pohtii, että onko se kaikki todellakin tarpeellista. Suurempien toimijoiden, kuten esimerkiksi yritysten kohdalla tämä voisi tarkoittaa sitä, että kerätään tietoa yrityksen datan käytöstä ja sen perusteella tehdään energia- ja ympäristöystävällisempiä ratkaisuja (Kamiya & Bertoldi, 2024).

5.2 Datakeskusten maantieteellinen sijoittaminen

Datakeskusten maantieteellisellä sijoittamisella on vaikutusta energiankulutukseen ja täten ympäristövaikutuksiin. Ilmastonmuutosta ja energiankulutukseen liittyviä ongelmia pystyttäisiin lieventämään sijoittamalla datakeskuksia arktisille alueille (Liu et al., 2020). Esimerkiksi Pohjoismaihin sijoitettujen datakeskusten jäähdyttämiseen saataisiin jäähdytysenergiaa luonnollisesti ja halvalla Pohjoismaiden kylmän ilmaston vuoksi (Wahlroos et al., 2018). Liu ja muut (2020) mainitsevat Suomessa Haminassa sijaitsevan Googlen datakeskuksen, joka käyttää jäähdytysjärjestelmässään merivettä Suomenlahdesta. Arktisilla alueilla on tarjottavanaan myös uusiutuvaa energiaa sekä sopiva ilmankosteus datakeskuksia varten.

Liu ja muut (2020) esittävät, että datakeskusten keskittäminen arktisille alueille vähentäisi energiankulutusta 301 miljardia kilowattituntia (kWh) vuoteen 2030 mennessä verrattuna tilanteeseen, jossa datakeskukset eivät olisi keskittyneet arktisille alueille. Energiankulutuksen vähentämisen lisäksi tämä vähentäisi hiilidioksidipäästöjä 720 miljoonaa tonnia. Voidaan siis todeta, että datakeskusten maantieteellisellä sijoittamisella on hyvinkin paljon merkitystä datakeskusten energiankulutuksessa ja aiheutetuissa ympäristövaikutuksissa.

5.3 Hukkalämmön hyödyntäminen

Datakeskukset käyttävät suuria määriä energiaa ja tämä energia muuttuu lähes kokonaan lämmöksi, joka menee useimmissa tapauksissa hukkaan (Wahlroos et al., 2018). Euroopassa olevien datakeskusten on arvioitu tuottavan hukkalämpöä 3140 terawattituntia (Pärssinen et al., 2019). Tätä hukkalämpöä voitaisiin esimerkiksi ohjata erilaisiin lämmitystarkoituksiin, jolloin lämmitykseen tarvittava energiankulutus vähenisi. Tämä vähentäisi energiankulutuksen tuottamia hiilidioksidipäästöjä. Pärssinen ja muut (2019) mainitsevat, että datakeskuksia pystytään nykyään suunnittelemaan siten, että niillä on kyky olla päästämättä syntyvää hukkalämpöä karkuun. Tällöin hukkalämpö voidaan jakaa ja hyödyntää esimerkiksi lähellä sijaitsevien talojen, toimistojen, uima-altaiden tai kasvihuoneiden lämmitykseen. Tällainen ominaisuus voisi olla hyvä lähtökohta uusille datakeskuksille niiden suunnitteluvaiheessa, jotta mahdollisimman suuri osuus hukkalämmöstä saataisiin hyötykäyttöön. Hukkalämmön siirtäminen datakeskuksista muiden kiinteistöjen lämmitykseen voisi tapahtua esimerkiksi hukkalämmön myymisellä kaukolämpöoperaattoreille (Pärssinen et al., 2019).

Hukkalämmön hyödyntämiseen liittyy kuitenkin myös haasteita. Yksi suurimmista haasteista on se, että 90 % datakeskuksista sijaitsee sellaisilla alueilla, joiden ilmastot ovat niin lämpimiä ympäri vuoden, ettei hukkalämpöä tarvita talojen lämmitykseen (Launonen, 2020). Tämä haaste liittyy edellisessä kohdassa 5.2 käsiteltyyn datakeskusten maantieteelliseen sijoittamiseen. Maantieteellisellä sijoittamisella voitaisiin ratkaista ongelma hukkalämmön hyödyntämisestä lämmityksessä. Esimerkiksi Pohjoismaat olisivat hyvä kohde sijoittaa datakeskuksia, koska Pohjoismaissa hukkalämpöä voidaan käyttää esimerkiksi kaukolämmityksessä (Wahlroos et al., 2018).

6 Keskustelu

Tutkielmassa vastattiin johdannossa esitettyyn tutkimuskysymykseen, joka on: Minkälaisia ympäristövaikutuksia datakeskusten energiankulutus aiheuttaa ja mitä niille on tehtävissä? Tutkimuskysymykseen onnistuttiin vastaamaan hyvin, vaikkakin tietenkin hieman suppeasti tutkielman laajuuden vuoksi. Tutkimuskysymykseen vastattiin yhteiskunnallisesta näkökulmasta, joka keskittyy suurimmaksi osin datakeskuksiin ja niiden energiankulutukseen. Näkökulmaa on käsitelty tietojenkäsittelyalan, mutta myös muiden aiheeseen liittyvien alojen, kuten ympäristöalan, pohjalta. Tämä on tehty sen vuoksi, että aihe on hyvin poikkitieteellinen. Tutkielmasta on rajautunut pois tarkempi näkökulma esimerkiksi dataliikenteestä ja energiankulutuksen vähentämisestä ohjelmistojen puolelta, koska tutkimuksessa on haluttu keskittyä nimenomaan datakeskuksiin ja niiden energiankulutukseen.

Tutkielman päätuloksena on se, että datakeskusten energiankulutuksella on merkittäviä ympäristövaikutuksia. Tällaisena merkittävänä ympäristövaikutuksena voidaan pitää esimerkiksi datakeskusten vuosittain tuottamaa yli 43 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästökuormaa (Mao et al., 2023). Ympäristövaikutusten lisäksi tutkielmasta nähdään, että keinoja näiden ympäristövaikutusten vähentämiseksi on olemassa. Esimerkiksi sijoittamalla datakeskuksia arktisille alueille voitaisiin vähentää energiankulutusta sekä syntyviä hiilidioksidipäästöjä (Liu et al., 2020). Nämä ja muut tutkielmassa esille tulleet tulokset vaikuttavat merkittäviltä yhteiskunnan kannalta, koska energiankulutuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset koskettavat meitä kaikkia. Keinot energiankulutuksen ja ympäristövaikutusten vähentämiseksi vaikuttavat soveltamiskelpoisilta ja niitä hyödyntämällä voitaisiin saada aikaan oikeaa muutosta.

Kaikkien datakeskusten energiankulutuksen aiheuttamien ympäristövaikutusten tutkimiseksi vaadittaisiin paljon laajempaa tutkimusta, koska ympäristövaikutukset ovat paljon moninaisempia, kuin mitä tässä tutkielmassa tulee esille. Energiankulutuksen vähentämiseksi ja siten myös ympäristövaikutusten vähentämiseksi on olemassa paljon enemmän keinoja, kuin mitä tässä tutkielmassa käsitellään. Tällaisia keinoja voisivat olla esimerkiksi ratkaisut dataliikenteen vähentämiseksi sekä ohjelmistojen suunnitteleminen ympäristöystävällisemmiksi, jolloin ne kuluttaisivat vähemmän energiaa.

Esiintyvät tulokset eivät ole täysin yleistettävissä koskemaan kaikkia datakeskuksia, koska datakeskukset voivat vaihdella kooltaan hyvinkin paljon. Yksityishenkilön omistama yksittäinen palvelin kotona ei aiheuta saman mittaluokan energiankulutusta ja ympäristövaikutuksia kuin suuren luokan yrityksen datakeskus, jossa sijaitsee lukuisia palvelimia. Tämän vuoksi tutkielman tuloksia voi yleistää ainakin suurten datakeskusten keskuudessa, joiden energiankulutus on suurta.

Datakeskusten määrä tulee todennäköisesti vain kasvamaan tulevaisuudessa samalla, kun käytettävän teknologian ja siten myös datan määrä kasvaa. Tutkielman aihe on siis hyvin ajankohtainen ja yhteiskunnallisestikin merkittävä. Tämän vuoksi datakeskusten energiankulutusta ja sen aiheuttamia vaikutuksia ympäristöön olisi tärkeä tutkia jatkossakin. Esimerkiksi keinoista energiankulutuksen vähentämiseksi voisi tehdä jatkotutkimusta,

sillä niitä voisi löytyä enemmän, kuin mitä tässä tutkielmassa on esitelty. Tämän lisäksi myös jatkotutkimukset datan käytöstä ja dataliikenteestä sekä niiden vähentämisestä olisivat mielenkiintoisia ja hyvin ajankohtaisia.

7 Yhteenveto

Tutkielman tärkeimpänä tavoitteena oli vastata alussa asetettuun tutkimuskysymykseen eli siihen, minkälaisia ympäristövaikutuksia datakeskusten energiankulutus aiheuttaa ja mitä niille on tehtävissä. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena erilaisia tietokantoja hyödyntämällä. Aineistojen avulla tutkittiin datakeskusten energiankulutusta ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia ja siten päästiin asetettuun tavoitteeseen. Tutkielmassa selvisi, että datakeskukset kuluttavat suuren määrän energiaa, mikä puolestaan aiheuttaa ympäristövaikutuksia esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen muodossa.

Tutkielmaan haluttiin sisällyttää myös keinoja, joilla datakeskusten energiankulutusta ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia voitaisiin vähentää. Tämä tehtiin, jotta alussa esitettyyn tutkimuskysymykseen saataisiin ratkaisuja. Ratkaisuja esittämällä on myös haluttu, että tutkielmasta jäisi lukijalle pohdittavaa sekä toivoa tulevaisuutta varten. Keinoja energiankulutuksen ja ympäristövaikutusten vähentämiseksi löydettiin ja niiden soveltaminen käytännössä näyttää mahdolliselta. Energiankulutusta voitaisiin vähentää datakeskusten maantieteellisen sijoittamisen avulla sekä vähentämällä käynnissä olevien palvelimien määrää datakeskuksissa. Energiankulutus vähenisi myös kuumien pisteiden syntymistä välttämällä ja tekemällä erilaisia mittauksia datakeskusten energiankulutuksesta, joiden avulla voitaisiin tehdä ratkaisuja energiankulutuksen vähentämiseksi. Energiankulutus vähenisi myös, jos dataliikenne datakeskuksissa vähenisi, mikä onnistuisi datan käytön vähentämisellä.

Lähdeluettelo

Albers, S. (2019). On Energy Conservation in Data Centers. *ACM Transactions on Parallel Computing*, 6, 3, Article 13, 26 pages. https://doi.org/10.1145/3364210

Chen, G., He, W., Liu, J., Nath, S., Rigas, L., Xiao, L. & Zhao, F. (2008). Energy-aware server provisioning and load dispatching for connection-intensive internet services. *Proc. of NSDI.*

Chkirbene, Z., Gouissem, A., Hadjidj, R., Foufou, S. & Hamila, R. (2018). Efficient techniques for energy saving in data center networks. *Computer Communications*, Volume 129, Pages 111-124, ISSN 0140-3664. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2018.07.025

Euroopan parlamentti. (11.3.2021). (Päivitetty 29.3.2021). *Massadata: määritelmä, hyödyt, haasteet (infografiikka)*. https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20210211STO97614/massadata-maaritelma-hyodyt-haasteet-infografiikka (Haettu 12.4.2024)

Gao, J., Wang, H. & Shen, H. Smartly Handling Renewable Energy Instability in Supporting A Cloud Datacenter. *2020 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS),* New Orleans, LA, USA, 2020, pp. 769-778. https://doi.org/10.1109/IPDPS47924.2020.00084

Hassan, S. F., Ali, M., Sajid, A. & Perwez, U. (2015). Free Cooling Investigation of SEECS Data Center. *Energy Procedia*, 75, 1249-1254. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.233

Holdren, P. (2007). Energy and Sustainability. *Science vol 315*. https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.1139792

IBM. (ei pvm.). *What is a data center?* https://www.ibm.com/topics/data-centers (Haettu 24.4.2024)

Kamiya, G. & Bertoldi, P. (2024). Energy Consumption in Data Centres and Broadband Communication Networks in the EU. *Publications Office of the European Union, Luxembourg*. https://doi.org/10.2760/706491

Launonen, P. (2020). (Muokattu 2021). *Dataliikenteen energiankulutus on ilmastohaasteen ydinkysymys*. Tietoyhteiskunnan kehittämiskeskus RY. https://tieke.fi/dataliikenteen-energiankulutus-on-ilmastohaasteen-ydinkysymys/ (Haettu 24.2.2024)

Liu, Y., Wei, X., Xiao, J., Liu, Z., Xu, Y. & Tian, Y. (2020). Energy consumption and emission mitigation prediction based on data center traffic and PUE for global data centers. *Global Energy Interconnection*, 3(3), 272–282. https://doi.org/10.1016/j.gloei.2020.07.008

Mao, L., Chen, R., Cheng, H., Weiwei, L., Bo, L & Wang, J. (2023). A resource scheduling method for cloud data centers based on thermal management. *Journal of Cloud Computing*, 12, 84. https://doi.org/10.1186/s13677-023-00462-2

Meta. (ei pvm.). *Infrastructure for today and tomorrow.* https://datacenters.atmeta.com/ (Haettu 24.2.2024)

Mishra, J., Sheetlani, J. & Reddy, K.H.K. (2022). Data center network energy consumption minimization: a hierarchical FAT-tree approach. *International Journal of Information Technology*, 14, 507–519. https://doi.org/10.1007/s41870-018-0258-1

OpenCO2.net. (ei pvm.). *CO2-termit tutuiksi.* https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa (Haettu 14.3.2024)

Pärssinen, M., Wahlroos, M., Manner, J., & Syri, S. (2019). Waste heat from data centers: An investment analysis. *Sustainable Cities and Society*, Volume 44, Pages 428-444, ISSN 2210-6707. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.023

Tietotekniikan termitalkoot. (2023). https://sanastokeskus.fi/tsk/fi/termitalkoot/haku-266.html (Haettu 24.2.2024)

Udara Willhelm Abeydeera, L. H., Wadu Mesthrige, J., & Samarasinghalage, T. I. (2019). Global research on carbon emissions: A scientometric review. *Sustainability*, 11(14), 3972. https://doi.org/10.3390/su11143972

Verma, K. K., & Saxena, V. (2017). Power Management in the Computer Centre Under Distributed Environment. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(3).

Wahlroos, M., Pärssinen, M., Rinne, S., Syri, S., & Manner, J. (2018). *Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe.* Renewable & Sustainable Energy Reviews, 82, 1749–1764. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.058

Whitehead, B., Andrews, D., Shah, A., & Maidment, G. (2014). Assessing the environmental impact of data centres part 1: Background, energy use and metrics. *Building and Environment*, 82, 151–159. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.021