TEKNOLOGIAYRITYKSEN TIETO- JA VIESTINTÄTEKNOLOGIAN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN KARTOITUS SUOMESSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2024

Roosa-Maria Virtanen

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Roosa-Maria Virtanen

Teknologiayrityksen tieto- ja viestintäteknologian hiilidioksidipäästöjen kartoitus Suomessa

Energiatekniikan kandidaatintyö

2024

28 sivua, 4 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

Avainsanat: Tietoteknologia, viestintäteknologia, ICT ja hiilidioksidipäästöt

Tässä työssä tarkastellaan tieto- ja viestintäteknologian hiilidioksidipäästöjä maailmanlaajuisesti sekä teknologiayrityksen näkökulmasta Suomessa. Lisäksi työssä tarkastellaan hiilidioksidipäästöjen kansainvälistä raportointia ja niiden käyttöä tieto- ja viestintäteknologian hiilidioksidipäästöjen raportoinnissa. Tieto- ja viestintäteknologian hiilidioksidipäästöjen kartoittamisen haasteita aiheuttaa hiilidioksidipäästöjen vaikea jäljitettävyys koko arvoketjulta. Työ on tehty Valmetin tieto- ja viestintäsektorin hiilidioksidipäästöjen kartoitusta varten. Julkaistavasta versiosta Valmetin tarkastelu ja laskenta ovat jätetty pois.

Nykypäivänä tieto- ja viestintäteknologian rooli yhteiskunnassa on merkittävä, joka tuottaa, että tarjoaa mahdollisuuksia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Tieto- ja viestintäteknologia mahdollistaa ilmastoneutraaliuden edistämisen, samalla avaamalla ovia kestävälle rahoitukselle ja uusille työpaikoille. Haitallisia vaikutuksia ovat merkittävä hiilijalanjälki ja kasvava elektroniikkajätteen määrä, joiden hallintaan tarvitaan kestäviä ratkaisuja. Datakeskusten toiminta on merkittävässä roolissa tieto- ja viestintäteknologian hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä uusiutuvan energian käytöllä ja hukkalämmön hyödyntämisellä. Vaikka päästöraportointi on tärkeää yrityksen maineen ja vastuullisuuden kannalta, sen haasteena ovat vaikeasti jäljitettävät päästöt ja raportointialueen määrittäminen, mikä voi avata mahdollisuuksia viherpesulle ja luoda eriarvoisuutta yritysten välille.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Roosa-Maria Virtanen

Mapping the carbon dioxide emissions of information and communication technology in Finland

Bachelor's thesis

2024
28 pages, 4 figures and 1 table
Examiner: Professor Esa Vakkilainen

Keywords: Information technology, communication technology, ICT and carbon dioxide emissions

This thesis examines the carbon dioxide emissions of information and communication technology globally as well as from the perspective of a technology company in Finland. Additionally, it delves into international reporting of carbon dioxide emissions and their use in reporting information and communication technology carbon dioxide emissions. The challenges of mapping carbon dioxide emissions from information and communication technology stem from the difficulty in tracking emissions throughout the entire value chain. The thesis is conducted for the purpose of mapping carbon dioxide emissions from Valmet's information and communication sector. The review and calculations related to Valmet have been excluded from the published version.

Today, the role of the information and communication technology in society is significant, offering opportunities to reduce greenhouse gas emissions. Information and communication technology enables the promotion of climate neutrality while opening doors to sustainable finance and new job opportunities. Significant drawbacks include a substantial carbon footprint and increasing amounts of electronic waste, requiring sustainable solutions for management. Data centers play an important role in reducing the carbon dioxide emissions of information and communication technology's by utilizing renewable energy and waste heat. While emission reporting is important for a company's reputation and accountability, challenges include tracing emissions and defining the reporting scope, which could lead to greenwashing and create inequality among companies.

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

AI	tekoäly (Artificial Intelligence)
CO_2	hiilidioksidi
CO_2e	hiilidioksidiekvivalentti
ESG	ympäristö, yhteiskunta ja hallinto (Environmental, Social, and Governance)
Etla	Elinkeinoelämän tutkimuslaitos
EU	Euroopan unioni
G	sukupolvi (generation)
GHG	kasvihuonekaasu (Greenhouse Gas)
GSM	digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä (Global System for Mobile Communications)
IaaS	infrastruktuuripalvelu (Infrastructure as a Service)
ICT	tieto- ja viestintäteknologia (Information and Communication Technology)
IoT	internettiin yhdistetyt laitteet (Internet of Things)
IT	informaatioteknologia (Information Technology)
LAN	lähiverkko (local area network)
LED	loistediodi (light-emitting diode)
NACE	taloudellisten toimialojen luokitus (Nomenclature of Economic Activities)
NFR	ei-taloudellinen raportointi (Non-Financial Reporting)
NMT	yhteispohjoismainen analoginen radiopuhelinverkko (Nordisk Mobiltelefon)
OECD	taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö (Organisation for Economic Co-operation and Development)

PaaS	alustapalvelu (Platform as a Service)
PaLM	Pathways Language Model
PAN	likiverkko (personal area network)
PPM	miljoonasosa (Parts per million)
SaaS	ohjelmistopalvelu (Software as a Service)
TOL	toimialaluokitus
WAN	laajaverkko (wide area network)
WLAN	langaton lähiverkko (wireless local area network)
WPAN	langaton likiverkko (wireless personal area network)
YK	Yhdistyneet kansakunnat

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1 Johdanto ... 7
2 Tieto- ja viestintäteknologia ... 8
2.1 Maailmanlaajuinen ilmastopolitiikka ... 8
2.1.1 GHG-protokolla ... 9
2.1.2 Kansainväliset ilmastosopimukset ... 10
2.2 Tieto- ja viestintäteknologian kasvihuonekaasupäästöt ... 11
2.3 Tieto- ja viestintäteknologian hiilikädenjälki ... 14
3 Teknologiayrityksen tieto- ja viestintätoiminnot ... 15
3.1 Ohjelmisto- ja tietopalveluiden vaikutus datakeskuksien energiankulutukseen ... 15
3.1.1 Hiilidioksidipäästöjen vertailu ... 16
3.2 Tietoliikenne ja televerkot ... 17
3.3 Päätelaiteiden hankinta ja hävitys ... 18
3.4 Tekoäly ... 20
4 Johtopäätökset ... 22
Lähteet ... 24

1 Johdanto

Digitalisaation myötä tieto- ja viestintäteknologian (ICT) rooli yhteiskunnassa on kasvanut merkittävästi 2000-luvulla. Teknologisoituminen on kasvattanut ICT:n osuutta maailman kasvihuonekaasupäästöissä arviolta 3–5 %:iin (Liikenne- ja ympäristöministeriö 2021). ICT on noussut keskeiseen roolin myös yritysten toiminnassa, mikä näkyy datakeskuksien, laitteiston, tietopalveluiden, televiestinnän ja ohjelmistojen markkinoissa. Euroopan unioniin (EU) kuuluvien maiden yritysten hiilidioksidipäästöjen (CO_2) raportointivelvoitteet koskevat Greenhouse Gas (GHG) protokollan suoria luokan (scope) 1 ja epäsuoria luokan (scope) 2 kasvihuonekaasupäästöjä. Valtaosa ICT:n hiilidioksidipäästöistä syntyy kuitenkin luokassa (scope) 3.

Tässä työssä kartoitetaan ICT-sektorin CO_2-päästöjen laskentaa ja niiden raportointia Suomessa. Tarkastelun kohteena on suomalaiset teknologiayritykset, joiden ICT-toimintojen CO_2-päästöjen raportointia vaikeuttaa koko arvoketjun CO_2-päästöjen selvitys sekä maailmanlaajuisesti selkeän yhteisen viitekehyksen puuttuvuus. Koko yrityksen arvoketjun CO_2-päästöjen laskentaan vaikuttaa oman toiminnan lisäksi myös alihankkijoiden tuottamat CO_2-päästöt. Tämän työn ICT-luokittelun viitekehys on rakennettu vuoden 2006 taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön (OECD) määritelmän mukaan, missä ICT-sektori on osa informaatiosektoria (OECD 2017).

Tutkimus on tehty osana Valmetin tutkimustyötä, joka kartoittaa yrityksen ICT-sektorin CO_2-päästöjä. Työn tavoitteena on selvittää teknologiayrityksen ICT-sektorin laskenta ja raportointi mahdollisuuksia Suomessa. Tarkastelussa perehdytään myös tarkemmin CO_2-päästöjen laskentaa ja raportointia ohjaaviin tekijöihin. Valmetin ICT-sektorin CO_2-päästöjen laskenta ja kartoitus on poistettu julkaistusta versiosta.

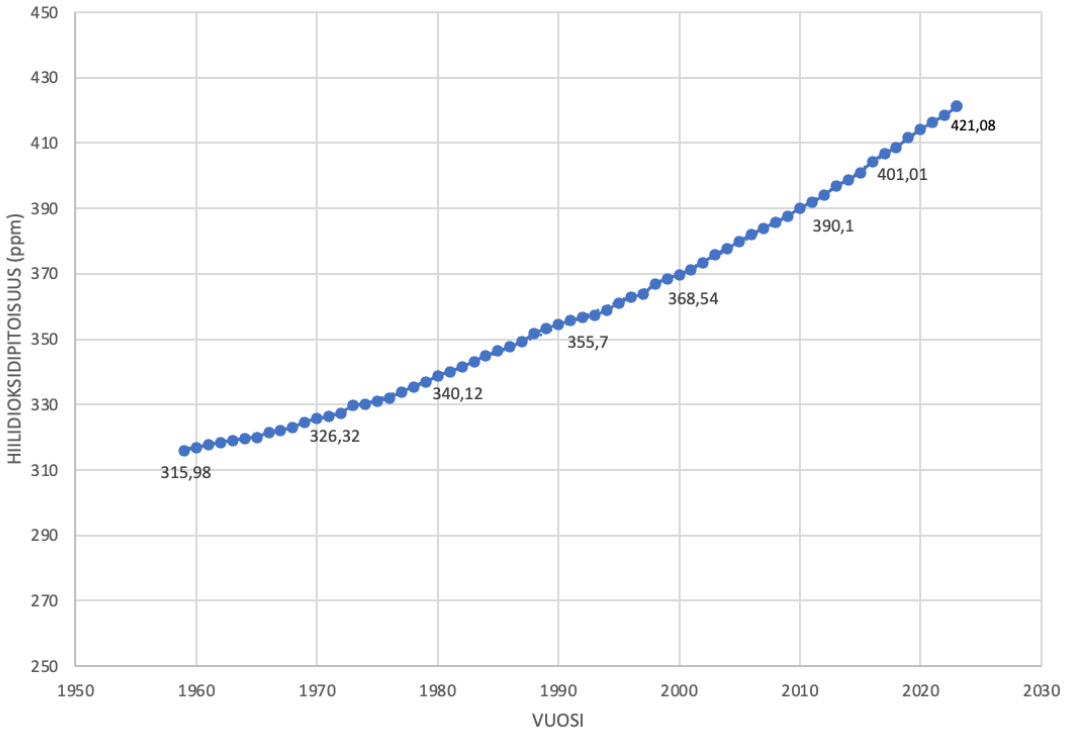
2 Tieto- ja viestintäteknologia

Tässä luvussa käsitellään ICT:n kasvihuonekaasupäästöjen osuutta maailman kasvihuonekaasupäästöistä sekä niiden hillitsemisen keinoja. Luvussa syvennytään ICT:n CO_2-päästöihin osana globaalia ilmastopolitiikkaa. Lisäksi luvussa käsitellään nykyisiä CO_2-päästöjen raportointivelvoitteita ja niiden vaikutusta ICT:n raportointimahdollisuuksiin.

2.1 Maailmanlaajuinen ilmastopolitiikka

Ihmisen toiminnan seurauksena ilmakehään vapautuu haitallisia kasvihuonekaasuja. Haitallisia kasvihuonekaasuja kutsutaan kasvihuonekaasupäästöiksi. Kasvihuonekaasupäästöt vahvistavat ilmastonmuutosta lämmittämällä ilmastoa. Ilmastonmuutoksella on maailmanlaajuiset seuraukset, jonka hillitsemiksesi on alettu toteuttamaan eri toimenpiteitä. Merkittäviä toimia on kasvihuonekaasupäästöjen mittaaminen ja laskenta sekä raportointi. Kasvihuonekaasupäästöjen määriä mitataan ja raportoidaan eri massayksiköissä.

Kasvihuonekaasupäästöistä suurin osa on hiilidioksidia. Vuonna 2021 EU:n kaikista kasvihuonekaasupäästöistä CO_2 kattoi 80 % (Euroopan parlamentti 2018). Kuvasta 1 nähdään CO_2-pitoisuuden kasvu ilmakehässä vuodesta 1959 ennen digitaalista vallankumousta vuoteen 2023 (Collin & Saarelainen 2016). CO_2-pitoisuuden määrä ilmakehässä on kasvanut 105,1 miljoonasosa(ppm) Mauna Loa laboratoriossa Havaijilla, jossa mittaukset suoritettiin. CO_2-pitoisuus on noussut prosentuaalisesti lähes 40 % viimeisen 64 vuoden aikana, mistä valtaosa ihmisten toiminnan seurauksena syntyvistä CO_2-päästöistä on peräisin fossiilisista polttoaineista.



Kuva 1. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus (Global Monitoring Laboratory 2024)

Kasvihuonekaasuilla on eri vaikutuseroja ilmastonmuutokseen. Kasvihuonekaasujen ilmastonmuutoksen vaikutuserot syntyvät niiden molekyylirakenteiden eroavaisuuksista, jolloin ne sitovat eri määrän lämpösäteilyä eri aallonpituuksilla, josta osa heijastuu Maan pintaan ja loput pois ilmakehästä. Maan pintaan heijastunut säteily jää lämmittämään ilmakehää. Tämä tapahtuma synnyttää kasvihuoneilmiön ilmakehälle, jolloin liian suuret kasvihuonekaasumäärät alkavat lämmittämään ilmakehää. (Ilmasto-opas.fi 2024). Kasvihuonekaasujen määrät voidaan suhteuttaa toisiinsa niiden vaikutuksien mukaan kasvihuoneilmiön voimistumiselle. Tätä lukua kutsutaan hiilidioksidiekvivalentiksi (CO_2e). (Tilastokeskus 2024b).

2.1.1 GHG-protokolla

Hiilidioksidipäästöt voidaan jakaa kolmeen luokkaan GHG-protokollan mukaan. GHG-protokolla on vuonna 2001 julkaistu globaalisti toimiva standardi yhdenmukaiseen hiilijalanjäljen laskentaan ja niiden raportointiin. (Greenhouse Gas Protocol 2024) Luokittelua käytetään useimmissa yrityksissä Suomessa. Luokittelu auttaa yritystä ymmärtämään koko arvoketjun aikana syntyvät CO_2-päästöt. Ensimmäinen luokka sisältää yrityksen suorat päästöt,

joihin yritys voi suoraan vaikuttaa tai valvoa, kuten oma energiantuotanto tai ajoneuvot. Toinen ja kolmas luokka kattaa epäsuorat CO_2-päästöt. Toisen luokan CO_2-päästöt syntyvät yrityksen ulkoisesta lähteestä, kuten ostetusta ja käytetystä sähkön- tai lämmöntuotannosta. Kolmas luokka sisältää CO_2-päästöt, jotka eivät synny yrityksen omasta toiminnasta eivätkä ole peräisin yrityksen omistamista tai hallitsemista resursseista. Sen sijaan yritys on välillisesti vastuussa arvoketjussaan tapahtuvista prosesseista ja toimista. (National Grid 2023.)

Suuryrityksien luokkien yksi ja kaksi päästöraportointia velvoittaa EU:n direktiivi ei-taloudellisesta raportoinnista (NFR). Kolmannen luokan päästöjen raportointi on vapaaehtoista, koska niiden jäljittäminen on haastavampaa, mutta yrityksille niiden raportointi lisää yrityksen läpinäkyvyyttä ja luotettavuutta (Euroopan Unioni 2021). Yritysten yksi ja kaksi luokkien raportointivaatimukset on määritelty GHG Protocol Corporate -standardissa. Kolmannelle luokalle luotiin yritysten yhteinen GHG Protocol Value Chain -standardi vuonna 2011, koska suurin osa päästöistä arvioidaan syntyvän kolmannessa luokassa. Global Compact Network Germany arvioi raportissaan (2024) informaatioteknologia- (IT) ja ohjelmistotoimialan kasvihuonekaasupäästöjen olevan 78 % peräisin kolmannesta luokasta. (Sundberg & Barnekow 2022, 23.) Yrityksen on raportoitava myös luokan 3 päästöt, mikäli yritys haluaa raportoida GHG protokollan mukaisesti.

2.1.2 Kansainväliset ilmastosopimukset

Kansainvälisesti ilmastopolitiikkaa ja ilmastotavoitteita ohjaa linjaukset Yhdistyneiden kansakuntien (YK) puitesopimuksessa (1994), jota on täydennetty myöhemmin Kioton pöytäkirjassa (2005) ja Pariisin ilmastosopimuksessa (2016). Ilmastopuitesopimuksen sopimusosapuolet raportoivat vuosittain kasvihuonekaasupäästöt ja hiilinielut sekä 3–4 vuoden välein ilmastotoimet YK:lle. Pariisin ilmastosopimus edustaa ensimmäistä maailmanlaajuisesti sitovaa ilmastosopimusta, joka velvoittaa kaikki sopimusosapuolet päästöjen vähentämiseen. Pariisin ilmastosopimuksen päätavoite on säilyttää maapallon keskilämpötilannousu alle kahden asteen esiteolliseen aikaan verrattuna ja pyrkiä toimenpiteisiin, jotka pitävät lämpenemisen alle 1,5 asteessa. (Ympäristöministeriö 2024b). EU:n ilmastopolitiikka seuraa YK:n politiikkatoimia. EU on lisäksi asettanut oman tavoitteen ilmastoneutraalisuudesta vuoteen 2025, missä päästöt ja poistumat ovat tasapainossa. (Ympäristöministeriö 2024a.)

Suomen ilmastopoliittisia toimia ohjaa YK:n ja EU:n ilmastopolitiikka ja ilmastolainsäädäntö. Suomen ilmastopolitiikan tukipilarina toimii ilmastolaki, jonka uusin päivitys astui voimaan vuonna 2022. Ilmastolaki asettaa päästövähennystavoitteet maille. EU on asettanut Suomelle tavoitteeksi 90 % päästövähennyksiä vuodesta 1990 vuoteen 2050 mennessä. Suomi pyrkii kuitenkin saavuttamaan hiilineutraalisuuden vuoteen 2035 mennessä. EU:n asettamat velvoitteet ja toimet Suomelle ohjaavaa yritysten toimintamalleja ja raportointivelvollisuuksia, jotta ilmastonmuutos saadaan hillittyä ja tavoitteisiin päästään. (Ympäristöministeriö 2024c.)

2.2 Tieto- ja viestintäteknologian kasvihuonekaasupäästöt

Tieto- ja viestintäteknologia on keskeinen osa digitaalista taloutta ja yhteiskuntaa, koska se mahdollistaa datan keräämisen, käsittelyn, tallentamisen, siirtämisen ja esittämisen sähköisesti. Liikenne- ja ympäristöministeriön ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiassa (2021) ICT:n osuus maailman kasvihuonekaasupäästöistä arvioitiin olevan 3–5 %, joihin vaikutti merkittävästi sähkönkulutuksen määrä, joka arvioitiin olevan 4–10 % maailman sähkönkulutuksesta. Puolestaan Lotfi Belkhirin ja Ahmed Elmeligin tutkimusartikkelissa (2018) maailman päästöistä vuonna 2020 3,01–3,6 % arvioitiin olevan ICT:n. Tarkkaa lukua ICT:n kasvihuonekaasupäästöistä on tällä hetkellä mahdotonta selvittää, koska ne syntyvät toimitusketjun eri vaiheissa.

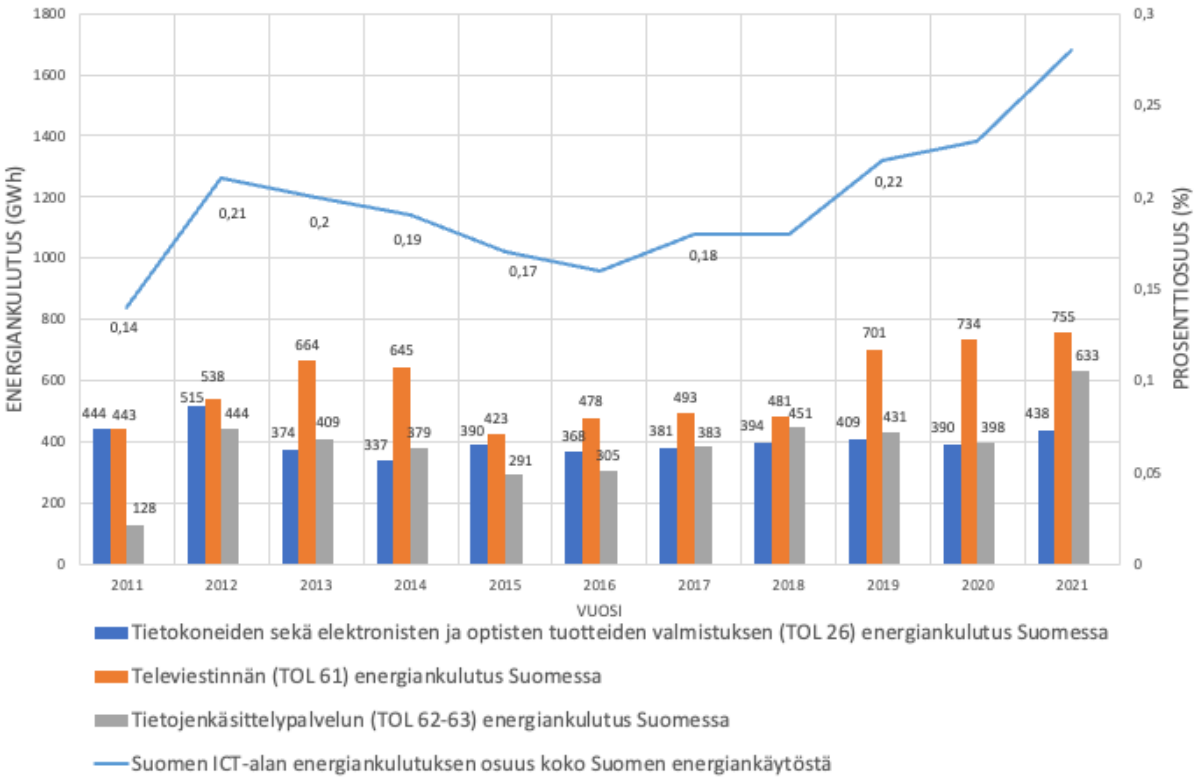
Haastavuutta ICT:n tarkastelussa lisää kansainvälisesti puuttuva selkeä viitekehys. Tässä tarkastelussa käytämme OECD määritelmää ICT:lle (OECD 2017). OECD:n (2017) määritelmän mukaan ICT-sektori on osa informaatiosektoria, joka käsittää tavaratuotannon, sisältötuotannon ja palvelutuotannon, mistä tavaratuotanto ja palvelutuotanto muodostavat ICT-sektorin. Taulukossa 1 on esitetty Suomessa käytetty toimialaluokittelu ICT-sektorille, mikä perustuu Euroopassa käytettävään taloudelliseen toimialaluokitukseen (NACE) 2 (Tilastokeskus 2024a). NACE 2 standardiluokittelu korvasi vuonna 2009 NACE 1.1 standardiluokittelun (Tulli 2024). Taulukon 1 toimialaluokituksen mukaan määritetään Suomen ICT-alan CO_2-päästöt.

Taulukko 1. ICT-alan toimialaluokittelu Suomessa (Tilastokeskus 2024a)

Toimialan numero:	Toimialan selite:
261	Elektronisten komponenttien ja piirilevyjen valmistus
262	Tietokoneiden ja niiden oheislaitteiden valmistus
263	Viestintälaitteiden valmistus
264	Viihde-elektroniikan valmistus
268	Tallennevälineiden valmistus
4651	Tietokoneiden, oheislaitteiden ja ohjelmistojen tukkukauppa
4652	Elektroniikka- ja viestintälaitteiden ja osien tukkukauppa
582	Ohjelmistojen kustantaminen
61	Televiestintä
62	Ohjelmistot, konsultointi ja siihen liittyvä toiminta
631	Tietojenkäsittely, palvelintilan vuokraus ja niihin liittyvät palvelut; verkkoportaalit
951	Tietokoneiden ja viestintälaitteiden korjaus

Suomessa vuonna 2021 tietokoneiden sekä elektronisten ja optisten tuotteiden valmistuksen toimialaluokitusta (TOL) 26, televiestinnän TOL 61 ja tietojenkäsittelypalveluiden TOL 62-63 energiankulutus oli 1826 GWh, joka oli 0,28 % koko Suomen energiankäytöstä (kuva 2). Tilastokeskuksen energiatilinpidosta (2023) saadaan selville, että vuoden 2021 energiankulutuksesta 84,6 % syntyi sähkönkulutuksesta, joka kasvoi 13,0 % edellisestä vuodesta. Tarkastelussa ei ole huomioitu tietokoneiden, elektroniikka- ja viestintälaitteiden, oheislaitteiden ja ohjelmistojen tukkukauppaa TOL 451 & 4652, ohjelmistojen kustantamista TOL 582 eikä tietokoneiden ja viestinlaitteiden korjausta TOL 951. Tulokset ovat Suomen energiakulutustietoja, joten tarkastelun ulkopuolelle on jätetty, esimerkiksi Suomen ulkopuolella

toimivien datakeskuksien energiankulutus. Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen (Etla) johtava tutkija ja Aalto-yliopiston työelämäprofessori Timo Seppälä arvioi Etlan julkaisussa (2021) ”merkittävän osan- ellei jopa valtaosan – suomalaisten organisaatioiden ja kuluttajien päivittäin käyttämistä digipalveluista sijaitsevan ulkomailla palvelinkeskuksissa, jolloin energian kulutus ja vastaavat ilmasto- ja ympäristövaikutukset kohdistuvat muualle kuin Suomeen.”



Kuva 2. Suomen ICT-alan energiankulutus vuosina 2011–2021 (Tilastokeskus 2023)

Vaikka ICT:n kasvihuonekaasupäästöillä on negatiivisia ympäristövaikutuksia ilmaan, vesiin ja maaperään, voi ICT olla merkittävä ja potentiaalinen osa ilmasto- ja ympäristöhaasteiden ratkaisussa. Tästä syystä ICT:n käytön vähentäminen ei ole selkeä ratkaisu ICT:n kasvihuonekaasupäästöjen hillinnässä. ICT mahdollistaa ilmasto- ja ympäristöhaasteiden tueksi muiden sektoreiden kasvihuonekaasupäästöjen datan mittaamisen, tallennuksen, käsittelyn ja siirron, minkä avulla pystytään luomaan ratkaisuja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiselle. Lisäksi digitaaliset ratkaisut toimivat ympäristön ja luonnonsuojelun tukena ja auttavat ilmastonmuutokseen sopeutumisessa. (Ojala & Oksanen 2021, 7.)

2.3 Tieto- ja viestintäteknologian hiilikädenjälki

ICT-sektori on keskeinen toimija ympäristöpäästöjen vähentämisessä tarjoamalla ratkaisuja datan mittaukseen, tallentamiseen, käsittelyyn ja siirtoon, mikä mahdollistaa kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnin. Kasvihuonekaasupäästöjen datan yhdenmukaisen raportoinnin tueksi yrityksille on luotu kaksi GHG-standardia, Corporate-standardi ja Corporate Value Chain, mitkä tukevat yhdenmukaista raportointia yritysten pyrkiessä minimoimaan ympäristövaikutuksiaan. Lisäksi yrityksille on luotu tuotekohtaisempi Product-standardi tuotteiden koko elinkaaren raportointiin ja projektikohtaisempi Project-standardi. (Greenhouse Gas Protocol 2024)

Standardit ohjaavat yrityksiä raportoimaan yhdenmukaisesti. CO_2-päästöjen raportointi toimii yhtenä kestävän kehityksen keinona eli kädenjälkenä. Kädenjäljeksi kutsutaan kestävyyttä edistävää ratkaisua tai tuotetta. Muita kädenjäljen osa-alueita ovat esimerkiksi kestävä hankinta ja valmistus sekä energiatehokkaat rakennukset ja hybridityö. (Sundberg & Barnekow 2022.) ICT-sektorin hiilijalanjäljen raportoinnille ei ole selkeää yhteistä maailmanlaajuista raportointivelvoitetta, koska ICT-sektorin tarkastelusta puuttuu kansainvälisesti selkeä viitekehys ja kasvihuonekaasupäästöjen selvittäminen koko arvoketjulta on puutteellista.

Liikenne- ja viestintäministeriö on luonut Suomea koskevan ICT-alan Ilmasto ja ympäristöstrategian (2021), jonka tarkoituksena on edistää kestävää digitalisaatiota ja edesauttaa ilmasto- ja ympäristötavoitteiden saavuttamista ICT-infrastruktuurin, datatalouden, materiaalivirtojen, tietopohjan kehittämisen, kuluttajatietoisuuden ja uusien teknologiaratkaisujen avulla. Teknologiayritysten parannukset ICT-infrastruktuurin osa-alueella kohdistuvat energiatehokkaampiin ratkaisuihin ja hiilettömien sähkölaitteiden sekä energian käyttöön. Teknologiayritysten datatalouden edistämiseksi huomioidaan ohjelmistojen ja palvelujen energianäkökohdat vahvemmin sekä kehitetään ICT-ratkaisuja ja edistetään niiden yleistymistä. Materiaalivirtojen ja kiertotalouden kolme pääkohtaa ovat päätelaitteiden käyttöiän pidentäminen, oikeaoppinen kierrättäminen ja kestävien primäärimateriaalien käyttö. Tietopohjan laajentamisen tarkoituksena on lisätä datakeskusten ja verkkojen energiankulutuksen ja päästövaikutusten raportointia sekä samalla lisätä tietoisuutta digitaalisten ratkaisujen elinkaaren aikana syntyvistä vaikutuksista. Kuluttajien tietoisuus kasvaa yritysten tehostetun ICT-sektorin ympäristöraportoinnin seurauksena. (Ojala & Oksanen 2021.)

3 Teknologiayrityksen tieto- ja viestintätoiminnot

Tässä luvussa syvennytään yrityksen ICT-toimintoihin, jotka koostuvat datakeskuksista, päätelaitteista, ohjelmistoista, pilvipalveluista sekä tietoliikenteestä ja televerkoista (Eerola et al. 2021). Syntyviä CO_2-päästöjä kutsutaan hiilijalanjäljeksi. Hiilijalanjäljen perusteella yritys pystyy ymmärtämään oman hiilidioksidin vaikutuksia ympäristöön, kustannuksiin ja imagoon. Teknologiayrityksen laitteistoa ovat muun muassa näytöt, tietokoneet ja työpuhelimet. Ohjelmistot ja tietopalvelut vaihtelevat teknologiayrityksillä, mutta sisältävät muun muassa tallennusalustat ja datan käsittelyohjelmat. Televiestinnällä tarkoitetaan tässä tarkastelussa tietoliikennettä ja televerkkoja eli viestintäverkkoja. Koko ICT-alan kasvihuonekaasupäästöjen hillinnässä keskitytään rajoittamisen sijaan energiantuotannon muotoihin ja tehokkuuteen sekä kestävien luonnonvarojen hankintaan ja loppukäyttöön (Sundberg & Barnekow 2022).

3.1 Ohjelmisto- ja tietopalveluiden vaikutus datakeskuksien energiankulutukseen

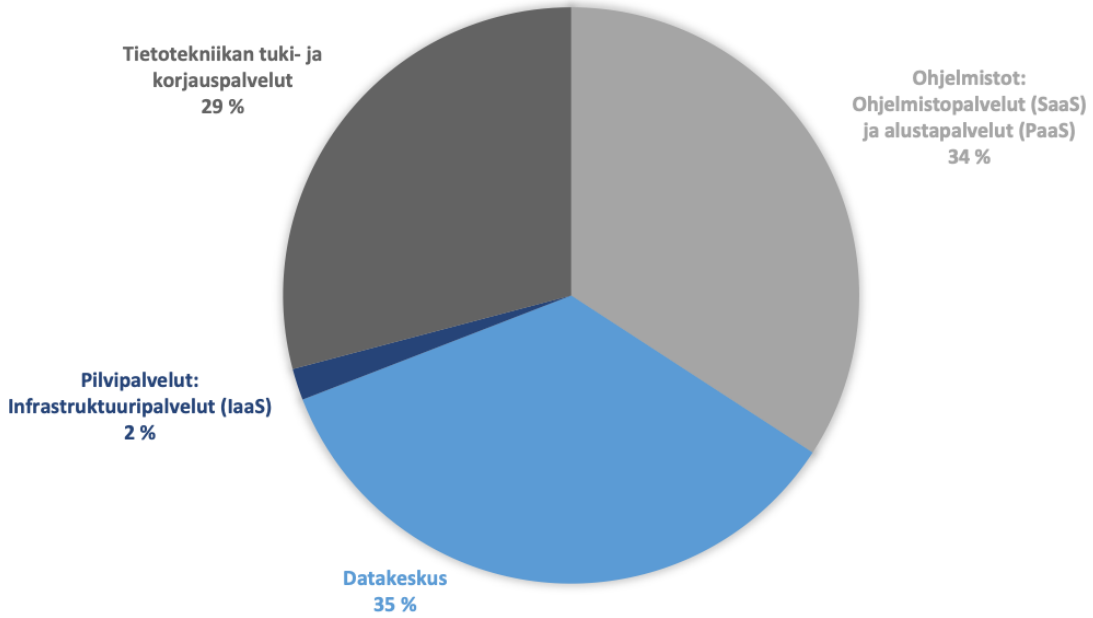
Datakeskuksien eli palvelinkeskuksien energiankäyttö on tyypillisiin toimisto- ja asuinrakennuksiin verrattuna yli 100 kertainen (Daraghmeh & Wang 2017). Datakeskuksien sähkönkulutus vuonna 2023 kattoi 1–1,5 % koko maailman sähkönkulutuksesta (Rozite et al. 2023). Datakeskuksien rakennukset, huoneet ja tilat sisältävät yritysten palvelimia, palvelinviestintälaitteita, jäähdytyslaitteita ja teholaitteita, mitkä käsittelevät ja säilyttävät dataa keskitetysti (Daraghmeh & Wang 2017). Datakeskukset toimivat laitteiston sijoituspaikkana, joka koostuu muun muassa telineistä, reitittimistä, kytkimistä, varastojärjestelmistä ja palvelimista (Cisco 2024).

Digitaalisuuden kasvaessa, datakeskuksien käyttötarve on yhä suurempi. Datakeskukset vaihtelevat muutamista palvelimista koostuvista huoneista sadoista tuhansiin palvelimiin käsittäviin rakennuksiin (Johnson & Marker 2009). Kehittyvän teknologian sekä tietojenkäsittelyn, tallennusjärjestelmien ja digitaalisen televiestinnän kasvun johdosta, esimerkiksi Yhdysvalloissa datakeskuksien määrä on noussut 432 datakeskuksesta 2094:ään vuosina 1998–2010. Myös datakeskuksien koot ovat kasvaneet merkittävästi. (Ebrahimi et al. 2014.)

Datakeskuksien kasvun myötä on ryhdytty myös kehittämään tehokkaampia ratkaisua. Vuodesta 2015 vuoteen 2022 datakeskuksien työkuormat ovat nousseet 340 %, mutta datakeskuksien energiankulutus on kasvanut vain 20–70 % (Rozite et al. 2023). Datakeskuksien työmäärä ja sen seurauksena energiankulutuksen kasvu ovat vaikutuksia IT-palveluiden kysynnästä. (Bughin et al. 2010).

3.1.1 Hiilidioksidipäästöjen vertailu

Beckerin, Bennicin, Bhargavan, Del Miglion, Lewisen ja Sachdevan tekemän selvityksen (2022) mukaan datakeskuksien CO_2e oli 63–75 Mt vuonna 2021, mistä noin 87 % syntyi GHG protokollan luokasta 2 ja loput luokasta 3. Datakeskuksien CO_2-päästöissä on huomioitu niin käyttäjien omissa laitteissa ja tiloissa sijaitsevat pilvipalvelut ja ohjelmistot kuin yhteissijoituksissa sijaitsevat pilvipalvelut ja ohjelmistot. Datakeskuksien CO_2e on lähes sama kuin ohjelmistojen. Ohjelmistojen CO_2e on 65–70 Mt, josta kaikki on peräisin epäsuorista päästöistä (kuva 3). Ohjelmistojen CO_2e sisältää myös ohjelmistopalvelun (SaaS) ja alustapalvelun (PaaS) CO_2e:n (kuva 3). Pilvipalvelut kattavat infrastruktuuripalvelusta (IaaS) syntyvän CO_2e, joka on 2–5 Mt (kuva 3). Infrastruktuuripalveluiden CO_2e on 94 % pienempi kuin ohjelmistojen CO_2e (kuva 3). (Becker et al. 2022.) Ohjelmistojen suuri CO_2e on selitettävissä osin pilvipalveluiden markkinaosuuksien avulla, jotka jakautuivat SaaSille 63,6 %, IaaSille 20,6 % ja PaaSille 15,8 % vuonna 2022. SaaSin ja PaaSin markkinaosuudet olivat yhdessä 79,4 %, joka on merkittävästi suurempi kuin IaaSin 20,6 % markkinaosuus. (Statista Market Insights 2023.)

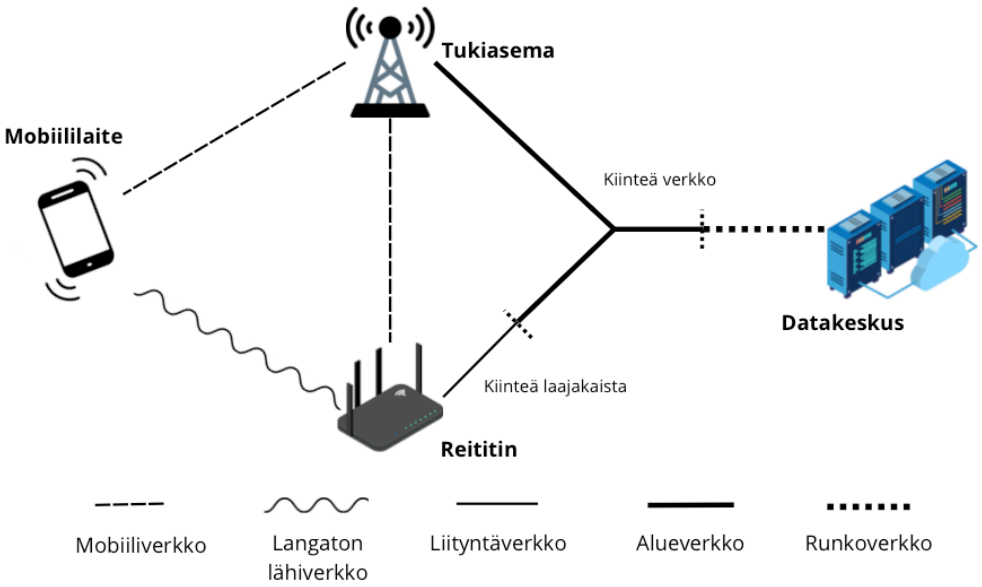


Kuva 3. Datakeskuksien, pilvipalveluiden, ohjelmistojen sekä tietotekniikan tuki- ja korjauspalveluiden CO_2e-osuudet vuonna 2021 (Becker et al. 2022)

Tietotekniikkapalvelut kattavat päätelaitteiden ja ohjelmistojen tuki- ja korjauspalvelun sekä huoltamisen. Palveluihin sisältyy muun muassa tietotekniikan konsultointi, laitteiden huolto, ohjelmistokehitys ja ylläpito, verkkosivustojen suunnittelu, IT-tuki, koulutus sekä tietojenkäsittelypalvelut. (Tilastokeskus 2024c).

3.2 Tietoliikenne ja televerkot

Tässä luvussa tarkastellaan televiestinnän osalta tietoliikennettä ja televerkkoja eli viestintäverkkoja, millä tarkoitetaan digitaalista viestintää televerkkojen avulla, kuten sähköposteja. Kuvassa 4 on esitetty mobiililaitteen tietoliikenne ja televerkko, joiden sähkönkulutus aiheuttaa suurimman osan mobiililaiteiden hiilidioksidipäästöistä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2024; FiCom 2024.) Tietoliikenteen CO_2-päästöt arvioidaan tietotekniikan tukipalveluiden kanssa yhtä suuriksi (Becker et al. 2022). Televerkot mahdollistavat tiedon siirtämisen kiinteiden liityntäverkojen ja matkaviestinverkkojen radiotaajuuksien avulla. Radiotaajuuksien avulla on voitu luoda viestintäpalveluita, joiden tiedonsiirtoa kutsutaan tietoliikenteeksi. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2024; FiCom 2024.)



Kuva 4. Mobiililaitteen tietoliikenne ja televerkot (Heikkilä & Salonen 2021)

Televerkkojen kasvanut merkitys näkyy maailmassa matkaviestintäverkkojen ja kiinteiden verkkojen käyttäjälukujen kasvussa. Vuodesta 2015 vuoteen 2022 verkkojen käyttäjämäärät ovat nousseet 78 % ja verkkoliikenne kasvanut 600 % (Rozite et al. 2023). Suomalaisten matkaviestintäverkot kuluttivat vuonna 2022 noin 650 GWh energiaa, kun puolestaan kiinteät verkot kuuluttivat noin 150 GWh energiaa (Traficom 2022). Matkaviestinverkkoja on ensimmäisestä sukupolvesta (G) uusimpaan 5G:hen asti vuonna 2024, joiden teknologia vaihtuu 1G- ja 2G-verkkojen jälkeen yhteispohjoismaisesta analogisesta radiopuhelinverkosta (NMT) digitaalissen matkapuhelinjärjestelmään (GSM). Kiinteät verkot sisältävät teknologioita kupariverkoista valokuituverkkoihin. (Laine-Lassila 2018; FiCom 2024.)

3.3 Päätelaiteiden hankinta ja hävitys

Päätelaitteet teknologiayrityksellä kattavat kaikki sähkö- ja elektroniikkalaitteet, jotka on kytketty tietoliikenneyhteyteen ja mitkä on hankittu loppukäyttäjiä varten. Sähkö- ja elektroniikkalaitteet sisältävät virtapiirin tai elektroniikkakomponentteja sekä akun tai virtalähteen. Yleisimpiä päätelaitteita on matkapuhelimet, älypuhelimet, loistediodi (LED) televisiot, tabletit ja tiekoneet. Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty muu ICT-laitteisto, kuten lämmönvaihtolaitteet, näytöt sekä monitorit ja valaisimet. (Eerola et al. 2021; Ojala & Oksanen

2021, 18.) Vuonna 2025 internettiin yhdistetyn laitteiston (IoT) määrä odotetaan ylittävän 55,7 miljardia (IDC 2021; Empirica 2024).

Suurimmat kestävyyshaasteet laitteiston valmistuksessa syntyvät raaka-aineiden hankinnasta, jota lisää kasvavat materiaalitarpeet (Eerola et al. 2021). IoT-laitteiston arvioidaan tuottavan 80 % hiilidioksidipäästöistä valmistuksen aikana (Hojlo 2021). Päätelaitteiden valmistuksen kestävyyshaasteet syntyvät raaka-aineiden jäljitettävyydestä, toimitusvarmuudesta, tuontiriippuvuudesta, raaka-aineiden maantieteellisistä sijainneista ja uusiutumattomien raaka-aineiden käytöstä. Koska digitaalisten raaka-aineiden tuonti ja valmistus tulee suurimmaksi osaksi EU:n ulkopuolelta, heikentää se jäljitettävyyttä, toimitusvarmuutta ja lisää tuontiriippuvuutta. Päätelaitteiden akuissa ja näytöissä käytetään harvinaisia metalleja, joiden louhinta, käsittely ja kierrätys ovat puutteellista ja ympäristökuormittavaa. (Eerola et al. 2021; Ojala & Oksanen 2021, 18.)

Globaalisti vuonna 2019 sähkö- ja elektroniikkaromua syntyi 53,6 Mt, josta 12 Mt syntyi Euroopassa. Vuoden 2019 jätemäärästä 17,4 % oli dokumentoitu ja kierrätetty, mistä saatiin noin 9,3 miljardin euron arvosta raaka-aineita uusiokäyttöön. Elektroniikkajätteen raaka-aineiden arvo on keskimäärin 1000 €/t kierrätyselektroniikkaa. EU on luonut ja asettanut uusia parannuksia ICT:n ja elektroniikan kiertotalouteen, kuten ekosuunnitteludirektiiviin 2005/32/EY sekä sähkö- ja elektroniikkaromudirektiiviin 2002/96/EY, mitkä varmistavat ja velvoittavat laitteiden energiatehokkuuden ja kestävän suunnittelun. EU:n asettamia määräyksiä ovat laki yhtenevästä latausportista vuodesta 2024 alkaen ja palautussuunnitelman lisäykset, jonka tarkoituksena on mahdollistaa laitteiden tai latureiden palautus tai takaisin myynti. EU:n uusien parannusten tarkoituksena on nostaa keräys- ja kierrätysasteita, kun jätteen määrän oletetaan lisääntyvän vuosi vuodelta. Keräys- ja kierrätysasteen nostamista hankaloittaa yhä useammat metallit laitteistossa. (Forti et al. 2020; Eerola et al. 2021.)

Koko päätelaitteiden elinkaaren aikana syntyvät CO_2-päästöt ovat 1,5–2 kertaiset datakeskuksiin verrattuna. Syynä yrityksillä tähän on vähäisempi palvelimien kuin päätelaitteiden määrä sekä päätelaitteiden tiheä vaihtuvuus. Päätelaiteista älypuhelimet vaihdetaan keskimäärin kahden vuoden välein, tietokoneet keskimäärin neljän vuoden välein ja tulostimet viiden vuoden välein. (Becker et al. 2022.)

3.4 Tekoäly

Tekoäly (AI) on tieteen, teknologian ja filosofian keksintö, joka sai alkunsa tutkijoiden kokeilujen myötä vuonna 1950-luvulla. Ensimmäisiä tekoälysovelluksia oli tietokoneella pelattava shakki ja laskin yksikertaisille laskutoimituksille. Nykypäivänä uudenlaiset luovat tekoälyt kykenet generoimaan dataa ja luomaan uusia ratkaisuja. Uusimpia edistyneempiä luovia tekoälyjä ovat OpenAI:n GPT-4 ja Googlen Pathways Language Model (PaLM) 2. Luova tekoäly mahdollistaa monia käyttötarkoituksia ja uusia työpaikkoja liiketoiminnasta terveydenhuoltoon ja hyvinvointiin. Luova tekoäly on luonut teknologian räjähdysmäisen kehityksen 2000-luvulla. (Salo 2023, 13–16 & 161.) Räjähdysmäinen kehitys näkyy laskentatehon ja tietoliikennenopeuksien kasvuna. Samalla, kun laskentateho ja tietoliikennenopeus kasvaa, kasvaa myös energiankulutus ja siitä syntyvät CO_2-päästöt. Yksi tekoälykysymys ChatGPT:llä voi tuottaa jopa 100 kertaiset hiilipäästöt Googlen hakuun verrattuna. (Sundberg et al. 2023.)

Yrityksen osuutta tekoälyn tuottamista CO_2-päästöistä on tällä hetkellä mahdotonta selvittää sen yrityksen sisällä kohdistuvien hakujen jäljitettävyyden takia. Tekoälyn hiilipäästöt syntyvät useasta tekijästä. Perinteiseen verkkohakuun, kuten Googleen, verrattuna tekoälyt vaativat suuria ja monimutkaisia kielimalleja. Suuret kielimallit kasvattavat energiakulutusta moninkertaisiksi. OpenAI:n GPT-3 koulutus on kuluttanut arviolta 1,3 gigawattituntia ja synnyttäneen 552 tonnia CO_2-päästöjä. Tekoälyt vaativat suuren määrä datakeskuksen toimintaa tiedon tallennukseen, suorittimen toimintaan ja sirukäyttöön. Lisäksi datakeskuksien jäähdytysjärjestelmät kuluttavat noin 40 % konesalien energiasta palvelimien viilentämiseen. Näin ollen energiantuotannon merkitys kasvaa CO_2-päästöttömillä vaihtoehdoilla. Tekoälyn pyörittämistä varten tarvitaan tekoälylaitteisto. Tekoälylaitteistosta syntyvä elektroniikkajäte on osa 57 miljoonan tonnin elektroniikkajätettä vuonna 2024. Elektroniikkajätteen oletetaan kasvavan jopa kaksinkertaiseksi vuoteen 2050 mennessä (Sundberg et al. 2023.)

Tekoälyn myönteinen vaikutus CO_2-päästöihin on merkittävä. Tekoälyä hyödynnetään uusiutuvien energialähteiden tehokkaammassa käytössä ja älykkäiden verkkojen kehittämisessä, jotka optimoivat energian tarjonnan ja kysynnän. Lisäksi tekoälyn sovellusalueet ulottuvat logistiikan optimoinnista ympäristömääräysten valvontaan ja palvelinkeskusten toimintojen tehostamiseen. Tekoälyn rooli kestävän kehityksen edistämisessä voi olla huomattava, mutta edellyttää tekoälyteollisuudelta sitoutumista ympäristön, yhteiskuntavastuun ja

hallintotavan (ESG) kestävyyden edistämiseen. Keskeistä on vahvistaa tekoälyn eettisiä ohjeita kestävyysnäkökulmasta ja samalla pyrkiä lisäämään tietoisuutta tekoälyn hiilijalanjäljestä. (Sundberg et al. 2023.)

4 Johtopäätökset

Tällä hetkellä ICT on yksi nopeimmin kasvavista teknologioista, joka sekä tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä että tarjoaa mahdollisuuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Digitaalisen transformaation ja vihreän siirtymän välillä on monimutkainen suhde, joka sisältää sekä kestävän kehityksen kannalta hyötyjä että haittoja. ICT tarjoaa synergiaetuja, kuten digitaalisen transformaation mahdollistama ilmastoneutraaliuden edistäminen jopa 20 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Samalla vihreä murros avaa ovia kestävälle rahoitukselle ja luo uusia työpaikkoja kestävässä digitaalisessa murroksessa. (European Comission 2024.) Kestävän kehityksen investoinnit tuovat yritykselle monia liiketoiminnallisia hyötyjä, kuten kustannussäätöjä ja paremman brändi-imagon vastuullisena toimijana. Kustannussäästöt näkyvät, esimerkiksi energiatehokkaampien teknologioiden ja jätevähennysten myötä. ICT:n kasvihuonekaasupäästöjen hillinnässä tulisikin keskityttyä ICT:n rajoittamisen sijaan energiantuotannon muotoihin ja tehokkuuteen sekä kestävien luonnonvarojen hankintaan ja loppukäyttöön (Sundberg & Barnekow 2022).

Suurimmat ICT:n negatiiviset vaikutukset ovat merkittävä ja kasvava hiilijalanjälki sekä elektroniikkajätteen nopea kasvu ja sen puutteellinen kierrätys. (European Comission 2024.) Vuonna 2024 ICT:n CO_2-päästöt kattoivat 3–5 % kokonaispäästöistä ja elektroniikkajätettä syntyy vuosittain 57 miljoonaa tonnia (Ojala & Oksanen 2021; Sundberg et al. 2023, 17–18). Osana elektroniikkajätteen kasvua on osa digitalisointimalleista ristiriidassa kestävän kehityksen kanssa, mikä voi estää tiettyjen teknologioiden kehitystä ja käyttöönottoa. Ristiriidassa olevia digitalisointimalleja ovat, esimerkiksi kertakäyttöelektroniikka ja lohkoketjuteknologiaan perustuva louhinta. (European Comission 2024). Datakeskuksien toiminta arvioidaan tuottavan maailmanlaajuisesti 63–75 Mt CO_2e vuodessa, josta suurin osa päästöistä syntyy energiakulutuksen myötä. Keskimäärinen datakeskus kuluttaa vuodessa sähköä 50000 kodin lämmityksen verran (Sundberg 2023, 17). Suomessa kuitenkin datakeskuksen päästöt ovat saatu vähennettyä keskivertoa alemmas uusiutuvalla energialla ja hukkalämmön hyödyntämisellä kaukolämpöverkkoon. Datakeskuksien kehityskohteet energian laadun ja hyötysuhteen sijoittuvatkin vahvemmin Suomen ulkopuolelle kuin Suomeen. Datakeskuksissa käsitellään suuria määriä tietoa, mikä kattaa 1–1,5 % maailman sähkönkulutuksesta. Datakeskusten energiaa vaaditaan laitteiden ylläpitoon ja jäähdytykseen. Yksi

datakeskuksien energiankulutuksen vähentämisen keino on Microsoftin ja WSP:n tutkimuksessa (2020) osoitettu datakeskuksien palvelujen siirtäminen pilveen. Tutkimuksen kohteena oli neljä Microsoftin tarjoamaa pilvipalvelua, jonne siirrettiin fyysisiä sekä virtualisoituja palvelimia, suorat sekä erilliset tallennusratkaisut ja käyttöönotot pienestä 1000 käyttäjästä suuriin 100000 käyttäjiin. Päästövähennyksiä saavutettiin 72–98 % jokaisessa pilvipalvelun siirrossa, kun Microsoft Cloudin käyttöön ostetaan uusiutuvaa sähköä. Suurin syy päästövähennyksille oli energiakäytön väheneminen 22–93 %. (DiCaprio et al. 2020.) Sundberg Niklas arvioi Sustainable Strategy raportissa (2023) hyvin suunnitellun energiatehokkaan ja uusiutuvalla energialla toimivan pilvipohjaisen palvelinkeskuksen säästävän jopa 2 kertaa enemmän kuin paikan päällä sijaitseva datakeskus.

GHG protokolla ohjaa yrityksiä päästöraportoimaan yhdenmukaisesti. Kuitenkin ICT:tä varten ei ole luotu selkeää raportointimallia tai -velvoitetta. Haasteena on GHG protokollan luokan 3 jäljitettävyys. Puuttuvat raportointimallit ja -velvoitteet vaikeuttavat ICT päästöjen yhdenmukaista tarkastelua. ICT:n raportointia voi tarkastella monelta kannalta, kuten GHG protokollan luokkien perusteella, palveluluokittain tai arvoketjun eri vaiheissa. Yleistyvän päästöraportoinnin myötä puutteellinen ICT-sektorin päästölaskenta saattaa avata mahdollisuuden viherpesulle. Viherpesua voi tapahtua päästöraportoinnin tilanteissa, joissa virheellistä laskentaa käytetään yrityksen ympäristöystävällisyyden mainostamiseen. Puolestaan yritykset, jotka huomioivat kattavasti ICT-päästöt luokissa 1, 2 ja 3, saattavat joutua vähemmän ympäristöystävälliseen asemaan sidosryhmien silmissä verrattuna niihin, joiden laskelmat ovat suppeampia ja puutteellisempia. (Euroopan parlamentti 2024.) Päästöjen raportointi on kuitenkin yritysten näkökulmasta kannattavaa, koska raportointi luo kuluttajille ja yhteistyökumppaneille yrityksen brändistä ja imagosta arvostetumman sekä vastuullisemman kuvan. Kasvavan yhteiskunnallisen tietoisuuden ja huolen myötä yhä useammat sidosryhmät vaativat tietoisuutta yrityksen kestävän kehityksen roolista. Kestävät valinnat heijastuvat myös teknologiayritysten tuotekehitykseen, missä asiakkaalle pystytään luomaan vähäpäästöisempiä tuotteita ja palveluita. (Sundberg & Barnekow 2022.)

Lähteet

Becker, G., Bennici, L., Bhargava, A., Del Miglio, A., Lewis, J. & Sachdeva, P. 2022. The green IT revolution: A blueprint for CIOs to combat climate change. McKinsey Technology. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 6.2.2024]. Saatavissa: https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-green-it-revolution-a-blueprint-for-cios-to-combat-climate-change .

Bughin, J., Chui, M. & Manyika, J. 2010. Clouds, big data, and smart assets: Ten tech-enabled business trends to watch. McKinsey Technology. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 6.2.2024]. Saatavissa: https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/clouds-big-data-and-smart-assets-ten-tech-enabled-business-trends-to-watch# .

Cisco. 2024. What is a Data Center. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.2.2024]. Saatavissa: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html .

Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen internet. Helsinki, Talentum.

Daraghmeh, H.M. & Wang, C.-C. 2017. A review of current status of free cooling in datacenters. Vol. 114, s. 1224–1239. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 30.1.2024]. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.093 .

DiCaprio, T., Hanna, J., Janous, B., Willmott, E., Gauthier, D., Patron, M., Lancaster, M., Sobrinski, D., Eisenbrown, K., Fehrer, D. & Carson, S. 2020. Kuinka pilvipalvelut vähentävät hiilidioksidipäästöjä. Microsoft. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 8.3.2024]. Saatavissa: https://clouddamcdnprodep.azureedge.net/gdc/gdc0Uhti4/original .

Ebrahimi, K., Jones, G.F. & Fleischer, A.S. 2014. A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities. Vol. 31, s. 622–638. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 30.1.2024]. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.007.

Eerola, T., Eilu, P., Hanski, J., Horn, S., Judl, J., Karhu, M., Kivikytö-Reponen, P., Lintinen, P. & Långbacka, B. 2021. Digitalisaatio ja luonnonvarat. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimustyöraportti 53/202.

Elmeligi, A. & Belkhir, L. 2018. Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.1.2024]. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239.

Empirica. 2024. Esineiden internet yksinkertaisesti selitettynä. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.2.2024]. Saatavissa: https://www.empirica.fi/iot.html .

Euroopan parlamentti. 2018. Ilmastonmuutos Euroopassa: tilastoja ja tietoa. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 16.1.2024]. Saatavissa: https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180703STO07123/ilmastonmuutos-euroopassa-tilastoja-ja-tietoa .

Euroopan parlamentti. 2024. Loppu viherpesulle: miten EU sääntelee ympäristöväitteitä. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 8.3.2024]. Saatavissa: https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20240111STO16722/loppu-viherpesulle-miten-eu-saantelee-ymparistovaitteita

Euroopan Unioni. 2021. Non-financial Reporting Directive. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.1.2024]. Saatavissa myös PDF-muodossa: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/654213/EPRS_BRI(2021)654213_EN.pdf .

European Commission. 2024. Rolling Plan for ICT strandardisation. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.3.2024]. Saatavissa: 2024.

European Environment Agency. 2020. Transport and environment report 2020. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.2.2024]. Saatavissa myös PDF-muodossa: https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2020/at_download/file .

FiCom. 2024. Viestintäverkkojen energiankulutus. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.2.2024]. Saatavissa: https://ficom.fi/ict-ala/tietopankki/ict-ja-ymparisto/ict-toimiala-ja-ymparisto/ict-ja-ymparisto/#ict-alan-energiankaytto-suomessa .

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R. & Bel, G. 2020. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University/United Nations Institute for Training and Research/International Telecommunication Union/ International

Solid Waste Association, Bonn/Geneva/Rotterdam. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.2.2024]. Saatavissa: https://collections.unu.edu/view/UNU:7737#viewAttachments .

Global Monitoring Laboratory. 2024. Monthly Average Mauna Loa CO_2. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 16.1.2024]. Saatavissa: https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/ .

Greenhouse Gas Protocol. 2022. Scope 3 Frequently Asked Questions. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.2.2024]. Saatavissa: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/Scope%203%20Detailed%20FAQ.pdf .

Greenhouse Gas Protocol. 2024. About GHG Protocol. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 10.2.2024]. Saatavissa: https://ghgprotocol.org/about-us .

Heikkilä, H. & Salonen, L. 2021. Miten huomioida mobiilisovellusten käytön aiheuttamia päästöjä? LAB University of Applied Sciences. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.2.2024]. Saatavissa: https://blogit.lab.fi/labfocus/miten-huomioida-mobiilisovellusten-kayton-aiheuttamia-paastoja/ .

Hiekkanen, K., Seppälä, T. & Ylhäinen, I. 2021. Suomen ICT-päätöistä valtaosa syntyy rajojen ulkopuolella - ja siksi raportointia on muutettava. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 24.1.2024]. Saatavissa: https://www.etla.fi/ajankohtaista/suomen-ict-paastoista-valtaosa-syntyy-rajojen-ulkopuolella-ja-siksi-raportointia-on-muutettava/ .

Hojlo, J. 2021. Future of Industry Ecosystems: shared Data and Insights. IDC. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.2.2024]. Saatavissa: https://blogs.idc.com/2021/01/06/future-of-industry-ecosystems-shared-data-and-insights/ .

Ilmasto-opas.fi. 2024. Kasvihuonekaasut lämmittävät. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.1.2024]. Saatavissa: https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuonekaasut-lammittavat .

Johnson, P. & Marker, T. 2009. Data Centre Energy Efficiency Product Profile. Equipment Energy Efficiency Committee of the Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts.

Laine-Lassila, S. 2018. Langattomat sukupolvet 1G, 2G, 3G, 4G ja 5G…. FiCom. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.2.2024]. Saatavissa: https://ficom.fi/ajankohtaista/uutiset/langattomat-sukupolvet-1g-2g-3g-4g-5g/ .

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2024. Viestintäverkot. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.2.2024]. Saatavissa: https://lvm.fi/verkot#Viestintäverkot .

National Grid. 2023. What are scope 1, 2 and 3 carbon emissions? [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.1.2024]. Saatavissa: https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-are-scope-1-2-3-carbon-emissions .

OECD. 2017. Information and communication technology. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavissa: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/information-and-communication-technology-ict/indicator-group/english_04df17c2-en .

Ojala, T. & Oksanen, P. 2021. ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia. Liikenne- ja viestintäministeriö. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 24.1.2024]. Saatavissa myös PDF-muodossa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-587-3 .

Rozite, V., Bertoli, E. & Reidenbach, B. 2023. Data Centres and Data Transmission Networks. IEA. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 30.1.2024]. Saatavissa: https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks .

Salo, I. 2023. Luova tekoäly mullistaa kaiken: ChatGPT näyttää tietä. Helsinki, Kauppakamari. Saatavissa: LUT Primo.

Sitra. 2023. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.3.2024]. Saatavissa: https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/ .

Statista Market Insights. 2023. Public Cloud – Worldwide. Statista. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 14.3.2024]. Saatavissa: https://www.statista.com/outlook/tmo/public-cloud/worldwide. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.3.2024]. Saatavissa PDF-muodossa:

Sundberg, N. & Barnekow, H. 2022. Sustainable IT Playbook for Technology Leaders: Design and Implement Sustainable IT Practices and Unlock Sustainable Business Opportunities. Birmingham, Packt Publishing Ltd.

Sundberg, N., Isaacs, K., Jay, J., Gregory, J., Olivetti, E., D. Anthony, S. & Barker, R. 2023. Sustainable Strategy: Rightsizing Goals and Assessing Impact. MIT Sloan management Review.

Tilastokeskus. 2023. 11wx – Energiatilinpito, 2011–2021. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.1.2024]. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__entp/statfin_entp_pxt_11wx.px/ .

Tilastokeskus. 2024a. Informaatiosektori. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavissa: https://www.stat.fi/meta/kas/informaatiosekt.html .

Tilastokeskus. 2024b. Käsitteet ja määritelmät. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.1.2024]. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/khki/kas.html .

Tilastokeksus. 2024c. Tietotekniikkapalvelut. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 11.4.2024]. Saatavissa: https://www.stat.fi/meta/kas/tietotekniikkap.html .

Traficom. 2022. Viestintäverkkojen energiankulutus. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.2.2024]. Saatavissa: https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/viestintaverkkojen-energiankulutus .

Tulli. 2024. NACE/TOL-toimialaluokitus. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 22.1.2024]. Saatavissa: https://tulli.fi/tilastot/nace-tol-toimialaluokitus .

Valtioneuvosto 76/2016. Pariisin ilmastosopimus. Finlex.

Yhdistyneet kansakunnat 13/2005. Kioton pöytäkirja. Finlex.

Yhdistyneet Kansakunnat 61/1994. Puitesopimus. Finlex.

Ympäristöministeriö. 2024a. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavissa: https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka .

Ympäristöministeriö. 2024b. Kansainvälinen ilmastopolitiikka. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.1.2024]. Saatavissa: https://ym.fi/kansainvalinen-ilmastopolitiikka .

Ympäristöministeriö. 2024c. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 18.1.2024]. Saatavissa: https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka