

Laura Mella

**ICT-sektorin ilmastovaikutukset ja niiden merkitys
globaalien ilmastotavoitteiden saavuttamisessa**

Tietotekniikan Kandidaatin tutkielma

29. huhtikuuta 2023

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Laura Mella

Yhteystiedot: laura.e.mella@student.jyu.fi

Ohjaaja: Sanna Juutinen

Työn nimi: ICT-sektorin ilmastovaikutukset ja niiden merkitys globaalien ilmastotavoitteiden saavuttamisessa

Title in English: The climate impact of the ICT sector and its role in achieving global climate goals

Työ: Kandidaatin tutkielma

Opintosuunta: Tietotekniikka

Sivumäärä: 24+0

Tiivistelmä: Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan ICT-sektorin energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä sekä pyritään arvioimaan niiden kehitystä. Tämän lisäksi tutkielman tavoitteena on pohtia sektorin nykyisten ilmastotavoitteiden ja -toimien riittävyyttä globaalien ilmastotavoitteiden saavuttamisessa sekä tarkastella keinoja sen luomien ympäristö- ja ilmastohaittojen vähentämiseen. Tutkielman tulokset osoittavat, että ilman laajoja poliittisia ja teollisia toimia ICT-sektorin omat päästöt eivät ole vähenemässä ilmastosuositusten mukaisesti.

Avainsanat: ICT, digitalisaatio, energiankulutus, hiilijalanjälki, ilmastonmuutos

Abstract: This literature review examines the energy consumption and carbon footprint of the ICT sector and intends to evaluate their development. In addition to this, the aim of the thesis is to investigate the sector's current climate targets and policies in achieving global climate goals and to examine ways to reduce the environmental and climate issues it creates. The findings of the thesis elucidate that without extensive political and industrial actions, the ICT sector's own emissions are not decreasing in accordance with the climate recommendations.

Keywords: ICT, digitalization, energy consumption, carbon footprint, climate change

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	ICT-SEKTORIN ILMASTOVAIKUTUKSET	2
	2.1 Energiankulutus ja päästöt	3
	2.2 Päästöjen ja energiankulutuksen kehitys	4
3	NOUSEVAT TEKNOLOGIAT JA NIIDEN ILMASTOVAIKUTUKSET	7
	3.1 Big data ja tekoäly	8
	3.2 Esineiden internet (IoT)	9
	3.3 Lohkoketjuteknologia	10
4	ILMASTOTAVOITTEET	12
	4.1 Ilmastovaikutusten ehkäiseminen	12
	4.2 EU:n ilmastostrategia	14
	4.3 Yritysten ilmastotavoitteet	15
5	YHTEENVETO.....	18
	LÄHTEET	19

1 Johdanto

Ilmastonmuutos ja luonnon monimuotoisuuden kato ovat aikamme suurimpia maailmanlaajuisia kriisejä. Hillitäkseen ilmastonmuutosta yhteiskuntamme on muutettava aikaisempia toimintamalleja ja sopeuduttava elämään maapallon kantokyvyn rajoissa. Tämän takia tieto- ja viestintätekniikan ratkaisut ovat viime aikoina saaneet laajasti huomiota ilmaston kestävyteen liittyvissä keskusteluissa. ICT-ratkaisuilla nähdään olevan merkittävä potentiaali ympäristö- ja ilmastohaittojen vähentämisessä, sillä niiden avulla voidaan edistää kestävää kehitystä ja saavuttaa päästövähennyksiä muilla sektoreilla. (Lange, Pohl ja Santarius 2020) ICT:n mahdollistamien ilmastohyötyjen myötä ICT-sektori nähdään kansainvälisellä tasolla ennemmin ilmastohaasteiden ratkaisijana eikä sen päästöihin olla kiinnitetty huomiota niin paljon kuin pitäisi (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020).

Tulevaisuudessa entistä suurempi osuus maailman hiilidioksidipäästöistä tulee olemaan ICT-sektorin johtuen sen kasvavasta energian ja materiaalien kulutuksesta. Maailmalla ei ole käytössä yhteisesti sovittua tapaa raportoida ICT-sektorin energiankulutuksesta tai sen päästöistä, joten kokonaiskuva digitalisaation luomista ilmastovaikutuksista on tällä hetkellä heikko. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020) Tämä vaikeuttaa niiden kehityksen seurantaa, vertailua sekä valvontaa. Tämän tutkielman tavoitteena on luoda yleiskuva ICT-sektorin ilmastovaikutuksista sekä arvioida sektorin ilmastotavoitteiden ja -toimien riittävyyttä globaalien ilmastosuositusten mukaisten tavoitteiden saavuttamisessa. Tarkoituksena on selvittää, kuinka suurina ovat sektorin nykyinen energiankulutus ja päästöt sekä miten niiden ennustetaan kasvavan tulevaisuudessa. Tämän lisäksi tutkielmassa tarkastellaan keinoja sektorin luomien ympäristö- ja ilmastohaittojen vähentämiseen.

Tutkielman toisessa luvussa käsitellään ICT-sektorin ilmastovaikutuksia sekä arvioidaan sen energiankulutusta ja päästöjä. Kolmannessa luvussa keskeisessä osassa ovat nousevien teknologioiden ja trendien ilmastovaikutukset. Luvussa tarkastellaan kunkin teknologian osalta ilmaston näkökulmasta merkittävimpiä sovelluskohteita sekä arvioidaan niiden potentiaalisia hyötyjä ja riskejä. Neljännessä luvussa käsitellään ratkaisuja energiankulutuksen ja päästöjen hillitsemiseen sekä tarkastellaan sektorin ilmastotavoitteita erityisesti EU:n ilmastostrategian ja yritysten ilmastotavoitteiden osalta. Viidennessä luvussa on tutkielman yhteenveto.

2 ICT-sektorin ilmastovaikutukset

Tieto- ja viestintäsektori (ICT-sektori) on kasvanut valtavasti viimeisten vuosikymmenten aikana ja sen kasvun odotetaan vain kiihtyvän tulevaisuudessa. Sen potentiaali ilmastohaittojen vähentämisessä on merkittävä, sillä tieto- ja viestintäteknikan ratkaisujen avulla voidaan saavuttaa mittavia päästövähennyksiä muilla sektoreilla. Useat tutkimukset koskien ICT-sektoria sekä ilmaston ja ympäristön kestävyyttä eivät kuitenkaan ole ottaneet huomioon ICT:n suuntauksia, jotka voivat lopulta rajoittaa tätä potentiaalia. (Santarius ym. 2022) Odotukset energian kysynnän ja päästöjen vähenemisestä ovat myös saaneet kritiikkiä sen suhteen mitkä ovat digitalisaation lopulliset vaikutukset energian kokonaiskysyntään. Digitalisaation ja energiankulutuksen välinen suhde määrittelee lopulta sen, ovatko tieto- ja viestintäteknikan ratkaisujen vaikutus todella positiivinen ilmaston kestävyyttä ajatellen. (Lange, Pohl ja Santarius 2020)

ICT-sektorin tarjoamien teknologioiden avulla voidaan edesauttaa sektorien pyrkimyksiä hiilineutraaliuteen ja energiatehokkuuteen, vähentää materiaalikulutusta, edistää kiertotaloutta sekä minimoida prosesseissa syntyvä hukka. Alan myönteiset ilmasto- ja ympäristövaikutukset koostuvat muiden alojen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi ratkaisuisista, jotka tukevat ympäristön- ja luonnonsuojelua sekä helpottavat ilmastonmuutokseen sopeutumista. ICT:n potentiaaliin ilmastohaittojen vähentämisessä vaikuttaa sen käyttökohteet. Sen avulla ei saada suoraan ratkaisua ilmastonmuutokseen, vaan ratkaisevaa on, miten sen tarjoamien teknologioiden avulla voidaan muuttaa toimintatapoja, jotka aiheuttavat ilmastonmuutosta sekä johtavat luonnonvarojen ylikulutukseen. Sektorin luomia kielteisiä suorivaikutuksia ovat puolestaan sen kasvava energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt, raaka-aineiden käyttö infrastruktuurissa ja laitteissa sekä maaperään ja vesiin vapautuvat päästöt. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020)

Kun puhutaan ICT-sektorin mahdollisuuksista vastata ympäristöhaasteisiin kuten ilmastonmuutos, on alan omien päästöjen lisäksi syytä huomioida kompleksisuus liittyen digitalisaation vaikutuksiin energiankulutuksessa. Digitalisaatio on saanut aikaan heijastevaikutuksia (engl. *rebound effect*), jotka ovat toistaiseksi energian säästämisen sijaan lisänneet sen kulutusta. Tämä tarkoittaa sitä, että energiaa lisäävät vaikutukset kuten talouskasvu ja suorat

vaikutukset ovat olleet suurempia kuin energiaa vähentävät vaikutukset. Tehokkuuden parantaminen muilla sektoreilla on siis johtanut kasvavaan energian kysyntään ja siten lisännyt päästöjä. Heijastevaikutuksia on haastava arvioida, sillä niiden seuraukset ovat muilla aloilla kauaskantoisia. Hyvä esimerkki tästä ovat verkkokaupat, sillä niiden suosio on vähentänyt fyysisen matkustamisen ja myymälöiden tarvetta, mutta saanut myös tehokkuuden kasvamisen myötä aikaan negatiivisia ilmastovaikutuksia. Niitä ovat esimerkiksi pakkausmateriaalien tuotanto, tuotteiden kuljetuksesta aiheutuneet päästöt ja tilaamisen helppous, joka voi edistää liiallista kulutusta. Toistaiseksi ICT-sektorin aiheuttamien heijastevaikutusten hillitsemiseen ei ole esitetty yhtenäistä strategiaa. (Lange, Pohl ja Santarius 2020)

2.1 Energiankulutus ja päästöt

ICT-sektorin energiankulutuksen arvioidaan olevan viime vuosina julkaistujen tutkimusten mukaan noin 7–10% koko maailman energiankulutuksesta. Alan osuus maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä on energiankulutuksen osuutta pienempi, sillä niiden määrään vaikuttavat sähköntuotannon lähteet kuten uusiutuvan energian käyttö. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Alan kasvihuonekaasupäästöjen arviot sijoittuvat lähteestä riippuen 1,5–5% välille, mutta myös energiankulutuksen arvioissa on eri tutkimuksissa ja selvityksissä päädytty toisistaan poikkeaviin tuloksiin (Freitag ym. 2021; Liikenne- ja viestintäministeriö 2020; Bieser ym. 2023; Belkhir ja Elmeligi 2018). Vaihteluun arvioiden välillä vaikuttaa eri tietolähteiden käyttö, käytettyjen tietojen tuoreus sekä rajaus eli mitkä päästöt otetaan sen hiilijalanjälkeä laskiessa huomioon. On myös tutkittu, että alan hiilijalanjälki olisi arvioitu järjestelmällisesti jopa 25% alakanttiin, sillä arvioissa ei ole huomioitu kaikkia ICT:n toimitusketjuja ja koko elinkaarta. (Freitag ym. 2021) Tässä tutkielmassa esitettyyn kasvihuonekaasupäästöjen arvioon on sisällytetty tuotteiden valmistuksesta sekä käytöstä aiheutuneet päästöt, mutta osa tietolähteistä ei ole huomioinut tuotteiden loppukäytöstä aiheutuneita päästöjä. Kun sektorin päästöjä tarkastellaan koko elinkaaren ajalta, vaihtelevat arviot tässä tutkielmassa hyödynnetyistä tietolähteistä riippuen korkeintaan 3-5% tasolla koko maailman päästöistä (Freitag ym. 2021; Liikenne- ja viestintäministeriö 2020; Bieser ym. 2023).

ICT-sektorin päästöjen lähteinä ovat datan siirtäminen, prosessoinnin energiankulutus ja laitteiden materiaalienkulutus (Freitag ym. 2021). Digitaaliset palvelut vaativat toimiakseen in-

frastruktuurin, jonka rakentaminen ja käyttö vaatii energiaa sekä materiaaleja ja kuormittaa siten ympäristöä. Osa energiankulutusta koskevista raporteista viittaa kulutuksen syntyvän erityisesti datakeskuksissa ja verkoissa, kun taas toiset korostavat päätelaitteiden osuutta. Päätelaitteiden osuus koko alan energiankulutuksesta korostuu, kun käytönaikaisen kulutuksen lisäksi huomioidaan niiden tuotannonaikainen kulutus. Arvioiden mukaan siirtymän edetessä pienempiin ja energiatehokkaampiin laitteisiin, painottuisi kokonaisenergiankulutuksen jakauma mahdollisesti datakeskusten ja verkkojen puolelle. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020) Energiatehokkaiden ratkaisujen ansiosta ICT-sektorin kokonaisenergiankulutus ei kuitenkaan ole kasvanut datan määrän kanssa samassa suhteessa. Saman ilmiön ennustetaan energiatehokkuuden kehityksen myötä jatkuvan myös tulevaisuudessa, vaikka lisääntyvä datan siirtäminen, säilyttäminen ja prosessointi tulevat vaatimaan yhä enemmän palvelintehoa ja sähköenergiaa. (Masanet ym. 2020)

ICT-päätelaitteisiin liittyy suuria materiaalivirtoja. Päätelaitteiden määrä on jatkuvassa kasvussa ja niiden tuotanto aiheuttaa tällä hetkellä suurimman osan ICT-sektorin päästöistä (Bieser ym. 2023). Laitteita vaihdetaan usein ja siksi niiden käyttöikä (2-5 vuotta) on pienempi kuin millään muulla laitteistolla. Tämä koskee erityisesti älypuhelimia. (Belkhir ja Elmeligi 2018) Tärkeimpiä raaka-aineita päätelaitteissa ovat metallit, muovit ja lasi. Metallien louhinnan ja prosessoinnin tiedetään kuormittavan ilmastoa enemmän kuin muovi tai lasi varsinkin, jos niiden kierrätys ei ole tehokasta. Tällä hetkellä kierrätyksen tehottomuudesta kertoo se, että maailmanlaajuisesti vain 20-35% elektroniikkajätteestä kierrätetään tehokkaasti. Siitäkin osuudesta vain pieni osa arvokkaista maametalleista saadaan taloudellisesti kannattavasti otettua talteen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020)

2.2 Päästöjen ja energiankulutuksen kehitys

Arviot ICT-sektorin tulevaisuuden energiankulutuksen ja päästöjen kehityksestä vaihtelevat suuresti. Osa arvioista on maltillisempia, kun taas joidenkin mukaan energiankulutus voisi moninkertaistua tämän vuosikymmenen aikana. (Bieser ym. 2023; Belkhir ja Elmeligi 2018; Andrae ja Edler 2015; Andrae 2020) Vaihtelevista ennusteista huolimatta tutkimukset ovat yhtä mieltä siitä, että dataliikenne ja sen myötä tarve datakeskuksille ja verkoille tulee kasvamaan tulevaisuudessa (Freitag ym. 2021). Päästöihin voidaan vaikuttaa suosimal-

la uusiutuvia energianlähteitä, mutta energiankulutuksen kehityksessä keskeisessä roolissa on, kuinka ala pystyy energiantehokkuutta parantamalla vastaamaan kasvavaan datan määrään. Kun arvioidaan alan ilmastovaikutuksia, on energiatehokkuuden rinnalla tärkeää, kuinka ICT:n ratkaisuja ja dataa hyödynnetään ja miten se vaikuttaa muiden alojen päästöjen ja energiankulutuksen kehitykseen. (Lange, Pohl ja Santarius 2020) Eniten epävarmuutta aiheuttaa heijastevaikutukset, erityisesti talouden, joita ei ole otettu tutkimuksissa huomioon. Niiden arvioinnista tekee erityisen haastavaa se, että niihin vaikuttavia tarjonnan ja kysynnän joustoja on vaikea ennustaa. (Bieser ym. 2023)

ICT-sektorin omaa hiilijalanjälkeä ja sen vaikutuksia muiden sektorien hiilijalanjälkeen ja maailmantalouteen on tutkittu vähän ottaen huomioon niiden merkityksen ilmastonmuutoksen kannalta (Freitag ym. 2021). Andrae ja Edler (2015) arvioivat, että pahimmassa tapauksessa ICT voisi aiheuttaa jopa 23% maailman kokonaispäästöistä. Belkhir ja Elmeligi (2018) päätyivät arvioihin, joiden mukaan pessimistisimmässä tilanteessa sen päästöt voisivat olla yli 16% maailmanlaajuisista kasvihuonepäästöistä vuoteen 2040 mennessä. Muut tutkimukset ovat antaneet maltillisempia arvioita tulevaisuuden kehityksestä ja esimerkiksi the GeSI ja Accenture Strategy (2015) arvioi, että ICT:n päästöt pysyisivät alle kahdessa prosentissa myös tulevaisuudessa (Bieser ym. 2023). Arvioiden vaihtelu johtuu osittain siitä, että energiankulutuksen kehitystä on haastava ennustaa. Olemassa olevan näytön tulkinnassa tulee myös huomioida tutkimuksessa hyödynnetyn tiedon ikä, puutteet tietojen varmistamisessa sekä mahdollinen eturistiriita etenkin, jos tutkijat ovat ICT-yritysten palveluksessa ja tutkimustieto ei ole vapaasti saatavilla. Vaihtelevuutta arvioihin tuo myös se, ettei toistaiseksi ole olemassa yksimielistä päätöstä siitä, tulisiko ICT:n kasvutrendit, kuten lohkoketjuteknologia, huomioida kun arvioidaan päästöjen kehitystä. (Freitag ym. 2021)

Arvioiden mukaan datakeskuksilla on toistaiseksi koko ICT-sektorin nopeimmin kasvava hiilijalanjälki. Kasvu johtuu pääosin teknologisesta kehityksestä, kuten pilvipalveluiden ja Internet-palveluiden käytön nopeasta lisääntymisestä. (Avgerinou, Bertoldi ja Castellazzi 2017) Energiatehokkuudella ja uusiutuvien energialähteiden käytöllä voidaan vähentää datan lisääntymisestä aiheutuvia päästöjä, mutta päätelaitteiden päästöjen hallintaan tarvitaan niiden lisäksi muitakin toimenpiteitä. Elektroniikkajätteen määrä kasvaa maailmanlaajuisesti vuodessa jopa 7%. Pitkällä aikavälillä haasteita voi aiheuttaa myös uusiutuvan energian ja

yhteiskunnan sähköistymisen kasvu suhteessa raaka-aineiden rajallisuuteen. Kierrätysmateriaaleilla ei pystytä vastaamaan nopeasti kasvamaan tuotteiden kysyntään eikä elektroniikkatuotteita ole käytännössä mahdollista muutenkaan kierrättää täysin, sillä jokainen kierrätysvaihe aiheuttaa häviötä joko materiaalin tai energian suhteen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020)

ICT-sektorin energiankulutus tulee kasvamaan merkittävästi ilman suuria energiansäästötoimia. Useat simulaatiot osoittavat, että sektori ei pysty hidastamaan energiankokonaiskulutusta vuoteen 2030 mennessä ja tulee kuluttamaan sitä nykyistä enemmän. Toistaiseksi vaikuttaisi kuitenkin siltä, että suunnitellut energian säästötoimet ja innovaatiot pystyisivät pitämään ICT-sektorin ja muiden sektoreiden energiankulutuksen jonkinlaisessa hallinnassa. (Andrae 2020) Eriävistä mielipiteistä huolimatta analyytikot ovat yhtä mieltä siitä, että ICT ei vähennä päästöjään ilman suuria yhteisiä ponnisteluja, jotka sisältävät laajoja poliittisia ja teollisia toimia. Jopa kaikista optimisimmat arviot osoittavat, että päästöt tulisivat tulevaisuudessa pysymään samalla tasolla. Maailman tilanne on tällä hetkellä se, että ilmastokatastrofin välttämiseksi maailman hiilijalanjälkeä on pienennettävä. Jotta ilmaston lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteen, tulisi maailmantalouden vähentää päästöjään yli 42% vuoteen 2030 mennessä ja yli 91% vuoteen 2050 mennessä Pariisin ilmastopimuksen tavoitteen mukaisesti. (Freitag ym. 2021) Tätä tavoitetta kiristettiin vuonna 2021 vastaamaan vähintään 55% vähennystä vuoteen 2030 mennessä ja ilmastoneutraaliutta vuoteen 2050 mennessä (Euroopan parlamentti 2022). Se jää nähtäväksi vaaditaanko myös ICT-sektorilta yhtä nopeita toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi. On totta, että ICT-ratkaisuilla on suuri potentiaali pienentää muiden sektorien hiilijalanjälkeä, mutta ei automaattisesti, vaan tiettyjen ehtojen vallitessa. (Freitag ym. 2021)

3 Nousevat teknologiat ja niiden ilmastovaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan ICT-sektorin nousevien teknologioiden ja kasvutrendien ilmastovaikutuksia. Tarkastelun kohteeksi on valittu big data, tekoäly, esineiden internet sekä lohko-tekniologia, sillä niihin kohdistuu suuria odotuksia ja ne ovat jo nyt muuttaneet yhteiskuntaa merkittävästi. Näillä teknologioilla on ilmastonmuutosta hillitseviä ja kiihdyttäviä vaikutuksia ja niiden valvontaan tulisi siksi suhtautua vakavasti, jotta voidaan maksimoida positiiviset vaikutukset ja minimoida haitat (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2020).

Nousevien teknologioiden tutkimus- ja kehitystyö sekä niiden myötä käyttökohteet ovat kasvaneet hurjaa vauhtia viime vuosikymmeninä. Ilmaston kannalta huolestuttavaa on, että lähitökohtaisesti ICT-teknologioiden kehitystä ei usein ohjaa ympäristöarvot, vaan esimerkiksi jonkin toiminnan tehostaminen. Se, aiheuttaako tekniologia lopulta negatiivisia vai positiivisia ilmastovaikutuksia, riippuu pitkälti sen käytön volyymista sekä sovelluskohteista ja -tavoista. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020) Toistaiseksi nousevien teknologioiden ilmastovaikutuksista on vain rajallisesti saatavilla tutkimustietoa, mikä lisää epävarmuutta päästöjen kehityksen arviointiin. Tämänhetkisen tutkimustiedon valossa voidaan kuitenkin todeta, että jos näiden nousevien teknologioiden kehitys- ja käyttökohteita ei valvota, voi jokainen niistä johtaa päästöjen eksponentiaaliseen kasvuun niin, että se tuskin kumoaa niiden mahdollistamia hiilidioksidipäästöjen vähennyksiä muilla sektoreilla. (Freitag ym. 2021)

Ilmaston kannalta suurimpia kysymyksiä liittyen tarkasteltaviin kasvutrendeihin on energian ja materiaalien käyttö. Näiden teknologioiden päästöt tulevat datakeskuksista, verkoista sekä päätelaitteista ja sen sijaan, että näitä tarkasteltaisiin yksittäisinä, on tärkeää huomata, että ne ovat kytköksissä toisiinsa. ICT-infrastruktuurin innovaatiot edesauttavat näiden trendien kehitystä ja esimerkiksi siirtyminen 4G:stä 5G-matkapuhelinverkkoihin mahdollistaa nopeamman verkkosiirron IoT-laitteille, mikä puolestaan edistää mittausdatan keräämistä ja analysointia big dataa ja tekoälyä varten. (Freitag ym. 2021) Nousevilla teknologioilla yhteistä on kasvava datan määrä ja niiden sovelluskohteista suurin osa on riippuvaisia nopeasta ja suorituskykyisestä verkkoyhteydestä. Tämän takia kaksi keskeisintä tukiteknologiaa kasvutrendien taustalla ovat tällä hetkellä 5G ja pilvipalvelut. Pilvipalvelut ovat olleet merkittävässä roolissa kasvutrendien kehityksessä, sillä ne ovat useimmiten nopein ja helpoin rat-

kaisu tallennustilaa ja laskutehoa vaativalle datan varastoinnille ja käsittelylle. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2020)

3.1 Big data ja tekoäly

Big datalla tarkoitetaan valtaviin järjestelmättömien ja jatkuvasti lisääntyvien tietomassojen säilyttämistä, keräämistä, analysointia ja visualisointia (Sagiroglu ja Sinanc 2013). Tätä suurta ja monimutkaista dataa pidetään yhtenä merkittävimmistä teknologian trendeistä, sillä sen järjesteleminen datatieteitä ja tekoälyä hyödyntäen on herättänyt valtavaa kiinnostusta (Freitag ym. 2021). Big data ja tekoäly tarvitsevat toisiaan, sillä tekoälymallien koulutus eli koneoppiminen vaatii suuren määrän dataa ja koneoppimisen avulla massadatan jalostamisesta ja analysoinnista voidaan tehdä tehokkaampaa. Ilmaston ja ympäristön kannalta nämä tarjoavat kiinnostavia ratkaisuja, sillä tekoälyllä on merkittävä potentiaali vähähiilisen tulevaisuuden edistämiseksi ja se on siksi tärkeässä asemassa yhteiskunnan älyllistämiseksi sekä tuotannon ja toiminnan tehostamisessa. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2020) Toisaalta tekoälyyn liittyvistä haasteista, kuten sen opettamisen energiaintensiivisyydestä, puhutaan julkisuudessa liian vähän.

Ilmastovaikutusten näkökulmasta yksi tekoälyn tärkeimmistä sovellusalueista on energiakulutuksen optimointi ja uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen. Älykkäiden rakennusten ja sähköverkon avulla voidaan esimerkiksi optimoida energian käyttöä rakennusten lämmitykseen ja valaistukseen ja siten vähentää kotitalouksien energiankulutusta. Sen avulla voidaan myös parantaa ICT-sektorin omaa energiätehokkuutta esimerkiksi optimoimalla datakeskusten energiankulutusta. Muita positiivisia vaikutuksia ovat neitseellisen materiaalin käytön väheneminen sekä älykäs kiertotalous. Data edistää resurssiviisautta sekä materiaali-tehokkuutta ja sitä voidaan hyödyntää myös älykkäissä tuotantojärjestelmissä. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2020)

Tekoälyn haitallisia ilmastovaikutuksia ovat puolestaan teknisen mittauslaitteiston materiaali-vaatimukset ja jatkuva energiankulutus. Esimerkiksi älykäs mittaaminen vaatii paljon materiaaleja, joista myöhemmin aiheutuu elektroniikkaromua. Tekoälyä hyödyntävät sovellukset myös edistävät fossiilisten polttoaineiden louhintaa, joka saattaa hidastaa siirtymää

pois niistä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020) Teknisesti ottaen nämä päästöt luetaan IoT-laitteiden päästöiksi, mutta tekoäly on edesauttamassa niiden kasvua. Aiempien ilmastovaikutusten lisäksi yhtenä suurimpana varjopuolena liittyen tekoälymallien opettamiseen on niiden suuri energiankulutus ja se on tällä hetkellä merkittävä ilmastokysymys ICT-alalla. Tutkijat ovat arvioineet, että vain yhden syväoppivan tekoälymallin opettamisesta aiheutuva hiilijalanjälki vastaa jopa viiden keskimääräisen amerikkalaisen auton elinkaaren aikaisia päästöjä. (Strubell, Ganesh ja McCallum 2019) Energiankulutukseen liittyviä haasteita lisää myös se, että tekoälymallien kouluttaminen on lisääntynyt 300 000-kertaiseksi vuosien 2012–2018 välillä ja sen eksponentiaalinen kasvu kaksinkertaistuu noin kolmen ja puolen kuukauden välein. Big datan ja tekoälyn luomat päästöt tulevat pääsääntöisesti datakeskuksista. Maailman data kaksinkertaistuu joka toinen vuosi ja datakeskuksia rakennetaan ja kehitetään vastaamaan kasvun luomaa tarvetta. Tästä syystä datan säilyttämisestä ja analysoinnista johtuvaan datakeskusten hiilijalanjäljen kasvuun tulee suhtautua vakavuudella, vaikka ne voisivatkin auttaa monimutkaisten ongelmien ratkaisussa. (Freitag ym. 2021)

3.2 Esineiden internet (IoT)

Esineiden internet eli IoT (engl. *Internet of Things*) käsittää fyysisten laitteiden tai asioiden yhdistämisen internetiin (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Se edustaa jokapäiväisiä verkkoon kytkettyjä asioita puettavasta teknologiasta laitteisiin, autoihin ja muihin kulkuneuvoihin. IoT-laitteiden määrä on kasvanut hurjaa vauhtia viime vuosikymmenten aikana ja kasvuvauhdin ennustetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa. Niiden kehitykseen on vaikuttanut langattoman tiedonsiirron teknologioiden edistyminen, mutta IoT-tekniikoiden yleistymisen on myös osaltaan edesauttanut internetin huomattavaa ja jatkuvaan kasvua. (Freitag ym. 2021) Tiedonsiirtomenetelmien kehittyminen sekä IoT-sovellusten yleistymisen ovat siis kiihdyttäneet toistensa kasvua entisestään.

IoT-ratkaisut ovat ilmaston ja ympäristön näkökulmasta kiinnostavia, sillä ne mahdollistavat toiminnan optimoinnin useissa käyttökohteissa ja voivat siten johtaa energiankulutuksen vähenemiseen. Niiden avulla voidaan tehokkaasti kerätä dataa, joka helpottaa reaali-aikaisen prosessien ja ilmiöiden ymmärtämistä sekä mahdollistaa uudenlaisten älykkäiden ja automatisoitujen järjestelmien kehittämisen. IoT-sovelluksia pidetäänkin usein ”älykkäänä

teknologiana”, etenkin kun niiden toiminnassa hyödynnetään datatieteitä ja tekoälyä. (Freitag ym. 2021) Niiden avulla voidaan esimerkiksi tehostaa ajoneuvojen käyttöä optimoimalla ajoreitin etukäteen ja näin vähentää fossiilisten polttoaineiden aiheuttamaa ilmaston kuormitusta (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). IoT-teknologiaan liittyy ilmastohyötyjen ohella myös merkittäviä negatiivisia vaikutuksia. IoT-laitteiden hiilijalanjälki on toistaiseksi alituttu, vaikka niiden määrä ja niistä aiheutuva dataliikenne kasvaa nopeasti. Suurin osa IoT:n päästöistä aiheutuu päätelaitteista sekä verkosta ja etenkin kuluttajakäytössä IoT-ratkaisut voivat lisätä laitteiden määrää ja lyhentää niiden elinkaarta synnyttäen elektroniikkajätettä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020; Freitag ym. 2021)

3.3 Lohkoketjuteknologia

Lohkoketjuteknologia on herättänyt niin valtavaa suosiota maailmanlaajuisesti, että sitä voidaan pitää yhtenä nykyajan suurimmista megatrendeistä. Se on tekniikka, joka perustuu hajautettuun tietokantaan eikä sitä omista tai kontrolloi mikään taho. Hajautuksen ansiosta siinä olevaa tietoa ei käytännössä voi väärentää, mutta negatiivisena puolena siihen sisältyy sen käytön ja ylläpidon energiantensiivisyys. (Andoni ym. 2019) Toistaiseksi sen vaikutus ilmastomuutokseen on ollut kiihdyttävä, sillä sen negatiiviset ilmasto- ja ympäristövaikutukset ovat huomattavasti suuremmat suhteessa hyötyihin. Lohkoketjuteknologialla nähdään olevan potentiaalia hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen, mutta tällä hetkellä tämäntapaisia päästöjä vähentäviä lohkoketjusovelluksia ei ole olemassa. Lohkoketjuteknologiaa hyödyntävistä sovelluksista suosituin on kryptovaluutat, joista suurin on bitcoin. (Freitag ym. 2021)

Ilmaston näkökulmasta lohkoketjujen potentiaalisiksi hyödyiksi luetaan uusiutuvien energialähteiden käytön lisääntyminen sekä vertaiskaupankäynti. Lohkoketjuteknologian tarjoamien ratkaisujen avulla kuluttajilla ja pienillä uusiutuvien energiantuottajilla voisi olla paremmat mahdollisuudet toimia aktiivisemmin energiamarkkinoilla sekä ne voisivat helpottaa omaisuuden rahallistamista. (Andoni ym. 2019) Arvoketjujen läpinäkyvyys ja luotettavuus voisivat puolestaan edesauttaa kestävämpää tuotantoa ja suoraviivainen rahoitus nopeuttaa kestävien innovaatioiden kehitystä (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2020). Spekulatiivisia ilmastohyötyjä varjostaa kuitenkin lohkoketjuteknologian energian tarve. Pelkästään kryptovaluutta bitcoin kuluttaa vuodessa enemmän energiaa kuin koko Suomen valtio ja sen

päästöjen määrä yhden vuoden aikana on verrattavissa Singaporen päästöihin. Digiconomist (2023) on arvioinut yhden bitcointransaktion vievän lähes yhtä paljon sähköä kuin keskimääräinen yhdysvaltalainen kotitalous kuluttaa kuukaudessa ja sen tuottavan päästöjä samaverran kuin katsoisi noin 78 tuhatta tuntia Youtubea. Suurin osa kryptovaluuttojen ilmasto-vaikutuksista aiheutuu niiden louhinnasta, joka muodostaa sähköverkkoon valtavan jatkuvan kuorman. Esimerkiksi bitcoinin luottamus perustuu Proof of Work-konsensusmekanismiin ja se vaatii merkittävän määrän energiaa. Tämän lisäksi ongelmallista on, että siihen käytetty energia on pääosin peräisin fossiilisista polttoaineista. Proof of Stake -mekanismia on esitetty ratkaisuksi energiankulutuksen haasteisiin. (Digiconomist 2023) Kun arvioidaan ICT:n päästöjä, jätetään lohkoketjuteknologian tuottamat päästöt usein laskelmien ulkopuolelle (Freitag ym. 2021).

4 Ilmastotavoitteet

Tässä luvussa käsitellään ratkaisuja vaikuttaa ICT-sektorin energiankulutuksen ja päästöjen kehitykseen sekä luodaan kuva alan nykyisistä ilmastotavoitteista ja niiden valvonnasta ja toteutuksesta niin valtioiden kuin yritysten tasolla. Ilmastostrategiaa tutkitaan Euroopan unionin näkökulmasta, sillä Eurooppa on maailman kärjessä ilmastopolitiikan toteutuksen suhteen (Freitag ym. 2021).

4.1 Ilmastovaikutusten ehkäiseminen

Tähän asti ICT-sektori on energiatehokkuuden lisäämisen avulla onnistunut vastaamaan kasvavan energiankulutuksen haasteisiin. Massiiviset parannukset prosessorien suorituskyvyssä, nopeudessa ja virransäästöominaisuuksissa ovat pitäneet energiankulutuksen maltillisena huolimatta kysynnän eksponentiaalisesta kasvusta. Parannusten odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa, vaikka tahti on hieman hidastunut viime vuosina. (Malmodin ja Lundén 2018) Energiatehokkuuden lisäämisen rinnalla ICT-sektori pyrkii vastaamaan ympäristöhaasteisiin suosimalla uusiutuvia energianlähteitä sekä kierrättämällä materiaaleja. Toistaiseksi uusiutuvien energianlähteiden osuutta ICT-sektorin kokonaisenergiankulutuksesta ei tunneta, mutta verrattuna muihin sektoreihin, osuuden tiedetään olevan suuri (Freitag ym. 2021).

Datakeskuksissa energiatehokkuutta on edelleen mahdollista parantaa edistämällä palvelinvirtualisointia eli optimoimalla palvelinkapasiteettia, minimoimalla jäähdytysprosessissa syntynyt energiahukka, datakeskusten mitoituksella sekä investoimalla tehokkaampiin tiedon-siirtoratkaisuihin ja tekoälyyn. Olemassa olevista tiloista siirtyminen uusiin entistä suurempiin datakeskuksiin on kallista, mutta se mahdollistaa mittakaavaedun ja helpottaa tekoälyn hyödyntämistä energiankäytön optimoinnissa. (Masanet ym. 2020) Energiatehokkuuden kannalta tärkeimmät ratkaisut saavutetaan datakeskusten suunnitteluvaiheessa ja siksi modernit datakeskukset ovat huomattavasti energiatehokkaampia (Avgerinou, Bertoldi ja Castellazzi 2017). Muita tunnettuja keinoja vähentää datakeskusten päästöjä ovat uusiutuvien energianlähteiden suosiminen sekä jäähdytysprosessissa syntyneen hukkalämmön hyödyntäminen (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020).

Päätelaitteiden energiantarvetta voidaan myös vähentää energiatehokkuutta kehittämällä, mutta toistaiseksi se ei ole vielä näyttäytynyt suurina päästövähennyksinä. Parempi suorituskyky ja uudet ominaisuudet laitteissa ovat johtaneet vanhojen laitteiden hylkäämiseen. Uusien laitteiden tehokkuusedut eivät tällä hetkellä riitä korvaamaan päästöjä, sillä esimerkiksi älypuhelin tulisi käyttää arvioiden mukaan 25 vuotta, jotta sen tehokkuusparannukset korvaisivat tuotannosta aiheutuneet päästöt. Heijastevaikutusten myötä myös elektroniikan määrä yhtä henkilöä kohden on kasvanut ja materiaalienkulutuksen arvioidaan ennusteiden mukaan kaksinkertaistuvan vuodesta 2015 vuoteen 2050 mennessä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020) Ilmaston ja ympäristön kestävyyttä ajatellen ensisijaisen tärkeää olisi panostaa tehokkaamman materiaalien kierrätyksen toteuttamiseen. Toisena keinona lisääntyvän materiaalien kulutuksen luomiin haasteisiin voisi toimia uudet elektroniikan materiaalit, jotka tuotetaan ympäristöstävällisistä raaka-aineista (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020).

ICT-sektorin ilmasto- ja ympäristövaikutuksia voidaan vähentää myös toteuttamalla verkkojen ja ohjelmistojen kehitys ja käyttö ilmasto- ja ympäristöstävälliset arvot huomioiden. Esimerkiksi verkkojen energiatehokkuutta on mahdollista edistää eri teknologian keinoin ja niissä voidaan hyödyntää uusiutuvan sähkön ratkaisuja (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Ohjelmistojen energiatehokkuutta parantavia keinoja ovat puolestaan tehokkaiden hakukoneiden käyttäminen sekä ohjelmiston tai sen osan nukuttaminen tietyksi ajaksi. Jopa pieni optimointi yksittäisessä ohjelmistosovelluksessa voi johtaa merkittäviin energiasäästöihin, kun puhutaan massiivisen mittakaavan sovelluksista. (Procaccianti, Fernández ja Lago 2016) Tähän asti suurimmat esteet ilmasto- ja ympäristöstävällisempien ohjelmistojen tilaamiselle ovat olleet taloudellisia ja siitä syystä lainsäädännön vaatimukset ovat tehokas tapa varmistaa ohjelmistojen energiatehokkuus. Nopeimmin energiatehokkuus toteutuisi ohjelmistopalveluissa, joissa palvelun hinta määräytyisi energiankulutuksen mukaan. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020)

Edellä mainittujen toimien lisäksi sektorin tulee kiinnittää erityistä huomiota nousevien teknologioiden energiankulutuksen ja päästöjen seurantaan, sillä niiden kehityksen ennustamiseen sisältyy verrannollisesti enemmän epävarmuutta. Nousevien teknologioiden ilmastovaiikutusten seuranta ja tavoitteet eivät ole olleet tähän asti riittävät ja siitä kertoo esimerkiksi se, että tekoälyä koskevissa eettisissä ohjeissa kestävyys on tällä hetkellä yksi vähiten huomiota

saaneista ongelmista (Freitag ym. 2021). Nykyisen tekoälytutkimuksen tulisi tarkkojen tekoälylaskelmien ohella ottaa huomioon tehokkuus. Minimaalisella suorituskyvyn alentamisella sekä resurssien tehokkaammalla allokoinnilla voidaan vähentää tekoälyn hiilijalanjälkeä ilman, että se vaikuttaa merkittävästi sen potentiaaliin tuottaa uusia tuloksia. Käytännöksi tulisi lisätä myös tekoälymallien kehittämiseen, kouluttamiseen ja ajamiseen kuluneen energian julkinen raportointi. (Schwartz ym. 2020) Ympäristöystävällisempien IoT-laitteiden kehitystyössä puolestaan oleellista on huomioida päätelaitteiden tuotannosta sekä käytöstä syntyvät päästöt. Haasteita voi tulevaisuudessa aiheuttaa myös IoT-sovellusten mahdolliset heijastevaikutukset. Lohkoketjuteknologian luomiin haasteisiin on myös kehitetty ratkaisuja kuten uusiutuvan energiankäytön lisääminen tai vähähiilisempään mekanismiin vaihtaminen, mutta nämä toimet eivät todennäköisesti tule riittämään, vaan niiden ohella tarvitaan veropolitiikan keinoja. (Freitag ym. 2021)

4.2 EU:n ilmastostrategia

Euroopan komission julkaiseman Euroopan vihreän kehityksen ohjelman (Green deal) tavoitteena on edistää Euroopan sitoumusta olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Green deal-ohjelmassa käsitellään ilmasto- ja ympäristövaikutuksia monesta eri näkökulmasta ja sen sijaan, että nähtäisiin ICT-sektori vain päästövähennysten mahdollistajana, puututaan myös sektorin omiin päästöihin. ICT-sektorin päästöjä koskeva politiikka on toistaiseksi keskittynyt tehokkuuden lisäämiseen, uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämiseen sekä edistämään materiaalien kierrätystä. (Freitag ym. 2021) Tutkimusten mukaan on kuitenkin syytä uskoa, etteivät nämä edellä mainitut keinot ole riittäviä ilman kulutustrendiin puuttumista. Jatkuvan talouskasvun ja lisääntyvän kulutuksen mahdollistaminen ICT:n ratkaisujen varjolla voi lieventää kulutuksen kasvun vaikutuksia, mutta se ei ole tähänkään päivään mennessä poistanut maapallon kestävyteen liittyviä haasteita. (Freitag ym. 2021; Santarius ym. 2022; Lange, Pohl ja Santarius 2020)

Euroopan komission tilaamassa tutkimuksessa ennakoidaan datakeskusten ja verkkojen energiankulutuksen kasvavan hälyttävällä nopeudella. Komissio on sitoutunut muuttamaan datakeskukset hiilineutraaleiksi vuoteen 2030 mennessä parantamalla energiatehokkuutta, suosimalla uusiutuvia energianlähteitä sekä kehittämällä menetelmiä hukkalämmön uudelleen-

käyttöön. Lisääntyvän kulutuksen vaikutusten lieventäminen edellä mainittujen toimenpiteiden avulla ei ole toistaiseksi kääntänyt datakeskusten päästöjä laskuun. (Freitag ym. 2021) Tilanteesta tekee haasteellisen myös se, että datakeskusten ilmastovaikutusten seuranta on puutteellista eikä niiden energiankulutuksesta ei ole olemassa tarkkoja säännöllisesti kerättyjä tietoja. Vastatoimena tähän Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus JRC on perustanut datakeskusten menettelyohje -aloitteen (engl. *Data Centers Code of Conduct*), jonka tarkoituksena on edistää eurooppalaisten datakeskusten seurantaa ja energiatehokkuutta. (Avgerinou, Bertoldi ja Castellazzi 2017)

Tämän lisäksi osana Green Deal-ohjelmaa Euroopan komissio esitti maaliskuussa 2020 kiertotaloutta koskevan toimintasuunnitelman, jossa erityistä huomiota saivat resurssi-intensiiviset alat, joilla on paljon kiertotalouteen liittyvää potentiaalia. Keskeisessä osassa suunnitelmaa ovat kestävä tuotesuunnittelu ja kansalaisten vaikutusmahdollisuuksien lisääminen esimerkiksi korjauttamisoikeuden avulla. Tavoitteena on jätteen vähentäminen, tuotteiden kokonaishiilijalanjäljen läpinäkyvyys, kertakäyttöisyyden rajaaminen, kierrätysmateriaalien suosiminen sekä myymättä jättämien tuotteiden hävityskielto. Elektroniikkaa ja tieto- ja viestintäteknikkaa varten suunnitelmassa on kiertoelektroniikka-aloite (engl. *Circular Electronics Initiative*), jonka tarkoituksena on pidentää tuotteiden elinkaarta sekä parantaa jätteiden keräystä ja käsittelyä. (Euroopan komissio 2020) Aloite hyväksyttiin helmikuussa 2021 parlamentin toimesta (Euroopan parlamentti 2023).

4.3 Yritysten ilmastotavoitteet

Useat suuret ICT-yritykset, kuten Amazon, Apple ja Microsoft, ovat ilmoittaneet sitoutuvansa itse säätelemään ja rajoittamaan hiilidioksidipäästöjään. Nämä sitoumukset voidaan jakaa kolmeen luokkaan: hiilineutraali, nettonolla sekä hiilinegatiivinen. Hiilineutraali on näistä vähiten kunnianhimoisin ja hiilinegatiivinen ilmaston kannalta paras vaihtoehto. (Freitag ym. 2021) Hiilineutraaliudessa pääpaino on päästöjen kompensoinnissa, kun taas nettonollassa päästöjä vähennetään niin paljon kuin mahdollista ja jäljelle jäävät kompensoidaan. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n mukaan ilmaston lämpenemisen rajoittaminen 1,5 asteeseen vaatii nollapäästöjä maailmanlaajuisesti vuoteen 2050 mennessä. (Pineda ja Faria 2019) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yritysten tulisi pyrkiä vähintään

nettonollapäästöihin, sillä hiilineutraalius ei riitä kattamaan toimitusketjun päästöjä (Freitag ym. 2021).

Ilmaston kannalta tärkeää olisi, että yritys priorisoisi kokonaispäästöjen vähentämistä mahdollisimman pitkälle ja kompensoisi vasta jäljelle jäävät päästöt (Pineda ja Faria 2019). Jotta kompensatio olisi kiistaton, on yrityksen tuottaman päästövähennyksen oltava todennettavissa, pysyvä ja lisäinen. Lisäisyys tarkoittaa sitä, ettei päästövähennystä olisi tapahtunut ilman yrityksen tuottamaa kompensatiota. (Freitag ym. 2021) Yritysten oman hiilijalanjäljen pienentäminen tapahtuu esimerkiksi parantamalla energiatehokkuutta tai hankkimalla hiilettömillä lähteillä tuotettua sähköä. Huomioitavaa kuitenkin on, että energiatehokkuuden parantaminen ei itsessään takaa päästöjen vähennyksiä heijastevaikutusten takia. Yritysten, jotka väittävät energiankulutuksensa tulevan 100% uusiutuvista energianlähteistä, tulisi puolestaan todentaa huolellisesti minkä tyyppistä uusiutuvaa energiaa he käyttävät ja mistä se on peräisin, sillä tällaisessa tilanteessa energian tulee olla todistetusti lisäistä. Lisäiseksi energiaksi voidaan lukea sähkönostosopimukset (PPA) ja paikan päällä tuotettu uusiutuva energia, mutta esimerkiksi Uusiutuvan energian alkuperätakuu (REGO) -sertifikaatti ei riitä todentamaan väitettä. (Freitag ym. 2021)

Nettonollalupauksista on toistaiseksi puute. Kansainvälinen televiestintäliitto ITU julkaisi yhteistyössä GSMA:n, GeSI:n ja SBTi:n kanssa helmikuussa 2020 uuden standardin, jonka tavoitteena on vähentää ICT:n päästöjä 45% vuoteen 2030 mennessä ja saavuttaa nettonollapäästöt vuoteen 2050 mennessä. Tämä standardi on vapaaehtoinen ja se sisältää jokaiselle ICT-alasektorille vähennystavoitteet seuraavalle vuosikymmenelle. (ITU 2020; ITU-T 2020) Tietoisuus kansainvälisestä hätätilanteesta on myös lisännyt yritysten julkista painetta ilmoittaa nettonollapäästöistä vuoteen 2050 mennessä. Lupausten lisääntyminenkin ei välttämättä takaa ilmaston kannalta suotuisaa tilannetta, sillä osa nettonollalupauksista antaneista yrityksistä ei tule saavuttamaan tavoitetta ja osalta puuttuu läpinäkyvä yksityiskohtainen toimintasuunnitelma, kuinka saavuttaa päästövähennykset. ICT-sektorin yritysten nettonollalupauksissa tulee myös varautua siihen, etteivät ne todennäköisesti riitä rajoittamaan tieto- ja viestintäteknikasta aiheutuvia päästöjä, jos niihin ei sisällytetä kaikkia toimitusketjun päästöjä. (Freitag ym. 2021) Koska energian käytön ja päästöjen sekä toisaalta myös hyvien vaikutusten laskeminen on tärkeää, tulisi lupausten rinnalla edistää myös yleistä tietoisuutta ja

raportointia yritysten ilmastovaikutuksista. Suomalainen ohjelmistoyritys Upright lanseerasi hiljattain tätä varten mallin, jonka tarkoitus on tuotteiden, palveluiden ja yritysten kokonaisvaikutusten laskemisen lisäksi auttaa toimijoita kuten sijoittajia tunnistamaan ne (Upright Oy 2021).

5 Yhteenveto

Tutkielma antaa yleiskuvan ICT-sektorin nykyisistä ilmastovaikutuksista ja -tavoitteista. Sen sijaan sektorin nykyisen energiankulutuksen ja päästöjen sekä niiden kehityksen arviointi osoittautui haastavaksi, eikä tarkkoja arvioita pystytty nykyisen tiedon puitteissa luomaan. Vaihtelua arvioihin aiheuttaa eri tietolähteiden käyttö, tietojen tuoreus sekä epäselvyyttä havaittiin siinä, mitkä päästöt tulisi ottaa huomioon päästöjen laskennassa. Huolimatta näkemyseroista päästöjen ja energiankulutuksen kehityksessä, eri raporteissa käytetyt lähteet ovat yhtä mieltä siitä, että ICT-sektori ei ole vähentämässä päästöjä ilmastosuositusten mukaisesti, elleivät sektori tai lainsäätävä ryhdy lisätoimiin tämän varmistamiseksi. Jopa kaikista optimisimmista arvioista osoittavat, että päästöt tulisivat tulevaisuudessa pysymään samalla tasolla. Tulevaisuudessa haasteita aiheuttaa myös nousevien teknologioiden ilmastovaikutukset, joiden valvomatta jättäminen voi pahimmillaan johtaa energiankulutuksen hallitsemattomaan nousuun.

Tutkielmassa keskeisiksi haasteiksi liittyen sektorin ilmastovaikutuksiin nousi sen oma hiilijalanjälki sekä ICT:n luomat heijastevaikutukset maailmantalouteen. Tutkielmassa käsiteltyjen analyysien mukaan on syytä uskoa, ettei vallitsevan politiikan painottaminen tehokkuuden parantamiseen, uusiutuvien energialähteiden ja kiertoelektroniikan käyttöön ole riittävä kääntämään tieto- ja viestintätekniiikan päästöjen kasvua laskuun ilman kulutustrendiin puuttumista. Tiedonhakuprosessi toi myös ilmi, että selvityksiä ja tutkimuksia ICT:n omasta hiilijalanjäljestä ja muista ilmastovaikutuksista löytyi yllättävän vähän ottaen huomioon sen merkityksen ilmastonmuutoksen kannalta. Tämä johtuu osittain siitä, ettei alalla ole olemassa yhteisiä käytänteitä tai sopimuksia, kuinka raportoida sen tuottamista päästöistä tai muista ilmastovaikutuksista. Jotta alan nykyisiä ilmastovaikutuksia sekä niiden kehitystä voidaan ymmärtää ja seurata paremmin, täytyy ensin parantaa tietojen keruuta ja sekä niistä raportointia. Mahdollisena jatkotutkimusaiheena voitaisiin tutkia nykyisiä keinoja ja tavoitteita raportoida ICT:n ilmastovaikutuksista sekä tarkastella yritysten ja valtioiden roolia niiden toteutuksessa sekä edistämisessä.

Lähteet

Andoni, Merlinda, Valentin Robu, David Flynn, Simone Abram, Dale Geach, David Jenkins, Peter McCallum ja Andrew Peacock. 2019. “Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 100:143–174. ISSN: 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>.

Andrae, Anders S. G. 2020. “New perspectives on internet electricity use in 2030”. *Engineering and Applied Science Letter* 3 (2): 19–31.

Andrae, Anders S. G., ja Tomas Edler. 2015. “On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030”. *Challenges* 6 (1): 117–157. ISSN: 2078-1547. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>.

Avgerinou, Maria, Paolo Bertoldi ja Luca Castellazzi. 2017. “Trends in Data Centre Energy Consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency”. *Energies* 10 (10). ISSN: 1996-1073. <https://doi.org/10.3390/en10101470>.

Belkhir, Lotfi, ja Ahmed Elmeligi. 2018. “Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 recommendations”. *Journal of Cleaner Production* 177:448–463. ISSN: 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>.

Bieser, Jan C.T., Ralph Hintemann, Lorenz M. Hilty ja Severin Beucker. 2023. “A review of assessments of the greenhouse gas footprint and abatement potential of information and communication technology”. *Environmental Impact Assessment Review* 99:107033. ISSN: 0195-9255. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.107033>.

Digiconomist. 2023. *Bitcoin Energy Consumption Index*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>, viitattu 12.3.2023.

Euroopan komissio. 2020. *Circular Economy Action Plan*. Saatavilla WWW-muodossa, https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf, viitattu 24.3.2023.

Euroopan parlamentti. 2022. *Green Deal: key to a climate-neutral and sustainable EU*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20200618STO81513/green-deal-key-to-a-climate-neutral-and-sustainable-eu>, viitattu 27.4.2023.

———. 2023. *Legislative Train Schedule*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-circular-electronics>, viitattu 24.3.2023.

Freitag, Charlotte, Mike Berners-Lee, Kelly Widdicks, Bran Knowles, Gordon S Blair ja Adrian Friday. 2021. “The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations”. *Patterns* 2 (9): 100340.

ITU. 2020. *ICT industry to reduce greenhouse gas emissions by 45 per cent by 2030*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR04-2020-ICT-industry-to-reduce-greenhouse-gas-emissions-by-45-percent-by-2030.aspx>, viitattu 21.4.2023.

ITU-T. 2020. *Recommendation L.1470 Greenhouse gas emissions trajectories for the information and communication technology sector compatible with the UNFCCC Paris Agreement*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14084>, viitattu 21.4.2023.

Lange, Steffen, Johanna Pohl ja Tilman Santarius. 2020. “Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?” *Ecological Economics* 176:106760. ISSN: 0921-8009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>.

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. *ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmistele- van työryhmän väliraportti*. Saatavilla WWW-muodossa, <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-601-6>, viitattu 29.4.2023.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 2020. *Selvitys ICT-alan nousevien teknologioiden vaikutuksista ympäristön- ja ilmastonmuutokseen*. Saatavilla WWW-muodossa, https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/ICT_ilmastovaikutukset_selvitys_Traficom_julkaisu_244_2020_17.8.20.pdf, viitattu 14.4.2023.

- Malmodin, Jens, ja Dag Lundén. 2018. “The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and Eamp;M Sectors 2010–2015”. *Sustainability* 10 (9). ISSN: 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su10093027>.
- Masanet, Eric, Arman Shehabi, Nuo Lei, Sarah Smith ja Jonathan Koomey. 2020. “Recalibrating global data center energy-use estimates”. *Science* 367 (6481): 984–986. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>.
- Pineda, Alberto Carrillo, ja Pedro Faria. 2019. “Towards a science-based approach to climate neutrality in the corporate sector discussion paper”. *Sci Based Targets*, 1–29.
- Procaccianti, Giuseppe, Héctor Fernández ja Patricia Lago. 2016. “Empirical evaluation of two best practices for energy-efficient software development”. *Journal of Systems and Software* 117:185–198. ISSN: 0164-1212. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.02.035>.
- Sagioglu, Seref, ja Duygu Sinanc. 2013. “Big data: A review”. Teoksessa *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 42–47. <https://doi.org/10.1109/CTS.2013.6567202>.
- Santarius, Tilman, Jan CT Bieser, Vivian Frick, Mattias Höjer, Maike Gossen, Lorenz M Hilty, Eva Kern, Johanna Pohl, Friederike Rohde ja Steffen Lange. 2022. “Digital sufficiency: conceptual considerations for ICTs on a finite planet”. *Annals of Telecommunications*, 1–19.
- Schwartz, Roy, Jesse Dodge, Noah A Smith ja Oren Etzioni. 2020. “Green ai”. *Communications of the ACM* 63 (12): 54–63.
- Strubell, Emma, Ananya Ganesh ja Andrew McCallum. 2019. *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1906.02243>.
- Upright Oy. 2021. *Upright Model*. Saatavilla WWW-muodossa, <https://www.uprightproject.com/model>, viitattu 27.4.2023.