

Informaatiosektorin energian- ja sähkönkäyttö Suomessa



Kari Hiekkänen

Aalto-yliopisto
kari.hiekkanen@aalto.fi

Timo Seppälä

Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ja
Aalto-yliopisto
timo.seppala@etla.fi

Ilkka Ylhäinen

Elinkeinoelämän tutkimuslaitos
ilkka.ylhainen@etla.fi

Suosittelava lähdeviittaus:

Hiekkänen, Kari, Seppälä, Timo & Ylhäinen, Ilkka (8.6.2020). ”Informaatiosektorin energian- ja sähkönkäyttö Suomessa”.

ETLA Raportti No 104.

<https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-104.pdf>

Tiivistelmä

Informaatiosektorin ja ohjelmistopohjaisten sovellusten rooli jokapäiväisessä toiminnassa on yhä merkittävämpi. Ohjelmistot ovat läsnä niin ihmisten välisessä sosiaalisessa yhteydenpidossa kuin eri alojen yritysten liiketoiminnassakin. Viime vuosina on esitetty useita arvioita tietoverkkojen ja informaatiosektorin energiankäytön kasvusta. Datan määrän ja informaatiosektorin lisääntyneen energiankäytön taustalla ovat muuttuneet kuluttajatottumuksemme. Informaatiosektorilla hyödynnettävien teknologioiden energiatehokkuus ei ole pysynyt kiinteän verkon datan ja mobiiliverkkodatan kasvun tahdissa.

Tässä tutkimuksessa käydään läpi, kuinka energian- ja sähkönkäyttö on informaatiosektorilla kasvanut vuosi-ina 2011–2017. Lisäksi kuvataan kuluttajien sähkönkäytön kasvua ja kuluttajatottumusten muutosta. Saadut tulokset ovat osittain ristiriidassa aiemmin esitettyjen arvioiden kanssa.

Abstract

Energy and Electricity Consumption of the ICT-sector in Finland

The role of the digital technologies are becoming increasingly important in our day-to-day life. Digital technologies have become part of our social life as well as business operations across different industrial and public sectors. Because of digitalization the internet protocol and data traffic have been on the rise for several years. A few studies and estimates have been presented about the increasing future use of energy and electricity. Occasionally consumer behaviors have been claimed to be behind of these increases in electricity use.

This report makes an effort to understand the energy and electricity consumption of the Finnish Information sector (ICT-sector) from 2011 until 2017. Additionally, we compare the Finnish electricity use to other European countries with similar data available. The findings of this study are partly inconsistent with those previously presented in terms of future energy and electricity use. Our report also shows that energy efficiencies of the information sector have not been retained while the internet protocol and data traffic have been increasing in both fixed and mobile networks.

TT **Kari Hiekkänen** on Aalto-yliopiston Research Fellow.

TT **Timo Seppälä** on Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen johtava tutkija ja Aalto-yliopiston työelämäprofessori.

KTT **Ilkka Ylhäinen** on Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen tutkija.

D.Sc. (Technology) **Kari Hiekkänen** is a Research Fellow at Aalto University.

D.Sc. (Technology) **Timo Seppälä** is a Managing Researcher at ETLA Economic Research and a Professor of Practice at Aalto University.

D.Sc. (Economics) **Ilkka Ylhäinen** is a Researcher at ETLA Economic Research.

Kiitokset: Tämä raportti on laadittu osana Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran Hiilineutraali kiertotalous -teeman työtä ja Suomen Akatemian rahoittamaa Teollisuuden digitaalinen murros -tutkimusprojektia. Sitran kiertotaloustyön yhtenä tavoitteena on lisätä tietoa digitalisaation systemitason ympäristövaikutuksista, niin positiivisista kuin negatiivisista, sekä selvittää, millaiset digitaaliset ratkaisut edistävät kiertotaloutta. Tämä raportti tarjoaa uutta tietoa informaatiosektorin energiankäytöstä Suomessa ja energiadatan saatavuudesta sekä yksilöi aiheeseen liittyviä jatkotutkimustarpeita.

Acknowledgements: This report has been drafted as part of the Finnish Innovation Fund Sitra's work towards a carbon-neutral circular economy and by Digital Disruption of the Industry (DDI) research projects funded by the Academy of Finland. One of the goals of Sitra's Competitive and fair circular economy project is to increase the understanding of the systemic-level environmental impacts of digital solutions, both positive and negative, as well as clarifying what kind of digital solutions promote the circular economy. This report is a first step towards this goal, producing new information on the energy consumption of the information and communications sector in Finland and on the availability of energy data, as well as identifying the need for further research.

Avainsanat: Informaatiosektori, ICT-ala, IP-liikenne, Datankäyttö, Energiankäyttö, Sähkönkulutus

Keywords: Information economy sector, ICT, IP traffic, Data use, Energy consumption, Electricity consumption

JEL: L8, L82, L86, L94

Sisällys

1 Johdanto	4
Informaatiosektorin määritelmä (engl. Information economy sector)	6
2 Aikaisempi tutkimus	7
3 IP- ja dataliikenteen kasvusta	8
4 Informaatiosektorin energian- ja sähkönkäyttö	9
Kuluttajien sähkönkäyttö.....	10
Datakeskukset Suomessa ja niiden tunnusluvuista	11
Missä määrin Suomen informaatiosektori on riippuvainen ulkomaisista panoksista?.....	13
Case AWS – Informaatiosektorin palvelut ulkoistettu Suomesta	14
5 Informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä – Case Eurooppa	15
6 Tulokset, politiikkasuositukset ja johtopäätökset	17
Aineistoon liittyvät rajoitteet.....	18
Tulevaisuuden tutkimus	19
Viitteet	20
Kirjallisuus	21

1 Johdanto

Informaatiosektorin rooli ihmisten ja organisaatioiden jokapäiväisessä toiminnassa on yhä merkittävämpi. Se on läsnä niin ihmisten välisessä yhteydenpidossa kuin erityyppisten yritysten liiketoiminnassa. Viimeksi mainittuihin sisältyy sekä perinteisten toimialojen yrityksiä että digitaalisuuden ytimessä olevia ohjelmistoyrityksiä.

Digitaaliset palvelut ja niiden käyttö vievät jatkuvasti yhä suuremman osan ihmisten ajankäytöstä (mm. Lane ym., 2018; Morley ym., 2018; Widdicks & Pargman, 2019; Widdicks ym., 2017). Tämä kasvattaa informaatiosektorin energiankulutusta – erityisesti sähkönkulutusta – alan energiatehokkuuden jatkuvasta paranemisesta huolimatta (mm. Belkhir & Elmelig, 2018; Andrae & Edler, 2015; Morley ym., 2018). Tätä kehitystä ei voi jättää huomiotta. Informaatiosektorin eri osa-alueet kattavan energiankulutuksen kokonaiskuvan muodostaminen on ensimmäinen askel kohti ratkaisuja energian- ja sähkönkulutuksen kasvun hillitsemiseksi ja sitä kautta sektorin päästöjen vähentämiseksi.

Informaatiosektorille löytyy yhteinen määritelmä, mutta alan toimijat eivät juurikaan itse kerro energian- ja sähkönkulutukseen liittyviä tietoja. Voidaankin todeta, että informaatiosektorin energian- ja sähkönkulutusta ei kansallisella tai maailmanlaajuisella tasolla mitata. Tilannekuvan muodostamiseksi olisikin hyvä, että voitaisiin sopia yhteisestä informaatiosektorin käsitteen käytöstä eri raporteissa ja tutkimuksissa. Alue on laaja ja monimutkainen systeeminen kokonaisuus. Se ulottuu monelle toimialalle, ja toiminta on luonteeltaan kansainvälistä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on: 1) luoda yhteinen toimialaluokitus pohjainen määritelmä informaatiosektorille, jotta avoimeen dataan pohjautuva energian- ja sähkönkäytön mittausta ja tilastointi sekä vertailu maiden kesken olisi mahdollisia¹. Informaatiosektorin energiankulutuksen kokonaiskuva muodostuu kyseiselle toimialalle elinkeinoaan harjoittavien yritysten koko energiankulutuksesta ml. pääte- ja verkkolaitteiden valmistus, kiinteän verkon ja mobiiliverkon operointi, datacentereiden operointi. Tähän informaatiosektorin energian- ja sähkönkäytön kulutusarvioon ei sisälly muilla teollisuuden toimialoilla eikä julkisella sektorilla sijaitsevien ICT-laitteiden

ja datacentereiden energian- ja sähkönkäyttö; 2) vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin aikaisemman tutkimustiedon ja avoimen datan avulla:

- a) Miten teollisuuden ja kuluttajien IP-liikenne (engl. Internet Protocol)^{2,3,4} ja datan määrä ovat kasvaneet globaalisti ja Suomessa 2006–2020?
- b) Onko IP-liikenteen / datan määrän kasvulla ollut vaikutusta ICT-sektorin ja kuluttajien energian- ja sähkönkäyttöön Suomessa?
- c) Miten energian- ja sähkönkäyttö on Suomessa (Euroopassa) kasvanut informaatiosektorilla 2011–2017?
- d) Miten kuluttajien muiden kodin sähkölaitteiden (ml. television, tietokoneiden ja mobiililaitteiden) sähkönkäyttö on kasvanut 2011–2018?
- e) Kuinka paljon Suomen informaatiosektorin hankinnoista on ulkoistettu Suomen rajojen ulkopuolelle?

Lisäksi kuvaamme, mitä dataa on avoimesti saatavilla yli yksityisistä datacentereistä liittyen niiden energian- ja sähkönkäyttöön sekä energiatehokkuuteen.

Ennakkokäsityksemme oli, että informaatiosektorin energian- ja sähkönkäytöstä sekä datacentereistä on saatavilla vähän avointa dataa. Ennako-oletuksemme osoittautui vääräksi. Pystyimme luomaan hyvän kokonaiskäsityksen informaatiosektorin energian- ja sähkönkulutuksesta Tilastokeskuksen ja Eurostatin avoimilla datoilla. Lisäksi osoittautui, että eurooppatasoinen maavertailu on mahdollista.

Tämän tutkimuksen keskeiset tulokset ovat seuraavat: IP-liikenteen kokonaiskasvu on ollut globaalisti merkittävää.⁵ Kuluttajien osuus globaalista IP-liikenteestä on 84 %. Euroopan osuus kuluttajien globaalista vuosittaisesta IP-liikenteestä on n. 22 %. Cisco (2019) mittaa IP-liikenteen määrää exobitteinä/kuukausi. Ciscon tekemässä raportissa ennustetaan, että mobiili IP-liikenne kasvaa Euroopassa keskimäärin 41 % vuodessa seuraavan viiden vuoden ajan. Suurin kasvu tapahtuu Aasiassa. (Cisco, 2019.)

Datankäytön kasvun ennakoidaan jatkuvan Suomessa. Tämä pitää sisällään arvion sekä kiinteän verkon datan että mobiilidatan kokonaiskasvusta. Suomessa mobiilidatan osuus datan kokonaiskäytöstä on noin 29 % (Finnet, 2019). Mobiilidatan suhteellinen osuus suhteessa

kiinteään verkon dataan kasvaa Suomessa verrokkimaita nopeammin (OECD, 2018). Näemme, että verrokkimaita kovempaan mobiilidatan määrän kasvuun liittyy kaksi toisistaan poikkeavaa syytä (muitakin syitä varmasti löytyy): 1) kuluttajille tarjolla olevat kiinteähintaiset rajattoman datankäytön sisältävät liittymät ja 2) Suomen vahva rooli mobiiliteknologioiden kehittäjänä.

Suomen informaatiosektorin energiankäyttö koostuu kolmesta energialähteestä: 1) polttoaineet, 2) sähkö ja 3) lämpö. Näistä sähkönkäyttö edustaa 68,7% koko informaatiosektorin energiankäytöstä. Informaatiosektorin sähkönkäytön osuus koko Suomen sähkönkäytöstä oli 1,0% vuonna 2017.⁶ Etlan informaatiosektorin määritelmän mukaisesti energiankäytön kokonaiskasvu on ollut vuosien 2011–2017 aikana 5,4% ja sähkönkäytön kasvu 13,9% vastaavana ajankohtana. Kun datankäyttö on kasvanut Suomessa vuosittain n. 43%, informaatiosektorin energian- ja sähkönkäyttö ovat kasvaneet vuosittain 0,9% ja 2,2%.

Mobiilidatan kasvu ei suoraan viittaa kuluttajien muiden sähkölaitteiden sähkönkulutuksen kasvuun, joihin mm. TV, tietokoneet, tabletit ja puhelimet kuuluvat. Vaikka mobiilidatan käyttö on kasvanut vuosittain n. 72%, kuluttajien muiden sähkölaitteiden sähkönkulutuksen vuosittainen kasvu on jäänyt 2,4%:iin. Tuloksissa on huomioitava, että merkittävä osa kuluttajien dataliikenteen kokonaiskasvusta tulee kiinteään verkon IP-liikenteestä.

Raportoitujen ennusteiden pohjalta Yhdysvalloista voimme kuitenkin todeta, että päätelaitteiden osuus muiden sähkölaitteiden sähkönkulutuksesta on pienenevässä (EIA, 2020). Suomesta tutkimustietoa ei löydy vuoden 2013 jälkeen. On myös huomioitava, että kuluttajat lataavat päätelaitteitaan muualla kuin kotonaan. Laajemmin ajateltuna kuluttajien mobiilidatan lisääntynyt käyttö ei suoraan näy kuluttajien sähkönkäytön kasvussa kotona.

Informaatiosektorin yritykset tuottavat omilla resursseillaan 48% informaatiosektorin liikevaihdosta. Loput 52% ovat suoria hankintoja muilta yrityksiltä. Hankinnat jakautuvat edelleen suoriin hankintoihin Suomesta ja ulkomailta. Ulkomailta tulevat suorat hankinnat informaatiosektorille ovat 29% toimialan koko liikevaihdosta. Analyysiin perustuen voimme todeta, että vähintään 29% suomalaisesta dataan liittyvästä kuluttajakäyttäytymisestä on ulkoistettu Suomen rajojen ulkopuolelle. Tässä tutkimuksessa on huomioitu ainoastaan kuluttajien

Suomesta ostamat palvelut Suomeen rekisteröityneiltä yrityksiltä. Kuluttaja voi siis ostaa palveluita suoraan ulkomaisilta palveluntuottajilta.

Tämän tutkimuksen keskeiset politiikkasuositukset ovat seuraavat:

Vaikka OECD:llä ja Euroopan mailla on yhteinen määritelmä informaatiosektorille, sitä harvoin hyödynnetään varsinaisessa informaatiosektorin mittaamisessa, tilastoinnissa, raportoinnissa ja tutkimuksessa. Suosittelemme OECD:n määritelmän käyttöönottoa, jotta vertailu informaatiosektorin keskeisistä tunnusluvuista olisi globaalisti mahdollista.

Suomessa Tilastokeskus tai Fingridin, Motivan ja Energiategollisuuden kaltaiset toimijat – ja Eurostat Euroopan laajuisesti – voisivat toimia informaatiosektorin keskeisten mittareiden ja tilastojen ylläpitäjinä. Toimijat voisivat ylläpitää OECD:n informaatiosektorin määritelmän mukaisia energian- ja sähkönkäytön sekä muiden keskeisten resurssien mittareita ja tilastoja. Näitä voitaisiin julkaista vuosittain tai neljännesvuosittain.

Yritys- ja maataso ei ole riittävä tarkastelutaso ymmärtää energian- ja sähkönkulutusta. Tarkastelun ulottaminen toimitus- ja arvoketjuihin antaisi paremman ymmärryksen yritysten ja maan resurssien käytöstä sekä toimialan mahdollisesta hiilineutraalisuudesta. Toimitus- ja arvoketjutarkastelun avulla pystytään ymmärtämään tuotanto- ja kuluttajakäyttäytymisen vaikutuksia Suomen rajojen ulkopuolelle. Näin saataisiin käsitys siitä, miten Suomessa olevien kuluttajien datankäyttö heijastuu Suomen rajojen ulkopuolelle.

Nykyään julkinen informaatio yksityisistä datacentereistä on lähes olematonta. Julkista informaatiota löytyy ainoastaan yli 5 MW datacentereiden ympäristöluvista. Suosittelemme, että julkinen toimija ja yritykset yhdessä sopisivat joustavat raportointikäytänteet myös pienempien, esimerkiksi >1 MW -kokoluokan datacentereiden osalta.

Tämä raportti jatkuu seuraavasti. Aluksi kuvaamme OECD:n ja tässä tutkimuksessa käytetyn määritelmän informaatiosektorista. Raportin luvussa kaksi esittelemme informaatiosektorin energian- ja sähkönkulutukseen liittyvää aikaisempaa tutkimusta. Kolmannessa luvussa käymme läpi IP- ja dataliikenteen kehitystä maailmanlaajuisesti, Euroopassa ja Suomessa. Neljännessä luvus-

sa analysoimme Suomen informaatiosektorin energian- ja sähkönkulutusta sekä sähkönkulutuksen muutosta muiden sähkölaitteiden, kuten tietokoneiden, tablettien ja muiden mobiililaitteiden osalta. Neljäs luku sisältää myös keskustelun Suomen informaatiosektorin ulkomailta ostetuista palveluista ja Suomessa sijaitsevista datakeskuksista ja niiden tunnusluvuista. Viidennessä luvussa vertailemme Suomen informaatiosektorin sähkönkäyttöä muihin Euroopan maihin. Lopuksi esitämme tutkimuksen keskeiset tulokset, politiikkasuositukset, aineistoon liittyvät rajoitteet ja suosituksia tulevaisuuden tutkimukseksi.

Informaatiosektorin määritelmä (engl. Information economy sector)

OECD:n informaatiosektorin määritelmä vuosilta 2006–2007 perustuu YK:n toimialaluokituksen ISIC Rev. 4:n toimialoihin (OECD, 2011). Informaatiosektoriin kuu-

luu ICT-sektori – käsittäen sekä tavara- että palvelutuotannon – ja sisältötuotanto. Suomessa käytetty vuoden 2008 toimialaluokitus (TOL 2008) pohjautuu Euroopassa käytettyyn NACE Rev. 2 -luokitukseen. NACE-luokitus on johdettu kansainvälisestä ISIC-luokituksesta.

Tilastokeskuksen ja Eurostatin energiatilinpitoa koskevat tilastot ovat saatavilla OECD:n informaatiosektorin määritelmää karkeammalla toimialaluokituksen tasolla. Tämän vuoksi seuraavat toimialat on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle: 465 *Tieto- ja viestintäteknisten laitteiden tukkukauppa* ja 951 *Tietokoneiden ja viestintälaitteiden korjaus*. Myös Euroopan komission ICT-sektorin suppea määritelmä vuodelta 2012 jättää aineistorajoitteiden vuoksi tarkastelusta pois ICT-tukkukaupan⁷ (Mas ym., 2012; ITU, 2018). Taulukossa 1 on kuvattu tässä tarkastelussa käytetty informaatiosektorin määritelmä verrattuna OECD:n määritelmään. OECD:n määritelmä on kuvattu Suomessa käytetyn TOL 2008 -luokituksen mukaisesti (Tilastokeskus, 2020). Tässä tarkastelussa käyt-

Taulukko 1 Informaatiosektorin määritelmä (OECD) vs. Informaatiosektorin määritelmä (tämä tutkimus)

Informaatiosektori (OECD)	Informaatiosektori (tämä tutkimus)
ICT-sektori (engl. ICT Sector)	
261 Elektronisten komponenttien ja piirilevyjen valmistus	26 Elektroniikkateollisuus
262 Tietokoneiden ja niiden oheislaitteiden valmistus	
263 Viestintälaitteiden valmistus	
264 Viihde-elektronikan valmistus	
268 Tallennevälineiden valmistus	
4651 Tietokoneiden, oheislaitteiden ja ohjelmistojen tukkukauppa	
4652 Elektroniikka- ja viestintälaitteiden ja osien tukkukauppa	
582 Ohjelmistojen kustantaminen	
61 Televiestintä	61 Televiestintä
62 Ohjelmistot, konsultointi ja siihen liittyvä toiminta	62–63 Tietojenkäsittelypalvelu
631 Tietojenkäsit., palvelintilan vuokraus ja niihin liittyvät palv.; verkkoportaalit	
951 Tietokoneiden ja viestintälaitteiden korjaus	
Sisältötuotanto (engl. Content and Media Sector)	
581 Kirjojen ja lehtien kustantaminen ja muu kustannustoiminta	58 Kustannustoiminta
591 Elokuva-, video- ja televisio-ohjelmatoiminta	59–60 Audiovisuaalinen toiminta
592 Äänitysstudiot; äänitteiden ja musiikin kustantaminen	
601 Radio-ohjelmien tuottaminen ja lähettäminen	
602 Televisio-ohjelmien tuottaminen ja lähettäminen	
639 Muu tietopalvelutoiminta	

Lähde: OECD-määritelmä: OECD (2011) ja Tilastokeskus (2020).

tämämme informaatiosektorin määritelmän toimialajako noudattaa kansantalouden tilinpidossa käytettyä kaksinumerotason toimialaluokitusta, jossa joitakin luokkia on yhdistetty keskenään.

2 Aikaisempi tutkimus

Informaatiosektorin rooli siirtymässä kohti vähähiilistä taloutta on yleisellä tasolla kaksijakoinen. Toisaalta on esitetty, että informaatiosektori tehostaa energiankulutusta (mm. Kander ym., 2013) ja muodostaa pohjan vihreämmälle taloudelle (mm. Perez, 2013). Toisaalta informaatiosektorin energiankäytön kasvu ja käytettävien laitteiden harvinaisten metallien intensiivisyys on nähty myös uhkana kestäväälle kehitykselle (Court & Sorell, 2020; Coroama & Mattern, 2019). Court ja Sorell (2020) tulivat tutkimuksessaan siihen tulokseen, että digitalisaatio ja de-materialisaatio tulevat kasvattamaan energiankäyttöä nyt ja tulevaisuudessa. Tämä johtuu siitä, että informaatiopalveluiden käyttö jatkaa nopeaa kasvuaan ja alan kehitystoimet eivät ole riittäviä energiankulutuksen vähentämiseksi.

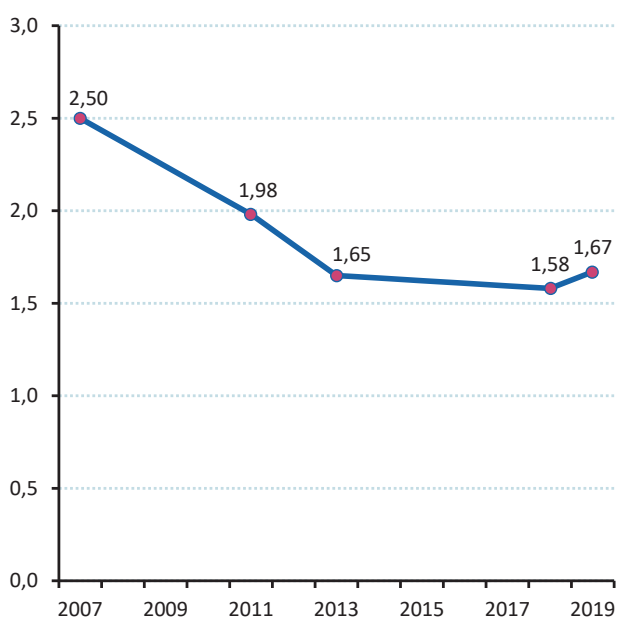
Informaatiosektorin energiankulutusta käsittelevä tieteellinen tutkimus on luonteeltaan arvioivaa, mikrotason laskentamalleihin ja arvioihin perustuvaa. Yhdenmukaisen tiedon puuttuessa eri tutkimuksissa on asiaa mallinnettu sekä alhaalta ylös (engl. bottom-up) ja ylhäältä alas (engl. top-down) -näkökulmista. Viimeisen vuosikymmenen viitatuin ”bottom-up”-tutkimus (Koohey, 2011) laskee datakeskusten sähkönkulutuksen vuonna 2010 olevan arviolta 1,1–1,5 %. Myöhemmät tutkimukset ovat pääosin ”top-down” -näkökulmasta tehtyjä arvioita.

Vuonna 2012 informaatiosektorin osuus maailman sähkönkulutuksesta oli 4,6 % (Van Heddeghem ym., 2014). Andrae ja Edler (2015) puolestaan ennustavat vuoden 2020 kulutuksen osuvan 6–21 %:n haarukkaan. Kansainvälisen energiajärjestön arvio sähkönkulutuksesta vuonna 2020 on 14 % (Hoang ym., 2014). Euroopan komission asettama tutkimusryhmä arvioi, että informaatiosektorin energiankulutus on 7 % globaalisti, ja ennustaa sen kasvavan 13 %:iin vuoteen 2030 mennessä (Bertoldi ym., 2017). Belkhir ja Elmeligi (2018) puolestaan arvioivat informaatiosektorin sähkönkulutuksen ja sitä kautta alan laskennallisten hiilidioksidipäästöjen kasvuvauhdiksi 7–8 %.⁸

Saksan osalta palvelinkeskusten sähkönkulutuksen vuosina 2010–2018 on arvioitu kasvaneen 10,5 miljardista kWh yhteensä 14 miljardiin kWh, keskimääräisen vuosikasvun ollessa ajanjaksolla 4 % (Hintemann, 2019a; Hintemann & Clausen, 2018). Sähkönkulutuksen kasvunopeus on kuitenkin ko. ajanjaksolla kiihtynyt. Vuonna 2018 kasvua edelliseen vuoteen oli peräti 6 %. Tutkimus arvioi myös, että jos sektorin kasvu jatkuu 2018–2030 nykytrendin mukaan, tulee sähkönkulutus kasvamaan nykyisestä 50 % vuoteen 2030 mennessä. Läntisen Euroopan osalta eri tutkimukset ovat arvioineet alan sähkönkulutuksen kasvaneen merkittävästi 2010-luvulla. Konsensusarvio kasvusta 2010–2020 on 30 % (mm. Deloitte & Fraunhofer IZM, 2016; Hintemann, 2019b; Hintemann & Hinterholzer, 2019; Prakash ym., 2016).

Toisaalta akateemisissa kirjallisuudessa on myös esitetty konservatiivisempia arvioita, joiden mukaan informaatiosektorin alan sähkönkulutus ei ole kasvanut merkittävästi 2010-luvulla (Malmodyn & Lundén, 2018; Masanet ym., 2020). Hintemann (2019a) kuitenkin kritisoi konservatiivisten tutkimusten taustaoletuksia. Hän toteaa, että sen paremmin palvelinkeskusten kokonaismäärän voimakas globaali kasvu kuin tiedot palvelinkeskusten laitemyynnin kehityksestä eivät tue em. tutkimuksissa

Kuvio 1 Palvelinkeskusten keskimääräinen tehokkuusluku (PUE) 2007–2019



Lähde: Uptime Institute, Data Center Industry Survey Results 2019.

esitettyjä väitteitä siitä, että alan sähkönkulutus ei olisi juurikaan kasvanut 2010-luvulla.

Konservatiivisten, maltillista sähkönkulutuksen kasvua ennustavien tutkimusten oletuksena on usein se, että tietokonelaitteiden ja oheisteknologian energiatehokkuuden kehittymisen myötä palvelinkeskusten sähkönkulutus ei olisi enää kasvamassa. Hintemannin (2019a) selvityksen perusteella kuitenkin ajanjaksolla 2010–2018 Saksan palvelinkeskusten keskimääräinen energiatehokkuusluku (PUE) olisi pienentynyt arvosta 1,98 vain arvoon 1,70. Vastaavasta kehityksestä on raportoinut myös Uptime Institute, jonka jäsenilleen teettämän kyselyn mukaan palvelinkeskusten energiatehokkuus (PUE) ei ole merkittävästi parantunut enää viime vuosina (kuvio 1).

Yhteenvedon voidaan todeta seuraavaa. Valtaosa tutkimuksista esittää, että informaatiosektorin energian- ja sähkönkulutus on kasvussa ja muodostaa jatkossa yhä merkittävämmän osan maailman sähkönkulutuksesta. Keskeisenä ajurina kasvulle on kuluttajille suunnattujen digipalveluiden jatkuvasti kasvava käyttö, joka on usean tutkijan mielestä jo nyt kestävämmällä tasolla (mm. Lane ym., 2018; Morley ym., 2018; Widdicks & Pargman, 2019; Widdicks ym., 2019).

3 IP- ja dataliikenteen kasvusta

Digitoinnin ja digitalisaation eteneminen kiihdyttää niin teollisuuden kuin kuluttajienkin IP-liikenteen määrää. IP-liikenteen kasvaessa myös dataliikenne kasvaa. Usein julkisessa keskustelussa viitataankin juuri dataliikenteen kasvuun IP-liikenteen kasvun jäädessä taustalle. IP-liikenne on kasvanut vuodesta 2006 vuoteen 2011 7,3-kertaiseksi ja vuodesta 2011 vuoteen 2017 4,0-kertaiseksi (taulukko 2). Se, mikä nykyisistä raportointikäytännöistä jää epäselväksi, on, että perustuuko nykyinen oletus IP- ja dataliikenteen kasvusta ”brutto bruton päälle” -laskentaan vai ei? Eli jos IP-liikenne/data kulkee Suomesta Tanskaan, Tanskasta Irlantiin, Irlannista Yhdysvaltoihin ja takaisin, raportoituko IP-liikenne/dataliikenne kaikkien maiden tilastoihin vai ainoastaan Suomen ja Yhdysvaltojen? Liioittelevatko nykyiset raportointikäytännöt IP-liikenteen ja datan määrän kasvua?

Viimeisen 14 vuoden aikana meillä on ollut kaksi suurempaa IP-liikenteen kasvuun vaikuttavaa murrosta: 1) teollisuudessa on yritysten omista datakeskuksista siirrytty

Taulukko 2 Kuluttajien ja teollisuuden osuudet globaalista IP-liikenteestä 2006–2022

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Globaali IP-liikenne yhteensä (exatavua)	4	7	11	16	24	31	43	55	69	87	110	122	156	201	254	319	396
Kuluttajien osuus IP-liikenteestä (%)	62	66	71	74	75	84	86	86	86	87	88	82	83	83	83	84	84
Yritysten osuus IP-liikenteestä (%)	38	34	29	26	25	16	14	14	14	13	12	18	17	17	17	16	16

Yksi exatavu = 1 000 000 000 000 000 000 tavua.

Lähteet: Cisco (2008; 2012; 2019).

Taulukko 3 Mobiilin IP-liikenteen osuus globaalista IP-liikenteestä 2006–2022

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Globaali IP-liikenne yhteensä (exatavua)	4	7	11	16	24	31	43	55	69	87	110	122	156	201	254	319	396
Mobiili IP-liikenne yhteensä (exatavua)	0,001	0,003	0,007	0,1	0,2	0,4	0,9	1,5	2,6	3,7	6,2	12	19	29	41	57	77
Mobiilin IP-liikenteen osuus IP-liikenteestä (%)	0,02	0,04	0,06	0,6	0,9	1,3	2,0	2,7	3,8	4,2	5,6	10	12	14	16	18	19

Yksi exatavu = 1 000 000 000 000 000 000 tavua.

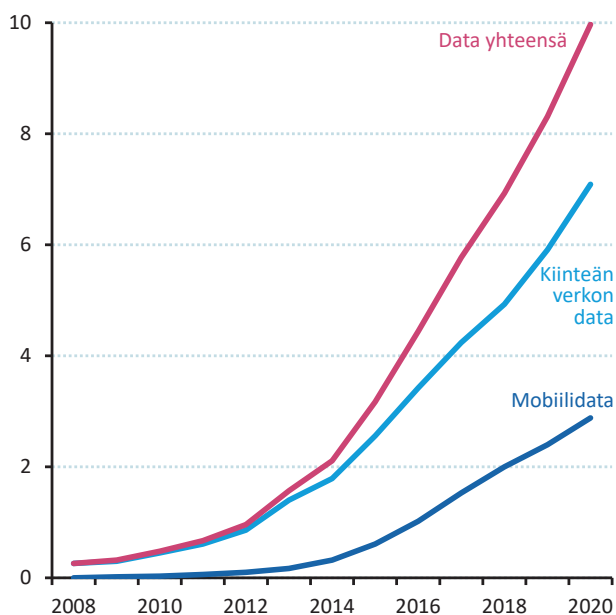
Lähteet: Cisco (2008; 2012; 2019).

pilvipalveluarkkitehtuurien käyttäjiksi⁹ ja 2) kuluttajien palveluiden käyttö on siirtynyt kodin päätelaitteilta samoihin pilvipalveluarkkitehtuureihin¹⁰. Kummassakin tapauksessa niin sanotut kiinteät kustannukset ovat vaihtuneet muuttuviksi kustannuksiksi eli palvelukuluiksi. Molemmat muutokset vaikuttavat oleellisesti IP-liikenteen globaaliin kasvuun, koska pilvi- ja palveluarkkitehtuurit voivat maantieteellisesti sijaita eri maanosissa kuin missä palvelun kysyntä on.

IP-liikenteen vuosittaista kasvua on kuvattu taulukossa 2. Vuonna 2020 kuluttajien IP-liikenteen osuus on asetunut n. 83 %:iin koko IP-liikenteestä; Euroopan osuus kuluttajien globaalista IP-liikenteestä (83 %) on n. 22 % (Cisco, 2008; 2012; 2019).

IP-liikenne voidaan jakaa kiinteän verkon ja mobiilin verkon IP-liikenteeseen. Suurin osa, 84 %, IP-liikenteestä kulkee kiinteässä verkossa ja vain 16 % mobiiliverkossa (taulukko 3). Kun kuluttaja ostaa palveluita eri operaattoreilta tai sovelluksista, suurin osa IP-liikenteestä tapahtuu kiinteässä verkossa.¹¹ Mobiiliverkko onkin lähinnä tarkoitettu ns. viimeisen mailin (engl. last mile)

Kuvio 2 Datankäyttö kiinteässä ja mobiiliverkossa sekä yhteensä Suomessa 2008–2020, milj. teratavua



Vuosi 2020 on ennuste.

Lähde: Finnet (2019).

palveluita varten. Tulevaisuuden kehityksen osalta onkin hyvä huomioda, että esimerkiksi viidennen (engl. fifth generation, 5G) ja kuudennen (engl. sixth generation, 6G) sukupolven mobiiliverkkojen myötä viimeinen maili saattaakin olla lyhentymässä viimeiseksi metriksi.

Kiinteä verkko ja mobiiliverkko muodostavat keskeisen osan IP-liikenteen kokonaisinfrastruktuurista. Datakeskukset ovat osa kiinteää IP-liikenneverkkoa – mobiiliverkko välittää IP-liikennettä kuluttajien ja palveluntarjoajien välillä.

Cisco (2019) ennustaa, että mobiilin IP-liikenteen osuus koko IP-liikenteestä kasvaa 19,4 %:iin vuoteen 2022 mennessä (taulukko 3). Suurin osa mobiiliverkossa tapahtuvasta IP-liikenteen kasvusta tulee 5G-älypuhelinien laajenevasta käytöstä. Tähän vaikuttaa oleellisesti myös se, että esimerkiksi liikkuvaa kuvaa välitetään yhä tarkemmalla resoluutiotasolla (Full HD -kuvasta 4K-tarkkuuteen ja edelleen tulevaisuudessa 8K-kuvaan). Palveluteknologioiden kehittyessä tarvitaan siis nopeampia päätelaitteita ja verkkoja.

Suomessa IP-liikennettä tilastoidaan satunnaisesti VALOR-analyysillä eli datan määrän avulla. Kiinteän verkon datan ja mobiilidatan kasvu on ollut Suomen verkoissa noin 43 % vuodessa (Finnet, 2019, ks. kuvio 2). Mobiilidatan kasvu on ollut taas noin 72 % vuodessa (Finnet, 2019). Suomessa mobiilidatan osuus datan kokonaiskäytöstä on noin 29 %. Toisaalta suuressa prosentuaalisessa osuudessa ei ole mitään yllättävää, sillä Suomessa käytetään mobiilidataa eniten maailmassa – 19,39 GT/henkilö/kuukausi (OECD, 2018).¹²

Onko IP-liikenteen / datan määrän kasvulla ollut vaikutusta ICT-sektorin ja kuluttajien energian- ja sähkönkäyttöön Suomessa? Tätä käsittelemme seuraavaksi.

4 Informaatiosektorin energian- ja sähkönkäyttö

Kuviossa 3 on esitetty energiatuotteiden – polttoaineet, sähkö ja lämpö – käyttö Suomen informaatiosektorilla vuosina 2011–2017. Kyseisellä aikavälillä informaatiosektorin sähkönkäyttö on lisääntynyt lähtövuoden ar-

voon verrattuna. Polttoaineiden käytön osuus on ollut laskeva. Lämmön käyttö on noussut. Kaiken kaikkiaan sähkön osuus informaatiosektorilla käytetyistä energia- tuotteista (polttoaineet, sähkö ja lämpö) on hallitseva: 68,7 % vuonna 2017.

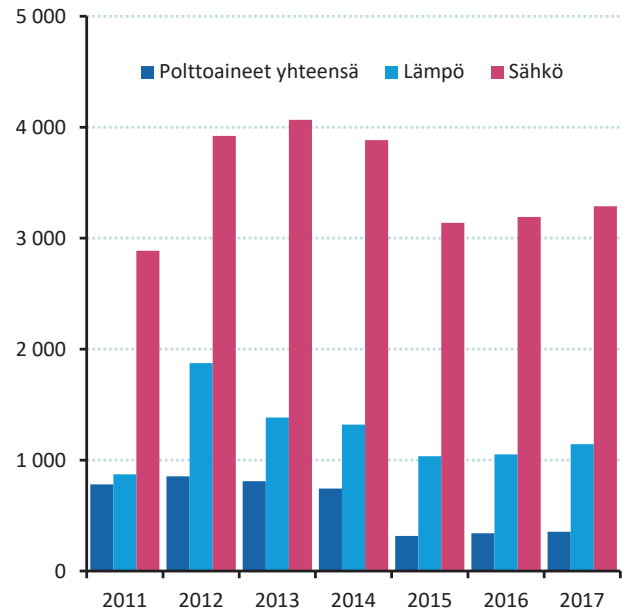
Suomen informaatiosektorin sähkönkäyttö ja osuus sähkön kokonaiskäytöstä on esitetty kuviossa 4. Informaatiosektorin sähkönkäyttö on kasvanut 13,9 % vuosina 2011–2017. Vuositasolla tämä tarkoittaa 2,2 % kasvua. Vuonna 2017 informaatiosektorin osuus sähkön kokonaiskäytöstä Suomessa oli 1,0 %.^{13,14} Energiatilinpidoon mukaan sähkön kokonaiskäyttö Suomessa vuonna 2017 oli 89,7 TWh (323 PJ). Sähkön kokonaiskäyttö on energiatilinpidoon mukaan laskenut 1,6 % aikavälillä 2011–2017. Informaatiosektorin sähkönkäyttö on siten kasvanut suhteessa enemmän kuin Suomen sähkönkäyttö kokonaisuudessaan.

Kuluttajien sähkönkäyttö

Kuviossa 5 on esitetty asumisen sähköenergian kulutus Suomessa vuosina 2008–2018 kokonaiskulutuksen ja muiden sähkölaitteiden osalta. Asumisen energiankulutus jakaantuu käyttökohteittain seuraaviin osa-alueisiin:

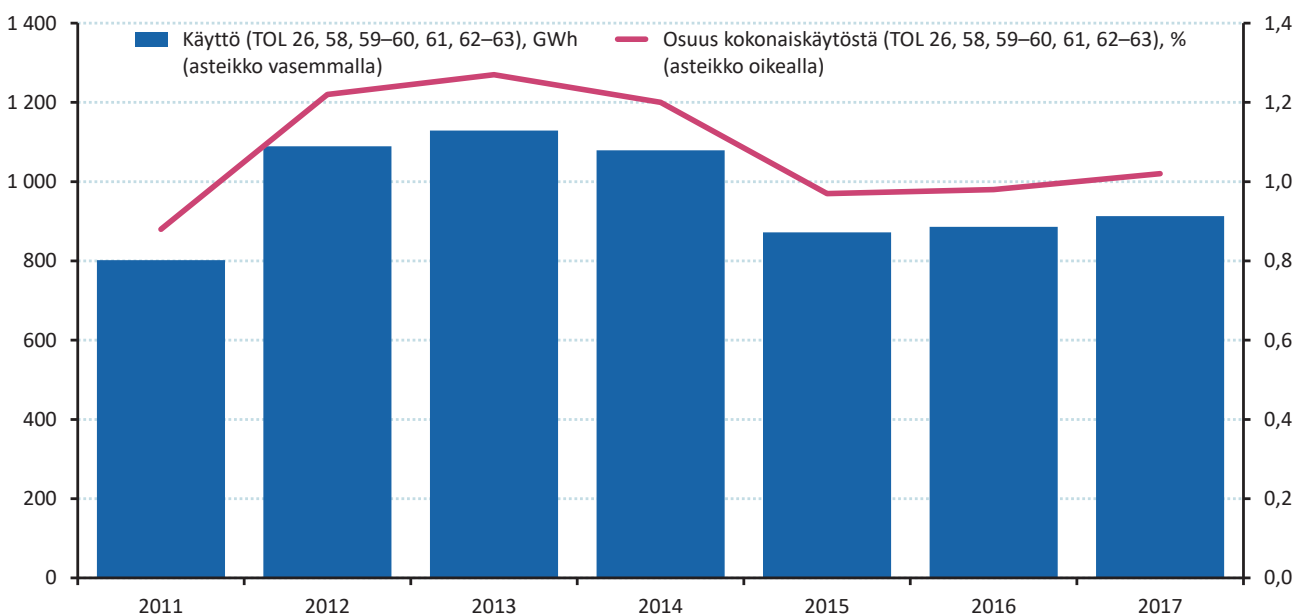
tilojen lämmitys, käyttöveden lämmitys, saunojen lämmitys, valaistus, ruoan valmistus ja muut sähkölaitteet. Muiden sähkölaitteiden – johon lukeutuvat kodin säh-

Kuvio 3 Energiatuotteiden käyttö Suomen informaatiosektorilla 2011–2017, terajoulea



Lähteet: Energiatilinpito, Tilastokeskus. Etlan laskelmat.

Kuvio 4 Suomen informaatiosektorin sähkönkäyttö ja osuus sähkön kokonaiskäytöstä 2011–2017



Lähteet: Energiatilinpito, Tilastokeskus. Etlan laskelmat.

kölaitteet, kuten tietokoneet – sähköenergiankulutus on kasvanut 15,5 % vuosina 2011–2017.¹⁵ Vuositasolla tämä tarkoittaa 2,4 % kasvua.

Adato Energia Oy:n (2013) tutkimusraportista saatavien tietojen perusteella tietokoneiden ja lisälaitteiden osuus kodin sähkölaitteiden kulutuksesta vuonna 2011 (2006) oli 14,7 % (8,1 %) ja asuntojen laitesähkön kokonaiskulutuksesta 4 % (2 %) Suomessa.¹⁶ Viimeaikaista kansainvälistä vertailukohtaa voidaan hakea EIA:n (2020) tilastoista, joiden mukaan tietokoneet ja oheislaitteet kuluttivat 1,8 % asumisen kokonaisähkönkulutuksesta Yhdysvalloissa vuonna 2019.

Datakeskukset Suomessa ja niiden tunnusluvuista

Cloudscene sivujen mukaan Euroopassa on noin 2 700 datakeskusta (Cloudscene, 2020).¹⁷ Euroopan suurimmat datakeskusmaat ovat Saksa, Englanti, Ranska ja Alankomaat. Näissä maissa sijaitsee yli kahdesta sadasta yli neljään sataan datakeskusta. Muiden Euroopan maiden datakeskusmäärät lasketaan kymmenissä tai hieman yli

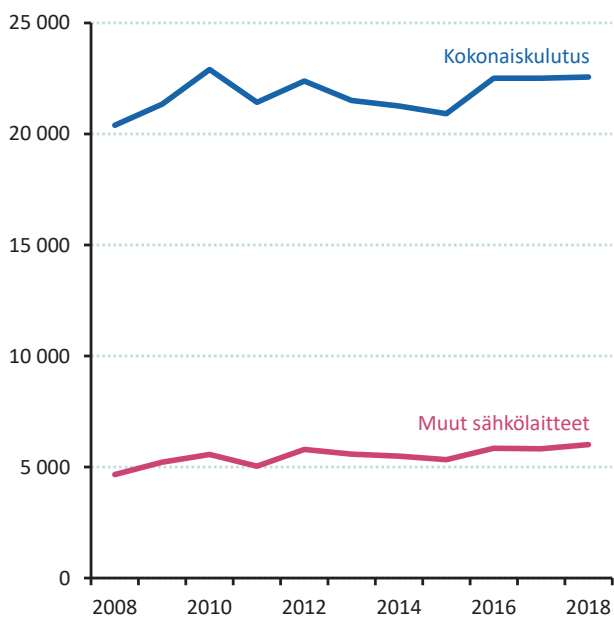
sadassa. Sivuston mukaan Suomessa on 35 yksityistä datakeskusta.

Asukasmäärään suhteutettuna suurimmat datakeskusmaat ovat Luxemburg, Alankomaat, Ruotsi ja Irlanti. Asukasmäärään suhteutettuna datakeskusten määrä Suomessa on eurooppalaista keskiarvoa 0,64 datakeskusta 100 000 asukasta kohden, keskiarvon ollessa 0,63 datakeskusta 100 000 asukasta kohti. Suurin osa suomalaisista datakeskuksista sijaitsee Uudellamaalla. Lisäksi datakeskuksia on mm. Hämeessä, Kainuussa, Keski-Suomessa, Kymenlaaksossa ja Pohjois-Pohjanmaalla

Yllä mainituista luvusta puuttuvat eri aloilla sijaitsevat yritysten omat datakeskukset. Luvut eivät pidä myöskään sisällä julkisen sektorin datakeskuksia. Lisäksi on huomioitava, että osa julkisen sektorin datakeskuksista liittyy Suomen huoltovarmuuteen, ja niistä ei sen vuoksi ole saatavissa tietoja. Arvioimme, että yksityisen ja julkisen sektorin datakeskuksia on Suomessa kymmeniä.

Yksityisen ja julkisen sektorin datacentereiden energian- ja sähkönkäyttö tilastoituu sen toimialan kokonaislukuhiin, jolla yritys kulloinkin toimii. Mikäli yksityisen ja julkisen sektorin datacentereiden energian- ja sähkönkäyttöön halutaan lisäymmärrystä, tulisi ICT-sektorin laajennettua energian- ja sähkönkäytön raportointia mieltä näistä laajennetuista lähtökohdista.

Kuvio 5 Asumisen sähköenergiankulutus: muut sähkölaitteet ja kokonaiskulutus 2008–2018, GWh



Lähteet: Asumisen energiankulutus, Tilastokeskus. Etlan laskelmat.

Datakeskusten tunnusluvuista on saatavissa vain vähän tietoa. Tuike Finland Oy:n ja Telia Finland Oy:n osalta tietoa on saatavissa niiden ympäristölupien ansiosta. Muista tietoa on erittäin vähän. Tiedot ovat siten erittäin satunnaisia.

Googlen Haminan datakeskuksesta vastaavalla Tuike Finland Oy:llä on ollut palvelinkeskustoimintaa Summan tehdasalueella vuoden 2011 puolivälistä alkaen (AVI, Nro 235/2015/1).¹⁸ Tuike Finland Oy:n Haminan datakeskusten vuoden 2010 ympäristöluvassa vuosittaiseksi sähköenergiankäytöksi on ilmoitettu noin 280 GWh (1000 TJ) (AVI, Nro 16/2010/1).¹⁹ Kyseisessä luvassa generaattoreiden vuosittaiseksi polttoöljynkulutukseksi arvioitiin alle 60 m³ ja rakennusten lämmittämiseen tarvittavan maakaasun käytöksi ilmoitettiin n. 2,1 miljoonaa Nm³ vuodessa. Palvelinkeskuksen ja sen myöhemmin rakennettujen laajennusten jäähditys toteutetaan merivettä käyttävillä jäähditysjärjestelmillä. Vuoden 2015 ympä-

Taulukko 4 Yksityiset datakeskukset Suomessa

Datakeskusoperaattori	Määrä	Paikkakunta
Alcon	1	Maarianhamina
Boftel	1	Helsinki
Capnova	1	Tampere
CenterServ	1	Helsinki
CSC/Funet	2	Helsinki, Kajaani
Datalahti	1	Helsinki
Digita	2	Helsinki
DNA	1	Helsinki
Equinix	6	Helsinki
Ficix	1	Helsinki
Ficolo	3	Helsinki, Pori, Tampere
Herman IT	1	Kajaani
Hetzner	1	Helsinki
IBM	1	Helsinki
IP-Only	1	Helsinki
Louhi	1	Helsinki
Mediam	1	Helsinki
Oulun Datacenter	2	Oulu
RUNNet	1	Helsinki
TDC	1	Helsinki
Telia	3	Helsinki
Tuik (Google)	1	Hamina
Yandex	1	Mäntsälä

Lähteet: Cloudscene (2020).

ristölavan mukaan maakaasun käyttö laitosalueella on lopetettu vuoden 2014 alusta lähtien ja osa keskuksen tuottamasta lämmöstä käytetään palvelinkeskuksen tilojen lämmittämiseen (AVI, Nro 235/2015/1). ELY-keskuksen päätöksestä (Dnro KASELY/1867/2019) saatavien tietojen mukaan palvelinkeskusten 3–5 jäähdytyksessä käytetään palvelinkeskusten 1–2 jäähdytysjärjestelmien palautusvettä.²⁰ Palvelinkeskusten 6–7 jäähdytysvesi otetaan Suomenlahdesta uuden merivesipumppaamon avulla. Laitokselle on annettu lupa purkaa mereen 2 200 TJ verran lämpöenergiaa vuodessa. Palvelinkeskusten 1–7 lämpökuorma jää alle tämän lukeman.

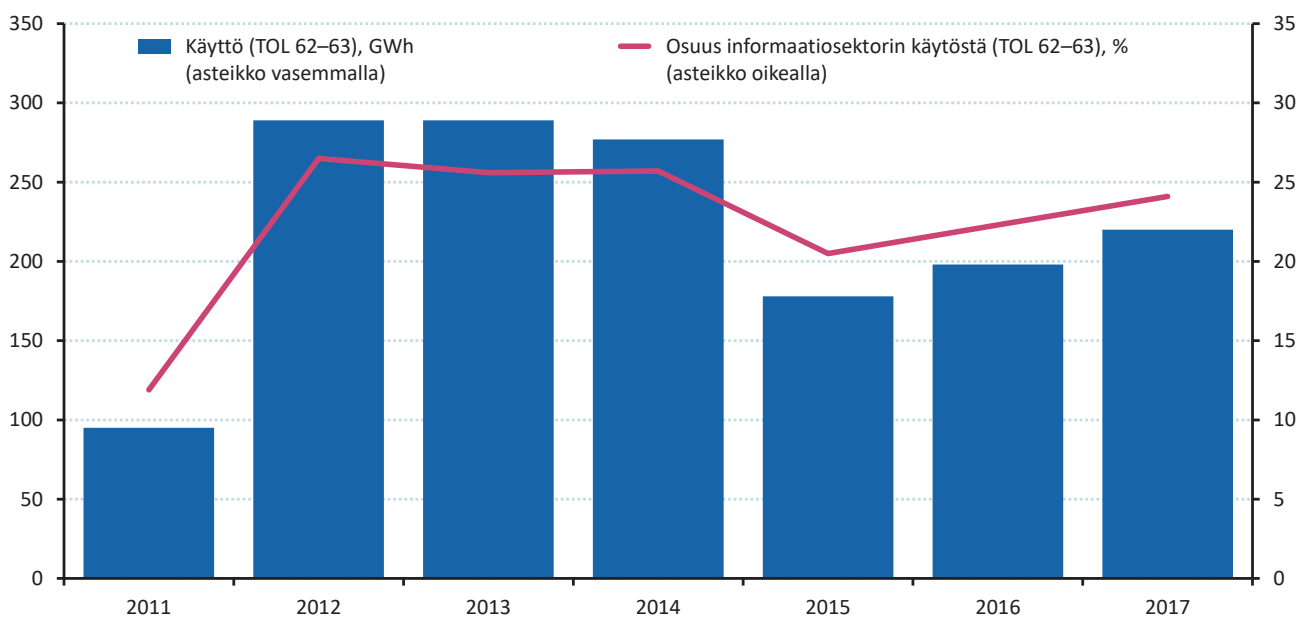
Telia Finland Oy:n Helsingin Pitäjänmäellä sijaitsevan Helsinki Data Center -palvelinkeskuksen ympäristöluvassa (AVI, Nro 258/2017/1) on annettu tietoja laitoksen käyttämästä sähkötehosta.²¹ Datakeskuksen IT-kapasi-

teetti on aloitusvaiheessa vähintään 6 MW, ja kapasiteettia laajennetaan kysynnän mukaisesti. Datakeskuksen toimiessa täydellä kapasiteetilla sen IT-teho on 24 MW käsittäen 200 000 serveriä. Palvelimista muodostuva hukkalämpö kerätään talteen ja siirretään kaukolämpöverkkoon mahdollisimman suurelta osin. Toiminnan aloitusvaiheessa, lämpiminä kesäpäivinä ja muissa tilanteissa, joissa hukkalämmön siirto kaukolämpöverkkoon ei onnistu, lauhduttamisessa käytetään laitoksen katolla sijaitsevia liuosjäähdyttimiä. Tämän lisäksi käytetään laitoksen sisällä sijaitsevia jäähdytyskoneita. Datakeskuksen toiminta on varmistettu kaksinkertaisella kiinteällä sähkönsyötöllä (2 x 110 kV), varavirta-akuilla ja varavoimageneraattoreilla.

Tuik Finland Oy:n vuoden 2015 ympäristöluvassa on ilmoitettu energiatehokkuus ns. PUE-arvon pohjalta ai-noastaan konsernitasolla (AVI, Nro 235/2015/1); konsernin kaikkien datakeskusten yhteenlasketuksi PUE-arvoksi on ilmoitettu 1,12, ja vuoden 2008 vertailuarvo on 1,21. Tuik Finland Oy ei toimittanut Haminan datakeskuksen tarkempia laitoskohtaisia sähkönkulutus- ja energiatehokkuustietoja AVI:lle ja perustelee lupahakemuksen lisäselvityspyynnöissä tietojen salassapitoa kilpailusyllä (Dnro ESAVI/8564/2014).²² Energiankäyttöä koskevia tietoja ei ole ilmoitettu myöskään vuoden 2019 ympäristölupahakemuksessa liikesalaisuuksiin vedoten (ESAVI/35528/2019).²³ Googlen mukaan Haminan datakeskuksen PUE-arvo oli 1,09 vuonna 2020 (Google, 2020). Googlen vuoden 2019 ympäristöraportin mukaan sen keskimääräinen globaali PUE-arvo on 1,11 (Google, 2019). Muiden datakeskustoimijoiden energiatehokkuudesta voidaan löytää seuraavia tietoja: Mäntsälässä sijaitsevan Yandexin datakeskuksen ilmoitettu PUE-arvo on 1,15, mikä käsittää datakeskuksen lisäksi myös toimistorakennukset (Yandex, 2018). Yandexin Mäntsälän datakeskuksen hukkalämpö kerätään talteen ja johdetaan kaukolämpöverkkoon. Telia Finland Oy:n Helsingin datakeskuksen suunniteltu PUE-tavoitearvo on alle 1,2 (Telia, 2017). IBM:n datakeskusten keskimääräinen kansainvälinen PUE-arvo on 1,76 vaihteluvälillä 1,1–3,4 (IBM, 2018). Uptime Institutin kyselyn mukaan kansainvälisten datakeskusten keskimääräinen PUE-arvo oli 1,67 vuonna 2019 (Uptime Institute, 2019).

Kuviossa 6 on esitetty datakeskukset käsittävän kaksinumero-tason toimialaluokan (Tietojenkäsittelypalvelu, TOL 62–63) sähkönkäyttö ja osuus informaatiosektorin sähkönkäytöstä vuosina 2011–2017. Kyseisen toimi-

Kuvio 6 Tietojenkäsittelypalvelu (TOL 62–63) -toimialan sähkönkäyttö ja osuus informaatiosektorin sähkönkäytöstä 2011–2017



Lähteet: Energiatilinpito, Tilastokeskus. Etlan laskelmat.

alaluokan sähkönkäyttö on kasvanut 130,9 % aikavälillä 2011–2017. Tämä tarkoittaa 15,0 % vuotuista kasvua. Tietojenkäsittelypalvelun osuus informaatiosektorin sähkönkäytöstä on kaksinkertaistunut kyseisellä aikavälillä; vuonna 2017 osuus oli 24,1 %.

Kuinka paljon informaatiosektorin panoksista tulee ulkomaisilta toimijoilta? Siirrymme seuraavaksi käsittelemään tätä kokonaisuutta.

Missä määrin Suomen informaatiosektori on riippuvainen ulkomaisista panoksista?

Tässä osassa analysoidaan, miten informaatiosektorin eri toimialat ja toimialojen eri yritykset ovat riippuvaisia ulkoisten resurssien käytöstä. Ulkoisilla resursseilla tarkoitetaan toimialan kaikkia hankintoja ja niiden osuutta toimialan liikevaihdosta. Lisäksi analysoimme, kuinka paljon informaatiosektorin hankinnoista tehdään ulkomailta suhteessa kotimaisiin hankintoihin.²⁴

Keskimäärin 48 % informaatiosektorin liikevaihdosta on informaatiosektorilla toimivien yritysten niiden omil-

la resursseilla tuottamaa liikevaihtoa eli yritysten omaa jalostusarvoa. Informaatiosektorin hankintojen määrä (ulkoisten resurssien käyttö) on taas vastaavasti keskimäärin 52 % informaatiosektorin liikevaihdosta. Kuten seuraavan sivun taulukko 5 kuvaa, informaatiosektorin sisällä on pientä toimialakohtaista vaihtelua vaihteluvälillä ollessa +-8 %. Sama vaihteluväli toistuu myös hankintojen osalta.

Informaatiosektorin suorista hankinnoista keskimäärin 29 % tulee ulkomailta ja 71 % Suomesta (taulukko 6 seuraavalla sivulla). Arvoketjuanalyysimenetelmällä emme kuitenkaan pysty arvioimaan sitä, kuinka paljon suomalaisista ensimmäisen portaan toimittajista on ns. välikäisiä, jotka ohjaavat palvelutarjonnan hankittavaksi ulkomailta. Tämän ymmärtämiseksi tarvittaisiin tietoja siitä, miten ensimmäisen toimittajaportaan hankinnat suuntautuvat kotimaahan ja ulkomaille. Tässä esitelty analyysi ja tulokset eivät myöskään huomioi sitä, jos suomalainen kuluttaja hankkii palveluita suoraan ulkomaisilta toimijoilta.²⁵ Lisäksi analyysimme tämä osa ei huomioi informaatiosektorin energian- ja sähkönkulutukseen liittyviä asioita, koska käytössä olevien aineistojen yksityiskoh- taisuus ei siihen riitä.

Taulukko 5 Informaatiosektorin eri toimialojen oma jalostusarvo ja hankinnat, %-osuus toimialan liikevaihdosta

Informaatiosektori (tämä tarkastelu)	Jalostusarvo, % liikevaihdosta	Hankinnat, % liikevaihdosta
26 Elektroniikkateollisuus	40	60
61 Televiestintä	43	57
62-63 Tietojenkäsittelypalvelu	49	51
58 Kustannustoiminta	50	50
59-60 Audiovisuaalinen toiminta	56	44

Lähde: Panos-tuotos-tilastojen tuonnin käyttötaulu ja käyttötaulun perushinta (Tilastokeskus). Etlan laskelmat.

Taulukko 6 Informaatiosektorin eri toimialojen omat suorat ostot ulkomailta ja kotimaasta, %-osuus toimialan hankinnoista

Informaatiosektori (tämä tarkastelu)	Hankinnat ulkomailta, % kaikista suorista ostoista	Hankinnat kotimaasta, % kaikista suorista ostoista
26 Elektroniikkateollisuus	53	47
61 Televiestintä	34	66
62-63 Tietojenkäsittelypalvelu	24	76
58 Kustannustoiminta	15	85
59-60 Audiovisuaalinen toiminta	20	80

Lähde: Panos-tuotos-tilastojen tuonnin käyttötaulu ja käyttötaulun perushinta (Tilastokeskus). Etlan laskelmat.

Kuvio 7 AWS-yhtiöiden datakeskukset

Lähde: <https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/> (haettu 26.5.2020).

Case Amazon Web Services (AWS) – Informaatiosektorin palvelut ulkoistettu Suomesta

AWS-yhtiöiden liikevaihto ja jalostusarvo on Suomessa erittäin pieni. Esimerkiksi vuonna 2018 Amazon Data Services Finland Oy:n liikevaihto Suomessa oli 2,85 M€. Kuinka moni suomalaisista yrityksistä tekee hankintoja Amazon Data Services Finland Oy:ltä? Vai onko suomalaisten yritysten sopimuskumppani joku AWS-yhtiöiden ulkomaisista tytäryhtiöistä? Tämän hahmottamiseksi meidän tulisi ymmärtää yritysten sopimisen tapoja. Näin syntyisi käsitys siitä, miten ICT-jätit siirtohinnoittelevat sisäiset digitaaliset palvelunsa konsernin sisällä. Amazonin datakeskukset on kuvattu kuviossa 7.

5 Informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä – Case Eurooppa

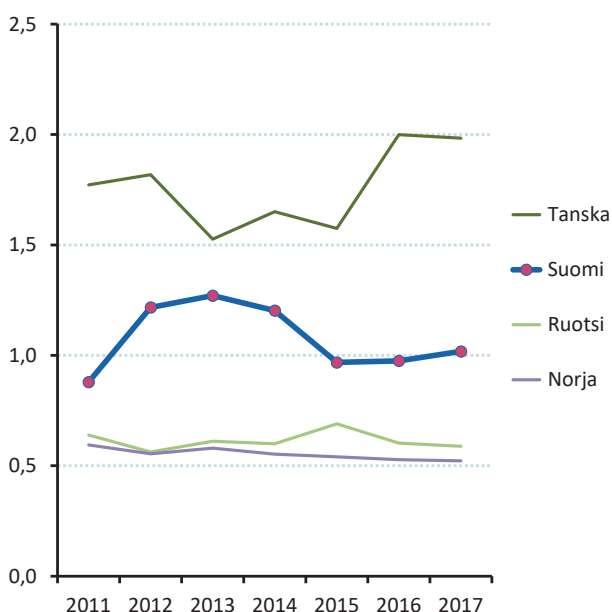
Tässä tutkimuksessa käytetty informaatiosektorin määritelmä ja Eurostatin aineistot yhdessä mahdollistavat

eurooppatasoisen vertailun informaatiosektorin energian- ja sähkönkäytöstä. Kuvaamme analyysin tulokset seuraavaksi.

Kuvioissa 8 ja 9 on esitetty informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä Pohjoismaissa ja niissä Euroopan maissa, joille tiedot ovat saatavilla vuosilta 2011–2017.²⁶ Loppuille EU28-maille sähkönkulutusta koskevat tiedot ovat saatavilla alkaen vuodesta 2014. Kuvioissa 10 ja 11 on esitetty informaatiosektorin osuus sähkönkulutuksesta laajemmalle maajoukolle ja EU28-maiden keskiarvolle vuosina 2014–2017.

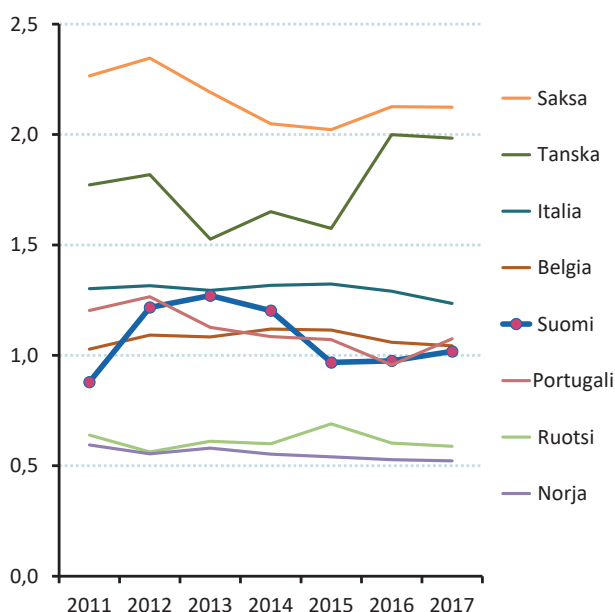
Suomen informaatiosektorin sähkönkäyttö sijoittuu pohjoismaisessa vertailussa keskivaiheille ajanjaksolla 2011–2017. Suomen informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä vuonna 2017 (1,0 %) on korkeampi kuin Ruotsissa (0,6 %) tai Norjassa (0,5 %) mutta alhaisempi kuin Tanskassa (2,0 %) (kuvio 8). Muiden Euroopan maiden osalta Saksan informaatiosektorin sähkönkäytön osuus (2,1 %) on Tanskaa korkeampi vuonna 2017 ja koko tarkasteluajanjakson ajan, vaikka erot ovatkin kaventuneet (kuvio 9). Belgia (1,0 %), Italia (1,2 %) ja Portugali (1,1 %) asettuvat keskijoukkoon Suomen tuntumaan.

Kuvio 8 Informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä Pohjoismaissa 2011–2017, %



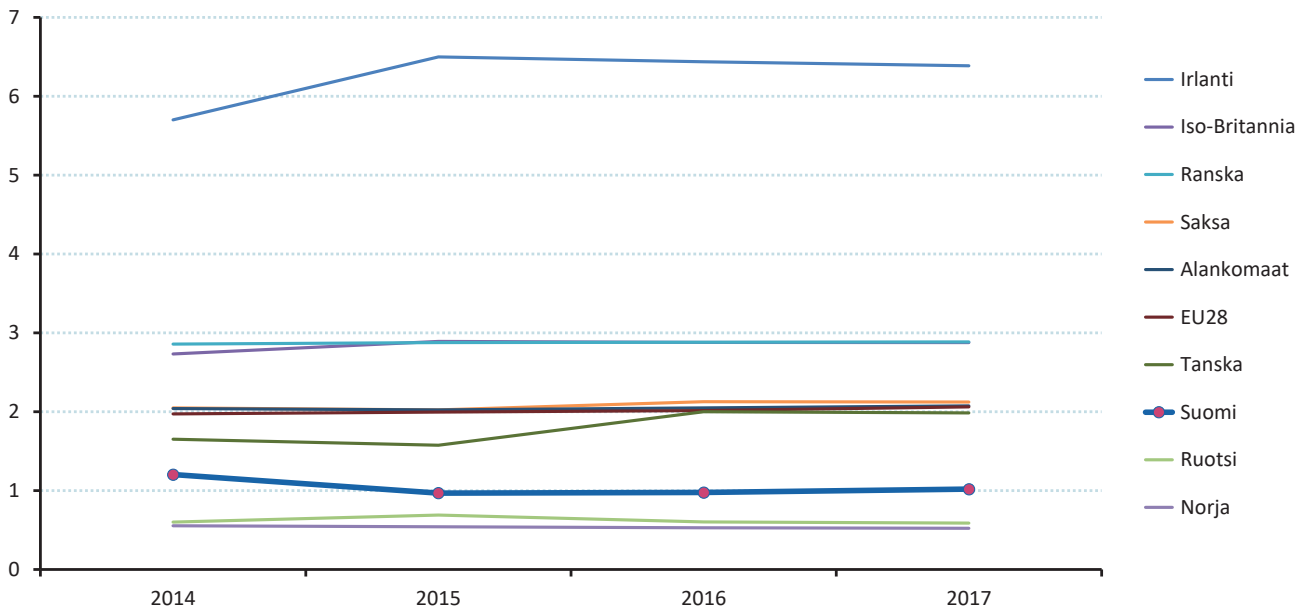
Lähteet: Eurostat. Etlan laskelmat.

Kuvio 9 Informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä Euroopan maissa 2011–2017, %



Lähteet: Eurostat. Etlan laskelmat.

Kuvio 10 Informaatiosektorin osuus sähkökäytöstä Euroopan maissa 2014–2017, %

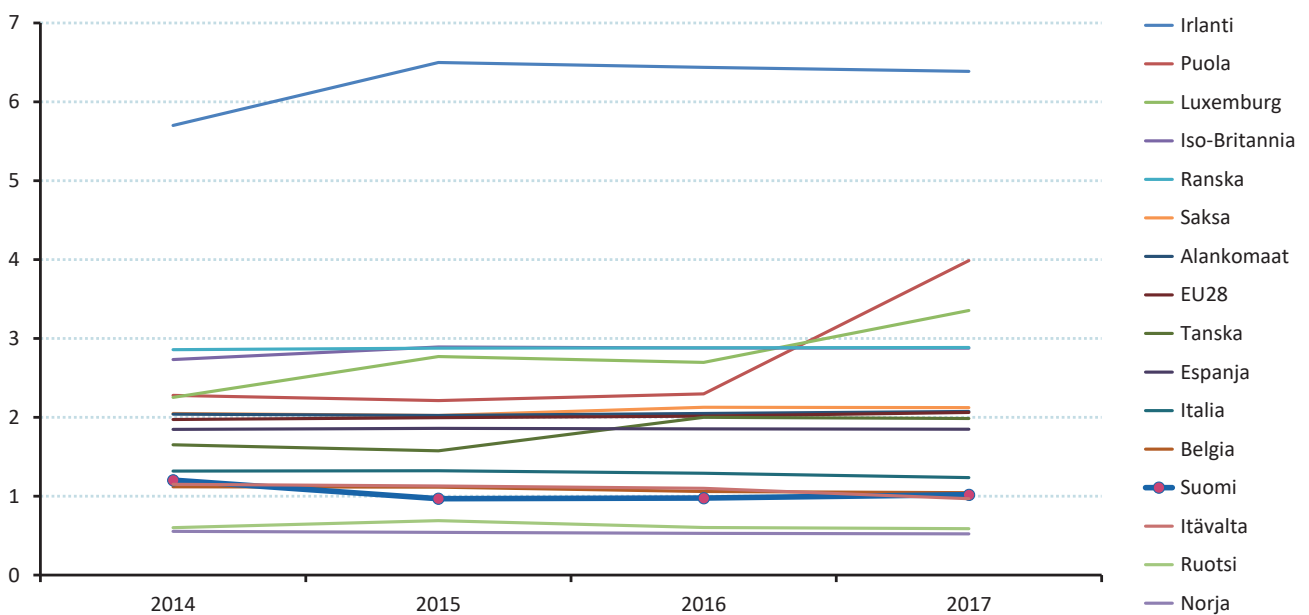


Lähteet: Eurostat. Etlan laskelmat.

Kattavamman EU28-maajoukon tarkastelussa vuosilta 2014–2017 voidaan havaita, että informaatiosektorin osuus sähkönkulutuksesta on selvästi suurin Irlannissa,

6,4 % vuonna 2017 (kuvio 10). Suurista Euroopan maista lähelle kolmen prosentin osuutta nousevat Iso-Britannia (2,9 %) ja Ranska (2,9 %). Alankomaissa,

Kuvio 11 Informaatiosektorin osuus sähkökäytöstä Euroopan maissa 2014–2017, %



Lähteet: Eurostat. Etlan laskelmat.

Saksassa ja EU28-maissa keskimäärin informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä on kahden prosentin tuntumassa koko tarkasteluajanjaksolla.

Vuoden 2017 tilastojen perusteella Puolan informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä on noussut neljään prosenttiin (ks. kuvio 11). Luxemburgin informaatiosektorin sähkönkäytön osuus on niin ikään kasvanut: vuonna 2017 informaatiosektorin osuus sähkönkäytöstä oli 3,4 %. Espanjassa informaatiosektorin sähkönkäytön osuus on pysytellyt lähellä kahta prosenttia koko tarkasteluajanjakson, ja kyseinen osuus oli 1,8 % vuonna 2017. Itävalta sijoittuu Suomen tuntumaan noin prosentin sähkönkäytön osuudellaan.

Laajemmin ajateltuna pystymme muodostamaan nykyaikaisella hyvän kuvan informaatiosektorin energian- ja sähkönkäytöstä. Julkisiin tilastoihin pohjautuva analyysi eri energiamuotojen kulutuksesta ja sähkönkäytön kasvusta on laajennettavissa kattamaan kaikki eri toimialat. Lisäksi eurooppatasoinen toimialavertailu avoimilla tilastoilla on mahdollista.

6 Tulokset, politiikkasuositukset ja johtopäätökset

IP-liikenteen kokonaiskasvu on ollut globaalisti merkittävää. Kuluttajien osuus globaalista IP-liikenteestä on 84 % ja Euroopan osuus kuluttajien globaalista vuosittaisesta IP-liikenteestä on n. 22 %. Cisco (2019) mittaa IP-liikenteen määrää exobitteinä/kuukausi. Ciscon raportissa ennustetaan, että mobiili IP-liikenne kasvaa Euroopassa keskimäärin 41 % vuodessa seuraavan viiden vuoden ajan. Suurin kasvu tapahtuu Aasiassa. (Cisco, 2019.)

Datankäytön ennakoidaan Suomessa jatkossa kasvavan. Tämä pitää sisällään sekä kiinteän verkon datan että mobiilidatan. Suomessa mobiilidatan osuus datan kokonaiskäytöstä on noin 29 % (Finnet, 2019). Mobiilidatan suhteellinen osuus suhteessa kiinteän verkon dataan kasvaa Suomessa verrokkimaita nopeammin (OECD, 2018). Näemme, että verrokkimaita kovempaan mobiilidatan määrään kasvuun liittyy kaksi pääsyä: 1) kuluttajille tar-

jolla olevat rajattomat dataliittymät ja 2) Suomen vahva rooli mobiiliteknologioiden kehittäjänä.

Suomen informaatiosektorin energiankäyttö koostuu kolmesta energialähteestä, joita ovat polttoaineet, sähkö ja lämpö. Näistä sähkönkäyttö edustaa 68,7 % koko informaatiosektorin energiankäytöstä. Informaatiosektorin sähkönkäytön osuus koko Suomen sähkönkäytöstä oli 1,0 % vuonna 2017. Etlan informaatiosektorin määritelmän mukaisesti energiankäytön kokonaiskasvu on ollut 5,4 % ja sähkönkäytön kasvu 13,9 % ajanjaksolla 2011–2017. Kun datankäyttö on kasvanut Suomessa vuosittain noin 43 %, informaatiosektorin energian- ja sähkönkäyttö ovat kasvaneet vuosittain 0,9 % ja 2,2 %. ICT-alan energian- ja sähkönkulutus tulee tutkimuksemme mukaan jatkamaan kasvuaan, ellei alan energiatehokkuus (esimerkiksi datakeskusten PUE-arvo) parane kasvun hillitsemiseksi ja päästöjen vähentämiseksi.

Mobiilidatan kasvu ei suoraan viittaa kuluttajien muiden sähkölaitteiden sähkönkulutuksen kasvuun. Näihin laitteisiin kuuluvat mm. TV, tietokoneet, tabletit ja puhelimet kuuluvat. Vaikka mobiilidatan käyttö on kasvanut vuosittain noin 72 %, kuluttajien muiden sähkölaitteiden sähkönkulutuksen kasvu on jäänyt 2,4 %:iin. Tuloksissa on huomioitava, että merkittävä osa kuluttajien dataliikenteen kokonaiskasvusta tulee kiinteän verkon IP-liikenteestä.

Raportoitujen ennusteiden pohjalta Yhdysvalloista voimme kuitenkin todeta, että päätelaitteiden osuus muiden sähkölaitteiden sähkönkulutuksesta on pienenemässä (EIA, 2020). Suomesta tutkimustietoa ei löydy vuoden 2013 jälkeen. On myös huomioitava, että kuluttajat lataavat päätelaitteitaan muualla kuin kotonaan. Laajemmin ajateltuna kuluttajien mobiilidatan lisääntynyt käyttö ei suoraan näy kuluttajien sähkönkäytön kasvussa kotona.

Informaatiosektorin yritykset tuottavat omilla resursseillaan 48 % informaatiosektorin liikevaihdosta. Loput 52 % ovat suoria hankintoja muilta yrityksiltä. Hankinnat jakautuvat edelleen suoriin hankintoihin Suomesta ja ulkomailta. Ulkomailta tulevat suorat hankinnat informaatiosektorille ovat 29 % toimialan koko liikevaihdosta. Analyysiin perustuen voimme esittää arvion, että vähintään 29 % suomalaisesta dataan liittyvästä kuluttajakäyttäytymisestä on ulkoistettu Suomen rajojen ulkopuolelle. Tässä luvussa on kuitenkin huomioitu ainoastaan

kuluttajien Suomesta ostamat palvelut Suomeen rekisteröityneiltä yrityksiltä. Kuluttaja voi siis ostaa palveluita suoraan ulkomaisilta palveluntuottajilta. Tosiasiassa ulkomaiden osuus on siis suurempi.

Raporttimme osittain kumoo kirjallisuudessa ja julkisuudessa aiemmin esitetyt tulokset (vertaa toteutuneen sähkönkulutuksen ja -kasvun osalta Andrea & Edler, 2015; sähkönkulutuksen laskun osalta Malmodin & Lundén, 2018). Informaatiosektorin sähkönkäyttö on kasvanut Suomessa vuosittain noin kaksi prosenttia aikavälillä 2011–2017. Julkisiin tilastoihin pohjautuva analyysi eri energiamuotojen kulutuksesta ja sähkönkäytön kasvusta on laajennettavissa kattamaan kaikki eri toimialat.

Tämän tutkimuksen keskeiset politiikkasuositukset ovat seuraavat:

Vaikka OECD:llä ja Euroopan mailla on yhteinen määritelmä informaatiosektorille, sitä harvoin hyödynnetään varsinaisessa informaatiosektorin mittaamisessa, tilastoinnissa, raportoinnissa ja tutkimuksessa. OECD:n määritelmän mukaisesti informaatiosektoriin kuuluvat ICT-sektori (tavaratuotanto ja palvelutuotanto) ja sisälöntuotanto. Määritelmä perustuu YK:n toimialaluokituksen ISIC Rev. 4:n toimialoihin. Suosittelemme OECD:n määritelmän käyttöönottoa niin Suomessa kuin Euroopan unionin muissa jäsenmaissa, jotta globaali vertailu informaatiosektorin keskeisistä tunnusluvuista olisi mahdollista.

Tilastokeskus Suomessa ja Eurostat Euroopan laajuisesti voisivat toimia informaatiosektorin keskeisten mittausten ja tilastojen ylläpitäjinä. Toisaalta yksittäisiä mittareita – kuten energiankäyttöä – voisivat myös ylläpitää Fingridin, Motivan tai Energiategollisuuden kaltaiset toimijat. Kyseiset toimijat voisivat ylläpitää OECD:n informaatiosektorin määritelmän mukaisia, energian- ja sähkönkäytön sekä muiden keskeisten resurssien mittareita ja vuosittaisia/neljännesvuosittaisia tilastoja.

Laajemmin ajateltuna yritys- ja maataso ei ole riittävä tarkastelutaso ymmärtää energian- ja sähkönkulutusta, hiilineutraalisuutta ja muita keskeisiä informaatiosektorin sisäisten ja ulkoisten resurssien käyttöjä. Sen sijaan toimitus- ja arvoketjutarkastelu antaa paremman ymmärryksen yritysten ja maan resurssien käytöstä sekä toimialan hiilineutraalisuudesta ottaen huomioon myös linkit muihin toimitaloihin. Toimitus- ja arvoketjutarkastelun

avulla pystyttäisiin ymmärtämään tuotanto- ja kuluttajakäyttäytymisen vaikutuksia myös muihin maihin. Näin saataisiin parempi käsitys esimerkiksi siitä, kuinka paljon datan kuluttajakäyttäytymisestä on ulkoistettu Suomen rajojen ulkopuolelle. Mikä on tuotannon ja palveluiden jalostusarvon jakautumisen maantiede? Entä miten resurssit jakautuvat eri maihin ja maanosiin?

Tällä hetkellä julkinen informaatio yksityisistä datacentereistä on lähes olematonta. Julkista informaatiota löytyy ainoastaan yli 5 MW datacentereiden ympäristöluvista. Monet teollisuus- ja palveluyritykset omistavat edelleen omia datasaleja. Näitä tietoja ei ole toistaiseksi julkisesti saatavilla. Lisäksi julkisen toimijan datacenterit liittyvät hyvin usein Suomen digitaaliseen huoltovarmuuteen, jonka vuoksi tietoja niistä ei ole tarpeellista kertoa ulkopuolisille. Suosittelemme, että julkinen toimija ja yritykset yhdessä sopisivat joustavat raportointikäytännöt myös pienempien, esimerkiksi >1 MW -kokoluokan datacentereiden osalta.

Aineistoon liittyvät rajoitteet

Tutkimuksen rajoitteet liittyvät raportissa hyödynnettyihin aineistoihin. Nämä perustuvat OECD:n informaatiosektorin määritelmästä johdettuun Etlan informaatiosektorin määritelmään, joka pohjautuu kaksinumerotason toimialaluokitukseen (TOL 2008). Yksityiskohtaisemmat nelinumerotason toimialaluokituksen mukaiset aineistot eivät ole tutkijoille toistaiseksi avoimesti käytettävissä Tilastokeskuksen tai Eurostatin verkkosivujen kautta. Nelinumerotason toimialaluokituksen avoimet aineistot, OECD:n määritelmän mukaisesti, mahdollistaisivat tarkemmat ja yksityiskohtaisemmat laskelmat informaatiosektorin energian- ja sähkönkäytöstä. Suosittelemme julkiselle toimijalle tai muulle tutkimuslaitokselle, jolla on pääsy aineistoihin, OECD:n määritelmän mukaisen analyysin toteuttamista nelinumerotason toimialaluokitusaineistoilla.

Tulevaisuuden tutkimus

Uusien digitaalisten teknologioiden käyttö etenee monella rintamalla usealla eri alalla. Sähkön hyödyntäminen autojen ”polttoaineena” yleistyy, datan ja algoritmien hyödyntäminen tuotekehityksessä sekä eri resurssien op-

timoinnissa kasvaa. Myös päätöksenteko automatisoituu. Digitaalisia teknologioita sovelletaan siis yhteiskunnan eri toiminnoissa yhä laajemmin. Nykykehitys esimerkiksi algoritmien osalta antaa ymmärtää, että näköpiirissä olevat digitaaliset teknologiat ovat yhä enemmän energia- ja sähköintensiivisempiä. Erityisesti energia- ja sähköintensiivisyyttä tulisikin ymmärtää tarkemmin niin henkilökohtaisen kulutuksen kuin teollisuuden ja julkisen toimijankin näkökulmista. Aivan samalla tavalla, kun vaadimme, että jokaiselle investoinnille on liiketaloudelliset perusteet, tulisi investointeja arvioida myös kestävä kehityksen ja digitaalisen ekologian näkökulmista.

Viitteet

- 1 Toimialaluokituksella tarkoitetaan taloudellista toimintaa harjoittavan yrityksen tai ammatinharjoittajan pääasiallisen toiminnan perusteella määrytyvää elinkeinoluokkaa.
- 2 Internet Protocol (IP) on pakettikytkentäisen Internet-verkon tiedonsiirtokerroksen perusprotokolla eli yhteyskäytäntö, joka yhdistää verkkoon liitetyt laitteet ja palvelimet toisiinsa. Käytännössä voidaan sanoa, että kaikki Internet-liikenne on IP-liikennettä.
- 3 IP mahdollistaa hyvin monipuolisia sovelluksia. Suosituimpia sovelluksia Internetissä ovat mm. World Wide Web (www), sähköposti, verkkopelit, laitteiden etäkäyttö, IP-puhe (engl. voice over Internet protocol) ja muu kommunikaatio sekä neuvottelusovellukset.
- 4 On esitetty väitteitä, että IP-liikenteen kasvulla on vaikutuksia informaatiosektorin energian- ja sähkönkäytön kasvuun. IP-liikenteen kasvu kuvaa internettiin kiinnitettävien laitteiden, ohjelmistojen ja datan määrän kasvua.
- 5 IP-liikenne sisältää dataliikenteen runko- ja liityntäverkossa. Runkoverkolla (engl. wide area network, WAN) tarkoitetaan teleoperaattoreiden verkkoja ja sekä teleoperaattoreiden ja palvelinkeskusten välisiä yhteyksiä. Liityntäverkko (engl. access network, subscriber network) on se osa verkkoa, jolla loppukäyttäjät liittyvät oman teleoperaattorinsa liityntäpisteeseen.
- 6 Tämä luku ei sisällä muiden toimialojen sähkönkäyttöä, joka liittyy ICT-verkkojen ja -laitteiden käyttöön ja ylläpitoon. Myös kuluttajien päätelaitteiden sähkönkäyttö kotona on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.
- 7 Tämän lisäksi kyseisestä määritelmästä on jätetty pois tallennusvälineiden valmistus.
- 8 Tässä raportissa emme keskity informaatiosektorin hiilidioksidipäästöjen arviointiin, mutta tiedostamme asian tärkeyden osana laajempaa kuvaa informaatiosektorista, energiankäytöstä ja päästöistä.
- 9 Esineiden internetiä (engl. Internet of Things, IoT) koskeva keskustelu sai alkunsa vuosien 2008 ja 2009 vaihteessa. Samoihin aikoihin vuonna 2008 alkoi laajempi keskustelu yritysten siirtymisestä pilvipalveluarkkitehtuurin käyttäjiksi. Teollisen IoT:n osalta keskustelu voimistui 2012, kun yhdysvaltalainen suuryritys General Electric julkaisi niin sanotun valkoisen paperin teollisuuden IoT:sta.
- 10 Applen (iPhone / App Store) ja Googlen (Android phone & market) sovelluskaupat avattiin vuonna 2008. Vuonna 2010 sekä Applen että Googlen sovelluskaupat olivat laajentuneet ensin Eurooppaan, jonka jälkeen globaaliksi. Aasiassa, lähinnä Kiinassa, IP-liikenteen kasvu lähti varsinaisesti kasvuun vuonna 2012, kun Kiinan markkinoille syntyi omia sovelluskauppoja, joita tänä päivänä on yli sata.
- 11 IP-liikenteen prosentuaalisissa jaossa saattaa tosin olla maakohtaisia vaihteluita.
- 12 OECD (2018).
- 13 Mikäli kaksinumeroitason toimialaluokat Tukkukauppa (pl. moottoriajoneuvojen ja moottoripyörien kauppa) (TOL 46) ja Tietokoneiden, henkilökohtaisten ja kotitaloustavaroiden korjaus (TOL 95) sisällytettäisiin tarkasteluun, osuus vuoden 2017 sähkönkäytöstä nousisi 2,2-kertaiseksi johtuen yksinomaan tukkukaupan sähkönkäytöstä. Kyseinen tarkastelutaso ei kuitenkaan mahdollista informaatiosektorin tukkukaupan erottelemista muusta tukkukaupasta.
- 14 Tämä luku ei sisällä muiden toimialojen sähkönkäyttöä, joka liittyy ICT-verkkojen ja -laitteiden käyttöön ja ylläpitoon.
- 15 Tämä luku ei pidä sisällään arviota, joka liittyy kuluttajan päätelaitteiden lataamiseen kodin ulkopuolella.
- 16 Adato Energia Oy:n (2013) mukaan tietokoneiden ja lisälaitteiden sähkönkulutus vuonna 2011 oli 848 GWh ja asuntojen sähkönkulutus yhteensä oli 19 237 GWh. Kyseiset tiedot eivät ole identtiset Tilastokeskuksen asumisen energiankulutusta koskevien tilastojen kanssa huolimatta samoista luokittelukäsitteistä.
- 17 <https://cloudscene.com/> (tieto haettu 11.5.2020).
- 18 https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=1975501 (haettu 25.5.2020).
- 19 http://www.avi.fi/documents/10191/56820/esavi_paatost_16-10-1_2010-05-11.pdf (haettu 25.5.2020).
- 20 https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVApaatokset?f=KaakkoisSuomen_ELYkeskus (haettu 25.5.2020).
- 21 https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=3779203 (haettu 25.5.2020).
- 22 https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=1772547 (haettu 25.5.2020).
- 23 https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=6899060 (haettu 25.5.2020).
- 24 Tutkimusaineisto ja menetelmät ovat tässä osassa samat kuin julkaisussa Ali-Yrkkö & Kuusi (2020).
- 25 ETLA on tutkinut digitaalisia palveluita arvoketjuanalyysimenetelmällä vuonna 2014. Katso lisää Kalm ym., 2014.
- 26 Kunkin maan osalta tarkasteluissa on esitetty informaatiosektoriin kuuluvien toimialaluokkien 26, 58, 59–60, 61 ja 62–63 sähkönkäytön osuus sähkön kokonaiskäytöstä talouden kaikilla sektoreilla (Energy flows over all activities) Eurostatin tilastoihin (Physical energy flow accounts) pohjautuen.

Kirjallisuus

Adato Energia Oy (2013). Kotitalouksien sähkökäyttö 2011 – Tutkimusraportti 26.2.2013.

Aebischer, B. & Hilty, L.M. (2015). The energy demand of ICT: a historical perspective and current methodological challenges. *ICT Innovations for Sustainability*. Springer.

Ali-Yrkkö, J. & Kuusi, T. (2020). Korona-sokki talouteen – Missä määrin Suomi on riippuvainen ulkomaista arvo-etuista?, Etna Muistio No. 87.

Andrae, A. & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030, *Challenges*, Vol. 6.

Belkhir, L. & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT Global Emissions Footprint: Trends to 2040 & Recommendations. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 177.

Bertoldi, P, Avgerinou, M. & Castellazzi, L. (2017). Trends in data centre energy consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency, European Commission’s Joint Research Centre.

Cloudscene (2020). <https://cloudscene.com/> (tieto haettu 11.5.2020).

Cisco (2008). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2008–2013. https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/docs/whitepaper_VNI_06_09.pdf (haettu 28.5.2020).

Cisco (2012). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011–2016. <http://tmfassociates.com/blog/wp-content/uploads/2013/02/Cisco-mobile-VNI-Feb-2012.pdf> (haettu 28.5.2020).

Cisco (2019). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022. <https://s3.amazonaws.com/media.mediapost.com/uploads/CiscoForecast.pdf> (haettu 28.5.2020).

Coroama, V. & Mattern, F. (2019). Digital Rebound – Why Digitalization Will not Redeem us our Environmental Sins. Proceedings of the 6th International Conference on ICT for Sustainability, Lappeenranta, Finland, June 10–14, 2019.

Court, V. & Sorrell, S. (2020). Digitalisation of goods: a systematic review of the determinants and magnitude of the impacts on energy consumption. *Environmental Research Letters*, Vol 15.

Deloitte & Franhofer IZM (2016). Bio by Deloitte, & Fraunhofer IZM: Ecodesign Preparatory Study on Enterprise Servers and Data Equipment.

EIA (2020). Annual Energy Outlook 2020. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/> (haettu 26.5.2020).

Eyupoglu, C. & Ali Aydinb, M. (2015). Energy Efficiency in Backbone Networks, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 195.

Finnet (2019). VALOR-analyysi, Finnet PowerPoint-esitys (28.2.2020).

Google (2019). Google Environmental Report 2019. <https://sustainability.google/reports/environmental-report-2019/> (haettu 25.5.2020).

Google (2020). <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/> (haettu 22.5.2020).

Hintemann, R. (2019a). Efficiency gains are not enough: Data center energy consumption to rise significantly. *Bordership Institute for Innovation and Sustainability*.

Hintemann, R. (2019b). Energy demand of cloud computing, development and trends: Data center energy demand. EU Workshop on research and technological development (R&TD) of energy efficiency in cloud computing, 10-Sept-2019.

Hintemann, R. & Clausen, J. (2018). Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb. Berlin. Verfügbar unter.

Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2019). Energy Consumption of Data Centers Worldwide – How will the Internet become Green. Proceedings of the 6th International Conference of ICT for Sustainability, Lappeenranta, Finland, June 10–14, 2019.

Hoang, A., Do, P. & Iung, B. (2014). Integrating Energy Efficiency-based Prognostic Approaches into Energy Management Systems of Base Stations. 2014 IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC).

IBM (2018). IBM and the Environment Report. <https://www.ibm.com/ibm/environment/> (haettu 25.5.2020).

ITU (2018). Measuring the Information Society Report 2018 – Volume 1. ITU Publications.

Kalm, M., Seppälä, T. & Ali-Yrkkö, J. (2014). Who Captures Value in Digital Services, ETLA Brief No. 27.

Kander, A., Malanima, P. & Warde, P. (2013). Power to the People: Energy in Europe Over the Last Five Centuries (Princeton, NJ: Princeton University Press).

Koomey, J., Berard, S., Sanchez, M. & Wong, H. (2011). Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing. IEEE Annals of the History of Computing, Vol. 33, No. 3.

Koomey, J. (2011). Growth in Data Center Electricity use 2005 to 2010, Oakland, CA Anal. Press. August, pp. 1–24.

Lane, R., Follett, K. & Lindsay, J. (2018). Unsustainable trajectories of domestic information technology use in Australia: Exploring diversity and the life course. The Geographical Journal. Vol 184, Iss. 4, pp. 357–368.

Malmodin, J. & Lundén, D. (2018). The energy and carbon footprint of the global ICT and E&M sectors 2010–2015. Sustainability, Vol. 10, Iss. 9, p. 3027.

Mas, M., Robledo, J. C. & Pérez, J. (2012). ICT Sector Definition Transition from NACE Rev. 1.1 to NACE Rev. 2: A Methodological Note. JRC Technical Reports. Joint Research Centre, European Commission.

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. Science, Vol. 367, pp. 984–986.

Morley, J., Widdicks, K. & Hazas, M. (2018). Digitalisation, energy and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption, Energy Research & Social Science, Vol. 38.

OECD (2011). OECD Guide to Measuring the Information Society 2011. OECD Publishing.

OECD (2018). Broadband Portal. <http://www.oecd.org/sti/broadband/1.13-MobileDataUsage-2018-12.xls>.

Perez, C. (2013). Unleashing a golden age after the financial collapse: drawing lessons from history, Environmental Innovation and Societal Transitions. Vol 6, pp. 9–23.

Pihkola, H., Hongisto, M., Apilo, O. & Lasanen, M. (2018). Evaluating the Energy Consumption of Mobile Data Transfer – From Technology Development to Consumer Behaviour and Life Cycle Thinking, Sustainability, Vol. 10.

Prakash, S., Baron, Y., Ran, L., Proske, M. & Schlöser, A. (2014) Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis, European Commission, Brussels, Studie.

Shehabi, A., Walker, B. & Masanet, E. (2014). The energy and greenhouse-gas implications of internet video streaming in the United States. Environmental Research Letters, Vol. 9.

Telia (2017). Building Digital Future – Telia Helsinki Data Center. <https://www.telia.fi/business/telia-helsinki-data-center> (haettu 25.5.2020).

Tilastokeskus (2020). <https://www.stat.fi/meta/kas/informaatiosekt.html> (haettu 29.5.2020).

Uptime Institute (2019). Annual Data Center Survey Results. <https://uptimeinstitute.com/2019-data-center-industry-survey-results> (haettu 25.5.2020).

Van Heddeghem, W., Lambert, S., Lannoo, B., Colle, D., Pickavet, M. & Demeester, P. (2014). Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012, Computer Communication.

Widdicks, K., Bates, O., Hazas, M., Friday, A. & Beresford, A. (2017). Demand around the clock: time use and data demand of mobile devices in everyday life. ACM 2017 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2017).

Widdicks, K., Hazas, M., Bates, O. & Friday, A. (2019). Streaming, Multi-Screens, and YouTube: The New (Unsustainable) Ways of Watching in the Home. Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.

Widdicks, K. & Pargman, D. (2019). Breaking the Cornucopian Paradigm: Towards Moderate Internet Use in Everyday Life. Proceedings of the Fifth Workshop on Computing with Limits, pp. 1–8.

Williams, E. (2011). Environmental effects of information and communications technologies, Nature, Vol 479, pp. 354–358.

Yandex (2018). Redefining Sustainability in the Data Centre Sector. <https://www.gigabitmagazine.com/brochure/26382> (haettu 25.5.2020).

ETLA



Elinkeinoelämän tutkimuslaitos

ETLA Economic Research

ISSN-L 2323-2447,
ISSN 2323-2447,
ISSN 2323-2455 (Pdf)

Kustantaja: Taloustieto Oy

Puh. 09-609 900
www.etla.fi
etunimi.sukunimi@etla.fi

Arkadiankatu 23 B
00100 Helsinki
