



ICT:n rooli kasvihuonepäästöjen vähentämisessä energia-alalla

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:11

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:11

ICT:n rooli kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä energia-alalla

Mikko Hongisto, Tiina Koljonen, Kari Mäki, Göran Koreneff, Miika Rämä, Heikki Ailisto, Suvisanna Correia

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Liikenne- ja viestintäministeriö

ISBN PDF: 978-952-243-609-2

Helsinki 2020

Kuvailulehti

Julkaisija	Liikenne- ja viestintäministeriö	11.8.2020	
Tekijät	Tiina Koljonen, Mikko Hongisto, Kari Mäki, Miika Rämä, Göran Koreneff, Heikki Ailisto, Suvisanna Correia		
Julkaisun nimi	ICT:n rooli kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä energia-alalla		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2020:11		
Diaari/hankenumero	VN/8054/2019	Teema	
ISBN PDF	978-952-243-609-2	ISSN PDF	1795-4045
URN-osoite	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-609-2		
Sivumäärä	70	Kieli	suomi
Asiasanat	tieto- ja viestintäteknikka-ala, ilmastovaikutukset, energia-ala, kasvihuonekaasut		
Tiivistelmä	<p>Liikenne- ja viestintäministeriö tilasi tämän selvityksen tieto- ja viestintäteknologia-alan ilmasto- ja ympäristöstrategian valmistelun tueksi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä. Raportissa on esitetty arvioita ICT:n merkityksestä kasvihuonekaasu (KHK) -päästöjen vähentämisessä energia-alalla perustuen kirjallisuuteen, valikoituihin yritys- ja tapaustarkasteluesimerkkeihin sekä ekosysteemi- ja pilot-hankkeissa saatuihin tuloksiin. Tarkastelut on pääosin laadittu Suomen näkökulmasta ja esimerkkilaskelmat perustuvat Suomen energiajärjestelmän ja KHK-päästöjen nykytilanteeseen.</p> <p>ICT on energia-alalla ratkaisevassa roolissa siirryttäessä kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa mahdollistaen mm. laajamittaisen uusiutuvan energian käytön ja lisäämällä energiajärjestelmän energiatehokkuutta. Energia-alan digitalisaatio toimii merkittävänä KHK-päästövähennysten mahdollistajana ja välilliset päästövähennysvaikutukset voivat kohota todella suuriksi. Lisäksi ICT:n avulla voidaan edistää päästövähennyksiä lisäämällä kuluttajien tietoisuutta erilaisten sovelluksien avulla. ICT on myös energian kuluttaja, joka tuottaa epäsuoria KHK-päästöjä. ICT:n epäsuorien päästövaikutusten arviointi on haastavaa ja vaatisi eri arviointimenetelmien kehittämistä ja testausta tapaustarkasteluin.</p>		
Kustantaja	Liikenne- ja viestintäministeriö		
Julkaisun myynti/jakaja	Sähköinen versio: julkaisut.valtioneuvosto.fi Julkaisumyynti: vnjulkaisumyynti.fi		

Presentationsblad

Utgivare	Kommunikationsministeriet	11.8.2020	
Författare	Tiina Koljonen, Mikko Hongisto, Kari Mäki, Miika Rämä, Göran Koreneff, Heikki Ailisto, Suvisanna Correia		
Publikationens titel	Informations- och kommunikationsteknikens roll i att minska utsläppen av växthusgaser inom energisektorn		
Publikationsseriens namn och nummer	Kommunikationsministeriets publikationer 2020:11		
Diarie- /projektnummer	VN/8054/2019	Tema	
ISBN PDF	978-952-243-609-2	ISSN PDF	1795-4045
URN-adress	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-609-2		
Sidantal	70	Språk	finska
Nyckelord	informations- och kommunikationstekniksektorn, klimatpåverkan, energisektorn, växthusgaser		
Referat	<p>Kommunikationsministeriet har beställt den här utredningen från Teknologiska forskningscentralen VTT Ab. Syftet är att utredningen ska stödja beredningen av en klimat- och miljöstrategi för informations- och kommunikationstekniksektorn. I rapporten presenteras olika uppskattningar av vilken betydelse informations- och kommunikationsteknik har när det gäller att minska utsläppen av växthusgaser inom energisektorn. Uppskattningarna baserar sig på litteratur, utvalda exempel från företags- och fallstudier samt resultat från ekosystem- och pilotprojekt. Analyserna har i huvudsak gjorts utifrån finländskt perspektiv och exempelkalkylerna baserar sig på nuläget för energisystemet och utsläppen av växthusgaser i Finland.</p> <p>Inom energisektorn spelar informations- och kommunikationstekniken en avgörande roll för övergången till ett klimatneutralt samhälle, bland annat genom att den gör det möjligt att använda förnybar energi i stor skala och ökar energieffektiviteten i energisystemet. Digitaliseringen inom energisektorn möjliggör betydande minskningar av utsläpp av växthusgaser, och de indirekta effekterna av utsläppsminskningarna kan bli verkligt stora. Med informations- och kommunikationstekniken kan man dessutom främja utsläppsminskningen genom att öka medvetenheten bland konsumenterna med hjälp av olika applikationer. Informations- och kommunikationstekniken förbrukar också energi och producerar indirekta utsläpp av växthusgaser. Det är svårt att beräkna informations- och kommunikationsteknikens indirekta utsläpp och detta skulle kräva att man utvecklar och testar olika utvärderingsmetoder med hjälp av fallstudier.</p>		
Förläggare	Kommunikationsministeriet		
Beställningar/ distribution	Elektronisk version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Beställningar: vnjulkaisumyynti.fi		

Description sheet

Published by	Ministry of Transport and Communications	11.8.2020	
Authors	Tiina Koljonen, Mikko Hongisto, Kari Mäki, Miika Rämä, Göran Koreneff, Heikki Ailisto, Suvisanna Correia		
Title of publication	ICT's role in reducing greenhouse gas emissions in the energy sector		
Series and publication number	Publications of the Ministry of Transport and Communications 2020:11		
Register number	VN/8054/2019	Subject	
ISBN PDF	978-952-243-609-2	ISSN PDF	1795-4045
Website address URN	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-609-2		
Pages	70	Language	Finnish
Keywords	ICT sector, climate impacts, energy sector, greenhouse gases		
<p>Abstract</p> <p>The Ministry of Transport and Communications commissioned this report from the VTT Technical Research Centre of Finland Ltd to support the preparation of the climate and environmental strategy for the ICT sector. Based on literature review, selected examples of business and case studies, and the results of ecosystem and pilot projects, the report presents estimates of the role of ICT in reducing greenhouse gas emissions in the energy sector. The reviews were mainly drawn up from the perspective of Finland, and the examples are based on the current state of Finland's energy system and the greenhouse gas emissions.</p> <p>ICT plays a crucial role in the energy sector in the transition towards a carbon-neutral society, enabling, for example, the extensive use of renewable energy and increasing the energy efficiency of the energy system. Digitalisation in the energy sector serves as an important facilitator in reducing greenhouse gas emissions, and the impacts on indirect emission reduction may be very high. In addition, ICT can help to promote emission reductions by increasing consumer awareness through various applications. ICT is also an energy consumer that produces indirect greenhouse gas emissions. It is challenging to assess ICT's indirect emission impacts; this would require the development and testing of different assessment methods with case studies.</p>			
Publisher	Ministry of Transport and Communications		
Publication sales/ Distributed by	Online version: julkaisut.valtionneuvosto.fi Publication sales: vnjulkaisumyynti.fi		

Sisältö

1	Johdanto	9
2	Menetelmät ja tausta-aineistot	11
3	Kuvaus ICT:n roolista energia-alalla perustuen kirjallisuuteen sekä tilastolliseen aineistoon	12
3.1	Kirjallisuus	12
3.2	Esimerkit sähkön ja lämmön tuotantoon, jakeluun ja käyttöön liittyen.....	15
3.3	Esimerkit kaukolämmitykseen ja -jäähdytykseen liittyen	17
3.4	ICT:n vaikutukset kulutusjoustojen, energiatehokkuuden, paikallisen energiankäytön ja -tuotannon hallinnan ja optimoinnin sekä energian varastoinnin näkökulmista	19
3.5	Taustaa ICT:n kuluttamasta energiasta sekä arviot sähkön kulutuksen päästökertoimesta Suomessa	20
3.5.1	Sähkönkulutuksen päästökertoimesta ja sen kehityksestä Suomessa.....	21
3.5.2	Arvioita ICT-sektorin ja tietoliikenteen kuluttamasta sähköstä.....	24
4	Valikoidut esimerkkitapaustarkastelut	32
4.1	Smart Otaniemi	32
4.2	S-market Tuira, Oulu.....	33
4.3	Aurinkosähkötuotannon ennustaminen	34
4.4	Laitteita ja palveluita energiankulutuksen ja sisätilaolosuhteiden hallintaan	35
4.5	Aurinkosähköhybridejä mobiiliverkon tukiasemille	36
4.5.1	Johdanto.....	36
4.5.2	PV-hybridin ominaisuuksia ja suorituskykytietoja	38
4.5.3	Monitoroinnin ja ohjauksen tietoliikenteen sähkönkäyttö vs. tuotannon määrä	39
4.5.4	Alustavia johtopäätelmiä.....	41

4.6	Esimerkki-case kahden hengen kotitalouden datankäytön ja etätyön vaikutusarviosta	42
4.7	Ilmalämpöpumpun parannettu ohjaus osana pientalon kuormien ja aurinkosähköjärjestelmän ohjausta	43
4.8	Julkishallinnon KHK-ohjausjärjestelmät: Sähköinen asiointi Energiavirastossa.....	47
4.8.1	FINETS – päästökaupan asiointijärjestelmä.....	47
4.8.2	SATU – sähkön tuotantotukien asiointijärjestelmä	49
4.9	Kotitalouksille suunnattuja ICT-palveluita liittyen energiankulutuksen ja hiilijalanjäljen hallintaan.....	50
4.10	Muita järjestelmiä	51
5	Arviot lupaavimmista ICT:n tarjoamista tulevaisuuden mahdollisuuksista energia-alalla	53
5.1	Kohti päästöttömään uusiutuvaan tuotantoon perustuvaa energijärjestelmää – digitalisaatio keskeinen mahdollistaja	53
5.2	Kiinteistöjen energiahallinta ja kulutus: keskeiset strategiat ja ICT:n kehitystarpeita	55
5.3	Kiinteistöjen, energiaverkkojen ja markkinoiden vuorovaikutus	56
6	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	58
6.1	ICT energia-alalla hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamisen näkökulmasta.....	60
6.2	Keskeiset johtopäätökset	61
	Lähteet.....	63

LUKIJALLE

Tieto- ja viestintäteknologia-alan ilmasto- ja ympäristökysymykset ovat hiljattain alkaneet herättää kasvavaa huomiota. ICT-ala mahdollistaa merkittäviä päästövähennyksiä muilla sektoreilla, mutta samalla kuluttaa itse energiaa ja materiaaleja. Liikenne- ja viestintäministeri Marin asetti syksyllä 2019 tieto- ja viestintäteknologia-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmistelevan työryhmän. Strategian tavoitteena on muodostaa yhteinen näkemys alan ilmasto- ja ympäristövaikutuksista Suomessa sekä suositella keinoja, joilla vaikutuksia voidaan hallita.

Strategiatyössä päätettiin tarkastella lähemmin ICT-alan positiivisia vaikutuksia muutamalla kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeisellä sektorilla, joista yksi on energia-ala. Liikenne- ja viestintäministeriö tilasi osana strategian valmistelua selvityksen ICT:n roolista kasvihuonepäästöjen vähentämisessä energia-alalla. Selvityksen tavoitteena on kerätä yhteen ja tuottaa uusia arvioita ICT-alan hyödyistä energia-alalla, mukaan lukien sähkön ja lämmön tuotanto, jakelu sekä käyttö eri sektoreilla.

Selvityksen toteutti Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy, jossa työstä vastasivat Tiina Koljonen, Mikko Hongisto, Kari Mäki, Miika Rämä, Göran Koreneff, Heikki Ailisto ja Suvisanna Correia.

Selvityksessä esitetyt johtopäätökset ovat selvityksen toteuttajien, eivätkä välttämättä edusta liikenne- ja viestintäministeriön näkemyksiä.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Tuuli Ojala liikenne- ja viestintäministeriöstä, Juho Korteniemi työ- ja elinkeinoministeriöstä, Johanna Kirkinen Energiavirastosta sekä Markus Mettälä Liikenne- ja viestintävirasto Traficomista.

1 Johdanto

Digitalisaatio voi mahdollistaa merkittäviä kasvihuonekaasu (KHK) -päästövähennyksiä yhteiskunnan eri aloilla, kuten teollisuudessa, liikenteessä ja logistiikassa sekä rakennus- ja energia-alalla. Laaja-alaista ja systemaattista tutkittua tietoa näistä vaikutuksista ei juuri ole, ja asiantuntija-arviotkin vaikutuksista ovat vaihtelevia, perustuvat tapaus- tai sektorikohtaisiin tarkasteluihin ja riippuvat käytetyistä arviointi- ja määrittelyperiaatteista. Tämä selvitysraportti kuvaa ICT:n vaikutuksia energia-alan KHK-päästöjen vähentämisessä perustuen uusimman kotimaisen ja kansainvälisen kirjallisuuden analyysiin, haastatteluihin ja VTT:n asiantuntijoiden laatimiin analyyseihin. Tarkoituksena on syventää ymmärrystä ICT:n konkreettisista ilmastovaikutuksista energia-alalla sekä kartoittaa tulevaisuuden mahdollisuuksia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ICT-sovellusten avulla. Tarkastelun kohteena ovat sähkön ja lämmön tuotanto, siirto ja jakelu sekä energiankäyttö erityisesti kiinteistöissä. ICT-sovellusten vaikutuksia energia-alalla KHK-päästöjen vähentämisessä on havainnollistettu tapustarkasteluilla painottuen kotimaisiin ekosysteemi- ja muihin hankkeisiin. Erityisesti energian käytössä uudet ICT-ratkaisuja hyödyntävät energiahallintajärjestelmät yhdessä paikallisen tuotannon, ohjattavien kuormien ja energiavarojen avulla saattavat myötävaikuttaa energiankulutuksen ja epäsuorien päästöjen vähentymiseen pitkällä aikavälillä. Tärkeä sovelluskohde on rakennukset, jossa automaatiota ja jopa koneoppimista voidaan hyödyntää lisäämään kulutusjoustoa ja tehostamaan energiankulutusta.

Selvityshankkeen konkreettisina tavoitteina olivat:

- Laatia kuvaus ICT:n roolista energiakysymyksissä keskittyen sen konkreettisiin vaikutuksiin KHK-päästövähennysten näkökulmasta. Tarkastelut painottuvat palvelusektorin, julkishallinnon ja kotitalouksien sovelluksiin. Sen sijaan liikenteen ja logistiikan tai energiaintensiivisen teollisuuden sovelluksia ei ole tarkasteltu tässä hankkeessa.
- Arvioida esimerkkien kautta ICT-ratkaisuiden tuottamia energiansäästö- ja päästövähennyspotentiaaleja kirjallisuuden, kotimaisten energia- ja päästötilastojen sekä eri hankkeiden ja selvitysten pohjalta. Koska ICT on useissa tapauksissa mahdollistaja esimerkiksi energiankäytön tehostamiselle tai uusutuvan energian käytön lisäämiselle, suoraa saati epäsuoraa päästövähennyksiä on erittäin haastavaa arvioida. Esimerkkien kautta on kuitenkin pyritty mahdollisuuksien mukaan esittämään numeerisia ICT-ratkaisuiden tuottamia energiankäytön ja päästöjen vähenemisiä sekä arvioimaan ratkaisuiden tuomaa päästövähennyspotentiaalia Suomessa.

- Laatia kuvaus lupaavimmista ICT:n tarjoamista tulevaisuuden mahdollisuuksista energia-alalla sekä mahdollisista esteistä ja pullonkauloista vaikuttavimpien keinojen toteuttamiseksi ja ratkaisujen käytön yleistymiseksi.

ICT-sektori on paitsi KHK-päästövähennysten mahdollistaja myös energian kuluttaja ja siten tuottaa myös KHK-päästöjä. ICT-sektorin energiankulutus ja päästöt eivät kuuluneet tämän hankkeen sisältöön, koska lähtökohtana oli tarkastella ICT:n merkitystä energiasektorilla, joka on vain pieni osa koko ICT-sektorin vaikutuspiiristä. Energia- ja KHK-päästöjen nettotaseen näkökulmista on kuitenkin esitetty kussakin tapauksessa relevantit ICT:lle kohdistettavat energiankulutukset sekä arviot KHK-päästöistä.

2 Menetelmät ja tausta-aineistot

Työ toteutettiin pääosin perustuen kirjallisuuteen ja tilastoihin sekä valikoitujen esimerkkihankkeiden ja palvelukonseptien analyysiin. Lisäksi toteutettiin muutamia haastatteluja liittyen lähinnä tulevaisuuden arvioihin ICT:n merkityksestä energia-alalla. Työn toteutukseen osallistui laaja-alaisesti VTT:n asiantuntijoita, jotka työskentelevät tai ovat työskennelleet esitettyjen esimerkkitapausten parissa, minkä ansiosta raportissa on pystytty esittämään tietoa myös käynnissä olevista pilot- ja ekosysteemi-hankkeista. Haastatteluiden tuloksia ei kuitenkaan ole esitetty tässä raportissa, joten esitetyt analyysit ja johtopäätökset perustuvat kirjoittajien näkemyksiin.

Yhdistämällä edellä mainittuja menetelmiä voitiin yksilöidä ja selvittää keskeisimpiä sovelluksia ja niihin liittyviä vaikutusketjuja, joiden kautta päästövähennymiä voidaan aikaansaada. Arvioissa huomioitiin muun muassa ICT:n ja digitalisaation avulla mahdollistetut potentiaalit lisätä uusiutuvan energian osuutta energiajärjestelmässä, kulutuksen ja tuotannon joustavuutta sekä energian käytön tehokkuutta. Lisäksi laadittiin laskennallinen arvio digitaalisten ratkaisujen omasta energian kulutuksesta.

Alla esitetyt tapaustarkastelut valittiin pitkälti toimeksiannon mukaisesti. Niitä täydennettiin työn laatijoiden ehdottamalla esimerkkitarkasteluilla, jotka hankkeen ohjausryhmä hyväksyi.

3 Kuvaus ICT:n roolista energia-alalla perustuen kirjallisuuteen sekä tilastolliseen aineistoon

3.1 Kirjallisuus

Kirjallisuushaussa käytettiin VTT:n eKnowledge Search -palvelua, joka on multihakupalvelu, joka kattaa artikkeleita tieteellisistä lehdistä, aikakauslehdistä ja päivälehdistä, sekä konferenssiselitteitä, e-kirjoja ja e-kirjojen lukuja. Hakupalvelu kattaa seuraavat aineistot: Elsevier (Scopus, Science Direct, Knovel), IEEE, Institute of Physics (IOP), Royal Society of Chemistry, Springer Nature, Taylor&Francis, Web of Science ja Wiley. Hakusanoilla (Energy AND ICT AND CO2 OR greenhouse gas) saatiin noin 35 000 osumaa, joista oli jo suodatettu tämän raportin aihepiiriin liittymättömät artikkelit (esim. kemialliset prosessit, biologia, urheilu). Yli 50 % artikkeleista oli julkaistu viimeisen viiden vuoden aikana ja viimeisen 12 kk aikana oli ilmestynyt yli 2000 artikkelia. Suurin osa (yli 22 000) on ns. vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita ja liittyvät insinööritieteisiin (engineering: 11 000 artikkelia). Hakuun osuneista artikkeleista noin 6900 liittyvät talouteen, mutta näiden osalta suurin osa oli muita kuin tieteellisiä artikkeleita. Kirjallisuushaun perusteella voidaan arvioida, että suurin osa kirjallisuudesta liittyy teknisiin ICT-ratkaisuihin, joilla voidaan vähentää KHK-päästöjä energia-alalla. Tarkasteltaessa päästövaikutuksia selvästi suurin joukko artikkeleista liittyi telekommunikaation ja yleisesti ICT-sektorin suoriin päästöihin ja päästövähennyksiin, joissa lähestymistapana on elinkaari-, eli LCA-arviot. Näistä on esitetty globaaleja ja alueellisia analyysejä sekä vertailuja, jotta pystytään selvittämään koko ICT-sektorin sekä siihen liittyvän datasiirron mahdolliset ilmastovaikutukset keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä sekä alueellisella tasolla (esim. kehittyvät taloudet). Nämä koko ICT-sektorin ilmastovaikutukset ovat kuitenkin rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle, ja alla on esitetty lyhyt yhteenveto kirjallisuuskatsauksesta ja keskeisistä johtopäätöksistä liittyen ICT-sektorin KHK-päästövaikutuksiin energia-alalla.

GeSi (2015) arvioi, että älykkäillä energijärjestelmillä voitaisiin saavuttaa 1,8 Gt CO_{2e} globaali KHK-päästöjen vähennys vuonna 2030 ns. Business as Usual, eli BAU-skenaarioon verrattuna. Energian tuotannon päästövähennyksille GeSi (2015) arvioi 1,6 Gt CO_{2e} lisäpäästövähennyksen olettaen, että älykkäillä järjestelmillä saavutettaisiin 6 300 TWh energiansäästö. Rakennusten ICT-sovelluksilla GeSi (2015) arvioi puolestaan saavutettavan 5 000 TWh energian säästön ja vastaavasti 2 Gt CO_{2e}

päästövähennyspotentiaalin. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että vaikka GeSi esittelee raportin liitteessä mallinnusta ja laskelmien lähtötietoja, jää metodologinen lähestymistapa täysin avoimeksi. Tuoreimmissa GeSi:n raporteissa (2020) onkin raportoitu päästövähennyspotentiaaleja lähinnä maa- ja tapauskohtaisesti ja globaaleja vaikutuksia on esitelty etupäässä laadullisesti.

GSMA (2018) esittää myös globaaleja KHK-päästövähennyspotentiaaleja, mutta vertailukohtana on tarkasteluajankohdan tilanne (l. vuosi 2018) ja vältetyt KHK-päästöt (l. avoided emissions). GSMA:n mukaan matkaviestinverkon ja sen palvelujen mahdollistama päästövähennys olisi noin 2,135 Gt CO₂e, joka on noin kymmenkertainen sektorin omiin KHK-päästöihin verrattuna (220 Mt CO₂e¹). 10 % päästövähennyspotentiaalista GSMA arvioi saavutettavan rakennussektorilla (smart buildings) ja 7 % energiasektorilla (smart energy). Tässä kannattaa huomioida, että jopa 30 % päästövähennyksistä GSMA:n mukaan saavutettaisiin älykkäällä liikkumisella ja logistiikalla kaupungeissa, mikä on tämän hankkeen tarkastelun ulkopuolella.

Rakennussektorilla voidaan toisaalta erottaa käyttäytymisen muuttamiseen tähtäävät ICT-sovellukset sekä automaatiolla ja älykkäällä säädöllä saavutettavat hyödyt. Käyttäytymisen muutokseen liittyvät ICT-sovellukset voivat kohdistua laitteiden energiankäyttöön ja -tehokkuuteen, kotitalouksien kokonaisvaltaiseen energian säästöön tai kulutuksen joustoon (Bastida et al., 2019). IEA (2018) on arvioinut, että rakennusten energiankulutuksen älykkäällä säädöllä voisi saavuttaa noin 10 % (n. 65 000 TWh) energiansäästön vuonna 2040 referenssiskenaarioon verrattuna. Suurin osa (n. 28 000 TWh) energiansäästöstä saavutettaisiin rakennusten lämmityksessä. Vanhemmissa tutkimuksissa (EU, 2011; Laitner & Ehrhardt-Martinez, 2009) on arvioitu, että energiansäästöpotentiaali voisi olla jopa 20 % luokkaa kotitalouksissa (ks. myös luku 4.2).

Huomattavasti pessimistisemmän arvion esittävät Bastida et al. (2019), jotka tuovat esille, että arvioissa tulee huomioida mahdolliset heijaste- eli rebound-vaikutukset sekä toisaalta käyttäytymisen muutoksen pysyvyys, johon vaikuttavat kuluttajan motivaatio, positiivinen ja negatiivinen palaute (l. informaatio aiemman käyttäytymisen vaikutuksista, opastus, tai ”vertaistuki”) sekä ulkoiset (tukevat) tekijät. Heidän ”pessimistisen” arvionsa mukaan ICT-avusteisilla interventioilla voitaisiin saavuttaa 0–5 % energiankäytön vähennys. Päästövähennyspotentiaali riippuu luonnollisesti käytetyistä energialähteistä sekä sähkön ja lämmöntuotannon ominaispäästöistä. Bastida et al. (2019) arvioi Eurostat:n tilastojen perusteella KHK-päästövähennyspotentiaaliksi

¹ Arvio ICT-sektorin kasvihuonekaasupäästöistä perustuu GSMA:n (2018) arvioon.

4,5–64,7 Mt CO₂e vuodessa EU:n alueella perustuen tilastolliseen energianhankinnan rakenteeseen eri EU-maissa.

Kuten edellä on esitetty, ICT:n päästövaikutukset energia-alalla ovat pääosin epäsuoria. Epäsuorien vaikutusten arviointiin on useita menetelmiä, kuten ekonometrisen mallinnus sekä erilaiset laskennalliset skenaariomenetelmät. Börjesson et al.:n (2014) mukaan ICT:n epäsuorien vaikutusten arviointi vaatisi eri arviointimenetelmien testausta tapaustarkasteluin. Tämän kirjallisuuskatsauksen perusteella ICT:n päästövähennyspotentiaalia energia-alalla on tarkasteltu lähinnä tilastollisin ja ekonometrisin menetelmin. Näistä poikkeava lähestymistapa on GSMA:n (2018) analyysissä, joka perustuu tapaustarkasteluihin, joita on skaalattu globaalille tasolle perustuen Machine to Machine (M2M) IoT -yhteyksien lukumäärään (i. älykkäiden teknologioiden avulla kytketyt laitteet) tai älypuhelimien lukumäärään, joilla edistetään käyttäytymisen muutosta. Vältetyt KHK-päästöt saadaan kertomalla edellä mainitut määrät vältetyn päästön ominaispäästökertoimella (esim. kg CO₂e/yhteys).

On selvää, että lukuihin ja arvioihin liittyy merkittävää epävarmuutta, koska pelkästään verkkosähkön ominaispäästön määrittäminen on hyvin haasteellista. Esimerkiksi Morretti et al.:n (2017) kirjallisuusselvityksen mukaan älykkäiden sähköverkkojen avulla voitaisiin saavuttaa 0,03–0,95 MJ/kWh energiansäästö, joka voisi vastata 10–180 g CO₂/kWh KHK-päästöjen vähennystä riippuen kyseisen maan sähkönhankinnan ominaispäästöistä sekä oletetusta systeemirajauksesta. On myös selvää, että GSMA:n (2018) arvioihin liittyy merkittävää epävarmuutta, mutta heidän analyysinsä selventää hyvin, kuinka haasteellista ICT:n vaikutusten arviointi energia-alalla on ilman mitattua tietoa päästövähennyksistä.

Yhteenvedona kirjallisuusselvityksestä voidaan todeta, että vaikka aihepiiristä löytyy mittava määrä kirjallisuutta, systemaattisesti ja läpinäkyvästi arvioituja ICT-sektorin vaikutuksia KHK-päästöjen vähentämisessä energia-alalla on esitetty vain hyvin rajoitetusti. Erityisesti mitattuja arvioita ICT:n vaikutuksista energia-alalla löytyy verrattain vähän ja KHK-päästövähennystarkasteluissa pääpaino on usein koko ICT-sektorin LCA-arvioissa kattaen laitteiden, yritysten tai koko ICT-sektorin globaalit ilmastovaikutukset. Suomessa on käynnissä useita ekosysteemi- ja pilot -hankkeita, joiden avulla saadaan mitattua informaatiota eri sovellusten energiansäästöstä. Näiden avulla voidaan laskennallisesti arvioida myös KHK-päästöjen vähennystä kyseisessä applikaatiossa. Kuten edellä esitettiin, ICT:n vaikutukset energia-alalla kohdistuvat lähinnä epäsuoriin päästöihin, joiden arviointiin tarvittaisiin viitekehys, jotta eri sovellusten vertailu olisi läpinäkyvää ja ylipäätään mahdollista. Lisäksi kannattaa huomioida, että ICT:n avulla pyritään edistämään myös järjestelmien kustannustehokkuutta ja toimitusvarmuutta, mikä osaltaan saattaa myös selittää, miksi ICT:n vaikutuksia KHK-päästöihin energia-alalla on tutkittu vähemmän.

3.2 Esimerkit sähkön ja lämmön tuotantoon, jakeluun ja käyttöön liittyen

Älykkään sähköverkon ratkaisut mahdollistavat laajemman uusiutuvan energian käytön ja auttavat siten vähentämään päästöjä. Uusiutuva energia on luonteeltaan vaihtelevaa ja sääriippuvaista, jolloin yhä suurempi osa säädöstä siirtyy kulutustasolle. Järjestelmän joustavuus onkin jatkossa keskeinen elementti uusiutuvan energian hyödyntämisessä.

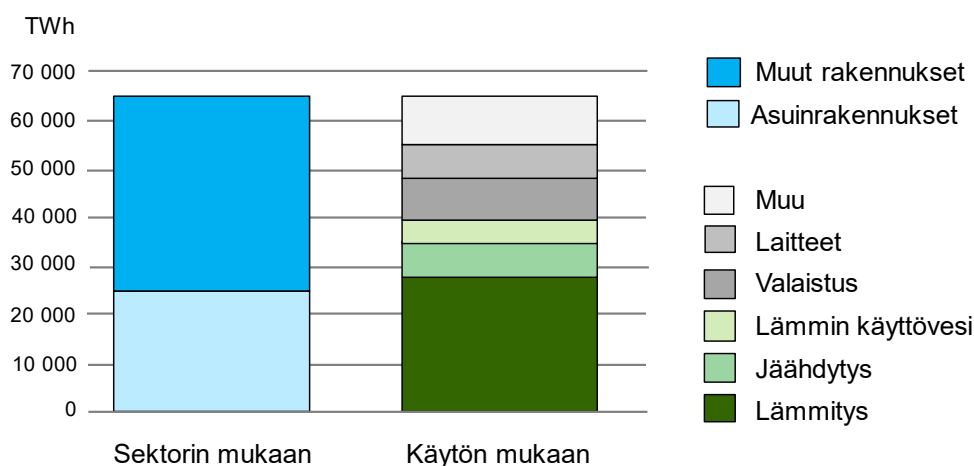
Suomessa sähköverkkojen taso on korkea ja automaatio viety jo pitkälle. Esimerkiksi sähkönsiirron ja -jakelun suhteelliset häviöt ovat jo nyt pienet globaalissa mittakaavassa ja niiden osalta merkittävää päästövähennystä ei ole saavutettavissa, joskin parannusta jatkuvasti tavoitellaan. CEER:in (2017) arvion mukaan siirto- ja jakeluverkon häviöt ovat Suomessa noin 2 % kokonaissähkön kulutuksesta, mikä on alhaisin koko Euroopan tasolla. Muissa Euroopan maissa vastaavat siirto- ja jakeluverkon häviöt vaihtelevat noin 3 % ja 10 % välillä, vaikkakin kehitys on ollut monissa maissa myönteinen. Digitalisaation tuoma tarkempi monitorointi mahdollistaa tehokkaamman järjestelmän optimoinnin eri tilanteissa. Esimerkiksi jakeluverkon jakorajaoptimointia voidaan tehdä paremmin laajan mittaustiedon ja ohjattavuuden pohjalta.

Asiakastasolla on selvästi enemmän mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamisessa ja sitä kautta päästöjen vähentämisessä. Tutkimusten mukaan jo asiakkaan tietoisuuden kasvattaminen omaan energiankäyttöön liittyen voi parantaa energiatehokkuutta 10–20 %. ICT-ratkaisujen myötä energiankäytön seuranta ja optimointia voidaan siirtää asiakkaan sähkömittarin tasolta kohti laitetasoa, jolloin asiakkaalla on mahdollisuus seurata ja säätää yksittäisiä kulutuslaitteita entistä tarkemmin. Samalla muodostuu mahdollisuuksia viedä näiden kulutuslaitteiden jousto osaksi energijärjestelmää tai optimoida paikallista käyttöä esimerkiksi aurinkopaneeleiden tuoton mukaan.

Eräässä muutoksen pysyvyys (vrt. luku 4.1) esimerkissä tutkittiin tietoisuuden kasvattamisen vaikutusta sähkönkäyttöön kotitalouksissa. Asiakaskohtaisen näytön informaation kautta todettiin kulutuksen laskevan noin 20 %. (Aydin et al., 2018) Edelleen todettiin, että kun asiakkaalle annettiin lisää vertailutietoa verrattuna muihin vastaaviin asukkaisiin, sähkönkäyttö laski vielä hieman lisää. Toisaalta tutkimus oli lyhytkestoinen ja tässä tulee lisäksi huomioida ns. rebound-ilmiö sekä toisaalta käyttäytymisen muutoksen pysyvyys (vrt. luku 4.1).

IEA on raportissaan arvioinut älykkäiden rakennusautomaatiojärjestelmien laajamittaisen käytön mahdollistavan noin 10 % energiatehokkuuden parantamisen globaalisti vuoteen 2040 mennessä (Kuva 1). Suurin osa tästä potentiaalista tunnistettiin olevan

lämmityksen ohjauksessa. Rakennuksissa suurin osa potentiaalista tunnistettiin olevan muissa kuin asuinrakennuksissa. Koko vaikutus vuoteen 2040 mennessä arvioitiin olevan noin 65 000 TWh (IEA, 2018).

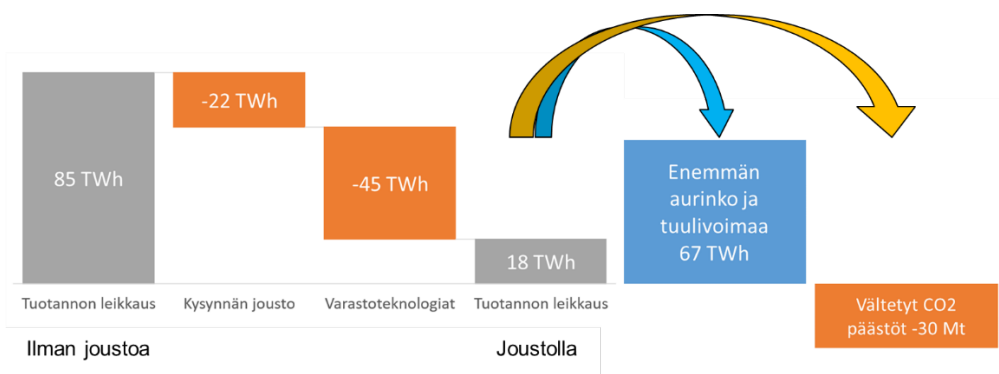


Kuva 1. Energiansäästönsä potentiaali rakennuksissa vuoteen 2040 mennessä. (Muokattu lähteestä IEA, 2018)

Sähköverkossa tarvitaan erilaisia järjestelmää ylläpitäviä ja varmentavia reservejä. ICT mahdollistaa osaltaan kysyntäjoustoon osallistumisen yhä laajemmin ja pienemmillä yksiköillä, mikä edesauttaa järjestelmän kykyä ottaa vastaan entistä enemmän tuuli- ja aurinkovoimaa. Tuulivoimaloiden ja aurinkosähköyksiköiden invertterit, taajuusmuuttajat ja kontrollerit voivat myös edistää näiden tuotantomuotojen reagoimista sähköjärjestelmän tarpeisiin.

Näillä toimilla on merkittävä välillinen vaikutus päästöihin. Laajamittainen joustavuus ja ohjattavuus ovat jatkossa perusvaatimuksia täysin uusiutuvan energijärjestelmän kannalta. Toisaalta toimien suoraa numeraalista päästövaikutusta on harvemmin arvioitu, mutta esimerkiksi Väre on esittänyt arvioita kokonaisvaikutuksesta. Muun muassa jousto-, aurinko- ja sähköautopalveluita yhdistäen kokonaisvaikutukseksi on arvioitu n. 300 t CO₂-päästöleikkaus vuonna 2018. Lukemien laskentatavasta ei kuitenkaan ole tarkempaa tietoa.

IEA on myös arvioinut joustavuuden vaikutuksia CO₂ päästöihin (Kuva 2). Arvioiden mukaan energian varastointi ja digitaalinen kysyntäjousto yhdessä mahdollistavat 67 TWh enemmän tuuli- ja aurinkoenergiaa Euroopassa vuonna 2040. Tämä tarkoittaa IEA:n (2017) arvion mukaan noin 30 Mt CO₂ päästövähennystä. Pelkän kysyntäjouston osuus näistä lukemista on 22 TWh ja noin 10 Mt CO₂. Lukemat perustuvat arvioihin tuuli- ja aurinkoenergian kehityksestä ja siitä, paljonko näiden tuotantoa joudutaisiin käytännössä rajoittamaan ilman lisätoimia. (IEA, 2017)



Kuva 2. Joustavuuden vaikutus uusiutuvaan energiaan ja päästöihin Euroopassa vuonna 2040. (Muokattu lähteestä IEA, 2017)

3.3 Esimerkit kaukolämmitykseen ja -jäähdytykseen liittyen

Konkreettisin ja suoraan lämmön tuotantoon liittyvä kytkeä ICT- ja kaukolämpömaailman kanssa ovat datakeskukset. Datakeskusten hukkalämmön hyödyntämisen rooli kaukolämmön tuotannossa voi olla paikallisesti hyvin merkittävä. Päästövaikutus riippuu aina kaukolämpöjärjestelmästä ja sen olemassa olevasta tuotantorakenteesta, eli mitä datakeskuksen jäähdytysjärjestelmästä talteen otetulla lämmöllä korvataan. Lämpö on usein verrattain matalassa lämpötilassa ja sen hyödyntäminen kaukolämmössä vaatii käytännössä aina lämpöpumpun.

Pohjoismaissa on muun muassa datayhteyksien, poliittisen vakauden, sähkön matalan hintatason ja ilmaston kannalta suotuisat olosuhteet datakeskuksille. Mahdollinen kaukolämpökytkentä tukee edelleen keskusten kannattavuutta, mutta tutkimuksissa (Wahlroos et al., 2018) on silti havaittu esteitä hukkalämmön hyödyntämiselle käytännössä. Tällaisia ovat mm. verrattain matalan lämpötilatason seurauksena tarvittavat lisäinvestoinnit, erilaiset liiketoimintamallit ja näistä seuraava toimintalogiikka sekä tietoturvakysymykset.

Lämmönlähteenä datakeskus tarjoaa melko tasaisen tuotantoprofiilin; sen sähkön kulutus ja näin ollen myös jäähdytyksen tarve ja sitä seuraava potentiaali lämmönlähteenä on vuorokauden ja vuoden ympäri kohtuullisen tasainen. Tietoliikenteen määrän muutoksia pyritään kompensoimaan palvelinten älykkäällä kuormanohjauksella. Lopputuloksena sähkön kulutus vaihtelee kuukausitasolla vuoden aikana vain vähän verrattuna kaukolämmön tyyppisiin kulutusprofiileihin. (Wahlroos et al., 2017) Kauko-

mahdollistaa matalammat siirtolämpötilat kaukolämpöverkossa. Tämä puolestaan parantaa uusien vähähiilisten lämmönlähteiden teknistaloudellista kannattavuutta, edistää niiden käyttöönotossa ja voi lopulta johtaa päästövähennyksiin.

3.4 ICT:n vaikutukset kulutusjoustojen, energiatehokkuuden, paikallisen energiankäytön ja -tuotannon hallinnan ja optimoinnin sekä energian varastoinnin näkökulmista

ICT:llä on merkittäviä vaikutuksia uusien energiateknologioiden käytössä ja hyödyntämisessä, joita esitetään tarkemmin seuraavissa luvuissa esimerkkitarkasteluiden avulla. Kuten edellä on useaan otteeseen todettu, päästövaikutuksia on haastavaa arvioida, koska ne ovat usein sovellusriippuvaisia ja vaihtelevat myös alueellisesti.

Lähtökohtaisesti tehokkain tapa säästää lämmityksen kuluja on laskea tilan lämpötila aina, kun tila ei ole aktiivisesti käytössä. Esimerkiksi Isossa-Britanniassa ja Irlannissa lämmitys usein katkaistaan tai paremminkin asetetaan minimilämpöön lähdetessä ulos, tosin tällöin palataan ikävästi kylmään tai minimilämpöiseen asuntoon ja asuinmukavuus kärsii. Parempi tapa onkin ohjata lämpötilaa huonekohtaisesti käyttötarkoituksen ja -tarpeen mukaan älykkäiden järjestelmien avulla, jolloin myöskään asumismukavuus ei kärsi. Tähän tarkoitukseen on jo saatavilla älykkäitä ohjausjärjestelmiä, jota esimerkiksi Optiwatti-yritys tarjoaa.

Paikallisia energiavarastoja ja -joustoja voidaan käyttää tasaamaan tuotanto- ja kulutuskäyriä. Esimerkiksi varaavaa sähkölämmitystä ohjaamalla voidaan siirtää kulutusta pois kalliilta ja suuripäästöisiltä tunneilta pienemmän kuormituksen tunneille. Suuressa mittakaavassa voidaan esimerkiksi välttää päästöintensiivisten huippuvoimaintosten (esim. fossiilista polttoainetta käyttävät lauhdelaitokset) käynnistymisiä. Erityisesti sähköautojen akut ja niiden lataus tulee olemaan merkittävä resurssi tässä mielessä varaavan sähkölämmityksen ohella.

Paikallisella älykkyydellä voidaan myös hyödyntää omia energiantuotantolähteitä optimaalisesti. Tyypillisesti oma energiantuotanto on uusiutuvaa, esimerkiksi aurinkosähköä, jota voidaan käyttää kiinteistöissä myös kulutusta ohjaten sekä akuston joustoja rinnalla hyödyntäen. Järjestelmän optimoinnin avulla voidaan lisätä asennettavaa aurinkosähkötehoa ja kasvattaa omatuotannon vuotuista osuutta sähkönhankinnasta. Toisaalta akustoissakin syntyy energiahäviötä. Uusilla sykliseen käyttöön soveltuvilla

akkuteknologioilla päästään käytännön olosuhteissa pitemmillä tarkastelujaksoilla 75–95 % lataus-purkaus hyötysuhteeseen (l. lifetime round-trip efficiency) (ITP, 2020). Kokemukset viittaavat myös siihen, että syntyvät lämpöhäviöt ovat myös käyttöta-voista ja olosuhteista riippuvaisia. Lämpöhäviöt ovat suuruusluokaltaan 5–25 % tai enemmänkin käytettäessä vanhempia akkuteknologioita. Stationääriakustoissa akus-ton lämpötilavaihtelua on hyvä pyrkiä minimoimaan, koska sillä on vaikutusta akuston elinikään. Tarkka monitorointi tukee kunnonvalvontaa ja vaikuttaa elinikään ja sitä kautta tuotekohtaisiin ominaispäästöihin. Vaihtoehtona omatuotannon vuotuisen %-osuuden kasvattamiselle kuormien ohjauksen ja akuston koon kasvattamisen rinnalla on mahdollisen ajoittain toteutuvan tuotantoylijäämän syöttäminen verkkoon. Tällöin ylijäämäisen energiataseen päästövähennysvaikutus on todennäköisesti suurempi kuin järjestelmässä, jossa käytetään suhteellisen kallista akkukapasiteettia, jonka valmistusketjusta saattaa syntyä merkittävä määrä epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjä. Uuden teknologian akustoille voi kuitenkin syntyä jälkimarkkinoita ja niiden kierrätysmenetelmiä kehitetään myös Suomessa. Toistaiseksi uuden teknologian akustoista ei ole ollut saatavilla ympäristötuoteselosteita (l. EPD, environmental product declara-tion). Myös niiden laadinnassa ICT-ratkaisuilla on keskeinen asema valmistuksen eri prosessit ja toimijat kattaen (mm. Usva et al., 2020).

Lämmitysjärjestelmiä voidaan käyttää etäyhteyksillä ja optimoida täten lämmitykseen kuluva energiaa. Hybridilämmitysjärjestelmien, kuten öljy- ja hakelämmitys sekä sähkö- ja kaukolämmitys ja erilaiset lämpöpumput, ohjausta voidaan tehdä taloudellisin perustein. Myös lämmintä käyttövettä voidaan lämmittää optimaalisesti hyödyn-täen esim. jäähdytyksen lauhdelämpöjä kesäisin.

3.5 Taustaa ICT:n kuluttamasta energiasta sekä arviot sähkön kulutuksen päästökertoimesta Suomessa

Kuten luvuissa 4.1.–4.4 on esitetty, ICT toimii merkittävänä mahdollistajana energia-alalla KHK-päästöjen vähentämisessä, mutta vaikutukset liittyvät järjestelmäkokonai-suuksiin, ovat sähkönkulutuksen osalta epäsuoria ja ICT:n osuus vaikeasti eriytettä-vissä tai määritettävissä. Erilaiset menetelmät, rajaukset ja taustaoletukset johtavat erilaisiin tuloksiin. Kun tarkastellaan erilaisten toimenpiteiden tai kehitysprojektien vai-kutuksia päästöihin, joudutaan tekemään monia oletuksia myös siitä, mihin tietoja ver-rataan. Yksi vaikuttavuuden kannalta keskeinen oletus liittyy käytetyn sähkön epäsuo-riin päästöihin sähkön tuotannossa ja käytössä.

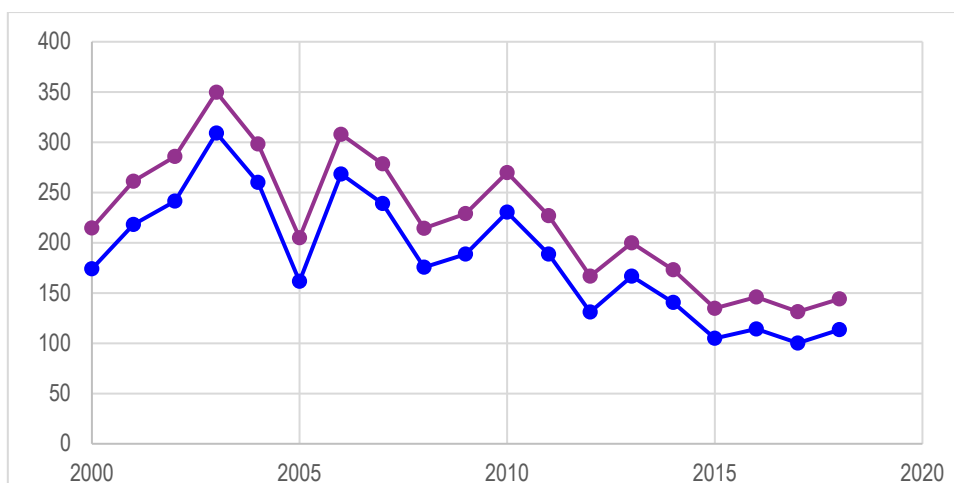
Luvun 5 tapaustarkasteluissa on kuitenkin pyritty alustavasti ja esimerkinomaisesti arvioimaan erilaisten toimenpiteiden tai projektien vaikutuksia päästöihin. Näiden laskentaan tarvitaan mm. arvio sähkönhankinnan ominaispäästökertoimista. Toisaalta datan siirto kuluttaa myös energiaa ja siksi tarvitaan arvioita tietoliikenteen ja ICT-sektorin omasta energiankäytöstä.

Alla on esitetty sähkönkulutuksen päästökerroinarvioita perustuen eri lähdemateriaaleihin sekä eri lähestymistapoihin, jonka avulla on pyritty myös tuomaan esille sitä vaihtelua, mikä eri kertoimissa on ja toisaalta kuvata ominaispäästökertoimen laskevaa kehitystä.

3.5.1 Sähkönkulutuksen päästökertoimesta ja sen kehityksestä Suomessa

Sähkön tuotantojärjestelmä muodostuu yleensä useista energianlähteiltään ja päästöiltään erilaisista tuotantoyksiköistä, joita käytetään ajan suhteen muuttuvalla tavalla. Siten myös päästöt vaihtelevat suhteessa aikaan. Päästöjen määrittämisessä voidaan käyttää erilaisia menetelmiä mm. sen suhteen, käytetäänkö laskelmissa sähkön hankintasopimusten mukaisten yritysten ja tuotantolaitosten päästötietoja (arvoketjut) vai erilaisin menetelmin keskimääräistettyjä ja mallinnettuja järjestelmätason päästöjä (vrt. Kuva 3). Toisaalta kohdentamisongelmia liittyy siihen, miten yhteistuotantoprosessien päästöt jaetaan eri energiatuotteille, niistä muodostuvalle tuotekorille tai ajan suhteen (Mälkki et al., 1999). Lisäksi päästölaskentamenetelmät sisältävät lukuisia rajoituksia ja periaatteita, jotka vaikuttavat tuloksiin. Asiaan vaikuttaa myös se, miten esimerkiksi alkuperältään tuntemattoman sähkönhankinnan osuutta ja päästöjä arvioidaan.

Näitä haasteita on pyritty ottamaan huomioon mm. sähkön alkuperätakuulainsäädännössä (Laki sähkön alkuperän varmentamisesta ja ilmoittamisesta 1129/2003) ja sen nojalla julkistettavissa jäännösjakauksen tiedoissa (Energiavirasto, 2020a), energiatalojen laadinnassa (Tilastokeskus, 2020a), sekä erilaisiin käyttötarkoituksiin ja ohjelmiin laadittavissa yritysten ja yhteisöjen raportointiohjeistuksissa ja erilaisiin ohjausjärjestelmiin liittyvien kansainvälisten päästöinventaaroiden laadintaohjeissa.



Kuva 3. Sähkön tuotannon ominaispäästöjen kehittyminen (g/kWh) 2000-luvulla Tilastokeskuksen energiatiilaston mukaan. Alempi käyrä kuvaa kehitystä energiamenetelmällä ja ylempi nk. hyödynjakomenetelmällä määritettynä. (Lähde: Tilastokeskus, 2020a)

Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj aloitti vuonna 2019 Suomen sähköjärjestelmän reaaliaikaisen CO₂-päästöarvioiden julkaisun tietovirtana. Sen laskenta perustuu Fingridin käytönvalvontajärjestelmän reaaliaikaisiin tuotanto- ja tuonti-/vientitietoihin sekä tuotantojakauman perusteella määritettyihin päästökertoimiin. Esimerkiksi kulutetun sähkön ”Fingridin tiedossa oleviin hetkellisiin tuotantojakaumiin ja approksimaatioihin perustuva päästökerroin” 2019 puolella oli minimissään 39 g CO₂/kWh ja maksimissaan 158 g CO₂/kWh keskiarvon ollessa 91 g CO₂/kWh. Kuluvana vuonna 2020 (1.1.–1.6.2020) sähkönkulutuksen päästökerroin on vastaavasti vaihdellut 43–132 g CO₂/kWh välillä ja keskiarvo on ollut 75 g CO₂/kWh (Fingrid, 2020, tarkasteltuna järjestelmän käyttöönotosta alkaen).

Tällaisella informaatio-ohjauksella voi olla konkreettista vaikutusta toimijoihin, sillä se periaatteessa mahdollistaa keskimääräisten hiilidioksidipäästöjen huomioon ottamisen osana muuta energiankäytön ajallista optimointia. Energian myyjät voisivat vastaavalla teknologialla tarjota tarkempia sopimuskohtaisia reaaliaikaisia sähkönhankinnan päästötietoja asiakkaittensa energianhallintajärjestelmien käytettäväksi.

Arvioitaessa muutosten päästövaikutuksia sähkön käytön perspektiivistä tuotannon sijaan, tulisi ottaa huomioon periaatteessa myös paikallisen sähkön siirto- ja jakelujärjestelmän sekä kiinteistöjen sisäverkkojen häviö vertailukohtaan nähden. Yleensä niin tarkkoja arvioita ei käytännössä pystytä tekemään tietojen saatavuuteen liittyvien ongelmien vuoksi.

Energiavirasto julkaisee www-sivuillaan KHK-päästövähennyksen laskennassa ja liikenteen sähkön päästöissä käytettävän päästökertoimen sähköntuotannon päästöille. Kerroin on johdettu kestävyyslain ja liikennepolttoaineiden päästöjen vähentämistä koskevan lain vaatimuksia varten. Energiaviraston sivuilla on esitetty, että sähkön tuotannon päästökertoimena käytettäisiin 117 g CO₂-ekv./kWh vuoden 2018 tietoihin perustuen (Energiavirasto, 2020a).

Toisaalta Energiaviraston selvittämän 2018 jäännösjakauman sähköntuotannon keskimääräiset hiilidioksidin ominaispäästöt ovat 289,67 g/kWh (Energiavirasto, 2020b). Jäännösjakaumaa käytetään antamaan alkuperä varmentamattomalle uusiutuvilla energialähteillä tuotetulle sähkölle, ETA-alueen ulkopuolelta tuodulle varmentamattomalle sähkölle ja alkuperältään tuntemattomalle sähkölle. Jäännösjakaumaa laskettaessa on varmistettava, että uusiutuvista lähteistä tuotettu energiayksikkö otetaan huomioon vain kerran.

Koska päästökertoimessa esiintyy vuosittaista vaihtelua, Energiavirasto (2020a) käyttää lähtötietona sähköntuotannon päästökertoimen viiden vuoden liukuvaa keskiarvoa, jossa on huomioitu myös muut KHK-päästöt kuin CO₂. Fingrid (2020) julkaisee tuntitasolla paitsi sähkönkulutuksen myös sähköntuotannon ominaispäästökertoimia, mutta perustuen vain CO₂-päästöihin. Toisaalta Energiateollisuus ry:n (Leskelä, 2020) esittämän arvion mukaan sähköntuotannon ominaispäästöt ovat vaihdelleet viimeisen viiden vuoden aikana välillä 84 g CO₂/kWh (2019)–112 g CO₂/kWh (2016) ja heidän mukaansa sähköntuotannon päästöt laskevat edelleen.

Edellä esitettyjen erilaisten tietolähteiden, menetelmien ja tilastollisten arvioiden perusteella keskimääräisenä sähkönkulutuksen päästökertoimena Suomessa on seuraavissa luvuissa esitetyissä tarkasteluissa käytetty arviota 100 g CO₂/kWh. Tässä yhteydessä tulee kuitenkin huomata, että tämä päästökertoimen kuvaus vain karkeasti nykytilannetta ja Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä edellyttää, että sähkön tuotannon tulisi olla tuolloin lähes päästötöntä.

Tässä yhteydessä käytettävä kerroin ei kuitenkaan ota huomioon elinkaarinäkökulmaa (ml. polttoaineketjujen ja järjestelmien epäsuorat päästöt). Tuotantovaiheeltaan päästöttömien energiantuotantomuotojen kohdalla nämä valmistusketjujen päästöt korostuvat (mm. biopolttoaineet ja -jalosteet). Esimerkiksi biopolttoaineiden keräämisen, jalostuksen ja mahdollisten maankäytön muutosten KHK-päästöosuudet voivat olla merkittäviä varsinaisen energiantuotantoprosessin KHK-päästöihin verrattuna. Merkittäviä epäsuoria päästövaikutuksia voi liittyä myös aurinko- ja tuulienergiiaan sekä ydinvoimaan ja näillä kaikilla olisi tarkemmissa laskelmissa sähkön ominaispäästökertoimen jonkin verran kasvattavaa vaikutusta. Laaja-alaista taustatietoa koottiin mm. EU:n Ex-

tern-E projektissa 1998–2005, mutta tuotantoteknologioiden kehityksen voitaneen arvioida parantaneen eri polttoaineketjujen suorituskykyä huomattavasti 2000-luvulla (mm. tuuli- ja aurinkovoiman sekä puupolttoaineiden ja -jalosteiden osalta).

3.5.2 Arvioita ICT-sektorin ja tietoliikenteen kuluttamasta sähköstä

Tilastokeskus on julkaissut tietoja erilliseksi ICT-toimialaksi luettavien toimintojen sähkönkulutuksesta. ICT-sektoria on määritelty lähteessä (Tilastokeskus, 2020c). Toimiala 61 on televiestintä, johon operaattoreiden sähkönkäyttö luetaan.

Koko ICT-toimialan sähkönkulutus yhteensä Suomessa oli noin 0,86 TWh/a vuonna 2017, mikä on noin 1,3 % sähkön kokonaiskulutuksesta (FiCom, 2020a). Taulukko 1 kertoo toimialan sähkönkäytöstä suhteessa koko Suomen sähkönkäyttöön, mutta ei kuvaa ICT-laitteiden kuluttaman sähkön osuutta muilla toimialoilla ja esimerkiksi pienemmissä palvelinkeskuksissa. Myös pieni osa tietoliikennelaitteistojen sähkönkäytöstä jäänee näiden tilastojen ulkopuolelle. Toisaalta niihin sisältynee mm. toimistorakennusten sähkönkäyttöä ja muuta kiinteistöissä sijaitsevaa kulutusta.

Taulukko 1. ICT-toimialaan luettavien toimintojen sähkönkulutus Suomessa. (Tilastokeskus, 2020e)

Toimialakoodi	Toimiala	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		Sähkön loppukäyttö vuosittain GWh/a, Statfin-järjestelmästä						
61	Televiestintä	280	306	448	445	379	373	365
62 ja 63	Tietojenkäsittely-palvelu	95	289	289	277	178	198	220
26	Elektroniikka-teollisuus	321	331	255	221	258	258	275
ICT-toimiala	Yhteensä	697	926	992	943	814	829	861
Kaikki toimialat yhteensä (GWh/a)		65770	65265	65283	64576	63626	64797	65004
ICT-alan osuus, %		1,06	1,42	1,52	1,46	1,28	1,28	1,32

Toimialakohtaisia tietoja sekä sähkön loppukäytöstä että päästöistä ilmaan on saatavilla Tilastokeskuksen Statfin-järjestelmästä (Tilastokeskuksen PxWeb-tietokannat). Yhdistettäessä televiestintäsektorin sähkönkäytölle suuntaa antava keskimääräinen päästökerroin 100 g CO₂/kWh suorista kasvihuonekaasupäästöistä (CO₂, N₂O, CH₄, HFC, PFC ja SF₆) kertovaan tietoon saadaan seuraava Taulukko 2 muodostetuksi televiestintän ilmastovaikutusten kehittymisestä aikavälillä 2011–2017 (Tilastokeskus, 2020d, e).

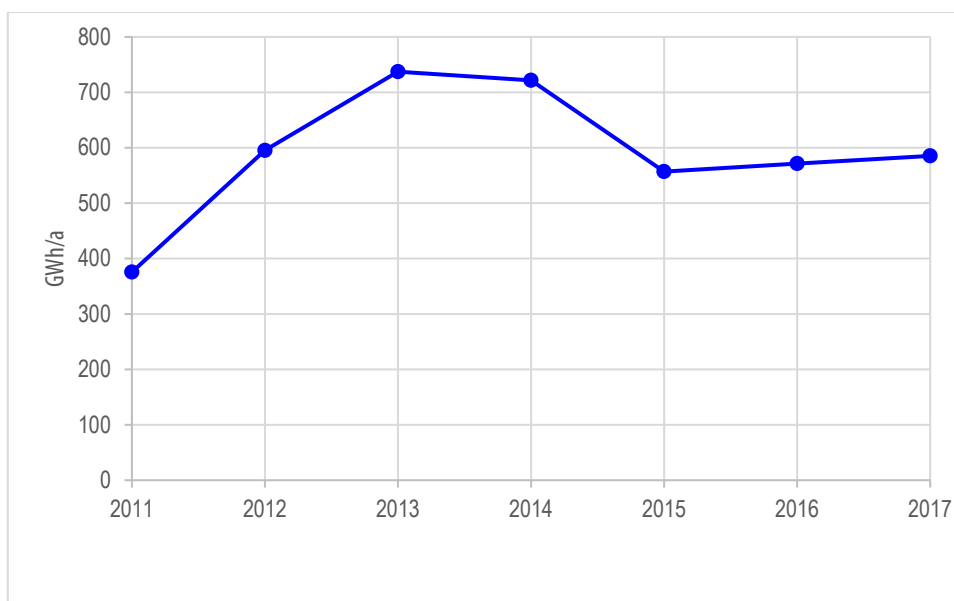
Taulukko 2. Tilastokeskuksen kokoaman televiestätoimialan sähkön loppukäytöstä ja Statfin järjestelmästä edellä mainitulla tavalla koottujen KHK-päästötietojen taulukko.

Toimiala 61 Televiestintä				
Vuosi	Sähkö	Sähköstä	Muut	Yht
	GWh/a	tCO ₂ /a	tCO _{2e} /a	tCO _{2e} /a
2011	280	28028	37192	65220
2012	306	30611	33194	63805
2013	448	44778	29628	74406
2014	445	44472	22502	66974
2015	379	37861	2190	40051
2016	373	37333	2360	39693
2017	365	36528	2089	38617

Vastaava Taulukko 3 voitiin luoda myös toimialalle 62–63. Toimiala 63 sisältää myös datakeskus -toiminnan.

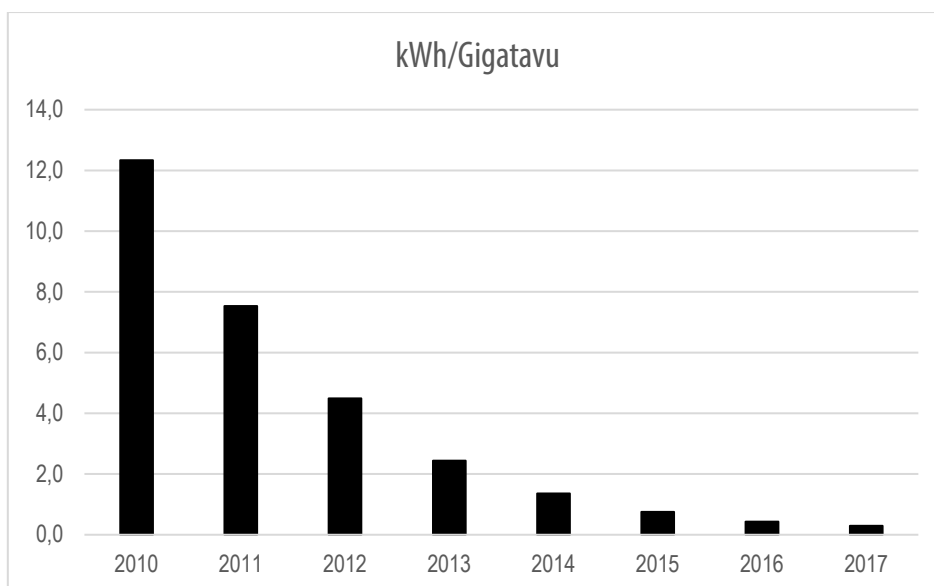
Taulukko 3. Tilastokeskuksen kokoaman tietojenkäsittelypalvelut -toimialan sähkön loppukäytöstä ja Statfin järjestelmästä koottu KHK-päästötaulukko.

Toimiala 62-63 tietojenkäsittelypalvelu				
Vuosi	Sähkö	Sähköstä	Muut	Yht
	GWh/a	tCO ₂ /a	tCO _{2e} /a	tCO _{2e} /a
2011	95	9528	1818	11346
2012	289	28917	2917	31834
2013	289	28944	1674	30618
2014	277	27694	1763	29457
2015	178	17833	1322	19155
2016	198	19806	1490	21296
2017	220	22000	1657	23657



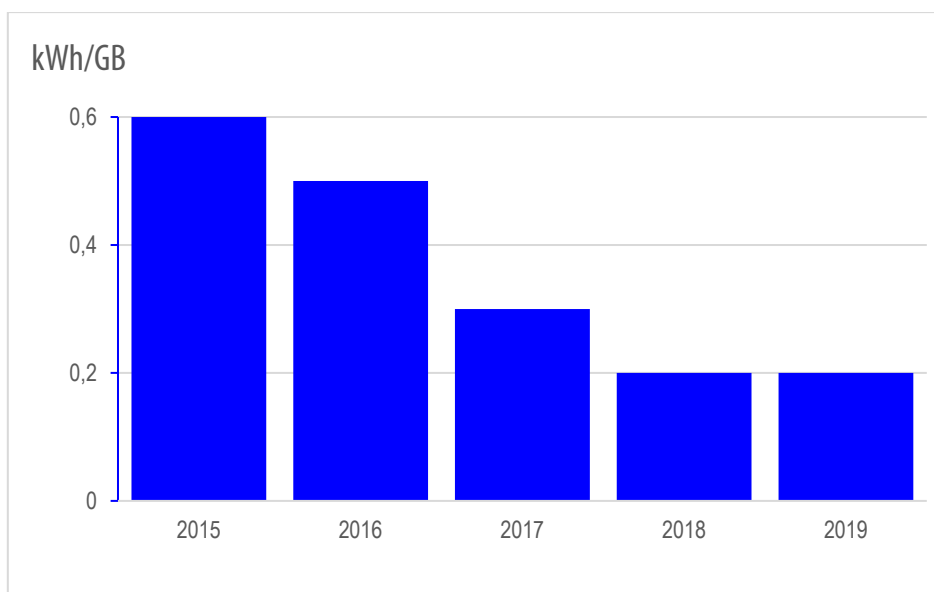
Kuva 4. Toimialojen 61, 62 ja 63 sähkön loppukäytön kehittyminen (GWh/a) Tilastokeskuksen Staffin-tietojärjestelmän tietoja hyödyntäen.

VTT selvitti aiemmin vuonna 2015 Viestintäviraston (nyk. Liikenne- ja viestintävirasto, Traficom) toimeksiannosta matkaviestinverkkojen tukiasemien sähkön käyttöä eri lähteitä hyödyntäen (Apilo ym., 2015). Työssä muodostettiin myös alustava arvio kolmen suurimman operaattorin silloisesta sähkönkulutuksesta ja energiatehokkuudesta sekä mallinnettiin sähkönkulutuksen kehittymistä lähitulevaisuudessa. Tuolloin kolmen suurimman operaattorin raporttien tietojen perusteella niiden Suomen toimintojen kokonaissähkönkulutus oli vuonna 2014 noin 0,55 TWh/a, josta tukiasemien laitteistojen osuuden arvioidaan olevan merkittävä. Yhden operaattorin mukaan tuotantoverkkojen osuus olisi noin 80 % kokonaiskulutuksesta. Raportissa kehitettiin menetelmää tietoliikenteen ominaissähkönkulutuksen arvioimiseksi saatavissa olevien tietolähteiden perusteella. Tietoja päivitettiin vuoden 2017 tasolle julkaisuun (Pihkola et al., 2018).



Kuva 5. Arvio mobiilidatan energiatehokkuuden kehityksestä Suomessa 2010–2017 (kWh/gigatavu) tuotantoverkoissa. Palkit kuvaavat estimoitua käyrää tuotantoverkoille kokonaisuudessaan. (Perustuu lähteeseen Pihkola et al., 2018)

Elisa Oyj on julkaissut myös tarkempia yrityskohtaisia tietoja useiden vuosien ajan kestävyysraportointinsa osana sekä päivittänyt päästölaskennan menetelmädokumenttiaan (Elisa, 2020a, b). Seuraavassa kuvassa (Kuva 6) on esitetty Elisan uusin arvio tietoliikenteen ominaissähkönkulutuksen kehityksestä.



Kuva 6. Elisan arvio mobiilidatan energiatehokkuuden kehityksestä. (Alkuperäinen lähde Elisa, 2020a)

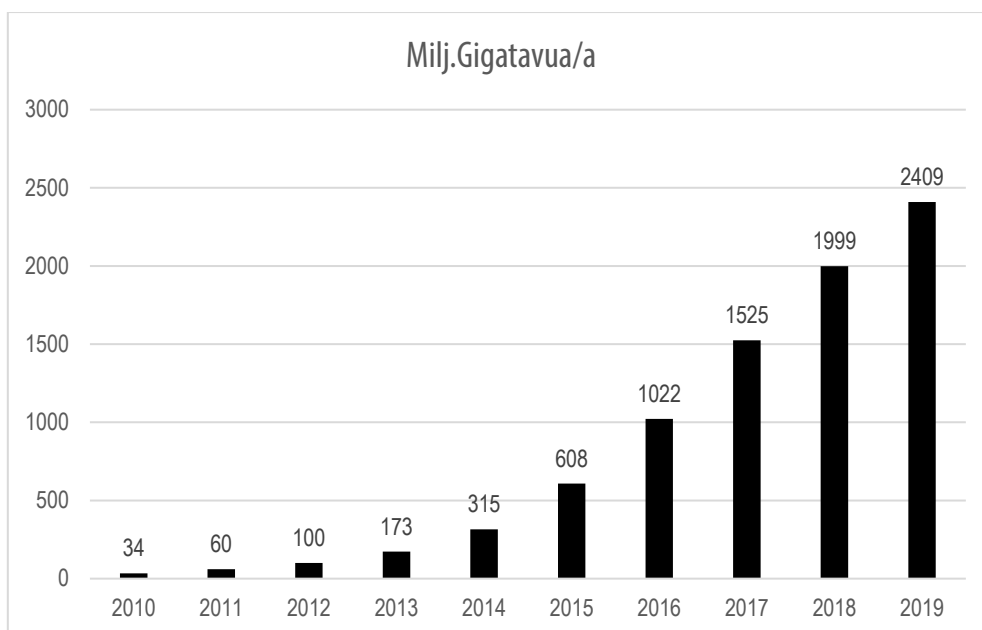
Näiden tietojen pohjalta arvioidaan, että suuntaa antavaa energiatehokkuuskerrointa 0,3 kWh/gigatavu voitaisiin käyttää tämän raportin alustavissa päästövaikutustarkasteluissa tietoliikenteen osuudelle arvioitaessa tietoliikenteen sähkönkäytön mittakaavaa suhteessa muuhun (esimerkiksi tietoliikennelaitteiden suoraan sähkönkulutukseen). Tietoliikenteen määrän kasvu suhteessa asennettujen järjestelmien kapasiteettiin johtanee nopeasti ominaiskertoimen painumiseen keskimääräistä 0,3 kWh/GB tason alapuolelle, mutta toisaalta tarkasteluista puuttuu elinkaarinäkökulma eli mm. laitteiden valmistuksen, ylläpidon ja verkkojen rakentamisen vaikutukset. Toisaalta yksityiskohtaisia tietoja ei ole saatavilla siitä, mitä kaikkea alan yritykset ovat sisällyttäneet sähkönkulutustietoihinsa. Näin ollen alustavissa arvioinneissa päädyttiin käyttämään em. kerrointa.

Viestintävirasto on selvittänyt laajakaistaisten viestintäverkkojen energiatehokkuutta myös simulaatioiden, laitteisto- ja komponentti- sekä tapaustarkasteluiden avulla vuosikymmenen alussa (Viestintävirasto, 2012). Tiedot eivät kuitenkaan perustuneet olemassa olevien järjestelmien sähkönkulutuksen monitorointiin, joten niitä on vaikea rinnastaa operaattoreiden mittauksiin perustuviin tietoihin. Haasteelliseksi arvioinnin tekee myös se, että osa kuituverkon liittymistä ei todennäköisesti sisällä erillistä sähköenergian mittausta, vaan laitteita on kytketty muihin liittymiin (nk. arvioperusteinen pienliittymä). Kiinteiden laajakaistaverkkojen maarakennustöillä ja kuituyhteyksien rakennustöiden yhdistämisellä mm. kunnallisten vesi- ja jätevesiverkkojen kaivuutöihin on voitu aikaansaada merkittäviä rakennuskustannusten ja kuituverkoille kohdennettävien elinkaaripäästöjen vähenemisiä.

Keskimääräisen sähkön ominaispäästökertoimen ja tietoliikenteen sähkönkulutuskerroimen avulla esimerkiksi kotitalouksissa kulutetun tai ICT-järjestelmien generoiman tietoliikenteen osuutta voidaan suhteuttaa karkeasti muun kulutuksen hiilijalanjäljestä kertovaan tietoon.

Vaikka tietoliikenteen energiatehokkuus siirrettyä tavua kohden paranee nopeasti myös tietoliikenteen määrä kasvaa edelleen voimakkaasti. Traficomin tilastossa on esitetty Suomessa sijaitsevissa matkaviestinverkoissa siirretty tiedonsiirtomäärä (Traficom, 2020). Tiedot kerätään matkaviestinverkon operaattoreilta kahdesti vuodessa. Traficom ylläpitää matkaviestintää koskevia määrätietoja www.sivuillaan².

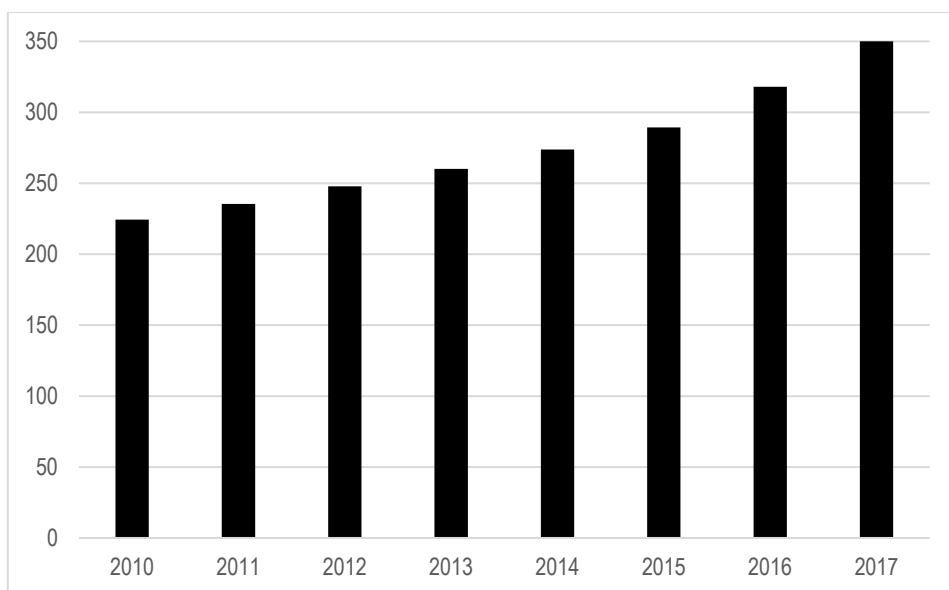
² <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/matkaviestinverkossa-siirretty-tieto>



Kuva 7. Matkaviestinverkossa siirretyn datan määrän kehitys Suomessa perustuen Traficomien operaattoreilta keräämiin tietoihin. (Traficom, 2020)

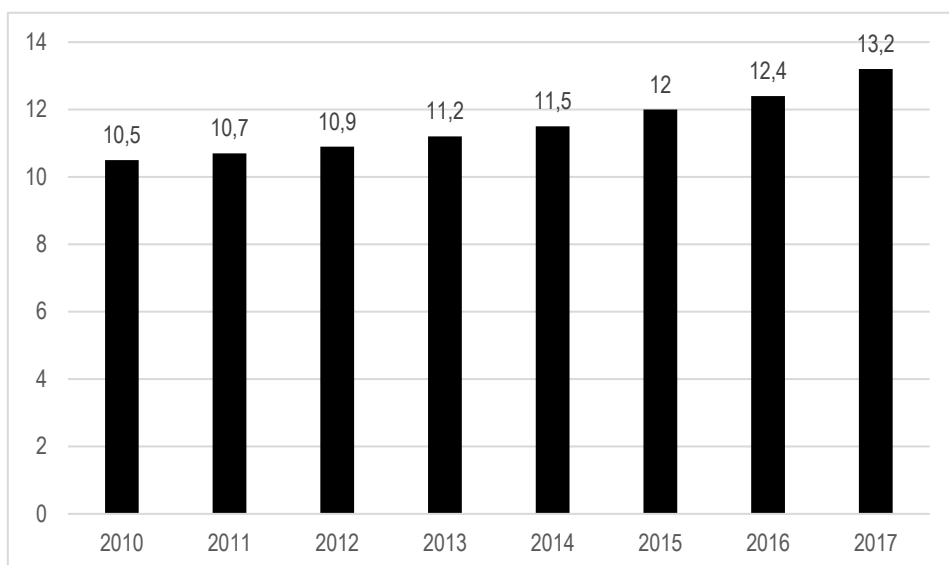
Mobiiliverkkojen liikenne jatkaa voimakasta kasvua, joskin pientä linearisoitumiskehitystä on havaittavissa (Kuva 7). Yhdessä nämä toisiaan kompensoivat kehitystrendit ja suuntaa antavat taustatiedot viittaavat siihen, että tietoliikenneoperaattoreiden sähkönkäytön kasvu on vuosina 2010 luvulla ollut maltillista, mutta tarkempia tietoja sähkönkäytön jakautumisesta eri toiminnoille tarvittaisiin kokonaistilannetta kuvaavien arvioiden tueksi.

Esimerkiksi datakeskusten osuudesta ja vaikutuksesta toimialan sähkönkäyttöön Suomessa on vain vähän julkaistua tietoa saatavilla. Arvio globaalista kehitystrendistä on kuitenkin esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 8).



Kuva 8. Arvio datakeskusten globaalista energiankulutuksesta, TWh/a. (Muokattu lähteestä Borderstep, 2019)

Borderstepin (2019) tutkijat selvittivät myös sähkökäytön kehittymistä Saksassa (Kuva 9) sekä jakautumista datakeskusten eri prosessille. Energiankäytön jakautumisessa merkillepantavaa oli mm. jäähdytyksen (24 %) ja keskeytymättömän sähkönsyötön (UPS, 14 %) järjestelmien suhteellisen suuri osuus kokonaissähkökulutuksesta vuoden 2017 tasolla.



Kuva 9. Arvio datakeskusten energiankulutuksesta Saksassa. (Muokattu lähteestä Borderstep, 2019)

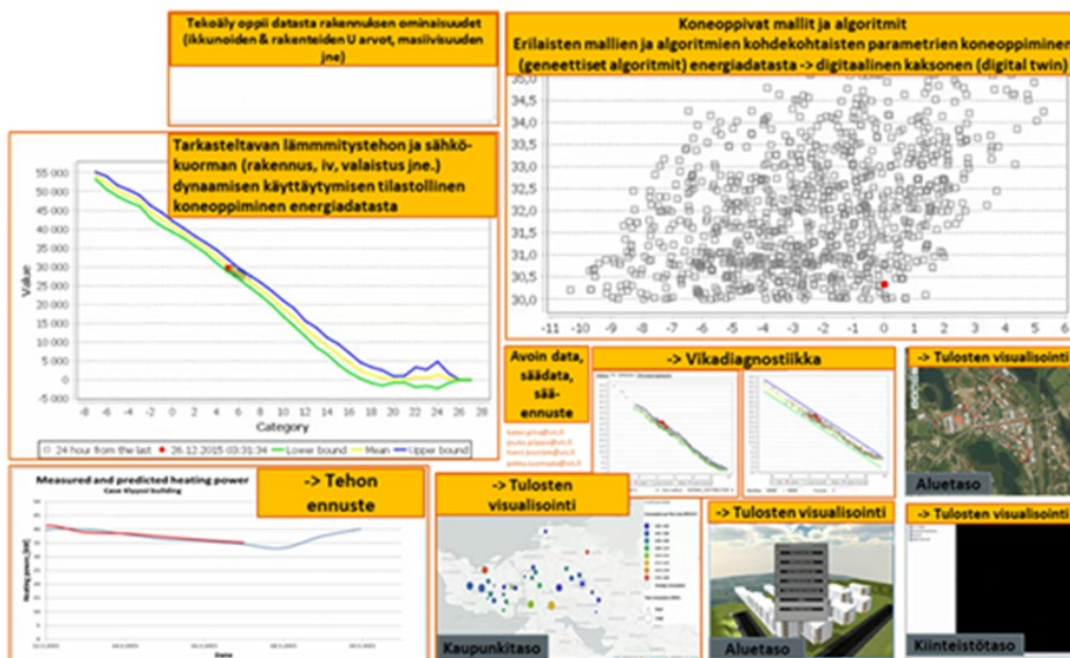
Vaikka datakeskusten määrä on Suomessakin kasvussa eivät Borderstepin (2019) vuoteen 2017 päättyvät tiedot vielä viittaa kovin voimakkaaseen sähkönkulutuksen kasvitrendiin. Toisaalta muutokset toimialalla ovat nopeita ja tietoliikenne on tältäkin osin kansainvälistä – myös Suomessa käytettävät sovellukset ja palvelut kuormittavat ulkomailla sijaitsevia datakeskuksia. Kokonaiskuvaa Suomen osalta on tarkennettu tuoreessa Etlan raportissa ja energiankäytön kasvua arvioidaan tapahtuvan datakeskusten toimialalla (Hiekkanen et al., 2020). Tässä selvityksessä datakeskusten energiankäyttöä oli tarkasteltu ympäristölupien perusteella ja toisaalta Tilastokeskuksen energiatilinpäätelmästä. Suomalaisissa datakeskuksissa onkin otettu käyttöön ratkaisuja primäärienergian käytön tehostamiseksi ja syntyneen lämpöenergian kierrättämiseksi osittain hyötykäyttöön.

4 Valikoidut esimerkkitapaustarkastelut

4.1 Smart Otaniemi

Smart Otaniemi -innovaatioekosysteemi keskittyy energian ja ICT-palveluiden rajapintaan. Tavoitteena on tutkia laajasti digitalisaation ja datatalouden mahdollisuuksia energia-alalla. Keskeisinä sovellusalueina ovat liikenne ja rakennukset.

Smart Otaniemi data-alustalle kerätään laajasti dataa alueen rakennuksista ja muista järjestelmistä (Kuva 10). Alustan tavoitteena on mahdollistaa uudenlaisten datapohjaisten palveluiden ja menetelmien kehitys ja tutkimus. Alustalle kerätään dataa laajasti mm. energia- ja vedenkäytön, sään, sisä- ja ulko-olosuhteiden ja käyttäjien osalta. Alustaa käytetään erilaisten monitorointi- ja optimointimenetelmien kehittämisessä, hyödyntäen myös koneoppivia malleja.



Kuva 10. Kuvaus Smart Otaniemi -ekosysteemihankkeen data-alustasta.

Smart Otaniemi -alustalla tehdään mm. teho- ja energiaennusteita, energiankäytön analyyseja, lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien parametrien optimointia, vikadiagnostiikkaa sekä tulosten visualisointia. Alustaan on kytketty uudentyyppisiä sähkönkäyttöä ja aurinkosähkön tuotantoa monitoroivia lähes reaaliaikaisia järjestelmiä.

Otaniemen rakennuksia on mallinnettu tarkasti BIM-pohjaisina (Building Information Model) 3D-malleina sisältäen mm. rakenneratkaisuja, rakennusten pohjapiirroksia, laitteiden teknisiä tietoja ja erilaisia infrastruktuureita. Tällainen digitaalinen kaksonen-mallinnus mahdollistaa mittaustietojen ja simulointimallien yhdistämisen. Tätä kautta muun muassa uusien menetelmien vaikutuksia rakennuksen tilaan voidaan tarkastella entistä vapaammin.

Smart Otaniemi data-alustan hyödyntäminen energiatehokkuuden ja joustavuuden toteuttamisessa luo merkittäviä mahdollisuuksia päästövähennyksiin. Merkittävimmät mahdollisuudet ovat tyypillisesti rakennuksen lämmityksen ja jäähdytyksen optimoinnissa. Aiemmissä vastaavissa esimerkkitapauksissa on todettu optimoinnin johtavan jopa 10 % energian säästöön jäähdytyksessä ja 7 % säästöön lämmityksessä. (Hasan et al., 2016)

Myös aurinkosähkön mahdollisuuksien selvittäminen Otaniemen rakennuskannassa on ollut yksi keskeinen osa-alue. Tuotantomahdollisuudet vaihtelivat eri rakennuksissa paljon mm. katoilla sijaitsevien laitteistojen vuoksi, mutta päätelmänään Aalto yliopiston tutkijat arvioivat, että jopa 20 % rakennusten vuotuisesta energiankäytöstä voitaisiin tuottaa aurinkosähköllä (SO, 2019). Ylituotanto ei olisi ongelma varsinkaan toimistorakennusten osalta, joissa sähkönkulutuksen huippuja esiintyy kesähelteillä suurten jäähdytysjärjestelmien vuoksi.

4.2 S-market Tuira, Oulu

VTT tutki yhdessä kumppaneiden (mm. S-ryhmä) kanssa energian säästöpotentiaalia ja sähkön kulutusjoustoja vähittäiskauppa-alueissa. Esimerkkikohteena oli keskikokoinen kauppa, S-market Tuira.

Tutkimuksessa selvitettiin kahta asiaa: ostettavan ja käytettävän sähköenergian kokonaisuuden minimoimista ja kulutushuippujen leikkaamisesta. Ensimmäisen kysymyksen osalta selvitettiin, kuinka paljon kokonaisenergian kulutusta voidaan pienentää sekä toisaalta kuinka suuri osuus voidaan tuottaa paikallisesti päästöttömästi aurinkopaneeleilla. Sekä energian kokonaiskulutuksen pienentäminen, että paikallinen päästötön tuotanto vaikuttavat CO₂-päästöjä pienentävästi. Laskelmissa on käytetty Suo-

men sähkön tuotannon ominaispäästökerrointa 100 g /kWh (ks. 4.5.1). Tulevaisuudessa sähköntuotannon päästöt per kWh oletettavasti pienenevät, kun päästöttömän uusiutuvan energian ja ydinvoiman osuudet kasvavat.

Toisen kysymyksen osalta selvitetiin, paljonko kulutuspiikkejä voidaan leikata koneoppimiseen ts. tekoälyyn perustuvan optimoinnin avulla. Tässäkin tapauksessa syntyy päästövähennyksiä, koska juuri kulutushuippujen aikana käytetään esimerkiksi maakaasuvoimaloita, jotka tuottavat päästöjä.

Tehtyjen muutosten jälkeen ostetun sähkötehon määrä on pienentynyt päiväsaikaan 20–40 kW vuositasolla. Vähennykseen on päästy ohjaamalla kaupan osajärjestelmiä (pakastealtaat, kylmäkaapit, ilmastointi, lämmitys) optimaalisesti digitaalisen ohjauksen ja IoT-mittausten avulla esimerkiksi niin, että ne eivät toimi toisiaan vastaan. Toinen merkittävä tekijä on myymälän katolle asetetut aurinkosähköpaneelit.

Vähittäiskauppaliikkeen tyypillinen sähkönkulutus on 600 kWh neliometriä kohti vuodessa. Kokeilumarketissa tämä voidaan pudottaa 240 kWh/m², eli ostosähkön osuus putosi peräti 60 % (VTT, 2017). Koko kauppaketjun, jolla on 1800 myymälää, sähkön kulutus on 1,1 TWh vuodessa. Jos arvioidaan karkeasti, että S-ryhmä voisi vähentää puolet tai jopa saman 60 %, eli 0,33–0,66 TWh vähenisivät Suomen CO₂ päästöt vastaavasti 33 000–66 000 t (oletus verkkosähkön ominaspäästöstä 100 g/kWh). Laskelma on tietysti suuntaa antava, koska S-ryhmän sähkönkulutuksessa on mukana muutakin kuin myymälöitä, mm. keskusvarastoja, joissa säästöpotentiaali lienee pienempi ja lisäksi marketit laitteineen ovat eri ikäiset ja kokoiset.

Vastaavasti koneoppivalla järjestelmällä voidaan optimoida kulutusjoustoja, ts. siirtää sähkön käyttöä ajankohdista, jolloin sähkönhinta ja päästöt ovat korkeat. Esimerkkita-pauksen perusteella aiempaa kulutustietoa ja esimerkiksi sääennusteitä hyödyntävä järjestelmä kykeni leikkaamaan kulutushuippuja 8,4 %.

4.3 Aurinkosähköntuotannon ennustaminen

Sääriippuvaisen uusiutuvan energian tulevan tuotannon tarkempi ennustaminen auttaa koko sähköjärjestelmää kohti vähäpäästöisempää toimintaa – kustannustehokkuutta unohtamatta. Esimerkiksi Fingrid tarjoaa [www-sivuillaan](https://data.fingrid.fi/en/dataset/solar-power-generation-forecast-updated-every-hour)³ tunneittain päivittyvää 36-tunnin ennustetta aurinkosähköntuottajien ja muiden toimijoiden hyödynnettäväksi.

³ Solar power generation forecast – updated hourly <https://data.fingrid.fi/en/dataset/solar-power-generation-forecast-updated-every-hour>

Pitkän aikavälin sääennusteiden luotettavuuden parantaminen luonnollisesti hyödyttää aurinkovoiman (ja tuulivoiman) tuotantokapasiteetin ennustamista ja siten mahdollistaa koko järjestelmän optimoinnin esimerkiksi päästöjen vähentämiseksi. Sääennusteiden parantuminen perustuu lähes kokonaan ICT-teknologioiden kehittymiseen, esimerkiksi mittausten tarkentumiseen (sääutukat ja muut anturit), mutta varsinkin suurteholaskentaan, jonka ansiosta entistä suurempaa lähtödataa voidaan käyttää ennustemallien syötteenä ja siten saavuttaa pidempi luotettava ennustejakso. Esimerkiksi 15 vuorokauden sääennusteiden käyttö uusiutuvan energian tuotannon ennustamisessa hyödyttäisi pohjoismaisia vesivoimaan nojaavia järjestelmiä (Rausku et al., 2020).

4.4 Laitteita ja palveluita energiankulutuksen ja sisätilaolosuhteiden hallintaan

Useat toimijat (mm. Leanheat, Fourdeg, Salusfin, OptiWatti) tarjoavat kaikki laitteita ja palvelua kuluttajille energiakulutuksen ja sisäolosuhteiden hallintaan. Kolme ensimmäistä mahdollistavat ratkaisun myös kaukolämpöyhtiöille lämmön kysyntäjoustopoitetusmalliksi. Kaukolämpöyhtiön näkökulmasta pelkän kulutuspuolen osalta konsepti on hyödyllinen, sillä se varmistaa myös talon sisäisen lämmönjakelujärjestelmän tehokkaan toiminnan, ts. matalamman lämpötilatason ja hyvän jäähtymän sekä oikeat virtausmäärät kaukolämpöverkossa.

Toimijat kertovat älykkäällä ohjausjärjestelmällä saavutettavan keskimäärin 20 % (Leanheat), mutta yritykset kertovat markkinointimateriaalissaan suurimmillaan jopa 35 % (Fourdeg) tai 40 % (OptiWatti) kustannussäästöistä. Todelliset säästöt riippuvat kohteesta ja sen käyttötarkoituksesta ja -tavasta eli vertailutasosta. Esimerkiksi Optiwatin järjestelmällä asukas hallitsee asumislämpötiloja huonekohtaisesti ja aikataulutettuna. Nyrkkisääntönä Suomessa on perinteisesti ollut, että yhden asteen alhaisempi sisälämpötila alentaa lämmitysenergiaa viisi prosenttia. Töissä ollessa (esim. 20 % ajasta) voisi välttää turhaa lämmittämistä samoin kuin yöaikaan (esim. 25 % ajasta)⁴. Kun lämmityksen säätö on helppoa esimerkiksi älypuhelimien, hyvän käyttöliittymän ja älykkään ohjausjärjestelmän avulla, kynnyksellinen toimijuuteen alenee, kun helppouteen lisätään myös rahallinen säästö ilman, että asumismukavuudesta pitäisi tinkiä.

⁴ Jos esimerkiksi 250 000 sähkölämmitteistä omakotitaloa asentavat älykkään sisälämpötilahallintajärjestelmän, jonka seurauksena keskimääräinen lämmitysenergian säästö olisi 10 %, lämmityksessä säästettäisiin 0,25 TWh vuodessa olettaen tilojen lämmitykseen menevän keskimäärin 10 MWh per talo ja vuosi. Tämä vastaisi nykytilanteessa 25 kt CO₂-päästövähennemää.

Kaukolämmön kysyntäjoustopotentiaali liittyy kiinteämmin rakennukseen ja kaukolämpöjärjestelmään. Jos kysyntäjousto antaa mahdollisuuden tasoittaa tai leikata voimakkaasti kulutuspiikkejä, taloudellinen merkitys voi kasvaa isoksi. Tutkimuksissa on kuitenkin arvioitu kaukolämpöverkon kustannussäästöpotentiaalin olevan melko maltillinen, 0,7 % tai 1,4 %, mikäli kysyntäjoustopotentiala on lämpövarastoja (Salo et al., 2019). Toisaalta tämä voidaan saavuttaa sisäilmaolosuhteiden vaarantumatta tai sisäilmaolosuhteet voivat jopa parantua (Mishra et al., 2019). Rakennusten älykkään ohjauksen ja tehokkaan toiminnan ansioista voidaan saavuttaa suorien kustannussäästöjen lisäksi myös välillisiä etuja.

Optiwatti optimoi varaavan sähkölämmitystalon sähkön hankintaa esimerkiksi pörssisähkön mukaan muodostaen siten merkittävän kysyntäjoustopotentiaalin. Kun kysyntä ohjautuu tunneille, jossa uusiutuvaa tuuli- ja aurinkovoimaa on paljon (ja markkinahinta täten alhainen), myös haitalliset päästövaikutukset minimoituvat. Toisenlaistakin joustoa on saatavilla. Esimerkiksi yhdessä Helenin Pörssisähkö Optimisopimuksen⁵ kanssa järjestelmä osallistuu myös sähköjärjestelmän tasapainottamiseen tarvittaessa.

Talojärjestelmien tehokas toiminta ja ohjaus ovat potentiaalisesti tärkeitä tekijöitä siirryttäessä kohti matalampia siirtolämpötiloja kaukolämpöverkossa (Tunzi et al., 2016). Tämä puolestaan edistää hukkalämpöjen ja vähähiilisten lämmönlähteiden käyttöönottoa kaukolämmöntuotannossa. Tuotetta ja palvelua tarjoavat yritykset voivat toimia kaukolämpöyhtiöiden avainkumppaneina siirryttäessä perinteisen asiakasrajapinnan (lämmönjakokeskus) toiselle puolelle, eli asiakkaan järjestelmiin.

4.5 Aurinkosähköhybridejä mobiiliverkon tukiasemille

4.5.1 Johdanto

VTT käynnisti vuonna 2017 aktiviteetteja, joiden tavoitteena oli etsiä keinoja kehittää tietoliikenteen energiatehokkuutta siirrettyä tavua kohden sekä hidastaa tietoliikennejärjestelmien sähkön kulutuksen kasvua eli etsiä laaja-alaisesti polkuja kohti nolla-energiaratkaisuja.

⁵ <https://www.helen.fi/uutiset/2017/helen-tuo-kotitaloudet-osaksi-%C3%A4lyk%C3%A4st%C3%A4-energiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4%C3%A4--edell%C3%A4k%C3%A4vijjys-tuntuu-s%C3%A4%C3%A4st%C3%B6n%C3%A4-s%C3%A4hk%C3%B6laskussa>

Hankkeessa perehdyttiin mobiiliverkkojen tietoliikennemääriin, laitteistojen sähköenergiankäyttöön ja tehostamismahdollisuuksiin sekä ympäristövaikutusten kannalta keskeisiin aiheisiin. Samalla etsittiin keinoja uusiutuvan energian osuuden lisäämiseksi tietoliikennetoimialalla, josta myös etsittiin keskeisiä yrityksiä liiketoimintaekosysteemin ja monimuotoisten kehitystoimenpiteiden käynnistämiseksi (syntyi ZERo ENergy COMmunications, ”ZENCOM-aloite” toimialan yrityksille).

Kaupunkialueiden tukiasemia on sijoitettu suuria määriä (tuhansia) mm. kiinteistöjen ullakoiden teknisiin tiloihin tai muihin erillisiin tiloihin kiinteistöjen rakenteita tai itsestään seisovia mastoja hyödyntäen. Maaseudulla tukiasemajärjestelmät sijaitsevat tyypillisesti ympäristöään korkeammilla paikoilla erillisissä laitetiloissa ja osa järjestelmistä on asennettu suoraan harustettuihin mastorakenteisiin jäähdytystarpeiden vähentämiseksi. Laitetilojen keskimääräiset tehontarpeet vaihtelevat paljon yhdestä kilowatista muutamien kW mittakaavaan riippuen asennettujen laitteistojen määrästä. Tukiasemapaikan vuotuinen sähkönkäyttö voi siten vastata sähkölämmitteisen omakotitalon vuosikulutusta tai olla sitä suurempikin, mikäli samoissa laitetiloissa sijaitsee 2, 3 ja 4G-järjestelmiä sekä monen operaattorin laitteistoja.

Seuraavassa taulukossa on esitetty nykyisin käytössä olevia 4G/LTE -tukiasemia varten vuonna 2017 asetettuja tavoitetasoja. Liikenteestä riippuen yksittäisten laitteiden tehontarve vaihtelee välillä 620–870 W. Yhdellä tukiasemapaikalla laitteistoja voi olla lukuisia, ja oheislaitteineen tehontarpeet voivat nousta jopa 10 kW tasolle tyypillisen tehotason jäädessä kuitenkin pienemmäksi.

Taulukko 4. Vuodelle 2018 esitettyjä tehotavoitteita LTE radioverkkojen tukiasemalaitteistoille lähteen (JRC, 2017) mukaisesti.

Yksiköille, joiden nimellinen teho on 80W tai vähemmän	(W)
LTE tukiasema, suuren liikennekuorma kuormitustila	790
LTE tukiasema, keskimääräisellä liikennekuormalla	660
LTE tukiasema, vähäisellä liikennekuormituksella	565
Yksiköille, joiden radion nimellinen teho ylittää 80W	(W)
LTE tukiasema, suuren liikennekuorma kuormitustila	870
LTE tukiasema, keskimääräisellä liikennekuormalla	725
LTE tukiasema, vähäisellä liikennekuormituksella	620

Laitetiloissa sijaitsevat myös akustot järjestelmien toimintavarmuuden ylläpitämiseksi myös sähkökatkojen aikana. Järjestelmät on mitoitettava määräyksen MPS 54 mukaisesti (Viestintävirasto, 2014). VTT:ssä arvioitiin, että aurinkosähköllä saattaisi olla mahdollista parantaa tukiasemien toimintavarmuutta samalla kun sähkön hankinnan

kustannuksia ja siitä aiheutuvia päästöjä olisi mahdollista vähentää. Myös uusia innovatiivisia Nokian kehittämiä nestejäähdytteisiä tukiasemia voidaan kytkeä kiinteistöjen lämmitysjärjestelmiin hukkalämmön talteen ottamiseksi hyötykäyttöön (Uusitalo, 2020).

4.5.2 PV-hybridin ominaisuuksia ja suorituskykytietoja

Yhtenä omana toimenpiteenään VTT päätti rahoittaa uudentyyppisen kaksisuuntaisesti toimivan aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua ja integrointia 5G-tutkimuslaboratorion yhteyteen käyttökokemusten hankkimiseksi ja Oulun tutkimus- ja tuotekehitysympäristön kehittämiseksi. Hanke suunniteltiin ja toteutettiin pääosin vuonna 2018 ja osa asennuksista, tarkastuksista ja luvituksista suoritettiin loppuun 2019 puolella. Järjestelmä saatiin kaikilta osin 5G-laboratorion tuotantokäyttöön kesäkuussa 2019, jolloin siihen kytkettiin 5G-laboratorion uusia laitteistoja (Hongisto et al., 2019).

VTT:n pilotti rakennettiin siten, että kertyvien käyttökokemusten perusteella voitaisiin jatkossa arvioida mm. tukiasemien osittaisen aurinkosähköistämisen hyötyjä ja kustannuksia erilaisilla ohjaustavoilla sekä vaikutuksia järjestelmien energiatehokkuuteen. Asennuksessa käytettiin vertikaalista seinäpaneelistoa vuodenaikoihin nähden mahdollisimman pitkän ja tasaisen käyttöajan saavuttamiseksi ja heijastusten hyödyntämiseksi lumisissa olosuhteissa. Vertikaaliasennusten ajateltiin olevan mahdollisia myös erillisten makro-tukiasemien mastorakenteissa sekä rakennusten etelään osoitavissa seinissä.

Erilaisten tukiasemalaitteiden 230VAC ja 48VDC sähköntarpeiden tyydyttäminen osoittautui mahdolliseksi modulaarisella ja ICT-ratkaisuilla etäohjattavissa olevalla laitteistolla siten, että kriittiset laitteet voidaan samalla suojata sähkökatkoilta järjestelmän siirtyessä muutaman millisekunnin aikana saarekekäyttömoodiin. Sykliseen käyttöön sopiva akusto mahdollisti myös invertteri-laturin kaksisuuntaisen toiminnan ja nopeasti etäohjattavissa olevan kontrolloitavan verkkorajapinnan siten, että järjestelmällä voidaan hankkia tarvittaessa täydennysenergiaa edullisina hetkinä ja toisaalta kulutuksen ollessa aurinkosähkön tuotantoa pienempää ylijäämät voidaan siirtää kiinteistön sisäverkkoon tai olosuhteista riippuen jakeluverkonhaltijan verkkoon sähkönhankintasopimuksen mahdollistaessa. Sähkökatkojen jälkeen järjestelmä tahdistuu takaisin verkkoon kansallisen verkkokoodin mukaisesti. Suunnittelukriteereinä oli myös se, että järjestelmän kaikkia komponentteja ml. keskeiset lämpötilat tuli pystyä valvomaan ja tutkimaan tarvittaessa jopa sekuntitasolla ja sen keskuskontrollerin avulla myös muita tilan ilmanvaihto-, lämmitys tai jäähdytysjärjestelmiä tulisi voida ohjata.

Ensimmäisen käyttövuoden kokemusten perusteella havaittiin, että etelään suunnatun vertikaaliasenteisen seinäpaneeliston avulla voitiin saada energiaa 800 h/a asennetun

paneelin kWp-lukua vastaten (Oulun olosuhteissa, 137kWh/m²,a). Havaitut erot kuukausitason tuotannoissa olivat suurimmillaan lumipeitteen heijastavan vaikutuksen vuoksi huhtikuussa 2020 verrattuna 2019 huhtikuuhun (ero kuukaudessa -36 %). Pilo-tin kaltaisella PV-hybridi-koeasennuksella (LiFePO₄ akustoineen) olisi mahdollista päästä jopa 50 % vuotuisen aurinkosähköosuuteen, mutta vain pienellä jatkuvalla noin 0,4 kW keskimääräisellä kuormitustasolla, mikä toisaalta voisi toimia energia-au-tonomisesti aurinkoisina kevät- ja kesäkauden päivinä. Koska Suomen olosuhteissa 5 kuukautta on toimittava enimmäkseen sähköverkon varassa, tilaa paneelistoille on yleensä rajallisesti ja tukiasemapaikkaa varten tarvitaan joka tapauksessa sähköliit-tymä, voidaan aurinkovirtalähde mitoittaa osatehoiseksi ja sähköverkon kanssa vuo-rovaikutteiseksi kaksisuuntaista invertteriteknikkaa hyödyntäen.

Koska teknologia on modulaarista ja skaalautuvaa, käyttöön otetun ZENCOM-järjestel-män tietojen pohjalta voidaan tehdä myös scale-up -tarkasteluita Suomen mittakaa-vaan. Päätelmänä yllämainitun kaltaisen ICT-ratkaisujen avulla etäohjattavan aurin-kosähköhybridin käyttökokemuksista voitaneen jo todeta, että erilaisilla mitoitusvaihto-ehdoilla aikaansaataavissa oleva omatuotanto voisi kattaa 10–25 % hajautetusti toimi-vien tukiasemien sähköntarpeesta samalla niiden toimintavarmuutta mahdollisissa sähkökatkotilanteissa parantaen.

Ratkaisun kannattavuus riippuu mitoituksen ja laitevalintojen rinnalla suurelta osin jär-jestelmän ja sen komponenttien ohjausalgoritmeista, akuston ja muiden komponent-tien teknisestä eliniästä sekä ohjaavan järjestelmän kyvykkyydestä reagoida sähkön markkinahintojen sekä kulutuksen ja tuotannon muutoksiin. Säättöjen ja ohjauksen kannalta suorituskykyä voidaan parantaa koneoppivilla järjestelmillä. Ulkoisten palve-luiden koneluettavissa olevia tietovirtoja voidaan hyödyntää vuorokausisykliä enna-koinnissa ja esimerkiksi varautumisessa myrskyolosuhteisiin. Lisäksi poistoilmalämpö-pumpuilla tai muilla lämmöntalteenottoratkaisuilla (nestejäähdytys) tukiasemalaittei-den hukkalämpöä voitaisiin ohjata olosuhteiden mahdollistaessa hyötykäyttöön (esi-merkiksi lämpimän käyttöveden tuotantoon). Vastaavalla tavalla myös ilmastointijär-jestelmät voidaan integroida toimimaan osan vuotta aurinkosähköjärjestelmän piirissä. Kaikissa näissä sovelluksissa ICT-ratkaisuilla on keskeinen merkitys.

4.5.3 Monitoroinnin ja ohjauksen tietoliikenteen sähkönkäyttö vs. tuotannon määrä

Edellä kuvatun järjestelmän tietoliikennetarpeiden sähkönkulutuksen osuutta hyö-dyistä voidaan hahmottaa esimerkiksi keskikulutukseltaan 3 kW tukiasemalaitteiston mittakaavassa. Laitteistoa voitaisiin syöttää aurinkosähköhybridillä, jossa olisi noin 8 kWp aurinkopaneelista DC-lataussäätimineen. 6 h toiminta-aikavaatimus ennakoita-vissa oleville myrskyille voitaisiin saavuttaa noin 18 kWh sykliseen käyttöön sopivalla

akustolla (DoD 80 %) nimelliskapasiteetiltaan esimerkiksi 24 kWh. Vuotuinen aurinkosähkösaanto olisi siten 6000–7200 kWh/a (23–28 % vuosikulutuksesta asennuspai- kasta ja tavasta riippuen).

Järjestelmän sisäinen tietoliikenne ja komponentit toimivat sen omalla aurinkosähkö- tuotannolla. Komponentteja ohjaavan kontrollerin ja 4G-reitittimen sähkönkulutus on suuruusluokkaa 6W (4,32 kWh/kk), mutta ne sisältyisivät järjestelmän energiataseen sisälle.

Alustava arvio järjestelmän kokonaishyötysuhteelle eri häviötyypit komponenteissa huomioiden taselaskennasta on noin 90 % (sisältäen LiFePO4 akuston, jonka kautta vain noin 1/3 -osa energiasta kiertäisi). Tämä tosin on riippuvaista järjestelmien kulutusprofiileista suhteessa aikaan.

Tietoliikenteen määriin vaikuttaa järjestelmään kytkettyjen laitteiden lukumäärän ja luonteen lisäksi asetukset, jolla PV-hybridistä siirretään pilvipalveluun esimerkiksi 160 eri mittaustulosta tai tilatietoa eri aikaresoluutioilla esimerkiksi minuutin välein (kontrol- lerin ja 4G-routerin kautta).

Toisesta vastaavanlaisesta omakotitalomittakaavassa toimivasta, mutta langattomasti 4G-verkon kautta ohjattavasta järjestelmästä rekisteröity tietoliikennetarve on ollut vaihdellut erilaisilla muutamien päivien mittaisilla tarkasteluvälillä 0,4–0,8 MB/h vasta- ten kuukausittaista datankulutusta 0,3–0,6 GB/kk. Kertoimella 0,3 kWh/GB mobiiliver- kossa tapahtuvan tietoliikenteen sähkönkulutuksen suuruusluokka-arvioksi tulisi siten 0,09–0,18 kWh/kk.

Mikäli monitorointijärjestelmä siirretään toimimaan sekuntitasolla ("Remote Console on VRM") ja sitä käytetään pilvipalvelun kautta, kasvaa datankulutus tasolle 1–3 kBps (vastaten 2,6–7,8 GB/kk). Keskimääräinen 2 kBps johtaisi arvioon 5,2 GB/kk vastaten kulutusta 1,5 kWh/kk eli 155 g CO₂/kk.

Mikäli myös monitorointijärjestelmässä olevaa online-visualisointia käytettäisiin pilvi- palvelun kautta, liikenne kasvaisi peräti 100 kB/s vastaten 260 GB/kk. Tämä aiheut- taisi mobiiliverkon puolella sähkönkulutuksen 78kWh/kk ja keskimääräisinä päästöinä 7,8 kg CO₂/kk. Normaalkäytössä muutama minuutti järjestelmän tilan visuaaliseen katseluun tavallisesti kuitenkin riittää sen tilan varmistamiseksi, mutta esimerkiksi jat- kuvatoimisten julkisille paikoille asennettavien näyttöjen kannalta olisi hyvä tiedostaa tällaisia visualisointeihin liittyviä epäsuoria vaikutuksia suuren dataliikenteen seurauk- sena.

4.5.4 Alustavia johtopäätelmiä

Yllämainituista tiedoista yhteen laskien voidaan arvioida, että aurinkosähköhybridin monitoroinnin ja ohjauksen vuotuinen tietoliikennetarve aiheuttaa mobiiliverkon puolella normaalikäytössä 1–2 kWh/a sähkökulutuksen, mutta asetuksista ja käyttöta-voista riippuen se voisi kasvaa 20 kWh tasolle tai sekuntitasoisen graafisen visualisoinnin seurauksena jopa 933 kWh/a tasolle. Dataa välittävien kuluttajalaitteiden (keskuskontrolleri ja 4G-reititin) oma sähkönkulutus olisi vuodessa noin 50 kWh suuruusluokkaa eli suurempaa kuin normaalikäytön tietoliikenteestä verkon puolella aiheutuva kulutus.

Näitä tietoliikenteestä aiheutuvia sähkökulutuksia voidaan suhteuttaa tyypilliselle 3 kW tukiasemalle optimoidun 8 kWp vertikaalisen aurinkosähköhybridin vuosituotantoon 6000–7000 kWh/a tai omakotitalomittakaavaisen 3kWp kattoasenteisen järjestelmän vuosituotantoon 2700 kWh/a. Normaalikäytössä tietoliikennelaitteiden ja liikenteen sähkönkulutus on näin ollen mittakaavaltaan korkeintaan muutaman prosentin suuruusluokkaa sen avulla aikaansaataavissa olevasta energiantuotannosta tukiasema- ja omakotitalon mittakaavaisissa pienissä järjestelmissä. Suurten kiinteistöjen useiden kymmenien tai satojen kWp mittakaavaisissa järjestelmissä vaikutukset jäänevät alle promillen mittakaavaan aikaansaataavissa olevista tuotantomääristä.

Esimerkkiarvio toi kuitenkin esiin sen, että monitoroinnin aikaresoluutioasetuksilla, visualisointimodeilla ja muilla monitorointijärjestelmien käyttötavoilla voi olla merkittävä vaikutusta aiheutuviin tietoliikennemääriin ja niistä aiheutuviin sähkönkulutuksiin ja arvioihin aiheutuvista epäsuorista hiilidioksidipäästöistä. Tietoliikennemäärien ja niihin liittyvän sähkönkäytön systemaattisempi tutkimustoiminta olisi tarpeen haitallisimpien tilanteiden välttämiseksi ja järjestelmien toiminnan tehostamiseksi.

Mikäli matkapuhelinverkkojen tukiasemien sähköntarve olisi kasvanut viitteen (Apilo et al., 2015) tasolta noin 500 GWh/a tasolle ja kuvatun kaltaiset aurinkosähköratkaisut leviäisivät laajaan käyttöön (esim. soveltuisivat 50 % kohteista Suomessa), voitaisiin niiden kulutuksesta kattaa 25–60 GWh/a osuus (aurinkosähkötehona 30–75 MWp). Keskimääräisellä päästökertoimella 100 g CO₂/kWh vuosittain toteutuvaksi päästövähenemäksi nykytilanteessa tulisi 2500–6250 t CO₂/a. Suurimmat epävarmuustekijät liittyvät asennuskustannuksiin, akustojen elinikään, korvattavan sähkön hintakehitykseen sekä sen siirtopalveluiden hinnoitteluperiaatteisiin.

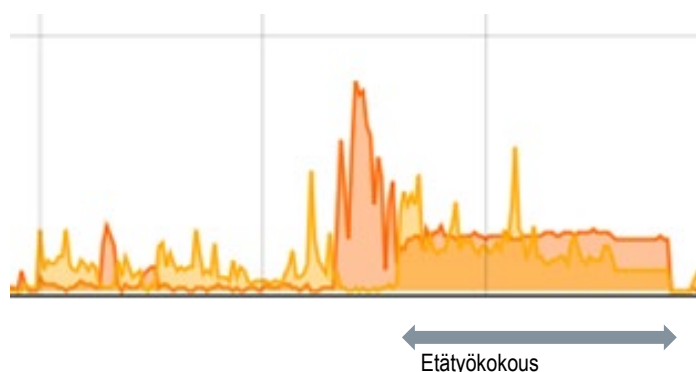
4.6 Esimerkki-case kahden hengen kotitalouden datankäytön ja etätyön vaikutusarviosta

Smart-TV:tä, paljon etätyötä, pilvipalveluita ja useita mobiili- ja IoT laitteita ml. valvontakamerat käyttävissä kotitalouksissa kuukausittainen mobiilidatan kulutus voi kasvaa yli 100 gigatavun tasolle. Erityisesti videon katselun osuus korostuu (Federley et al., 2015; Uitto & Forsell, 2018). Myös etätyöllä voi olla olennaista merkitystä, mikäli videokuvaa käytetään kokouksissa paljon.

Kodin energiahallintajärjestelmän (HEMS – home energy management system) vaikutus datan käytön kokonaisuudessa näyttää vähäiseltä. Tosin kuten edellä aurinkosähköhybridiä koskevassa tarkastelussa mainittiin, myös käyttö- ja monitorointitavoilla voi olla merkitystä. Huomattavasti laajemmat ja tarkemmat mittaukset erilaisten sovellusten osuuksista voivat jatkossa olla hyödyllisiä erityisesti online-visualisointien osalta.

Suomessa siirretty mobiilidata henkilöä kohden oli vuonna 2018 30,7 gigatavua/kk (Ficom 2020b). Keskimääräiskertoimin 0,3 kWh/GB ja 0,1 kg CO₂/kWh CO₂-päästöjen suuruusluokkaa olisi 11 kg/vuodessa eli promillen suuruusluokkaa keskivertosuomalaisen hiilijalanjäljestä (joka on noin 10,3 t CO₂e vuodessa per henkilö, Sitra 2020a).

Alustavien rekisteröintien pohjalta etätyöskentely voisi aiheuttaa +10–30 gigatavun lisäkulutuksen kuukaudessa henkilöä kohden. Mikäli suuri osa datasta siirtyy VPN:n kautta, datan käyttöä ei ole helposti eriytettävissä eri sovelluksille asti. Muutamat mittaukset esimerkiksi TEAMS-kokouksista viittasivat 0,3–0,6 GB/h kulutustasoon (Kuva 11), ja vaikuttaa siltä, että datankulutus riippuu käyttäytymisestä kokouksessa, asetuksista ja esityksistä. Käytännön työskentelytilanteissa taustalla käynnistyvien prosessien hallinta ja monitoroimattomuus voi aiheuttaa virheitä näihin arviointeihin. Mikäli etäkokouksia olisi 3h/d (60h/kk) jopa 18 GB/kk datankulutustaso tietoliikenteen osalta voisi toteutua. Tietoliikenteen sähkönkäyttö olisi arviolta 5,4 kWh/kk (vastaten 0,54 kg CO₂/kk per henkilö).



Kuva 11. Esimerkki mitatusta datankulutuksesta Teams-etäkokouksen aikana (Teltonika RUT950 4G-routerin ohjelmistolla mitattuna. Lähde: M. Hongisto).

Etätyön tuottamat päästövähennykset henkilöliikenteessä voivat olla hyvin merkittäviä, mutta riippuvat myös vertailukohtasta. Esimerkiksi 100 km päivittäinen matka pienikuluksisella dieselautolla (87g/km, rekisteriote Opel Corsa), johtaisi 8,7 kg CO₂/päivä päästöön (174 kg CO₂/kk, 20 työpäivää). Mobiilitietoliikenteestä voisi verkon puolella aiheutua tässä esimerkissä 0,3 % osuus etätyöskentelyllä vältetyistä päästöistä.

Sähköauton kuluttaessa tyypillisesti 10–15 kWh/100 km (Motiva 2019) johtaisi esimerkiksi kulutustaso 125 Wh/km 1,25 kg CO₂/päivä päästöön (25 kg CO₂/kk) joka olisi lähes 50-kertainen etätyöskentelyvaihtoehtoon verrattuna. Näistä yksinkertaisista esimerkeistä puuttuu kuitenkin kokonaan elinkaariajattelu ja laitteiden valmistusketjujen ja mm. sähkön jakelun häviöiden päästövaikutusten arviointi, jolla erityisesti ajoneuvojen akkuratkaistusten osalta arvioidaan olevan merkitystä. Kuluttajan omien ICT- ja tietoliikennelaitteiden sähkönkäytön hukkalämpö jää kiinteistön sisäiseksi lämmöntuotannoksi (kuten valaistuksen lämmitysvaikutus), ja se on mahdollista kierrättää lämpimään käyttöveteen poistoilmalämpöpumpulla tai hyödyntää tuloilman lämmityksessä lämmityskauden aikana.

4.7 Ilmalämpöpumpun parannettu ohjaus osana pientalon kuormien ja aurinkosähköjärjestelmän ohjausta

Uusiin invertteriteknologiaa hyödyntäviin ilmalämpöpumppeihin on saatavissa IoT-tietoliikennemoduleita ja etäohjelmoitavia “online controllereita”, joilla laitteen käyttöä voidaan sopeuttaa erilaisiin tilanteisiin. Laitteeseen asennetaan (usein lisälaitteena) yhteyden aikaansaava IoT-moduli ja sen jälkeen laitteen toimintoja voidaan ohjata tai ohjelmoida älypuhelinapplikaatiolla paikasta riippumatta.

Laitteissa voi olla myös erilaisia käyttötiloja: mm. ilmalämpöpumppujen aurinkosähköintegraation sopiva käyttötapa, jossa minimoidaan tehohuippuja siten, että laitteen tarvitsema aurinkosähköinvertterin teho esimerkiksi sähköverkon ulkopuolisissa off-grid kohteissa pienenee eikä muita tehoa kuluttavia laitteita tarvitse kytkeä pois päältä. Daikin-Europan ilmalämpöpumpussa tätä kutsutaan ”econo-modeksi”. Lisäksi käytössä on loma- ja demotilat. Laitteilla kevättalvella tehtyjen taukojen, lämpötilakuoppien ja yölämpötilan laskukokeilujen perusteella havaittiin mm. seuraavaa:

- Joustavalla asetustilapötilöjen ohjauksella syntyi säästöä vakioilämpötila-asetukseen nähden esimerkiksi 12,1 kWh/viikko koettujen olosuhteiden heikentymättä. Muutamana tunnin mittaiset lämmityskatkokset aamuina ja illoina korkeiden ELSPOT-hintojen aikana eivät juurikaan vaikuttaneet talon sisälämpötiloihin.
- Helppo ja sujuva etäohjelmointi edesauttoi pienten kokemusperäisten parannusten tekemistä käyttöaikatauluihin (edellisen päivän ja viikon sähkölukutuksen kulutusten näkyminen referenssinä, kannusti pieniin säästöparannuksiin)
- Tietoliikennemodulin (Wifi) nimellissähkötehosta ja 4G-reitittimen dataliikenteestä johtuva sähkölukutusarvio 2,9 kWh/kk (mittakaava osuudeltaan 6 % säädöllä arvioidusta säästöstä). Laite näytti käyttävän dataa noin 0,27 MB/h (0,2 GB/kk) vaikka sitä ei aktiivisesti ohjattaisi älypuhelinsovellutuksella (vastaten 0,06 kWh/kk eli 6 g CO₂/kk). Ajoittain kulutus nousi 0,3 GB/kk.
- Lämpötilan ohjaus poissa oltaessa tai lomamatkoiltakin on myös mahdollista – lisäsäästöjä on aikaansaavavissa aina, kun lämpötilaa voi ohjata alas poissa ollessa ja nostaa ajoissa ylös matkoilta palattua.
- Tehonrajoitusten ansiosta ilmalämpöpumppu on käytettävissä myös aurinkosähköllä suurimman osan vuotta. Tehonrajoitusmoodissa lämmitysteho riitti noin nolla-asteisen ulkolämpötilan tasoon saakka sisälämpötilan häiriintymättä.
- Aurinkosähköjärjestelmällä syötettävä ilmalämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu muodostavat yhdessä tehokkaan kokonaisuuden, jossa ensin tuotetaan 22 asteinen sisäilman lämpötila ulkoilman lämpötilasta ja sitten tuotetaan sisäilman lämpötilasta 53 asteinen käyttövesi ja matalalämpötilainen lattialämmitys. Kun molempia voidaan syöttää aurinkosähköjärjestelmällä lämpövarastoja hyödyntäen, voidaan niiden täsmäohjauksella korvata tarvittavaa kallista PV-hybridin akkukapasiteettia (LiFePO₄ kapasiteetin hintatason ollessa noin 450–550 eur/kWh kuluttajalle veroineen).

- Kokeilussa havaittiin, että pilvisenä päivänä käyttöveden lämpötilan ei välttämättä tarvitse saavuttaa tavoitearvoaan, jolloin kuumaa vettä vain kuluu suhteellisesti enemmän suhteessa kylmään (lämmönvaraaja voi osallistua tarvittavan jouston tuottamiseen kiinteistön sähköjärjestelmälle akkukapasiteettia edullisemmin).

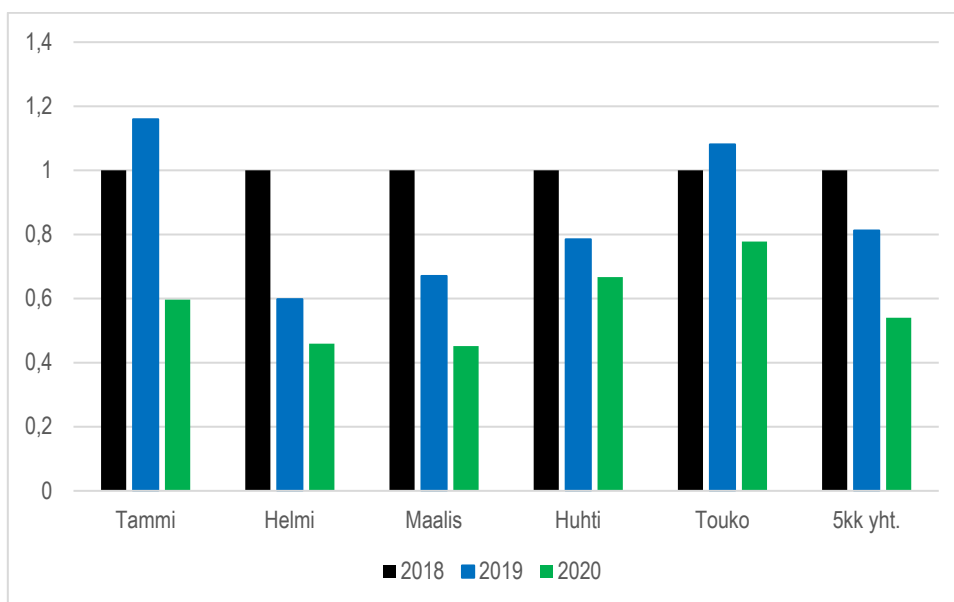
Tulevaisuudessa IFTTT-toiminnallisuuden ("if this then that") kautta laitteen ohjausta voidaan kytkeä mahdollisesti muihin ICT-järjestelmiin ja tietovirtoihin. Palvelun perusideana on, että sen avulla sovellukselle tai laitteelle kerrotaan, että jos tämä asia tapahtuu, niin haluan automaattisesti tämän tai näiden asioiden tapahtuvan. Käyttäjä voisi sovittaa laitteen käyttöaikoja esimerkiksi sähkön tuntihintoihin, aurinkosähköjärjestelmän tuotantoon ja kulutusvaihteluihin sopivaksi ja monitoroida laitteen toteutunutta sähkönkulutusta (oppiminen ja vähittäiset säätöparannukset virittämällä osajärjestelmien käyttöä). IFTTT-palvelun avulla voi luoda automatisoituja tapahtumasarjoja lähes kaikkien verkkoon liitettyjen palveluiden ja laitteiden välillä.

Seuraavassa kuvassa (12) on havainnollistettu yhden esimerkkiviikon kulutusta verrattuna vakioämpötila-asetukseen (kuvakaappaus älypuhelimesta). Esimerkkiviikolla ilmalämpöpumppu pidettiin poissa päältä 3h aamuin illoin tyypillisesti korkeiden sähkön tuntihintojen ajan. Säätömuutoksella oli aikaansaataavissa 27 % säästö.



Kuva 12. Yhden esimerkkiviikon kulutus verrattuna edellisen viikon vakioämpötila-asetukseen (kuvakaappaus Daikin online-controller älypuhelinsovelluksesta, lauantain ja sunnuntain asetukset samat vertailuviikolla).

Vähittäiset kuormien ohjausten yhdistämistoimet, säätöjen parantaminen, aurinkosähköhybridin ja lämpöpumppujen käyttöönottoimet sovitettuna vähäisiin käyttäytymismuutoksiin ja harkittuihin laitteiden käyttösekvensseihin voivat tuottaa omakotitalon mittakaavassa merkittäviä muutoksia sähkönhankintaan.



Kuva 13. Kiinteistön sähkönhankintaa voidaan vähentää kymmenillä prosenteilla kiinteistön energia-järjestelmän eri osa-alueita kehittämällä. Kuvassa 2018 tieto = 1 ja muut vuodet suhteutettuna siihen.

Kuva 13 havainnollistaa sitä, että muutaman kymmenen prosentin suuruusluokkaa olevat muutokset sähkönhankintaan ovat mahdollisia aikaansaada kiinteistön energia-järjestelmän eri osa-alueita kehittämällä (esimerkin omakotitalosta puuttui kuitenkin vielä jätevesien lämmön talteenottojärjestelmä). Tarkastellussa pienkohteessa oli mahdollista saavuttaa viidessä vuodessa 2014–2019 noin 40 % vähennys vuotuisessa sähkönhankinnassa lämpöpumppujen, aurinkosähkön ja parannettujen ohjausten avulla.

Uusilla invertteri- ja sähkövarastointiteknologioilla aurinkotuotannon ja lämmönkierrätyksen jälkeen jäljelle jäävä sähkönhankinta on mahdollista kohdentaa suurelta osin edullisimmille tunneille tai kohdentaa esimerkiksi ulkoisen 100 % uusiutuvilla energiälähteillä toimivan sähkömyyjän tuotantomääriin älypuhelinsovellusten tarjoaman informaatio-ohjauksen mahdollistamana (esimerkkinä Lumituuli Oy:n (2020) mobiilisovellus, jossa reaaliaikainen tieto oman tuotannon tehosta välitetään applikaatiolla asiakkaille, jotta ne voisivat ottaa sen kulutuksessaan huomioon).

Vaikka järjestelmät ovat vielä monimutkaisia ja hankalasti yhteen sovitettavissa, voidaan jo nyt nähdä, että järjestelmien integraatiomahdollisuudet paranevat, niiden IoT-ratkaisut kehittyvät nopeasti ja useiden kymmenien prosenttien päästövähennykset öljy- ja sähkölämmitteisissä omakotitaloissa ovat ohjattavin energiaratkaisu mahdollisia. Jäljelle jäävä sähköenergia on mahdollista hankkia sähkömarkkinoilta lähes päästöttömästi.

Esimerkki havainnollistaa, miten ICT-energiajärjestelmiä yhdistelemällä voidaan saavuttaa tilanne, jossa kaikki asumisen energiankäytöstä aiheutuvat päästöt ja kustannukset syntyvät tarvittavien laitteiden valmistusketjuista.

4.8 Julkishallinnon KHK-ohjausjärjestelmät: Sähköinen asiointi Energiavirastossa

4.8.1 FINETS – päästökaupan asiointijärjestelmä

Suomi otti EU:n ensimmäisenä maana käyttöön päästökaupan sähköisen asiointijärjestelmän heti EU:n päästökauppajärjestelmän ensimmäisellä ”harjoittelukaudella” (FINETS – päästökaupan asiointijärjestelmä). Viranomaisten, tutkimuslaitoksen ja ohjelmistotalojen yhteistyöllä aikaansaatiin päästökauppaan kuuluvien laitosten luvitusjärjestelmä sisältäen päästöjen tarkkailusuunnitelmien sääntöjenmukaisen laadinnan sekä päästöselvitysten ja todennus- ja parannusraporttien hallintajärjestelmät. VTT oli mukana kehitystyössä 2004–2012 mm. erilaisiin laitoksiin adaptoituvan yksityiskohtaisen päästöjen tarkkailusuunnitelmien muodostuslogiikan ja tarkkailusuunnitelmien hyväksyntäprosessin kehitysvaiheissa. Sittemmin sähköinen asiointi on laajentunut lähes kaikkiin Energiaviraston palveluihin.

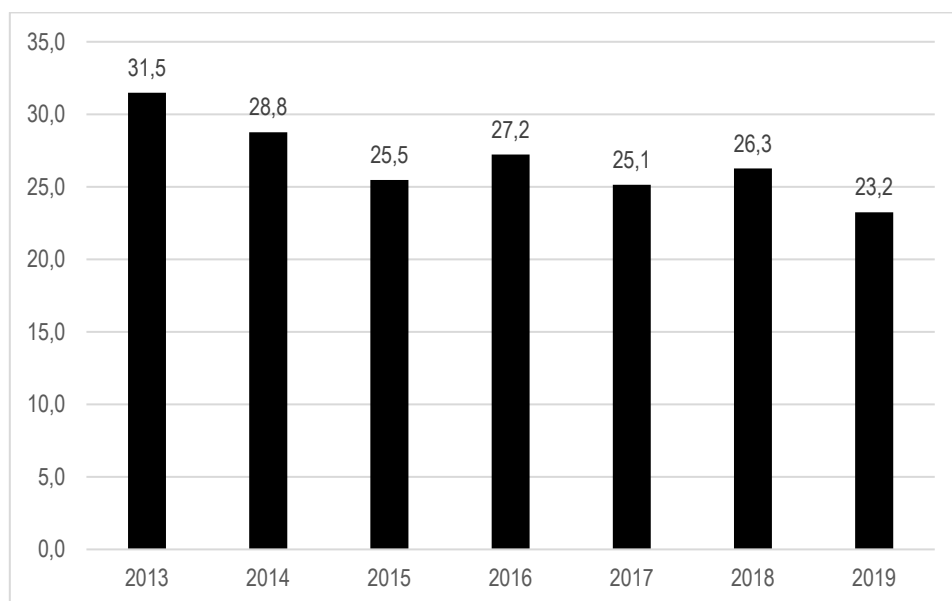
Finetsissä toteutetaan ja dokumentoidaan viralliset asioinnit toiminnanharjoittajan-, viranomaisen ja todentajan välillä. Niihin kuuluu päästöselvitysten jättäminen, todennusprosessi ja parannukset sekä todentajien hyväksyntäprosessi. Järjestelmästä on mahdollista tarkastella järjestelmän tilaa ja laitosten päästöjen kehittymistä (ks. [www.paastolupa.fi-järjestelmä](http://www.paastolupa.fi-jarjestelmä)).

Järjestelmän vaikuttavuutta voidaan arvioida yhtenä osa-alueena, joka on vaikuttanut päästötilastoista havaittavissa olevaan kehitykseen. Keskitetty asiointijärjestelmä on vähentänyt asiointien eri osapuolten hallinnollista taakkaa ja laskenut virhetoimintojen riskejä. Järjestelmän uskotaan edistäneen ainakin päästöjen johdonmukaista tarkkailua yhteisin pelisäännöin sekä parantaneen päästötietojen uskottavuutta kaupanteon

osapuolten välillä. Toisaalta sen tilatietojen avulla on mahdollista saada käsitys erittäin monimutkaisen kokonaisuuden yksityiskohdista. FINETS-järjestelmän avulla järjestelmän johtaminen ja erilaisten tietotarpeiden ja pyyntöjen täsmällinen toteutus on mahdollistunut.

On kuitenkin hyvin vaikea erottaa EU-ETS:n poliittisesti EU-tasolla päätettyjen päästötavoitteiden, yritysten omien toimien ja päästökauppajärjestelmän teknisluonteisen ohjaus- ja hallintajärjestelmän (FINETS) osuutta toteutuneessa päästökehityksessä. Koska järjestelmällä toteutetaan monimutkainen päästöluvitus (ml. tarkkailusuunnitelmien laadinta ja tarkastukset ja niihin liittyvä tiedonvaihto), päästöselvitysten todentamisen prosessit, todentajien hyväksyntäprosessit, todentamis- ja parantamisraportoinnit ja kaikki niihin liittyvä asiakirjahallinta, arkistointi, kirjeenvaihto ja ajallinen tilanseuranta useiden toimijoiden vuorovaikutusprosesseina, voidaan arvioida että säästöt virkapostien fyysiseen lähettämiseen ml. postikuljetukset verrattuna ovat suuret. Yksityiskohtainen järjestelmä myös välittää laajavaikutteisen kannustinvaikutuksen toimijoille pienentää lähdevirtojen päästöjä.

Aikavälillä 2013–2019 Suomen päästökauppasektorin päästöt pienenevät Energiaviraston mukaan 32 Mt tasolta 23 Mt CO₂ eli peräti 9 miljoonan tonnin verran (Kuva 14). Käytännössä näin monimutkaista järjestelmää ei olisi saatu toimimaan sujuvasti ilman monen tasoisia ICT-ratkaisuja alkaen yksittäisten lähdevirtojen mittausten vaatimustenmukaisuuden tarkasteluista ja päättyen Euroopan laajuisiin raportointi-, rekisteri- ja valvontajärjestelmiin.



Kuva 14. Suomen päästökauppasektorin päästöjen kehittyminen 3. päästökauppakaudella MtCO₂/a Energiaviraston FINETS asiointijärjestelmän tietojen pohjalta laadittuna. (Lähde: Energiavirasto, 2020c)

Päästökauppasektorin 9 Mt:n päästövähennys on erittäin merkittävä suhteutettuna Suomen kokonaispäästöihin. Tilastokeskuksen uusimpien tietojen mukaan vuoden 2019 kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt Suomessa olivat 52,8 Mt CO₂e. Päästöt ovat laskeneet 26 prosenttia vertailuvuodesta 1990 ja 38 prosenttia vuodesta 2003, jolloin päästöt olivat korkeimmillaan aikasarjan 1990–2019 aikana (Tilastokeskus, 2020b). EU:n päästökauppajärjestelmä käynnistyi vuonna 2005 ensimmäisellä 3. vuosijaksolla.

ICT-ratkaisut ovat keskeisessä asemassa myös päästöjen monitoroinnissa ja raportoinnissa YK:n ilmastopimukselle, mikä on mittava ja monimutkainen määrämuotoinen prosessi, jota ilman globaalin kehityksen monitorointi ei olisi mahdollista.

4.8.2 SATU – sähkön tuotantotukien asiointijärjestelmä

FINETSin kehitystyön jälkeen vastaavan kaltaista asiointijärjestelmää tarvittiin uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun sähkön tuotantotukijärjestelmän hallinnoimiseksi. Tuotantotukea maksetaan niin sanottuna syöttötariffina, jolla tuetaan tuulivoimaan, metsähakkeeseen, biokaasuun ja puupolttoaineeseen perustuvaa sähkön tuotantoa. Lisäksi sähköntuottaja osallistuu sähkömarkkinoille ja saa sähkön markkinahinnan tuottamansa sähkön myynnistä. Energiavirasto hallinnoi syöttötariffijärjestelmää tuotantotuen sähköisen asiointijärjestelmän (SATU) avulla⁶.

Järjestelmä toteuttaa sähköntuottajien, viranomaisten ja todentajien väliset toiminnallisuudet ja tiedonvaihdon tarvittavine päätöksineen. Järjestelmä mahdollisti tuotantotukipäätösten hallinnoinnin, ml. sähköntuotannon seurantariffijärjestelmien ja mittausten vaatimusten mukaisuuden varmistamisen.

Järjestelmä myötävaikutti poliittisten päätösten mahdollistajana mm. tuulivoiman nopeaan lisääntymiseen Suomessa vuoden 2010 jälkeen ja sen tietojen avulla viranomaisten pystyivät suorittamaan tukien maksatukset ja todentajat saivat tarvittavat viranomaisasiakirjat tarkastuksilleen. Järjestelmän kautta toteutettiin myös tuotantotukitodentajien kansalliset hyväksyntäprosessit ja ohjeistettiin toimijoita sekä seurataan järjestelmän tilatietoja johtamisen osa-alueena.

Energiaviraston raportin mukaan syöttötariffitukia maksettiin yhteensä 228,7 miljoonaa euroa vuonna 2018 tuotetusta sähköstä. Tuotetun sähkön määrä nousi 7,5 tera-

⁶ tuotantotuki.emvi.fi

wattituntiin, josta 5,6 terawattituntia oli tuulivoimalla tuotettua. Metsähakkeella tuotettiin vuonna 2018 yhteensä 1 860 gigawattituntia (1765 GWh vuonna 2017) sähköä ja tukea maksettiin 21,5 miljoonaa euroa (Energiavirasto, 2019).

Energiavirasto on kehittänyt johdonmukaisesti sähköisiä palveluitaan. Nykyään lähes kaikki asiointit voidaan toteuttaa sähköisesti⁷. Tällä kehityksellä ja ICT-järjestelmien systemaattisella käyttöönotolla oletetaan olleen suuri vaikutus viranomaistyön tehokkuuteen ja täsmällisyyteen sekä järjestelmien hallittavuuteen ja uskottavuuteen.

Tuotantotukijärjestelmä on edistänyt vähäpäästöisen sähköntuotannon markkinoillepääsyä, pienentänyt sähkönkäytön ominaispäästöjä ja edesauttanut tuulivoiman kehittymistä yhdeksi edullisimmista sähköntuotantomuodoista.

4.9 Kotitalouksille suunnattuja ICT-palveluita liittyen energiankulutuksen ja hiilijalanjäljen hallintaan

Viranomaistoimintojen lisäksi Suomessa on kehitetty energian hallintaan sekä hiilijalanjälkien pienentämiseen liittyviä palveluita suoraan kotitalouksille ja kuluttajille, muutamia esimerkkejä näistä ovat:

- Kiroileva hiili, K-Ruoka -sovellus⁸
- S-ryhmän hiilijalanjälkilaskuri, Omat ostot -palvelu⁹
- CleBox, Sähkönkulutuksen ohjaus edullisimmille tunneille, Cleworks¹⁰
- Väppi, Energiavalmentajasi mobiilissa ja selaimessa, Väre Oy¹¹
- Finnairin päästölaskuri¹²
- Nordea wallet – hiilimittari¹³
- GEF Vision – Aurinkoenergian tuotannonseuranta- ja kulutuksenohjausjärjestelmä¹⁴

⁷ <https://energiavirasto.fi/asiointi>

⁸ <https://www.k-ruoka.fi/artikkelit/vastuullisuus/kiroileva-hiili>

⁹ <https://s-ryhma.fi/uutinen/s-ryhman-laskuri-kertoo-ruokakorisi-ilmastovai-kutu/7bJ1UjgsE6C47YBQxdr6s6>

¹⁰ <https://cleworks.com/>

¹¹ <https://vare.fi/asiakkaan-edut/sahkonkulutus-seuranta-vappi/>

¹² <https://www.finnair.com/fi/fi/emissions-calculator>

¹³ <https://www.nordea.fi/henkiloasiakkaat/palvelumme/verkko-mobiilipalvelut/co2-tracker.html>

¹⁴ <https://www.gef.fi/gef-vision>

- There. There Corporation Oy Kodin sähkönkulutuksen älykäs ohjaus palveluita myös energiayhtiöille¹⁵
- Karhu Voiman Tempo suorasähkölämmitteisille kiinteistöille¹⁶
- Fortum Fiksu Energianseuranta suorasähköllä lämmittäville¹⁷

Listaus ei ole kaiken kattava, vaan sovelluksia on todennäköisesti paljon enemmän. Aihepiiri kiinnostaa myös start-up -yrittäjiä. Monet näistä palveluista pohjautuvat informaatio-ohjaukseen ja pyrkivät korjaamaan vapaaehtoisin toimin markkinoiden hintamekanismien ongelmaa ulkoisvaikutusten huomiotta jättämisestä välittäen haittavaikutuksista kertovaa informaatiota (tuotteista ja palveluista) kuluttajapäätösten taustaksi.

Avainkuluttajaryhmien tietoisuuden kasvattamisella saattaa olla suuri merkitys kehitystoimien ohjautumisen näkökulmasta. Helppokäyttöisemmät työkalut ja applikaatiot auttavat monimutkaisista ympäristökysymyksistä kiinnostuneita kuluttajia suuruusluokkien suhteuttamisessa ja oman toiminnan vaikutusten seuraamisessa. Yksi esimerkki hiilijalanjälkisovelluksen vaikutusten arvioinnista löytyy viitteestä, jossa arviointiin, että saadut tutkimustulokset viittasivat siihen, että hyvin suunniteltu kuluttajia voimauttava seuranta- ja palautepalvelu voi olla potentiaalinen työkalu ihmisten motivoinnissa vapaaehtoiseen kulutusperäisten päästöjen vähentämiseen (Hyvönen et al., 2012).

Näiden uusien työkalujen vaikuttavuutta päästöihin on toistaiseksi liian aikaista arvioida. Tietoiset kuluttajat saattavat kuitenkin pyrkiä välttämään tuotteita ja palveluita, joista tarvittavia hiilijalanjälkitietoja ei ole julkisena ja kolmansien osapuolten tarkastamina lainkaan saatavilla.

4.10 Muita järjestelmiä

Polttoainelogistiikan puolella maininnan arvoinen ICT-ratkaisu on Protaconin ONCE-järjestelmä¹⁸. On hyvin todennäköistä, että sen avulla on saavutettu merkittäviä KHK-päästöjen vähennyksiä biopolttoainelogistiikassa. Logistiikka ei kuulunut tämän selvityksen piiriin, mutta mainittakoon, että ICT-järjestelmien avulla voitaneen aikaansaada mittakaavaltaan suuria päästövähennyksiä juuri logistiikassa.

¹⁵ <https://www.there.fi/>

¹⁶ <https://karhuvoima.fi/palvelutuotteet/tempo/>

¹⁷ <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/fiksu>

¹⁸ ONCE, Biopolttoainelogistiikka, Protacon (tärkeä energiateollisuudelle) <https://www.protacon.com/en/industrial-digitalization/once/>

Myös monet jakeluverkonhaltijat ovat kehittäneet ja ottaneet käyttöön energiankulutuksen seurantaan (takautuvasti) helpottavia ICT-palveluita ja asiointijärjestelmiä. Jatkossa olisi toivottavaa, että automaattisista sähkökäyttöpaikkojen (AMR) mittauksista ja mittareiden luentajärjestelmistä olisi saatavissa reaaliaikaiset teho- ja muut tiedot suoraan kiinteistöjen omien energianhallinta- ja automaatiojärjestelmien käytettäväksi, jotta järjestelmät voisivat ohjata kuormia ja energiavarastoja älykkäällä tavalla vuorovaikutuksessa energiaverkkoihin nähden.

5 Arviot lupaavimmista ICT:n tarjoamista tulevaisuuden mahdollisuuksista energia-alalla

Tässä luvussa arvioidaan, millä osa-alueilla ja millä keinoin ICT tulee vaikuttamaan energia-alalla, kun päänäkökulma on ilmaston kannalta haitallisten päästöjen vähentäminen. Merkittäviä ICT:n tarjoamia mahdollisuuksia energia-alalla ovat oppivat enuste- ja optimointimenetelmät tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseksi, kulutusjoustojen mahdollistaminen, tuotanto- ja kulutusyksiköiden ennakoiva ohjaus sekä sähkön varastoinnin oppiva ohjaaminen.

5.1 Kohti päästöttömään uusiutuvaan tuotantoon perustuvaa energiajärjestelmää – digitalisaatio keskeinen mahdollistaja

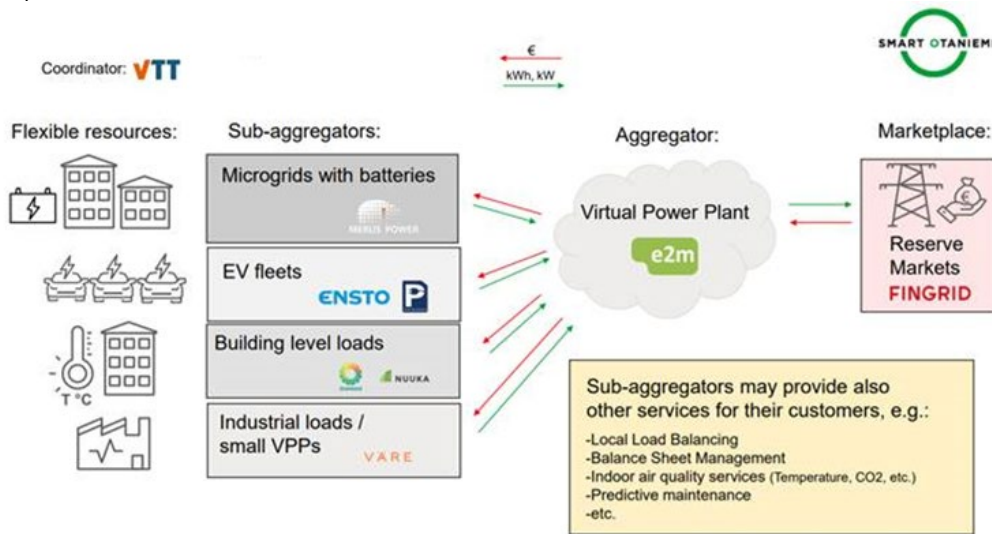
Suomi pyrkii kasvattamaan uusiutuvan energian osuutta energiajärjestelmässä. Samalla monet aiemmin fossiilisiin polttoaineisiin nojanneet sektorit, kuten teollisuus, rakennusten lämmitys ja liikenne ovat sähköistymässä. Uusiutuva energia on pitkälti sääriippuvaista ja dynaamista ja toisaalta myös kulutuspuolella on odotettavissa entistä dynaamisempaa käyttäytymistä (esimerkiksi sähköauton lataus, ohjattavissa olevat lämpöpumput). Tässä tilanteessa korostuu kaksi asiaa, joita digitalisaatio on keskeisesti mahdollistamassa:

- Järjestelmän ohjattavuus ja sitä kautta joustavuus
- Tuotannon ja kulutuksen mitattavuus ja ennustettavuus

Joustavuutta kerätään jatkossa eri sektoreilta yhä pienemmistä yksiköistä. Tällä hetkellä jouston piiriin on valjastettu pääasiassa suuria teollisuuskuormia, mutta kiinnostus pienempiin yksiköihin kasvaa koko ajan. Tällä hetkellä aggregaattori-toimijat keräävät n. 30–100 kW kokoluokassa ohjattavia kuormia niin, että niihin kannattaa toteuttaa erillinen ohjausrajapinta. Tätä pienemmät yksikkökoot vaativat kustannustehokkaita ratkaisuja, esim. toteutuksia ohjausrajapintojen integraation kautta. Digitalisaatio on keskeisessä asemassa mahdollistamassa näitä rajapintoja riittävän kevyin järjestelyin.

Kehittyvät markkinat myös vaativat entistä nopeampaa säätökapasiteettia, mikä edelleen asettaa vaatimuksia tietoliikenteen nopeudelle. 5G-ratkaisut voivat osaltaan mahdollistaa toimimisen entistä reaaliaikaisemmillä säätömarkkinoilla.

Smart Otaniemi -ekosysteemin Subaggregator Business -pilotissa on demonstroitu rajapintojen kautta toteutuvaa "cloud-to-cloud" tiedonvaihtoa, joka pyrkii yhä pienempien yksiköiden, esimerkiksi sähköauton latauspisteiden tehokkaaseen integraatioon (Kuva 15).



Kuva 15. Sub-aggregaattorimalli ja hajautetun joustavuuden kerääminen rajapintojen kautta Smart Otaniemessä.

Digitalisaatio, tietoliikenne, tietokonemallinnus ja koneoppiminen (tekoäly) ovat keskeisiä mahdollistavia teknologioita sääriippuvaiseen tuuli- ja aurinkovoiman tehokkaassa hyödyntämisessä ja yhdistämisessä tuotantojärjestelmään. Esimerkiksi sääriippuvaisen tuotannon hyödyt saadaan paremmin hyödynnettäväksi (Rausku et al., 2020), kun käytössä on pidemmälle ulottuvia luotettavia ennusteita, jotka edellyttävät suurteholaskennan käyttämistä.

Esimerkkinä VTT on kehittänyt yhdessä Fingridin kanssa CapFor Online -työkalun, joka hyödyntää tekoälyä ja parantaa merkittävästi kotimaisen tuotantokapasiteetin ennustetta siirtoverkkoyhtiön käyttöön. (VTT, 2020)

5.2 Kiinteistöjen energiahallinta ja kulutus: keskeiset strategiat ja ICT:n kehitystarpeita

Kiinteistö- ja rakennusala vastaa noin 35 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta ja noin 30 % Suomen hiilidioksidipäästöistä. Sen merkitys on siis kokonaiskuvassa erittäin suuri.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien säätöjen hallinnalla ja optimoinnilla voidaan vähentää energiankulutusta merkittävästi. Ennen kaikkea sisälämpötilojen huonekohtainen hallinta muodostaa merkittävän puhtaasti ICT-pohjaisen energian säästökohteen. Sisälämpötilojen säästöt saadaan asuinrakennuksissa parhaiten erillislaskutettavista kohteista kuten omakotitaloista, jotka muodostavatkin noin puolet asunnoista, mutta toki myös muista asuinrakennuksista ja kiinteistöistä. Mitä helpommin lämmitys ja jäähdytys ovat hallittavissa sovellusten ja älykkään ohjauksen avulla, sitä enemmän säästöä tulee syntymään. Vanhoissa kaukolämmitettävissä kerrostaloissa huoneisto-kohtaiseen säätöön ei ole samanlaista kannustinta, ellei asukas pysty vaikuttamaan omiin lämmityskuluihinsa: asuntokohtainen erillismittaus ja -laskutus ovat merkittäviä kustannustekijöitä, jotka helposti syövät syntyvät säästöt.

Aurinkoenergian hyödyntäminen kiinteistöissä etenee vauhdilla erilaisin ratkaisuin, sisältäen mm. verkon kanssa rinnan asennetut aurinkojärjestelmät, off-grid -ratkaisut, integroidut energiavarastot ja yhdistetyt kuormien ohjausmahdollisuudet. Aurinkoenergian entistä paremmassa hyödyntämisessä keskeisiä kysymyksiä ovat tehojen hallittu leikkaaminen tarvittaessa, kiinteistön sisäverkon ja muiden rajoitusten huomiointi, kokonaiskustannusten minimointi ja integroituminen ulkoisiin markkinoihin ja palveluihin kuten SPOT-tuntimarkkinahintoihin (Elspot) tai taajuusohjattuihin käyttö- ja häiriöreservimarkkinoihin ja niille pääsyn mahdollistaviin järjestelmiin (FCR-N/D). Suomessa on kertynyt kokemusta myös suuritulavuuksisen liikuntahallin ilmanvaihtojärjestelmän ohjauksen kannattavasta yhdistämisestä kulutusjoustojen osaksi ja laajemman virtuaalivoimalaitoksen yhteyteen (Kuopio 2018).

Energiavaraston, yleensä akuston, yhdistäminen aurinkojärjestelmään laajentaa merkittävästi mahdollisuuksia ja tarjoaa samalla tapoja mm. luotettavuuden ja sähkön laadun parantamiseen. Älykkäässä ohjauksessa ja optimoinnissa on käytännön edellytyksenä laitteiden IoT-moduulit ja niiden integraatio automaatio-/ohjausjärjestelmiin sekä luotettava tiedonsiirtoyhteys.

Erilaisten hybridiratkaisujen käyttöönotto osana kuormien ohjauksen kokonaisuutta tarjoaa paljon uusia mahdollisuuksia. Esimerkiksi häiriöttömän sähkönsyötön ja käytövarmuuden osalta on saavutettavissa selviä synergioita. Lämpöpumppujen käyttöönotto ja ohjaaminen eri käyttötilanteissa ovat monella tavalla hyödyllisiä toimia.

Lämpökapasiteettien hyödyntäminen on muutenkin tärkeää ja se tulisi yhdistää osaksi koko energiankäytön kokonaisuuden hallintaa. Myös lämpöenergian kierrätys rakennuksissa yleistyy. Nämä toimet edellyttävät toimivaa ja kustannustehokasta ohjausjärjestelmää, joka rakentuu pitkälti ICT-ratkaisujen varaan.

5.3 Kiinteistöjen, energiaverkkojen ja markkinoiden vuorovaikutus

Digitalisaation odotetaan edistävän erityisesti kiinteistöjen ja muiden hajautettujen resurssien osallistumismahdollisuuksia erilaisille sähkömarkkinalohkoille ja paikallisiin energiayhteisöihin. Keskeisin kehitysalue tällä hetkellä on joustojen markkinoille pääsyn helpottaminen verkkojen kautta. Kuten edellä on kuvattu, tämä edesauttaa osaltaan uusiutuvan energian osuuden kasvattamista, mutta samalla myös turvaa toimitusvarmuutta niin paikallisesti kuin valtakunnan järjestelmän tasollakin.

Tulevaisuuden energijärjestelmä toimii kaksisuuntaisesti ja solumaisesti jakautuen tilanteen mukaan dynaamisesti osiin tai saarekkeisiin. Samalla sektori-integraation myötä sähkö- ja lämpö-/jäähdytysjärjestelmät yhdistyvät entistä enemmän. Esimerkiksi lämpöpumppulaitokset muodostavat jatkossa oleellisen rajapinnan sähkö- ja lämpöjärjestelmien välille. Erityisesti lämpöpuolella on paljon uusia innovaatioita, jotka tulevat osaltaan muuttamaan toimintaympäristöä, sisältäen mm. matalan lämpötilan verkot, uudet lämpöpumppuratkaisut, geotermiset ratkaisut ja lähilämpö-konseptit.

Tulevaisuudessa kiinteistö- tai korttelitason ratkaisuihin voi integroitua myös paikallista polttoainetuotantoa, hiilidioksidin talteenottoa ja hyödyntämistä. Nämä prosessit osaltaan tarjoavat joustavuutta järjestelmän suuntaan.

Kiinteistötasolla erilaiset sähköisen asiointin muodot kehittyvät myös nopeasti. Tällä hetkellä erilaisia energiayhteisömalleja kehitetään vauhdilla. Yhteisöissä pyritään paikalliseen energian yhteiseen hyödyntämiseen, tavoitteena pienentää niin kuluja kuin yhteisön hiilijalanjälkeäkin. Hyvin toimivassa yhteisössä voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä omavaraisuuden, optimoinnin ja paremman energiankäytön seurannan myötä.

Yhteisöt vaativat myös uudenlaisia työkaluja ollakseen kustannustehokkaita. Suurten verkkojen hallintaan tarkoitettut järjestelmät ovat usein liian raskaita yhteisökäytössä. Sen sijaan tarvitaan uusia, kevyitä ja skaalautuvia ratkaisuja joita on helppo hallita yhteisön sisällä. Lohkoketjut nostetaan usein esiin mahdollisena ratkaisuna energiayh-

teisön käyttöön. Yhteisön tapauksessa keskeiset kysymykset liittyvät mittausperiaatteisiin, sopimus- ja laskutusasioihin, sekä esimerkiksi jakeluverkkoyhtiön tai muun palveluiden toimittajan kanssa tapahtuvaan tiedonvaihtoon. Laskutukseen ja regulaatioon liittyvät kysymykset ovatkin yleensä suurempi haaste kuin varsinainen tekninen toteutus.

Kaikissa edellä kuvatuissa ratkaisuissa oleellisessa osassa ovat eri järjestelmien väliset rajapinnat ja tiedonvaihto. Järjestelmien yhteensopivuuden kehittäminen onkin keskeistä synergioiden saavuttamiseksi. Tämä käsittää niin tekniset rajapintaratkaisut, tietoliikenneprotokollat kuin data-arkkitehtuurit ja yleiset tietomallitkin. Tarvittava kehitys liittyy vahvasti uusien data-alustojen ja ICT-tekniikan kehitykseen.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Raportissa on esitetty arvioita ICT:n merkityksestä kasviuonekaasujen (KHK) -vähentämisessä energia-alalla perustuen kirjallisuuteen, valikoituihin yritys- ja tapaustarkasteluesimerkkeihin sekä ekosysteemi- ja pilot-hankkeissa saatuihin tuloksiin. ICT on monessa mielessä mahdollistaja päästöjen vähentämisessä: älykkään sähköverkon ratkaisut mahdollistavat laajemman uusiutuvan energian käytön, digitalisaation tuoma tarkempi monitorointi mahdollistaa tehokkaamman järjestelmän optimoinnin eri tilanteissa, ICT:n avulla voidaan parantaa koko energiajärjestelmän energiatehokkuutta ja aktivoida kuluttajia toimimaan energiamarkkinoilla sekä edistää päästövähennyksiä lisäämällä kuluttajien tietoisuutta erilaisilla applikaatioilla, jotka helpottavat epäsuorien vaikutusketjujen tietojen ymmärtämistä ja kannustavat parannuksiin. Digitalisaatio tarjoaa lisäksi mahdollisuuksia mm. koneoppimisen hyödyntämiseen tuotannon ja kysynnän ennustemallien, virhediagnostiikan, ennakoivan huollon ja talojen sisäisen lämmitysjärjestelmien optimoinnin kehittämisessä. Markkinoilla toimiikin jo useita toimijoita, jotka tarjoavat tarvittavia laitteita ja palveluja kuluttajille. Sähköiset asiointijärjestelmät mahdollistavat tehokkaan ja läpinäkyvän viranomaistoiminnan päästöjen valvonnassa ja parantavat edellytyksiä monimutkaisten järjestelmien tilan seurantaan.

Esitetyt tarkastelut on tehty pääosin Suomen näkökulmasta, jonka voidaan todeta olevan monessa suhteessa edelläkävijä muihin maihin verrattuna. Vaikka aihepiiristä löytyy mittava määrä kirjallisuutta, systemaattisesti ja läpinäkyvästi arvioituja ICT-sektorin vaikutuksia KHK-päästöjen vähentämisessä energia-alalla on esitetty vain hyvin rajoitetusti. Erityisesti mitattuja arvioita ICT:n vaikutuksista energia-alalla löytyy verrattain vähän ja KHK-päästövähennystarkasteluissa pääpaino on usein koko ICT-sektorin elinkaaripäästöarvioissa kattaen laitteiden, yritysten tai koko ICT-sektorin globaalit ilmastovaikutukset. Tässä työssä kokeiltiin muutamien esimerkkien pohjalta sitä, miten vaikutuksia voidaan suhteuttaa muuhun kulutukseen.

Tämän selvityksen perusteella voidaan todeta, että koska jo nykytilanteen kartoittaminen on haastavaa, tulevaisuuden kehityksen arviointi on vielä astetta vaikeampaa. ICT-sektorin kehitys on erittäin nopeaa verrattuna fyysiseen energiajärjestelmään, jossa infrastruktuurin uusiutumisenopeus on pari prosenttia vuodessa. Toisaalta Suomen tavoite saavuttaa hiilineutraalisuus vuonna 2035 edellyttää mittavaa uusiutuvan energian lisäystä ja energiankäytön tehostamista kaikilla sektoreilla. Kivihiilen käytön kieltö vuonna 2029 haastaa energia-yhtiöitä etsimään vaihtoehtoisia lämmönlähteitä ja myös lämmön tuotannossa siirryttäneen enenevässä määrin uusiutuvaan primäärienergiaan, lämpöpumppuihin sekä hyödynnetään joustavasti useita erilaisia lämmön lähteitä (ml. tehostettu hukkalämpöjen hyödyntäminen). ICT tulee olemaan kaikkien edellä esitettyjen kehityssuuntien näkökulmasta ratkaisevassa roolissa. Suomeen on jo muodostunut älykkäiden energiateknologioiden, -järjestelmien ja näihin liittyvien

palveluiden yritysekosysteemejä ja Suomea voidaan pitää tässä mielessä edelläkävijänä. Suomen etuja ovat lisäksi vahva ICT- ja energiajärjestelmäosaaminen, ml. tutkimus ja kehitystoiminta.

ICT-sektori on toisaalta myös energian kuluttaja ja tuottaa sähkönkulutuksensa seurauksena epäsuoria KHK-päästöjä. Erillisen ICT-toimialan (ml. elektroniikkateollisuus) sähkönkulutus Suomessa oli tarkastelun mukaan vuonna 2017 1,3 % sähkön kokonaiskulutuksesta (FICOM, 2020a). Rajattaessa tarkastelu televiestintään ja muutamaaan muuhun energiasektorille relevanttiin toimialaan sähkönkulutus tippuu alle prosenttiin sähkön kokonaiskulutuksesta. Raportissa esitettyjen erilaisten tietolähteiden, menetelmien ja tilastollisten arvioiden perusteella keskimääräisenä sähkönkulutuksen päästökertoimena Suomessa on käytetty arviota 100 g CO₂/kWh. Tällä sähkön keskimääräiskertoimella ICT-sektorin KHK-päästöt olisivat promillen mittakaavaa Suomen kokonaispäästöistä. Lisäksi tulee huomioida, että käytetty päästökerroin kuvaa vain karkeasti nykytilannetta ja Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä edellyttää, että sähkön tuotannon tulisi olla tuolloin lähes päästötöntä.

Siirretyn mobiilidatan määrä on kasvanut vuodesta 2016 yli kaksinkertaiseksi, mutta samalla siirrettyä tavua kohden energiatehokkuus on parantunut. Raportissa esitettyjen arvioiden perusteella on käytetty kerrointa 0,3 kWh/gigatavu raportin alustavissa päästövaikutustarkasteluissa tietoliikenteen osuudelle arvioitaessa tietoliikenteen sähkönkäytön mittakaavaa suhteessa muuhun, esimerkiksi tietoliikennelaitteiden suoraan sähkönkulutukseen. Ominaiskerroimen oletetaan laskevan 0,3 kWh/gigatavu tason alapuolelle, joten kerrointa on syytä päivittää lähitulevaisuudessa. Suuri osa tuotantoverkkojen datasta eli myös mobiiliverkkojen data radioverkkojen tukiasemien ja datakeskusten välillä siirtyy Suomessa kiinteässä kuituverkossa. Kiinteissä verkoissa datan siirron oletetaan olevan energiatehokkaampaa kuin siirto radioverkkoja hyödyntäen. Yksinomaan kiinteissä verkoissa siirretylle datalle ei ole vielä tiettävästi määritetty erillistä empiirisiin tietoihin pohjautuvaa sähkönkulutuksen ominaiskerrointa. Jatkossa tuotantoverkoista tarvittaisiin eritellympää ja yksityiskohtaisempaa tietoa mm. siitä, mitä kaikkea alan yritykset ovat sisällyttäneet tuotantoverkkojen sähkönkulutus-tietoihinsa, miten kulutusta on kohdennettu eri tekijöille ja mitkä verkkojen elinkaaren prosessit eivät tietoihin sisälly.

6.1 ICT energia-alalla hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamisen näkökulmasta

Sähkön käyttöä tehostavien projektien avulla aikaansaataavissa oleva epäsuora päästövähennelmä ja samalla ICT:n osuus teknisen kokonaisjärjestelmän päästövaikutuksista saattaa pienentyä sähkön tuotantojärjestelmän ominaispäästöjen pienentyessä edelleen sekä toimijoiden sitoutuessa vähäpäästöisen sähkön hankintaan, kuten mm. monet ICT-alan toimijat ovat jo tehneet.

Sähkönhankinnan ominaispäästöjen pieneneminen johtuu uusiutuvien energiamuotojen kilpailukyvyyn parantumisesta, mikä on seurausta useasta tekijästä: ilmasto- ja energiapolitiittisten tavoitteiden asettamisprosessien lisäksi sääntelyn tehokkuus, uusiutuvien tuotantomuotojen ja niihin liittyvien ohjausjärjestelmien sekä muiden päästöjen vähennyskeinojen tekniset kehitykset. Siten uusiutuvien energiamuotojen osuuden käytännön kasvumahdollisuudet rajautuvat myös sähkö- ja laajemmin koko energiajärjestelmän ”ohjattavuusongelmaan”, jonka ratkaisemisessa ICT:llä on strateginen rooli tuotannon, jakelun ja käytön rajat ylittävänä ja eri osa-alueita yhdistävänä tekijänä. Ominaispäästökehitys on riippuvainen tämän tutkimusparadigman ratkaisuista.

KHK-päästöttömään sähköntuotantojärjestelmään ja -käyttöön siirtymisen jälkeenkin on tarvetta parantaa sähkön tuotannon, jakelun ja käytön tehokkuutta ja ohjattavuutta, ml. monipuoliset energianvarastointitavat. On myös huolehdittava elinkaareltaan mahdollisimman vähäpäästöisen ja kestävästi tuotetun sähkön riittävydestä ja kilpailukyvyistä muiden sektoreiden pyrkiessä korvaamaan sähköllä enemmän päästöjä aiheuttavia tuotantopanoksia (sekä lämmityksessä että poltto- ja raaka-ainekäytöissä). Tämä koko yhteiskunnan läpäisevä sähköistymiskehitys voi aikaansaada lisää päästövähennemiä uusilta toimialoilta ja muuttaa hiilineutraalisuustavoitteet konkreettisiksi toimiksi.

Laadittujen tarkastelujen ja esimerkkilaskelmien perusteella voidaan todeta, että ICT:n energiankulutus näyttää olevan toistaiseksi tarkasteltujen esimerkkien valossa:

- Luokkaa muutama prosentti aikaansaataavissa olevasta energiansäästöstä esim. pientalosovelluksissa.
- Luokkaa promille aikaansaataavissa olevasta energiansäästöstä suuremmissa kiinteistöissä tai energiajärjestelmätasolla.

Huomiona todetaan myös, että COVID-19 on siirtänyt ja tulee myös jatkossa siirtämään kaikkia yhteiskunnan toimintoja yhä enemmän ICT-ratkaisujen varaan: liikenteen vähentymisen vaikutukset esimerkiksi etätöiden ja matkustuskieltojen myötä saattavat olla hyvin suuria verrattuna kasvavaan tietoliikenteeseen. Toisaalta esimerkiksi tuoreen globaalin analyysin mukaan (Le Quéré, 2020) asumiseen liittyvät KHK-

päästöt eivät ole vähentyneet, mikä indikoi sitä, että päästöjen vähentämiseen tarvitaan uusia ratkaisuja, joita ICT voi osaltaan tukea. Suurimmat päästövähennykset ovat toteutuneet liikenteessä ja voimmekin pohtia, miten ICT-ratkaisuilla voitaisiin edistää käyttäytymisen muutosta ja siten pysyvien päästövähennysten toteutumista.

6.2 Keskeiset johtopäätökset

Keskeisinä johtopäätöksinä voidaan alustavien mittausten ja raportissa esitettyjen arviointien valossa todeta seuraavaa:

- Siirtyminen kohti fossiiliset polttoaineet korvaavaa sähköistystä, ja samaan aikaan tapahtuva siirtymä kohti päästöttömään tuotantoon perustuvaa sähköntuotantoa on kenties merkittävin energiasjärjestelmän päästöjä vähentävä muutos tulevina vuosikymmeninä. Tämä vaatii toimiakseen tehokkaita mittaus-, ennuste- ja ohjausjärjestelmiä, jotka puolestaan nojaavat vahvasti digitaaliseen tiedonkäsittelyyn ja tietoliikenteeseen eli ICT-teknologioihin.
- Pientenkin energialaitteiden (lämpöpumput, aurinkosähköjärjestelmät, mittaukset) tietoliikennemoduleiden ja kontrollereiden suora sähkönkäyttö näyttää olevan suurempaa (muutamia watteja) kuin niiden (langattomasta) tietoliikenteestä aiheutuva osuus mobiiliverkossa (keskimääräisillä kertoimilla arvioituna).
- Arvio tuotannon ja kuormien ohjausjärjestelmien kuluttaman sähkön osuudesta aikaansaataavissa oleviin energiatehokkuusparanemiin on tapauskohdista ja ehkä muutaman prosentin suuruusluokkaa tai suuremmissä järjestelmissä suhteellisesti vielä vähemmän.
- ICT-laitteiden sekä ohjelmistojen datankulutukseen kannattaa kuitenkin kiinnittää huomiota, jotta varmistetaan, että ICT:n sähkönkäyttö ei kasvaisi tulevaisuudessa ja sovellukset eivät kuormittaisi verkkoja tarpeettomasti.
- Suomessa on jo saatavilla ja lisäksi kehittymässä monipuolinen valikoima energiatehokkuuden parantamista ja CO₂-päästöjen hillintää tukevia ICT-applikaatioita. Suomalaisen toimijat ovatkin eturintamassa uusien palveluiden kehittäjinä ja tarjoajina.
- Sähköiset asiointijärjestelmät ovat kehittyneet keskeiseksi osaksi sekä energiaviranomaisten että yhtiöiden toimintaa ja niiden avulla voidaan yhdistää ja hallita tietoja sekä järjestelmiä tehokkaasti.

Edellä esitettyjen tulosten perusteella voidaan todeta, että energia-alan digitalisaatio toimii merkittävänä KHK-päästövähennysten mahdollistajana ja välilliset päästövähenny-

nysvaikutukset voivat kohota todella merkittäväksi matkalla kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Keskeistä on energiasektorien integraatio, jolloin välilliset KHK-päästövähennysvaikutukset esimerkiksi liikkumisessa voivat kasvaa merkittäviksi. Toisaalta tarvitaan myös eri toimijoiden välistä yhteistyötä ja lisäksi ICT:n epäsuorien päästövaikutusten arviointi vaatisi eri arviointimenetelmien kehittämistä ja testausta tapaustarkasteluin. Vasta systemaattinen ja läpinäkyvä päästöjen monitorointi ja arviointi tuovat alalle uskottavuutta ja auttavat kiinnittämään huomiota keskeisiin epävarmuuksiin.

Lähteet

- Apilo, O., Hongisto, M., Lasanen, M., 2015. Esiselvitys matkaviestinverkkojen tukiasemien sähkön käytöstä ja energiatehokkuudesta. (Viestintäviraston toimeksianto). Saatavilla: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-03348-15.pdf>
- Aydin, E., Brounen, D., Kok, N., 2018. Information provision and energy consumption: Evidence from a field experiment. *Energy Economics*, 71, p. 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.008>
- Bastida, L., Cohen, JJ., Kollmann, A., Moya, A., Reichl, J., 2019. Exploring the role of ICT on household behavioural energy efficiency to mitigate global warming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 103, p. 455–62.
- Borderstep, 2019. Hintemann, R., Hinterholzer, S. Borderstep Institute, Berlin, Germany “Energy consumption of data centers worldwide – How will the Internet become green?” ICT for sustainability 2019. Conference article.
- Börjesson Rivera, M., Håkansson, C., Svenfelt, Å., Finnveden, G., 2014. Including second order effects in environmental assessments of ICT. *Environmental Modelling and Software* 56, p. 105–15. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.005>
- CEER, 2018. Report on Power Losses. Council of European Energy Regulators, Ref: C17-EQS-80-0318, October-2017. Saatavilla: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/09ecee88-e877-3305-6767-e75404637087>
- Extern-E, 2005. ExternE – External Costs of Energy. Kymmenvuotisen EU-projektin internetsivusto: http://www.externe.info/externe_2006/ ja 2012 päivitetty sivusto: http://www.externe.info/externe_d7/
- EU, 2011. European Commission. Commission staff working document impact assessment, accompanying document to the communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions commission staff working document, Energy Efficiency Plan 2011, Brussels.
- Elisa Oyj, 2020a. Vastuullisuusraportti 2019. Saatavilla: https://corporate.elisa.fi/attachment/elisa-oyj/annual-report-2019/Elisa_Vastuullisuusraportti_2019.pdf

Elisa Oyj, 2020b. Elisa´s energy and calculation document for CO₂ emissions. Saatavilla: https://corporate.elisa.com/attachment/content/Elisa-Energy-and-CO2--emission-disclosure-2019.pdf?_ga=2.257320271.590496530.1582633608-238988059.1558416703

Energiavirasto, 2019: Syöttötariffijärjestelmän vuosiraportti 2018. 4.10.2019 <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12760153/Sy%C3%B6tt%C3%B6tariffij%C3%A4rjestelm%C3%A4n+vuosiraportti+2018/a2938acb-0eaa-8a00-b7f4-c411264caf5e/Sy%C3%B6tt%C3%B6tariffij%C3%A4rjestelm%C3%A4n+vuosiraportti+2018.pdf>

Energiavirasto, 2020a. Kestävyys ja liikennepolttoaineiden päästöjen vähentäminen. Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/biomassojen-ja-biopolttoaineiden-kestavyys>

Energiavirasto, 2020b. Jäännösjakauma vuoden 2018 osalta. Energiaviraston julkaisu 8.6.2019 Dnro 1067/463/2019. Sähkön alkuperätakuu -sivusto. <https://energiavirasto.fi/sahkon-alkupera>

Energiavirasto, 2020c. Energiaviraston päästökaupan yhteenvetotaulukko: toimialakohtaiset päästötiedot 2013–2019. Saatavilla <https://energiavirasto.fi/paastokaupan-julkaisut> -alta. Federley, M., Myllysilta, M. 2015, Esiselvitys: TV-sisältöjen monikanavaisen jakelun energiankulutuksen arviointi. <https://cris.vtt.fi/en/publications/esiselvitys-tv-sisaltöjen-monikanavaisen-jakelun-energiankulutus>

FICOM, 2020a. ICT- ja ympäristö sivusto. <https://www.ficom.fi/ict-ala/tilastot/ict-ja-ymparisto>. Linkki taulukkoon: https://www.ficom.fi/sites/default/files/pictures/Graa-fit/ICTjajymparisto/s%C3%A4hk%C3%B6n%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20toimialoitain%20Suomessa_Tilastokeskus_sk_20200311.pdf (Perustuen Tilastokeskuksen energiatilastointiin.)

FICOM, 2020b. Matkaviestinverkossa siirretty tieto <https://www.ficom.fi/ict-ala/tilastot/matkaviestinverkossa-siirretty-data#Suomen%20tietoja>. Perustuu Traficomien tietolähteeseen: <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/matkaviestinverkossa-siirretty-tieto>

Fingrid, 2020. Sähköntuotannon CO₂-päästöarvio. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Fingrid, 2020b. Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin – reaaliaikatiето. Saatavilla avoin -data palvelussa osoitteessa: <https://data.fingrid.fi/dataset/suomessa-kulutetun-sahkon-paastokerroin-reaaliaikatiето>.

Forsell, M., Uitto, M., 2019. Hyvän sään aikana hiiligrilli. Podcast: 4K- JA HD-VIDEOIDEN KATSOMINEN ÄLYLAITTEILLA ON TUHLAUSTA 2.5.2019. Katsottavissa: <https://hyvansaanaikana.fi/hiiligrilli-jakso-3-vihrean-verkon-metsastajat/>

Gesi, 2015. The Global Enabling Sustainability Initiative. #SMARTer2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges. Saatavilla: http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf

Gesi, 2020. The Global Enabling Sustainability Initiative & Deloitte. Digital with Purpose: Delivering a SMARTer 2030. Saatavilla: file:///C:/Users/protkk/Downloads/DIGITAL%20WITH%20PURPOSE_Summary_A4-WEB_watermark.pdf

GSMA, 2018. The Enablement Effect. The impact of mobile communications technologies on carbon emission reductions. Saatavilla: www.gsma.com

Hasan, A., Vesanen, T., Jung, N., Holopainen, R., 2016. Automated optimum geometry generation of a building for the minimization of heating and cooling energy demands. Proceedings of the 3rd IBPSA-England Conference BSO.

Hiekkänen, K., Seppälä, T., Ylhäinen, I., 2020. Informaatiosektorin energian- ja sähkökäyttö Suomessa. ETLA Raportti No 104. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos. Saatavilla: <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-104.pdf>

Hongisto, M., Rantala, S. J., Mäkelä, J., Lasanen, M., Huusko, J., Savela, M., Penjala, J., 2019. Building blocks towards energy self-sufficient / sustained 5G. Poster and demo presentation in 5G-seminar, Espoo 1.11.2019. VTT Technical Research Centre of Finland.

Hyvönen, K.; Saastamoinen, M.; Hongisto, M., Kallio, A. Södergård, C., 2012. A monitoring and feedback service as a way to reduce the greenhouse gas emissions of consumption. International Journal of Consumer Studies. Wiley. Vol. 36 (2012) No: 2, 221–227 Saatavilla: doi-link: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01077.x>

IEA, 2017. International Energy Agency. Digitalization and Energy. Technology Report – November 2017. Saatavilla: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>

IEA, 2018. International Energy Agency. Digitalization & Energy. Webinar – 7 February 2018. Saatavilla: <https://www.slideshare.net/internationalenergyagency/webinar-digitalization-energy>

ITP, 2020. Public Report 8. Lithium-ion Battery Testing. IT Power (Australia) Pty Ltd, April 2020. Saatavilla: <https://batterytestcentre.com.au/wp-content/uploads/2020/05/Battery-Testing-Report-8-April-2020.pdf>JRC 2017. EU Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment Version 6. 2017. EUR 28519. Paolo Bertoldi saatavilla: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106039/ictcoc-ecbe-v6_feb_2017_final.pdf

Kuopio, 2018. Kuopion asuminen ja ympäristö www-sivusto. Saatavilla: <https://www.kuopio.fi/-/kuopio-hallista-suomen-ensimmainen-virtuaalivoimalaitoksena-toimiva-liikuntahal-1>

Laitner, J.A, Ehrhardt-Martinez, K., 2009. Examining the scale of the behaviour energy efficiency continuum, American Council for an Energy-Efficient-Economy (ACEEE), Congressional Briefing. Washington, DC.

Le Quéré, C., Jackson, R.B, Jones, M.W, Smith, A.J.P, Abernethy, S., Andrew, R.M., De-Gol, A.J., Willis, D.R, Shan, Y., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Creutzig, F., Peters, G.P., 2020. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. Nature Climate Change, Published: 19 May 2020. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>

Leskelä, J. 2020. Miten puhdas energia ja tarvittava sähkö tuotetaan? Energia-alan vähähiilisyystiekartta 5.5.2020. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/17156670/ET+Jukka+Leskela+050520.pdf/1fb285de-15cc-de38-f051-c8a1c62b5d81/ET+Jukka+Leskela+050520.pdf>

Lumituuli, 2020. Lumituuli Oy:n tuulivoimatuotannon ja sähkön markkinahinnan seurannan android-mobiilisovellus. Saatavilla Google playstä ja osoitteesta: https://www.lumituuli.fi/production_stats

Mishra, A.K., Jokisalo, J., Kosonen, R., Kinnunen, T., Ekkerhaugen, M., Ihasalo, H., Martin, K., 2019. Demand response events in district heating: Results from field tests in a university building. Sustain. Cities Soc. doi:10.1016/j.scs.2019.101481

Moretti, M., Djomo, S.N, Azadi, H., May, K., De Vos, K., Van Passel, S. et al., 2019. A systematic review of environmental and economic impacts of smart grids. Renewable and DHC+ Technology Platform. Digital Roadmap for District Heating & Cooling [WWW Document]. Euroheat and Power. URL https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2018/05/Digital-Roadmap_final.pdf (accessed 4.30.20).

Motiva, 2019 Viestintäsivusto: Näin liikut viisaasti. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot

Mälkki, H., Hongisto, M., Turkulainen, T., Kuisma, J., Loikkanen, T., 1999. Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyn arvioinnissa. Espoo 1999. 117 s. VTT Research Notes : 1974. Saatavilla:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1974.pdf>

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 2018, 10(7), 2494;

<https://doi.org/10.3390/su10072494>

Pärssinen, M., Wahlroos, M., Manner, J., Syri, S., 2019. Waste heat from data centers: An investment analysis. Sustain. Cities Soc. doi:10.1016/j.scs.2018.10.023

Rasku, T., Miettinen, J., Rinne, E., & Kiviluoma, J., 2020. Impact of 15-day energy forecasts on the hydrothermal scheduling of a future Nordic power system. Energy, 192, [116668]. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116668>.

Salo, S., Hast, A., Jokisalo, J., Kosonen, R., Syri, S., Hirvonen, J., Martin, K., 2019. The Impact of Optimal Demand Response Control and Thermal Energy Storage on a District Heating System. Energies 12, 1678. doi:10.3390/en12091678

Schmidt, D., Schmidt, R.-R., 2020. Digitalisation of District Heating and Cooling [WWW Document]. IEA Annex TS4. URL <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/2018-2024-annex-ts4/> (accessed 4.30.20).

Schneider Electric, 2020. Termis Engineering [WWW Document]. URL <https://www.se.com/fi/fi/product-range-presentation/61613-termis-engineering/> (accessed 4.30.20).

Sitra, 2020a. Keskiverstosuomalaisen hiilijalanjälki -internetsivusto. Graafit on päivitetty 30.12.2019. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskiverstosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

SO, 2019. Hongisto, M., Tukka T. Preliminary findings from a building level intelligence pilot. Smart Otaniemi Newsletter. Saatavilla: <https://smartotaniemi.fi/preliminary-findings-from-a-building-level-intelligence-pilot/>

Traficom, 2020. Traficomien tilasto: Matkaviestinverkossa siirretty tieto. Julkaistu 12.12.2018, Päivitetty 15.04.2020. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/matkaviestinverkossa-siirretty-tieto>

Tilastokeskus, 2020a. Energia 2019 -taulukkopalvelu. Saatavilla: https://pxho-pea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2019/html/suom0011.htm

Tilastokeskus, 2020b. Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkójulkaisu]. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 2.6.2020]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/khki/index.html>

Tilastokeskus, 2020c ICT-sektorin käsitelmääritelmä tilastoinnissa. https://www.stat.fi/meta/kas/ict_sektori.html

Tilastokeskus, 2020d Suomen virallinen tilasto (SVT): Ilmapäästöt toimialoittain [verkkójulkaisu]. ISSN=2323-7589. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 2.6.2020]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/tilma/index.html>

Tilastokeskus, 2020e Suomen virallinen tilasto (SVT): Energiatilinpito, Tilastokeskus [verkkójulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 2.6.2020]. Saantitapa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ymp__entp/stat-fin_entp_pxt_11wx.px/

Tunzi, M., Østergaard, D.S., Svendsen, S., Boukhanouf, R., Cooper, E., 2016. Method to investigate and plan the application of low temperature district heating to existing hydraulic radiator systems in existing buildings. *Energy* 113, 413–421. doi:10.1016/j.energy.2016.07.033

Uitto M., Forsell M., 2018. Towards Energy-Efficient Adaptive Mpeg-Dash Streaming Using Hvc, In Proc. IEEE ICMEW 2018. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551534>

Usva K., Hongisto M., Saarinen M, Nissinen A, Katajajuuri, J-M., Perrels A., Nurmi P., Kurppa S., Koskela S. 2009 Towards certified carbon footprints of products - a road map for data production – Climate Bonus project report (WP3) 2009. VATT, Helsinki. 74 s. + liitt. 14 s. VATT Tutkimukset 143:2/2009. Saatavilla: https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2009/VATT_143_2.pdf

Uusitalo H., 2020 Helpotusta energiarohmuiluun? Nokia Oulun tehtaalla kehitettiin nestejäähdytteinen 5G-tukiasema – Elisan mukaan maailmassa ei ole ennestään käytössä vastaavaa. Elisa tiedottaa, että se on ottanut käyttöön maailman ensimmäisen nestejäähdytteisen 5G-tukiaseman. Kaleva 3.6.2020. Saatavilla: <https://www.kaleva.fi/helpotusta-energiarohmuiluun-nokian-oulun-tehtaall/2580479>

Valmet, 2020. DNA District Heating Manager [WWW Document]. URL <https://www.valmet.com/automation/control-systems/industries/energy/process-optimization/district-heating-optimization/> (accessed 4.30.20).

Viestintävirasto, 2012. Laajakaistaisten viestintäverkkojen energiatehokkuus. Viestintäviraston muistio vuodelta 2012 ja päivitetty muistio 2013. Saatu vuonna 2015 osoitteesta: <https://www.viestintavirasto.fi/ohjausjavalvonta/ohjeitajulkaisut/ohjeidentulkintojensuosittelujenjaselvitystenasiakirjat/laajakaistaistenviestintaverkkojenenergiatehokkuus.html>

Viestintävirasto, 2014. MPS 54 Viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista. Määräyksen 54 perustelut ja soveltaminen. 17.12.2014.

VTT, 2017. Finland has the world's most energy-saving supermarket. Saatavilla: <https://phys.org/news/2017-06-finland-world-energy-saving-supermarket.html>

VTT, 2020. CapFor Online for Fingrid: taking power generation capacity forecasts to whole new level. Saatavilla: <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/capfor-online-fingrid-taking-power-generation-capacity-forecasts-whole-new-level>

Wahlroos, M., Pärssinen, M., Manner, J., Syri, S., 2017. Utilizing data center waste heat in district heating – Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks. Energy 140, 1228–1238. doi:10.1016/j.energy.2017.08.078

Wahlroos, M., Pärssinen, M., Rinne, S., Syri, S., Manner, J., 2018. Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe. Renew. Sustain. Energy Rev. 81. doi:10.1016/j.rser.2017.07.055

Twitter: @lvm.fi
Instagram: lvmfi
Facebook.com/lvmfi
Youtube.com/lvm.fi
LinkedIn: Liikenne- ja viestintäministeriö

lvm.fi