

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö

ÄLYPUHELIMEN KÄYTÖN VAIKUTUKSET PUHELIMEN HIILIJALANJÄLKEEN

**Effects of smart phone usage on the carbon footprint of the
phone**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Risto Soukka
Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Sanni Väisänen

Lappeenrannassa 20.10.2019

Eveliina Hylkilä

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Eveliina Hylkilä

Älypuhelimien käytön vaikutukset puhelimen hiilijalanjälkeen

Kandidaatintyö

2019

44 sivua, 2 kuvaa, 4 taulukkoa ja 2 liitettä

Työn tarkastaja: Professori, TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Sanni Väisänen

Hakusanat: kandidaatintyö, hiilijalanjälki, älypuhelin
Keywords: bachelor's thesis, carbon footprint, smart phone

Työssä selvitetään nykyaikaisen matkapuhelimen, eli älypuhelimien, käytön vaikutuksia puhelimen hiilijalanjälkeen. Kandidaatintyö on tehty kirjallisuuskatsauksena tieteellisten artikkeleiden ja erilaisten verkkodokumenttien pohjalta. Työn tavoitteena on selvittää matkapuhelimesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt käytön aikana, sekä selvittää käyttäjän omien valintojen merkitystä ja vaikutusmahdollisuutta laitteen hiilijalanjälkeen. Työ painottuu sekä puhelimen internetyhteydessä olevien toimintojen käyttöön, että sosiaalisen median ja suoratoistopalvelujen käyttöön, mutta myös laitteen sisäänrakennettujen sensoreiden sekä rakenteellisten ominaisuuksien vaikutusta arvioidaan. Käyttäjän vaikutusta havainnollistetaan laskemalla kolmelle eri käyttäjäprofiilille omat, puhelimen käytöstä aiheutuneet hiilijalanjäljet. Käyttäjäprofiilien hiilijalanjäljissä ei oteta huomioon puhelimen lataamisen päästöjä. Työssä hyödynnettyjen tutkimusten valossa näyttäisi, että älypuhelimien internetyhteyden vaikutus on suuri, ja WiFin käyttöä kannattaa suosia mobiilidatan sijasta puhelimen päästöjä vähentääkseen. Puhelimen käytön aiheuttamat päästöt ovat kokonaisuudessaan kuitenkin melko pienet ja puhelimen valmistus on kaikkein kuluttavinta. Tehokkaimmin puhelimen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä saa vähennettyä pidentämällä laitteen käyttöikä.

SISÄLLYS

SYMBOLILUETTELO	4
1 JOHDANTO	6
2 ÄLYPUHELIMEN ELINKAARI JA HIILIJALANJÄLKI.....	8
2.1 Älypuhelimen elinkaaren alku	8
2.2 Älypuhelimen käytön päästöt.....	9
2.3 Älypuhelimen elinkaaren loppu	10
3 ÄLYPUHELIMEN KÄYTÖN VAIKUTUKSET HIILIJALANJÄLKEEN	12
3.1 Hiilijalanjälki-menetelmä.....	12
3.2 Internet-osien käytön vaikutus hiilijalanjälkeen	14
3.2.1 Yleiset internet-osat, hakukone ja sähköposti	16
3.2.2 Sosiaalinen media	18
3.2.3 Suoratoistopalvelut	20
3.2.4 E-kirjat	22
3.2.5 Pelaaminen	23
3.3 Puhelimen muut kuluttavat tekijät	23
3.3.1 Puhelu ja tekstiviestit.....	24
3.3.2 Lataaminen	25
3.3.3 Näytön vaikutus	26
3.3.4 Sisäänrakennetut sensorit	27
3.3.5 Internet-yhteyden vaikutus	29
3.3.6 Tavallisen matkapuhelimen hiilijalanjälki	31
4 HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA.....	33
4.1 Eri käyttäjäprofiilien hiilijalanjälki	33
4.1.1 Työ-Tuire.....	34
4.1.2 Some-Siiri.....	35
4.1.3 Vähä-Väinö.....	37
4.2 Pohdinta.....	38
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	42
6 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45

LIITTEET

Liite 1. Facebookin kulutus

Liite 2. Käyttäjäprofiilien laskut

SYMBOLILUETTELO

Alkuaineet ja yhdisteet

CH ₄	Metaani
CO ₂	Hiilidioksidi
N ₂ O	Dityppioksidi
NFC	Fluorihiiilivedyt
PFC	Perfluorihiiilivedyt
SF ₆	Rikkiheksafluoridi

Yksiköt

A	Ampeeri, sähkövirran yksikkö
CO ₂ -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti
J	Joule, työn ja energian yksikkö
TWh	Terawattitunti, 10 ¹² Wh, energian yksikkö
W	Watti, tehon yksikkö
V	Voltti, jännitteen yksikkö
Wh	wattitunti, energian yksikkö

Lyhenteet

BTS	Base Transceiver Station, tukiasema, Viidennen sukupolven matkapuhelinverkko
CPU	Central Processing Unit, Prosessori
GHG	Greenhouse gas, Kasvihuonekaasu
GPS	Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
GSM	Global System for Mobile communications, globaali matkapuhelinjärjestelmä, Toisen sukupolven matkapuhelinverkko
ICT	Information and communication technology, Tieto- ja viestintäteknikka
IP	Internet Protocol
LCA	Life Cycle Assessment, Elinkaariarviointi

LCD	Liquid Crystal Display
LTE	Long Term Evolution, Neljännen sukupolven matkapuhelinverkko
NMT	Nordic Mobile Telephone, Pohjoismainen radiopuhelinverkko, Ensimmäisen sukupolven matkapuhelinverkko
OLED	Organic Light-Emitting Diode
Pue	Power usage effectiveness
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko
WLAN	Wireless Local Area Network, Langaton lähiverkko

1 JOHDANTO

Viimeiset vuosikymmenet ovat tuoneet matkapuhelimet kaikkien ulottuville, ja yhä useammalla ihmisellä on ainakin yksi matkapuhelin. Vuonna 2013 maailmalla oli yli 6 miljardia matkapuhelinta (Gelenbe & Caseau 2015, 2) ja vuoden 2019 aikana matkapuhelimen käyttäjien määrän on ennustettu kasvavan 4,7 miljardiin ihmiseen, eli noin 67 prosenttiin maailman väestöstä (Statista 2019a). Matkapuhelimet mahdollistavat helpon yhteydenpidon, ja sosiaalisen median yleistymisen saa ihmiset käyttämään puhelimiaan yhä enemmän. Nykyaikaiset matkapuhelimet ovat älypuhelimia, jotka on varustettu perinteisen puheluominaisuuden lisäksi internetyhteydellä, paikannusjärjestelmillä ja monilla muilla ominaisuuksilla.

Tieto- ja viestintäteknikka eli ICT (Information and Communication Technology) aiheuttaa vuosittain 830 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt, jotka vastaavat kahta prosenttia maapallon päästöistä (American Chemical Society 2013). ICT:n päästöt ovat tällöin verrattavissa lentoliikenteen aiheuttamiin vuosittaisiin päästöihin, jotka olivat jo vuonna 2003 kaksi prosenttia maailman päästöistä (Gartner 2007), ja nykyisin noin 2,6 prosenttia (Staples et al. 2018). ICT-käsitteen alle lasketaan kuuluvaksi tietokone- ja oheislaitteet, kuten lähiverkot, tietoliikenneverkot ja -laitteet (kuten reitittimet ja kytkimet), matkapuhelimet, kiinteä- ja matkapuhelinviestintä, toimistoliikenne ja tulostimet, sekä palvelimet ja datakeskukset (Gartner 2007). Puhelinten osuuden arvioidaan nykyisin olevan ICT-alan hiilijalanjäljestä noin 10 prosenttia (Yle 2019).

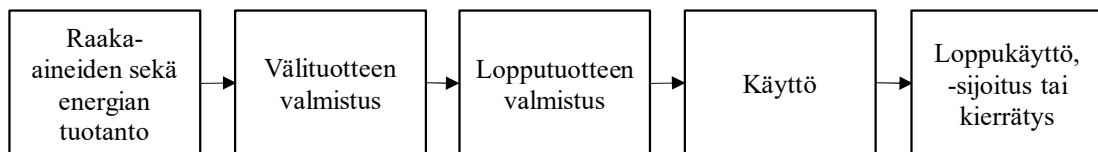
Puhelimen tehokkuutta ja eri ominaisuuksien kuluttavuutta on tutkittu jonkin verran, kuten Carroll & Heiser (2010), Wan et al. (2015), Abdelmotalib & Wu (2012), Constandache et al. (2009) ja Morley et al. (2018). Käyttäjän vaikutuksiin keskittyviä tutkimuksia on vähän, kuten puhelimella pelaamisen energiankulutukseen keskittynyt Kämäräisen et al. (2014) tutkimus ja videoiden katselemista älypuhelimella tutkinut Siekkisen et al. (2015) tutkimus. Esimerkiksi eri sosiaalisten medioiden, kuten Facebookin selailun vaikutuksia on selvitetty, mutta vaikutukset on useimmiten laskettu kannettaville tietokoneille, kuten Gelenbe & Caseau (2015, 9). Samassa tutkimuksessa myös esimerkiksi Google-haun käyttämiseen kannettavalla tietokoneella on laskettu päästöt.

Tässä kandidaatintyössä selvitetään nykyaikaisen matkapuhelimen käytön vaikutuksia puhelimen hiilijalanjälkeen. Työn tavoitteena on kirjallisuustietoon perustuen selvittää älypuhelimen käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä käytön aikana, sekä selvittää käyttäjän omien valintojen merkitystä ja vaikutusmahdollisuutta laitteen hiilijalanjälkeen. Työ keskittyy internetyhteyttä vaativiin toimintoihin, mutta myös tavallisten puheluiden ja tekstiviestien päästöt lasketaan. Myös älypuhelimen muiden ominaisuuksien energiankulutusta arvioidaan. Vaikka lataamistottumusten sekä internetyhteyden valinnan merkitystä pohditaan, niiden aiheuttama energiankulutus rajataan ulkopuolelle eikä oteta huomioon käyttäjäprofiilien hiilijalanjälkilaskelmissa. Puhelimella esimerkiksi nettikaupassa ostosten tekeminen rajataan pois käsittelystä. Kannettava tietokone ajatellaan tässä työssä rinnastettavaksi älypuhelimeen, jossa on myös samoja ominaisuuksia, kuten sisäänrakennettu kamera, mikrofonit, kaiuttimet ja näyttö. Työ on rajattu Suomeen ja suomalaisiin älypuhelinta käyttäviin kuluttajiin, sillä länsimaiseen kulutusyhteiskuntaan kuuluu matkapuhelimen vahva läsnäolo jokapäiväisessä elämässä sekä matkapuhelinten lyhyt käyttöikä. Päästöt lasketaan syntäväksi kokonaan Suomessa.

Työn ensimmäinen teorialuku esittelee matkapuhelimen elinkaaren, eli tuotteen synnyn, käytön sekä elinkaaren lopun kuljetuksineen ja käsittelyineen. Seuraava teorialuku keskittyy älypuhelimen käytön vaikutukseen hiilijalanjäljessä. Neljännessä luvussa esitetään kolme käyttäjäprofiilia, joille kullekin lasketaan omat hiilijalanjäljet.

2 ÄLYPUHELIMEN ELINKAARI JA HIILIJALANJÄLKI

Tässä luvussa käsitellään älypuhelimien elinkaari, joka alkaa elinkaaren alkuvaiheista, edeten tuotteen käyttövaiheeseen ja lopulta käytöstä poistamiseen. Raaka-aineiden käsittely, matkan aikaiset kuljetukset, tuotteen valmistus sekä tuotteen käyttöön jälkeiset valinnat vaikuttavat myös tuotteen hiilijalanjälkeen. Kuvassa 1 on esitetty tuotteen yksinkertainen elinkaarimalli, jossa elinkaaren vaiheiden väliset nuolet kuvaavat kuljetuksia vaiheiden väleissä. Elinkaariajattelussa pyritään selvittämään tuotteen valmistuksen ja käytön kokonaisvaikutukset, eli tuotteen aiheuttamat suorat sekä epäsuorat ympäristövaikutukset. Suoria vaikutuksia ovat esimerkiksi valmistusprosessi, ja epäsuoria vaikutuksia kaikki ne vaikutukset, jotka aiheutuvat tuotteen elinkaaren eri vaiheissa ennen ja jälkeen sen valmistuksen. Elinkaariarviointia, englanniksi Life Cycle Assessment eli LCA, kutsutaan myös ”kehdosta hautaan”-arvioinniksi, vaikka joskus tutkimusalueen rajausta ja tarkastelua on suppeampaa. (Ympäristö.fi 2013.)



Kuva 1. Tuotteen yksinkertaistettu elinkaari, jossa vaiheiden väliset nuolet kuvaavat kuljetusta (mukaan: Klöpffer & Grahl 2014, 2).

2.1 Älypuhelimien elinkaaren alku

Matkapuhelimien elinkaari alkaa materiaalien hankinnasta ja louhinnasta. Puhelimeissa on useita arvokkaita metalleja kuten kuparia, kultaa ja hopeaa, mutta myös joitakin myrkyllisiä ja vaarallisia metalleja kuten lyijyä, kadmiumia, elohopeaa, arseenia, nikkeliä ja hiiltä (Yu et al. 2010, 4136). Materiaalit voivat olla kierrätettyjä, mutta yleisempää on, että metallit on louhittu raakamateriaaleina (Yu et al. 2010, 4137). Puhelinten raaka-aineiden, varsinkin erikoismetallien, hinnat ovat kallistuneet, joka on nostanut myös puhelimien hintoja (Green Alliance 2015, 18). Käytettyjä laitteita kannattaa hyödyntää materiaalien ja osien lähteenä.

Tämän ansiosta hinta on matalampi mutta myös riski ympäristöongelmiin ja konflikteihin on pienempi (Green Alliance 2015, 29).

Puhelimen valmistaminen itsessään kuluttaa energiaa, ja matkapuhelimen valmistaminen on yhä maailmanlaajuisen verkkoyhteyden käytön rinnalla suurin tekijä puhelimen hiilijalanjäljessä (Fehske et al. 2011, 55). Myös kuljetukset elinkaaren jokaisessa vaiheessa aiheuttavat päästöjä, sillä materiaalit täytyy kuljettaa ostopaikalta valmistustehtaalte ja valmis tuotteen vaiheiden kautta myyntiin ja kuluttajalle. Matkapuhelimen käyttöään pidentäminen pienentää laitteen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä. Puhelimen käyttöikä pidentäessä valmistuksesta aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt suhteessa pienenevät (Sitra 2017).

2.2 Älypuhelimien käytön päästöt

Älypuhelimessa on internet-selain ja monia internetyhteydellä toimivia perusosia, joiden käyttö vaikuttaa puhelimen päästöihin (Gelenbe & Caseau 2015). Erilaiset elokuvien ja sarjojen katseluun erikoistuneet suoratoistopalvelut yleistyvät, ja samalla paljon energiaa kuluttavien videoiden katselusta johtuvat päästöt kasvavat (Morley et al. 2018, 130). Sähköpostin yleistyminen on vähentänyt paperin kulutusta ja oletettavasti myös kuljetuksia, mutta yhden sähköpostinkin lähettäminen tuottaa hiilidioksidipäästöjä (Climate Care 2015). Lisäksi puhelimessa on akku, jonka lataamiseksi tarvitaan energiaa (Gelenbe & Caseau 2015, 6). Monelle palvelimelle on annettu käyttöoikeus puhelimen sisäänrakennettuihin sovelluksiin, kuten esimerkiksi mikrofonin ja sijaintiin, ja nämä nopeuttavat puhelimen akun kulumista (Abdelmotalib & Wu 2012, 163).

Puhelimen latauksesta aiheutuvien päästöjen lisäksi päästöjä syntyy älypuhelimien käytössä internetyhteyttä, sen pyörittämiseksi tarvitaan yhä enemmän erilaisia verkostoja ja datakeskuksia sekä energiaa sovellusten pyörittämiseen (Morley et al. 2018, 128). Datakeskukset ja verkostot, joista puhelimen toimivuus riippuu, kuluttavat paljon, ja ympäri vuorokauden käynnissä olevien datakeskusten osuuden on arveltu olevan kaikkein suurin ICT-alan päästöistä (Avgerinou et al. 2017, 1). Mitä suurempi verkkosivusto tai -palvelu on, sitä kuormittavampi se myös on (Crasman 2016). Puhelimen käyttö siis aiheuttaa päästöjä myös

muuallakin kuin konkreettisesti sijainnissaan. Matkapuhelimiin on ladattavissa myös monenlaisia sovelluksia, kuten esimerkiksi Facebook, WhatsApp, Skype ja Instagram, jotka toimivat erilaisten palvelinten ja datakeskusten voimalla ja välittävät viestejä, kuvia ja videoita käyttäjien välillä.

Älypuhelimissa on paljon langattomia palveluita, kuten jakamiseen ja tallentamiseen tarkoitettuja pilvipalveluita. Kun puhelin tarvitsee internetyhteyttä toimiakseen, myös erilaisia yhteystapoja on käytettävissä. Langattomalla lähiverkkoyhteydellä eli WLAN:lla (Wireless Local Area Network), voi käyttää laajakaistaa, mutta myös puhelimen oman nettiyhteyden käyttäminen on vaihtoehto. Puhekielessä käytetään usein kaupp nimi WiFi, kun puhutaan WLAN:in yleisimmästä IEEE:n (Electrical and Electronics Engineers) standardia 802.11 noudattavasta tyypistä (Wi-Fi 2019).

2.3 Älypuhelimien elinkaaren loppu

Älypuhelimien elinkaaren loppuun ja käytöstä poistamiseen on monia tapoja. Puhelin saataan hävittää kaatopaikalle, säilyttää kotona, myydä tai antaa käytettynä uudelle omistajalle tai viedä keräyspisteeseen (Yu et al. 2010, 4137). Kun puhelin viedään keräyspisteeseen tai vanhoja puhelimia keräävään elektroniikkaliikkeeseen, puhelimelle etsitään uusi käyttötarkoitus joko käytettynä puhelimenä tai materiaalina (Yu et al. 2010, 4140). Ennen kuin matkapuhelin poistetaan käytöstä, tulisi harkita elinkaaren pitkittämisen mahdollisuuksia.

Suomessakin on palveluita, jotka ovat keskittyneet käytettyihin puhelimiin, ja jotka ostavat ja korjaavat vanhoja puhelimia ja myyvät sitten uuteen käyttöön. Vaikka puhelin saattaisi käyttäjälle vaikuttaa vanhalta ja toimimattomalta, siitä voi yhä olla mahdollista saada toimintakelpoinen esimerkiksi akkua vaihtamalla. Jos puhelinta ei kierrätetä tai se hävitetään kaatopaikalle, harvinaiset materiaalit puhelimessa jäävät hyödyntämättä. Uusien puhelimien valmistus on luonnonvaroja kuluttavaa, ja osittain myös harvinaisten materiaalien takia puhelimien hinnat kallistuvat koko ajan. (Sitra 2017.)

Älypuhelimien keskimääräinen käyttöikä on noin kolme vuotta (Suckling & Lee 2015, 1184), ja uusi puhelin ostetaan yhä useammin. Oma puhelin saattaa vanhentua teknologian kehittyessä nopeasti, mutta joskus puhelimen viat saattavat myös johtua valmistajasta. Vuonna 2018 teknologiajätit Apple ja Samsung saivat miljoonasakat liittyen matkapuhelimiensa ohjelmistopäivityksien hidastaviin ominaisuuksiin, joilla yhtiöiden epäiltiin ajavan käyttäjiään ostamaan uudempia laitteita (BBC 2018).

Joskus puhelin voi vanhentua myös softansa puolesta. Esimerkiksi Nokian Lumia-puhelimet ovat olleet yhteensopivia Microsoftin palveluiden kanssa Windows 10:een saakka, mutta nyt Microsoft on lopettanut Windows-puhelinten valmistuksen. Valmistuksen lopetuksen jälkeen puhelimille on luvattu tukea siirtymäajaksi, mutta tuki loppuu tietyn ajan kuluttua. Tuen päättyminen tarkoittaa, ettei laitteiden havaittuja ongelmia ja tietoturva-aukkoja enää paikata, eivätkä tuen päättyttyä monet tutut sovellukset enää toimi Windows-puhelimeissa. (Elisa 2018.) Tällöin puhelin saattaa jakaa tietonsa ympäriinsä, jolloin puhelinta täytyy vaihtaa vaikka konkreettisesti puhelimesta ei sinänsä olisi vikaa.

3 ÄLYPUHELIMEN KÄYTÖN VAIKUTUKSET HIILIJALANJÄLKEEN

Elinkaaren eri vaiheilla on hiilijalanjäljen kannalta merkitystä, ja tämä työ keskittyy käyttäjän vaikutuspiirissä olevan vaiheen, älypuhelimen käytön, aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin ja sitä kautta kuluttajan valtaan vaikuttaa. Matkapuhelimen käytön aikaisten päästöjen selvittämiseksi tässä työssä käytetään hiilijalanjälki-menetelmää. Tämän luvun ensimmäinen kappale käsittelee hiilijalanjälkeä, toinen kappale älypuhelimen internet-osien käytön vaikutusta ja viimeinen, kolmas kappale älypuhelimen muiden osien vaikutusta älypuhelimen hiilijalanjälkeen.

3.1 Hiilijalanjälki-menetelmä

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen, palvelun, henkilön, paikkakunnan tai organisaation aiheuttamaa ilmastokuormaa, eli syntyneitä kasvihuonekaasupäästöjä, sen koko elinkaaren aikana (Berninger 2012, 30). Hiilijalanjälki ilmaistaan yleensä hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂-ekv.). Yksikkö mahdollistaa eri kasvihuonekaasupäästöjen ilmastovaikutuksen laskeamisen yhteen. Tällöin kunkin kasvihuonekaasun vaikutus muunnetaan vastaamaan hiilidioksidin ilmaston lämmityspotentiaalia 100 vuoden tarkastelujaksolla. Kaasuilla on erilaisia ilmastolämmitysvaikutuksia, ja ne pysyvät ilmakehässä eripituisen ajan, jolloin on tärkeää ilmaista myös tarkastelujakson pituus. Esimerkiksi metaanin ilmaston lämmityspotentiaali on 25-kertainen hiilidioksidiin verrattuna 100 vuoden tarkastelujaksolla. (Berninger 2012, 30-31.) YK:n (Yhdistyneet kansakunnat) vuoden 1992 ilmastosopimusta tarkentavassa Kioton pöytäkirjassa 1997 on määrätty kasvihuonekaasut, joiden käyttöä säädelään (Yhdistyneet kansakunnat 2019). Näihin kuuluvat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O) sekä kolme fluorattua kasvihuonekaasua (F-kaasua) eli teollista yhdistettä tai niiden ryhmää, joihin kuuluvat fluorihilivedyt (NFC), perfluorihilivedyt (PFC) ja rikkiheksafluoridi (SF₆) (Yhdistyneet kansakunnat 2019). Kasvihuonekaasuista lämmitysvaikutukseltaan merkittävin on hiilidioksidi, sillä hiilidioksidia syntyy määrällisesti eniten kaikista kasvihuonekaasuista (Ilmasto-opas 2019). Päästöyksikkö CO₂ ilmaisee vain hiilidioksidipäästöt, ja yksikkö CO₂-ekv. ottaa huomioon myös muut kasvihuonekaasut. Jotta eri päästöyksiköiden

päästöjä voisi yhtenäistää, ennen muuntamista tulisi tietää eri kasvihuonekaasujen pitoisuudet.

Hiilijalanjätkilaskenta perustuu elinkaariarviointiin, jonka ainoana vaikutusluokkana tarkastellaan ilmastomuutosta. Elinkaariarvioinnin tekemiseen vaaditaan toiminnan prosessien ymmärtämistä, jotta voidaan selvittää tuotteen, palvelun tai organisaation elinkaaresta aiheutuvia ympäristövaikutuksia tai materiaalien ja energian kulutusta (Klöpffer & Grahl 2014, xii). Hiilijalanjäljen laskemiseen on erilaisia menetelmiä, ja erilaiset menetelmät eroavat tarkastelun rajauksessa ja siinä mitkä elinkaaren vaiheet sisältyvät tarkasteluun (Berninger 2012, 31).

Yleisesti käytettyjä hiilijalanjätkilaskentamenetelmiä ovat ISO 14064, ISO 14067, Publicly Available Specification (PAS) 2050 sekä Greenhouse Gas (GHG) Protocol. Mainitut ISO-standardit ovat Suomen Standardoimisliiton (SFS) julkaisemia, ja kolmesta osasta koostuva ISO 14064:n ensimmäinen osa on päivitetty vuonna 2018 ja toinen sekä kolmas vuonna 2019 (ISO 2019). ISO 14067 on päivitetty vuonna 2018 (ISO 2019). PAS 2050 on Iso-Britannian standardiviranomaisen (British Standard Institution, BSI) vuonna 2008 julkaisema ja vuonna 2011 päivitetty ohjeistus hiilijalanjäljen laskentaan. GHG Protocol on Maailman luonnonvarojen tutkimussäätiön (World Resources Institute, WRI) ja maailman elinkeinoelämän kestävän kehityksen neuvoston (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) vuonna 2011 julkaisema standardisarja. (Virolainen 2015, 18.)

Erityismaininnan ansaitsevia käsitteitä ovat hiilineutraalius ja -vapaus, joita yhtiöt käyttävät markkinoinnissa luodakseen ympäristöystävällisemmän kuvan itsestään. Yhden näkemyksen mukaan hiilineutraali yhteiskunta on sellainen, joka tuottaa vain sen verran kasvihuonekaasuja kuin se pystyy sitomaan niitä. Hiilineutraalissa yhteiskunnassa kasvihuonekaasupäästöjä syntyy vain vähän, ja jäljelle jäävät päästöt hyvitetään toteuttamalla päästövähennyksiä muualla. (Berninger 2012, 17.)

Usein puhutaan hiilineutraaliudesta, vaikka laskennassa otettaisiin huomioon hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös muita kasvihuonekaasuja. Suomalaisissa organisaatioissa hiilineutraalius kohdistuu lähinnä hiilidioksidipäästöihin muiden kasvihuonekaasupäästöjen mittaamisen ja raportoinnin vaikeuden takia. (Virolainen 2015, 12.)

Hiilinegatiivisuus tarkoittaa sitä, että ilmakehästä poistettaisiin hiiltä enemmän kuin sitä vapautetaan, tämä onnistuu esimerkiksi metsityksen avulla. Hiilinegatiivisuus ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden vähentäminen on kuitenkin mahdollista sen jälkeen, kun päästöt on vähennetty nykyisten nielujen hiilineutraalille tasolle. Täysin hiilivapaa yhteiskunta olisi Berningerin (2012, 20) mukaan mahdoton, sillä koko luonnon energiatalous perustuu hiilen kiertoon ja kasvit sitovat yhteyttäessään hiilidioksidia. Fossiiliset polttoaineet ovat kerran pois varastoitunutta hiiltä, jonka ihminen vapauttaa uudelleen kiertoon, ja fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa ilmastonmuutosta. (Berninger 2012, 17-20.)

Kasvihuonekaasupäästöjen kompensointi (carbon offset) tarkoittaa rahallista hyvitystä, jonka yksilö tai organisaatio voi maksaa aiheuttamistaan hiilidioksidipäästöistä. Tällöin päästöjen vaikutus hyvitetään jollakin hiilidioksidia sitovalla tavalla (Murray & Dey 2008, 238). Hiilineutraaliuteen pyrittäessä kompensoinnin tulisi olla vain täydentävä keino, kun päästöjen vähentäminen on ensisijaista. Päästöhyvityksistä kerätyillä varoilla rahoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä toimenpiteitä. Tekoja, joilla päästöjä voi sitoa tai estää syntymästä on esimerkiksi puiden istutus, puiden säilytys hakkuun sijasta, metsityshankkeet kehitysmaissa, uusiutuvan energian tuotannon tukeminen, syntyvien päästöjen vähentäminen energiatehokkuuden kautta. Myös humanitäärisen työn tekeminen kuten jätteiden hävittäminen tai kierrättäminen tavalla, joka aikaansaa jonkin hyödykkeen, ja joka samalla toimii pienemmillä päästöillä kuin tavanomainen jätteiden käsittely tai hyödykkeen tuotanto, voi olla päästöhyvityksillä rahoitettavaa toimintaa (Murray & Dey 2008, 238). (Berninger 2012, 17-20.)

3.2 Internet-osien käytön vaikutus hiilijalanjälkeen

Puhelimen internetyhteyttä vaativia ja käytön hiilijalanjälkeen vaikuttavia tekijöitä ovat sähköposti ja Google-haku, sosiaalinen media, suoratoistopalvelut, e-kirjat sekä puhelimella pelaaminen. Malmodin et al. (2014, 836) mukaan esimerkiksi Ruotsin tapauksessa vain noin

25 prosenttia maassa käytettävästä datasta tuodaan ja prosessoidaan ulkomaisissa datakeskuksissa. Tällöin 75 % eli valtaosa internetin ja datakeskusten aiheuttamasta energiankulutuksesta sijoittuisi käyttömaahan.

ICT:n sähkönkulutus on vuonna 2012 ollut 4,7 prosenttia koko maailman sähkönkulutuksesta (Gelenbe & Caseau 2015, 3) ja vuonna 2017 jo 7 prosenttia (Avgerinou et al. 2017, 2). ICT-käsitteen alle kuuluu Gelenbe & Caseau (2015, 3) määritelmässä tietokone- ja oheislaitteet, mukaan lukien lähiverkot, tietoliikennelaitteet ja -verkot sekä datakeskukset, mutta ICT:n määritelmään ei kuulu televisioita eikä äänentoistojärjestelmiä. Avgerinou et al. (2017, 2) tutkimuksessa mainitaan vain, että ICT-käsitteeseen lasketaan kuuluvaksi myös datakeskukset. On ennustettu, että tieto- ja viestintätekniikan tuotanto ja käyttö voivat pahimmassa tapauksessa saavuttaa jopa 50 prosenttia maailman sähkönkulutuksesta vuoteen 2030 mennessä, mutta parhaassa tapauksessa vain 8 prosenttia (Morley et al. 2018, 129).

ICT:n hiilijalanjäljestä kolmannes aiheutuu datakeskuksista, kolmannes laitteista ja viimeinen kolmannes tietoliikenneverkostoista (Gelenbe & Caseau 2015, 4). Loppukäyttäjien vaikutuksen ICT:n hiilijalanjälkeen on kuitenkin ennustettu kasvavan, ja Climate Caren (2015) arvion mukaan vuonna 2020 53 % päästöistä aiheutuu loppukäyttäjistä eli itse laitteista, 23 % datakeskuksista ja 24 % verkostoista. Datakeskusten osuuden kasvu johtuu siitä, että sosiaalisen median, musiikin, sähköpostin, videoiden suoratoiston ja verkossa tapahtuvan kaupankäynnin kasvaessa paljon uutta dataa tulee saada varastoitua ja käsiteltyä (Climate Care 2015). Morley et al. (2018, 129) arvion mukaan verkostot ja datakeskukset aiheuttavat suurimman osan tablettien ja älypuhelimien energiankulutuksesta niiden käyttöajan aikana, ja niiden osuus on arvioiden mukaan vähintään 90 prosenttia puhelimen vaatimasta kokonaisenergiasta, johon on laskettu mukaan valmistus ja lataaminen (Morley et al. 2018, 129). On myös arvioitu, että noin 60 prosenttia kaikesta internetin dataliikenteestä aiheutuisi videoitten katselusta (Yle 2019).

3.2.1 Yleiset internet-osat, hakukone ja sähköposti

Puhelimen yleisimpiä internet-toimintoja ovat erilaiset hakupalvelut, sähköposti ja verkkosivustoilla vierailu. On olemassa eri internet-selaimia, kuten Applen Safari, Microsoftin Edge ja Internet Explorer, Googlen Chrome ja Mozilla Firefox (Yle 2017). On myös useita hakupalveluita, kuten Google, Yahoo!, Microsoftin Bing sekä Duckduckgo (Yle 2017). Vaikka käyttäjällä on valittavanaan useista mahdollisista palveluntarjoajista, tässä työssä on käytetty Googlen tarjoamien palveluiden päästöjä Googlen suosion ja suurten käyttömäärien takia.

Kun ilmastonmuutoksen vaikutuksia pyritään lieventämään, energiatehokkuutta pidetään keskeisenä tekijänä. Energiatehokkuuden kasvu vähentää energiankulutusta ja samalla kasvihuonekaasupäästöjä, mutta se vaikuttaa myös yhtiön kilpailukykyyn. (Avgerinou 2017, 1.) Pue- (power usage effectiveness) arvo on suhdeluku energiamäärälle, jota datakeskuksen konesalin käyttöön ja viilennykseen tarvitaan. Jos suhdeluku on kaksi, se tarkoittaa sitä, että jokaista konesalin käyttämää sähköwattia kohden tarvitaan yksi watti (W) viilennykseen. Jos luku on 1,5, yhtä käytettyä wattia kohden tarvitaan vain puoli wattia laitteiden ilmastointiin. Pue-luku on ollut pitkään laskussa, ja vuonna 2018 luku oli keskimäärin 1,58. (Tivi 2018.) Esimerkiksi Googlen ja Facebookin pyörittämissä datakeskuksissa energiatehokkuus on kasvanut, mikä näkyy pue-luvun laskemisesta kahdesta lähemmäs yhtä. (Gelenbe & Caseau 2015, 6). Googlen pue-luku on vuonna 2017 ollut 1,11 (Google, ympäristöraportti 2017, 48).

Internetin yleisin hakukone on yhdysvaltalaisen nettijätti Googlen omistama (StatCounter 2019). Samalla yhtiöllä on omistuksessaan lisäksi muun muassa sähköposti Gmail sekä videopalvelu YouTube. Googlen kulutuksesta noin 5 prosenttia aiheutuu googlen hakupalvelusta (Gelenbe & Caseau 2015, 8). Kun haku tehdään kannettavalla tietokoneella, yksi hakupyynnö, jota tavallisesti käsittelee tuhat tai useampia palvelimia alhaisen, alle 200 ms latenssin saavuttamiseksi, kuluttaa 0,3 Wh energiaa. Tämä kuvaa haun aiheuttamaa kokonaisenergiankulutusta 10 sekunnin kuluessa, jonka kysymyksen esittäminen ja tuloksen lukeminen kestää.. Tämä yhden haun energiankulutus aiheuttaa noin 0,05 gCO₂-ekv. päästöt. (Gelenbe & Caseau 2015, 8.)

Sekä Crasman (2016) ja Climate Care (2015) mukaan yhden sähköpostin lähettäminen tuottaa hiilidioksidipäästöjä noin 4 gCO₂-ekv. Lisäksi, jos viestissä on paljon liitteitä, viestin päästöt voivat olla jopa 50 gCO₂-ekv. (Climate Care 2015). Tämä neljän gramman lukema on todennäköisesti laskettu globaalilla päästökertoimella, jolloin sähköpostin aiheuttama energiankulutus on noin 6,7 Wh. Suomessa yksi sähköposti aiheuttaisi noin 1,1 gCO₂-ekv. päästöt. Rushton (2010) mukaan yhden sähköpostin lähettäminen tuottaa arviolta 4,9 grammaa hiilidioksidipäästöjä, kun roskapostiviesti aiheuttaa noin 3 grammaa. Roskapostiviestin päästöt ovat pienemmät, sillä usein viestit jäävät lukematta. Sähköpostin päästöt on oletettavasti laskettu kannettavalle tietokoneelle, mutta ne voidaan ajatella rinnastettavaksi älypuhelimeen ainakin viestin välityksen ja datakeskusten osalta.

Google on julistanut olleensa hiilineutraali vuodesta 2007 lähtien (Google ympäristöraportti 2017, 2). Joidenkin tutkimusten mukaan Yhdysvalloissa tällä hetkellä 40-80 prosenttia kaikesta energiasta voidaan tuottaa uusiutuvilla (NPR 2019). Googlen kaikkea energiaa ei tuoteta uusiutuvilla energialähteillä, mutta Googlen mukaan hiilineutraaliuden tavoite saavutetaan energiatehokkuuden kautta tapahtuvalla energiankulutuksen vähentämisellä, vastamalla 100 % sähkönkulutuksesta uusiutuvan energian hankinnoilla sekä jäljelle jäävien päästöjen kompensoimista päästöhyvityksillä (Google ympäristöraportti 2017, 30). Vaikka Google ottaa yhä virtaa myös tavallisista sähköverkoista, joista osa sähköstä tuotetaan fossiililla polttoaineilla, yhtiön mukaan se ostaa tarpeeksi tuuli- ja aurinkoenergiaa vastamaan jokaista megawattituntia (MWh), jonka datakeskukset ja toimistot kuluttavat vuosittain (Google ympäristöraportti 2017, 24). Uusiutuvaa energiaa ei kuitenkaan ole saatavilla ympäri vuorokauden, jolloin parempia energian varastointimahdollisuuksia kaivattaisiin (Hering 2018).

Googlen kaiken toiminnan (mm. Google Haku, Gmail ja YouTube) kokonaissähkönkulutus vuonna 2017 oli 7,6 MWh. Vuonna 2017 Googlen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt olivat 6,1 miljoonaa tonnia CO₂-ekv., mutta uusiutuvan energian hankintojen ansiosta nettopäästöt olivat 3,3 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. Päästöhyvitysten mukaan laskemisen jälkeen Googlen nettohiilidioksidipäästöt olivat nolla. (Google ympäristöraportti 2017, 29.)

Googlen ympäristöraportin (2017, 51) mukaan yritys tuottaa päivässä alle 8 gCO₂-ekv. päästöt Googlen palvelujen aktiivista käyttäjää kohden. Aktiivinen käyttäjä on määritelty sellaiseksi, joka tekee päivässä 25 hakua, katsoo 60 minuuttia videoita YouTubesta, omistaa Gmail sähköpostitilin sekä käyttää muita Googlen merkittäviä palveluita. Kun 8 gCO₂-ekv. muunnetaan globaalilla päästökertoimella energiankulutukseksi, saadaan noin 13 Wh, joka vastaa Suomessa 2,3 gCO₂-ekv. päästöjä. Ympäristöraportissa ei ole kuitenkaan eritelty laskelmia tarkemmin, jolloin todellinen luku saattaa olla suurempi. Google ei ole kertonut onko laskuissa otettu huomioon esimerkiksi datakeskukset ja verkostot vai pelkästään päätelaite, mutta on oletettavaa, että datakeskusten päästöt kuuluisivat rajauksen sisälle datakeskusten ollessa yksi yhtiön tärkeimmistä osa-alueista.

3.2.2 Sosiaalinen media

Sosiaaliseen mediaan kuuluu monia alustoja, joilla useilla on omistuksessaan muitakin palvelimia. Yksi esimerkki on Facebook, jolla on omistuksessaan Facebookin lisäksi oma viestipalvelu Facebook Messenger, kuvapalvelu Instagram sekä viestipalvelu WhatsApp. Myös katoavia kuvaviestejä lähettävä Snapchat, yhteisöpalvelu Twitter sekä videopuheluista tunnettu Skype ovat sosiaalisen median palvelimia. Googlen omistama YouTube, sekä ruotsalainen musiikin suoratoistopalvelu Spotify ovat myös laskettavissa yleisten sosiaalisten medioiden joukkoon. (Sosiaalinen media hyötykäyttöön 2018.) Sosiaalisen median alustoilla liikkuu paljon käyttäjiä, ja vuoden 2019 ensimmäisellä neljänneksellä Facebookin käyttäjämäärä on noussut 2,38 miljardiin (Statista 2019c). Facebookin omistama Instagram löi rikki miljardin käyttäjän rajan kesäkuussa 2018 (Statista 2019d). Facebookin omalla Messengerillä on 1,3 miljardia käyttäjää, ja Whatsapp viestipalvelulla 1,6 miljardia käyttäjää ympäri maailmaa (Statista 2019e). Twitterillä on 330 miljoonaa kuukausittaista käyttäjää (Statista 2019f). Nuorten suosimalla Snapchatilla on vuoden 2019 ensimmäisellä neljänneksellä ollut 287 miljoonaa kuukausittaista käyttäjää (Statista 2019e), sekä 190 miljoonaa päivittäistä käyttäjää (Statista 2019g). Sosiaalisessa mediassa on vuonna 2018 vietetty maailmanlaajuisen keskiarvon mukaan päivittäin 2 tuntia ja 16 minuuttia (CMO Innovation 2019).

Vuonna 2017 Facebookin sähkönkulutus oli 2,46 terawattituntia (TWh) (Statista 2019b), ja käyttäjiä 2,13 miljardia (Statista 2019c), jolloin käyttäjää kohden sähköä kului vuodessa noin

1,16 kWh. Maailmanlaajuisesti Facebookia on käytetty vuonna 2015 keskimäärin noin 20 tuntia kuukaudessa (Gelenbe & Caseau 2015, 9.) Tällöin tunnin kestävän Facebook-selailun kuluttama energiamäärä on 4,8 Wh/henkilö (Katso liite I). Tämä energiankulutus tunnin aikana vastaa 0,8 gCO₂-ekv. päästöjä. Tutkimuksessa ei ole ilmoitettu, mille laitteelle sosiaalisen median käyttö on laskettu, sillä energiankulutus on laskettu yhdelle käyttäjälle koko Facebookin sähkönkulutuksesta. Todennäköisesti kulutuksessa on kannettavan tietokoneen päästöjä, mutta kannettava tietokone ajatellaan tässä rinnastettavaksi älypuhelimeen.

Facebookin tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä käyttää pelkästään uusiutuvia energialähteitä tuotantolaitostensa pyörittämiseen. Facebook on maailmanlaajuisesti yksi suurimmista uusiutuvaan energiaan sijoittavista yhtiöistä. (Statista 2019b.)

Vuonna 2018 Facebook käytti toiminnassaan 75 prosenttisesti uusiutuvia energialähteitä. Energiaa kului yhteensä 3,42 MWh. Facebookin sivuston mukaan yhtiön datakeskukset toimivat 100 prosenttisesti uusiutuvalla energialla. (Facebook sustainability, 2019.)

Skypellä on 300 miljoonaa rekisteröityä kuukausittaista käyttäjää (Statista 2019e) ja Skype välityksellä palaverin järjestäminen onnistuu nykyisin helposti. Ong et al. (2012) ovat verranneet verkossa tapahtuvan palaverin päästöjä kasvokkain tapaamisen hiilidioksidipäästöihin, kun kulkuvälineenä on ollut auto, juna tai lentokone. Etäisyytenä on ollut 1 000 kilometriä ja palaverin kesto on ollut 5 tuntia. Tulokseksi saatiin, että videopalaverin päästöt ovat 4 kg ja 215 kg CO₂-ekv. välillä. Ylempi raja on laskettu korkealaatuisen videopalaverin puitteisiin, jossa on paljon laitteita mukana. Matalampi raja on laskettu tehtäessä videopuhelu kannettavalla tietokoneella, jossa on itsessään kamera, mikrofonit, kaiuttimet ja näyttö. Kannettava tietokone ajatellaan tässä kandidaatintyössä rinnastettavaksi älypuhelimeen, joten älypuhelimella tehdyn 5 tunnin videopalaverin päästöjen voi ajatella olevan myös 4 kg CO₂-ekv. Vaikka Ong et al. (2012, 54) tutkimus on australialainen, tulosten laskemisessa on todennäköisesti käytetty globaalia päästökerrointa, koska tapaamiset ovat globaaleja ja myös tapaamisiin lentämistä käsitellään. Suomen päästökertoimella laskettuna puoli tuntia kestävän videopuhelun päästöt olisivat tällöin 114 gCO₂-ekv.

Palaverin pitkittyessä verkossa pidettävän palaverin päästöt kasvavat, ja kun palaverin pituus on venynyt 75 tuntiin, molemmat tapaamistavat aiheuttavat yhtä paljon päästöjä. Jos taas

tapaavien jäsenten välillä on vain noin 67 kilometriä, sekä videotapaamisen että kasvokkain tapaamisen päästöt ovat samat. (Ong et al. 2012, 54.)

Myös Perrucci et al. (2011, 2) tekemästä tutkimuksessa on tarkasteltu videopuheluiden kuluttavuutta. Puhelimella, joka on 3G-verkossa, videopuhelun soittaminen vaatisi tehoa 2,21 W kun taas puhelun vastaanottaminen 2,145 W (Perrucci et al. 2011, 2). Lukuihin on päädytty laskemalla energiankulutuksen tehotasojen keskiarvoja puhelun kestäessä yhden minuutin (Perrucci et al. 2011, 4). Käytettäessä videopuhelun soittamisen energiankulutusta, puolen tunnin puhelu kuluttaa energiaa 1,105 Wh ja sitä vastaavat päästöt ovat 0,19 gCO₂-ekv.

3.2.3 Suoratoistopalvelut

Suoratoistopalvelut, kuten Netflix, kasvattavat suosiotaan (Morley et al. 2018, 134). Muita Suomessa toiminnassa olevia suoratoistopalveluita ovat muun muassa ilmaiset MTV, Ruutu ja Suomen yleisradioyhtiön Yle Areena, sekä maksulliset HBO Nordic, Viaplay ja C More. Videoiden suoratoisto on hyvin kuluttavaa, ja sen osuuden mobiilidataliikenteestä odotettiin kasvavan 40 prosentista lähes 66 prosenttiin vuosien 2009 ja 2014 välillä, ja jonka ennustettiin voivan helposti rikkoa 90 prosentin rajan vuonna 2020. (Fehske et al. 2011, 56.) Reaaliaikaiset viihdepalvelut kasvattavat osuuttaan dataliikenteestä, ja videoiden suoratoistopalveluiden kuten Netflixin lisäksi esimerkiksi videonjakoalustat kuten YouTube sekä musiikin suoratoistopalvelut kuten musiikkipalvelu Spotify kuuluvat tähän kategoriaan (Morley et al. 2018, 131). Musiikin kuuntelun aiheuttamat päästöt voidaan olettaa samanlaisiksi kuin videon katselusta johtuvat. Toisaalta musiikkia voi myös ladata kuunneltavaksi omalla laitteella ilman internetyhteyttä, jolloin kuuntelun voidaan olettaa kuluttavan vähemmän.

Videoihin liittyvän liikenteen osuus on erittäin merkittävä, ja kaikkien IP (internet protocol) -videomuotojen osuus kaikesta IP-liikenteestä on edelleen 80-90 prosentin luokkaa. Sitä hallitsevat internetin videot, kuten suoratoistopalvelujen videot, mutta niihin kuuluvat myös IP-verkot, jotka hallitsevat ja jakavat videosisältöä, verkkosivustojen videoita, videoiden suoratoistoa, tiedostojen jakamista, pelaamista ja videovalvontaa. Videoliikenne yhdistetään

kiinteän ja mobiiliverkon liikenteen kasvuun, mutta videoiden katsominen matkaviestinverkoissa on erityisen energiantensiivistä. (Morley et al. 2018, 130.)

Climate Caren (2015) julkaiseman arvion mukaan videoita tai kuvia sisältävän nettisivuston katselu tuottaa 0,2 grammaa hiilidioksidipäästöjä joka sekunti. Tämä tekee tunnissa 720 grammaa. Climate Caren (2015) käyttämät lukemat perustuvat jo vuonna 2009 Harvardin yliopiston tutkija Alex Wissner-Grossin tekemään arvioon, joka on tehty silloisen teknologian mukaisesti.

Berkeley'n tutkijat julkaisivat vuonna 2014 laskelmansa, joiden mukaan tunnin mittaisen videon katsominen aiheuttaisi 420 gCO₂-ekv. päästöt. Tällöin päästöt olisivat noin 0,12 grammaa sekunnissa. Laskelma perustui vuoden 2011 lukemiin, jolloin esimerkiksi videoiden resoluutio oli nykyistä heikompi. (Yle 2019.)

Energiamäärä, joka tunnin kestävän videon katsominen tuottaa, olisi Berkeley'n 2014 tutkimuksen mukaisesti 0,75 kWh ja Harvardin 2009 tutkimuksen mukaan noin 1,3 kWh. Nämä luvut on laskettu muuntamalla päästöt Yhdysvaltojen päästökertoimella energiankulutukseksi. Yle (2019) kertoo uutisessaan toukokuussa 2019 tehdystä britannialaisesta tutkimuksesta, jonka selvityksen mukaan kaksi tuntia kestävän HD-tasoisien Netflix-elokuvan katsominen kuluttaa 1,3 kWh energiaa. Tällöin tunnin kestävä HD-video kuluttaisi 0,65 kWh energiaa, joka vastaa 111 gCO₂-ekv. päästöjä. Tämä lukema on kuitenkin todennäköisesti laskettu joko kannettavalle tietokoneelle tai televisiolle, jolloin näytön kuluttavuus katselun aikana kuluttaa paljon enemmän kuin pienemmältä, älypuhelimien näytöltä katsottaessa.

Älypuhelimien energiankulutusta videoita ladatessa selvittäneen tutkimuksen (Siekkinen et al. 2015, 1491) mukaan 597 sekuntia eli noin 10 minuuttia pitkän videon lataaminen kuluttaa esimerkkinä toimineelta Samsung Galaxy SIII 4g puhelimelta 3G-verkossa toimiessaan noin 150 milliampeeria (mA) ja LTE-verkossa noin 270 mA. WiFi-verkolla samankokoinen video saman mallin puhelimella kuluttaa noin 60 mA. Luvut on katsottu kuvaajasta (Siekkinen et al. 2015, 1491), jossa on ilmoitettu eri lataamistapojen kuluttavuuksia sekä 3G:llä, LTE:llä että WiFillä. Eri lataustapojen kesken on laskettu keskiarvot, jotka ovat yllä ilmoitetut 150 mA, 270 mA sekä 60 mA. Siekkinen et al. (2015, 1491) tutkimuksen perusteella voidaan

huomata, että WiFiä käytettäessä energiaa kuluu alle puolet verrattuna mobiilidatan käyttöön. (Siekkinen et al. 2015, 1491.)

Siekkinen et al. (2015) testeissä käytetyn puhelimen akku on jännitteeltään 3,8 voltia (V), jolloin 3G-yhteydellä 150 mA virta vastaa tunnin aikana 0,57 Wh, joka aiheuttaa 0,1 gCO₂-ekv. päästöjä. 4G-yhteyden 270 mA virta vastaa tunnin aikana energiankulutuksessa 1,03 Wh ja se aiheuttaa 0,18 gCO₂-ekv. päästöt.

Monet tekijät voivat vaikuttaa negatiivisesti mobiililaitteiden energiankulutukseen suoratoistopalveluja käytettäessä. Tiedetään, että on kuluttavaa, kun sisältöä ladataan nopeudella, joka on pienempi kuin suurin mahdollinen nopeus, mutta ei kuitenkaan tiedetä kuinka kuluttavaa (Siekkinen et al. 2015, 1491). Mitä pienempi latausnopeus on, sitä pidempiä välit ladatavien pakettien välillä ovat. Tällöin puhelin ei kuitenkaan mene toimettomaan ja passiiviseen tilaan, vaan älypuhelin kuluttaa energiaa. Energiatohokkain tapa lähettää tai vastaanottaa dataa on käyttämällä verkon koko kapasiteettia. Tämä koskee kaikkia langattomia yhteyksiä, 3G, WiFi ja 4G. Tämä ongelma voitaisiin ratkaista lievittämällä palvelinpuolen latausnopeusrajoituksia. (Siekkinen et al. 2015, 1491.)

3.2.4 E-kirjat

Suoratoistopalveluiden lisäksi myös muut näyttöpäätteeltä katsottavat palvelut, kuten e-kirjat eli elektronisessa muodossa olevat kirjat yleistyvät, ja Yhdysvalloissa e-kirjojen osuus on jo 28 prosenttia kaikesta kirjamyynnistä (Tahara et al. 2018, 59). Japanilaisen tutkimuksen mukaan e-kirjan tuottaminen on vähäpäästöisempää kuin paperisen kirjan, mutta jos paperisen kirjan lukee uudelleen, kirjan ympäristövaikutukset ovat lähes samat kuin e-kirjan lukemisen tabletilla (Tahara et al. 2018, 66). Useiden materiaalien, kuten liimojen, musteiden, paperin ja tulostus levyjen valmistus ja kuljetus, itse kirjan valmistus, kuljetukset sekä kiertämys ovat kaikki kuluttavia toimenpiteitä. Myös tiedonluominen ja tietokoneiden käyttö kirjoittamiseen, muokkaamiseen ja suunnitteluun liittyen, sekä työntekoon ja matkustukseen liittyvät tekijät on otettu huomioon. E-kirjan lukeminen ei ole päästötöntä, sillä energiaa kuluu sekä kirjan lukemiseen, että ylipäänsä esille saattamiseen. (Tahara et al. 2018, 62.)

Japanilaisessa tutkimuksessa älypuhelimella, tässä iPhone 5:llä, yhden e-kirjan elinkaari aiheuttaisi kasvihuonekaasupäästöjä 266 gCO₂-ekv./kirja (Tahara et al. 2018, 62). Lukuun on otettu huomioon materiaalit, tuotanto, jakelu, käyttö sekä elinkaaren loppu (Tahara et al. 2018, 63). E-kirjan päästötiedot ovat alun perin Applen 2017 vuonna julkaistusta tiedoista. Yhden e-kirjan käyttövaiheen päästöt ovat 8,19 gCO₂-ekv./kirja (Tahara et al. 2018, 62). Käyttövaiheeseen kuuluu tiedoston ostaminen, lataaminen sekä itse lukeminen (Tahara et al. 2018, 61). Laskennassa käytetään vain käyttövaiheen päästöjä. Kun muunnetaan päästöt globaalin sähkön päästökertoimen kautta energiankulutukseksi, yhden e-kirjan käyttövaihe vaatii 13,7 Wh energiaa. Tällöin yhden e-kirjan käytöstä aiheutuu 2,3 gCO₂-ekv. päästöjä.

3.2.5 Pelaaminen

Älypuhelimien pelikäytön energiankulutusta on selvitetty Kämäräisen et al. (2014) tutkimuksessa. Pelaaminen LTE eli 4G-verkossa siten, että älypuhelin toimii sekä ohjaimena ja videon näyttönä vaatii 3 W tehoa. Tämä kuluttaa noin 3 tuntia 15 minuuttia täyteen ladatun akun kestosta. WiFiä käytettäessä energiankulutus pienenee kolmanneksella. Jos älypuhelin käytetään vain ohjaimena, ja käytössä on jokin ulkoinen näyttö, energiaa säästyy aiempaan tilanteeseen verrattuna 4G-yhteyttä käytettäessä 35 prosenttia ja WiFiä käytettäessä 40 prosenttia. (Kämäräinen et al. 2014, 5.)

Puolen tunnin pelaaminen kuluttaa energiaa 1,5 Wh, joka vastaa 0,26 gCO₂-ekv. päästöjä. Pelaaminen kesti testissä 10 minuuttia kerrallaan, ja testissä pelattiin yhtä tasoa pelistä nimeltä Little Big Racing. Pelaaminen tapahtui Samsung Galaxy S4 puhelimella ja testissä käytettiin näytön resoluutiota 1280x720 ja 60 kuvaa sekunnissa. (Kämäräinen et al. 2014, 4.)

3.3 Puhelimen muut kuluttavat tekijät

Tässä kappaleessa lasketaan päästöt ilman internetyhteyttä toimiville puhelu- ja tekstiviestiominaisuuksille. Puhelimessa on myös paljon energiaa kuluttavia osia, joiden kasvihuonekaasupäästöjen arvioiminen on vaikeaa. Lataamistottumukset, näytön kirkkauden säätö, näytöllä esitettävät värit sekä sisäänrakennetut sensorit, kuten paikannuspalvelut, mikrofonit

ja Bluetooth kuluttavat puhelimen akkua ja sitä kautta vaikuttavat puhelimen päästöihin (Rawlinson 2017, 50). Käyttäjän toimintatavat, kuten mobiilidatan ja WiFin käyttö, sekä puhelimen yhteyspisteen jakaminen vaikuttavat vaikeasti arvioitavalla tavalla älypuhelimien lopulliseen hiilijalanjälkeen. Myös muita puhelimen kuluttavia osia, kuten näyttöä, sisäänrakennettuja sensoreita ja käyttäjän tottumuksiin liittyviä tekijöitä tarkastellaan. Puhelimen internetyhteyden tapaa pohditaan, ja vertaillaan mobiilidatan ja langattoman lähiverkon kuluttavuutta. Kappaleen lopussa käsitellään laskelmia tavallisen matkapuhelimen hiilijalanjäljestä.

3.3.1 Puhelu ja tekstiviestit

Puheluiden soittamisen ja tekstiviestien lähetyksen sekä vastaanoton aiheuttamaan energiankulutukseen on perehdytty Perucci et al. (2011, 4) tutkimuksessa. Puhelun soittaminen puhelimella, jossa on 3G-yhteys, kuluttaa 1,27 W, kun taas puhelun vastaanottaminen 1,22 W (Perucci et al. 2011, 2). Testeissä kahden puhelimen väliset puhelut ovat kestäneet viisi minuuttia, ja niiden energiankulutuksen keskiarvoista on päädytty tehon lukemiin (Perucci et al. 2011, 4). Keskiarvo puhelun soittamisen ja vastaanottamisen tehosta 3G-puhelimella on 1,245 W. Tällöin 3G-verkossa toimivalla puhelimella tunnin kestävä puhelu vaatii 1,245 Wh energiaa, joka vastaa noin 0,2 gCO₂-ekv.

Tekstiviestejä on eri kokoisia, ja viestit voidaan koodata eri tavoin, oletusarvoisella GSM:n 7-bit aakkosilla, 8-bit data-aakkosilla tai 16-bit aakkosilla. Riippuen millä aakkosilla teksti on koodattu, tekstiviestin maksimikoko on 150 7-bit merkkiä, 140 8-bit merkkiä tai 70 16-bit merkkiä. (Perucci et al. 2011, 4.) 3G-verkossa toimivalla puhelimella 150 tavuisen viestin kulutus on 3,22 joulea (J). (Perucci et al. 2011, 2.) 3,22 J vastaa $894 \cdot 10^{-6}$ Wh energiankulutusta, jolloin yhden tekstiviestin aiheuttamat päästöt ovat 0,00015 gCO₂-ekv.

Perucci et al. (2011) tutkimuksessa selvisi, että energiaa kuluu enemmän, kun viestejä ja ääntä lähetettiin 3G-verkossa olevalla puhelimella, kuin 2G-verkossa olevalla. Puhelun soittaminen 2G-puhelimella kuluttaa 46 % vähemmän ja puhelun vastaanottaminen 50 % vä-

hemmän kuin 3G-puhelimella (Perrucci et al. 2011, 4). Tekstiviestin aiheuttama energiankulutus kasvaa lineaarisesti viestin pidentyessä, kun taas signaalin vahvuus selkeästi vaikuttaa lähettämiseen tarvittavaan aikaan sekä 2G- että 3G-yhteyksillä. (Perrucci et al. 2011, 4.)

3.3.2 Lataaminen

Puhelimen lataaminen kuluttaa muutamasta kilowatista 10 kWh:iin energiaa vuodessa, ja kun laitteita arvioidaan olevan maailmassa miljardi, maailman puhelimen lataamisen energiankulutus on vuodessa yhteensä noin 10 TWh (Gelenbe & Caseau 2015, 6). Suckling & Lee (2015, 1190) mukaan yhden puhelimen lataaminen kolmen vuoden aikana vaatii 11,8 kWh energiaa. Tällöin kulutus vuositasolla olisi noin 4 kWh. Kun lataus kuluttaa 11,8 kWh, siitä 0,26 kWh on peräisin laturin valmiustilassa olemisesta. 0,26 kWh:n lukema perustuu erilaisten käyttäjien tapaan jättää laturi virtalähteeseen kiinni noin 33,5 prosentiksi ajasta. (Suckling & Lee 2015, 1190.)

Yksi esimerkki nykyaikaisesta älypuhelimesta on Samsung Galaxy S4, jonka akku on jännitteeltään 3,8 V ja sähkövirraltaan 2600 mAh, jolloin akun energiankulutus on 9,88 Wh (Samsung 2019). Samsungin (2019) verkkosivustolla kerrotaan puhelimen tuotetiedoissa, että 4G-verkkoa käytettäessä puhelimessa riittää akku jopa kahdeksaksi tunniksi. Kun puhelin on valmiustilassa ja 4G-yhteydessä, mutta sitä ei käytetä, puhelimen akku voi riittää jopa 320 tunniksi (Samsung 2019). Annetuista arvoista voisi todennäköisesti laskea lataamisen kuluttavuuden muuntamalla akun ominaisuudet akun kestoksi ja latauksen tarpeeksi, mutta se rajataan tämän työn ulkopuolelle. Laskeminen jätetään tekemättä epäselvien laskentatapojen vuoksi, jolloin myös vältetään mahdolliset laskuvirheet. Latauksen energiankulutuksen ollessa esimerkiksi 5 kWh vuodessa, päästöt ovat noin 860 gCO₂-ekv. vuodessa.

Litium-ioni solullisia akkuja, joita käytetään nykyaikaisissa puhelimissa, neuvotaan pitämään akkuvarauksessa koko ajan mahdollisuuksien mukaan, sekä välttämään akun tyhjäksi ajoa ja 100 prosenttiin asti täyttämistä. Kun akku ladataan täyteen, käytetään sammumispiisteeseen asti ja ladataan taas täyteen, akku kuluu. Akun elinkaarissa on rajattu määrä tällaisia kierroksia, jolloin useampien kierrosten jälkeen akun kapasiteetti vähenee. Myös puhelimen

pitäminen virtalähteessä kuluttaa akkua samalla tavoin, eli puhelinta ei esimerkiksi kannattaisi jättää seinään yön ajaksi. Applen mukaan, kun puhelimesta käyttää 75 % ensimmäisenä päivänä, lataa yön ajan, ja seuraavana päivänä käyttää 25 %, on 100 % akkua kulunut hukkaan kahden päivän aikana ja tämä on vaikutukseltaan samanlainen kierros kuin akun tyhjästä täyteen ajo. Akun lataustottumuksia muuttamalla puhelin voidaan säilyttää päivittäisessä käytössä siten, ettei akku lopu kesken, mutta myös puhelimen elinikä pitenee. (Rawlinson 2017, 51.)

3.3.3 Näytön vaikutus

Näytön osuus älypuhelimien energian kulutuksesta on merkittävä, ja joidenkin tutkimusten mukaan, kuten Wan et al. (2015, 1), puhelimen kuluttavin osa on näyttö, johon kuuluu paljon ominaisuuksia. Ongelma on korostunut, kun matkapuhelinten näyttöjen koot ovat kasvaneet; vuonna 2007 keskimääräinen näytön koko oli 2,9 tuumaa, ja vuonna 2014 jo 4,8 tuumaa (Wan et al. 2015, 1). Myös näytöllä näkyvä sisältö voi vaikuttaa energiankulutukseen LCD- (Liquid Crystal Display) paneelissa: valkoinen näyttö kuluttaa 33,1 mW ja musta näyttö 74,2 mW (Carroll & Heiser 2010, 5). LCD-näytöillä energiankulutus perustuu näytön kirkkauteen ja sitä voi hallita joko loppukäyttäjä tai käyttöjärjestelmä, joka himmentää näyttöä riippuen puhelimen ympäristöstä (Wan et al. 2015, 1). Wan et al (2015, 1) mukaan näyttö voi kuluttaa jopa 60 prosenttia puhelimen kuluttamasta akusta, kun käytetään jotakin mobiilisovellusta. Kun LCD-näytöllisessä puhelimesta ajaa harvempia sovelluksia samaan aikaan, voi säästää energiaa (Abdelmotalib & Wu 2012, 162).

Useissa moderneissa puhelimissa, kuten Samsung Galaxy S7:ssä, näytöt toimivat uuden sukupolven OLED- (Organic Light-Emitting Diode) tekniikalla, joka toimii toisin kuin LCD-paneeli. OLED-näytössä esitettävillä väreillä on suuri merkitys vaikkakin myös näytön kirkkaus vaikuttaa energiankulutukseen (Wan et al. 2015, 1). Taustalla olevan teknologian takia tällainen näyttö kuluttaa vähemmän energiaa tummia värejä näytettäessä, kuin vaaleita värejä. Musta taustakuva vaatii vähemmän pikseleitä valaistavaksi ja siten säästää energiaa (Rawlinson 2017, 50). OLED-näyttöjen käyttäminen tarkoittaa, että ohjelmistotasolla on suuria energiansäästömahdollisuuksia, kun optimoidaan värejä sekä käyttöliittymien asette-

luja. Tutkimukset ovat arvioineet, että näillä metodeilla voitaisiin saavuttaa jopa 40 % energiansäästöt. (Wan et al. 2015, 1.) Tällä hetkellä kaikki suosituimmat matkapuhelinvalmistajat tuottavat OLED-näytöllisiä puhelimia, esimerkiksi Applen iPhone XS sekä Huaweiin Nova 5 (OLED-info 2019).

3.3.4 Sisäänrakennetut sensorit

Perrucci et al. (2011, 6) tutkimuksen mukaan matkapuhelimen energiaa kuluttavimmat osat ovat langattomat teknologiat, eivätkä näyttö tai prosessori eli CPU (Central Processing Unit), vaikka tilanne on päinvastainen kannettavien tietokoneiden tapauksessa. Puhelimen sisäänrakennetut sovellukset kuten GPS-paikannin (Global Positioning System), voivat kuluttaa päällä ollessaan niin paljon virtaa, että puhelimen akun kesto voi vähentyä yli 20 tunnista vain kuuteen tuntiin (Lane et al. 2010, 146). Kun GPS on käytössä, se voi Constandache et al. (2009, 2717) tutkimuksen mukaan kuluttaa täyden akkuvarauksen tyhjäksi 8,5 tunnissa. Ahmadoh & Tawalbeh (2018, 296) kertovat tutkimuksesta, jonka mukaan tunnin aikana GPS:n päällä ollessa puhelimen akkuvaraus väheni 79 prosenttiin, kun taas GPS:n ollessa pois päältä akkuvaraus laski vain 94 prosenttiin. Tutkimusten perusteella sijaintipalvelut heikentävät akun kestoa huomattavasti.

Puhelinten sensoreiden hallitsemisen puute rajoittaa puhelimen energiankulutuksen hallintaa. Esimerkiksi GPS käyttää vaihtelevan määrän tehoa riippuen monista tekijöistä, kuten käytettävissä olevista satelliiteista sekä ilmakehän olosuhteista. Tällä hetkellä puhelimet tarjoavat GPS:lle vain mustan laatikon käyttöliittymän pyytääkseen sijaintitietoja. Tarkempi ohjaus (engl. finer-grained control) auttaa todennäköisesti säilyttämään akun virran ja ylläpitämään tarkkuutta, esimerkiksi sijainnin arviointi voidaan lopettaa, kun tarkkuus on todennäköisesti alhainen, tai jos arvion tuottamisessa kestää liian kauan eikä se ole enää hyödyllinen. (Lane et al. 2010, 145.)

Eräissä tutkimuksissa on myös huomattu, että GPS:n käyttö sisätiloissa, joissa GPS-signaali on heikko, kasvattaa sijaintipalvelun energiankulutusta. Tähän tulokseen päädyttiin tekemällä monia testejä erilaisilla älypuhelimilla sekä ulkona että sisätiloissa ja mittaamalla jokaisen tilanteen energiankulutusta. (Ahmadoh & Tawalbeh 2018, 296.)

Osan sovelluksista uudelleenkäynnistäminen vaatii enemmän energiaa kuin niiden käynnissä pitäminen taustalla. Myös puhelimen internetin eli yhteyspisteen jakaminen itsessään kuluttaa energiaa, vaikka kukaan ei olisikaan yhteyspisteessä kiinni. Jos puhelinta ei aio käyttää, puhelimen voi laittaa lentokonetilaa, jossa puhelin ei etsi signaalia. Varsinkin oltaessa alueella, jossa yhteys on huono, puhelin kuluttaa paljon energiaa etsiessään signaaleja, joita ei ole tai jotka ovat heikkoja. (Rawlinson 2017, 51.)

Perrucci et al. (2011, 6) tutkimuksessa mitattiin myös Bluetoothin kuluttavuutta, ja huomattiin ettei puhelimen kulutuksessa ole suuria eroja, kun Bluetooth-ominaisuus on päällä tai poissa päältä. Bluetoothin päällä olo kasvattaa tutkimuksen mukaan energiankulutusta vain 3 mW. Tämä tulos on ristiriidassa yleisesti hyväksytyyn käsitykseen kanssa, jonka mukaan Bluetooth kuluttaa erityisen paljon energiaa päällä ollessaan. Esimerkiksi Rawlinsonin (2017, 51) mukaan Bluetoothin päällä pitäminen, kun mitään laitetta ei haluta yhdistää, kuluttaa turhaan energiaa. Lyhyen kantaman viestinnässä Bluetoothia tulisi käyttää vain tilanteissa, jossa siirrettävä datamäärä on vähäistä, ja suurempia tietomääriä lähettäessä tulisi käyttää WiFiä. (Perrucci et al. 2011, 6.)

Ahmadoh & Tawalbeh (2018, 298) suorittivat stressitestejä kahdelle Samsungin puhelimelle, ensimmäinen oli Galaxy Note 4 ja toinen Galaxy Beam. Testissä mitattiin puhelimen eri ominaisuuksien kuluttavuutta koko puhelimen energiankulutuksesta. Ominaisuudet, joita testattiin, olivat prosessori eli CPU, OLED-näyttö, WiFi-yhteys, GPS-paikantamisjärjestelmä, videotoisto, sekä puhelimen normaalitila ja lentokonetila. Ominaisuuksien kuluttavuus on ilmoitettu energiankulutuksena prosentteina koko laitteen kulutuksesta. Molempien puhelinten testeistä keskiarvoksi muunnetut tulokset ovat näkyvillä taulukossa 1. Tulokseksi saadaan, että prosessori kuluttaa eniten energiaa, kun taas puhelimen laittaminen lentokonetilaa vähiten.

Taulukko 1. Puhelimen eri osien energian kulutuksia (mukailten: Ahmadoh & Tawalbeh 2018, 298).

Osa	Tehon kulutus %
Proessori	26,8 %
OLED-näyttö	25,3 %
WiFi-yhteys	18,1 %
GPS	13,7 %
Videotoisto	10,3 %
Normaalitila	4,7 %
Lentokonetila	1,1 %

3.3.5 Internet-yhteyden vaikutus

Matkapuhelimella internetyhteyttä tarvittaessa voi käyttää joko puhelimen omaa mobiilidataa tai langatonta lähiverkkoyhteyttä WLAN:ia. Puhelimen omaa mobiilidataa voi jakaa yhteyspisteenä muille laitteille samalla toimintatavalla kuin WiFi. Mobiilidata ja WiFi ovat eräitä suurimpia puhelimen akun kuluttajia. Näitä teknologioita käytetään muun muassa datan siirtämiseen puhelimelta puhelimeen, internetin selaamiseen, sähköpostien lähettämiseen sekä ääniyhteyden IP-yhteyden kautta. Näiden ominaisuuksien varjopuoli on akun kulutus, joka on tutkimusten mukaan verrannollinen datan siirron aiheuttamaan työmäärään puhelimesta, eikä niinkään lopullisen siirron suuruuteen tai tiedoston kokoon. (Abdelmotalib & Wu 2012, 163.)

Usean eri sukupolven mobiilidatoja on markkinoilla, ja jokaisella internetyhteydellä on yleisesti käytössä olevan ja sukupolven viittaavan lyhenteen lisäksi oma pidempi yhteysmenetelmään viittaava nimensä. Ensimmäisen sukupolven 1G oli analoginen Pohjoismainen radiopuhelinverkko NMT (Nordic Mobile Telephone) ja 2G eli toisen sukupolven digitaalinen, globaali matkapuhelinjärjestelmä GSM (Global System for Mobile communications) (Singh et al. 2015, 42-43). GSM-verkossa oli myös saatavilla pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu GPRS (General Packet Radio Service) eli 2,5G (Singh et al. 2015, 43). 3G eli kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmä UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) perustuu laajakaistatekniikkaan ja 4G eli neljännen sukupolven LTE (Long Term Evolution) on kolmannesta sukupolvesta edistynyt matkapuhelinteknologia (Singh et al. 2015, 42-43). 5G eli viidennen sukupolven tekniikka on BTS (Base Transceiver Station,

tukiasema) (Network World 2019). Aiempien sukupolvien tekniikoita aletaan poistaa käytöstä uusien tekniikoiden tullessa, ja esimerkiksi Singapore on alkanut vuonna 2017 ajaa alas 2G-verkkona tunnettua GSM-verkkoa (Tekniikka & Talous 2017). Langattomat nettiyhteydet kehittyvät, ja noin joka viides vuosi datanopeus 10-kertaistuu (Fettweis & Zimmermann 2008, 1).

Vuonna 2010 3G-verkossa toimivia matkapuhelimia oli noin 6,5 miljoonaa, ja 3G-mobiililaajakaista oli suosituin tilaustyyppi (Malmodin et al. 2014, 840). Vuonna 2020 mobiilidatan odotetaan olevan johtoasemassa matkaviestinten liikenteessä, laskevalla puheluliikenteen osuudella, ja sen ennustetaan muodostavan yli 10 prosenttia koko IP-liikenteestä vuonna 2020. Tämä johtuu lähinnä älypuhelinien määrän kasvusta ja kannettavien tietokoneiden liittymien lisääntymisestä. (Fehske et al. 2011, 56.)

Matkapuhelimiin kohdistuvan tietoliikenteen, mukaan lukien WiFi-verkkojen kautta lähetettävän tietoliikenteen, on ennustettu ylittävän kannettavien tietokoneiden liikenteen vuoteen 2021 mennessä. Vuonna 2021 matkapuhelimien tietoliikenne vastaisi 39 % internetin liikenteestä, kun kannettavien tietokoneiden osuus olisi 28 %, televisioiden 9 % ja tablettien 8 %. Vuonna 2016 älypuhelinien osuus oli 17 %, kannettavien tietokoneiden 56 %, televisioiden 16 % ja tablettien 7 %. Matkaviestinverkot ovat paljon energiaintensiivisempiä kuin kiinteät verkot, mutta kuitenkin mobiilidataliikenne kasvaa nopeammin. (Morley et al. 2018, 130.)

Xu & Mao (2013, 48) mukaan älypuhelimella 3G-yhteyden käyttäminen saattaa kuluttaa kolme kertaa enemmän energiaa kuin WiFi, jolla on 50 ms RTT (Round Trip Time), tai jopa viisi kertaa enemmän kuin WiFi, jolla on 25 ms RTT. Myös Siekkinen et al. (2015, 1491) tutkimuksen mukaan videoita ladatessa WiFi:n käyttö kuluttaisi alle puolet verrattaessa mobiilidataan. 3G ja 2G voidaan kategorisoida soluteknologiaan kuuluviksi, sillä ne on suunniteltu mahdollistamaan datayhteyksien muodostamisen mobiililaitteille kaikkialta maailmasta. WiFi ei kuulu tähän kategoriaan, sillä tämän teknologian käyttö on paljon laajempaa (tietokoneet, kannettavat tietokoneet, matkapuhelimet, tulostimet jne.). (Abdelmotalib & Wu 2012, 162.)

Vaikka esimerkiksi 3G-puhelimella toiminnot kuten esimerkiksi puhelu, kuluttavat enemmän kuin 2G-puhelimella, kuitenkin 3G sukupolvi ja sitä uudemmat, kehittävät energiatehokkuuttaan siirtääkseen suuria määriä dataa (Perrucci et al. 2011, 6).

Taustaympäristö ja käyttäjän toiminta saattavat vaikuttaa puhelimeen, jolloin puhelin ei toimi toivotulla tavalla. Esimerkiksi puhelimen ollessa taskussa signaalit saattavat olla liian heikkoja, kun taas nopeasti liikuttaessa kuten esimerkiksi junassa istuessa, puhelin ehtii olla yhteyksissä liian lyhyen ajan, jolloin esimerkiksi internetyhteys voi pätkiä. (Lane et al. 2010, 146.)

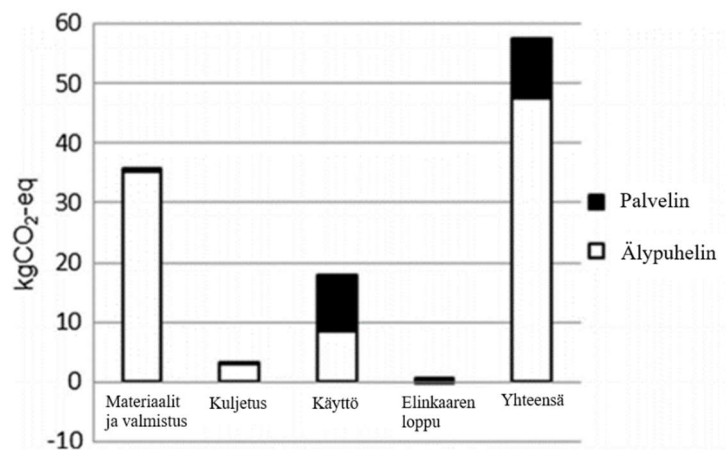
On ilmennyt kritiikkiä siitä, ettei 4G-verkkoa ei ole luotu olemaan valmiustilassa, vaan datakeskuksissa tehot pidetään korkealla. Tällä yritetään välttää yhteyksien pettämistä, mutta varjopuolena on suuri energiankulutus, sillä lähes sama määrä energiaa käytetään huolimatta siitä, lähetetäänkö dataa vai ei. 5G-verkko eroaa aiemman sukupolven nettiyhteyksistä niin, että 5G-verkko ei kuluta paljoa energiaa matalan liikenteen ajanjaksoissa, mikä taas vähentää energiankulutusta. (Westman Svenselius 2019.) Joidenkin lähteiden mukaan 5G-verkko käyttää kolminkertaisesti energiaa 4G-verkkoon verrattuna, sillä 5G:n BTS:t (Base Transceiver Station) käyttävät korkeampia taajuuksia 4G:n LTE:hen (Long-Term Evolution) verrattuna ja tällöin toimintatäisyys lyhenee (Network World 2019). 5G-verkon kulutuksen todellisuus ilmenee, kun järjestelmä otetaan laajemmin käyttöön maailmalla.

3.3.6 Tavallisen matkapuhelimen hiilijalanjälki

Älypuhelimien tuotanto kuljetuksineen asiakkaalle aiheuttaa arvioiden mukaan noin 30 kg CO₂-ekv. päästöjä laitetta kohden (Fehske et al. 2011, 58). Älypuhelimien käytön energiankulutuksen on arvioitu olevan noin 7 Wh vuodessa, perustuen siihen, että puhelinta ladataan 60 tunnin välein. On huomattava, että nykyaikaisten matkapuhelinlatureiden ollessa valmiustilassa kytkettynä pistorasiaan, mutta ei ladattavaan laitteeseen, laturin virrankulutus on alhainen, noin 0,1 W. Keskimääräisen mobiililaitteen hiilijalanjäljen on ennustettu kasvavan vain vähän, vuoden 2007 28 kg CO₂-ekv. päästöistä 31 kg CO₂-ekv. päästöihin vuonna 2020. Syy hillittyyn kasvuun on siinä, että teknologiset edistykset, kuten energiankulutuksen vä-

heneminen, äskettäin asennetuissa tukiasemapaikoissa on kehittynyt samassa tahdissa kasvavan tilaajapohjan kanssa (Fehske et al. 2011, 59.) Fehske et al. (2011) tutkimus on saksalais-unkarilainen, eikä siinä ole ilmoitettu millä päästökertoimella tuloksiin on päädytty. (Fehske et al. 2011, 58-59).

Suckling & Lee (2015) ovat tarkastelleet älypuhelimien elinkaarta yleisesti, jolloin puhelimen internet-käytön kuormittavuus ei tule niin hyvin esille. Tutkimuksen mukaan älypuhelimien elinkaaren päästöistä suurin osa aiheutuu puhelimen valmistuksesta (Suckling & Lee 2015, 1187). Kuvassa 2 on kuvattu älypuhelimien elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä valkoisella, ja palvelinten vaikutusta käytön aikaisiin päästöihin on kuvattu mustalla. Kuvasta huomataan, että käyttövaiheen päästöistä puolet syntyy älypuhelimesta ja toinen puolikas palvelimista.



Kuva 2. Älypuhelimien elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt (valkoisella) sisältäen palvelinten vaikutuksen (mustalla) (mukaillen: Suckling & Lee 2015, 1187).

Malmodin et al. (2014, 839) tutkimuksen mukaan ruotsalaisen perinteisen puhelimen, VoIP-puhelimen sekä 2G-verkossa toimivan puhelimen vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat 15 kg CO₂-ekv. 3G-verkossa toimivan puhelimen vastaava arvo on 24 kg CO₂-ekv. vuodessa. (Malmodin et al. 2014, 839.) Jälkimmäisen suurempi arvo johtuu kehittyneemmän älypuhelimien valmistuksesta. Ruotsissa keskimääräinen matkapuhelin käyttää 23 kWh sähköä vuodessa (Malmodin et al. 2014, 838).

4 HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

Tässä luvussa lasketaan kokeellisesti matkapuhelimen käytön aiheuttamat hiilijalanjäljet eri käyttäjäprofiileille. Eri profiilit on luotu ilmentämään käytön vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. Hiilijalanjäljet lasketaan aiemmin saatujen lukujen avulla. Tämän työn laskelmat pohjautuvat joko suoraan ilmoitettuihin energiankulutustietoihin, tai luvut ovat alun perin olleet tutkimuksissa päästöinä, mutta ei ole eritelty tarkemmin mitä päästökerrointa laskemiseen on käytetty. Päästöt muutetaan globaalin päästökertoimen avulla takaisin energiankulutukseksi, jolloin luvuista voidaan laskea Suomen päästökertoimella Suomessa aiheutuvat päästöt. Tässä työssä kaikki päästöt lasketaan syntyväksi Suomessa, vaikka Malmodin et al. (2014, 836) mukaan kaikkia ICT:n päästöjä ei aiheuteta käyttömaassa. Jotta energiamääriä saadaan muunnettua päästöiksi, tarvitaan maakohtaisesti vaihtelevaa sähkön päästökerrointa. Suuntaa antava ja keskimääräinen sähköntuotannon CO₂-päästökeroon Suomessa laskettuna viiden vuoden liukuvana keskiarvona on 158 gCO₂/kWh, jolloin yhden kWh tuottamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat 158 gCO₂ (Motiva 2019). Todelliset päästökertoimet riippuvat sähköntuotantotavasta. Laskelmissa on käytetty kuitenkin GaBi-tietokannan päästökertoimia, joissa on hiilidioksidipäästöjen lisäksi otettu huomioon myös muita ilmaan päätyviä kasvihuonekaasuja. Malmodin et al. (2014, 832) mukaan globaali kerroin on 600 gCO₂-ekv./kWh, ja tätä kerrointa käytetään globaalien tutkimusten päästölukujen muuntamisessa.

Monen toiminnon kuluttavuus on ilmoitettu watteina, jolloin watit on muunnettu käyttöajan kautta wattitunneiksi. Wattitunnit on muunnettu kilowattitunneiksi, jolloin kWh on voitu kertoa Suomen päästökertoimella, jolloin on saatu grammoja hiilidioksidiekvivalenttia. Käyttäjäprofiilien hiilijalanjäljet on ilmoitettu hiilidioksidiekvivalentteina.

4.1 Eri käyttäjäprofiilien hiilijalanjälki

Seuraavaksi esitellään kolme eri käyttäjäprofiilia, joilla erilaisia muuttujia ovat puhelut, tekstiviestit, yleisten internet-osien käytön määrä, sosiaalisen median käyttö ja suoratoistopalvelujen kulutus. Lataamistottumusten sekä internetyhteyden valinnan aiheuttama kulutus

rajataan ulkopuolelle eikä oteta huomioon käyttäjäprofiilien hiilijalanjälkilaskelmissa. Profiilit on luotu karikatyyrisiksi esimerkeiksi eivätkä ne kuvasta kenenkään todellisen ihmisen toimintaa. Taulukoiden luvut on laskettu mobiilidataa käytettäessä. Useimmiten päästöt on laskettu 3G-verkossa toimivalle älypuhelimelle kuten puheluiden soittamiselle ja tekstiviestien lähettämiseksi (Perrucci et al. 2011, 2), mutta joitakin tietoja kuten pelaamisen (Kämäräinen et al. 2014, 5) ja videoiden lataamisen päästöjä (Siekinen et al. 2015, 1491) on ilmoitettu 4G-verkossa olevalle puhelimelle. Kaikki käyttäjäprofiilien päästöt on ilmoitettu hiilidioksidiekvivalentteina, ja tarkemmat laskelmat lukujen taustalla esitetään liitteessä 2.

Ensimmäinen käyttäjäprofiili on työkäyttäjä nimeltään *Työ-Tuire*, jolla on käytössään lähinnä puhelu- ja tekstiviesti-ominaisuus, sähköposti, internetin hakupalvelu, e-kirjat, videopuhelut sekä satunnaiset sosiaalisen median kanavat kuten Twitter ja Facebook. Toinen käyttäjäprofiili on sosiaalisen median suurkuluttaja *Some-Siiri*, joka seuraa montaa erilaista sosiaalista mediaa usean tunnin ajan päivässä, katselee suoratoistopalveluita, ja välillä pelaajapelejä puhelimella. Kolmas käyttäjäprofiili on *Vähä-Väinö*, joka käyttää puhelintaan vain välttämättömyyksissä, kuten puheluita, tekstiviestejä ja sähköposteja, mutta ei omista sosiaalisen median tai suoratoistopalveluiden käyttäjätilejä.

4.1.1 Työ-Tuire

Työ-Tuire on keski-ikäinen nainen, joka hoitaa työasioita paljon myös puhelimellaan ja tekee lähes kaikkia samoja toimintoja myös tietokoneellaan. Päivän aikana Työ-Tuire puhuu puhelimessa 2,5 tuntia, sekä lähettää 10 tekstiviestiä. Lisäksi hän lähettää puhelimellaan sähköposteja 10 päivässä. Hän selaa internettiä ja tekee Google-hakuja 5 päivässä. Videopuheluita Tuire soittaa kauempana asuville ystävilleen ja sukulaisilleen, ja videopuheluita kertyy puoli tuntia päivässä. Työ-Tuire selaa sosiaalista mediaa kuten Facebookia ja Twitteriä yhteensä noin tunnin päivässä. E-kirjoja hän lukee noin yhden kirjan kahdessa viikossa, joka vaatii noin tunnin lukemista päivässä. Taulukossa 2 on esitetty Työ-Tuiren käytön aikaiset päästöt päivä-, viikko- ja vuositasolla.

Taulukko 2. Työ-Tuiren älypuhelimien käytön hiilidioksidipäästöt.

Toiminto	gCO ₂ - ekv./ Päivä	gCO ₂ - ekv./ Viikko	gCO ₂ - ekv./ Vuosi	Selitys	Lähteet
Puhelut	0,53	3,7	194,3	puhetta 2,5 tuntia päivässä	Perrucci et al. 2011, 2 ; GaBi-tietokanta
Tekstiviestit	0,0015	0,011	0,6	viestejä 10 kpl päivässä	Perrucci et al. 2011, 4 ; GaBi-tietokanta
Sähköpostit	11,40	79,8	4161,0	sähköpostiviestejä 10 päivässä	Climate Care 2015 ; Malmodin et. 2014, 832 ; GaBi-tietokanta
Internet-selaus	0,26	1,8	93,6	Noin 5 Google-hakua päivässä	Gelenbe & Caseau 2015, 8 ; GaBi-tietokanta
Videopuhelut	0,19	1,3	69,0	Videopuheluita puoli tuntia päivässä	Perrucci et al. 2011, 2 ; GaBi-tietokanta
Sosiaalinen media	0,82	5,7	299,6	Facebook ja Twitter-selailua yhteensä tunti päivässä	Gelenbe & Caseau 2015, 9 ; GaBi-tietokanta
E-kirja	0,17	1,2	60,7	E-kirjan lukemista tunti päivässä, yksi kirja kahdessa viikossa.	Tahara et al. 2018, 62 ; Malmodin et al. 2014, 832 ; GaBi-tietokanta
Yhteensä	13,4	93,6	4879		

Työ-Tuiren älypuhelimien käytön aiheuttamat päästöt hiilidioksidiekvivalenteissa ovat noin 4,9 kilogrammaa vuodessa. Työ-Tuiren suurin päästöjen aiheuttaja on sähköpostien lähettäminen 4,2 kg. Seuraavana ovat sosiaalisen median käyttö 0,3 kg sekä tavallisten puheluiden soittaminen 0,2 kg. Internet-selauksen, e-kirjojen lukemisen sekä videopuheluiden aiheuttamien päästöjen määrä on yllättävän alhainen. Työ-Tuiren kaikkein vähiten saastuttava toiminta on tekstiviestien lähetys, joka on vuodessa 0,6 grammaa, vaikka viestejä lähetetään vuodessa 3 650 kappaletta. Sähköpostiviestien lähettämisen lähtöarvona käytetty 4 gCO₂-ekv. on oletettavasti laskettu kannettavalle tietokoneelle. Myös internet-selaamisen eli Google hakujen tekeminen on laskettu kannettavalle tietokoneelle. Sekä sähköpostien että Google-hakujen luvut on muutettu globaalin päästökertoimen kautta päästöiksi Suomessa. Myös sosiaalisen median kuluttavuus on laskettu kannettavalle tietokoneelle. Muut luvut on kuitenkin ilmoitettu lähteissä matkapuhelimelle, jolloin merkittävä ero lukujen suuruusluokassa voi johtua alkuperäisen lähteen epäsovpuudesta.

4.1.2 Some-Siiri

Some-Siiri on teini-ikäinen tyttö, joka seuraa aktiivisesti eri sosiaalisia medioita. Siiri käyttää eri sosiaalisissa medioissa kuten Facebookissa, Instagramissa ja Twitterissä neljä tuntia

päivässä. Hän käyttää monia viestipalveluita, kuten Whatsappia ja kuvaviestipalvelu Snapchatia tunnin päivässä. Siiri katsoo myös eri sarjoja ja elokuvia suoratoistopalveluista 1,5 tuntia päivässä ja kuuntelee musiikkia Spotifysta tunnin päivässä. Hän katselee myös videoita internetistä ja Youtubesta noin tunnin päivässä. Internetin videoiden katselussa on käytetty lukemana Googlen antamaa arvoa, joka vastaa Googlen ympäristöraportin (2017, 51) mukaan Googlen aktiivisen käyttäjän kulutusta päivässä, sisältäen tunnin ajan Youtube-videoiden katselua, 25 Google-haun tekemistä, Gmail-sähköpostin käyttöä sekä muiden Googlen avainpalveluiden käyttöä. Lisäksi Some-Siiri pelaa puhelimellaan noin puoli tuntia päivässä. Yhteensä Some-Siiri käyttää puhelintaan 9 tuntia päivässä. Taulukossa 3 on esitetty Some-Siirin käytön hiilidioksidipäästöt päivän, viikon ja vuoden ajalta.

Taulukko 3. Some-Siirin älypuhelimien käytön hiilidioksidipäästöt.

Toiminto	gCO ₂ - ekv./ Päivä	gCO ₂ - ekv./ Viikko	gCO ₂ - ekv./ Vuosi	Selitys	Lähteet
Sosiaalinen media	3,28	23,0	1198,4	Eri sosiaalisia medioita kuten Facebook, Instagram, Twitter 4 tuntia päivässä	Gelenbe & Caseau 2015, 9 ; Statista 2019 ; GaBi-tietokanta
Viestipalvelut	0,18	1,2	64,0	Snapchat kuvaviestipalvelun ja viestipalvelu Whatsappin käyttöä tunti päivässä	Siekinen et al. 2015, 1491 ; GaBi-tietokanta
Suoratoistopalvelut	0,26	1,8	96,1	Suoratoistopalveluita 1,5 tuntia päivässä	Siekinen et al. 2015, 1491 ; GaBi-tietokanta
Videot internetissä	2,28	16,0	832,2	Videoiden katselu internetissä ja Youtubessa tunti päivässä	Google ympäristöraportti 2017, 51 ; Malmodin et al. 2014, 832 ; GaBi-tietokanta
Musiikinkuuntelu	0,18	1,2	64,0	Musiikkia esimerkiksi Spotifysta tunti päivässä	Siekinen et al. 2015, 1491 ; GaBi-tietokanta
Pelaaminen	0,26	1,8	93,6	Pelaamista puhelimella puoli tuntia päivässä	Kämäräinen et al. 2014, 5 ; GaBi-tietokanta
Yhteensä	6,4	45,0	2348		

Some-Siirin älypuhelimien päästöt ovat noin 2,3 kg vuodessa. Merkittävimpiä tekijöitä ovat videoiden katselu noin 0,8 kg ja sosiaalisen median seuraaminen 1,2 kg. Suoratoistopalvelut, viestipalvelut, musiikin kuuntelu sekä puhelimella pelaaminen vaikuttavat vähiten Siirin puhelimen käytön hiilijalanjälkeen, josta kukin vaikuttaa noin 60-100 g määrällä lopputulokseen. Suoratoiston, musiikinsuoratoiston sekä viestipalveluiden käytössä on käytetty kaikissa samaa lähdetä Siekinen et al. (2015, 1491), jossa on laskettu päästöt videoiden lataamiseen 4G-yhteydessä olevalla älypuhelimella. Myös pelaamisen päästöt on laskettu 4G-yhteydessä olevalle puhelimelle (Kämäräinen et al. 2014, 5). Some-Siirillä eniten luvuista erottuu sosiaalisen median päästöt, sekä videoiden katselu internetissä. Sosiaalisen median

kuluttavuus on lähteessään Gelenbe & Caseau (2015, 9) mainittu laskettavaksi kannettavalle tietokoneelle, ja Googlen ympäristöraportin (2017, 51) videoiden katselun sekä muun Googlen toiminnan lukema on oletettavasti laskettu kannettavalle tietokoneelle.

4.1.3 Vähä-Väinö

Vähä-Väinö on piakkoin eläköityvä mies, joka ei ole kiinnostunut sosiaalisesta mediasta, ja käyttää puhelintaan vain välttämättömyksiin. Hänen puhelimensa käytetyimpiä ominaisuuksia ovat puhelut ja tekstiviestit. Päivässä Väinö soittaa puheluita 10 minuuttia ja tekstiviestejä hän lähettää 4 kappaletta. Sähköposteja Väinö lähettää yhden päivässä ja Google-hakuja hän tekee kaksi päivässä. Taulukossa 4 on esitetty Vähä-Väinön käytön aikaiset päästöt päivä-, viikko- ja vuositasolla.

Taulukko 4. Vähä-Väinön älypuhelimien käytön hiilidioksidipäästöt.

Toiminto	gCO ₂ - ekv./ Päivä	gCO ₂ - ekv./ Viikko	gCO ₂ - ekv./ Vuosi	Selitys	Lähteet
Puhelut	0,04	0,2	13,0	Puheluita noin 10 minuuttia päivässä	Perrucci et al. 2011, 2 ; GaBi-tietokanta
Tekstiviestit	0,0006	0,004	0,2	Tekstiviestejä noin 4 päivässä	Perrucci et al. 2011, 4 ; GaBi-tietokanta
Sähköpostit	1,14	8,0	416,1	Sähköposteja 1 päivässä	Climate Care 2015 ; Malmodin et. 2014, 832 ; GaBi-tietokanta
Internet-selaus	0,10	0,7	37,4	Noin 2 Google-hakua päivässä	Gelenbe & Caseau 2015, 8 ; GaBi-tietokanta
Yhteensä	1,3	9,0	467		

Vähä-Väinön puhelimen käytön hiilijalanjälki on noin 470 g vuodessa. Eniten ilmastokuormaa lisää sähköpostien lähettäminen, joka vastaa noin 416 g päästöistä. Internet-selaamisesta ja Google-hakujen tekemisestä aiheutuu noin 37 grammaa, ja puheluiden soittamisesta 13 grammaa. Tekstiviestien määrä on lähes olematon, 0,2 grammaa. Kuten Työ-Tuiren tapauksessa, myös Vähä-Väinön sähköpostien lähettämisessä ja Google-hakujen tekemisessä päästöt on laskettu kannettavalle tietokoneelle, ja oletettu verrattavaksi älypuhelimien.

4.2 Pohdinta

Virtanen ja Rohweder kirjoittavat toimittamassaan kirjassa (2011, 339) että vaikka hiilijalanjälki on lukuna yksinkertainen ja selkeä, sen laskeminen on usein hyvin monimutkainen prosessi, joka sisältää aina epävarmuustekijöitä. Hiilijalanjäljen määrittelyyn ja laskentaan ei ole yksiselitteistä tapaa, vaikka hiilijalanjälkilaskennassa käytetäänkin apuna standardoituja menetelmiä. Eri laskentamenetelmien tulokset riippuvat tehdyistä oletuksista, rajoista sekä käytetystä datasta, eivätkä välttämättä ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Hiilijalanjälkilaskennassa epävarmuudet voivat liittyä erilaisten toimintatapojen lähtötietoihin, kuten energiankulutuksiin, energialähteisiin, mittausmenetelmiin ja tulosten raportointiin. Mikäli laskennassa käytetään keskimääräisiä tilastollisia arvoja, lopputulos saattaa olla jopa harhaanjohtava. (Virtanen & Rohweder (toim.) 2011, 339.)

Tarkastelussa on ollut monia älypuhelimien käytön toimintoja, ja samoista aiheista on löytynyt useampia tutkimuksia. Jos toisessa tutkimuksessa on laskettu energiankulutus tai päästöt puhelimelle ja toisessa tutkimuksessa kannettavalle tietokoneelle, tässä työssä on kaikissa tilanteissa valittu lähde, jossa tulokset on ilmoitettu puhelimelle. Esimerkiksi videopuhelun soittamiselle on ollut kaksi lähdeä, jossa toisessa energiankulutus on laskettu kannettavalle tietokoneelle (Ong et al. 2012, 54) ja toisessa älypuhelimelle (Perrucci et al. 2011, 2). Kannettavalle tietokoneelle ja puhelimelle lasketuissa luvuissa huomataan olevan suuria eroja, ja tietokoneelle lasketut luvut ovat suurempia. Voi siis olettaa, että älypuhelimien toiminnot, joiden päästöt on laskettu rinnastettavaksi kannettavaan tietokoneeseen, voivat olla harhaanjohtavan suuria.

Joistakin toiminnoista taas on ollut käytössä vain yksi lähde, kuten mobiilipelaamisesta (Kämäräinen et al. 2014, 5), jolloin laajempi käsitys toiminnosta on jäänyt vaillinaiseksi vertailuarvojen puutteen takia. Sosiaalisen median palvelut kuten Instagram ja Twitter on laskettu Facebookin kulutuksella (Gelenbe & Caseau 2015, 9). Jos esimerkiksi Facebookin kuukausittaisien käyttötuntien määrä kuluttajaa kohden on kasvanut, mutta käyttäjää kohden laskettu energiankulutus on pysynyt samana, se muuttaa sosiaalisen median laskettuja tunti-kohtaisia päästöjä pienemmiksi, ja sitä kautta sosiaalisen median aiheuttamia päästöjä pienemmiksi. Some-Siirin profiilissa internetin videoiden katselun kuvaamiseksi käytetty luku perustuu Googlen ympäristöraportissaan (2017, 51) antamaan lukuun, mutta luvun taustalla

olevia laskelmia ei ole avattu. Luku on siis todennäköisesti laskettu kannettavalle tietokoneelle, mutta on lisäksi epäselvää, onko lukua pienennetty todellisuudesta vedoten esimerkiksi päästöhyvityksiin tai uusiutuvien energiamuotojen tukemiseen.

Siekinen et al. (2015, 1491) tutkimuksesta käyttöön otetut luvut videoiden lataamisesta ovat epätarkkoja, jolloin kokonaisuus voi muuttua. Koska luvut on silmämääräisesti luettu kuvaajasta, ja luvuille on laskettu keskiarvo, on oletettavaa, että luvuissa esiintyy epävarmuutta. Luvut ovat kuitenkin suuntaa antavia, ja lukemien heitto on todennäköisesti alle 50 mA suuntaan tai toiseen. Joitakin toimintoja on oletettu kuluttavuudeltaan samaksi, ja esimerkiksi Viestipalvelut WhatsApp ja Snapchat, musiikkipalvelu Spotify ja suoratoistopalvelut on arvioitu videoiden lataamista vastaaviksi. Tällöin esimerkiksi Some-Siirin tapauksessa päivän ajalta on laskettu 3,5 tunnin päästöt videoiden lataamisen päästöillä (Siekinen et al. 2015, 1491). Jos rinnastettavuuden oletukset ovat väärä, se muuttaa Some-Siirin päästöjen kokonaisuutta merkittävästi. Lisäksi jos Siekinen et al. (2015) tutkimuksen 10 minuuttia kestävä videon kuluttavuutta ei voi rinnastaa pidempiin videoihin, tulokset ovat harhaanjohtavia.

Osa lähteistä on mahdollisesti epäluotettavia, eikä lähteissä ole aina kerrottu taustaa esitetyille tuloksille. Epäselvästä tausta huolimatta lähteitä on käytetty, koska millään yksittäisellä tiedolla ei ole ollut suurta vaikutusta työn lopputulokseen. Poikkeus tästä on sähköpostin päästöt, jotka vaikuttavat suuresti käyttäjäprofiilien hiilijalanjälkeen, mutta jonka lähteinä olleet Rushton (2010), Crasman (2016) ja Climate Care (2015) esittivät jokainen hyvin samanlaatuisia tuloksia. Näistä lähteistä poimituihin tietoihin liittyy epävarmuutta tämän työn kannalta, sillä niissä ei selkeästi ilmaista, kuinka tuloksiin on päädytty, mitä on otettu huomioon ja mitä rajattu ulkopuolelle. Epävarmuustekijöitä sisältävät tiedot on kuitenkin otettu huomioon tässä työssä, koska kaikki mahdollinen tieto eri toimintojen vaikutuksesta on pyritty ottamaan huomioon.

Vaikka Työ-Tuiren puhelimen käytön hiilijalanjälki oli kolmen joukosta suurin, tulokset sisältävät merkittäviä epävarmuuksia, sillä Tuiren suurimmat päästöjen aiheuttajat olivat laskettu kannettavalle tietokoneelle. Jos sähköpostin päästöjä ei oteta huomioon, Siirin pääs-

töt ovat suurimmat. Vaikuttaa epäilyttävältä, että sosiaalisen median käyttö tunnin ajan aiheuttaisi noin gramman päästöt ja 30 sähköpostin lähettäminen noin 32 gramman päästöt. Sähköpostin päästöt vaikuttavat hieman ylimitoitetuilta, tai vastaavasti sosiaalisen median alimitoitetulta.

Jos sähkön päästökerroin on todellisuudessa jokin muu kuin käytetty, se muuttaa kaikkia laskettuja päästölukuja. Eli jos valmiiksi ilmoitettuja päästöjä ei ole alun perin laskettu oletulla, globaalilla päästökertoimella, päästöjen muuntaminen energiankulutukseksi tuottaa heti vääriä tuloksia. Kaikki päästöt eivät välttämättä synny käyttömaassa, vaan osa päästöistä voi olla globaaleja, jolloin osa energiankulutuksesta tulisi laskea eri päästökertoimella. Joissakin yhtiöissä, joiden päästöjä on ilmoitettu, on käytetty myös uusiutuvia energialähteitä. Tässä työssä päästöt on kuitenkin laskettu energiamäärästä, jotka on muunnettu kansallisilla sähkön päästökertoimilla hiilidioksidiekvivalentti-päästöiksi, jolloin uusiutuvien energiamuotojen vaikutus on otettu huomioon päästökertoimen kautta. Uusiutuvien energiamuotojen osuus sähköntuotant jakaumasta voi kuitenkin olla suurempi tai pienempi kuin alkupe-
räisessä tiedossa on käytetty. Suomen päästökerroin on suhteellisen pieni verrattaessa esimerkiksi globaaliin päästökertoimeen, mutta uusiutuvia energiamuotoja lisäämällä kansallinen sähkön päästökerroin pienenesi yhä.

Kaikki internet-käyttöön liittyvät päästöt voisivat olla pienempiä, jos käytettäisiin WiFiä mobiilidatan sijasta. WiFi:n käyttäminen mobiilidatan sijasta vähentäisi energiankulutusta Siekkinen et al. (2015, 1491) mukaan alle puoleen ja Xu & Mao (2013, 48) mukaan jopa kolmannekseen tai viidennekseen. Pelaamisen kuluttavuus vähenee Kämäräinen et al. (2014, 5) tutkimuksen mukaan kolmannekseen WiFiä käytettäessä. Älypuhelimien käyttöön kuuluu monia muita toimintoja, joita ei ole käsitelty tässä työssä, jolloin todellisen käytön päästöjen voisi olettaa olevan suurempia. Esimerkiksi nettikauppojen selaamista ja ostosten tekemistä ei ole tarkasteltu. Latauksen päästöjä ei otettu mukaan käyttäjäprofiilien hiilijalanjälkiin, sillä lataamisen päästöjä ei laskettu itse epäselvien laskentatapojen takia. Jos latauksen päästöt olisi otettu huomioon, se kasvattaisi kunkin profiilin kokonaispäästöjä 1-10 kWh energiankulutukseen verrattavalla määrällä (Gelenbe & Caseau 2015, 6) vuodessa, eli 0,2 – 1,7 kg CO₂-ekv. päästöillä. Älypuhelimien päästöt vuodessa olisivat tällöin keskimäärin noin 5 kg

CO₂-ekv. sisältäen käytön ja lataamisen. Tämä lukema vastaa 31 kilometrin ajamisesta aiheutuvia päästöjä bensiiniautolla, kun auton kulutus on 159 g/km (WWF Ilmastolaskuri 2019). Sitran elämäntapatestin mukaan viiden kilogramman päästöt vastaavat kahden kilon ruokajätteen (2,55 kg CO₂-ekv./kg biojätettä) aiheuttamaa määrää (Sitra 2018a, 4).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

ICT-ala kehittyä koko ajan, ja tutkimustulosten teknistä ajantasaisuutta on vaikea arvioida, kun laitteiden kehittyessä tutkittavat kohteet muuttuvat. Ajantasaisten tietojen löytäminen puhelimen käytöstä aiheutuvista päästöistä on ollut tätä työtä tehdessä vaikeaa. Tässä työssä käytetyt lähteet eivät ole täysin ajallisesti edustavia, sillä vanhin lähteenä käytetty tutkimus on vuodelta 2007. Joistakin puhelimen toiminnoista on ollut vain yksi lähde käytössä, mikä lisää tulosten epävarmuutta kun lähteen tuloksia ei voi verrata muuhun. Päästöjen laskemisessa on myös epävarmuuksia, koska kaikissa tutkimuksissa ei ole kerrottu käytettyjä päästökertoimia tai muita tehtyjä rajauksia. Kannettava tietokone ja älypuhelin on rinnastettu useammassa kohdassa, koska älypuhelin koskevia tietoja ei ole ollut saatavissa. Tässä työssä on oletettu laitteiden samankaltaisten ominaisuuksien perusteella, että päästöt ovat lähes samat. Käyttäjäprofiilien hiilijalanjäljenlaskennassa saatujen tulosten perusteella vaikuttaa kuitenkin siltä, ettei toimintoja voi täysin rinnastaa. Kannettavan tietokoneen näytön suuri koko vaikuttanee osaltaan tietokoneen suurempiin ympäristövaikutuksiin.

Puhelimen latauksen päästöjen ollessa 0,2 -1,7 kg CO₂-ekv. vuodessa, latauksella on suuri merkitys älypuhelimien energiankulutukseen. Myös Suckling & Lee (2015, 1187) mukaan älypuhelimien käytön päästöistä puolet aiheutuisi itse puhelimesta, eli puhelimen latauksesta, ja toinen puolikas servereistä. Lataustottumusten vaikutuksilla voisi tällöin päätellä olevan myös merkitystä. Jotta puhelimen käytön päästöjä saisi pienennettyä, tulisi vähentää kulutavaa, eli internetyhteyttä vaativia toimintaa. Oma toimintaansa miettimällä ja puhelimen asetuksia säätämällä voi vähentää puhelimen kulutusta ja aiheuttamia päästöjä, ja parantaa puhelimen akunkestoa sekä päivittäisellä tasolla, mutta sen myötä myös puhelimen käyttöikä on mahdollista pidentää. Puhelimen sensoreiden, kuten GPS:n päällä pitäminen kuluttaa energiaa, jolloin paikannuspalvelua kannattaa pitää päällä vain, kun sitä tarvitaan. Jos puhelinta ei käytetä, puhelin kannattaa laittaa lentokonetilaa, jolloin energiaa ei kulu turhaan. Näytön kirkkaus ja esitettävät värit vaikuttavat myös puhelimen kulutukseen.

Maailmalla ollaan siirtymässä kiertotalouteen, ja yhä enemmän keskitytään tavaroiden omistamisen sijasta erilaisiin palveluihin (Sitra 2018b), jolloin myös internetyhteydellä varustet-

tujen laitteiden merkitys kasvaa, kun niiden avulla on yhteys palveluihin. ICT:n energialähteiden korvaaminen uusiutuvilla alentaisi koko alan hiilijalanjälkeä, mukaan lukien älypuhelimien.

6 YHTEENVETO

Kaikista älypuhelimien elinkaaren vaiheista aiheutuu päästöjä, ja kuluttajan on mahdollista vaikuttaa omalta osaltaan päästöjen suuruuteen. Puhelimen valmistuksen päästöt ovat hyvin merkittävät, mutta puhelimen käyttöikää pidentämällä ja uuden puhelimen hankkimisen viivyttäminen vaikuttavat vähentävästi hiilijalanjälkeen. Käytön aikaisen toiminnan harkitseminen, kuten internetyhteyttä vaativan toiminnan vähentäminen vähentää älypuhelimesta aiheutuvia päästöjä. Kaikki toiminnot, joissa on kuvaa tai liikkuvaa kuvaa ja ääntä mukana, kuten sosiaalisen median selaus tai videopuheluiden soittaminen, kuluttavat enemmän energiaa kuin ilman internetyhteyttä toimivat ominaisuudet kuten tavalliset puhelu ja tekstiviesti. WiFin käyttö on usean tutkimuksen mukaan energiaa säästävämpää kuin mobiilidatan käyttö, jolloin laajakaistayhteyttä kannattaa suosia varsinkin videoita tai suuria tiedostoja ladattaessa.

Joidenkin toimintojen energiankulutuksesta ja päästöistä ei tämän tutkimuksen teon aikana löytynyt tietoja, jolloin lisätutkimuksia tarvittaisiin. Puhelimen yhteyspisteen jakaminen, musiikin kuuntelun ja lataustottumusten vaikutus vaatisivat jatkotutkimuksia. Sähköpostien lähettäminen, sosiaalisen median käyttö sekä pidempien videoiden katselu älypuhelimella kaipaisivat myös lisää tutkimusta. Vaikka älypuhelimien päästöjen todellinen määrä on yhä epävarma, päästöjen selvittäminen ja ymmärtäminen on avainasemassa, jotta puhelimen ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa ja päästöjä voidaan vähentää.

LÄHTEET

Abdelmotalib Ahmed, Wu Zhibo. 2012. Power Consumption in Smartphones (Hardware Behaviourism). [verkkodokumentti]. Julkaistu: toukokuu 2012. School of Computer Science and Technology Harbin Institute of Technology Harbin – China. [viitattu: 13.6.2019]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/1029940779/fulltextPDF/E2A448D7F1704EA2PQ/1?ac-countid=27292>

Ahmadoh Esraa & Tawalbeh Lo'ai A. 2018. Power consumption experimental analysis in smart phones. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 31.5.2018. [viitattu: 12.8.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8364082>

American Chemical Society. 2013. Toward reducing the greenhouse gas emissions of the Internet and telecommunications. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 2.1.2013. [viitattu: 7.5.2019] Saatavissa: <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/01/130102140452.htm>

Avgerinou Maria, Bertoldi Paolo, Castellazzi Luca. 2017. Trends in Data Centre Energy Consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 22.9.2017. [viitattu: 30.6.2019]. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/10/1470>

BBC. 2018. Apple and Samsung fined by Italian authorities over slow phones. [verkkodokumentti]. [viitattu: 29.5.2019]. Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/technology-45963943>

Berninger, Kati. 2012. Hiilineutraali Suomi. Gaudeamus Oy. 182s. ISBN 978-952-495- 247-7

Carroll Aaron, Heiser Gernot. 2010. An Analysis of Power Consumption in a Smartphone. [verkkodokumentti]. Julkaisussa ei ilmoiteta julkaisuaikaa. NICTA, University of New South Wales, Open Kernel Labs. [viitattu: 11.7.2019]. Saatavissa: https://www.usenix.org/legacy/event/usenix10/tech/full_papers/Carroll.pdf

Climate Care. 2015. Infographic: The Carbon Footprint of the Internet. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 13.4.2015. [viitattu: 29.6.2019]. Saatavissa: <https://climatecare.org/infographic-the-carbon-footprint-of-the-internet/>

CMO Innovation. 2019. Hootsuite: Facebook, Instagram grew in 2018. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 11.2.2019. [viitattu: 9.7.2019]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/2179168071/?pq-origsite=primo>

Constandache I. et al. 2009. EnLoc: Energy-Efficient Localization for Mobile Phones. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 25.4.2009. [viitattu: 13.6.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5062218>

Crasman, Iso-Kuusela Noora. 2016. Tuhoaako verkkopalvelusi planeetan? Tällainen on internetin hiilijalanjälki. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 18.10.2016. [viitattu: 29.6.2019]. Saatavissa: <https://blog.crasman.fi/tuhoaako-verkkopalvelusi-planeetan>

Elisa. 2018. Windows-puhelinten loppu lähenee. Reagoi ajoissa ennen ongelmia! [verkkodokumentti]. Julkaistu: 26.3.2018. [viitattu: 29.8.2019]. Saatavissa: <https://hub.elisa.fi/windows-puhelinten-loppu-lahenee-reagoi-ajoissa-ennen-ongelmia/>

Facebook sustainability. 2019. Sustainable data centers. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2019]. Saatavissa: <https://sustainability.fb.com/innovation-for-our-world/sustainable-data-centers/>

Fehske Albrecht et al. 2011. The Global Footprint of Mobile Communications: The Ecological and Economic Perspective. [verkkodokumentti]. Julkaistu: elokuu 2011. [viitattu: 7.5.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5978416>

Fettweis Gerhard & Zimmermann Ernesto. 2008. ICT Energy consumption – Trends and Challenges. [verkkodokumentti]. Julkaistu: WMPC 2008 (Wireless Personal Multimedia

Communications). [viitattu: 8.8.2019]. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/001d/53a455047ea13a2979f9ea59a4d29a09546c.pdf>

Gartner. 2007. Wireless News. Gartner Estimates ICT Industry Accounts for 2% of Global CO₂ Emissions. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 27.4.2007. [viitattu: 18.6.2019]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/209965591?pq-origsite=primo>

Gelenbe Erol & Caseau Yves. 2015. The impact of information technology. [verkkodokumentti]. Julkaistu: kesäkuu 2015. [viitattu: 9.5.2018]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Erol_Gelenbe/publication/282517963_The_impact_of_information_technology_on_energy_consumption_and_carbon_emissions/links/566d609908aea0892c525812/The-impact-of-information-technology-on-energy-consumption-and-carbon-emissions.pdf

Google. 2018. Ympäristöraportti 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu: 18.6.2019]. https://storage.googleapis.com/gweb-sustainability.appspot.com/pdf/Google_2018-Environmental-Report.pdf

Green Alliance, Benton Dustin, Coats Emily & Hazell Jonny. 2015. A circular economy for smart devices. [verkkodokumentti]. Julkaistu: tammikuu 2015. [viitattu: 5.8.2019]. Saatavissa: <http://www.green-alliance.org.uk/resources/A%20circular%20economy%20for%20smart%20devices.pdf>

Hering Garrett. 2018. Google seeks '24/7 renewable energy' after reaching 100% annual target. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 5.4.2018. [viitattu: 29.6.2019]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/2022451957?pq-origsite=primo>

Ilmasto-opas. 2019. Globaalit päästöt. [verkkodokumentti]. Julkaisussa ei ilmoiteta julkaisuaikaa. Suomen Ympäristökeskus SYKE. [viitattu: 4.6.2019.] Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/42433dde-827f-485e-9fa9-45b49fbfa317/globaalit-paastot.html>

ISO. 2019. 13.020.40 Pollution, Pollution control and Conservation. [verkkodokumentti]. Julkaisussa ei ilmoiteta julkaisuaikaa. [viitattu: 20.7.2019]. Saatavissa: <https://www.iso.org/ics/13.020.40/x/>

Klöpffer Walter, Grahl Birgit. 2014. Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 396 s. ISBN: 978-3-527-32986-1.

Kämäräinen Teemu et al. 2014. Towards pervasive and mobile gaming with distributed cloud infrastructure. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 5.12.2014. Aalto yliopisto. [viitattu: 5.8.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee.org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7008957>

Lane Nicholas D. et al. 2010. A Survey of Mobile Phone sensing. [verkkodokumentti]. Julkaistu: Syyskuu 2010. Dartmouth College. [viitattu: 13.6.2019]. Saatavissa: <http://gtubicomp2015grad.pbworks.com/w/file/fetch/94746338/lane-survey-of-mobile-phone-sensing-2010.pdf>

Malmodin Jens et al. 2014. Life Cycle Assessment of ICT Carbon Footprint and Operational Electricity Use from the Operator, National, and Subscriber Perspective in Sweden. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 1.12.2014. [viitattu: 7.6.2019]. Saatavissa: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.cc.lut.fi/doi/epdf/10.1111/jiec.12145>

Morley Janine, Widdicks Kelly, Hazas Mike. 2018. Digitalisation, energy and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption. [verkkodokumentti]. Julkaistu: huhtikuu 2018. [viitattu: 3.7.2019]. Saatavissa: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2214629618301051?to-ken=C1D55DBDDD40498132AA30EC8DBAC3304F4C41AC8A041E6DE6E81EB053AB54C9AFD9AECF8911B64A19742B37C22B4918>

Motiva. 2019. CO₂-päästökertoimet. [verkkodokumentti]. Päivitetty: 20.5.2019. [viitattu: 20.7.2019]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energian kulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet

Murray Joy & Dey Christopher. 2008. The carbon neutral free for all. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 26.8.2008. [viitattu: 6.8.2019]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S1750583608000698>

Network World, Nelson Patrick. Will 5G be the first carbon-neutral network? [verkkodokumentti]. Julkaistu: 16.5.2019. [viitattu: 12.6.2019]. Saatavissa: <https://www.network-world.com/article/3395465/will-5g-be-the-first-carbon-neutral-network.html>

NPR- National Public Radio Inc. US. 2019. Google Sets Goal To Use Clean Energy 24/7. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 1.7.2019. [viitattu: 9.7.2019]. Saatavissa: <https://www.npr.org/2019/07/01/737761419/google-sets-goal-to-use-clean-energy-24-7?t=1562664889977>

OLED-info. 2019. Mobile phones and smartphones with OLED screens. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 17.1.2019. [viitattu: 19.6.2019]. Saatavissa: <https://www.oled-info.com/oled-devices/mobile-phones>

Ong Dennis, Moors Tim, Sivaraman Vijay. 2012. Complete life-cycle assessment of the energy/CO₂ costs of videoconferencing vs face-to-face meetings. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 28.9.2012. [viitattu: 1.7.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6519615>

Perrucci G.P., Fitzek F.H.P., Widmer J. 2011. Survey on Energy Consumption Entities on the Smartphone Platform. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 18.7.2011. [viitattu 12.8.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5956528>

Rawlinson Nik. 2017. Boost your phone's battery life. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 4.10.2017. [viitattu 3.7.2019]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/1989175053/fulltextPDF/817AAEFE0A044906PQ/1?ac-countid=27292>

Rushton Mark. 2010. Will ICT be the death of the paper industry? [verkkodokumentti]. Julkaistu: kesäkuu 2010. [viitattu: 18.6.2019]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/357160578/?pq-origsite=primo>

Samsung. 2019. Galaxy S4. [verkkodokumentti]. Julkaisussa ei ilmoiteta julkaisuaikaa. [viitattu: 28.8.2019]. Saatavissa: <https://www.samsung.com/uk/smartphones/galaxy-s4-i9505/GT-I9505ZWABTU/>

Siekkinen Matti, Ashraful Hoque Mohammad, Nurminen Jukka K. 2015. Using Viewing Statistics to Control Energy and Traffic Overhead in Mobile Video Streaming. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 6.5.2015. [viitattu: 2.7.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7102779>

Singh Kanupriya, Thakur Sanjeev, Singh Somya. 2015. Comparison of 3G and LTE with other Generation. [verkkodokumentti]. Julkaistu: heinäkuu 2015. Amity University, Noida, India. [viitattu 16.8.2019]. Saatavissa: <https://research.ijcaonline.org/volume121/number6/pxc3904568.pdf>

Sitra. 2017. Swappie, Käytettyjä älypuhelimia uudenveroisina. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 28.12.2017. [viitattu: 7.5.2019]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/caset/kaytettyja-alypuhelimia-uudenveroisina/>

Sitra 2018a. Sitran elämäntapatestin laskentaperusteet. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 22.1.2018. [viitattu: 27.8.2019]. Saatavissa: https://elamantapatesti.sitra.fi/Sitran_el%C3%A4m%C3%A4ntapatestin_laskentaperusteet_suomeksi.pdf

Sitra 2018b. Kiertotalouden kiinnostavimmat. [verkkodokumentti]. Päivitetty: 6.2.2018. [viitattu: 7.5.2019]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/hankkeet/kiertotalouden-kiinnostavimmat/>

Sosiaalinen media hyötykäyttöön. 2018. Suomen suosituimmat sosiaalisen median palvelut. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 12.6.2018. [viitattu: 6.8.2019]. Saatavissa: <http://www.sosiaalinenmediaopetuksessa.com/suomen-suosituimmat-sosiaalisen-median-palvelut/>

Staples Mark D. et al. 2018. Aviation CO₂ emissions reductions from the use of alternative jet fuels. [verkkodokumentti]. Julkaistu: maaliskuu 2018. [viitattu: 11.7.2019]. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0301421517308224>

Statcounter. 2019. SEO Basics: Search Engine Market Share. [verkkodokumentti]. [viitattu: 24.8.2019]. Saatavissa: <https://statcounter.com/insights/seo/search-engine-market-share>

Statista 2019a. Number of mobile phone users worldwide from 2015 to 2020 (in billions). [verkkodokumentti]. Päivitetty: 23.11.2016. [viitattu: 29.5.2019]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/>

Statista 2019b, Wang T. Electricity consumption by Facebook from 2011 to 2018 (in gigawatt hours). [verkkodokumentti]. Päivitetty: 9.8.2019. [viitattu: 12.6.2019]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/580087/energy-use-of-facebook/>

Statista 2019c, Clement J. Number of monthly active Facebook users worldwide as of 2nd quarter 2019 (in millions). [verkkodokumentti]. Päivitetty: 9.8.2019. [viitattu: 12.6.2019]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/264810/number-of-monthly-active-facebook-users-worldwide/>

Statista 2019d, Clement J. Number of monthly active Instagram users from January 2013 to June 2018 (in millions). [verkkodokumentti]. Päivitetty: 9.8.2019. [viitattu: 8.7.2019]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/253577/number-of-monthly-active-instagram-users/>

Statista 2019e, Clement J. Most popular global mobile messenger apps as of July 2019, based on number of monthly active users (in millions). [verkkodokumentti]. Päivitetty: 9.8.2019. [viitattu: 8.7.2019]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/258749/most-popular-global-mobile-messenger-apps/>

Statista 2019f, Clement J. Number of monthly active Twitter users worldwide from 1st quarter 2010 to 1st quarter 2019 (in millions) [verkkodokumentti]. Julkaistu: 4.6.2019. Päivitetty: 14.8.2019 [viitattu: 30.6.2019]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/282087/number-of-monthly-active-twitter-users/>

Statista 2019g, Clement J. Number of daily active Snapchat users from 1st quarter 2014 to 2nd quarter 2019 (in millions). [verkkodokumentti]. Päivitetty: 14.8.2019. [viitattu: 9.7.2019]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/545967/snapchat-app-dau/>

Suckling James & Lee Jacquetta. 2015. Redefining scope: the true environmental impact of smartphones? [verkkodokumentti]. Julkaistu: 10.6.2015. [viitattu: 12.7.2019]. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/1694511232?accountid=27292>

Tahara Kiyotaka et al. 2018. Life-cycle greenhouse gas emissions of e-books vs. paper books: A Japanese case study. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 3.4.2018. [viitattu: 30.7.2019]. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0959652618310084>

Tekniikka & Talous, Virtanen Sofia. 2017. Hyvästi, vanhat gsm-puhelimet – nämä maat aikovat ajaa 2g-verkot alas jo tänä vuonna. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 23.1.2017. Päivitetty 24.1.2017. [viitattu: 29.7.2019]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/hyvasti-vanhat-gsm-puhelimet-nama-maat-aikovat-ajaa-2g-verkot-alas-jo-tana-vuonna/13ec8d38-6aa5-322d-abf9-9f71b88e5235>

Tivi, Pervilä Markku. 2018. Jotain mätää konesaleissa: energiatehokkuudella saattaa olla ikävä kääntöpuoli. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 16.8.2018. [viitattu: 12.6.2019]. Saatavissa: <https://www.tivi.fi/uutiset/jotain-mataa-konesaleissa-energiatehokkuudella-saattaa-olla-ikava-kaantopuoli/b3616bbe-f950-3cfe-946a-bda753bc4d21>

Wan Mian et al. 2015. Detecting display energy hotspots in Android apps. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 25.9.2015. [viitattu: 19.6.2019]. Saatavissa: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.cc.lut.fi/doi/epdf/10.1002/stvr.1635>

Westman Svenselius Monica. 2019. Increase in mobile traffic requires higher energy efficiency in networks. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 28.1.2019. Linköpingin yliopisto. [viitattu: 14.6.2019]. Saatavissa: <https://liu.se/en/news-item/okningen-av-mobildata-kraver-energieffektivare-nat>

Wi-Fi. 2019. Wi-Fi Generations. [verkkodokumentti]. Julkaisussa ei ilmoiteta julkaisuaikaa. [viitattu: 15.8.2019]. Saatavissa: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>

WWF Ilmastolaskuri. 2019. Laskentaperusteet. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.10.2019]. Saatavissa: <http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/calculation-basis?country=2&year=10746>

Violainen Pilvi. 2015. Sinfoniaorkesterin hiilijalanjälki, Case: Sinfonia Lahti. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [verkkodokumentti]. [viitattu: 26.8.2019]. Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/117794/Diplomity%C3%B6_Violainen.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Virtanen Anne & Rohweder Liisa. 2011. Ilmastonmuutos käytännössä, Hillinnän ja sopeutumisen keinoja. Gaudeamus Oy. 415s. ISBN 978-952-495-178-4.

Xu Yi & Mao Shiwen. 2013. A survey of mobile cloud computing for rich media applications. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 1.7.2013. Auburn University. [viitattu: 15.7.2019]. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.cc.lut.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&number=6549282>

Yhdistyneet kansakunnat. 2019. Kyoto Protocol - Targets for the first commitment period. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.6.2019]. Saatavissa: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol>

Yle, Laakso Ville & Terävä Hanna. 2019. Netti syö kasvavalla tahdilla sähköä ja suurin syyllinen ovat nettivideot – "Epämiellyttävä totuus, josta ei haluta puhua". [verkkodokumentti]. Julkaistu: 26.6.2019. Päivitetty: 1.7.2019. [viitattu: 3.7.2019]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10832413>

Yle, Solla Katja. 2017. Digitreenit: Hakukone hukassa? Näin vaihdat selaimen oletushakukoneen. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 25.1.2017. Päivitetty: 8.3.2019. [viitattu: 20.7.2019]. Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2017/01/25/digitreenit-16-hakukone-hukassa-nain-vaihdat-selaimen-oletushakukoneen>

Ympäristö.fi. 2013. Elinkaariajattelu. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 6.11.2013. Päivitetty: 13.1.2014. [viitattu: 20.7.2019]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Resurssitehokkuus/Elinkaariajattelu

Yu Jinglei, Williams Eric, Ju Meiting. 2010. Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China. [verkkodokumentti]. Julkaistu: 9.4.2010. [viitattu: 6.8.2019]. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0301421510002041>

Facebookin kulutus

Vuoden 2017 lopussa Facebookilla on ollut 2,13 miljardia käyttäjää (Statista 2019c), ja yhtiön sähkönkulutus on ollut vuonna 2017 2,46 TWh (Statista 2019b)

Energiankulutus (Wh) jaetaan käyttäjien määrällä, jolloin saadaan energiankulutus käyttäjää kohden. Energiaa kuluu 1,16 kWh käyttäjää kohden vuodessa.

$$\frac{2\,460\,000\,000\,000\text{ Wh}}{2\,130\,000\,000} = 1\,155\text{ Wh} = 1,16\text{ kWh}$$

Kun käyttäjä on keskimäärin noin 20 tuntia kuukaudessa Facebookissa (Gelenbe & Caseau, 2015, 9), käyttäjän tunnin kestävän Facebookin selailun kuluttavuus on 4,8 Wh

$$\frac{1\,155\text{ Wh}}{12} \cdot \frac{1}{20} = 4,812\text{ Wh}$$

Käyttäjaprofiilien laskut

Tekstiviesti	Energia [joule/viesti]	Energia [Wh/viesti]	kWh/viesti	Päästöt [gCO ₂ -ekv./viesti]	Lähteet:
	3,22	0,000894	0,000001	0,000153	Perrucci et al. 2011, 4 ; GaBi-tietokanta

E-kirjan käyttö [gCO ₂ -ekv.]	Energia [kWh]	Päästöt [gCO ₂ -ekv./kirja]	Lähteet:
8,190	0,014	2,334	Tahara et al. 2018, 62 ; Malmodin et al. 2014, 832 ; GaBi-tietokanta

Google-haku	Energia [Wh]	Päästöt [gCO ₂ -ekv.]	Lähteet:
	0,300	0,051	Gelenbe & Caseau 2015, 8 ; GaBi-tietokanta

Sosiaalinen media	Energia [Wh]	Päästöt (1h) [gCO ₂ -ekv.]	Lähteet:
	4,800	0,821	Gelenbe & Caseau 2015, 9 ; GaBi-tietokanta

Pelaaminen	Teho [W]	Energia [Wh] 0,5h	Päästöt [gCO ₂ -ekv./kWh]	Lähteet:
	3,000	1,500	0,257	Kämäräinen et al. 2014, 5 ; GaBi-tietokanta

Googlen palveluiden käyttö	Päästöt [gCO ₂ -ekv.]	Energia [kWh]	Päästöt [gCO ₂ -ekv./päivä]	lähteet:
	8,000	0,013	2,280	Google ympäristöraportti 2017, 51 ; Malmodin et al. 2014, 832 ; GaBi-tietokanta

Puhelu	W	Wh/10min	kWh/10min	Päästöt [gCO2- ekv./10min]	Päästöt [gCO2- ekv./1h]	Päästöt [gCO2- ekv./2,5h]	Lähteet:
	1,245	0,208	0,000	0,035	0,213	0,532	Perrucci et al. 2011, 2 ; GaBi- tietokanta

Sähköposti	Päästöt [gCO2-ekv.]	Energia [kWh]	Energia [Wh]	Päästöt [gCO2-ekv.]	Lähteet:
	4,000	0,007	6,667	1,140	Climate Care 2015 ; Malmodin et. 2014, 832 ; GaBi-tietokanta

Skype	Soitto, teho [W]	5h puh. päästöt [gCO2-ekv.]	5h puh energia [kWh]	Puhelu 1h, [kWh]	0,5h puhelu [kWh]	0,5h puhelun päästöt [gCO2-ekv.]	Lähteet:
Älypuhelimella		2,210		0,002	0,001	0,189	Perrucci et al. 2011, 2 ; GaBi- 2012, 54 ; Ong et al. 2012, 54 ; Malmodin et al. 2014,832 ;
Kannettavalla tietokoneella			4000,000	6,667	1,333	0,667	114,000

Videoiden katseilu	Sähkövirta [A]	1h [Ah]	Jännite [V]	Energia [Wh=Ah*V], tunnin aikana	Wh (10 min aikana)	kWh (tunnin aikana)	Päästöt [gCO2-ekv./1h]	Lähteet:
3G-verkossa puhelimella	0,150	0,150	3,800	0,570	0,095	0,001	0,097	Siekkinen et al. 2015, 1491 ; GaBi-tietokanta
4G-verkossa puhelimella	0,270	0,270	3,800	1,026	0,171	0,001	0,175	Siekkinen et al. 2015, 1491 ; GaBi-tietokanta
HDD-tasoinen Netflix				650,000		0,650	111,150	Yle 2019 ; GaBi-tietokanta