

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tietojenkäsittelyn koulutus

Atte Karvinen

DIGITAALISEN HIILIJALANJÄLKI: VÄLTTÄMÄTÖNTÄ TIETÄÄ,
MAHDOTONTA MITATA. TAPAUS KARELIA-MOODLE-
KURSSITOTEUTUKSET

Opinnäytetyö
Joulukuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2020
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Atte Karvinen

Nimeke
Digitaalisen hiilijalanjälki: välttämätöntä tietää, mahdotonta mitata. Tapaus Karelia-Moodle-kurssitoteutukset

Toimeksiantaja
Karelia-amk tietojenkäsittely

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan digitalisaation hiilijalanjäljen muodostumista, Karelia-ammattikorkeakoulun tietojenkäsittelyn koulutusohjelman kurssitoteutusten hiilijalanjälkeä sekä opettajien tietämystä aiheesta. Työn tarkoitus on lisätä tietoisuutta digitalisaation ympäristöpäästöistä ja antaa vinkkejä päästöjen pienentämiseen yksilötasolla.

Tapaustudkimuksessa tarkasteltiin seitsemää kurssitoteutusta Karelia-Moodle-oppimisympäristössä ja pyrittiin löytämään yksilölähtöisiä tapoja pienentää kurssien hiilijalanjälkeä. Opettajien tietämystä aiheesta kartoitettiin kyselyn avulla. Työn tietoperustana on kirjallisuuserelvitys, jossa käydään viimeisimpien tutkimustulosten valossa läpi digitaalisen elämän aiheuttamia ympäristöpäästöjä.

Nopea teknologinen kehitys ja verkottumisen leviäminen aiheuttavat ennen näkemättömiä haasteita niin energiankäytön, energiantehokkuuden kuin laitteiden ja verkkojen elinkaarenkin osalta. Datan kulutus lisääntyy paitsi loppukäyttäjien, myös Big Datan, tekoälyn ja lukuisten muiden nousevien teknologioiden myötä aina suuremmaksi. Tutkimuksesta selvisi, että käytetyillä päätelaitteella, verkkotyypillä ja käytetyillä palveluilla on suuri merkitys digitaalisen hiilijalanjäljen muodotumisessa.

Kieli
suomi

Sivuja 132
Liitteet 4
Liitesivumäärä 10

Asiasanat
hiilijalanjälki, digitalisaatio, päästöt, kestävä kehitys



THESIS
December 2020
Bachelor of Business Administration

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Atte Karvinen

Title
The Carbon Footprint of Digital: Essential to Know, Impossible to Measure. Case Karelia-Moodle Course-Implementations

Commissioned by
Karelia UAS Business Information Technology

Abstract

This thesis examines the formation of the carbon footprint of digitalization and the carbon footprint of the implementations of the courses of Karelia University of Applied Sciences Business Information Technology, as well as the teachers' knowledge of the subject. The study aims to increase the knowledge about the environmental emissions of digitalization and give tips for how to reduce the emissions at the individual level.

The case study examined seven course-implementations on Karelia-Moodle learning environment and aimed to find an individual level of ways to reduce the carbon footprint of the courses. The knowledge base is a literature review that looks at the emissions caused by the digital life in light of the latest research findings.

Digitalization has its promise to reduce emissions, but it was found that it may also increase them. Rapid technological development and spread of networking create unprecedented challenges in terms of energy consumption, energy efficiency and the life cycle of equipment and networks. The data consumption constantly increases not only because of the end-users but also because of Big Data, artificial intelligence and other rising technologies. The study found that the type of equipment, the type of network and the services used play a significant role in the formation of the digital carbon footprint.

Language

Finnish

Pages 132

Appendices 4

Pages of Appendices 10

Keywords

carbon footprint, digitalization, emissions, sustainable development

Sisällys

1 Johdanto.....	8
2 Hiilijalanjäljen määrittelyminen.....	11
3 Verkottuva maailma.....	13
3.1 Kasvu.....	13
3.2 Kehityssuunta.....	14
3.3 Tulevaisuus – 5G.....	15
3.4 Suomi tilastoina.....	17
3.4.1 Tilastokeskus – Väestön tieto- ja viestintäteknikan käyttö 2020.....	17
3.4.2 Traficom – Viestintäpalvelujen kuluttajatutkimus 2020.....	20
3.5 Yhteiskunnan digitalisaatio - maailman täydeltä ykkösiä ja nolliä.....	22
4 Infrastruktuuri ja laitteisto kaiken takana.....	22
4.1 Datakeskukset.....	22
4.2 Verkot.....	25
4.3 Päätelaitteet.....	27
4.3.1 Kaikki lähtee päätelaitteesta.....	27
4.3.2 Mobiililaitteet.....	28
4.3.3 Muut laitteet.....	29
4.4 Yhteiskunnan digitalisaatio – digitaalisen maailman fyysinen perusta.....	29
5 Digi syö sähköä.....	30
5.1 Ilman sähköä ei ole digitaalisia palveluita.....	30
5.2 Anekauppaa sertifikaateilla?.....	31
5.3 Yhteiskunnan digitalisaatio – sähköenergia verkon elinehtona.....	33
6 Pilvipalveluiden voittokulku.....	33
6.1 Mitä ovat pilvipalvelut ja miksi niiden päästöt ovat oleellisia.....	33
6.2 Markkinoiden johtavat pilvipalvelutarjoajat.....	35
6.2.1 Amazon – Amazon Web Services.....	36
6.2.2 Microsoft – Microsoft Azure.....	38
6.2.3 Google – Google Cloud.....	39
6.2.4 Kiina ja sen jätit Alibaba ja Tencent.....	40
6.3 Yhteiskunnan digitalisaatio – datan siirtymä pilveen.....	41
7 Verkolla on väliä.....	41
7.1 Millaista verkkoa kannattaa suosia?.....	41
7.2 Suomi – mobiilidatan maailmanmestari.....	43
7.3 Yhteiskunnan digitalisaatio – viimeinen maili mobiilissa.....	45
8 Megatonneittain uutta elektroniikkaa.....	46
8.1 Kulutuksen kasvu.....	46
8.2 Ennätysmäärä elektroniikkajätettä.....	47
8.3 Elektroniikkajätebisneksen pimeä puoli.....	51
8.4 Kierrätyksen haasteet.....	53
8.5 Tuottajavastuuta vai tuottajavastuuttomuutta?.....	55
8.5.1 Suunniteltu vanheneminen – tulostinvalmistajat tulilinjalla.....	55
8.5.2 Apple – maailman arvokkain.....	58
8.6 Eurooppa tiennäyttäjänä.....	62
8.6.1 Elektroniikkajätteiden kierrätys.....	62
8.6.2 Oikeus korjaamiseen ja ekosunnittelun lupaukset.....	64
8.7 Yhteiskunnan digitalisaatio – laitteiden määrä vai laatu?.....	65

9	Verkonkäyttäjät keskiössä – teräväpiirtosuoratoistoa ja sähköpostin rooli.....	66
9.1	Digitaalisen viihteen räjähdysmäinen kasvu.....	66
9.2	Ongelmajätettä sähköpostilaatikossa?.....	67
9.3	Videon bittivirran kasvu.....	68
9.4	Yhteiskunnan digitalisaatio – video vie, verkko vikisee.....	69
10	Nousevat teknologiat.....	70
10.1	Datatieteen nousu.....	70
10.1.1	Big Data.....	70
10.1.2	Tekoälyn kaksiteräinen miekka.....	72
10.2	Lohkoketjut – uhka ja mahdollisuus.....	75
10.3	Lisätty- ja virtuaalitodellisuus.....	76
10.4	Esineiden internetin jatkuvat datavirrat.....	78
10.5	6G.....	79
10.6	Yhteiskunnan digitalisaatio – datan määrä ja laatu.....	80
11	Koronapandemian 2020 vaikutus internetiin.....	80
11.1	Kevät ja kesä – nopeita muutoksia.....	80
11.2	Syksy – uusi normaali.....	82
12	Tutkimusmenetelmät.....	83
12.1	Menetelmälliset valinnat.....	83
12.2	Huomioita tutkimusaineistoista ja uutisoinnista.....	86
13	Karelia-Moodle ja Karelia Tikon seitsemän kurssitoteutusta.....	87
13.1	Toimintaympäristö.....	87
13.2	Toimintaympäristön toiminta ja tekniset ratkaisut.....	88
13.3	Menetelmät.....	89
13.3.1	Kurssitoteutukset.....	89
13.3.2	Valikoitujen tallennetiedostojen tekninen analyysi.....	90
13.3.3	Tallenteiden yleisanalyysi.....	91
13.3.4	Kyselytutkimus Tikon opettajille.....	91
14	Analyysi ja tulokset.....	92
14.1	Käytetyt video- ja äänikoodekit.....	92
14.2	Materiaali kokonaisuudessaan Karelia-Moodlessa.....	92
14.3	Yksittäiset kurssit Karelia-Moodlessa.....	95
14.4	Ladatut tallennetiedostot.....	96
14.5	Huomioita koodekeista ja tallennusaluealustaratkaisuista.....	100
14.6	Kyselytutkimukset tulokset.....	100
15	Pohdinta.....	103
15.1	Miten digitaalisen toiminnan hiilijalanjälki muodostuu?.....	103
15.2	Mitkä ovat yksittäisen opettajan vaikutusmahdollisuudet Karelia-Moodle kurssien hiilijalanjäljen pienentämiseen ja onko niillä merkitystä?.....	104
15.2.1	Organisaatio ja opettaja – vapauksia ja sidoksia.....	104
15.2.2	Huonoa suunnittelua – haamutallenteet AWS-pilvessä.....	105
15.3	Karelia-Moodle-kurssien hiilijalanjälki – vaikutusten kokoluokka.....	105
15.3.1	Bittivirtojen suhteellisuus.....	105
15.3.2	Esimerkkitoteutukset suhteessa tutkintokokonaisuuteen.....	106
15.4	Tallennealustojen erot - mitä tallennealustoja opettajan kannattaa suosia?.....	107
15.5	Tutkimuksen jatko.....	109
16	Välttämätöntä tietää, mahdotonta mitata.....	110
	Lähteet.....	111

Kuvioluettelo

Kuvio 1. Käyttäjämäärien kasvu oli suurinta osissa Afrikkaa ja Aasiaa ja pienintä Pohjois-Amerikassa sekä osissa Eurooppaa (Kemp 2020, 35).....	13
Kuvio 2. Valtaosassa suomalaisia kotitalouksia on tietokone (Tilastokeskus 2020).....	17
Kuvio 3. Internet-yhteys löytyy jo lähes joka taloudesta (Tilastokeskus 2020).....	18
Kuvio 4. Matkapuhelin ja kannettava tietokone ovat suosituimpia päätelaitteita (Tilastokeskus 2020).....	18
Kuvio 5. Suosituimmat internetin käyttötarkoitukset ikäjakaumittain (Tilastokeskus 2020).....	19
Kuvio 6. Kiinteän verkon laajakaistaliittymiä oli Suomessa vuoden 2020 puolivälissä 1,8 miljoonaa, joista suurin osa FTTB- tai FTTH-valokuituliittymiä (Traficom 2020c).....	20
Kuvio 7. Valokuituliittymien yleisyys ja kiinnostavuus 2000 talouden joukossa (Traficom 2020c).....	21
Kuvio 8: Suomi on omassa luokassaan mobiilidatan käytössä koko maailmassa. TeleGeographyn tulokset poikkeavat hieman Traficom in vastaavista, mutta järjestys ja mittasuhteet ovat yhteneväiset. (Bell 2020).....	43
Kuvio 9. Mobiilidatan kasvuvauhti Suomessa on ollut voimakasta (Traficom 2020a).....	44
Kuvio 10: Väkimäärään suhteutettuna suurimmat jätemäärät tulivat Euroopasta ja Oseaniasta (GESP 2020, 23–25).....	48
Kuvio 11: Euroopassa kierrätetään lähes puolet elektroniikkajätteestä, Afrikassa alle kymmenys (GESP 2020, 14).....	49
Kuvio 12: Modernin tekoälyn koulutus vie runsaasti energiaa aiheuttaen täten myös paljon päästöjä (Strubell ym. 2019).....	72
Kuvio 13: Tekoälyn vaatima laskentateho 1950-luvun lopulta vuoteen 2012 kaksinkertaistui kahden vuoden välein (OpenAI 2019).....	73
Kuvio 14: Laskentatehon kaksinkertaistuminen vuodesta 2012 eteen päin on vienyt enää 3,4 kuukautta (OpenAI 2019).....	74
Kuvio 15: Selvästi eniten tallenteita oli Collaboratessa.....	93
Kuvio 16: Tuntimääräisesti ero oli Collaboraten hyväksi vielä selkeämpi.....	93
Kuvio 17: Myös kokonsa puolesta Collaborate-tallenteet veivät suurimman tilan.....	94
Kuvio 18: Youtube-tallenteiden keskimääräinen koko jäi alhaisimmaksi. Collaborate on tässä tarkastelussa jaettu kahteen eri kategoriaan.....	94
Kuvio 19: Tallenteiden määrä kurssilla vaihteli suuresti.....	95
Kuvio 20: Videoiden kurssikohtaisissa tuntimäärissä oli hajontaa.....	96
Kuvio 21: Collaborate-tallenteiden videon bittivirta vaihteli suuresti.....	97
Kuvio 22: Onedrive-tallenteiden bittivirrat myötäilivät pitkälti Collaboraten vastaavia, kahta selkeää poikkeusta lukuunottamatta.....	98
Kuvio 23: Myös Youtube-tallenteiden videon bittivirrassa esiintyi suurta vaihtelua.....	99

Kuvaluettelo

Kuva 1: Dataa liikkuu monien eri verkkotyyppeiden kautta (LVM 2020, 53).....	26
Kuva 2: Elektroniikkajätteestä löytyvät alkuaineet ja niiden kierrätysprosentit (UNU 2015; UNI 2014, WEF:in 2019 mukaan, 8).....	50
Kuva 3: Maat, jotka ovat ratifioineet Baselin yleissopimuksen (Basel Convention 2020b).....	62
Kuva 4: Maat, jotka ovat ratifioineet myös Baselin sopimuksen vientikieltolisäyksen (Basel Convention 2020b).....	63
Kuva 5: Verkon yli toteutettu virtuaalisimulaatio haukkaa runsaasti kaistaleveyttä (Mangiante ym. 2017).....	76

Taulukot

Taulukko 1. Laskennallinen koulutuksen materiaalmäärä

Liitteet

Liite 1 Karelia-Moodlen tarkasteltavat kurssitoteutukset

Liite 2 Tallenteiden tekniset ominaisuudet

Liite 3 Opettajakyselyn saatesähköposti

Liite 4 Kyselytutkimus opettajille

1 Johdanto

Digitaalista kuluttamista pidetään helposti fyysistä vähäpäästöisempänä. Totuus ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen: digitalisaation kaikenkattavuus ja muodot, joita digitaalinen kuluttaminen on saanut, ovat osoittautumassa ympäristölle kuormittavammiksi kuin aiemmin ajateltiin. Digitaalisella maailmalla on oma fyysisen maailman rakenteensa, joka pitäytyy peruskäyttäjältä useimmiten näkymättömissä. Tutkimuksessa otetaan selkoa siitä, millaisten prosessien kautta aineettomat bitit päätyvät ilmaan kasvihuonekaasuiksi muuntuneina.

Viime vuosina digitaalisuuden ympäristövaikutusten uutisointi on saanut yhä enenemmän palstatilaa valtavirtamediassa; niin Yleisradion (Laakso & Terävä 2019; Kiviranta 2017) kuin kaupallisten toimijoidenkin (Erma 2019b) alustoilla. Myös IT-alan lehdistö on nostanut aihetta esille (Junttila 2020; Laaksonen 2020a; Laaksonen 2020b). Yle tarttui teemaan konkreettisimmin artikkelissa, jossa ruodittiin Yle Areenan sähkönkäyttöä ja päästöjä (Haakana 2019). Suppeampaa vanhempaa aiheen uutisointia löytyy verkkohauilla; esim. yritysten kilpailukykynekulmasta (Taloussanomat 2007) sekä datakeskusten hiilijalanjäljen ennustetusta kasvusta (Kotilainen 2008). Tietojenkäsittelytieteessä kestävyys ei ole vielä laajalti tutkittu aihe (IIASA 2019, 80).

Keväällä 2020 SARS-Cov-2-koronaviruksen aiheuttama Covid-19-pandemia muutti verkon käyttöä hetkessä maailmanlaajuisesti ja kokonaisvaltaisesti (Sandvine 2020). Tämä nosti aiheen yhä enemmän esille, paitsi yhteisö- ja organisaatio-, myös yksilötasolla. Digitaalisuuden päästöjä itsessään ei listata esim. YK:n Agenda 2030:n kestävä kehityksen tavoitteissa (*Sustainable Development Goals, SDGs*) vuodelta 2015 (YK 2015), vaikka tietoa digitaalisuuden päästöistä tuotetaan myös kansainvälisten yhteisöjen taholta (European Commission 2019).

Viimeisen vuoden ja jopa viime kuukausien aikana laadukasta ja laaja-alaista tutkimustietoa¹ aiheesta on alkanut tulla lisää. Viimeistään koronapandemian mukanaan

1 Kts. esim. <https://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/video-streaming-data-transmission-technology>

tuoma havainto siitä, kuinka kriittinen digitalisaation asema nykyarjessa on, on asettanut sen kestävyys myös ympäristön kannalta huomionarvoiseksi.

Suomessa aihetta on tutkittu Liikenne- ja viestintäministeriön marraskuussa 2019 asetettaman ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmistelevan työryhmän toimesta, jonka väliraportti² julkaistiin kesäkuussa 2020. Lopullisen raportin julkistustilaisuus järjestettiin 30.11.2020³, mutta tähän opinnäytteeseen sen tulokset eivät valitettavasti enää ehtineet mukaan. Kesäkuussa 2020 myös Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA julkaisi raportin Informaatiosektorin energian- ja sähkönkäytöstä Suomessa⁴. Raportti on osa Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran monimenetelmäistä Hiilineutraali kiertotalous -teemaa⁵ sekä Suomen Akatemian Teollisuuden digitaalinen murros - tutkimusprojektia⁶.

Olen työssäni joutunut turvautumaan uusimman tutkimustiedon osalta osittain tiivistelmiin ja väliraportteihin, koska aiheen tutkiminen juuri nyt on kiivaassa vaiheessa, eikä kaikki uusin perusteellisempi tutkimustieto ole ollut saatavilla kirjoittajan hallitsevilla kielillä. Näen työn mieluusti eräänlaisena siirtymävaiheen raporttina, todistuksena asiantilasta ja ajasta, jona teema oli vasta nousemassa laajempaan tietoisuuteen ja sen tutkimusmenetelmät kehittyessä kohti yhteisiä globaaleja standardeja ja säädöksiä.

Opinnäytteen nimi Digitaalisen hiilijalanjälki: välttämätöntä tietää, mahdotonta mitata, toimii työssä tutkimusongelmana, tai ns. issuena. Tapaustutkimusta käsittelevässä kirjassaan *The Art of Case Study* vuodelta 1995 Illinoisin yliopiston emeritusprofessori Robert E. Stake määrittelee issuen⁷ hieman epämääräisenä seikkana, asiana tai ongelmana, josta koko tutkimus kumpuaa. Staken mukaan issuet eivät ole yksinkertaisia tai selkeitä, vaan ne lomittuvat poliittisiin, sosiaalisiin, historiallisiin ja erityisesti henkilökohtaisiin konteksteihin. Digitaalisuuden hiilijalanjäljestä puhuttaessa nämä kaikki kontekstit ovat vahvasti läsnä. (Stake 1995, 16–17.)

2 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-601-6>

3 <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM033:00/2019>

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

5 <https://www.sitra.fi/teemat/hiilineutraali-kiertotalous/>

6 <https://www.aalto.fi/fi/digital-disruption-of-industry-teollisuuden-digitaalinen-murros>

7 Issue = seikka/asia/ongelma, ei suoraan käännettävissä. Issue on laajempi ja epämääräisempi kuin pelkkä suomen ongelma.

Issue on siis laaja, jopa ylimalkainen ongelma, joka kaipaa lisäerittelyä, jalostusta tutkimuskysymyksiksi. Staken mukaan välineellisen tapaustutkimuksen (*instrumental case study*) keskiössä on issue, siinä missä itsessään kiinnostavassa/arvokkaassa tapaustutkimuksessa (*intrinsic case study*) se on tapaus (*case*). Välineellisen tapaustutkimuksen tekijälle issue onkin usein itse tapausta mielenkiintoisempi. (Stake 1995, 16–17.)

Lähdettäessä muotoilemaan varsinaisia tutkimuskysymyksiä, jakautuvat ne arviointikysymyksiin (*evaluative questions*) sekä informaatiokysymyksiin (*information questions*). Arviointikysymyksiin ei voida vastata selvästi ilman laaja-alaisempaa kuvailua, eikä niiden tutkinnasta saatuja tuloksia voida suoraan vertailla keskenään. (Stake 1995, 18–20.) Opinnäytteen arvioivat kysymykset määriteltiin seuraavasti:

- 1. Millaiset tekijät vaikuttavat digitalisaation hiilijalanjälkeen?**
- 2. Kuinka yksittäinen opettaja voi, jos voi, pienentää kurssitoteutuksen hiilijalanjälkeä?**

Informatiivisiin kysymyksiin voidaan löytää selkeämpiä vastauksia ja niitä voidaan vertailla (Stake 1995, 18–20). Työn informatiiviset kysymykset muotoiltiin seuraavasti:

- 3. Kuinka suuri hiilijalanjälki Karelia-Moodle-kursseilla on?**
- 4. Mitä tallennealustoja opettajien kannattaisi suosia?**

Työssä käytetään tutkimuskysymyksiin oleellisesti kiinnittyvää kontekstijaottelua, joka käydään läpi luvussa 12.1.

Johdannon lopuksi käydään läpi työn rakenne pääpiirteissään. Luvussa 2 selvitetään hiilijalanjäljen käsitettä olennaisilta osiltaan. Luvussa 3 esitellään verkottuvan maailman nykytilaa, kehityssuuntaa, sekä hahmotellaan tulevaisuutta. Tarkasteluun nostetaan myös verkottunut Suomi vuonna 2020 tilastotietojen valossa. Luku 4 käsittelee tietoverkkojen ylläpidon ja käytön mahdollistavaa infrastuktuuria. Luvussa 5 otetaan selkoa sähköenergiasta. Tarkastelussa ovat IT-alan sähkönkäyttö ja vihreän sähkön sertifikaatit. Luvussa 6 selvitetään, mitä ovat pilvipalvelut ja miksi niiden rooli on oleellinen. Maailman johtavat pilvipalvelutarjoajat käydään läpi ympäristönäkökulmasta. Luku 7 käsittelee erilaisia tietoverkkotyyppisiä ja paneutuu

Suomen erityisasemaan mobiiliverkkojen suurmaana. Luku 8 pureutuu elektroniikan kasvavaan kulutukseen ja kierrätyksen ongelmiin. Läpi käydään elektroniikkajätteen alati kasvavat määrät, suunniteltu vanheneminen, sekä Euroopan Unionin rooli kestävämmän elektroniikan esitaistelijana. Luku 9 nostaa keskiöön käyttäjän tottumukset, sekä tarkastelee sähköpostin ympäristökuormaa. Luvussa 10 käydään läpi nousevia teknologioita, kuten Big Data, tekoäly ja esineiden internet. Otetaan katseen myös tulevaan tarkastellen 6G:tä. Luku 11 käy läpi koronapandemian vaikutuksia internetiin⁸. Luvussa 12 esitellään työssä käydyt tutkimusmenetelmät ja kiinnitetään huomiota IT- ja ilmasto -tutkimusten uutisointiin. Luvussa 13 esitellään Karelia-Moodle-kurssitoteutukset -tapaustutkimuksen menetelmät ja luku 14 kattaa analyysin sekä tulokset. Luvussa 15 pohditaan mitä tutkimustuloksista on pääteltävissä. Luku 16 päättää työn yhteenvetoon.

Ohjelmistokehityksen "vihreyttä" on tutkittu paljon, joten tästä opinnäytteestä aihealue on päätetty pudottaa pois (LVM 2020, 91 – 95).

2 Hiilijalanjäljen määrittäminen

On syytä käydä läpi mitä käsite hiilijalanjälki pitää sisällään ja kuinka sitä pitäisi tulkita. Hiilijalanjäljen laskemiseen perehtynyt Lancasterin yliopiston professori Mike Berners-Lee esittää kirjassaan *How Bad are Bananas? The Carbon Footprint of Everything – Revised 2020 Edition*, kuinka mahdotonta numeerisen hiilijalanjäljen laskeminen on (kirjoittajan vapaa suomennos).

Autolla ajamisen todellinen hiilijalanjälki ei sisällä vain päästöjä, jotka tulevat pakoputkesta ajettaessa, vaan kaikki päästöt, jotka syntyvät kun öljyä porataan, liikutellaan paikasta toiseen, jalostetaan bensiiniksi ja viedään bensa-asemalle, kuten myös ne huomattavat päästöt, jotka syntyvät auton tuotannosta ja ylläpidosta. (Berners-Lee 2020, 9.)

Hiilijalanjäljen laskemisiongelman keskiössä ovat epäsuorat päästöt. Siinä missä suorat päästöt, esim. auton pakoputkesta tulevat, voidaan laskea varsin tarkasti, koostuvat epäsuorat päästöt niin moninaisista tekijöistä ja vaiheista, että selkeiden lukuarvojen

⁸ Teema päätettiin ajankohtaisuutensa sekä merkittävyytensä vuoksi sisällyttää opinnäytteeseen, vaikkei se suoranaisesti tapaustutkimukseen liitykään.

ilmoittaminen on mahdotonta (Berners-Lee 2020, 9). Yritysten ja hallintojen antamia hiilidioksidipäästölukuja Berners-Lee moittii siitä, että usein niissä on oiottu mutkia suoriksi juuri epäsuorien päästöjen kohdalla. Tämä aiheuttaa tuloksiin ns. katkaisuvirheen (*truncation error*), jonka takia ilmoitetut päästöt voivat jäädä jopa 50 prosenttia todellista alhaisemmiksi. (Berners-Lee 2020, 3.)

Päästöluvut ovat aina karkeita arvioita. Berners-Lee antaa lukujen suurpiirteisyydestä esimerkin suoraan kirjasta (kirjoittajan vapaa suomennos).

Kun juustohampurilaisen CO₂e⁹-päästöiksi annetaan 3,2 kg, tarkoittaa tämä todellisuudessa arvon olevan 'mahdollisesti väliltä 1,5–5 kg ja lähes varmasti väliltä 1–10 kg'. Sama epämääräisyys pätee kaikkeen hiilijalanjalan laskentaan. (Berners-Lee 2020, 10.)

Tarkan määrittelyn mahdottomuudesta huolimatta hiilijalanjälki on Berners-Leen mielestä meneillään olevan ilmastokriisin aikaudella niin oleellinen yksikkö, että siitä tarvitaan intuitiivista ymmärrystä, aivan kuten meillä on ymmärrys siitä, mitä jokin maksaa (Berners-Lee 2020, 3 - 4, 9) (kirjoittajan vapaa suomennos).

Useimmiten ymmärrämme, mitä erilaiset asiat maksavat vaikkemme näkisi niiden hintalappua. Tiedämme, että pullo samppanjaa maksaa enemmän kuin kupillinen teetä, mutta huomattavasti vähemmän kuin asunnon vuokraaminen. Meidän taloudellinen suhteellisuudentajumme auttaa meitä hahmottamaan asioiden rahallista arvoa. (Berners-Lee 2020, 4.)

Hiilijalanjalan laskemisen Berners-Lee kiteyttää olevan yhtä aikaa välttämätöntä, mutta mahdotonta. Tarkkojen lukujen sijaan huomio on kiinnitettävä asioiden kokoluokkiin ja mittasuhteisiin, jotka ovat koko hiilijalanjälkilaskennan keskeisin anti. (Berners-Lee 2020, 9 – 10.)

ICT-alan kokonaisuudessaan Berners-Lee laskee aiheuttavan 2,5 % koko maailman päästöistä ja tuottavan 1,4 miljardia tonnia CO₂e-päästöjä vuodessa (Berners-Lee 2020, 173–175). Näillä arvioilla voi saada osviittaa mittasuhteista raportissa myöhemmin vastaan tulevia lukuja tutkailtaessa.

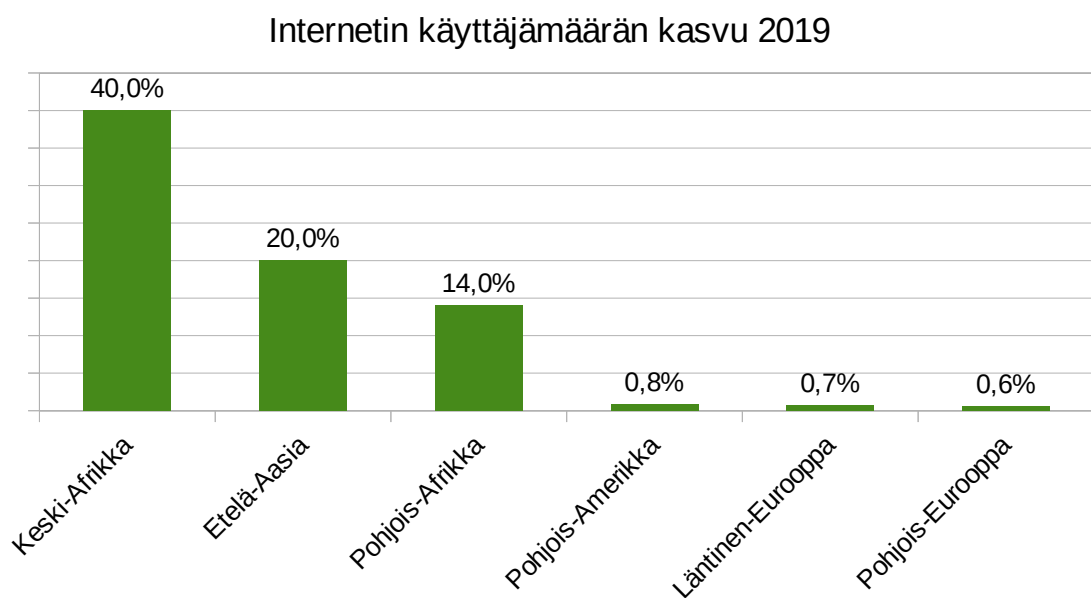
⁹ Berners-Lee käyttää kirjassaan lyhennettä CO₂e tarkoituksessa CO₂ equivalent, eli CO₂ ja vastaavat päästöt. Tämä määrite sisältää kaikki ilmastolle haitalliset kasvihuonekaasut.

3 Verkottuva maailma

3.1 Kasvu

Singaporelainen konsulttitoimisto Datareportal kerää luotettaviksi arvioitujen kolmansien osapuolten aineistoista vuosi- ja vuosineljännesraportteja, joiden pohjalta voidaan muodostaa digitalisoituneen maailman kokonaiskuva ja kehityskulku sekä tutkiskella sen trendejä. Seuraavassa tarkastellaan verkottunutta maailmaa vuonna 2020 pääosin Datareportalin tuoreimpiin tammikuun ja lokakuun 2020 aineistoihin pohjaten.

Lokakuussa 2020 internetiä käytti noin 4,66 miljardia ihmistä, joka on 60 % koko maailman väestöstä (Datareportal 2020, 11). Käyttäjämäärä kasvoi 7,4 % lokakuusta 2019, mikä tarkoittaa lähes 321 miljoonaa uutta verkkokäyttäjää (Datareportal 2020, 11). Suurinta vuoden 2019 aikana kasvu oli Keski-Afrikassa sekä Etelä-Aasiassa, pienintä Pohjois-Euroopassa (kuvio 1) (Kemp 2020, 35).



Kuvio 1. Käyttäjämäärien kasvu oli suurinta osissa Afrikkaa ja Aasiaa ja pienintä Pohjois-Amerikassa sekä osissa Eurooppaa (Kemp 2020, 35).

Internetin kattavuus on yhä alhaisinta Afrikassa ja Aasiassa, joten kasvupotentiaalia näillä suuren kasvun alueilla riittää tulevaisuudessakin. Eniten ihmisiä vailla internetiin pääsyä on Etelä-Aasiassa (Kemp 2020, 34, 41). Mobiiliverkkojen keskimääräinen nopeus oli lokakuussa 2020 noin 36 Mb/s, jossa kasvua vuoden takaiseen on 22 %. Kiinteiden verkkojen keskimääräinen nopeus oli lähes 86 Mb/s ja kasvua 25 %. (Datareportal 2020, 16.)

Suomessa tilanne verkkojen suhteen on päinvastainen. Vuoden 2020 alussa mobiililiittymistä yli puolet ja kiinteistä liittymistä hieman alle puolet oli nopeudeltaan 100 Mb/s tai tätä nopeampia. Alle 30 Mb/s liittymiä oli kiinteistä liittymistä 40 %, mutta mobiililiittymistä vain 17 %. (Traficom 2020a.) Kiinteiden laajakaistaliittymien nopeus on Suomessa Pohjois- ja Baltian maista alhaisimpia. Kaapeliverkkoliittymien määrässä Suomi on saman ryhmän keskitasoa ja kuituliittymissä alemmalla keskitasolla. (Nordic-Baltic Telecom Statistics 2019 2020, 26–29.) Valokuituverkon kattavuus on Suomessa vertaillun alhaisin ja nopeus keskitasoa (Nordic-Baltic Telecom Statistics 2019 2020, 43–44). Etlan Informaatiosektorin energian- ja sähkönkäyttö Suomessa -raportista käy ilmi IP-liikenteen vahva kasvu Suomessa vuosien 2008–2020 välillä (Hiekkänen, Seppälä & Ylhäinen 2020, 8–9).

Suomen erityisasemaa mobiiliverkkojen suhteen käsitellään tarkemmin luvussa 7.2.

3.2 Kehityssuunta

Maailmanlaajuisesti internetin käyttäjistä 92 % on mobiilikäyttäjiä (Kemp 2020, 45; Datareportal 2020, 13) ja jo yli puolet verkossa käytetystä ajasta syntyy mobiilikäytöstä (Kemp 2020, 47; Enge 2019; Datareportal 2020, 14). Lokakuussa 2020 maailmassa oli 4,28 miljardia mobiili-internetkäyttäjää, joista lähes 92:lla prosentilla oli käytössään älypuhelin (Datareportal 2020, 13). 77 % maailman mobiililiittymistä on laajakaistaliittymiä, siis 3G tai tätä nopeampia (Kemp 2020, 186). 73 % liittymistä on älypuhelinliittymiä (Kemp 2020, 177).

Mobiiliverkkodataa käytetään keskimäärin 8,4 gigatavua kuukaudessa (Datareportal 2020, 114). Maailman mobiililiikenteestä 74 % tulee Android-laitteista ja 25 % Apple IOS -laitteista. Jäljelle jäänyt prosentti sisältää kaikki loput käyttöjärjestelmät. (Kemp 2020, 205; Datareportal 2020, 121.) Mobiilisovelluksiin käytetystä ajasta 21 % käytetään videoon liittyviin sovelluksiin (Kemp 2020, 198). Kyseiset sovellukset käyttävät noin 66 % kaikesta mobiilidatasta (Datareportal 2020, 115). Mobiilidatan käytön ennustetaan lähes kaksinkertaistuvan vuoteen 2022 mennessä (Statista 2019a). OECD-maissa mobiilidataliikenne kasvoi vuonna 2019 yli 25 % ja kuukaudessa siirretty liittymäkohtainen datamäärä oli jokaisessa jäsenvaltiossa yli maailman keskiarvon (OECD 2020).

3.3 Tulevaisuus – 5G

Mobiiliverkon jatkuvan kasvun suurin tekijä on 5G-tekniikan laajempi käyttöönotto (Hiekkanen ym. 2020, 9). Vaikka operaattorit esim. Suomessa laajentavat verkostoaan jatkuvasti (DNA 2020a; Elisa 2020a), on 5G:n kaupallinen alkua odotettua hitaampi (Pekkinen 2020).

5G jakautuu kolmeen käyttötarkoitukseltaan ja ominaisuuksiltaan poikkeavaan segmenttiin, joiden käyttöönotto tapahtuu porrastetusti. Kuluttajien käyttöön suunnattu segmentti eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*) on miniminopeudeltaan 100 Mb/s voiden nousta maksimissaan jopa yli 10 Gb/s lukemiin. Verkkoon mahtuu 10 000 kertaa 4G:tä enemmän liikennettä latenssin pysyessä alle 4:ssä millisekunnissa. Toista segmenttiä URLLC (*Ultra Reliable Low Latency communication*) tullaan käyttämään esim. teollisuusautomaation ja itseajavien autojen verkkoliikenteeseen. Latenssi jää alle yhteen millisekuntiin ja verkko on hyvin varmatoiminen. IoT-laitteille¹⁰ tarkoitettu segmentti mMTC (*Massive machine type communication*) mahdollistaa jopa miljoona liitettyä laitetta neliökilometrille ja on kustannuksiltaan alhainen. (Keskinen 2019.)

10 Internet of Things, esineiden internet

Ensimmäisenä käyttöön on otettu eMBB, joka nostaa kuluttajien langattoman verkon nopeutta. Suomessa ensimmäinen vaihe on kaksinkertaistanut nopeuden 4G:hen verrattuna ja noin 8 vuoden päästä nopeuden odotetaan olevan satakertainen. Toinen askel on URLLC, jolloin teollisuus liitetään osaksi verkkoa. Viimeisenä mukaan tulee mMTC tuoden massiivisen määrän IoT-laitteita mukanaan. 5G:n pitäisi saavuttaa maturiteettinsa vuosien 2021 ja 2022 vaihteessa. (Keskinen 2019; Seppälä 2020.)

Eräs keskeisimmistä 5G-verkon ominaisuuksista on verkon viipalointi. Viipaloinnilla verkosta varataan oma kaista, jonka kapasiteetti ei ole ulkopuolisten käytössä. (Seppälä 2020.) Marraskuussa 2020 uutisoitiin Nokian, Elisan ja Qualcommin saavuttaneen Suomessa kaupallisen 5G-verkon tähänastisen nopeuden maailmanennätyksen 8 Gb/s kahden laitteen välillä (Nokia 2020a).

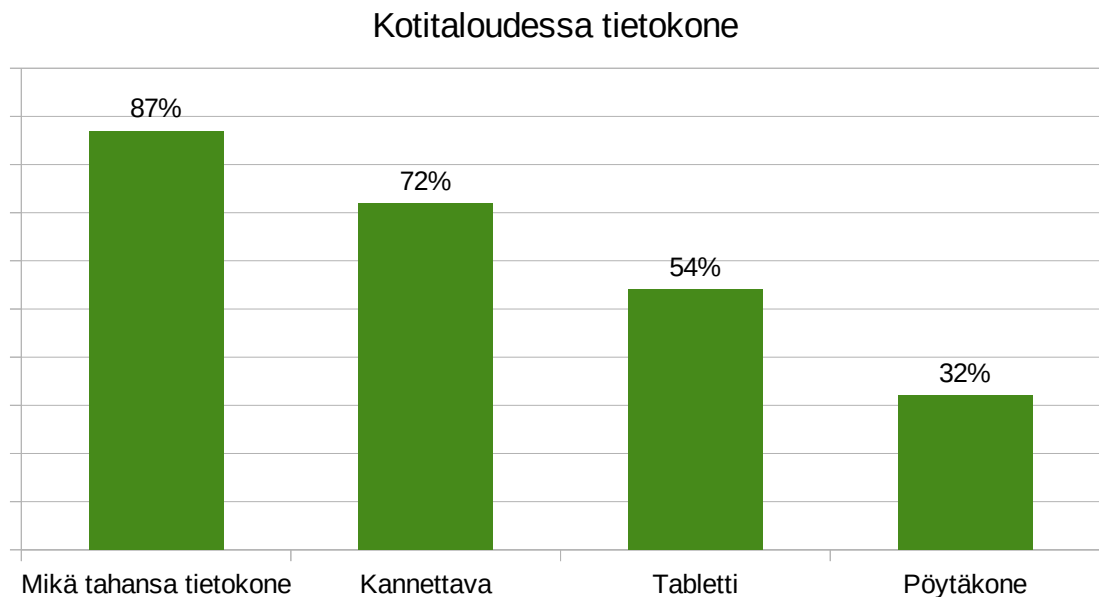
Yhdysvaltalainen televiestintämarkkinoiden tutkimus- ja konsulttiyritys TeleGeography ennustaa, että maailmanlaajuisen kokonaisverkkokapasiteetin määrä kasvaa vahvasti seuraavien kuuden vuoden aikana. Vuoden 2026 pelkkään kasvuun ennustetaan tarvittavan lisäkapasiteettia 4 petabittiä¹¹ sekunnissa. Merikaapelikaapeliverkoston investoidaan vuosina 2020–2022 ennätykselliset noin 8 miljardia dollaria. Suurimmat investoinnit tehdään Aasiaan ja Tyynenmeren alueelle. Jo julkistetut kaapeli-investoinnit eivät tule riittämään näin nopeasti nousevaan tarpeeseen, joten yhä uusia sijoituksiainvestointeja tarvitaan. (Mauldin 2020.)

11 1 petabitti = 1000 terabittiä = 1 000 000 gigabittiä.

3.4 Suomi tilastoina

3.4.1 Tilastokeskus – Väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö 2020

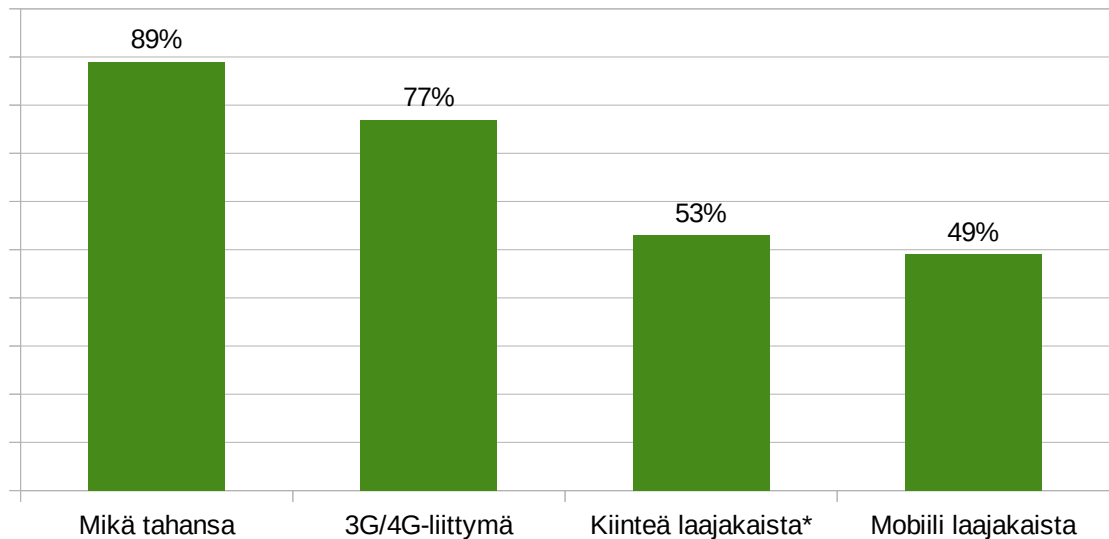
Suomalaisten verkottumisesta ja verkonkäyttötottumuksista saadaan tietoa marraskuussa julkaistusta Tilastokeskuksen vuoden 2020 väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö - tutkimuksesta. Tutkimuksesta käy ilmi, että 82 % 16–89-vuotiaista suomalaisista käyttää internetiä useasti päivässä. Käyttö on yleistynyt vuoden takaisesta etenkin ikäjakauman vanhimmassa päässä. Kaikista suomalaisista 92 % on käyttänyt internetiä viimeisen kolmen kuukauden aikana. Valtaosassa suomalaisista talouksista on jokin tietokone, usemmiten kannettava tai tabletti (kuvio 2). (Tilastokeskus 2020.)



Kuvio 2. Valtaosassa suomalaisia kotitalouksia on tietokone (Tilastokeskus 2020).

Interneyhteys on yhdeksässä kymmenestä taloudesta, liittymän ollessa useimmiten laajakaistaliittymä (kuvio 3). Asunnon sisäisiä WLAN-verkkoja käyttää 61 prosenttia vastaajista (Tilastokeskus 2020) .

Kotitaloudessa internetyhteys

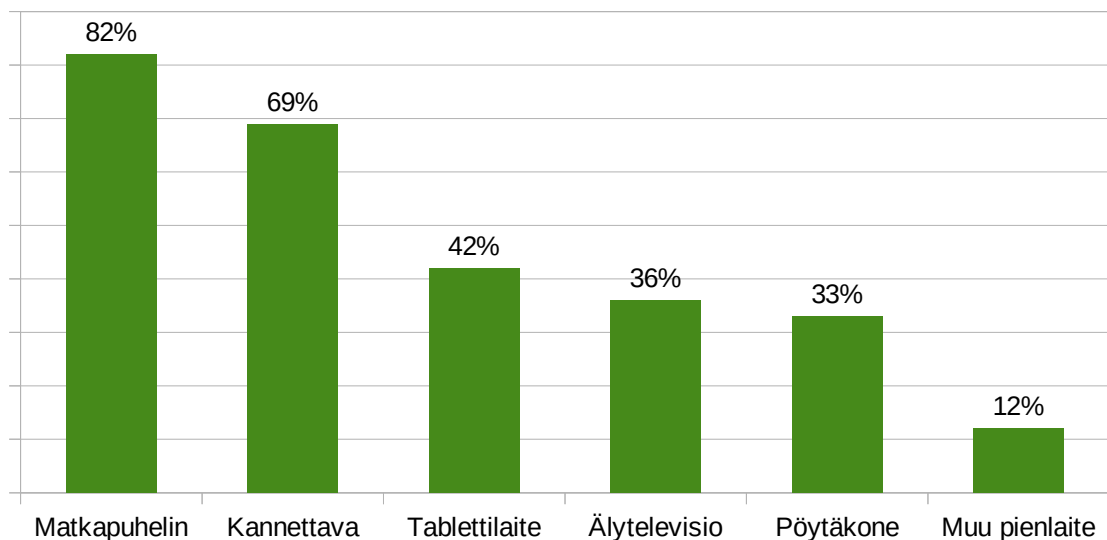


Kuvio 3. Internet-yhteys löytyy jo lähes joka taloudesta (Tilastokeskus 2020).

* Kattaa myös mobiililiittymät, joita käytetään kiinteän liittymän tapaan, esim. reittimessä tai mokkulassa. Kts. Luku 2.4.2

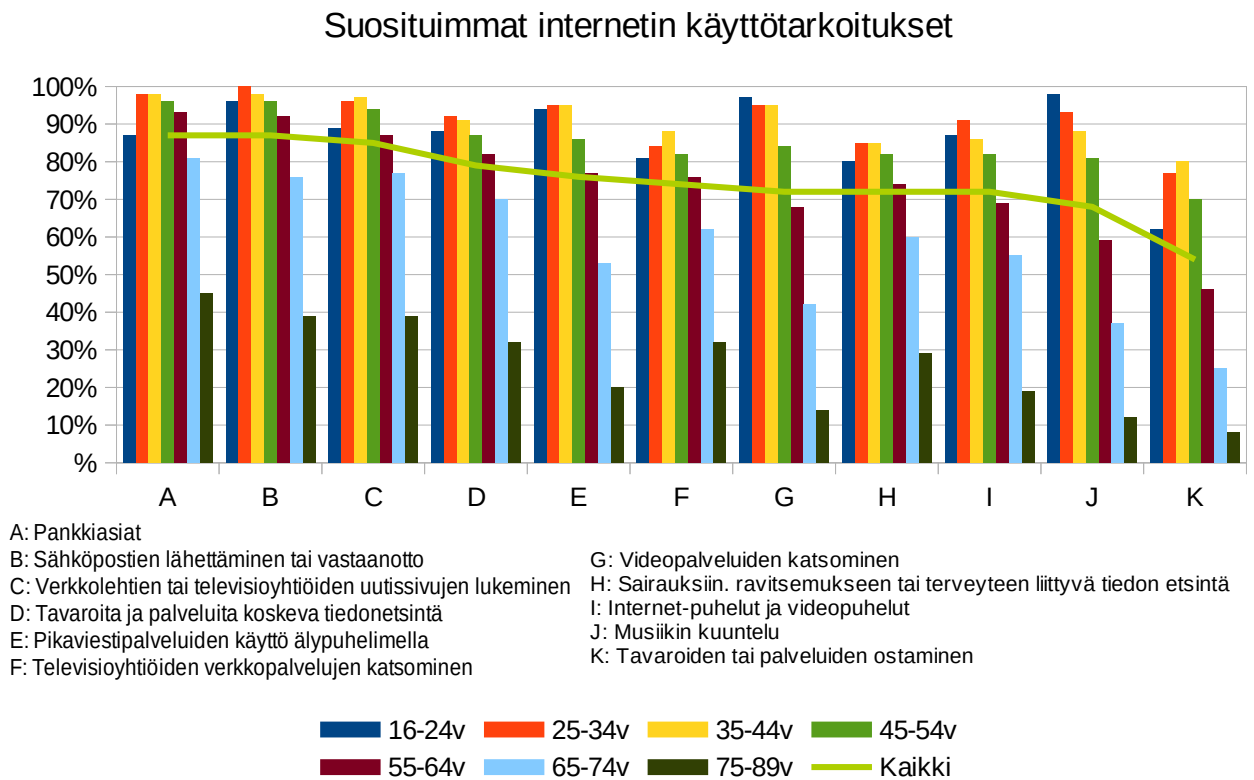
Matkapuhelimen liittymää tietokoneelle tai tabletille jakaa (*tether*) 36 %. Suosituimmat päätelaitteet ovat matkapuhelin ja kannettava tietokone. Perinteisiä pöytäkoneita käyttää kolmasosa vastaajista (kuvio 4). Erilaisia verkkoon kiinnittyviä IoT-älylaitteita käyttää 3–30 % vastaajista. (Tilastokeskus 2020.)

Internetin käyttö päätelaitteella



Kuvio 4. Matkapuhelin ja kannettava tietokone ovat suosituimpia päätelaitteita (Tilastokeskus 2020).

Yleisimmät internetin käyttötarkoitukset viimeisen kolmen kuukauden aikana läpi ikäjakauman ovat pankkiasiat, sähköposti ja verkkolehtien tai televisioyhtiöiden uutissivustojen lukeminen (kuvio 5) (Tilastokeskus 2020).

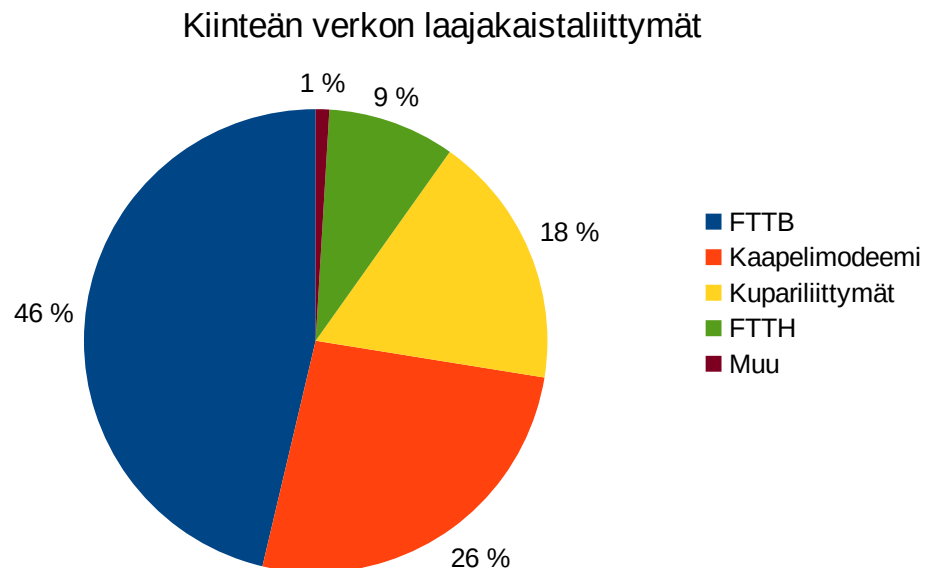


Kuvio 5. Suosituimmat internetin käyttötarkoitukset ikäjakaumittain (Tilastokeskus 2020).

Eniten dataliikennettä tuottava videopalveluiden katsominen on suosituinta 16–44 vuotiaiden keskuudessa, joista sitä harrastaa yli 95 prosenttia (Tilastokeskus 2020).

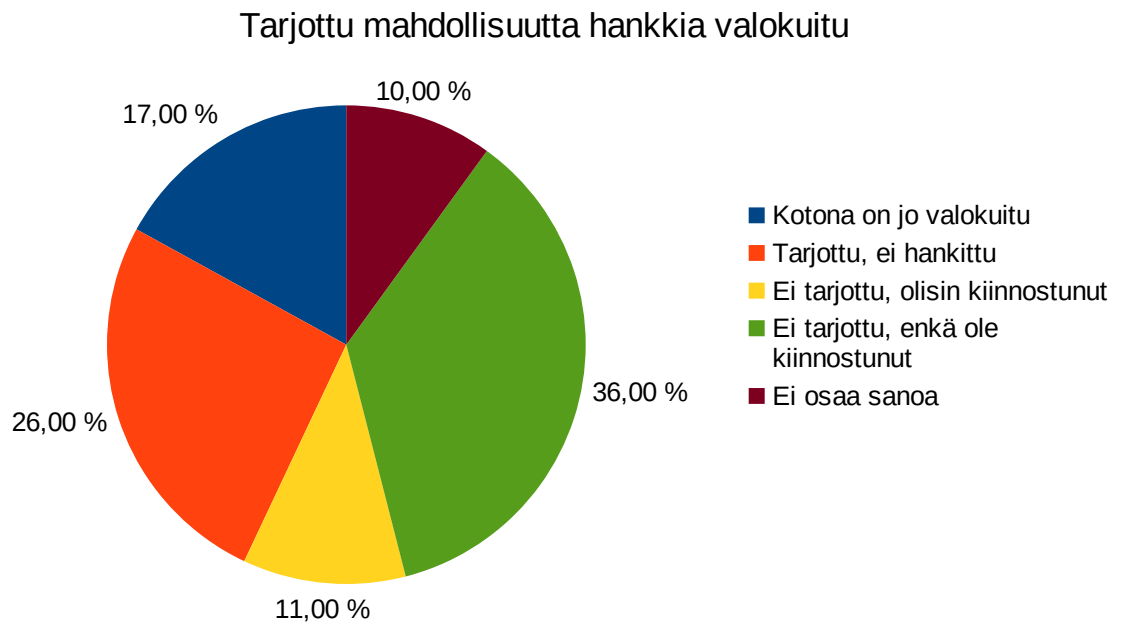
3.4.2 Traficom – Viestintäpalvelujen kuluttajatutkimus 2020

Liikenne- ja viestintävirasto Traficomin kyselyissä kiinteä laajakaista tarkoittaa varsinaisen kiinteän liittymän lisäksi myös mobiililaajakaistaa, mutta tilanteessa, jossa liittymä ei kulje mukana vaan sijaitsee kotona esim. reitittimessä. Kiinteitä puhelinlinjan kautta käytettäviä laajakaistaliittymiä on Suomessa enää vajaa neljännesmiljoona, muita kiinteitä laajakaistaliittymiä 1,8 miljoonaa (kuvio 6). (Traficom 2020c.)



Kuvio 6. Kiinteän verkon laajakaistaliittymiä oli Suomessa vuoden 2020 puolivälissä 1,8 miljoonaa, joista suurin osa FTTB- tai FTTH-valokuituliittymiä (Traficom 2020c).

Traficomin kyselyyn vastanneista 90 prosentilla on mobiililiittymä älypuhelimessa ja yli puolella muussa laitteessa, esim. tabletissa. Kahdeksalla kymmenestä on kotonaan käytössä langaton lähiverkko. Kiinnostus valokuituliittymää kohtaan ei ole kyselyyn vastanneiden keskuudessa suurta, vain 28 % vastaajista joko omistaa tai olisi kiinnostunut valokuidusta (kuvio 7). Valokuituliittymän arvioidaan maksavan noin 1500–2000 euroa, mutta valtaosa vastaajista olisi valmis maksamaan siitä alle 1000 euroa. (Traficom 2020c.)



Kuvio 7. Valokuituliittymien yleisyys ja kiinnostavuus 2000 talouden joukossa (Traficom 2020c).

Pelkällä mobiililiittymällä tulisi toimeen hieman yli puolet vastaajista. Vajaa kolmasosa tarvitsee verkkoyhteyttä viikottain opiskeluun. Maksuttomia suoratoistopalveluita, esim. Yle arena, Ruutu ja Katsomo, seuraa 87 % vastaajista ja maksullinen suoratoistopalvelu on ollut käytössä puolella viimeisten 3 kuukauden aikana. IoT-laitteista älytelevisioita tai muita mediatoistimia omistaa vajaa puolet, peli- tai urheilulaitteita, esim. pelikonsoleita neljännes. Terveysteen liittyviä laitteita, kuten aktiivisuusrannekkeita, omistaa viidesosa ja erilaisia valvontajärjestelmiä 10 %. (Traficom 2020c.)

3.5 Yhteiskunnan digitalisaatio - maailman täydeltä ykkösiä ja nollia

Yhteiskunnan digitalisaatiosta on tullut kaikenkattavaa ja kaikki ikäluokat lävistävää. Yhä suurempi osa arkipäivän toimista tehdään internetissä. Lähes koko maailman kattavasta verkosta puskeva viihde ja hyöty lomittuvat päätelaitteen ruudulta käyttäjän tajuntaan tasapuolisina. Tuo päätelaite on yhä useammin mobiililaite. On entistä helpompaa käyttää entistä enemmän lukuisia verkon tarjoamia palveluita ja kaikki tuo lisääntyvä data on digitaalisen elämän hiilijalanjäljen polttopiste.

4 Infrastrukturi ja laitteisto kaiken takana

4.1 Datakeskukset

Digitaalisen maailman perusta ovat datakeskukset. Kaikki verkossa liikkuva materiaali sijaitsee fyysisessä datakeskustilassa jossakin päin maailmaa. Sillä, missä data fyysisesti sijaitsee ja millaista sähköä se käyttää, on hiilijalanjäljen kannalta keskeinen vaikutus. Eri puolilla maailmaa tuotetulle sähkölle voidaan laskea suurpiirteiset kilowattituntikohtaiset CO₂-päästömäärät perustuen maan energiantuotannon rakenteeseen.

Maailman päästökeskiarvo on 475 g CO₂ /kWh (EEA 2019) ja Euroopan Unionin noin 300 g (EEA 2020; Compare your country). **Suomen** lukema on väliltä 112–171 g (Motiva 2020; Compare your country; Moro & Lonza 2018, 9), kun taas **Ruotsin** 13–16 g (Compare your country; EEA 2020; Moro & Lonza 2018, 9) ja **Norjan** 8–15 g (IEA 2017, 33; Compare your country). **Virossa** mennään yli 800 gramman (Compare your country; EEA 2020) ja **Venäjällä** yli 400 gramman (Thrope 2016; Compare your country). **Yhdysvaltojen** keskiarvo on vajaat 500 g (Thrope 2016; Compare your country).

Datakeskusten koot ovat suurentuneet. Vuonna 2010 keskimääräisen datakeskuksen sähköteho oli 2–5 megawattia, nykyisin 10–50 MW (LVM 2020, 34). Datakeskuksen energiatehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi keskuksen tyyppi. Vain palveluntarjoajan laitteistoa sisältävät niin kutsutut dedikoidut datakeskukset ovat energiatehokkaampia kuin niin sanotut colocation-datakeskukset¹², joissa on palveluntarjoajan laitteiston lisäksi myös asiakkaan omistamia palvelimia. Teleyritysten datakeskukset ovat tyypillisesti colocation-keskuksia. (LVM 2020, 35; 39.) Myös datakeskusautomaatio¹³ on energiatehokkuudessa merkittävässä roolissa (LVM 2020, 37).

Datakeskusten energiatehokkuudesta kertoo PUE¹⁴-luku. PUE-luku 1 tarkoittaisi että datakeskuksessa menisi virtaa vain laitteiston tarpeisiin, PUE-luku 2 taas sitä, että muut toiminnot veisivät yhtä paljon virtaa kuin itse laitteisto. PUE-luku voi olla mitä tahansa väliltä 1,0–3,0, mutta viime vuosina se on asettunut noin 1,5:n paikkeille. Kaikkein tehokkaimmat modernit datakeskukset voivat päästä lukemiin 1,02–1,20. PUE-lukuun vaikuttaa esim. datakeskuksen sähkönjakeluketju; millaista jännitettä keskus saa ja kuinka monta kertaa jännitettä täytyy muuntaa eri käyttötarkoituksiin, millainen UPS-ratkaisu keskuksessa on ynnä muuta. (LVM 2020, 39–41.) Keskusten päästöistä suuren osan voi aiheuttaa käytettävän varavirran muoto, esim. diesel (LVM 2020, 44).

Tietojenkäsittelylaitteet ovat herkkiä ympäristön vaihteleville olosuhteille. Jotta laitteisto toimisi tehokkaasti ja ilman vaurioita, olisi lämpötilan ja ilmankosteuden oltava suositusarvojen mukaiset. Olosuhteista käytetään omaa Ashrae-luokitustaan (LVM 2020, 41). Eräs suurimmista haasteista energiatehokkuuden kannalta on jäähdytys. Suomessa ilmasto mahdollistaa suurelta osin vapaajäähdytyksen, joka käyttää hyödykseen ympäristöolosuhteita, esim. kylmää ulkoilmaa. Vapaajäähdytyksen lisäksi on lähes aina käytössä myös varajärjestelmiä, esim. vedenjäähdytys- tai vakioilmastointitkojeita. Jäähdytyksen optimointia tuetaan automaation avulla. (LVM 2020, 42–43.)

12 Käytetään myös termiä Carrier hotel

13 Automaatiosta käytetään yleisesti käsitettä datakeskuksen infrastruktuurin hallintajärjestelmä, Data center infrastructure management (DCIM).

14 Power Usage/Utilization Effectiveness

Datakeskukset tuottavat merkittävän määrän hukkalämpöä josta on päästävä eroon. Vapaajäähdytyksessä hukkalämpö siirretään ulkoilmaan tai veteen vaikka ympäristön kannalta se olisi viisainta ottaa talteen ja hyödyntää muualla. Teleoperaattori Elisan laskelmien mukaan yhden datakeskuksen hukkalämmöllä voitaisiin vähentää vuodessa 1300–1500 tonnia kaukolämmön CO₂-päästöjä. Tämä vastaisi 130–150 suomalaisen vuotuista hiilijalanjälkeä. Mahdollisuus hyödyntää hukkalämpöä syöttämällä sitä kaukolämpöverkkoon riippuu esim. datakeskuksen sijainnista suhteessa lämpöverkkoon, keräysmentelmän tehokkuudesta sekä kustannustehokkuudesta. (LVM 2020, 48–49.)

Vaikka datakeskusten ja tietoverkkojen energiatehokkuus maailmalla paranee jatkuvasti kaksinkertaistuen vajaassa kolmessa vuodessa (Koomey & Naffziger 2015), myös verkon läpi kulkevan datan määrä kasvaa¹⁵. Datakeskuspalvelimen keskimääräinen käyttöikä on vakiintunut noin 5 vuoteen (Bearchell 2017; Judge 2017).

Datakeskusten sähkönkulutus maailman kokonaiskulutuksesta oli noin 1 % vuonna 2018 (Masanet, Shehabi, Lei, Smith & Koomey 2020, 985). Luku on laskenut vuoden 2010 arviosta, jossa keskusten kulutukseksi laskettiin 1,1–1,5 % (Koomey 2011, 6). Syynä prosentuaalisen osuuden laskuun pidetään datakeskusten energiatehokkuuden nousua. Vaikka datan määrä on kuusinkertaistunut ja datakeskusten kapasiteetin 25-kertaistunut, on energiatehokkuus auttanut pitämään energiatarpeen kurissa. (Masanet ym. 2020, 984–985.)

Datakeskusten kokonaisvaltaisesta ympäristövaikutusten arvioinnista tekee haastavaa se, että keskusten kokonaiskulutuksesta ei juuri kerätä tietoja (LVM 2020, 36). Tuoreesta saksalaisesta tutkimuksesta saadaan tiedot kolmen paikallisen datakeskuksen osalta. Tutkimuksen mukaan yksi teratavu tietoa datakeskuksessa tuottaa vuodessa 105–153 kg CO₂-päästöjä. (BMU & UBA 2020.)

15 Esim. koronan seurauksena kasvu ollut suurta (Bienkowski 2020).

Yksityisten datakeskusten määrä maailmalla ja Suomessa on laskenut viimeisen vuosikymmenen aikana pilvipalveluiden kasvattaessa suosiotaan. Datakeskuksia ja palveluntarjoajia listaavan Cloudscene-sivuston mukaan marraskuussa 2020 Suomessa oli 36 yksityisomisteista ulkopuolisille palvelujaan tarjoavaa colocation datakeskusta (Cloudscene 2020). 2010 luvun alusta valtion datakeskukset ovat vähentyneet 120:stä 30:een (LVM 2020, 34).

Datakeskuksia rakennetaan nykyisin jo pääosin DBO-mallin¹⁶ mukaan, joskin toimialalla DBO-prosessi on vielä varsin pirstoutunut, eikä selkeitä linjauksia ole muotoutunut (LVM 2020, 36–37). Mittakaavaedun ansiosta suuremman kokoluokan datakeskuksesta on helpompi saada ympäristölle vähemmän kuormittava kuin pienemmästä (LVM 2020, 47).

Datakeskuksia ovat myös pilvipalvelut, joita käsitellään niiden merkittävyyden vuoksi tarkemmin luvussa 6.

4.2 Verkot

Internetin selkäranka ovat ne yli 400 puutarhaletkun paksuista kaapelia, jotka kulkevat merten pohjassa ympäri maailmaa yli 1,2 miljoonan kilometrin matkan. **Merikaapelit** kuljettavat lähes kaiken verkkoliikenteen¹⁷ maailmassa paikasta toiseen. (TeleGeography 2020a; TeleGeography 2020b.) Merikaapelien suunnitelluksi minimi-ikäksi on asetettu 25 vuotta, mutta nopea teknologinen kehitys, siis kapasiteettien kasvu, aiheuttaa niiden uusimista paljon tätä nopeammassa aikataulussa. Modernin MAREA-kaapelin nopeus on 208 Tb/s. (TeleGeography 2020b.)

16 Design-Build-Operate. Kts. esim.

[https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design_build_operate_\(DBO\)](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design_build_operate_(DBO))

17 Arvioiden mukaan esim Yhdyvalloissa satelliittien osuus on 0,37 % (TeleGeogrtaphy 2020b).

Jokaisella maalla on omia erilaisia **runkoverkkojaan**, jotka liittyvät merikaapeliin. Runkoverkkoihin puolestaan liittyy erilaisia **alueverkkoja**. (Aalto-yliopisto 2019; DNA 2018; FNE 2020; Telia 2020b.) Suomessa operaattoreiden runko- ja alueverkot ovat olleet jo kauan valokuitutekniikalla toteutettuja, kuten esim. Telian DWDM-runkoverkko ja Elisan WDM-runkoverkko (Telia 2020b; Elisa 2020b). Alueverkkoihin kytkeytyvät matkaviestinverkon tukiasemamastot ja kiinteän verkon verkkopäätteet, eli esim. ADSL- tai kaapelimodeemi tai valokuitupistoke (LVM 2020, 54–55; Elisa 2020c). Yksinkertaistettu verkkojako esitetään kuvassa 1.



Kuva 1: Dataa liikkuu monien eri verkkotyypin kautta (LVM 2020, 53).

Verkko-operaattorin ja asiakkaan välillä sijaitsee ns. viimeinen maili (*last mile*). Se on välimatka, jonka data kulkee operaattorin mastosta tai kiinteän verkon yhdyspisteestä käyttäjän päätelaitteelle ja takaisin. (Hiekkänen ym. 2020, 9.) Tällä lyhyellä matkalla on hiilijalanjalan kannalta merkittävä vaikutus ja tähän paneudutaan tarkemmin luvussa 7.

Nokian People & Planet 2019 -raportin mukaan mobiiliverkkojen hiilidioksidipäästöt jakautuvat seuraavasti: käyttö 93 %, tuotanto 7 % ja logistiikka 1 % kun laitteiston oletusikä on 10 vuotta. Kiinteän verkon, jonka oletusiäksi annetaan 7 vuotta, päästöistä käyttö kattaa 89 %, tuotanto 10 % ja logistiikka 2 %. (Nokia 2020b, 28.)

4.3 Päätelaitteet

4.3.1 Kaikki lähtee päätelaitteesta

Konkreettisin tekijä digitaalisuuden päästöistä puhuttaessa on päätelaite, jolla verkkoa käytetään. Laitteen elinkaarikustannukset (*Life Cycle Cost, LCC*) ja käytön kuormittavuus¹⁸ vaihtelevat suuresti. Laitteiden elinkaariarviointi (*Life Cycle Assessment, LCA*) on oma tutkimusala, jossa huomioon pyritään ottamaan niin laitteen raaka-aineiden louhinta, valmistus, kuin valmiin tuotteen kuljetus kuluttajan saataville kauppaan, laitteen käyttö sekä hävitys¹⁹.

Euroopassa yleisimmät syyt päätelaitteen vaihtamiseen ovat laitteen rikkoutuminen, suorituskyvyn aleneminen tai ohjelmien käyttötuen päättymisen. Suomalaisista yli puolelle syy laitteen vaihtoon on sen rikkoutuminen. 14 % on vaihtanut laitteensa uusien ominaisuuksien ja palveluiden takia. 64 % eurooppalaisista haluaisi käyttää

¹⁸ Esim. energiankulutus, kts. Luku 5 (Kamiya 2020)

¹⁹ Elinkaariarvioinnin määrittelystä esim.: ScienceDirect. Life cycle Assessment

<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-assessment> & Ecochain. Life cycle Assessment (LCA) – Complete Beginner’s Guide <https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-lca-guide/> 1.9.2020

laitteitaan vähintään 5 vuotta. Laitevalmistajien velvollisuutta korjaamisen helpottamiseksi kannattaa kahdeksan kymmenestä ja yhä neljännes vaikka se nostaisi laitteiden hintoja. Suomalaisista lähes puolet olisi valmis maksamaan laitteestaan enemmän jos sen korjaaminen olisi helpompaa. (EC 2020, 1; LVM 2020, 82.)

4.3.2 Mobiililaitteet

Vaikka mobiililaitteiden jalanjälki elinkaarikustannusten osalta on muita laitteita pienempi, niiden valtava määrä ja suhteessa lyhyt käyttöikä tekevät asian ongelmalliseksi. Laitteiden ja ohjelmistojen suunniteltu vanheneminen (*Planned obsolescence*) on ongelman keskiössä (Hilty 2019).

Vaikka älypuhelin voi korvata useita sellaisia laitteita, joiden käyttö erikseen voisi aiheuttaa satakertaisen virrankulutuksen puhelimeen verrattuna (IIASA 2019, 45 Figure 20), on juuri lyhyt käyttöikä tekijä joka syö hyödyn. Keskimääräinen älypuhelinikä on ollut viime vuodet maltillisessa nousussa, ollen tällä hetkellä noin 2 vuotta (Ng 2019). Käyttöiän pidentymistrendin voi odottaa jatkuvan: vuodesta 2018 lähtien Googlen Android-sopimuksessa on edellytetty valmistajia tarjoamaan laitteilleen turvapäivityksiä vähintään 2 vuotta julkaisusta (Kastrenakes 2018). Trendin jatkumiseen viittaa myös kuluttajien laskenut kiinnostus älypuhelinvalmistajien jatkuvasti kallistuviin, mutta suhteessa vähän uudistuksia tuoviin lippulaivamalleihin (Räsänen 2020).

Älypuhelimien ekologisesta jalanjäljestä keskimäärin 72 % tulee tuotannosta (EEB 2019, 3) ja vaikka uusi teknologia on entistä energiatehokkaampaa, tulisi vanhan älypuhelimien olla käytössä 25–232 vuotta, jotta sen tuotannosta syntyneet päästöt saataisiin tasattua ja uuden puhelimen hankinta näin perusteltua (EEB 2019, 4). Maailmanlaajuiset älypuhelinmarkkinat laskivat viidesosan vuoden 2020 ensimmäisen neljänneksen aikana koronapandemian takia (Gartner 2020a).

4.3.3 Muut laitteet

Vaikka mobiilikäyttö kattaa jo yli puolet kaikesta internetin käytöstä, on muilla alustoilla yhä oma roolinsa. Kuukausimaksullisen suoratoistopalvelu Netflixin mukaan 70 % sen sisällöstä katsotaan television kautta (Kafka 2018). Televisio kuluttaa 100 kertaa enemmän virtaa kuin älypuhelin (Kamiya 2020), mutta suurin ympäristöongelma sen kohdalla on teknisen kehityksen myötä myyntiä lisäävä hintojen lasku sekä korjauttamisen ja kierrättämisen kannattamattomuus (Suciu 2017). Ajantasaista television elinikää on vaikeaa arvioida, mutta se vaikuttaisi olevan 5–10 vuotta (O’Halloran 2012; McDonald 2017; Neikirk 2019). Suurten urheilutapahtumien aikaan televisiolaitteiden myynti kasvaa (Gray 2019), kun taas esim. koronan vaikutus on ollut myyntiä laskeva (Gray 2020).

Pöytäkone kuluttaa sähköä keskimäärin 10 kertaa kannettavaa tietokonetta enemmän ja yli 30 kertaa tablettilaitetta enemmän (Batt 2018). Pöytäkoneen keskimääräinen elinikä Yhdysvalloissa on ennusteen mukaan hieman yli 5 vuotta (Statista 2019b). Pöytäkoneen ja kannettavan yhdistettyinä hieman yli 4 vuotta (Statista 2020a) ja tablettilaitteiden lähemmäs 7 vuotta (Statista 2019c).

4.4 Yhteiskunnan digitalisaatio – digitaalisen maailman fyysinen perusta

Verkon infrastuktuuri sekä käytetyt päätelaitteet ja verkot ovat oleellisessa osassa digitaalisen elämän hiilijalanjäljen muodostumisessa. Yhä useammassa palveluissa mobiilista on tullut oletusalusta. Ympäristön kannalta on valitettavaa, että kevyiden päätelaitteiden elinkaaret ovat lyhyitä. Raskain laitekanta, datakeskukset, ovat jossakin kaiken takana näkymättömissä, eikä niiden roolia hiilijalanjäljen muodostumisessa ole yksinkertaista hahmottaa.

5 Digi syö sähköä

5.1 Ilman sähköä ei ole digitaalisia palveluita

Kaikki digitaalinen kuluttaa sähköenergiaa. Huaweiin asiantuntija Anders S.G. Andraen ennusteen mukaan mobiiliverkkojen kokonaisenergiankäyttö noin kolminkertaistuu (315 %) ja kiinteän verkon noin kaksinkertaistuu (181 %) vuoteen 2030 mennessä. Optimistisen ennusteen mukaan laitteiden kulutus voisi laskea vajaan kymmenyksen ja tuotannon noin 4–20 prosenttia. Datakeskusten päästöihin ennustetaan 263 prosentin kasvua. Keskusten osalta laskeviin päästöihin voidaan päästä vain jos niiden sähkö tuotetaan paikan päällä uusiutuvalla energialla ja datamäärien kasvu pysyy jostakin syystä odotettua maltillisempuna. Uusiutuvan energian käytön määrästä riippuen alan päästöt koko maailman päästöistä vuonna 2030 olisivat 4,4–5,2 %. (Andrae 2020, 53–55.)

Sähkön osuus IT-sektorin energiankäytöstä Suomessa on tällä hetkellä 68,7 % ja vuosien 2011–2017 välillä se on kasvanut 13,9 % (Hiekkanen ym. 2020, 10). Tietojenkäsittelypalvelujen, joihin esim. datakeskukset kuuluvat, sähkönkäytön kasvu on ollut suurinta (+130,9 %) (Hiekkanen ym. 2020, 12–13). IT-sektorin sähkönkäytön osuus koko Suomen sähkönkäytöstä vuonna 2017 oli yksi prosentti (Hiekkanen ym. 2020, 10).

Koska sähkö on tuotantotavasta riippumatta aina samanlaista, eikä ole erikseen olemassa vihreän energian sähköverkkoa, on sähkön eri tuotantotapojen seuraamisen erottelemiseksi luotu erilaisia mekanismeja. Asiakas voi solmia sähkösopimuksen, jossa energian uusiutuvuus taataan tarjoajan puolesta erilaisin sertifikaatein tai käyttää itse hyödykseen ko. sertifikaattikäytänteitä (*Energy Attribute Certificates, EACs*²⁰). Näiden sertifikaattien avulla uusiutuvasti tuotettu sähkö voidaan epäsuorasti erotella uusiutumattomasta. Vihreää sähköä tarjoavat monet toimijat erilaisin kriteerein, mutta

20 <https://www.ecohz.com/renewable-energy-solutions/energy-attribute-certificates/>

taustalla ovat aina sertifikaatit. Se, taataanko pelkkä sähkön alkuperä vai kuuluuko kokonaisuuteen muutakin, riippuu sopimustyyppistä ja tarjoajista²¹²².

Uusiutuvan energian kasvu vuonna 2020 on kattanut lähes 90 % kokonaisenergian kasvusta, kasvun oltua vahvinta Kiinassa. Uusiutuvan energian kapasiteetti kasvaa 4 % vuonna 2020 lähes 200 gigawattiin. Meneillään olevien hankkeiden myötä vuoden 2021 kasvun ennustetaan olevan 10 %. (IEA 2020a.)

5.2 Anekauppaa sertifikaateilla?

Uusiutuvaa energiaa kantaverkkoon tuottavat tahot voivat hakea tuottamalleen sähkölle Euroopan Unionissa alkuperätakuuta (*Guarantees of Origin, GO tai GoO*²³), Pohjois-Amerikassa uusiutuvan energian sertifikaatteja (*Renewable Energy Credits/Certificates, REC*²⁴), tai kasvavassa osassa muuta maailmaa kansainvälisiä uusiutuvan energian sertifikaatteja (*The International REC Standard, I-REC*²⁵). Näiden lisäksi on olemassa myös erilaisia kansallisia standardeja.

Kukin tuotettu ja verkkoon syötetty megawattitunti antaa tuottajalle yhden GO-, REC- tai I-REC-yksikön, jolla voidaan käydä avointa kansainvälistä kauppaa. Yritykset, jotka haluavat todentaa kaiken tai osan käyttämästään markkinoilta hankitusta sähköstä olevan uusiutuvaa ostavat ja käyttävät (*retire*) näitä sertifikaatteja haluttua kulutusta vastaavan määrän. (ECOHZ; EnergySage 2020; EPA; Fingrid; Laaksonen 2018; Leskinen 2018; Vattenfall 2019.)

21 Kts. esim. <https://www.helen.fi/yritykset/sahkoa-yrityksille/yrityssahko/uusiutuvan-energian-sertifikaatit>

22 Kts. Esin. <https://www.ekoenergy.org/fi/>

23 <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/alkuperatakuun-sertifikaatti/>

24 <https://www.energysage.com/other-clean-options/renewable-energy-credits-recs/>

25 <https://www.irecstandard.org/>

Sertifikaattien hinta määräytyy kysynnän mukaan ja mekanismina on, että paine vihreämpään toimimiseen ajaisi yrityksiä hankkimaan sertifikaatteja. Sertifikaattien arvonnoususta markkinoilla seuraisi se, että uusiutuvaan energiaan investoiminen näyttäytyisi aiempaa houkuttelevampana. Uusien investointien myötä markkinoille tulisi uusia sertifikaattiyksiköitä. (Hamburger 2019, 487.)

Kritiikkiä tämän hetkisiä käytäntöjä kohtaan EU:ssa GO:ien osalta on esitetty esim. vapaan kaupan suhteen; GO-yksiköiden vapaa liikkuvuus hämärtää maakohtaista todellista vihreän energian tuotannon näkyvyyttä. Saadut GO-yksiköt eivät useinkaan pysy valtiossa jossa ne on tuotettu, vaan ne ostetaan toisaalle ”uusiutuvaksi sähköksi”. Näin ollen esim. maa jossa tuotetaan pelkkää uusiutumaton energiaa voisi ”viherpestä” energiansa ostamalla ja käyttämällä riittävästi muualta ostamiaan sertifikaatteja. (Hamburger 2019.) Yksittäisten yritysten näkökulmasta sertifikaattikäytännössä ei ole ongelmaa, mutta esim. EU:n maakohtaisten päästötavoitteiden toteutumisen seurannan suhteen asia voi osoittautua ongelmalliseksi.

GO:n, REC:in ja I-REC:in tapauksessa kyse ei ole **päästöjen kompensoinnista**, jossa useimmiten investoidaan päästöjä vähentäviin hankkeisiin, tai **päästökaupasta**, jossa ostetaan tai myydään päästöoikeuksia. Arkikielessä ja -ymmärryksessä nämä käsitteet helposti sekoittuvat, koska niiden näyttäytyvyys ja logiikka on pitkälti samanlainen, anekaupan omainen.

Mike Berners-Lee kritisoi päästökompensaatiomekanismin markkinavetoisuutta kirjassaan *How Bad are Bananas?* Todellinen päämäärä ei voi olla hiilineutraalius kompensoinnin kautta, vaan jo ilmassa olevaa hiiltä on pysyttävä sitomaan, jotta päästövähennystavoitteisiin todella päästään. Hiilidioksidipäästöillä ei ole sertifikaattitai offset-markkinoiden mukaista hintalappua joka oikeuttaisi päästöjen tekemiseen, eikä niiden kuuluisi olla lupalappuja saastuttamiseen. (Berners-Lee 2020, 13 – 14.)

Kestävä ja käytännön tasolla todennettava tie datakeskusten ja yritystoiminnan hiilineutraaliuteen pääsemiseksi on uusiutuvan energian osto suoraan tuottajilta (Nieva 2019), sekä tuontantoon investoiminen (Amazon 2020b). Käyttöpaikan yhteydessä tai välittömässä läheisyydessä sijaitsevat tuotantolaitokset voisivat saada energiakustannukset ja tätä myötä myös päästöt tulevaisuudessa jopa laskuun (Andrae 2020, 55).

5.3 Yhteiskunnan digitalisaatio – sähköenergia verkon elinehtona

Sähkö on modernin yhteiskunnan sydämenlyönnit. Sähkövirran tasainen pulssi pitää laitteet ja verkon elossa. Sähkö itsessään on neutraalia tuotantotavasta riippumatta, eikä uusiutuvaa ja uusiutumaton sähköä voi erottaa toisistaan mittalaittein tai aistinvaraisesti. Sertifikaatit ja uusiutuvan energian investoinnit antavat osaltaan lupaus siitä, että sähköverkossa liikkuu sijoitetun yksikkömäärän verran vihreää sähköä.

6 Pilvipalveluiden voittokulku

6.1 Mitä ovat pilvipalvelut ja miksi niiden päästöt ovat oleellisia

Käsitte pilvipalvelut (*Cloud Services*) jakautuu useampaan palvelurakenteeltaan erilaiseen alakategoriaan.

IaaS, Infrastructure as a Service, infrastuktuuri palveluna, riisutuin malli

IaaS toimii kaikkien pilvipalveluiden pohjana tarjoten pääsyä verkon yli tiettyihin resursseihin, esim. tallennustilaan. Käyttäjältä vaaditaan riittävää pilvi-infrastruktuuriosaamista, jotta näitä resursseja voidaan hyödyntää. Vastaa perinteisessä mallissa omaa, On Premises -konesalia. (Floor 2017; Telia 2018.)

PaaS, Platform as a Service, sovellusalusta palveluna

PaaS-mallissa tarjotaan infrastruktuurin lisäksi myös kehitysalustakomponentteja. Keskiöön nousee sisällöntuotanto. Esim. analytiikan, koneoppimisen ja esineiden internetin pilvialustat ovat kehittyneet ja kasvattaneet suosiotaan viime vuosina. (Floor 2017; Telia 2018.)

SaaS, Software as a Service, ohjelmisto palveluna, avaimet käteen -malli

SaaS on pisimmälle ulkoistettu ja yleisin käytetty pilvipalveluiden malli, esim. Moodle, Blackboard Collaborate, Office 365, Gmail ym. verkossa käytetyt palvelut edustavat SaaS:iä. (Floor 2017; Telia 2018.)

Telia Inmics-Nebulan vuodenvaihteessa 2019–2020 teettämän tutkimuksen mukaan vasta murto-osa suomalaisyrityksistä osaa hyödyntää pilveä tehokkaasti, mutta trendi kohti täysvaltaisempaa pilven käyttöä on vahva (Telia, 2020b). Tiedon (nyk. tietoEVRY) pohjoismaista tekemän Cloud Maturity Index 2019:n mukaan valtaosa "pilvikypsistä" yrityksistä näkee pilven olevan suuri tekijä yrityksen menestyksellisen tulevaisuuden kannalta, mutta vasta 18 % näkee pilven käytön yrityksessään olevan kypsällä tasolla. Noin puolet vastaajista otti pilvistrategiassaan huomioon myös ympäristökysymykset. (TietoEVRY 2019.)

Vuonna 2008 pilvipalvelumarkkinoiden tuotot olivat 6 miljardia dollaria. Vuonna 2020 niiden ennustetaan nousevan 236 miljardiin. Markkinoista suurin osa on SaaS:ia. (Adams & Cser 2019, 2.) Kasvu on globaalia. Gartnerin ennusteen mukaan esim. Lähi-Idässä ja Pohjois Afrikassa vuoden 2020 kasvun ennustetaan olevan 21 % (Gartner 2020b) ja loppukäyttäjien markkinoiden ennustetaan kasvavan globaalisti lähes 25 % (Gartner 2020c). Pidemmän aikavälin ennusteissa maailmanlaajuisen markkinoiden ennustetaan yli kaksinkertaistuvan vuodesta 2020 vuoteen 2025 mennessä (Research and Markets 2020).

Ongelmallista on, että vaikka suuret pilvipalvelutarjoajat ovat huomattavia uusiutuvan energian ostajia, eivät ne julkaise mitään lukuja joiden avulla potentiaalinen asiakas

voisi arvioida palvelujen hiilipäästöjä. Osittain tästä johtuen päästöjen todellisesta tasosta käydään julkisuudessa väantöä esim. Greenpeacen ja toimijoiden välillä. On olemassa laskukaavoja, joiden avulla päästölaskelmia voi tehdä, mutta näitä ei voida pitää erityisen luotettavina, koska todellisia lukuja ei ole saatavilla. (Hill 2019; Mytton 2020.) Olisi kaikkien osapuolten kannalta paras, että alalle saataisiin yhteiset raportointikäytänteet.

6.2 Markkinoiden johtavat pilvipalvelutarjoajat

Yhdysvaltalaisen IT- ja kommunikaatioteknologia-alan tutkimus- ja asiantuntijayritys Gartnerin raportti pilvipalvelutarjoajista kertoo vahvasta kasvusta. Maailman viisi suosituinta pilvipalvelutarjoajaa vuonna 2019 olivat **Amazon**, jonka osuus koko markkinoista oli 45 %, **Microsoft** 17,9 %, **Alibaba** 9,1 %, **Google** 5,3 % ja **Tencent** 2,8 %. Muiden tarjoajien osuudeksi jäi 19,9 %. Viiden suurimman toimijan siivu kokomarkkinoista oli siis 80 %. (Gartner 2020d.)

Yhtiöiden markkinat ovat olleet kovassa kasvussa. Kasvua vuodesta 2018 vuoteen 2019 oli Amazonilla 29 %, Microsoftilla 57,8 %, Alibaballa 62,4 %, Googella 80,1 %, Tencentillä 100 % ja muilla tarjoajilla 19,3 %. Kokonaisuudessaan IaaS-markkinat kasvoivat 37,3 % vuonna 2019. (Gartner 2020d.)

Yksikään suurista toimijoista ei käytä vielä käytännössä täysin uusiutuvaa energiaa. Palveluita voidaan kuitenkin markkinoida 100-prosenttisesti uusiutuvina, jos palveluntarjoaja hyvittää käyttämänsä uusiutumattoman energian ostamalla ja käyttämällä uusiutuvan energian sertifikaatteja (kts. luku 5.2)

Vaikka kiinalaiset Alibaba ja Tencent eivät näy Euroopan tai Yhdysvaltojen markkinoilla, ovat niiden globaali asema ja kasvupotentiaali niin suuria, ettei niitä voi tässä yhteydessä sivuuttaa. Ongelmallista ympäristövaikutusten selvittämisen kannalta Alibaban ja Tencentin osalta on julkaistujen tietojen vähäisyys, eli läpinäkyvyys

(Greenpeace East Asia 2019). Vuonna 2018 Kiinan datakeskuksista 73 % käytti energianlähteenään hiiltä ja alan sähkön käytön ennustetaan kasvavan 66 % vuoteen 2023 mennessä (Greenpeace East Asia 2019). Vaikka kiinalaiset toimijat eivät ole suoraan saaneet jalansijaa Euroopassa ja Yhdysvalloissa on niillä silti globaalissa mittakaavassa suuri ja yhä suureneva merkitys. Kiinalaisia pilvipalveluita käytetään epäsuorasti, mutta laajasti ”Made in China” tuotteiden kautta.

Yhtiöiden hiilijalanjälkiuutisoinnissa on aina syytä ottaa huomioon sertifiointien ja päästöjen kompensoinnin ongelmat (kts. luku 5.2), sekä yhtiöiden itsensä tapa laskea päästöt alakanttiin (kts. Luku 2).

6.2.1 Amazon – Amazon Web Services

Amazon Web Services, AWS, on maailman suurin pilvipalveluiden tarjoaja kattaen yli kolmanneksen markkinoista. Suurista toimijoista se on kuitenkin ympäristövaikutusten kannalta huonoin valinta. Moitteita yhtiö on saanut epämääräisistä aikatauluistaan uusiutuvan energian käyttöön siirtymisessä, sekä suunnitelmien läpinäkymättömyydestä. (Oberhaus 2019.) Vuonna 2014 yhtiö lupautui 100 prosenttiseen uusiutuvan energian käyttöön, mutta ilman selkeää tiekarttaa. Vuonna 2018 se pääsi hitaan kehityksen kautta 50 prosentin uusiutuvan energian käyttöön, mutta ei tämän jälkeen asettanut mitään uusia tavoitteita. (Hern 2019.)

Lopulta loppuvuodesta 2019 Amazon perusti Climate Pledge -ohjelman, johon sitoutuvat yhtiöt lupautuvat olemaan hiilineutraaleja vuoteen 2040 mennessä. Amazon itse sitoutuu muun muassa 100 prosenttiseen uusiutuvan energian käyttöön vuoteen 2025 mennessä, investoimaan 2 miljardia dollaria CO₂-päästöjä vähentävien teknologioiden ja palveluiden kehittämistyöhön²⁶, sekä investoimaan 100 miljoonaa

²⁶ Sivustolla ei ko. kohdassa erikseen mainita aikajännettä, mutta kaikesta päätellen investoinnit luvataan tehdä vuoteen 2040 mennessä.

dollaria uudelleenmetsitysprojekteihin ja energiatehokkuutta parantaviin ratkaisuihin²⁷. (Amazon 2019b.)

Luvut ovat vaikuttavia, mutta otettaessa huomioon Amazonin tulojen (*revenue*²⁸) nousu viimeisen kymmenen vuoden aikana vajaasta 25:stä miljardista vuoden 2019 yli 280:een miljardiin, näyttäytyvät luvut uudenlaisessa valossa (Macrotrends 2020a). Jos oletetaan ylivarovaisesti yhtiön tulojen pysyvän vakiona 280:ssä miljardissa dollarissa seuraavat 20 vuotta, olisi yhtiön panostus taistelussa ilmastonmuutosta vastaan vuosina 2020–2040 noin kolmasosapromille sen tuloista. Vaikka luku on pieni, ei se silti tule vastaamaan totuutta, sillä vuoden 2020 koronapandemia on entisestään kiidytännyt yhtiön kasvua myynnin kolminkertaistuttua (Helmre 2020). Suomalaisen mediaanipalkka vuonna 2019 oli 3 278 euroa kuukaudessa. Jos edelleen samalla logiikalla oletetaan palkan pysyvän vakiona vuodet 2020–2040, suomalaisen palkansaajan vastaavan 20 vuoden aikaisen ilmastonmuutosinvestoinnin kokonaissumaksi tulisi noin 260 euroa. Huomionarvioista on, että laskelmassa ei ole otettu huomioon menoja tai palkansaajan maksettujen, tai Amazonin maksettujen tai maksamattomien, verojen osuutta (Huddleston 2020). Yhtiö on saanut lokaa niskaansa myös esim. uhkailtuaan irtisanoa suurempia ilmastotekoja vaatineita työntekijöitään (Milman 2020; Paul 2020).

Karelia-Moodlen ja Blackboard Collaboraten tallennussijaintina toimii AWS:n Irlannin datakeskus. Jo nyt Amazon hyvittää viiden palvelinkeskuksensa, myös Irlannin, osalta uusiutumattoman energian käytön muun muassa ostamalla uusiutuvan energian sertifikaatteja REC:ejä, Yhdysvalloissa ja alkuperätakuun sertifikaatteja, GO:ejä, Euroopassa (Amazon 2020a). Irlanti on asukaslukuunsa nähden yksi maailman suurimmista datakeskusmaista (Hiekkanen ym. 2020, 11) ja tästä syystä sillä on omat haasteensa tulevaisuuden päästövähennystavoitteisiin pääsemiseksi (Boran 2020; Gorey 2020; Carroll 2020).

27 Kts. yllä

28 Kts. <https://www.investopedia.com/terms/r/revenue.asp>

AWS käyttää S3-pilvissään reunapalvelinominaisuutta (*Cloudfront*²⁹), jolloin käyttäjän pyytämää dataa voidaan säilyttää väliaikaisesti myös muualla päin maailmaa Amazonin palvelimilla, esim. Yhdysvalloissa, jos ko. dataa haetaan Yhdysvalloista käsin (Blackboard Inc 2018).

6.2.2 Microsoft – Microsoft Azure

Microsoft on ollut sertifikaattiestojen kautta hiilineutraali vuodesta 2012 saakka (Microsoft Corporation 2020a). Alkuvuodesta 2020 yhtiö julkaisi kunnianhimoiset suunnitelmansa päästöleikkaustoimista. Yhtiö lupaa olla hiilinegatiivinen vuoteen 2030 mennessä, siis sitoa hiiltä enemmän kuin se päästöinä tuottaa. Vuoteen 2050 mennessä yhtiö lupaa olla sitonut kaiken yrityksen perustamisvuodesta 1975 lähtien tuottamansa suoran tai sähköenergian käytön kautta tuottaman hiilidioksidin. Suunnitelman perusteluissa yhtiö kertoo hiilineutraaliuteen pääseminen oleva maailmalaajuisesti tärkeä tavoite, mutta niiden jotka kykenevät enempään tulisi tehdä enemmän, sillä neutraalius ei riitä. Suunnitelman ilmoitustilaisuudessa yhtiö esitteli myös tarkat suunnitelmat kuinka se tavoitteisiinsa pääsee. (Smith 2020.)

Microsofilla on ollut vuodesta 2012 asti käytössä oma yhtiön sisäinen hiilivero. Vuonna 2020 veron määrä on 15 dollaria tuhatta päästökiloa kohti (Smith 2019; Smith 2020). Seuraavien neljän vuoden aikana yhtiö aikoo investoida miljardi dollaria Climate Innovation Fund -rahaston kautta hiilen vähennys- ja sitomisteknologioihin. Microsoftin tuloihin suhteutettuna ja luvussa 6.2.1 esiteltyä laskukaavaa käyttäen yhtiön panos seuraavien neljän vuoden aikana on noin viidesosaprosentin sen tuloista (Macrotrends 2020b).

Microsoft on julkaissut Azure-pilvipalvelualustalleen Microsoft Sustainability Calculator -liitännäisen, jonka avulla käyttäjä voi seurata omaa Microsoft-pilvensä hiilijalanjälkeä. Arvioista päätellen se ei ole kuitenkaan vielä erityisen

²⁹ <https://docs.aws.amazon.com/AmazonCloudFront/latest/DeveloperGuide/Introduction.html>

käyttäjästävällinen. (Microsoft Corporation 2020b; Microsoft Corporation 2020c.) Liitännäinen perustuu vuonna 2017 julkaistuu demonstraatiopalveluun, joka mahdollisti Azure-ympäristön sähkötyypin ja päästöjen seurannan (Clancy 2017).

Laajemmassa mittakaavassa Microsoft on saanut toimistaan myös kritiikkiä ja esim. yhteistyö öljy-yhtiöiden kanssa on aiheuttanut vastustusta myös yhtiön työntekijöiden keskuudessa (Microsoft News Center 2019; MSWorkers 2019). Eräs tuoreimmista yhteistyökuvioista öljy-yhtiöiden suuntaan on Microsoftin ja Shellin CO₂-päästöjä digitalisaation avulla vähentämään pyrkivä strateginen allianssi (Stetkiewicz 2020).

6.2.3 Google – Google Cloud

Googlen ja sen emoyhtiö Alphabetin pääjohtaja Sundar Pichai vastasi Microsoftin kunnainahimoisiin suunnitelmiin syyskuussa 2020. Google kertoo saavuttaneensa hiilineutraaliuden ensimmäisten kymmenen toimintavuotensa aikana vuonna 2007 ja päässeensä 100 prosenttiseen uusiutuvan energian käyttöön sertifikaattiestojen avulla vuonna 2017. Syyskuun ilmoituksessa Google kertoi olevansa ensimmäinen suuryritys, joka on nyt neutraloinut koko yhtiön elinikäisen hiilihistorian (*carbon legacy*) ja se aikoo olla ensimmäinen yritys, joka operoi täysin hiilivapaasti vuoden jokaisena tuntina vuoteen 2030 mennessä. (Pichai 2020.)

Google on maailman suurin uusiutuvan energian ostaja lähes 6000 megawatin ostoilla ja vuoteen 2030 mennessä se aikoo tuottaa investointien kautta 5 gigawattia hiilivapaata energiaa tuotantoalueillaan ja auttaa yli 500:aa kaupunkia vähentämään vuosittain hiilipäästöjään yhteensä gigatonnin verran. Yhtiö on sijoittanut vuonna 2020 kestäviin³⁰ rahoitusinstrumentteihin 5,75 miljardia dollaria ja se aikoo tukea hiilidioksidin ilmasta sitomista tiedelähtöisen uudelleenmetsittämisen kautta, sekä kehittää tekoälyratkaisuja datakeskusten energiatehokkuuden parantamiseksi. Googlen palvelujen käyttäjille

30 *Sustainable bonds*, ei täysin sama asia kuin ”vihreät bondit” Suomessa. Kts. <https://financeflanders.be/1-what-is-a-sustainable-bond-how-does-it-work>

tuodaan uusia vihreitä valintamahdollisuuksia, kuten esim. mahdollisuus luokitella lentoja niiden CO₂-päästöjen perusteella. Google lupaa, että sen pilvipalvelun hiilijalanjälki on 0 prosenttia. (Pichai 2020; Google Cloud 2020b.)

Google Cloud tekee yhteistyötä isobritannialaisen kulutustavaratoimittaja Unileverin kanssa kestäväen alkutuotannon saralla. Unileverin pyrkimyksenä on saavuttaa "metsiä hävittämätön" (*deforestation-free*) tuotantoketju vuoteen 2023 mennessä. (Google Cloud 2020a.)

6.2.4 Kiina ja sen jätit Alibaba ja Tencent

Luonnonsuojelujärjestö Greenpeacen yhdessä Pohjois-Kiinan sähkövoimayliopiston kanssa tekemässä julkisesti saatavilla olevaan tietoon pohjautuvassa selonteossa kiinalaisia pilvipalvelutoimijoita arvioitiin mm. viestinnän läpinäkyvyyden, energiatehokkuuden ja päästövähennysten, sekä uusiutuvan energian käytön ja strategian osalta (Greenpeace East Asia 2020).

Kummallakaan suurimmista kiinalaisista toimijoista ei ole päästöstrategiaa, vaikka yksittäisiä päästöjä aiheuttavia toimenpiteitä onkin tehty (Greenpeace East Asia 2020, 2)³¹. Alibaba ei julkista mitään tietoja energian käytöstään tai päästöistään, siinä missä Tencentin läpinäkyvyys arvioidaan otoksen parhaimmaksi. Maan datakeskusten keskiarvoinen PUE-luku on alle 1,5. (Greenpeace East Asia 2020, 3.) Uusiutuvan energian strategian ja käytön osalta Alibaba sai pisteitä 27,43 / 40 siinä missä Tencent jäi lukemiin 13,71 / 40 (Greenpeace East Asia 2020, 4). Alhaisista lukemista voi päätellä, että vaikka esim. Alibaballa vihreitä kokeiluja on ollut jo vuonna 2015 (Copenhagen Centre on Energy Efficiency 2017) ei uusiutuvaan energiaan panostaminen ole saavuttanut vielä yrityksissä riittävää kiinnostusta.

31 Julkaistussa Pdf-raportissa sivunumerot ovat sekaisin: ensimmäinen tekstisivu 1 numerolla 2, tekstisivu 2 numerolla 1, tekstisivu 3 numerolla 2 jne. Selvyyden vuoksi viittauksissa viitataan raportin todellisiin sivunumeroihin kansilehti mukaan luettuna.

Potentiaalia uusiutuvaan energiaan investoimiseen ja käyttöön on. Uusiutuvan energian saatavuus Kiinassa on parempi ja hinta on alhaisempi kuin koskaan (He, Lin, Sifuentes, Liu, Abhyankar & Phadke 2020; Hang 2019) ja maan kapasiteetti tuottaa uusiutuvaa energiaa maailman paras (IRENA 2020, 2–5). Uusiutuvan energian rakentaminen on jo nyt halvempaa kuin uusiutumattoman (Marcacci 2020).

6.3 Yhteiskunnan digitalisaatio – datan siirtymä pilveen

Jatkuvasti kasvava osa käytetystä verkkokapasiteetista sijaitsee pilvessä. Maailman suurimpien pilvipalvelutarjoajien huomaan uskotaan yhä suurempi pala työtä, vapaa-aikaa, itseä. Mittakaavaetu takaa sen, että suuret yritykset menestyvät ja kasvavat yhä suuremmiksi. Loppukäyttäjällä ei ole suurta sanansijaa siinä, mitä pilvipalvelua hän esim. työnsä tai opintojensa puolesta käyttää, mutta henkilökohtaisissa valinnoissa pelivaraa vielä on.

7 Verkolla on väliä

7.1 Millaista verkkoa kannattaa suosia?

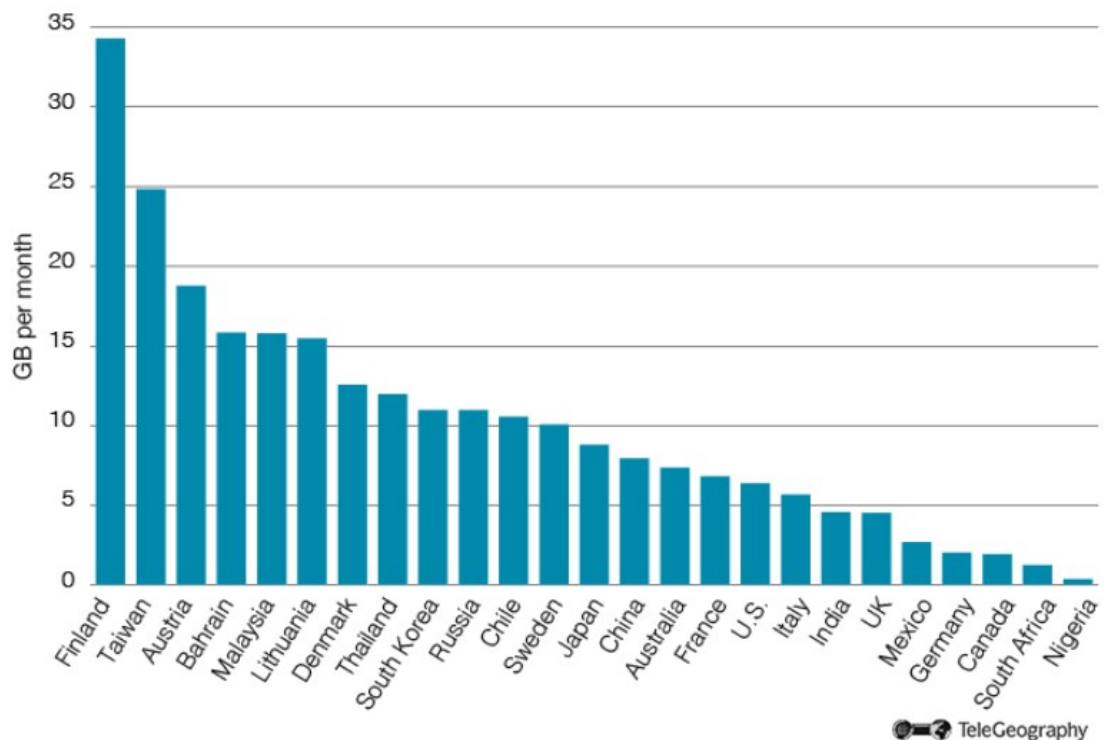
Saksan liittovaltion ympäristöministeriön ja ympäristöviraston yhteisraportin englanninkielisestä tiivistelmästä syyskuulta 2020 käy ilmi kuinka suuri vaikutus CO₂-päästöihin käytetyllä verkkoteknologialla on. Tutkimuksessa vertailtiin HD-tasoisen videon yhden tunnin aikana aiheuttamia päästöjä eri verkkoteknologioilla. Videon bittivirtaa, toistoalustaa tms. ei tiivistelmässä erikseen määritellä.

Datakeskuksen osuus päästöistä on tutkimuksen mukaan suhteessa pieni, noin 1,5 grammaa tunnilta. Alhaisimmat päästöt syntyvät valokuitu-, eli FTTH-, verkossa: vain 2 grammaa tunnilta. Kuparikaapeli, VDSL, tuottaa kaksinkertaisen päästön, 4 grammaa. Suurimmat erot syntyvät eri sukupolvien mobiiliverkoissa: 3G UMTS -verkko tuottaa 90 grammaa päästöjä, 4G LTE 13 grammaa ja 5G 5 grammaa. Loppukäyttäjän päätelaitteen osuutta ei tässä tarkastelussa otettu huomioon. (BMU & UBA 2020.) Raportti ei valitettavasti tue päästöjen kannalta suunnitelmaa, jonka mukaan 5G:n energiatehokkuus olisi jopa satakertainen 4G:hen verrattuna (VLM 2020, 70), kuten alkuperäinen Kansainvälisen teleliiton IMT-2020 suunnitelmassa vuonna 2015 hahmotteli (ITU-R 2015, 14). Näin suureen eroon ei päästä tutkimuksen mukaan valokuidullakaan. Ekologisinta mobiilikäyttöä on julkisen Wifin käyttäminen. Tällaisessa verkossa vain matka reitittimestä käyttäjän laitteelle, viimeinen maili, kulkee ilmassa. (BMU & UBA 2020.)

7.2 Suomi – mobiilidatan maailmanmestari

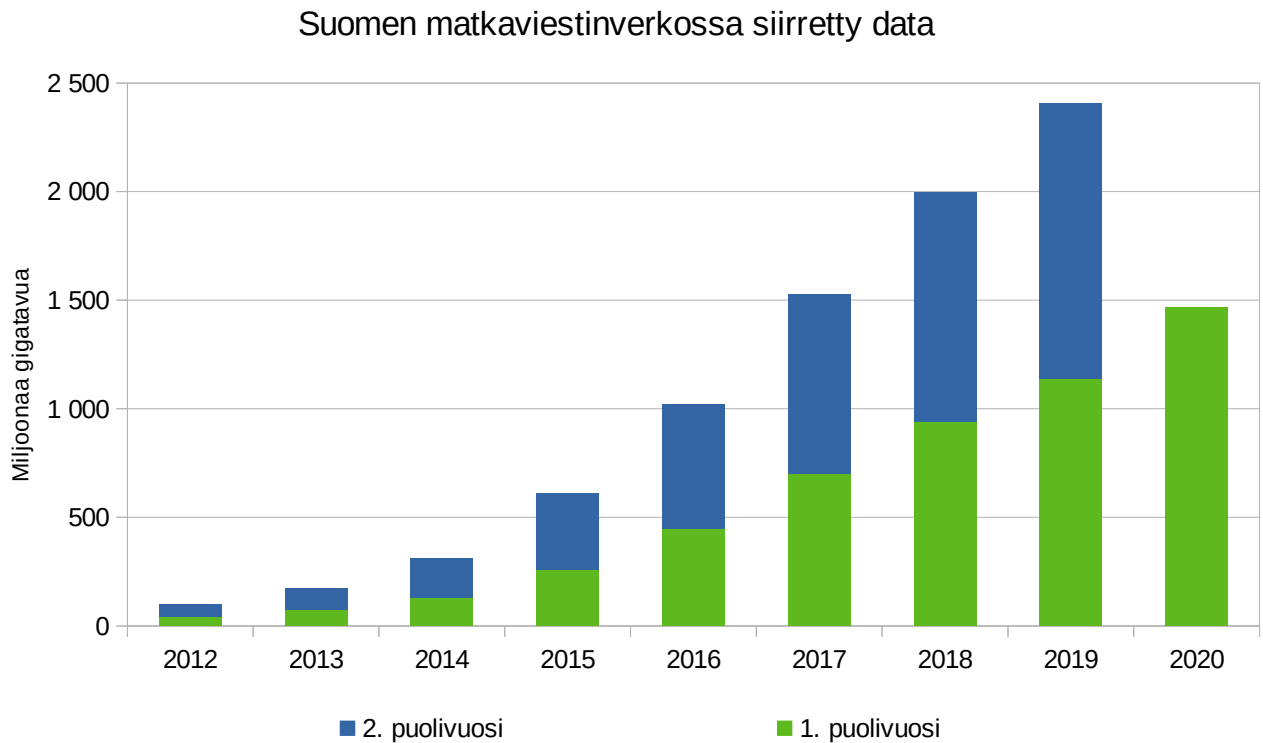
Vuoden ensimmäisellä puoliskolla DNA:n verkossa siirrettiin mobiilidataa ennätyselliset 33,1 gigatavua käyttäjää kohti kuukaudessa. Tämä oli maailmanennätys. Toiseksi eniten dataa liikkui itävaltalaisen (Drei 29,8 Gt) ja kolmanneksi eniten kuwaitilaisen (Zain 27,7 Gt) palveluntarjoajan liittymissä. Suomalainen Elisa löytyi sijalta neljä datamäärällä 26,2 Gt. (Tefficient 2020, 2–4.)

Myös keskiarvoltaan Suomi on selvästi eniten mobiilidataa asukasta kohti kuukaudessa käyttävä maa maailmassa. Toiseksi sijoittuva Taiwan jää jälkeen lähes 10 gigatavua (kuvio 8). (Bell 2020.)



Kuvio 8: Suomi on omissa luokassaan mobiilidatan käytössä koko maailmassa. TeleGeographyn tulokset poikkeavat hieman Traficommin vastaavista, mutta järjestys ja mittasuhteet ovat yhteneväiset. (Bell 2020).

Matkapuhelinverkossa siirretyn datan kokonaismäärä on Suomessa suuressa kasvussa (kuvio 9). Mobiilidatan kasvu on noin 72 % vuodessa kokonaiskasvun asettuessa noin 43:een prosenttiin. Mobiilidatan osuus kokonaisdatasta on maassa noin 29 % ja se on kasvussa. (Finnet 2020, Hiekkänen ym. 2020 mukaan, 9.)



Kuvio 9. Mobiilidatan kasvuvauhti Suomessa on ollut voimakasta (Traficom 2020a).

Mobiilidatan voimakkaaseen kasvuun Suomessa vaikuttaa yleiset kiinteähintaiset ja tiedonsiirrooltaan rajattomat mobiililiittymät, sekä maan vahva rooli mobiiliteknologioiden kehittäjänä (Hiekkänen ym. 2020, 5).

Vuonna 2019 Suomen matkaviestinverkossa siirrettiin lähes 2409 petatavua³² dataa (Traficom 2020a). Laskennallisesti tämä tekee 36,38 gigatavua asukasta kohti kuukaudessa (Traficom 2020a). Vaikka eri lähteistä saadut mobiiliverkossa liikkuvan datan määrät poikkeavat toisistaan, niissä kaikissa mittasuhteet muuhun maailmaan ovat yhteneväiset (Traficom 2020a; OECD 2020; Bell 2020; Nordic-Baltic Telecom Statistics 2019 2020, 11; Tefficient 2020, 2–4).

³² 1 Pt = 1 024 Tt = 1 048 576 Gt

Suomessa on yli 9,2 miljoonaa mobiilipuhelinliittymää, näistä 6,8 miljoonaa on kotitalouksien liittymiä ja loput yritysliittymiä. Pelkkiä dataliittymiä on 2,1 miljoonaa ja pelkkiä puheliittymiä 690 tuhatta. (Traficom 2020a.) Jokaista suomalaista kohti on 1,68 liittymää (Nordic-Baltic Telecom Statistics 2019 2020, 7). Maan mobiililiittymistä vajaa viideososa (1,38 miljoonaa) on rajoitetun tiedonsiirron liittymiä, loppujen (7,2 miljoonaa) ollessa rajoittuksettomia (Traficom 2020a).

Teleoperaattori DNA julkaisi marraskuun lopussa 2020 lehdistötiedotteen tilastovertailusta, josta selviää yrityksen postpaid-liittymien kuukaudessa käytetyn datan määrä ikäryhmittäin jaoteltuna ajanjaksolla elo–syyskuu 2020. Kyseisellä ajanjaksolla alle 30-vuotiaat käyttivät mobilidataa keskimäärin yli 91 Gt, josta videosisältöihin 43 %, 30–39-vuotiaat käyttivät 49 Gt, 40–49-vuotiaat 44 Gt, josta 46 prosenttia videosta ja 50–59-vuotiaat käyttivät noin 31 Gt. (DNA 2020b.)

7.3 Yhteiskunnan digitalisaatio – viimeinen maili mobiilissa

Käyteen verkkotyypin valinnalla voi olla suuri vaikutus syntyviin hiilidioksidipäästöihin. Viimeisen mailin vaikutus on suhteessa kaikkein suurin. Suomessa käytetään mobiilidataa enemmän kuin missään muualla maailmassa ja globaali kehitys puskee muutakin maailmaa yhä vahvemmin kohti mobiilia.

8 Megatonneittain uutta elektroniikkaa

8.1 Kulutuksen kasvu

Aineellisten resurssien maailmanlaajuinen kulutus on nelintoistakertaistunut vuosien 1900–2015 välillä ja sen ennustetaan yli kaksinkertaistuvan vuosien 2015–2050 välillä. Tilanne on ympäristön kannalta kriittinen. (Euroopan komissio 2019, 10.)

Monimutkaisissa elektronisissa laitteissa tarvittavien kriittisten maametallien louhimiseen liittyy paljon myös eettisiä ongelmia. Orjatyövoiman käyttö kaivoksissa ei ole poikkeuksellista (Free the Slaves 2020). Elektonisten laitteiden (*Electrical and Electronic Equipment, EEE*) kulutus kasvaa maailmanlaajuisesti keskimäärin 2,5 miljoonaa tonnia, eli megatonnia vuodessa (*Mt*). Kasvuun vaikuttavat keskeisesti kuluttajien käytettävissä olevien tulojen nousu, kaupungistuminen ja teollisuuden kehitys. (GESP 2020, 13.)

Koronapandemia on kiihdyttänyt kulutusta kotimaassa entisestään. Siinä missä kodintekniikan kasvu Suomessa vuonna 2019 oli 3,7 % on vuoden 2020 kolmen ensimmäisen neljänneksen kasvu jo 9,5 % ja nousua on tapahtunut jokaisella osaluueella (Gotech 2020a; Gotech 2020b). Vuoden 2020 aikana Suomessa on ostettu lähes 1,5 miljoonaa älypuhelinta (-1,6 %), yli 300 000 tietokonetta (+18,5 %) ja tablettikaupan kasvuksi kerrotaan 11,4 %. Älykellojen myynti on kasvanut 60 %. Televisioiden myynnissä kasvua on ollut 4,6 %, jota selitetään älytelevisioiden uudempiin malleihin päivittämällä. Myös kuulokkeiden ja kaiuttimien myynti on kasvanut tasaisesti. (Gotech 2020b.) PC-laitteiden myynti on syksyllä 2020 maailmanlaajuisesti noussut, joskin maltillisesti 2 % (Gartner 2020g). Maailmanlaajuisten kuluttajaelektronikkamarkkinoiden ennustetaan kasvavan vuoden 2020 aikana 4,9 % (Statista 2020b). Tuotannon puolella vuosi jäänee koronan takia vielä selvästi taantuvaksi, mutta vuoden 2021 ennustettu kasvu on suurta (Statista 2020c).

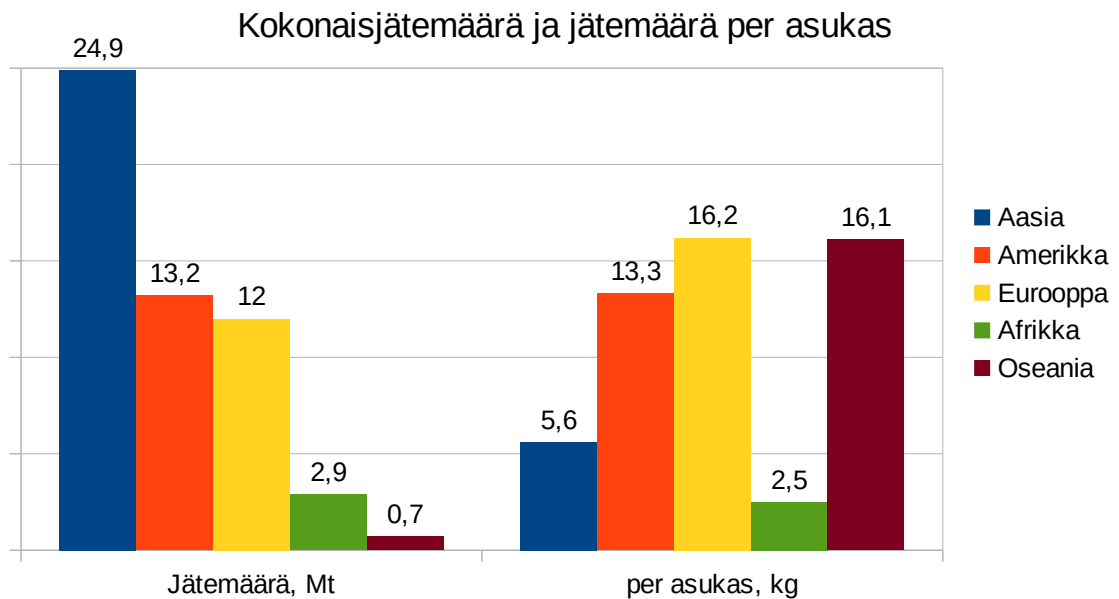
Tuotannon ongelmista ja kasvaneesta kysynnästä kertoo myös uutisointi uusien pelikonsolien lanseerauksesta saatavuusongelmineen (Vaarala 2020; Mikrobitti 2020a). Vanhemmankin sukupolven konsolit ovat myyneet koronakevään aikana ennätyskellisesti (Mikrobitti 2020b). Uutinen vanhemman sukupolven Xbox-konsolin suuresta myyntipiikistä, joka johtui kenties kuluttajien sekoittaessa uudemman ja vanhemman konsolimallin nimet keskenään, kertoo että kysyntä laitteille on juuri nyt suurta (Linnake 2020).

8.2 Ennätysmäärä elektroniikkajätettä

Elektroniikkajättemäärien³³ tilastoinnista ei ole ollut globaaleja standardeja. Vuonna 2017 yhdistyneiden kansakuntien yliopisto, United Nations University (*UNU*), kansainvälinen kiinteiden jätteiden yhdistys, The International Solid Waste Association (*ISWA*) sekä kansainvälinen teleliikenneunioni, The International Telecommunication Union (*ITU*), perustivat maailmanlaajuisen elektroniikkajätteiden tilastointiin keskittyvät kumppanuusohjelman, The Global E-waste Statistics Partnership (*GESP*):in yhteistyössä yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelman, United Nations Environment Programme (*UNEP*):n kanssa. Ohjelma julkaisee The Global E-waste Monitor -raportteja, joista tuorein kesällä 2020 julkaistu käy läpi vuoden 2019 tilastoja.

Vuonna 2019 ihmiskunta tuotti elektroniikkajätettä 53,6 megatonnia, enemmän kuin koskaan aiemmin. Tämä on 7,3 kiloa jokaista maailman ihmistä kohden. Maanosista kokonaisjättemäärässä suurin oli Aasia, kun taas yksilötasolla eurooppalainen asukas (kuvio 10). Euroopassa eniten jätettä tuottavat norjalaiset, yli 25 kg per asukas. Suomessakin jätettä syntyy reilusti yli Euroopan keskiarvon, 20–25 kg asukasta kohden. (*GESP* 2020, 76.)

³³ Suomessa puhutaan SER-jätteestä, mutta tässä yhteydessä käytän sanaa elektroniikkajäte, koska luokittelu ja nimi on erilainen eri maissa. Euroopan unionissa käytetään käsitettä WEEE, Waste Electrical and Electronic Equipment, ja Yhdysvalloissa käsitettä E-waste, Electronic waste.

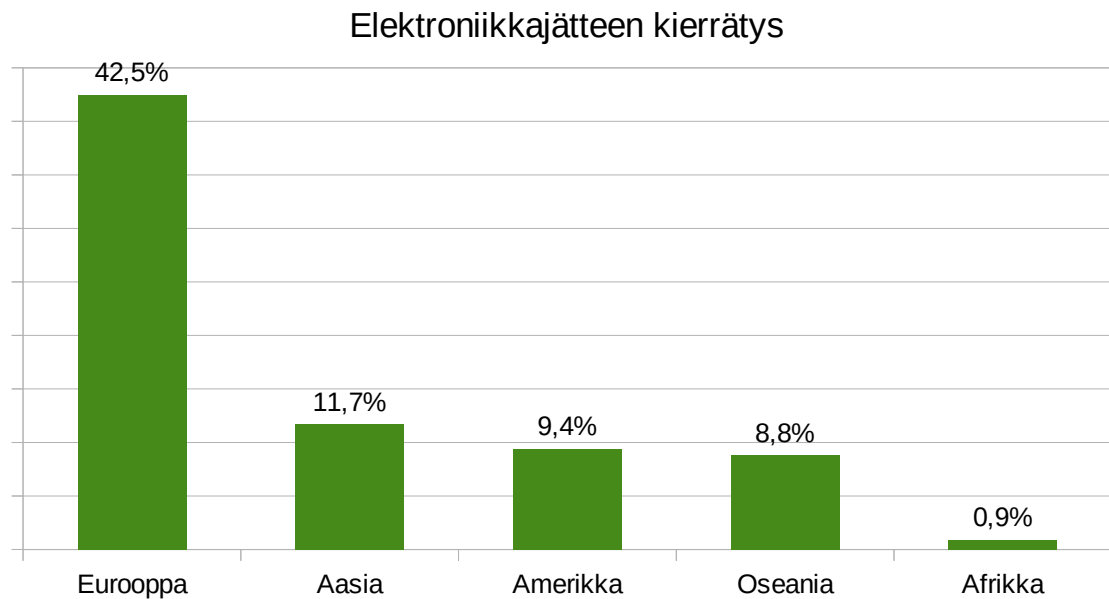


Kuvio 10: Väkimäärään suhteutettuna suurimmat jättemäärät tulivat Euroopasta ja Oseaniasta (GESP 2020, 23–25).

Jätteen määrä on kasvanut 9,2 Mt vuodesta 2014 ja sen ennustetaan kasvavan 74,7 Mt:iin vuoteen 2030 mennessä. Pääasialliset tekijät jättemäärän kasvuun ovat elektroniikkalaitteiden kulutuksen kasvu, niiden lyhyt käyttöikä, sekä korjaamisen vaikeus. Jätteistä 6,7 Mt oli näyttöjä ja televisioita ja 4,7 Mt pieniä IT- ja verkkolaitteita, kuten esim. puhelimia. (GESP 2020, 23–25.) Prosentuaalisesti jätteiden määrä kasvaa jopa 6,5 % vuodessa (Sullivan 2018, LVM:n 2020, 75 mukaan).

Suuri osa pois heitettävistä tai käyttämättä jääneistä laitteista on vielä täysin käyttökunnossa (IIASA 2019, 24). Kolmasosa yhdysvaltalaisista ja isobritannialaisista kuluttajista pitävät vanhan puhelimen tallessa uuden hankittuaan koska "eivät tiedä mitä vanhalle tekisi" (Benton, Hazell & Coats 2015, 10). Käytetty vuosia vanha lippulaivamalli voi olla suorituskyvyltään parempi kuin uusi edullinen tai keskihintainen puhelin (Benton ym. 2015, 28) ja rikkoutuneenkin puhelimen varaosien arvo on lähes kolmasosa uuden puhelimen arvosta (Benton ym. 2015, 17).

Kierrätys ei pysy kasvavien jätemäärien perässä. Maailmanlaajuinen dokumentoitu elektroniikkajätteen kierrätysmäärä vuonna 2019 oli 9,3 Mt, joka on 17,4 % jätemäärästä. Kierrätettäviä aineita kierrätetystä jätteestä saadaan 4 Mt. Kierrätyksessä on tapahtunut kasvua 1,8 Mt vuodesta 2014. Eniten kierrätystä tapahtuu Euroopassa, vähiten Afrikassa (kuvio 11).



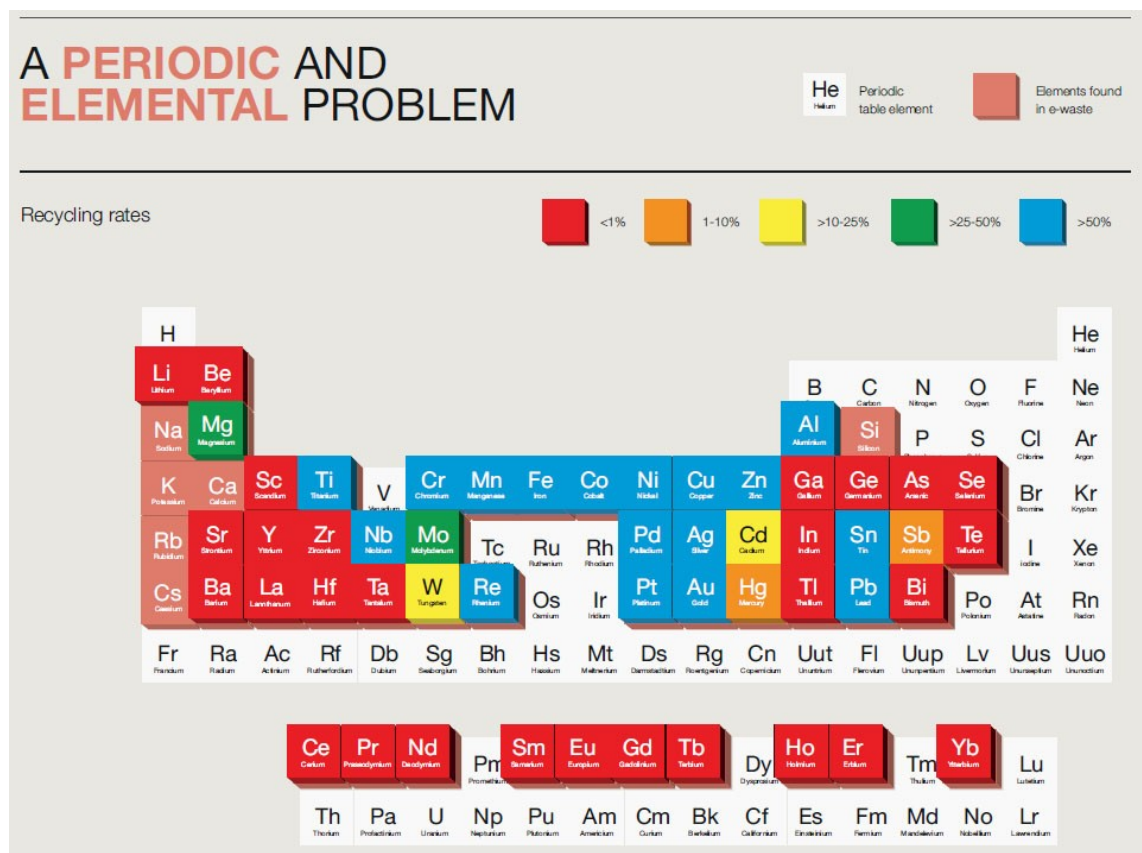
Kuvio 11: Euroopassa kierrätetään lähes puolet elektroniikkajätteestä, Afrikassa alle kymmenes (GESP 2020, 14).

Jäljelle jäävästä 44,3 Mt:sta arviolta 7–20 % viedään rikkaammista lähdemaista köyhempiin maihin joko uudelleenkäyttöön tai jätteeksi ja 8 % päätyy rikkaammissa maissa suoraan sekajätteeseen ja kaatopaikoille. (GESP 2020, 14.) Dokumentoidusti kierrätetty jätemäärä on vähentänyt CO₂-vastaavia päästöjä 15 Mt siinä missä dokumentoimaton osa lisännyt niitä jopa 98 Mt (GESP 2020, 60).

Maailman valtioista 78:lla on jo käytössään erilaisia elektroniikkajätteen kierrätykseen liittyviä lakeja, käytänteitä sekä säädöksiä. Tämä kattaa 71 % maailman populaatiosta. Käytänteet ovat pääosin valtiokohtaisia eikä niiden todellisesta vaikuttavuudesta voida tehdä mitään johtopäätöksiä. (GESP 2020, 26.)

Jätteissä on paitsi ympäristölle ja ihmisille vaarallisia, myös arvokkaita, aineita. Vaarallisia aineita vuoden 2019 dokumentoimattomassa jäteosuudessa ovat esim. 50 tonnia elohopeaa ja 71 kilotonnia Bromattuja palonsuoja-aineita sisältäviä muoveja (BFR, Brominated Flame Retardants). Vuoden 2019 koko jätemäärän kierrätettyjen raaka-aineiden arvo olisi noin 57 miljardia dollaria, josta rauta, kupari ja kulta muodostaisivat suurimman osan. Nykyisellä kierrätyksellä materiaaleista saadaan noin 10 miljardin dollarin hyöty. (GESP 2020, 15.)

Maailman talousfoorumin tammikuussa 2019, osana kiertotalouden kehittämiseen keskittyntä PACE³⁴-ohjelmaa, julkaisemassa A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot -raportista ilmenee alkuaineiden saatavuus jätteestä ja aineiden kierrätysprosentit (kuva 2) (WEF 2019). Kuvasta voidaan havaita että valtaosassa alkuaineita kierrätysprosentti on vielä alle yhden.



Kuva 2: Elektroniikkajätteestä löytyvät alkuaineet ja niiden kierrätysprosentit (UNU 2015; UNI 2014, WEF:in 2019 mukaan, 8).

Raportissa paneudutaan kierrätyksen tämän hetkiseen tilaan todeten, että kierrätystekniikoiden täytyy parantua, sillä joissakin tapauksissa kierrätettyjen materiaalien laatu ei ole riittävä uusiokäyttöön. Pelkkä kuluttajien tekemä kierrätys ei kuitenkaan tule riittämään. Tuotteiden käyttöiän olisi pidennettävä ja ylläpidon, korjaamisen, sekä uudelleenkäytön helpotettava. Mahdollisuuksina eliniän pidentämiseen nähdään esim. laitteiden tai sen komponenttien uudelleen käyttö. Raportissa visioidaan myös mm. mahdollista Electronics as a Service -mallia auttamaan kasvavan elektroniikan käytön ympäristövaikutusten hallinnassa. (WEF 2019, 17.)

8.3 Elektronikkajätebisneksen pimeä puoli

Inerpolin selvityksestä vuodelta 2009 selviää, että vaarallisen elektroniikkajätteen laittomaan ja lailliseen maastavientiin liittyy runsaasti kierrätystoimintaa hyväkseen käyttävää järjestäytyntä rikollisuutta. Rikolliset voivat iskeä moneen kohtaan kierrätysketjua. Usein maasta pois kuljettava lasti dokumentoidaan sisällöltään muuksi ja logistiikassa käytetään häikäilemättömästi hyväksi vaikeassa taloudellisessa tilanteessa olevia kehittyvien maiden kansalaisia, esim. kalastajia, jotka eivät tule enää toimeen pelkällä kalastuksella. Britanniassa on oma terminsä, "jäteturistit" (*waste tourists*) henkilöille, jotka tulevat maahan turistina aikomuksenaan ostaa ja viedä maasta jätettä. (Interpol 2009, 30.) Elektroniikasta saatava voitto on sadan prosentin luokkaa ja jätetonnin arvoksi arvioidaan noin 500 euroa (Interpol 2009).

Raportin johtopäätöksissä todetaan jätemäärien olevan kasvussa ja niiden rahallisen arvon houkuttelevan rikollisia. Elektroniikkajätteen käsittely kehittyvissä maissa tapahtuu terveydelle haitallisissa ja usein vaarallisissa oloissa. Laitteita poltetaan, jotta arvokkaat metallit saataisiin talteen ja poltossa syntyvät päästöt ovat lukuisin tavoin haitallisia sekä ihmisille että ympäristölle. (Interpol 2009, 36.)

Elektroniikkajätteeseen liittyvä rikollisuus on muodoltaan varkauksia, petoksia, salakuljetusta, salaliittoja ja rahan pesua. Eurooppalaiset WEEE³⁵-jätemääräykset voivat jopa lisätä rikollista toimintaa, sillä eri tahojen houkutus myydä jäte pois kierrätystavoitteisiin pääsemiseksi on huomattava. Rikolliset voivat ostaa jätteen luvaten asianmukaisen kierrätyksen, mutta tosiasiasa salakuljettaa sen pois maasta. Alan rikolliset toimijat eivät useinkaan toimi OECD-maista käsin. (Interpol 2009, 36.)

Yhdysvaltalainen lahjoitusvaroin toimiva Basel Action Network (*BAN*) on organisaatio, joka valvoo Yhdysvalloista kehittyviin maihin tapahtuvaa vaarallisen elektroniikkajätteen kuljetusta. Koska Yhdysvallat ei ole ratifioinut Baselin yleissopimusta (kts. luku 8.6.1) ei jätteen kuljetus kehittyviin maihin ole siellä itsessään laitonta. Rikollista toiminnasta voi tulla siinä vaiheessa, jos yritys kuljettaa jätettä pois maasta esim. kertomatta siitä asiakkailleen. (BAN 2020; Lecher 2019.)

Vuonna 2015 BAN seurasi GPS-paikantimien avulla kierrätykseen jätettyjen LCD-monitorien matkaa ja järkyttyi GPS-datan paljastuksista. Järjestön toiminnassa lähellä mukana olleen ja esimerkillisen kierrätystoiminnan nimeen vannoneen kierrätysyritys Total Reclaimin toiminta paljastui muuksi kuin yritys itse oli vannottanut. Vuonna 1991 perustettu Total Reclaim, joka oli erikoistunut valtion hallinnon ja yritysten vanhentuneen elektroniikan kierrätykseen, oli 2000-luvulla yhdysvaltojen luoteisosien suurin e-jätteen kierrättäjä ja yrityksen imago vastuullinen ja luotettava. GPS-seurannan avulla kuitenkin ilmeni, että yhtiö oli rahdannut huomattavat määrät LCD-monitoreja Hong Kongiin, jossa niiden kierrätys hoidettiin ihmisille ja ympäristölle vaarallisella tavalla. Yhtiö kiisti järjestelmällisen rahtaamisen, mutta BAN:in todistusaineisto Yhdysvalloista ja Hong Kongista oli kiistatonta. (Lecher 2019.) Yhtiön kaksi pääomistajaa olivat molemmat tienanneet yritystoiminnallaan tekojen aikaan 8 miljoonaa dollaria. Jätteen asianmukaiseen käsittelyyn yhdysvalloissa olisi kulunut 2,5 miljoonaa dollaria. Ihmisten ja ympäristön tuhoaminen toisella puolella maailmaa oli kuitenkin omistajien arvomaailmassa edullisempi ratkaisu. Yhtiön omistajat saivat lopulta 28 kuukauden vankilatuomiot petoksesta, sillä rahtikirjoissa monitorit oltiin

35 Waste Electrical and Electronic Equipment

kirjattu muoviseokseksi. Itse vaarallisen jätteen kuljettaminen epämääräisiin kierrätysolosuhteisiin ei ollut rikos. Yhtiö on yhä toiminnassa. (Lecher 2019.)

8.4 Kierrätyksen haasteet

Käytöstä poistettujen laitteiden kierrätyksen suurimmiksi esteiksi Euroopassa Euroopan komission kuluttajakyselyn mukaan nousee kierrätyspisteen etäisyys omasta elinympäristöstä, huoli tietoturvasta ja kuluttajan tietämättömyys itse kierrätysprosessista. Suomalaisista 55 % olisi valmis kierrättämään laitteensa, jos voisi olla varma, että kierrätykseen ei liity tietoturvariskejä. (EC 2020, 2; LVM 2020, 82.)

Laitteiden kierrätysaste on noussut viimeisen kymmenen vuoden ajan tasaisesti (LVM 2020, 84). Vielä vuonna 2007 tehdyn kyselyn mukaan³⁶ vain 3 % vastaajista kertoi kierrättäneensä vanhan matkapuhelimen. Kaksi kolmaosaa ei tiennyt kuinka tarpeeton puhelin tulisi kierrättää ja 71 % ei tiennyt missä tällaista kierrätystä järjestetään. Vuoden 2011 kyselyssä kierrätys oli noussut 9 prosenttiin. (UNEP 2013, 88.) Kaikki Suomessa lajiteltu SER-jäte käsitellään kotimaassa ainakin lajittelun ensimmäisessä vaiheessa (LVM 2020, 83).

Monimutkaisia lukuisista erilaisista materiaaleista koostuvia elektroniikkatuotteita ei ole yksinkertaista kierrättää. Raakamateriaalien kierrätyksessä on aina omat hyötynsä ja haittansa ympäristön kannalta. Mitä monimutkaisempi tekninen laite on kyseessä, sitä vaativampi on sen kierrätysprosessi ja sitä enemmän häviötä kierrätyksessä syntyy. (LVM 2020, 85.)

Laitteen tai komponenttien kierrätys sellaisinaan on aina ensisijainen vaihtoehto (LVM 2020, 82), mutta nykyiset komponenttien kiinnistystavat aiheuttavat kierrätyksen kannalta ongelmia. Aiemmin kiinniruuvatut osat ovat nykyään useimmiten

36 6500 ihmistä 13 maassa, mukaan lukien Suomi.

yhteenliimattuja. Päätelaitteen kierrätyksellinen arvo syntyy käytännössä sen sisältämistä metalleista. (LVM 2020, 88.) Kierrätyksessä on otettava huomioon myös itse kierrätysprosessi, jossa käytetty energia ja kemikaalit aiheuttavat päästöjä. Käytännössä kierrätystä säätelee pitkälti sen taloudellisuus, eli kustannukset suhteessa saatavien materiaalien arvoon. (LVM 2020, 88 – 89.)

Liikenne- ja viestintöministeriön ICT-ala, ilmasto ja ympäristö -väliraportissa kierrätys jaetaan seuraaviin päävaiheisiin.

Lajittelu ja keräys

Kuluttaja **lajittelee** laitteen SER³⁷-jätteeksi. Vaiheella on kriittinen vaikutus koko kierrätysketjuun. Mitä nopeammin käyttämätön laite päätyy kierrätykseen, sitä paremmin sen materiaalit voidaan hyödyntää. Suomessa tietoisuus kierrätyksestä ja kierrätyspisteistä on hyvällä tasolla, mutta kierrätysvolyymia voitaisiin kasvattaa jos kuluttajat kierrättäisivät laitteita paremmin. Suomessa SER-jäte **kerätään** kunnallisten tai kaupallisten toimijoiden kautta. Globaalisti SERin keräys on tehotonta ja laitteet päätyvät usein harmaille markkinoille tai kaatopaikoille³⁸. EU:n tuottajavastuu velvoittaa jäsenvaltiot SERin keräykseen. (UNEP 2013; Marra, Cesaro & Belgiorno 2015; Reuter, Schaik & Gedija 2015, LVM:n 2020, 85–86 mukaan.)

Mekaaniset esikäsittely- ja erottelumenetelmät

Manuaalisen lajittelun ja purkamisen vaiheessa laite **lajitellaan** aistin varaisesti ja **puretaan** käsin pienempiin osiin jos tämä on mahdollista. Valitettavan usein esim. kompaktit mobiililaitteet ovat huonosti huollettavia ja tämän myötä myös huonosti purettavia. Lajiteltu ja mahdollisesti purettu laite **murskataan** ja **hienonnetaan**. Vaihe käyttää paljon energiaa ja aiheuttaa häviötä. Hienojakoinen aines koostuu kymmenistä arvokkaista ja arvottomista metalleista sekä muista aineista. Jatkajojalostuksen onnistumisen takia aineet on voitava **erotella** toisistaan. Käytettyjä menetelmiä ovat esim. magneetit ja painovoimaerotin. Pölyn joukossa voi olla mukana runsaasti

37 Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu

38 Kts. Luku 8.3

arvokkaita metalleja, joten se pyritään ottamaan talteen **pölynpoistolla**. Tähän käytetään sykloneita, vastavirtaerottimia ja imureita. **Seulontaa** käytetään tarpeen mukaan prosessin aikana esim. suurien kappaleiden poistoon hienomman aineksen seasta. (UNEP 2013; Marra ym. 2015; Reuter ym. 2015, LVM:n 2020, 85–86 mukaan.)

Metallurginen, eli arvokkaiden aineiden, jatkojalostus

Puhdistetut erilliset ainekset, eli jakeet päätyvät jatkokäsittelyyn. Puhtaat metallit voidaan sulattaa, epäpuhtaammat joudutaan käsittelemään muin metallurgisin keinoin. Pyro-, eli sulatus, hydro-, eli liotus, elektro-, eli sähkö sekä biometallurgisesti, eli bioteknologisesti. Näitä keinoja voidaan käyttää joko yksin tai yhdistelminä. (UNEP 2013; Marra ym. 2015; Reuter ym. 2015, LVM:n 2020, 85–86 mukaan.)

8.5 Tuottajavastuuta vai tuottajavastuuttomuutta?

8.5.1 Suunniteltu vanheneminen – tulostinvalmistajat tulilinjalla

Modernista suunnitellusta vanhenemisestä räikein esimerkki ovat tulostimet. Suuria tulostinvalmistajia vastaan on käyty onnistuneesti oikeutta jo toistakymmentä vuotta, mutta ilmeisesti pelotteet eivät ole olleet riittävän suuria, koska parannusta alalla ei tunnu tapahtuneen.

Vuonna 2006 **Epson** sovitteli Yhdysvalloissa joukkokanteen, jossa sitä syytettiin Epson Inkjet -mustesuihkutulostimen ja sen kasettien laskevan tulostettujen sivujen määrää ja tietyn sivumäärän tultua täyteen ilmoittavan kasetit tyhjiksi. Yhtiö kiisti syytökset, mutta myöntyi jakamaan 45 dollarin etukuponkeja Epsonin verkkokauppaan yhdysvaltalaisille, jotka olivat ostaneet Inkjet-tulostimen ja Inkjet-kasetteja vuosien 1999 ja 2006 välillä. (Rust Consulting, Inc 2006.)

Vuonna 2010 **HP** sovitteli Yhdysvalloissa joukkokanteen, jossa syytökset olivat samanlaiset kuin Epsonin tapauksessa ja koskivat yhtiön Inkjet-tulostimia. HP oli valmis antamaan maksimissaan 5 miljoonan edestä etukuponkeja, maksimissaan 6 dollaria asiakasta kohden, korvauksia hakeneille yhdysvaltalaisille, jotka olivat ostaneet kanteessa mainittuja tulostimia vuosien 2001 ja 2010 välillä. (CR 2010.)

Vuonna 2015 **Canon** sovitteli Yhdysvalloissa joukkokanteen, jonka mukaan Canon Inkjet -tulostimien tulostuspäihin ilmaantui vika pian vuoden takuuajan päätyttyä. Canon kiisti väitteet suunnitellusta vanhenemisesta, mutta päätyi silti sovitteluun. Jokainen kanteeseen kuuluvan tulostimen valtuutetuilta jälleenmyyjiltä tai Canonilta itseltään ostanut yhdysvaltalainen oli oikeutettu saamaan joko 50 dollarin käteiskorvauksen tai 75 dollarin etukupongin Canonin verkkokauppaan. Maksimisumma jonka Canon suostuisi maksamaan olisi 930 000 dollaria. (LaFreniere 2015.)

Vuonna 2017 ranskalainen organisaatio Halte à L'Obsolescence Programmée (*HOP*), Loppu suunnitellulle vanhenemiselle, haastoi oikeuteen tulostinvalmistajat **Brotherin**, **Canonin**, **Epsonin** ja **HP:n**. Ranskassa oli tuolloin ollut kolme vuotta voimassa laki, joka edellytti tuotevalmistajien sakon uhalla ilmoittamaan kuluttajille tuotteidensa kestoian. Mekanismilla haluttiin käydä suunniteltua vanhenemistä vastaan. Syyte kuului tulostimien ilmoittavan jonkin osan olevan viallinen tai mustekasetin tyhjä vaikka näin ei todellisuudessa olisi ollutkaan. Määrättyjen sakkujen suuruus oli 15 000 euroa (sic) yritystä kohden. (Schrieberg 2017.) Oikeisjutun nykytilasta ei ole tietoa, mutta vielä viime vuoden alussa se vaikutti olevan tutkinnan alla (Actionable Intelligence 2019).

Loppuvuodesta 2018 **HP** sovitteli Yhdysvalloissa joukkokanteen, jossa syytettiin sen pakotetun laiteohjelmistopäivityksen (*firmware update*) estävän aiemmin toimineiden kolmansien osapuolten valmistamien mustekasettien toiminnan aiheuttamalla keinotekoisella virheilmoituksella. Sovinnon maksimisummaksi asetettiin 1,5 miljoonaa dollaria. Yhdysvaltalaisten asianosaisten uutisoidaan saaneen vuoden 2019 loppuun mennessä jopa yli 160 dollarin kertakorvauksia. (Sortov 2018; Davis 2018.)

Loppuvuodesta 2019 **Epsonia** vastaan nostettiin joukkokanne Yhdysvalloissa, jossa valmistajaa syytettiin laiteohjelmistopäivityksen jälkeisestä kolmansien osapuolten mustekasettien toiminnan lakkaamisesta. Kanteen mukaan Epson oli mainostanut ohjelmistopäivitysten ”parantavan tulostimen toimintaa ja korjaavan tunnettuja ongelmia”. (Sortor 2019.) Kanteen nykytilanteesta ei ole tietoa.

Kirjoittaja omaa aiheesta myös omakohtaisen kokemuksen. Aloin ihmettelemään vuosia sitten oman **Samsung**-lasertulostimeni toimintaa. Laserjauhevärikasetit eivät vaikuttaneet tyhjiltä, mutta tulostin ilmoitti niiden olevan vaihtokunnossa. Olin jo kertaalleen vaihtanut kasetit uusiin ilman ihmettelyä, mutta nyt epäilin. Uudet kasetit maksoivat tuolloin yhteensä lähes kaksisataa euroa. Ihmettelylleni löytyi perusteet löydettyäni internetistä tiedon, jonka mukaan tulostimessa itsessään, sekä joissakin tapauksissa myös uudemmissa jauhekaseteissa, oli mikrosiru, joka laskee tulostettujen sivujen määrän ja ennalta ohjelmoidun sivumäärän tullessa täyteen, ilmoittaa kasetit tyhjiksi. Löysin sivustolta ohjeet tulostimen laskinsirun nollaamiseen. Tulostin oli aukaistava ja juotettava laskinsirun kantoihin johdot, joiden avulla sirun nolaaminen tulostimen käynnistyksen yhteydessä onnistui. Omistamissani uudemman mallisissa jauhekaseteissa oli myös laskinsirut. Kasettien kontaktipinnoista täytyi peittää yksi pinni niin, ettei jauhekasetin siru kertoisi tulostimen sirulle tulostettujen sivujen määrää nollauksen jälkeen. Nollaus onnistui ja kuten odottaa sopi, tulostin ilmoitti kasetit jälleen täysiksi. (Brian 2012.) Myös Samsungia vastaan on nostettu syyte mm. mustekasettien yhteensopimattomuudesta Kiinassa vuonna 2012, mutta tästä tapauksesta ei ole enempää tietoa saatavilla (Wenxin 2012).

On käsittämätöntä että näin häikäilemätöntä haaskausta yhä harjoitetaan. Laitevalmistajien toimintalogiikkana on ollut se, että tulostinlaite on edullinen ja voitot syntyvät kalliista virallisista mustekaseteista (Houston & Anna Kim 2019). On ilmeistä ettei tällä logiikalla ole kestäväää pohjaa.

8.5.2 Apple – maailman arvokkain

Elokuussa 2020 teknologiayhtiö Apple ylitti ensimmäisenä yhdysvaltalaisena yhtiönä 2 biljoonan dollarin arvon ja tuli täten maailman arvokkaimmaksi yhtiöksi (Nicas 2020). Niin ikään syksyllä 2020 se rankattiin myös maailman arvokkaimmaksi brändiksi (Interbrand 2020, 35). Maailman vaikutusvaltaisimman IT-yrityksen toiminta ympäristöasioissa ansaitsee tässä yhteydessä tulla käsitellyksi seikkaperäisemmin.

Vuonna 2016 Apple julkisti iPhone 6 -puhelimia purkavan Liam-robotin. Liam pystyi purkamaan puhelimen vain 11 sekunnissa ja vuoden aikana se kykenisi purkamaan 1,2 miljoonaa puhelinta (Rujanavech, Lessard, Chandler, Shannon, Dahmus, Guzzo 2016). Seuraavana vuonna julkaistiin Daisy, kehittyneempi purkajarobotti. Daisy kykeni purkamaan yhdeksää eri versiota iPhone-puhelimesta ja tunnissa sen ilmoitettiin pystyvän purkamaan 200 puhelinta. (Apple 2018.) Jos oletetaan robotin työskentelevän vuoden ympäri ilman mahdollisia katkoja saadaan laskennalliseksi tulokseksi 1,75 miljoonaa purettua puhelinta vuodessa.

Luvut ovat vaikuttavia, mutta kun otetaan huomioon se, että vuosien 2015 ja 2018 välillä Apple myi joka vuosi yli 200 miljoonaa uutta iPhone-puhelinta (Statista 2018), voidaan todeta kyseessä olleen pelkät julkisuustemput. Vuonna 2019 uutisoitiin Applen saaneen kierrätykseen lähes miljoona laitetta Apple Trade In -ohjelman kautta, mutta robottien nykyisestä tilasta ja siitä kuinka monta puhelinta ne lopulta todella kierrättivät tai ovatko ne yhä toiminnassa ei ole saatavissa mitään julkisia tietoja (Apple 2019a).

Heinäkuussa 2020 Apple julkisti suunnitelmansa tulla yhtiönä hiilineutraaliksi vuoteen 2030 mennessä. Samassa yhteydessä julkistettiin myös uusi purkajarobotti Dave. Daven toiminnasta ei anneta tällä kertaa selkeitä lukuja, mutta esittelyvideossa sitä käytetään ihmisavusteisesti yksittäisten Taptic Engine -komponenttien erottelemiseen. Samassa yhteydessä Apple ilmoitti viime vuoden aikana julkaistujen uusien iPhone-puhelinten,

iPad-tablettien, Mac-tietokoneiden, sekä Apple Watch -älykellojen olevan kaikkien valmistettu kierrätetyistä materiaaleista. (Apple 2020a.)

Yhtiö ilmoittaa pienentäneensä hiilijalanjälkeään vuonna 2019 4,3 megatonnia ja viimeisen 11 vuoden aikana tuotteidensa energiankulutusta yhteensä 73 prosenttia. (Apple 2020a.) Yhtiön hiilijalanjälki vuonna 2019 oli 25,1 Mt josta 75 % tuli uusien kuluttajalaitteiden tuotannosta (Apple 2020b, 12).

Euroopassa Apple joutui Italian viranomaisten hampaisiin lisätakuun myynnistä vuonna 2012. EU-säädökset takaavat kaikille unionin kuluttajille kahden vuoden ilmaisen takuun tuotevalmistajasta riippumatta. Vuonna 2011 Apple tarjosi Italiassa tuotteilleen vuoden takuuta ja myi toisen vuoden lisätakuuta AppleCare-palvelun nimellä. (BBC 2012.) Vuoden 2012 aikana Apple paineen alla muutti Euroopan takuunsa kaksivuotiseksi ja poisti Italian markkinoilta AppleCare-palvelunsa (Keene 2012; Lowensohn 2012).

Apple on saanut sakkoja Euroopassa ja maksanut soviteltuja korvauksia Yhdysvalloissa suunnitellusta vanhenemisesta useissa oikeustapauksissa. Kaikki alkuperäiset ja loppuvuodesta 2020 uutisoidut tapaukset liittyvät vuoden 2016 tapahtumiin, jolloin Apple IOS-ohjelmistopäivitys hidasti vanhoja puhelinmalleja kertomatta siitä puhelinten omistajille. Apple perusteli ohjelmallista hidastamista ensin puhelimen käyttöiän pidentämisellä vanhentuviin akkuihin vedoten, mutta pyysi toimintaa myöhemmin julkisesti anteeksi ja laski samalla vaihtoakkujen hintoja huomattavasti Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa. Syyttäjien näkökulma oli se, että puhelimen hidastuminen sai käyttäjän harkitsemaan sen vaihtamista uudempaan ja että kyse oli suunnitellusta vanhenemisesta. Maksamistaan korvauksista huolimatta Apple kiistää tehneensä mitään väärää. (BBC 2020a; BBC 2020b; Dernbach 2020; Tyson 2020; Miller 2020.) Oikeusjuttuja vuoden 2016 tapahtumista on ollut vireillä eri puolilla maailmaa (BBC 2017).

Applea on syytetty myös laitteidensa vaikeasta korjattavuudesta ja ohjelmallisesti toteutettujen lukkojen käytöstä (*software lock*)³⁹, joilla pyritään estämään esim. kolmansien osapuolten valmistamien varaosien käyttö (Gault 2018). Yhtiö haastoi vuonna 2017 oikeuteen ilman virallista lisenssiä Apple-puhelimia Norjassa korjanneen pienyrittäjä Henrik Husebyn. Alemmassa oikeusasteessa Apple kärsi tappion vuonna 2018 (Koebler 2018), mutta kolmen vuoden oikeudenkäynnin jälkeen kesällä 2020 se voitti korkeimmassa oikeudessa. Ratkaisevaan osaan oikeustaistossa nousi tavaramerkkilaki, joka tulkitsi kolmannen osapuolen kautta kierrätetyt varaosanäytöt (*refurbished*)⁴⁰ laittomiksi kopioiksi ja korjausoperaation näin ollen tavaramerkkiä loukkaavaksi. Apple ei myy virallisia varaosiaan ulkopuolisille korjaajille. Vertailun vuoksi Norjassa Applen postin välityksellä tapahtuva näytön korjaus maksaa n. 185 euroa ja liikkeessä noin 255 euroa. Huseby laskutti samasta operaatiosta noin 75 euroa. (Mikolajczak 2020.) Applen vuoden 2021 alun suunniteltuihin käyttöoikeuksien muutoksiin on Euroopassa vastattu kilpailun vastaisiin oikeustoimin loppuvuodesta 2020 (Hagey & Haggin 2020).

Yhdysvalloissa Apple, muiden suurten toimijoiden ohella, on lobannut aggressiivisesti eri osavaltioissa vireillä olevia Right to Repair, oikeus korjata, -lakiesityksiä vastaan. Toteutuessaan lait velvoittaisivat elektroniikkayhtiöitä myymään varaosia ja korjaustyökaluja kuluttajille. Laki tekisi myös ohjelmallisesti toteutetuista lukoista laittomia ja joissakin tapauksissa velvoittaa julkaisemaan laitteiden korjausoppaita. (Koebler 2017; Beres & Campbell 2016.) New Yorkissa esitys ei edennyt äänestykseen asti (Allendorf 2018), mutta vastaavia esityksiä on vireillä yhä muualla Yhdysvalloissa (Van Waasbergen 2020; Guerry 2020; Proctor 2020).

Lokakuussa 2020 uutisoitiin tapauksesta, jossa Applen kierrätyskumppanina toiminut kanadalainen yritys GEEP Canada oli vuosien 2015 ja 2017 välillä myynyt yli 100 000 käytöstä poistettua ja kierrätykseen tarkoitettua iPhone- ja Ipad-laitetta sekä kelloa käytettyinä eteen päin. Apple on haastanut yhtiön oikeuteen vaatien miljoonakorvauksia. Laitteiden tuhoamista yhtiö on perustellut ylimalkaisesti

39 Kts. esim. <https://www.vice.com/en/article/kbjm8e/iphone-7-home-button-unreplaceable-repair-software-lock>

40 Apple itse myy käytettyjä laitteitaan: <https://www.apple.com/shop/refurbished>

toteamalla, etteivät kierrätykseen toimitetut laitteet ole laadultaan riittäviä (*adequate*) loppukäyttäjille uudelleenmyytäviksi ja että mahdolliset kolmansien osapuolten varaosat tekevät niistä vaarallisia käyttää. (Carrique 2020).

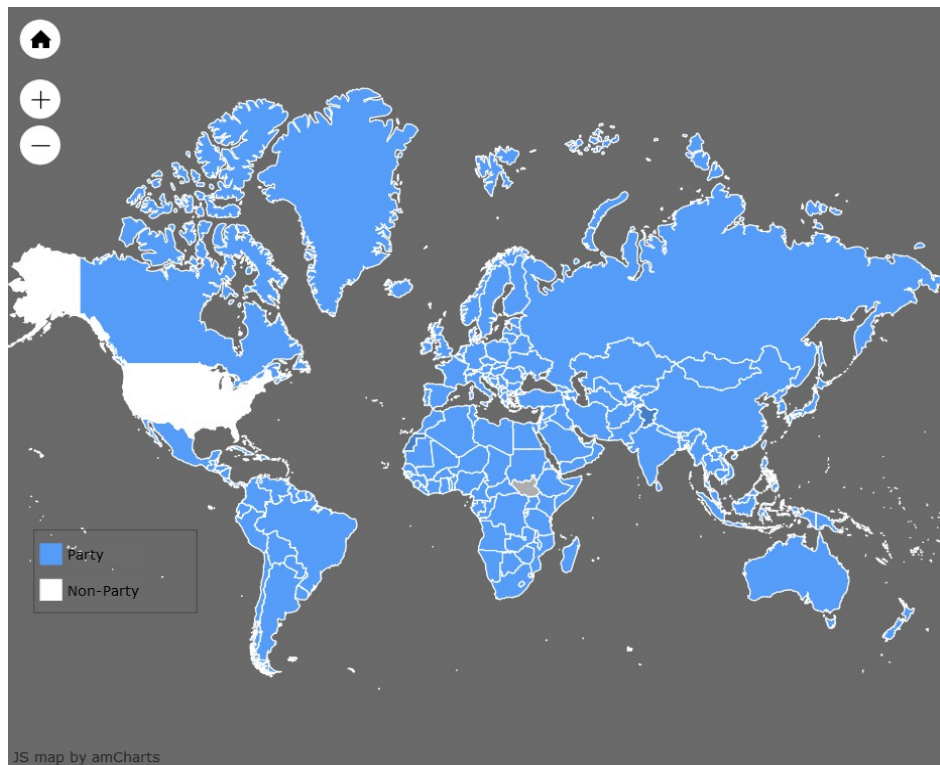
Applen perustelua on nykytiedon valossa vaikea ymmärtää ja sopiikin kysyä, miksi täysin käyttökelpoisia ja sellaisinaan tai pienin korjauksin edelleen myyntiin kelpaavia laitteita haluttiin tuhota ja kierrättää materiaalitasolla, ottaen huomioon kierrätyksestä syntyvät häviöt ja päästöt⁴¹ Jos yhtiö haluaa pitää tuotteen korjaamisen pelkästään omissa käsissään olisi sen nostettava kierrätyskapasiteettiaan tasolle, jolla se pystyy käsittelemään kaikki myymänsä laitteet myös niiden elinkaaren päässä, joko kierrättäen ne laite- tai komponenttitasolla, tai lopulta materiaalitasolla.

41 Kts. Luku 8.4

8.6 Eurooppa tiennäyttäjänä

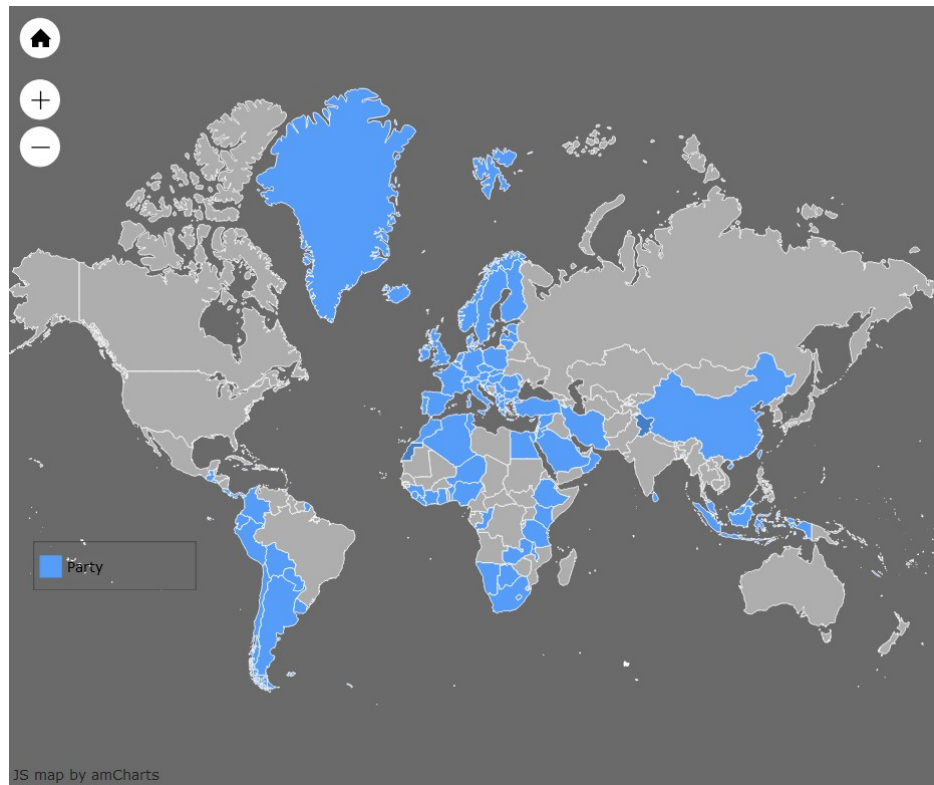
8.6.1 Elektroniikkajätteiden kierrätys

Baselin yleissopimus (*Basel Convention*), joka astui voimaan vuonna 1992, rajoittaa vaarallisen jätteen liikkuvuutta sopimuksen ratifioineissa maissa (kuva 3) (Basel Convention 2020a; Finlex 2020; EK 2010).



Kuva 3: Maat, jotka ovat ratifioineet Baselin yleissopimuksen (Basel Convention 2020b).

Osaksi sopimusta lisättiin vuonna 1995 Baselin vientikielto (*Ban Amendment*), joka astui voimaan 5.12.2029 (kuva 4) (Basel Convention 2020a; Finlex 2020; EK 2010).



Kuva 4: Maat, jotka ovat ratifioineet myös Baselin sopimuksen vientikieltolisäyksen (Basel Convention 2020b).

Euroopan Unionin ympäristölainsäädännön toteutusta- ja käytäntöönpanoa valvova verkosto IMPEL⁴² toteutti vuosien 2015–2018 välillä Euroopan jätteiden siirtoa koskevan asetuksen täytäntöönpanoprojektin (*Enforcement Actions*), jossa seurattiin OECD-maissa tapahtuvia jätekuljetusasetuksen rikkomuksia. Seuraavassa käsitellään jätteiden siirtoon liittyneitä loukkauksia niiltä osin, kun niissä oli kyseessä elektroniikkajäte, eli WEEE⁴³.

Suurimmat WEEE:n vastaanottomaat Aasiassa olivat Kiina ja Libanon. Myös Hong Kongiin, Malesiaan ja Vietnamiin jätettä vietiin huomattavia määriä (IMPEL 2018, 41). Afrikassa luvattonta WEEE-jätettä päätyi valtava määrä Nigeriaan. Myös Ghana, Gambia, Tansania ja Zambia olivat suuria vastaanottajia. Kaikesta Afrikkaan päätyvästä luvattomasta jätteestä 52 % oli WEEE:tä. (IMPEL 2018, 42). OECD-maista Bosnia &

⁴² European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law

⁴³ Tässä luvussa käytetään käsitettä WEEE, koska se on käytössä myös lähteessä.

Hertzegovina, Serbia ja Romania olivat suurimpia vastaanottajia (IMPEL 2018, 43). Raportista käy ilmi, että WEEE:n osalta jätesiirtoloukkausten huippu näyttää olleen vuosi 2011, jolloin yli 30 % havaituista rikkeistä koski WEEE:tä (IMPEL 2018, 46).

8.6.2 Oikeus korjaamiseen ja ekosuunnittelun lupaukset

Euroopassa Euroopan Unioni on ottamassa isoa roolia laitteiden suunnittelun, korjattavuuden ja kierrätyksen osalta kestävä kehityksen Green Deal -ohjelman puitteissa. Maaliskuussa 2020 Euroopan komissio julkaisi kiertotalouden toimintasuunnitelman (*New Circular Economy Action Plan*), jonka puitteissa laitteiden enenenaikainen vanheneminen aiotaan laittaa kuriin ja myymättä jääneiden kestokulutustuotteiden tuhoaminen kieltää. Suunnitellut säädökset pakottaisivat yritykset todentamaan ympäristövaihteensa sertifioitujen EU-merkintöjen kautta ja toisivat mukanaan pakollisia vihreiden hankintojen kriteereitä ja tavoitteita julkiselle sektorille. (EC 2020.)

EU:lla on suunnittelussa myös Oikeus korjata (*Right to Repair*) -aloite. Aloitteen mukaan kuluttajilla pitäisi olla oikeus laitteidensa korjauttamiseen ja varaosia olisi oltava saatavilla. Myös tuotteiden takuu-aikaa voisi olla syytä pidentää. (EC 2020.) Nykyinen tilanne korjattavuuden osalta on ympäristön kannalta kestävä, kuten saksalaisen televisiokanava Deutche Wellen toimittajan epätoivoinen älypuhelimien korjausyritys osoittaa (Rohwer-Kahlmann 2020).

Ekosuunnittelussa laitteiden kierrätys ja uudelleenkäyttö otetaan huomioon jo niitä suunniteltaessa (LVM 2020, 82–83). EU:n alueella on käytössä ekosuunnitteludirektiivejä, koskien mm. palvelimia ja muita AC-sähköverkosta virtansa saavia laitteita (EUR-Lex 2013). Parhaillaan Euroopan komissio valmistelee selvitystä myös mobiililaitteita koskevasta direktiivistä ja energiamerkintäasetuksesta. Selvitys on tällä hetkellä viidennessä ja samalla toiseksi viimeisessä vaiheessa (Fraunhofer IZM 2020.) ja muun muassa raportti älypuhelimien materiaalitehokkuudesta on jo valmistunut

(Cordella, Alfieri & Sanfelix 2020). Lopullisen selvityksen on määrä valmistua helmikuussa 2021. (Fraunhofer IZM 2020.) Suomessa infosivua ekosuunnittelusta pitää yllä Energiavirasto ja Ympäristöministeriö (Energiavirasto 2020).

Tukesin sivuilla ekosuunnitteludirektiivistä kerrotaan seuraavaa:

Ekosuunnitteludirektiivi koskee kotitalouksien ja teollisuuden sähkölaitteita

- joita myydään EU-alueella yli 200 000 kappaletta vuodessa ja
- joilla on arvioitu olevan merkittäviä ympäristövaikutuksia ja
- joille on laadittu tuoteryhmäkohtainen toimeenpanosäädös, useimmiten komission asetus (Tukes 2020.)

8.7 Yhteiskunnan digitalisaatio – laitteiden määrä vai laatu?

Vaikka päätelaitteiden energiatehokkuus on kasvanut ja koko pienentynyt, aiheuttaa niiden lyhyt käyttöikä ympäristölle ennenäkemättömiä paineita. Korjaamisen ja kierrättämisen vaikeus ja suunniteltu vanheneminen kasvattavat elektroniikkajätevuoria vuosi vuodelta uusiin korkeuksiin. Euroopan rooli kestävän kehityksen ja kiertotalouden suunnannäyttäjänä on vahva.

9 Verkonkäyttäjä keskiössä – teräväpiirtosuoratoistoa ja sähköpostin rooli

9.1 Digitaalisen viihteen räjähdysmäinen kasvu

Viihteen hinta on digitalisaation myötä romahtanut ja tarjonta räjähtänyt (The Economist 2017). Maksulliset suoratoistopalvelut ovat ohittaneet kaapelitelevisiion (Liptak 2019) ja suurimmat palveluntarjoajat tarjoavat 4K-suoratoistoa vanhemman teräväpiirron ohella (Levenson 2020). UHD-materiaali on kooltaan kaksi kertaa HD-materiaalia ja yli 9 kertaa SD-materiaalia suurempaa (Cisco 2020, 7).

Suoratoistovideon osuus kaikesta verkkoliikenteestä on jo lähes 60 % ja se on nousussa (Sandvine 2020, 6). Mobiililiikenteestä jo yli 66 % tulee videosta (Datareportal 2020, 115). Mainosrahoitteinen Youtube on paitsi maailman toiseksi suurin hakukone ja toiseksi vierailuin sivusto (Kemp 2020, 57–58), myös toiseksi suosituin sosiaalisen median alusta (Kemp 2020, 95). Youtubea katsotaan päivässä miljardi tuntia (Kemp 2020, 164). Netflixin mukaan 70 % sen sisällöstä katsotaan TV:n kautta (Kafka 2018). 16–64-vuotiaista internetin käyttäjistä 90 % kuluttaa suoratoistovideota ja 73 % musiikkia (Datareportal 2020, 25).

Musiikin suoratoiston osuus maailmanlaajuisista markkinoista oli lähes 60 % vuonna 2019 (Mulligan 2020) ja yhdysvalloissa alan tuotoista lähes 80 % tuli suoratoistosta (Friedlander 2020). Mobiiliverkon kokonaisliikenteestä 1,7 % tulee musiikkisovelluksista, joten sen merkitys on murto-osa videon vastaavasta (Datareportal 2020, 115). Elokvateollisuudessa lähes 50 % tuotoista tuli digitaalisesta kuluttamisesta ja vain 10 % fyysisestä (D’Alessandro 2020). Pelaamista harrastaa 87 % internetin käyttäjistä. Älypuhelimella pelaa 74 %, kannettavalla tai pöytäkoneella 42 %, konsoleilla 26 % ja tablet-laitteilla 20 % (Datareportal 2020, 30).

Perinteiset kirjat eivät ole kärsineet digitalisaatiosta merkittävästi. Myydyistä kirjoista e-kirjojen osuus on noin 20 % ja niiden myynti on laskussa (Grady 2019). Äänikirjojen kulutus sen sijaan on nousussa (Kozlowski 2020). Äänikirjojen koko suhteessa ekirjoihin voi olla noin satakertainen⁴⁴.

Internet on tehnyt myös perinteisemmän kuluttamisen entistä helpommaksi. 82 % verkon käyttäjistä on etsinyt viimeisen kuukauden aikana ostettavia tuotteita ja palveluita, 89 % vierailut verkkokaupoissa ja 74 % tehnyt verkko-ostoksia. (Datareportal 2020, 123.) Selvästi eniten rahaa liikkuu matkailussa. Muoti ja kauneudenhoito, elektroniikka ja fyysiset mediatuotteet, harraste- ja sisustustuotteet ovat myös huomattavassa roolissa. (Kemp 2020, 214). Vuonna 2019 yksittäinen asiakas kulutti verkko-ostoksiin keskimäärin 499 yhdysvaltain dollaria (Kemp 2020, 216).

Vekko kaupan alalla ongelmaksi on muodostunut paitsi kannattavuuden, myös ympäristön kannalta ilmainen tilattujen tuotteiden palautus. Etenkin verkkovaatekauppojen riesana on asiakkaiden ilmaisen palautuksen myötä yleistynyt ”sovita ja palauta”-käytäntö. Osa verkkokaupoista onkin alkanut jakaa asiakkailleen porttikieltoja palautusrumban hillitsemiseksi. (Tyyli.com 2020.)

9.2 Ongelmajätettä sähköpostilaatikossa?

Vuoden 2019 lopussa isobritannialainen energiayhtiö OVO Energy julkaisi lehdistötiedotteen, joka sai medioissa ympäri maailmaa runsaasti huomiota (Leatham 2020; Molloy 2020). Tiedotteessa käytiin läpi isobritannialaisten lähettämien sähköpostien hiilijalanjälkeä ja sen otsikossa kerrottiin, että jos jokainen brittiläinen lähettäisi yhden turhan kiitos-sähköpostin vähemmän päivässä, vähentäisi se hiilidioksidipäästöjä yli 16 000 tonnia vuodessa. (OVO Energy 2019.) Artikkelin tiedot perustuivat Mike Berners-Leen vuonna 2010 julkaistuun How Bad are Bananas? -kirjan

⁴⁴ Kirjoittajan havainnot.

arvioihin, joissa oli lähes kymmenessä vuodessa tapahtunut selkeä mittakaavamuuotos. (Molloy 2020; The Irish Times 2020; Parker, Venkataramakrishnan & Hook 2020.)

Britannialaisten virkamiesten uutisoitiin käyttäneen OVO:n laskelmia kaavaillessaan maan päästövähennystoimia. Vaikka hurjalta kuulostavat päästömäärät olisivatkin pitäneet paikkansa, ei niillä isossa kuvassa olisi silti ollut kuin minimalistinen merkitys. (Sharma 2020.) How Bad are Bananas? -kirjan uusitun syksyn 2020 painoksen tietojen mukaan sähköpostien kuorma on noin kymmenesosa aiemmin arvioidusta (Berners-Lee 2020, 16 – 17). Näin ollen aiempi 16 000 tonnin arvio tippuisi uusien laskelmien myötä 1,6 tonniin.

Oxfordin yliopiston Greenhouse Gas Removal Hubin projektipäällikkö tohtori Stephen Smith vertaa sähköpostin lähettämistä suoratoistoon kertomalla, että tunnin HD-videon suoratoisto kuluttaa noin miljoona kertaa enemmän dataa kuin pienen kiitos-sähköpostin lähettäminen. Asian mittakaava on siis syytä muistaa. (Sharma 2020.)

On kuitenkin syytä huomioida myös se, että isot liitetiedostot ja roskaposti aiheuttavat huomattavasti kiitos-viestejä suuremman datakuorman, joten täysin merkityksetön sähköpostinkaan rooli päästölähteenä ei ole. Lähetetty sähköposti tallentuu vastaanottajan saapuneet-kansion lisäksi myös lähettäjän lähetetyt-kansioon, joten vaikutukset kertautuvat (Sharma 2020). Suurimmankaan sähköpostilaatikon koko on harvoin useita gigatavuja, joten merkittäviin haittoihin tai hyötyihin päästöjen kannalta ei vanhojen sähköpostien säilyttämisen tai poistamisen myötä nykytiedon valossa päästä.

9.3 Videon bittivirran kasvu

Videon pikseliresoluutioiden kasvaessa kasvaa myös videon bittivirta. Harrastajien mittausten mukaan Applen iTunes Video -palvelun kautta toistetun 4k-elokuvan

bittivirta voi nousta maksimissaan jopa yli 40 megabittiin sekunnissa, keskimääräisen virran asettuessa noin 25 megabittiin sekunnissa (Larsen 2020a, 2). Harrastajille korkeampi bittivirta vaikuttaa tarkoittavan parempaa laatua ja palvelua, mutta kestävyuden kannalta bittivirtojen kasvuun olisi löydettävä kompromisseja.

Netflix ilmoitti elokuussa 2020 uudesta tekniikasta 4k-materiaalin pakkaamisessa, jonka ansiosta bittivirta saadaan puolitettyä laadun pysyessä samana. Entisen 16 Mb/s bittivirran sijaan uusi maksimibittivirta 4k-materiaalille on 8 Mb/s. Esimerkkinä alhaisen bittivirran hyödyntämisestä esitellään animaatio-sarjan jakso, jonka bittivirta pakkaustekniikan ansiosta saadaan laskettua 1,8 megabittiin sekunnissa. (Mavlankar, Guo, Moorthy, & Aaron 2020.) Netflixiä on parjattu huonosta kuvanlaadusta (Mavlankar ym. 2020, kommentit; Larsen 2020a; Larsen 2020b; Collins 2020) ja suurista älytelevisioista sisältöä toistavien harrastajien kritiikin voi myös ymmärtää. Ympäristön kannalta olisi kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, että pakkausalgoritmien kehitys johtaa nimenomaisesti bittivirtojen laskuun, pitäen laadun samalla niin korkeana kuin se vain on mahdollista.

9.4 Yhteiskunnan digitalisaatio – video vie, verkko vikisee

Videosisältöjen kulutus on kasvanut paitsi määrällisesti myös laadullisesti niin suureksi, että videon suoratoistosta on tullut eräs digitalisaation vakavimmista ympäristöuhista. Bittivirtojen nousu videopalveluissa on jatkanut kasvuaan, mutta suuntausta kohti alhaisempia bittivirtoja suorituskykyisempien pakkauskoodekkien avulla on myös havaittavissa.

10 Nousevat teknologiat

10.1 Datatieteen nousu

10.1.1 Big Data

Digitaalinen toimiminen synnyttää valtavat määrät dataa, niin sanottua Big Dataa (Domo 2020). Tämä data voi olla lokitietoja käytetyistä palveluista; esim. klikkauksista sivustoilla tai ostohistoriasta verkkokaupassa. Se voi olla sensorien keräämää dataa maalta, merestä tai ilmasta. Big Data on datamassaa, josta ei sellaisenaan ole saatavissa suoraa hyötyä. (Climate TRACE 2020; Joutsijoki 2018, 4-14) Tiedonlouhinnan (*Data mining*) avulla tästä suuresta datamäärästä pyritään saamaan esille merkityksellistä ja hyödynnettävissä olevaa tietoa (Finto 2018).

Yhdistyneiden kansakuntien pääsihteerin pyynnöstä perustettu itsenäinen asiantuntijaryhmä Data Revolution Group arvioi vuonna 2014 Big Datalla olevan suuri potentiaali YK:n kestävän kehityksen tavoitteisiin pääsemisessä (Independent Expert Advisory Group. 2014, 2-3). Suurkaupunkien päästövähennystutkimuksessa ja politiikassa Datatieteellä nähdään olevan niin ikään suuri merkitys (Mishra 2020; Giest 2017) Ruraalialueilla Big Datan avulla pyritään ymmärtämään esim. metsien hävittämisen syy-seuraus-suhteita (Ramrayka 2018). YK:n alaisuudessa toimii myös UN Global Pulse -aloite, jonka avulla pyritään hyödyntämään Big Dataa ja tekoälyä kestävän kehityksen, humanitaarisen toiminnan ja rauhantyön osa-alueilla (UN Global Pulse 2020). Datatieteestä, Big Datasta ja tiedonlouhinnasta puhuttaessa, puhutaan valtavista datamääristä, joilla on myös oma suorat päästöjä kasvattavat vaikutuksensa (Lucivero 2019). Yhdysvaltalainen pilvipohjaista käyttöjärjestelmäratkaisua myyvä Domo Inc koostaa sivustolleen päivittyvää Data Never Sleeps -koostekuvaa, jossa havainnoidaan internetiin joka minuutti generoituvan uuden Big Datan määrää verkon suosituimmilla alustoilla (Domo 2020).

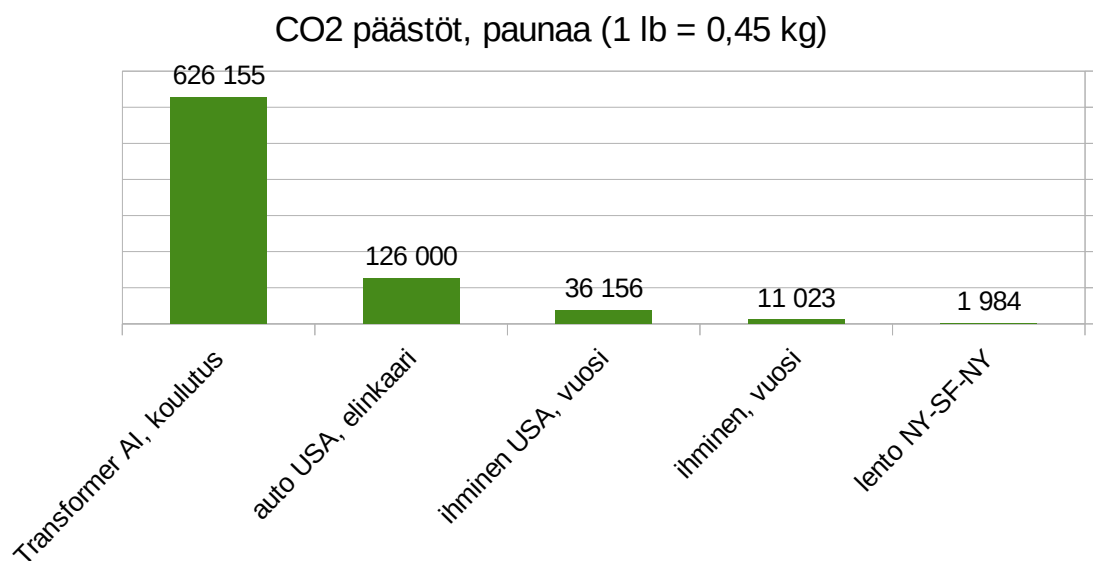
Tiedonlouhintaa harjoitetaan niin isossa kuin pienessäkin mittakaavassa. Pienen mittakaavan esimerkkinä tiedonlouhinnasta kielitieteiden puolelta toimii vuosien 1997, 2009 ja 2011 ilmastokokousten yhteydessä julkaistujen lehtiartikkeleiden⁴⁵ louhinta. Louhinnassa selvisi intialaisen lehden artikkeleissa teeman olleen useimmiten ympäristöriskit, sekä ilmastonmuutokseen vastaamisen taakanjako, kun taas yhdysvaltalaisen lehden artikkeleissa keskityttiin useimmiten taloudellisiin seikkoihin, kuten hiilipäästöjen hintaan. (Eranti & Ylä-Anttila 2017, 43–48.) Kiinassa tiedonlouhinnan avulla on tutkittu mm. polkupyörien jakamistaloutta (*Bike sharing*) suhteessa Shanghaissa syntyviin päästöihin. Tiedonlouhinnan myötä kaupungin päästömäärät ja pyörien jakaminen lomittuivat tavalla, joka vahvisti pyörien jakamisen olevan potentiaalinen keino suurkaupungin päästöjen vähentämisessä. (Zhang & Mi 2018.) Vaikka louhinta itsessään on resurssi-intensiivistä, tutkimuksen mukaan myös energiatehokkaat mobiililaitteet voivat soveltua tietyin varauksin tiedonlouhinnassa käytettäväksi (Comito & Talia 2017, 17).

Karelia AMK:n Karelia2030 – kestävä elinvoimaa! -strategiassa viitataan digitaalisuuden ja tiedolla johtamisen edelläkävijyyteen. Vaikka oppimisanalytiikkaa ei sanana mainita, voi kyseisen viittauksen tulkita tarkoittavan näiden keinojen käyttöönottoa kuluvan vuosikymmenen aikana. (Karelia AMK 2020b.) Tiedonlouhinta on nykyisen tekoälyn eräs keskeisimpiä työkaluja ja oppimisanalytiikassa tekoälyä sovelletaan jo laajassa mittakaavassa (SOLAR 2020).

45 677 artikkelia, yli 400 000 sanaa.

10.1.2 Tekoilyn kaksiteräinen miekka

Tekoilyn kouluttaminen ja operointi vaatii paljon laskentaa ja tuottaa täten myös paljon päästöjä. Transformer-syväoppimismallia hyödyntävän tekoilyn koulutuksen CO₂-päästöt voivat olla lähes 300 000 kiloa (Strubell, Ganesh & McCallum 2019, 1) (Kuvio 12).



Kuvio 12: Modernin tekoilyn koulutus vie runsaasti energiaa aiheuttaen täten myös paljon päästöjä (Strubell ym. 2019).

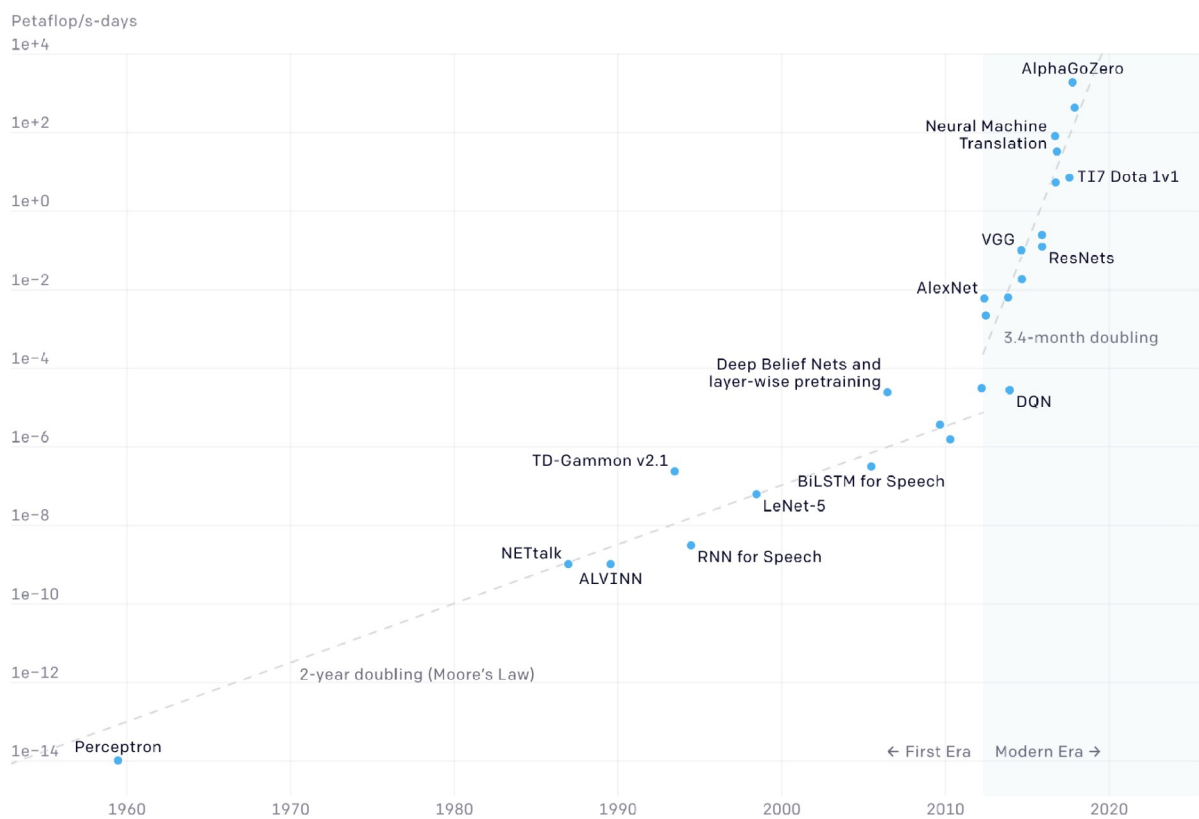
Käytännössä näin vaativaan tekoilykoulutukseen kykenevät vain suurimmat yritykset. Koneoppimiseen keskittyvän Figure Eight Inc -yrityksen pääjohtaja Lukas Biewald nostaa realistiseksi esimerkiksi vuodelta 2019 kuvantunnistukseen koulutetun tekoilyn jonka koulutus tuottaa reilut 4,5 kiloa CO₂-päästöjä.

Biewaldin mukaan tekoilyn koulutusvaihe ei ole vielä suuri ongelma, mutta voi muodostua sellaiseksi tulevaisuudessa, koska kilpajuoksussaan alan toimijat tuhlaavat resursseja tarpeettomaan koulutukseen. Sen sijaan tekoilyn varsinaiseen ajamiseen, päättelyyn eli inferenssiin⁴⁶ (*inference*), olisi hänen mukaansa kiinnitettävä huomiota.

46 Kts. esim. <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:inferenssi>

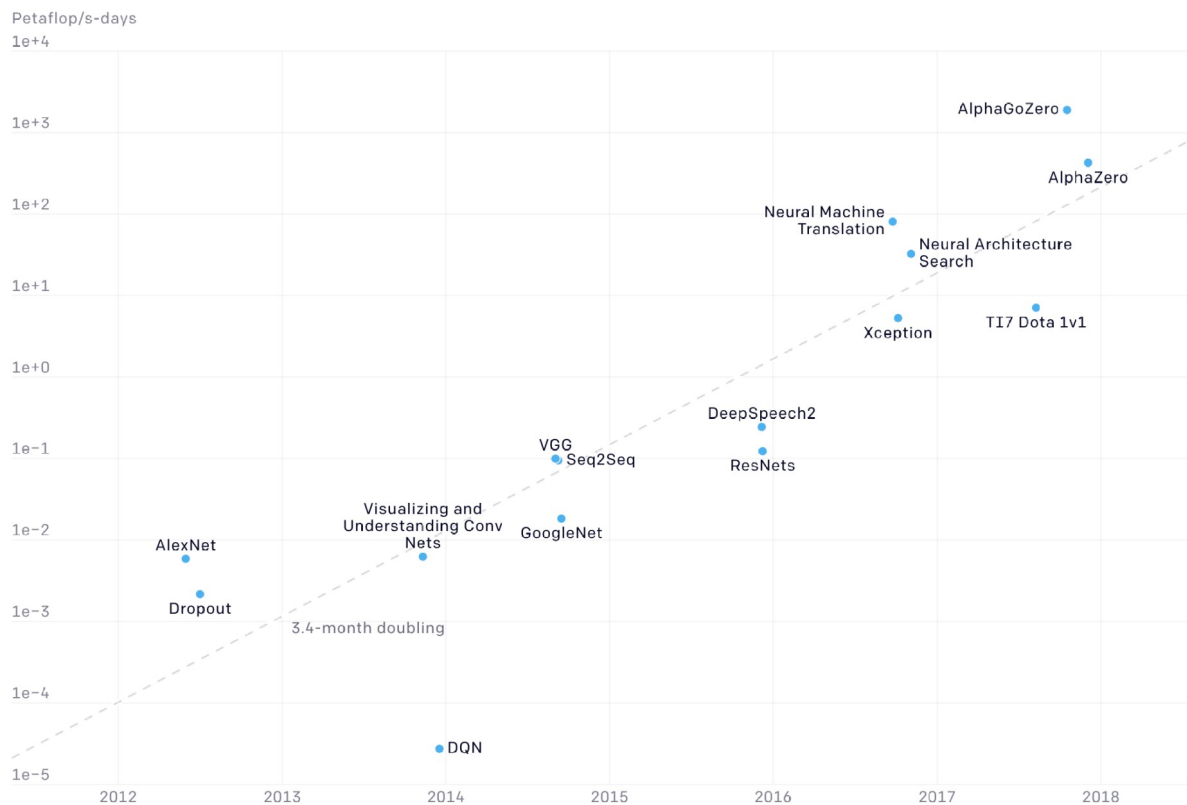
Vallalla oleva trendi syväoppimisessä on laskentatehon jatkuva nouseminen, joka voi muodostua päästöjen kannalta ongelmaksi. (Biewald 2019.)

1950-luvun lopulta vuoteen 2012 suurimpien tekoälyjen laskentatehon tarve kaksinkertaistui noin kahden vuoden välein (kuvio 13).



Kuvio 13: Tekoälyn vaatima laskentateho 1950-luvun lopulta vuoteen 2012 kaksinkertaistui kahden vuoden välein (OpenAI 2019).

Vuoden 2012 jälkeen kaksinkertaistumiseen on kulunut enää 3,4 kuukautta. Vuodesta 2012 vuoteen 2018 laskentateho 300 000 kertaistunut (kuvio 14).



Kuvio 14: Laskentatehon kaksinkertaistuminen vuodesta 2012 eteen päin on vienyt enää 3,4 kuukautta (OpenAI 2019).

Keskeinen tekijä laskentatehon kasvuun on ollut näytönohjainlaskennan yleistyminen. Ennen vuotta 2012 ei ollut yleistä käyttää GPU⁴⁷-laskentaa, mutta tämän jälkeen se on arkipäiväistynyt. Vuonna 2016 suurissa tekoälyissä saatettiin hyödyntää jo sataa GPU:ta. (OpenAI.) Biewald havainnoi artikkelissaan näytönohjainten kehityksen pysyneen vakaana ja laskentatehon noin kymmenkertaistuvan kymmenessä vuodessa, siinä missä tekoälyn laskentatehotarve kymmenkertaistuu yhdessä vuodessa (Biewald 2019). Tekoälyn GPU-laskennassa vahvasti mukana oleva näytönohjainvalmistaja

⁴⁷ Graphics Processing Unit

Nvidia arvioi vuonna 2019 tekoälyn hermoverkon kustannuksista 80–90 prosenttia syntyvän sen inferenssistä (Freund 2019). Google on kehittänyt oman Cloud TPU⁴⁸ -suorittimensa koneoppimistarpeisiin, jota se käyttää pilvipalveluissaan. Suunnittelussa tärkeässä osassa on Googlen mukaan ollut myös energiatehokkuus (Google Cloud 2020b).

Biewaldin mukaan tekoälyn koulutusvaihe on kallistunut niin paljon, että vaikka siihen laskisi mukaan hiilidioksidipäästöhyvityksen, nostaisi se loppusummaa vain 0,1 prosenttia. Suurimpana uhkana alalla Biewald näkee juuri koulutuksen kallistumisen. (Biewald 2019.) Nousevat hinnat eivät kuitenkaan näytä hidastavan tekoälymarkkinoita. Markkinat ovat vahvassa nosteessa ja tuottojen odotetaan lähes kaksikymmenkertaistuvan vuodesta 2019 vuoteen 2027 (Grand View Research 2020).

Eräs aivan uudennainen päästöongelma, jonka tekoäly muun muassa voi tuoda mukanaan liittyy itsejaviin autoihin; se ettei ihmisen itse tarvitse keskittyä ajamiseen voi innostaa ajamaan entistä enemmän ja aiheuttaa täten entistä enemmän päästöjä (University of Michigan 2019; Lee & Kockelman 2019). Suomessa tekoälyn hyödyntämistä on tutkittu esim. Työ- ja elinkeinoministeriön toimesta Tekoälyaika -ohjelman nimellä vuosina 2017–2019 (TEM 2019).

10.2 Lohkoketjut – uhka ja mahdollisuus

Ympäristön kannalta lohkoketjuissa ongelmaksi nousee dataa runsaasti kuluttava louhinta. Rärkeimmin ongelma näyttäytyy virtuaalivaluuttojen kohdalla. Esim. Bitcoinin louhimiseen vuodessa käytettävän sähkön määrä on kokoluokaltaan yksittäisten valtioiden kulutusta vastaava (Nirajan 2018). Erillisiä, virtuaalivaluuttojen louhintaan kehitettyjä päätelaitteita ja komponentteja tuodaan markkinoille (Jeffries 2014). Myös virtuaalivaluuttahuijaukset ovat arkipäivää (Hänninen 2020; Tanninen 2020).

48 Tensor Processing Unit: <https://cloud.google.com/tpu>

Virtuaalivaluuttoja voidaan pitää päästöjen osalta jo huomattavana ongelmana, sillä niiden osuus koko ICT-alan päästöistä vuonna 2019 oli 5 %. Vertailun vuoksi esim. maailman datakeskusten osuus oli 10 %. (Berners-Lee 2020, 174).

Suomalaista selvitystä lohkoketjuteknologioista löytyy esim. tulevaisuusvaliokunnan tilaamasta raportista vuodelta 2019 (Rahkola 2019).

10.3 Lisätty- ja virtuaalitodellisuus

Yhdysvaltalaisen tietoliikenne- ja verkkojärjestö ACM SIGCOMM:in järjestämän VR/AR Network '17 -konferenssin työpajapapereissa käydään läpi verkon yli simuloidun VR:n tarvitsemia bittivirtoja (kuva 5) (Mangiante, Klas, Navon, GuanHua, Ran & Silva 2017).

	VR resolution	Equivalent TV res.	Bandwidth	Latency
Early stage VR (current)	1K*1K@visual field 2D_30fps_8bit_4K	240P	25 Mbps	40 ms
Entry level VR	2K*2K@visual field 2D_30fps_8bit_8K	SD	100 Mbps	30 ms
Advanced VR	4K*4K@visual field 2D_60fps_10bit_12K	HD	400 Mbps	20 ms
Extreme VR	8K*8K@visual field 3D_120fps_12bit_24K	4K	1 Gbps (smooth play) 2.35 Gbps (interactive)	10 ms

Kuva 5: Verkon yli toteutettu virtuaalisimulaatio haukkaa runsaasti kaistaleveyttä (Mangiante ym. 2017).

Luvuista käy ilmi, että HD-tasoisien verkon yli toteutetun VR-simulaation kaistavaatimukset ovat nykyisille verkoille haasteelliset. 4G LTE mobiiliverkoissa ei päästä tarvittaviin nopeuksiin, mutta yleistymässä oleva 5G antaa lupauksia korkealaatuisesta VR:stä myös mobiilissa. AR- ja VR-ratkaisujen hiilijalanjäljestä ei löydy selkeää tutkimustietoa, mutta kuten kaistaleveysvaatimuksista VR:n kohdalla voi todeta, on datavirta itsessään todella suurta ja täten myös päästöjä kasvattavaa.

Statistan VR/AR/MR/XR-tekniologioihin liittyvän gallupin mukaan näiden todellisuutta muokkaavien laitehankintojen suosituin syy vuosina 2016–2019 on ollut pelaaminen. Vuonna 2016 toiseksi suosituin syy on ollut teveydenhoito, koulutuksen/oppimisen ollessa kolmantena. Vuonna 2019 vastanneista 30 % on hankkinut laitteistoa koulutukseen tai oppimiseen liittyen. (Tankovska 2020.) Lopullinen AR:n läpimurto viihteessä koettiin vuonna 2016, kun Nintendolta ilmestyi mobiililaitteille suunnattu AR-peli Pokemon Go. Pelin ennakkosuosio oli niin suurta, että julkaisua Japanissa siirrettiin, jotta pelin tarvitsemaa pilvi-infrastruktuuria kerittiin rakentaa riittävästi (Mills 2016).

VR:n hyötykäyttöä on tutkittu jo kauan. Stanfordin yliopistossa lähes vuosikymmen sitten tehdyssä tutkimuksessa koehenkilöt laitettiin metsämaisemaan puiden keskelle. Kokeessa henkilöiden tuli kaataa puu virtuaalimoottorisahalla. Tulokset osoittivat kokeeseen osallistuneiden käyttäneen kokeen jälkeen 20 % vähemmän paperia kuin verrokkiryhmä, jonka jäsenet oli laitettu kuvittelemaan kaatavansa puu. Tuloksista voitiin päätellä, että virtuaalinen kokemus voi vaikuttaa ihmisen valintoihin fyysisessä maailmassa. (Gorlick 2011.) Myöhemmin vuonna 2016 julkaistu Stanfordin tutkimus osoitti, että virtuaalinen merien happanemista demostroinut simulaatio aiheutti koehenkilöissä suuremman empatian tunteen, kuin verrokkiryhmässä, jossa katsottiin saman aihealueen video (Ahn, Bostick, Ogle, Nowak, McGillicuddy & Bailenson 2016).

Valistus ja tiedotus virtuaalimaailmassa voi olla vaikuttava kokemus. UNEP on kehittänyt yhdessä Sony PlayStation Dreams -alustan kanssa virtuaalisen pelimäisen hiilijalanjälkisimulaation. VR:n vahvuuksiksi nähdään mahdollisuus näyttää asiat niiden todellisessa koossa: esim. tuhansien kilojen kokoinen hiilijalanjälki. Virtuaalisen maailman kerrotaan imevän kokijan sisäänsä ja herkistävän tämän sanomalle. Äänimaailman katsotaan voivan vahvistaa emotionaalista kokemusta. Pelkkä VR:n maagisuus itsessään tuntuu riittävän; se ei tarvitse räiskintää ja hirviöitä ollakseen kiehtova. (UNEP 2020.) VR:n hyötykäyttöä ilmastonmuutostietoisuudessa on tutkittu ja tulokset ovat olleet vakuuttavia (Fauville, Muller Queiroz & Bailenson 2020). Ilmastonmuutosaiheisia projekteja on runsaasti. Esimerkiksi Tree-simulaatiossa

osanottaja on sademetsän puu ja This is Climate Change-sarjassa vierailaan eri puolilla maailmaa kokien ilmastonmuutoksen vaikutuksia (Rogers 2019). Myös Yhdistyneillä kansakunnilla on oma kestävän kehityksen tavoitteisiin kytketty UNVR (*United Nations Virtual Reality*)-hankkeensa (UNVR 2017).

AR- ja VR-ratkaisujen lupaukset opetuskäytössä ovat suuret ja esim. opinnäytteiden muodossa tutkimusta aiheista on tehty runsaasti. Karelian opinnäytteissä on vuonna 2019 tutkiskeltu esim. opetuksen ja oppimisen VR-ratkaisuja (Vepsäläinen 2019), sekä demottu leikkaussalin VR-siivousta (Hietalahti 2019). Theseuksen haulla löytyvistä opinnäytetöistä virtuaalitodellisuutta on tutkiskeltu esim. ajoneuvotekniikan insinöörikoulutuksessa (Rummukainen 2020), kirurgia-alan koulutuksissa (Salmela & Tavela 2017), sähkötekniikan koulutuksessa (Vuolasaho 2017), sekä suun terveydenhuollon koulutuksissa. VR-sovelluksia on kehitetty esim. terveydenhuollon ammattilaisille (Salovaara-Hiltunen 2018), sekä yrityksille (Skyttä & Lappalainen 2020; Pakarinen 2020). AR-ratkaisuja on tutkittu esim. konetekniikassa (Rantsi 2018), poliisitoiminnassa (Mikkonen & Pakkanen 2017), oppilaitoksen kampuksella (Haapasaari 2018) ja yrityksen myynnillisessä prosessissa (Marttila 2018).

VR:n mahdollistamissa uudenlaisissa oppimismuodoissa nähdään paljon lupausta erityisesti etäopetuksen tulevaisuuden suhteen (Babich 2019; JAMK 2020).

10.4 Esineiden internetin jatkuvat datavirrat

Esineiden internet (*Internet of Things, IoT*) on suuressa kasvussa; liikkuvan datan määrä moninkertaistuu kun yhä suurempi osa käytettävistä laitteista on kiinni verkossa. IoT-laitteita on maailmassa vajaat 11 miljardia, ja niiden määrä vastaa 46 % kaikista internetiin kytketyistä laitteista (Kemp 2020, 207). Cisco ennustaa IoT-laitteiden M2M⁴⁹-verkkoliikennekuorman olevan lähes mobiililiikenteen tasoa vuonna 2023 (Cisco 2020, 10). Älykotilaitteita oli vuonna 2017 maailmassa yhteensä 1,02 miljardia

49 Machine to Machine

ja vuonna 2030 niitä ennustetaan olevan 6,17 miljardia. Älykoteja, eli koteja joissa on älyteknologiaa, ennustetaan vuonna 2020 olevan jo yli 300 miljoonaa. (IIASA 2019, 73–74.)

Ruotsi on maailman johtava maa M2M-liittymien määrässä. Liittymiä on siellä 1,45 asukasta kohti kun vastaava luku Suomessa on 0,30. Ruotsin jälkeen eniten M2M-liittymiä on Itävallassa ja Yhdysvalloissa. (OECD 2020; Nordic-Baltic Telecom Statistics 2019 2020, 12.) M2M-liittymien SIM-kortteja Suomessa oli vuoden 2020 puolivälissä vajaat 1,7 miljoonaa (Traficom 2020a).

10.5 6G

Oulun yliopiston vuonna 2018 alkaneessa 6G-lippulaivaprojektissa hahmotellaan jo seuraavaa langattoman verkon sukupolvea. 6G:n päätavoitteiksi on asetettu muun muassa tuki teollisuudelle 5G:n viimeistelyvaiheessa ja 6G:hen siirryttäessä, 6G:n tarvitseman teknologian kehitys, sekä yhteiskunnan digitalisaation nopeuttaminen. Teknologian ydinkehitys liikkuu 10–15 vuotta teollisuusstandardien edellä. (6G Flagship 2020.)

6G ei tule olemaan pelkkä teknologinen siirtymä nopeampaan ja energiatehokkaampaan verkkoon, vaan sen suunnittelussa otetaan huomioon muun muassa YK:n kestävän kehityksen tavoitteisiin pääseminen ja erilaiset toimintaympäristöt poikkeavine verkkoteknologiavaatimuksineen. 6G:n visioidaan toimivan terahertsitaajuudella pystyen siirtämään dataa teratavasta kolmeen teratavuun sekunnissa. Energiatehokkuuden huomattava parantuminen on 6G:n onnistumisen edellytys. Kaupallinen lanseeraus on suunniteltu YK:n kestävän kehityksen tavoitteiden määräajan kanssa yhteneväiseksi vuoteen 2030. (6G Flagship 2020; Pekkinen 2020.)

10.6 Yhteiskunnan digitalisaatio – datan määrä ja laatu

Big Datan tiedonlouhinta ja koneoppimisen tekniikat käyttävät ennenäkemättömät määrät dataa ja koneresursseja. Energiatehokkuuden hyödyt saattavat olla uhattuina jos resursseja käytetään liian löyhästi. Vahvassa kasvussa oleva esineiden internet pitää datavirran päällä jatkuvasti. YK:n kestävän kehityksen tavoitteiden huomioon ottaminen 6G:n hahmottelussa voi auttaa myös hiilipäästöjen vähentämisessä.

11 Koronapandemian 2020 vaikutus internetiin

11.1 Kevät ja kesä – nopeita muutoksia

Pandemian alkuvaiheessa maailmanlaajuinen internetliikenne nousi välittömästi 25–35 % (Bienkowski 2020). Yhdysvaltalainen verkkolaitteyritys Sandvine, joka seuraa kiinteiden kuluttajaverkkoliittymien liikennettä maailmanlaajuisesti järjesti toukokuussa 2020 webinaarin ja julkaisi raportin Covid-19-pandemian ensikuukausien vaikutuksista internetin käyttöön (Sandvine 2020).

Sandvinen raportin mukaan Youtube haukkasi koronakeväänä lähes 16 % ja Netflix yli 11 % kaikesta kiinteästä verkkoliikenteestä. Kyseisenä ajanjaksona ko. palvelut alkoivat rajoittaa toistettavan videon laatua. Jollei videoiden laatua olisi rajoitettu, olisivat prosenttiosuudet vieläkin suurempia. Verkkopelaaminen lähes kaksinkertaistui vuoden takaisesta nouston neljään prosenttiin. (Sandvine 2020, 7).

Sandvinen raportissa suosituimmat mobiiliverkon sovellukset keväällä 2020 olivat Youtube, joka vei lähes 20 % liikenteestä, Instagram lähes 7 prosentilla ja Netflix

vajaalla 7 prosentilla. Laskua Youtuben osalta vuoden takaiseen oli 5 %, jonka arvellaan johtuvan kiinteiden liittymien suuremmasta käytöstä⁵⁰. (Sandvine 2020, 11).

Ruotsalainen televerkkoyhtiöanalytiikkaan erikoistunut Tefficient käy teollisuusanalyysissään läpi vuoden 2020 ensimmäisen puolikkaan lukuja maailman mobiilioperaattoreiden osalta. Mobiiliverkon kokonaisdatan kasvu oli suurinta kiinalaisella China Mobilella (41 140 petatavua). CM on maailman suurin operaattori ja sillä on lähes miljardi mobiiliasiakasliittymää. 70 miljoonaa näistä liittymistä on 5G-liittymiä. Yrityksen kokonaisliikenne kasvoi 38 %, joka on prosentuaalisesti kuitenkin vähemmän kuin kasvu vuotta aiemmin. Toiseksi suurimmat datamäärät liikkuivat intialaisen Jion verkossa (27 040 Pt). Jiolla on lähes 400 miljoonaa intialaista asiakasliittymää. Sijat 3 ja 4 ovat jälleen kiinalaisia operaattoreita ja sijat 5 ja 6 intialaisia. (Tefficient 2020, 11–12.)

Euroopan suurin operaattori on Vodafone Italia, hieman yli tuhannen petatavun datamäärällä. Suomalaisista operaattoreista suurin on Elisa (sijalla 10), jonka datamäärä on yli 600 Pt, DNA:n (sijalla 15) yli 500 Pt. Telian tietoja vuodelta 2020 ei ole vielä saatavilla, mutta vuonna 2019 se on jäänyt datan määrässä selvästi Elisaa ja DNA:ta pienemmäksi. (Tefficient 2020, 13.)

Nopeinta mobiiliverkkoliikenteen kasvu on ollut Pakistanissa (+119 %), Filippiineillä, Sri Lankassa ja Nepalissa (+82 %) (Tefficient 2020, 15). Kokonaisuudessaan Vuoden 2020 ensimmäisen puoliskon aikana mobiilioperaattorit maailmanlaajuisesti käsittelivät 40 % enemmän dataa kuin vuotta aiemmin (Tefficient 2020, 29).

Kasvaneesta verkkoliikenteestä huolimatta kokonaisenergian käyttö maailmassa laski kevään aikana 3,8 % vuoden takaiseen verrattuna. Syynä tähän oli muun ekonomisen toiminnan ja liikkuvuuden hidastuminen koronapandemian seurauksena. (IEA 2020b, Energy demand).

50 Ihmiset käyttävät enemmän kiinteitä kotiverkkoja sosiaalisen eristäytymisen aikana.

11.2 Syksy – uusi normaali

Yhdysvaltalaisen konsulttiyritys MacKinsey & Companyn tekemän kyselytutkimuksen mukaan koronapandemia kiihdytti yritysten ja teollisuuden digitalisaatiota parissa kuukaudessa vuosien tai jopa vuosikymmenen edestä ja suuri osa tapahtuneista muutoksista nähdään pysyvinä (McKinsey & Company 2020). Samaa kertoo myös Gartnerin kysely talousjohtajille, jonka mukaan tärkeinä nähtyihin, mutta myös vaikeina pidettäviin digitalisaation kehittämistoimiin aiotaan käyttää enemmän resursseja kuin ennen koronaa (Gartner 2020e).

Yhdysvaltalaisen henkilöllisyys- ja pääsynhallintaohjelmistoyritys ForgeRockin teettämän kyselyn⁵¹ mukaan ihmisten suhtautuminen verkossa toimimiseen on muuttunut merkittävästi. 45 % kuluttajista aikoo käyttää digitaalisia palveluita pandemian jälkeen enemmän kuin sitä ennen. 33 % prosenttia 18–14-vuotiaista ei aio enää palata urheilutapahtumiin, teattereihin tai konsertteihin vaan seurata tapahtumia verkon kautta. 65-vuotiaista ja sitä vanhemmista 31 % ei aio enää palata perinteiseen kivijalkakaupassa käyntiin vaan pyrkiä tekemään ostoksensa verkossa myös pandemian jälkeen. (ForgeRock 2020, 2.)

Koronan vaikutus IT-markkinoihin kokonaisuudessaan on ollut laskeva ja Gartner ennustaakin vuoden 2020 kulutuksen laskevan 7,3 % edellisvuodesta (Gartner 2020f) siitäkin huolimatta, että vuoden toisen kolmanneksen aikana PC-markkinat kasvoivat lähes 3% (Gartner 2020g).

TeleGeographyn arvion mukaan koronan vaikutus verkkojen kapasiteetin kasvuun vuoden 2020 aikana on ollut noin +8 % ja verkkoliikenteen määrään noin +47 %. Liikennemäärä on siis kasvanut kapasiteettia enemmän. Vastatakseen kasvuun

51 5 000 kuluttajaa Yhdysvalloista, Iso-Britanniasta, Saksasta, Australiasta ja singaporesta.

teleoperaattorit ovat ostaneet kansallista ja kansainvälistä kapasiteettia. Myös kaikkein suurimpien globaalien toimijoiden on täytynyt turvautua kansainväliseen lisäkapasiteettiin tilanteesta selvitäkseen. (Mauldin 2020.)

12 Tutkimusmenetelmät

12.1 Menetelmälliset valinnat

Työssäni käytetystä menetelmäkirjallisuudesta keskeisin on Robert E. Stake'n tapaustutkimusta käsittelevä teos *The art of case study research: Perspectives on practice* vuodelta 1995. Toinen keskeinen teos on NK. Denzinin *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (2. laitos) vuodelta 1978. Molemmat teokset käsittelevät tapaustutkimusta sosiologian näkökulmasta ollen kuitenkin eri tutkimusaloille sovellettavissa. Kontekstijaottelun osalta otin mukaan myös Andrew M. Pettigrewin ajatuksen ulkoisesta ja sisäisestä kontekstista, jota hän käsittelee artikkelissaan *What is a processual analysis?* *Scandinavian Journal of Management* -julkaisussa vuodelta 1997. Artikkelin käsittelee prosessitutkimusta organisaatioympäristössä, mutta on hyvin sovellettavissa. (Stake 1995; Denzin 1978; Pettigrew 1997.)

Työni on muodoltaan välineellinen tapaustutkimus (*instrumental case study*) (Stake 1995, 3), jossa käytetään triangulaatiota (Denzin 1978, 28–33, 294–307). Triangulaatiota työssäni esiintyy aineistotriangulaationa (*data triangulation*) sekä menetelmätriangulaationa (*methodological triangulation*) (Denzin 1978, 294–304). Työssäni käytetään kontekstijaottelua Pettigrewiä (1997, 340–341) ja Stakea (1995, 63–64) mukailleen.

Ennen työn aloittamista oli vahva oletus, että yksittäisen opettajan vaikutusmahdollisuudet yksittäisen kurssin hiilijalanjäljen pienentämiseen ovat varsin rajalliset. Tutkimukselle oli opinnäytetyön viitekehtyksen kannalta oleellista löytää tekijä, joka sitoisi sen aikaan ja paikkaan, mutta joka ei rajoittaisi liiaksi aiheen kokonaisvaltaista tutkimista. Tässä kirjoittajan oma etätutkinto ja Karelia AMK:n Tietojenkäsittelyn koulutus tulivat kuvaan mukaan. Karelia AMK:n tietojenkäsittelyn tradenomitutkinto on etätutkinto, joten sen kurssitarjonta antoi tutkimukselle hyvän instrumentaalisen tapaustutkimuksen aiheen. Oleellisessa osassa oli runsas videosisältö, eli tuntitallenteet. Jo tässä vaiheessa oli selvää, että videosisältö on oleellisessa osassa nykyinternetin hiilikuorman muodostumisessa.

Koska työn tietoperusta ja kurssien tarkastelu tulisivat koostumaan erilaisista tutkimusmenetelmistä, havaittiin työssä tulevan esiintymään **triangulaatiota**. Denzigin (1978, 294) määrittelyn mukaan suunniteltu triangulaatio, eli useiden tutkimusmetodien käyttö, auttaa tutkijaa nousemaan henkilökohtaisten ennakkoasenteiden ja taipumusten yläpuolelle. Tietoperustan tieto on valtaosin ulkopuolisista lähteistä koostettu kuvaus ja kurssitoteutusten analyysi ja tulkinta, sekä opettajille järjestetty kysely kirjoittajan omaa ensikäden tutkimusta. Näiltä osin työssä käytetään **menetelmätriangulaatiota**. Denzin (1978, 301–304) jakaa menetelmätriangulaation kahteen erilaiseen muotoon. Ensimmäinen muodoista on vapaasti kääntäen sisäinen metodi (*within-method*), jossa samaa asiaa mitataan samalla metodilla, mutta monelta eri kantilta: esim. kyselytutkimuksessa esitetään useampi kysymys samaa asiaa, empiiristä yksikköä, mitaten. Toinen muodoista on vapaasti suomentaen väli- tai poikkinainen-metodi (*between-method* tai *across-method*), jossa samaa asiaa mitataan toisistaan poikkeavilla menetelmillä. Ajatuksena on, että yhden mentelmän heikkoudet ovat usein toisen menetelmän vahvuuksia. Mitä enemmän erilaisia metodeja yhden empiirisen yksikön mittaamiseen käytetään, sitä luotettavampi on saatu tulos. Denzin pitää *between*-metodia parempana tutkimustapana (Denzin 1978, 302). Opinnäytteen laajuus ja aikataululliset resurssit huomioon ottaen päädyttiin työssä käyttämään *within*-metodia.

Aineistotriangulaatiota esiintyy työssä tietoperustan kirjallisten lähteiden, kurssitarkastelun kurssitoteutusten ja haastatteluvastausten muodossa. Denzig (1978,

295–296) jakaa aineistotriangulaation kolmeen alatyyppeihin: **aikaan**, **paikkaan** ja **henkilöön**. Aika-tyypin aineistoa työssä edustaa tietopohjan lähteet, joissa esitetään esim. päästölaskelmia. Teknologinen kehitys muuttaa esim. laitteiden energiatehokkuutta niin, että päästölaskelmat elävät ajassa. Muutaman vuoden takainen laskelma voi näyttäytyä tämän päivän valossa vanhentuneelta. Paikka-tyyppiä esiintyy tietotyypin aineistoissa, joissa käsitellään maantieteellisesti eri paikkoja, esim. sähköntuotannon päästöjä eri maissa. Henkilö-tyyppiä esiintyy esim. tietopohjassa tutkijan henkilökohtaista kokemusta tulostimen suunnittelusta vanhentumisesta esiteltäessä. Usein samassa aineistossa esiintyy useampaa alatyyppejä rinnakkain.

Työn kontekstijaottelu pohjaa Staken issue-käsitteeseen, lisäten siihen Pettigrewiltä ulkoisen ja sisäisen kontekstin jaottelun. Pettigrewin määritelmässä (Pettigreg 1997, 340) **ulkoinen konteksti** (*outer context*) kattaa ekonomiset, sosiaaliset, poliittiset, kilpailulliset ja alakohtaiset ympäristöt. **Sisäinen konteksti** (*inner context*) kattaa [yhtiön] rakenteelliset, kulttuuriset ja poliittiset ympäristöt, jotka yhdessä ulomman kontekstin kanssa muokkaavat tarkasteltavan prosessin ominaisuuksia. Kontekstiin sidottua prosessia voidaan Pettigrewin mukaan tutkia vain ottaen huomioon nämä kontekstivaikutukset. (Pettigreg 1997, 340.)

Tässä työssä on määritelty yksi ulompi konteksti, sekä kaksi sisäkkäistä sisempää kontekstia. Opinnäytteen ulkoinen konteksti on **yhteiskunnan digitalisaatio**, johon on sidoksissa tutkimuskysymys 1. Millaiset tekijät vaikuttavat digitalisaation hiilijalanjälkeen? Ensimmäinen sisäinen konteksti on **organisaation Karelia-Moodle-kurssialusta**, johon ovat sidoksissa tutkimuskysymykset 2. Kuinka yksittäinen opettaja voi, jos voi, pienentää kurssitoteutuksen hiilijalanjälkeä? ja 3. Kuinka suuri hiilijalanjälki Karelia-Moodle-kursseilla on? Toinen sisäinen konteksti on **opettajan kurssitoteutus Karelia-Moodle-kurssialustalla**, johon sitoutuu tutkimuskysymys 4. Mitä tallennealustoja opettajien kannattaisi suosia? Kontekstijaottelua käytettiin työssä issueita ja tutkimuskysymyksiä tukevana mekanismina, joten raporttitekstissä konteksteihin ei laajemmassa mittakaavassa viitata.

12.2 Huomioita tutkimusaineistoista ja uutisoinnista

Aihealueen tutkimusraporteissa on runsaasti ristiriitaisuuksia ja vanhentunutta tietoa, joten luotettavimman tiedon löytäminen ja kokonaiskuvan luominen on haasteellista. Alan tutkimustieto vanhenee nopeasti, sillä teknologisen kehityksen myötä esim. päästöjen muodostumislogiikka ja määrä on jatkuvassa muutoksessa.

Kesällä 2019 keskustelua perinteisessä ja sosiaalisessa mediassa aiheutti uutisointi suoratoistovideon ympäristökuormittavuudesta. Suomessa Ylen alkuperäinen uutinen⁵² käytti laskelmia⁵³, joita pidetään nykyteknologian valossa vanhentuneina (Laakso & Terävä 2019). Yle kuitenkin korjasi artikkelissaan esiintyneet virheelliseen laskelmat nopeasti (Laakso & Terävä 2019). Maailmalla keskustelua käytiin ranskalaisen The Shift Projectin raportoinnin⁵⁴ tuloksista ja virheellisestä uutisoinnista⁵⁵. Sen tutkimustuloksia kyseenalaistettiin ja ruodittiin esim. International Energy Agencyn toimesta (Kamiya 2020). The Shift Project myös vastasi artikkeliin omine vastaargumentteineen (Efoui Hess & Geist 2020). Samanlainen tapaus oli myös luvussa 9.2 käsitelty sähköpostiuutisointi.

Hiilijalanjälkeä määriteltäessä ollaan aina tekemisissä karkeiden arvioiden kanssa (Berners-Lee 2020, 7 - 14), joten uutisotsikoissa usein tehokeinoina käytetyt luvut ja vertaukset voivat johtaa harmaan. Oleellisinta uutisia lukiessa on pyrkiä hahmottamaan asioiden mittasuhteet (Berners-Lee 2020).

52 Ylen alkuperäisen uutisen otsikko 26.6. (Erma 2019a) ja oikaistu artikkeli 1.7. (Laakso & Terävä 2019)

53 ClimatCare (ClimateCare 2015)

54 The Shift Project 2019a

55 Yksittäisessä suullisessa haastattelussa sattunut virhe (Efoui Hess & Geist 2020, 2), jossa bitit ja tavut olivat menneet sekaisin, aivat kuten esim. Kaj Laaksonen Maaliskuun 2020 Mikrobotissä arveli (Laaksonen 2020b).

13 Karelia-Moodle ja Karelia Tikon seitsemän kurssitoteutusta

13.1 Toimintaympäristö

Karelia AMK:n etäopetuksen alusta Karelia-Moodle⁵⁶ on isobritannialaisen Learning Technologies Groupin, LTG:n⁵⁷, tarjoama, Open LMS:ään⁵⁸ pohjautuva palvelu (Karelia AMK 2020b; LTG 2020). Open LMS (*learning management system*) on maailman suurin Moodleen⁵⁹ pohjautuva oppimisen hallintajärjestelmien tarjoaja (Open LMS 2020a). Karelia-Moodle-palvelun tarjoaja LTG osti Open LMS:n yhdysvaltalaiselta Blackboard Inciltä⁶⁰ maaliskuussa 2020 (LTG 2020). Jatkossa puhutaankin vain yksinkertaisesti Karelia-Moodlesta, joka pohjautuu Open LMS:ään.

Reaaliaikainen etäopetus ja tuntien tallenteet toteutetaan Blackboard Collaborate⁶¹ -palvelussa (Karelia AMK 2020b). Kaikki EU-alueen Collaborate-tallenteet säilytetään Amazon S3⁶² AWS⁶³ -pilvipalvelimilla Irlannissa (Blackboard Inc 2018). Myös Open LMS käyttää AWS-pilvipalvelua, mutta tarkempaa erittelyä esim. siitä, missä datakeskussijainneissa tietoja säilytetään, ei yhtiön sivustolta löydy (Open LMS). Karelialla on käytössään Microsoft Office 365 -palvelut⁶⁴, johon kuuluu esim. työ sähköpostilaatikko. Tarkasteltavista kurseista yhdessä käytetään myös Microsoft Azure -pilvipalveluympäristöä⁶⁵.

56 <https://moodle.karelia.fi/>

57 <https://www.ltgplc.com/>

58 <https://www.openlms.net/>

59 <https://moodle.com/>

60 <https://www.blackboard.com/en-eu>

61 <https://www.blackboard.com/en-eu/teaching-learning/collaboration-web-conferencing/blackboard-collaborate>

62 Amazon Simple Storage Service: <https://aws.amazon.com/s3/>

63 Amazon Web Services: <https://aws.amazon.com/>

64 <https://www.office.com/>

65 <https://azure.microsoft.com>

13.2 Toimintaympäristön toiminta ja tekniset ratkaisut

Kun vanha Moodle-kurssitoteutus on valmis poistettavaksi, merkitsee kurssin opettajan merkinnällä ”saa poistaa”, jolloin tietohallinto poistaa toteutuksen palvelusta (Nevalainen 2020a). Huomionarvoista on, että vaikka kurssin Moodle-toteutus poistetaan, kursseilla syntyneet Collaborate-tallenteet eivät häviä, ellei niitä ole erikseen yksitellen poistettu (Blackboard Inc 2018). Vaikka tallenteen poistaa itse Collaboratesta, jää se yhä AWS-pilvipalvelimelle. Jos tallenteen haluaa poistaa pysyvästi myös pilvestä, on se tehtävä poistopyyntönä Behind the Blackboard -palvelussa. (Blackboard Inc 2018.)

Karelian tietohallinto on koettanut selvittää loka-marraskuussa 2020 Blackboardilta, kuinka kauan sovelluksen kautta poistetut tallenteet säilyvät pilvipalvelimella. Vastaukseksi on saatu, että niitä ei poisteta. (Juntunen 2020.) Myös Blackboardin Collaborate-ohjesivustolla ilmoitetaan ylimalkaisesti, että tallenteiden säilytysaikaa Collaboratessa ei tällä hetkellä rajoiteta mitenkään (Blackboard Inc 2020a). On siis oletettava, että lopullisesti tallenteen saa pois vain Behind the Blackboard -palvelupyynnön kautta.

Marraskuun 2020 lopussa Karelian Tietohallinto on koettanut poistaa vanhoja kurssitoteutuksia, mutta poiston kanssa on ilmennyt määrittelemättömiä ongelmia. Samassa yhteydessä selvisi, että ainakin neljän vuoden ajalta kaikkien kurssien tallenteet ovat yhä pilvessä osana Karelian ostamaa tallennuskiintiötä. (Nevalainen 2020b.) Collaborate-palvelun kautta poistetut, mutta yhä AWS-pilveen jäävät tallenteet sen sijaan eivät kuluta oppilaitoksen tallennuskiintiötä (Juntunen 2020; Blackboard Inc 2018).

Collaboraten tallenteet pakataan AVC/H.264-koodekilla⁶⁶ MP4-kääreeseen⁶⁷. Pakkautuvuus ja videotiedoston lopullinen koko ovat riippuvaisia mm. session

⁶⁶ AVC, H.264 ja MPEG-4 Part 10 tarkoittavat kaikki samaa koodekkaa.

⁶⁷ .mp4 päätteiseksi tiedostoksi

pituudesta ja sen aikana ruudulla jaetun materiaalin määrästä, eli jaetuista tiedostoista, valkotauluista, kameroista, mikrofoneista jne. (Blackboard Inc 2020a.)

Collaboraten kaistaleveysvaatimukset ovat hyvin maltilliset. Äänen jakamisen kerrotaan vievän 48 kb/s, jaetun kameran 20–360 kb/s ja jaetun sovelluksen 70–500 kb/s. Ääntä ja jaettua sisältöä voi pystyä vastaanottamaan ilman ongelmia vielä niinkin alhaisella bittivirralla kuin 88 kb/s. Neljä aktiivista kameraa ja mikrofonia yhtä aikaa toistettuna vaatii kaistaleveyttä 128–1 488 kb/s. (Blackboard Inc 2020b.)

13.3 Menetelmät

13.3.1 Kurssitoteutukset

Seitsemän tarkasteltavan Karelia-Moodle-kurssin kuvaukset ja oppimistavoitteet löytyvät liitteestä 1. Tarkasteluun valikoituneet kurssit valittiin yhdessä opinnäytteen tekijän, toimeksiantajan edustajan, sekä ohjaavan opettajan kanssa. Tarkasteluun pyrittiin saamaan riittävästi toisistaan poikkeavia kursseja ja mukaan haluttiin ainakin ohjelmointikurssi, kielten kurssi, viestintäkurssi, projektikurssi ja jokin peliohjelmoinnin kurssi. Tutkiskeltavien kurssien määrää ei oltu ennalta päätetty, mutta lopulta niitä kertyi seitsemän kappaletta. Kurseilla oli yhteensä viisi eri opettajaa.

Kaikista toteutuksista valittiin yksittäisiä tallenteita, jotka ladattiin palveluista kokonaisina videotiedostoina tekijän kovalevyille tarkempaa analyysia varten, sekä tallenteita, joiden oleelliset tekniset ominaisuudet kirjattiin ylös ilman tiedostojen täyttä lataamista. Tutkittavien kurssien ja niiden tallenteiden määrä oli kokoluokaltaan kohtalaisen pieni, niin ettei automatisoinnin rakentaminen ollut tässä yhteydessä perusteltua⁶⁸. Tallenteet tutkittiin manuaalisesti.

68 Eikä myöskään opinnäytteen kehyksessä mahdollista.

13.3.2 Valikoitujen tallennetiedostojen tekninen analyysi

Tallennetiedostoista valikoitiin satunnainen otos lähempään tarkasteluun aistinvaraisesti seuraavin kriteerein:

1. Tallenteessa on runsaasti liikkuvaa kuvaa ja/tai jaettua sisältöä
2. Tallenteessa on vähän tai ei ollenkaan liikkuvaa kuvaa ja/tai jaettua sisältöä
3. Tallenteessa on enimmäkseen staattista kuvaa (esim. luentokalvot)
4. Tallenne on pitkä
5. Tallenne on lyhyt

Valikoima sisälsi otoksia kaikilta kursseilta ja kaikista eri tallennusaloista ja sen tarkoituksena oli saada kattava käsitys tallenteiden pituuden, koon ja sisällön vaikutuksesta tiedoston kokoon.

Tallenteet ladattiin Collaboraten kautta Chrome-selaimessa silloin, kun lataaminen oli asetettu mahdolliseksi, muutoin käytettiin Simple mass downloader v0.831 -selainlaajennusta/liitännäistä⁶⁹. Videotiedostot analysoitiin MediaInfo v18.08.1 -ohjelmalla⁷⁰. Youtube-videoiden lataamiseen käytettiin JDownloader 2 -ohjelmaa (Build Date: Fri Nov 13 20:41:01 CET 2020)⁷¹ Tallenteiden tarkemmat työn kannalta oleelliset tekniset tiedot löytyvät liitteestä 2.

69 <https://chrome.google.com/webstore/detail/simple-mass-downloader/abdkkegmcbiomijcbdaodaflgehffed/related>

70 <https://mediaarea.net/en/MediaInfo>

71 <https://jdownloader.org/home>

13.3.3 Tallenteiden yleisanalyysi

Tallenteet joita ei ladattu analysoitiin seuraavasti:

- Collaborate-tallenteiden pituus kirjattiin ylös Collaborate-sivustolta tallennelinkin kautta. Tallenteen koko kirjattiin ylös Simple mass downloader -liitännäisen latauslistalta.
- Moodle-tallenteiden pituudet ja koot kirjattiin ylös suoraan tiedostoista.
- Onedrive-tallenteiden pituus kirjattiin ylös videolinkki avaamalla ja tiedoston koko sivun info-tietoruudun kautta.
- Youtube-tallenteiden pituus kirjattiin ylös Youtube-sivustolta videon linkin kautta. Tallenteen koko kirjattiin ylös JDownloader 2 -ohjelman latauslistalta.

Tallenteiden tiedoissa kestot on pyöristetty lähimpään minuuttiin ja koot lähimpään megatavuun.

13.3.4 Kyselytutkimus Tikon opettajille

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelman opettajille järjestettiin kysely Microsoft Forms⁷² -palvelun kautta. Kyselyssä oli kuusi kysymystä koskien yleistä tietoisuutta digitalisoituneiden palveluiden ympäristövaikutuksista, vanhentuneiden Moodlekurssien säilytytyskäytänteitä, sekä sähköpostilaatikon puhdistusta vanhoista viesteistä. Kysely lähetettiin kaikille neljälletoista Tikon opettajalle ja vastausaikaa annettiin kaksi viikkoa. Vastaukset käytiin läpi manuaalisesti. Opettajille lähetetty sähköposti löytyy liitteestä 3 ja kyselyn kysymyspohja liitteestä 4.

72 <https://forms.office.com/>

14 Analyysi ja tulokset

14.1 Käytetyt video- ja äänikoodekit

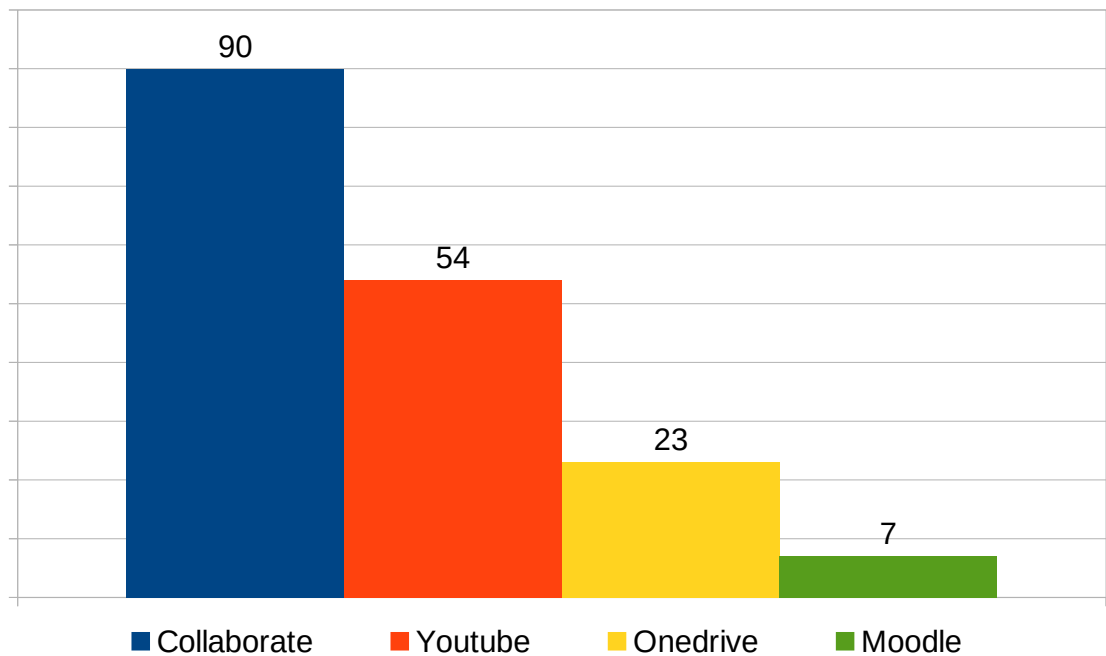
Kaikille tallenteille yhteistä olivat käytetyt video- ja ääni-koodekit (liite 2). Videokoodekkina tallenteissa käytetään AVC/H.264:sta (*Advanced Video Coding*). AVC/H.264 on kaupallisessa käytössä lisenssimaksullinen videonpakkausstandardi, jonka oikeuksia hallinnoi MPEG LA -organisaatio (MPEG LA 2020). AVC/H.264 on suosituin internetissä käytetty videon pakkausmuoto. Vuonna 2010 sen kerrottiin olevan käytössä 66 prosentissa kaupallisten toimijoiden videoista ja vuonna 2018 jo 82 prosentissa verkkopalveluiden ja julkaisijoiden videoista. (Schonfeld 2010; Liu 2020.)

Äänikoodekkina tallenteissa on käytössä AAC (*Advanced Audio Coding*), joka on MP3:n seuraajaksi kehitetty äänenpakkauskoodekki. Se on äänenpakkaus- ja purku-tuotteille lisenssimaksullinen standardi, jonka lisensointia hallinnoi Via Licensing-yhtiö (Via Licensing 2020). AAC on käytössä eri versioinaan esim. Applen tuotteissa (Apple 2019b).

14.2 Materiaali kokonaisuudessaan Karelia-Moodlessa

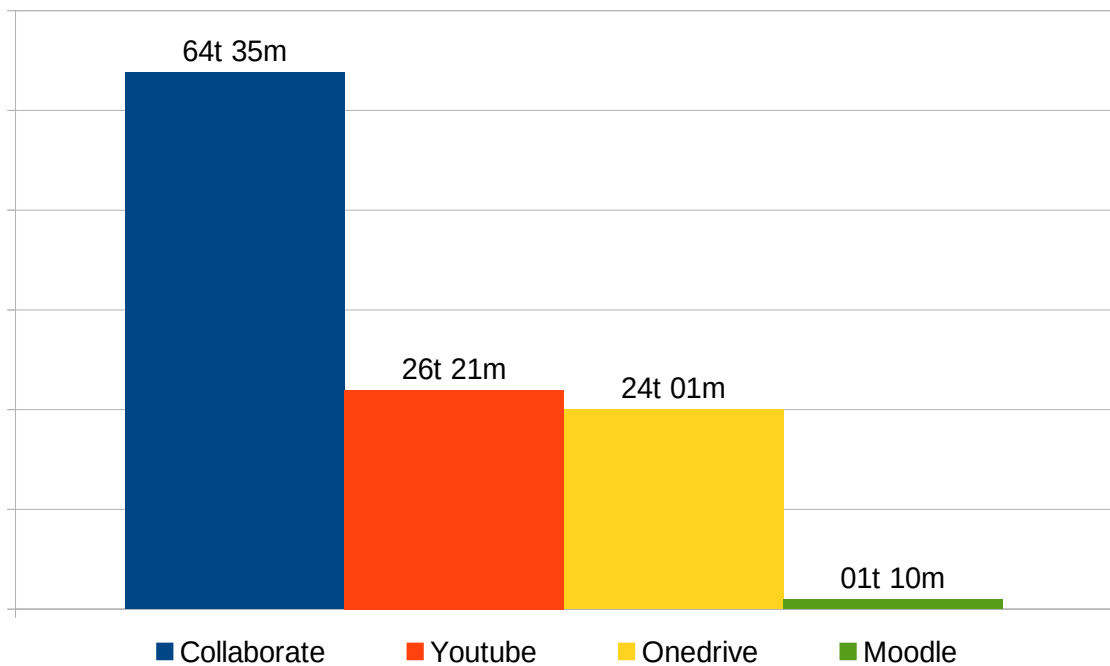
Kurssitoteutusten tallenteista suurin osa oli Collaborate-tallenteita. Tämä päti niin kappalemäärän, tuntien, kuin kokonsakin puolesta (kuvio 15, 16 & 17).

Tallenteita yhteensä, kappaletta



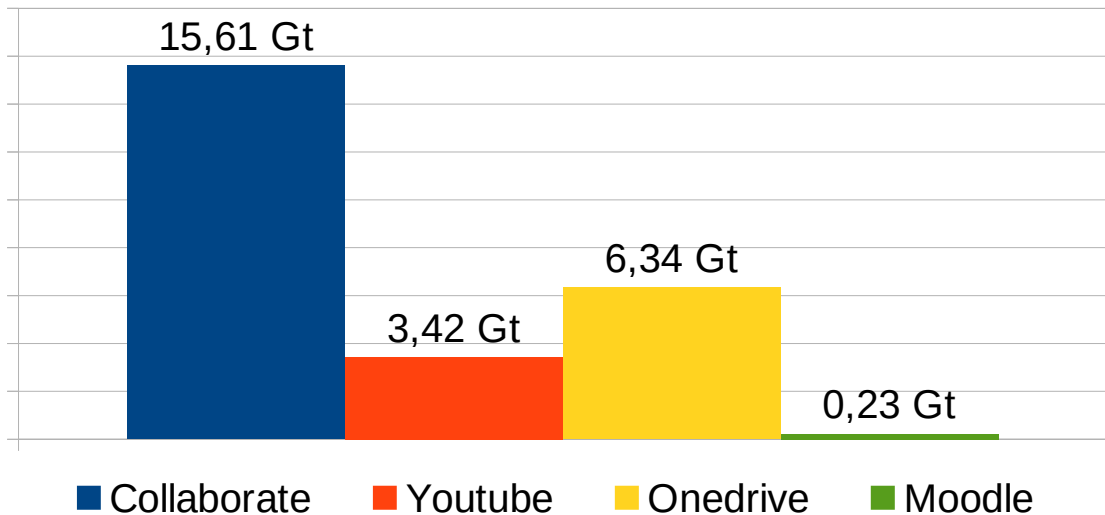
Kuvio 15: Selvästi eniten tallenteita oli Collaboratessa.

Tallenteita yhteensä, tuntia ja minuuttia



Kuvio 16: Tuntimääräisesti ero oli Collaboraten hyväksi vielä selkeämpi.

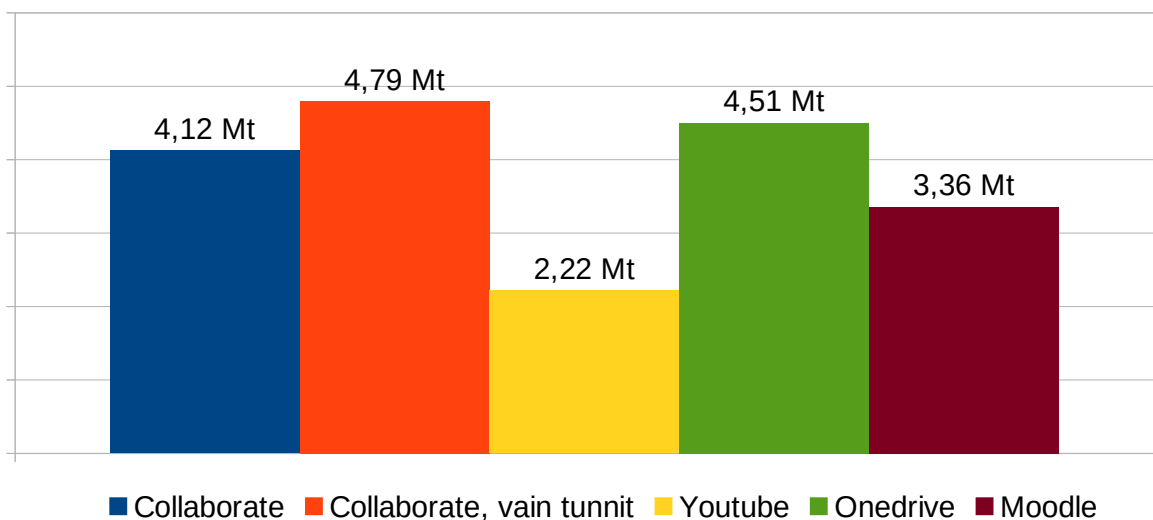
Tallenteita yhteensä, gigatavua



Kuvio 17: Myös kokonsa puolesta Collaborate-tallenteet veivät suurimman tilan.

Tallenteiden keskimääräisessä koossa, megatavua minuutissa, havaittiin selvä ero Youtuben ja muiden alustojen välillä (kuvio 18).

Tallenteen keskimääräinen koko, megatavua/minuutti



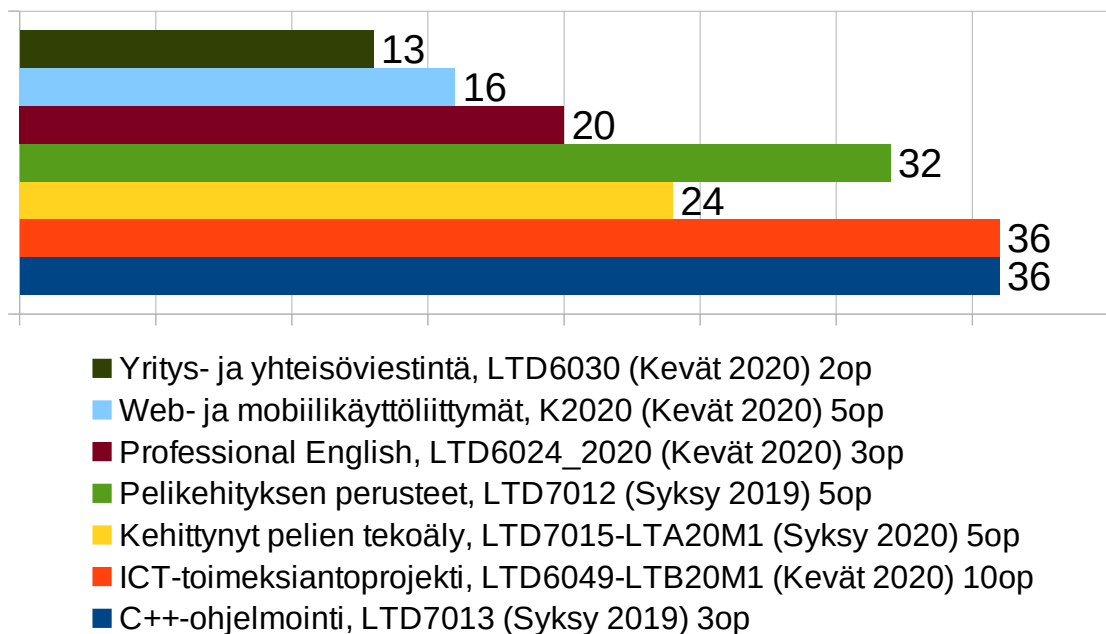
Kuvio 18: Youtube-tallenteiden keskimääräinen koko jäi alhaisimmaksi. Collaborate on tässä tarkastelussa jaettu kahteen eri kategoriaan.

Collaborate jaettiin tässä tarkastelussa kahteen osaan: vain tunnit (oranssi) ja kaikki yhteensä (sininen). ICT-projektikurssilla oli huomattava määrä yksittäisten oppilaitten, sekä yhden projektiryhmän tallenteita, joista varsinkin projektiryhmätallenteet erosivat sisällöltään suuresti keskimääräisistä tallenteista, niiden bittivirran ollessa keskimäärin muita tallenteita alhaisempi. Tästä syystä ”vain tunnit” arvosarjan voi tulkita olevan lähempänä perinteistä oppituntikeskiarvoa.

14.3 Yksittäiset kurssit Karelia-Moodlessa

Kolmella kurssista tallenteita oli yli 30 kappaletta, pienimmän tallennemäärän oltua 13 (kuvio 19).

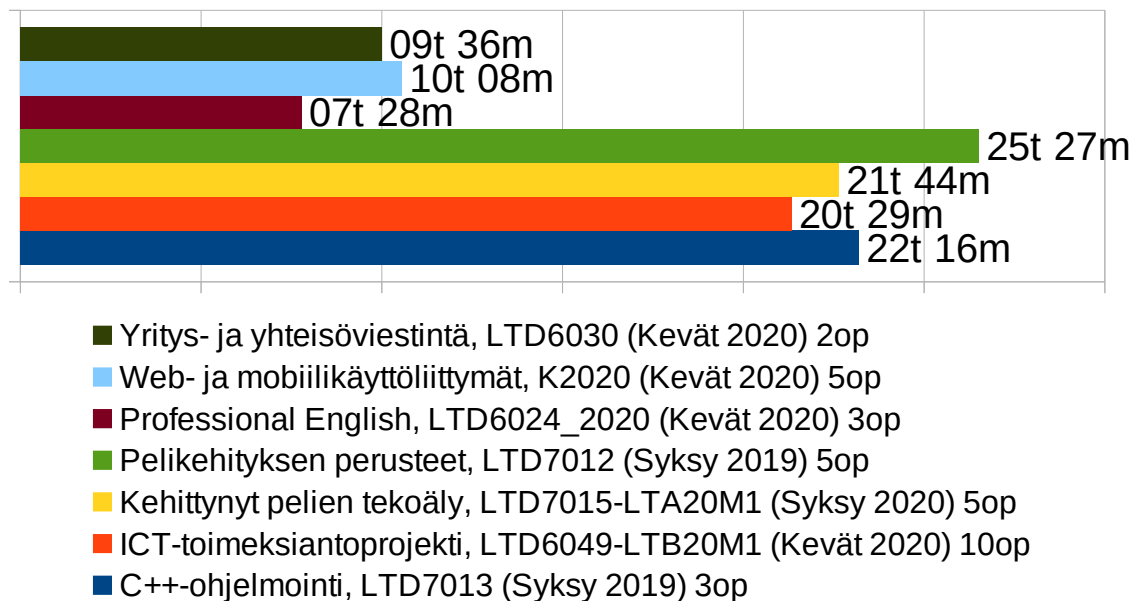
Tallenteita kurssilla, kappaletta



Kuvio 19: Tallenteiden määrä kurseilla vaihteli suuresti.

Tuntimäärältään tallenteissa oli vielä suurempia kurssikohtaisia eroja. Yli 20 tunnin kursseja oli neljä kolmen lopun jäädessä lähelle kymmentä tuntia (kuvio 20).

Tallenteita kurssilla, tuntia ja minuuttia

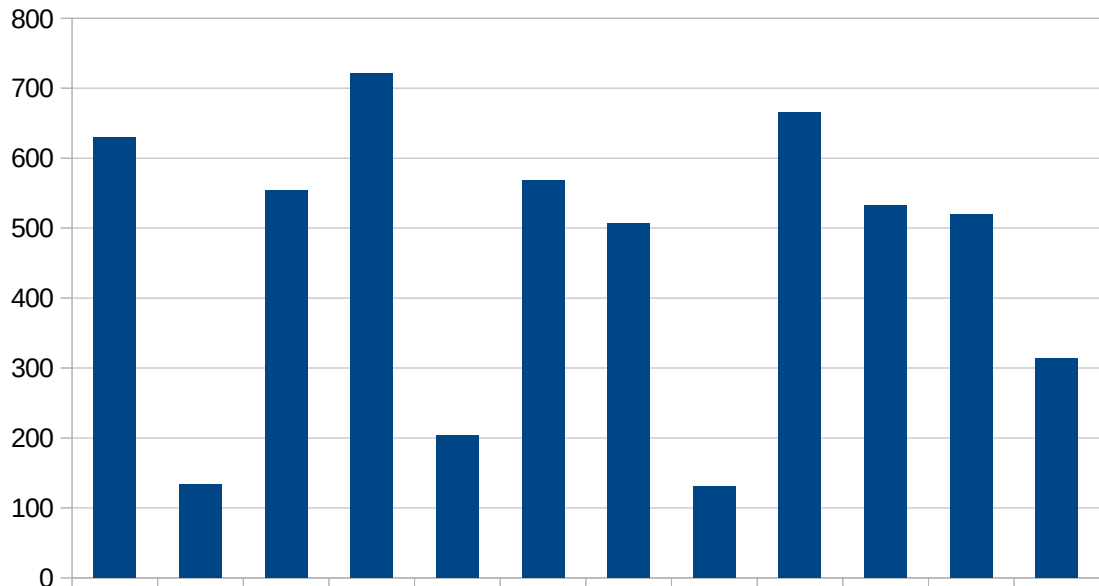


Kuvio 20: Videoiden kurssikohtaisissa tuntimäärissä oli hajontaa.

14.4 Ladatut tallennetiedostot

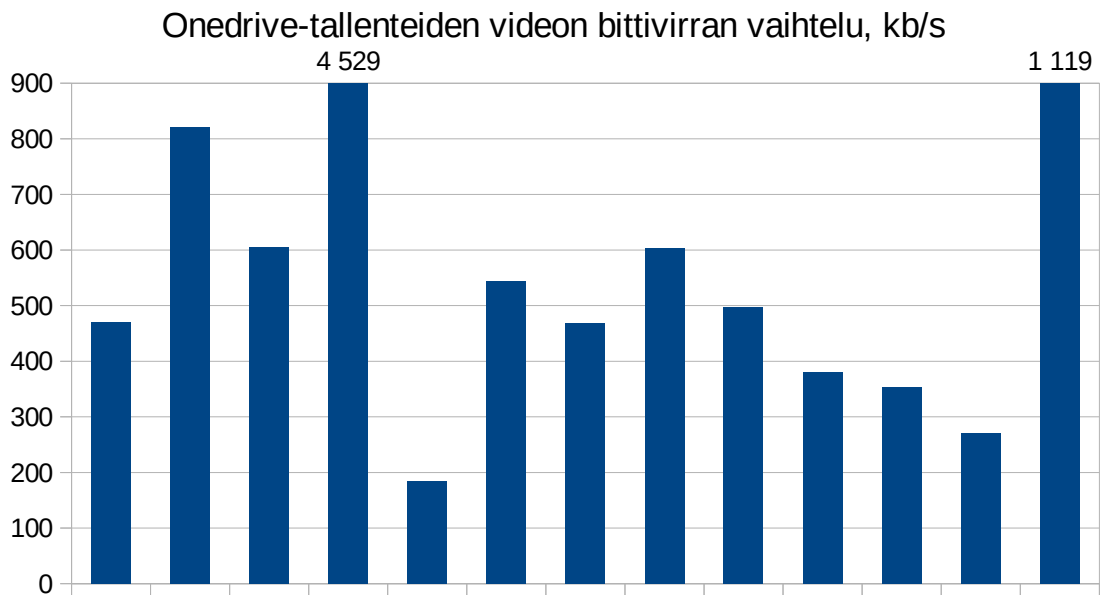
Collaborate-tallenteiden teknisistä ominaisuuksista huomionarvoisiksi osoittautuivat pikseliresoluutio, ruudunpäivitysnopeus, videon bittivirtojen vaihtelu, sekä ääniraidan bittivirta. Otannan tallenteissa kokonaisbittivirta vaihteli välillä 200–791 kilobittia sekunnissa ääniraidan bittivirran ollen lähes aina maksimiarvon 64 kb/s. Kokonaisbittivirran vaihtelun selittää videon bittivirran voimakas vaihtelu (kuvio 21). (Liite 2, 1.)

Collaborate-tallenteiden videon bittivirran vaihtelu, kb/s



Kuvio 21: Collaborate-tallenteiden videon bittivirta vaihteli suuresti.

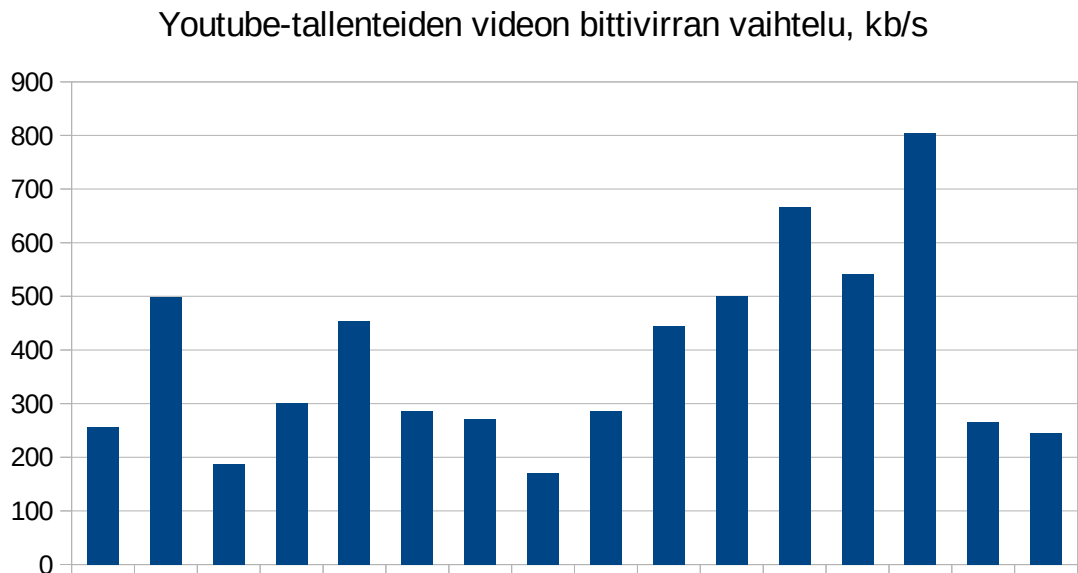
Analyysissä selvisi, että videoraidan maksimibittivirta Collaborate-tallenteissa on 1000 kb/s. Käytännössä tästä jäädään silti varsin kauas. (Liite 2, 1.) Collaboraten ääniraidan virkistystaajuus oli 48.0 kilohertsiä siinä missä se oli Youtube-tallenteissa 44.1 kHz. Onedrive-tallenteissa, jotka lähes poikkeuksetta olivat Onedriveen siirrettyjä Collaborate-tallenteita, arvot mukailivat pitkälti Collaborate-tallenteiden arvoja. Kahdessa tapauksessa videon bittivirta oli kuitenkin yli megabitin sekunnissa (kuva 22). Yli 4 Mb/s tallenteen osalta lienee tapahtunut pakkaamisessa tekninen kömmähdys, sillä aistinvaraisesti tulkittuna tallenteen laatu on Collaborate-tallenteita vastaava.



Kuvio 22: Onedrive-tallenteiden bittivirrat myötälivätkä Collaboraten vastaavia, kahta selkeää poikkeusta lukuunottamatta.

Koska Onedrive ei ole itsessään videopalvelu vaan pelkkä tallennustilan tarjoaja, riippuu sinne tallennettujen videotiedostojen ominaisuudet täysin tallentajan määrittelemistä koodekkiasetuksista. Onedrivea ei siis voi suoraan verrata Collaborateen, mutta se on otettu analyysiin mukaan, koska sen rooli kahdessa toteutuksessa oli suuri.

Myös Youtube-tallenteiden bittivirtavaihtelu on videon osalta suurta (kuvio 23). Ääniraidan bittivirta on lähes poikkeuksetta vakio 96 kb/s.



Kuvio 23: Myös Youtube-tallenteiden videon bittivirrassa esiintyi suurta vaihtelua.

Moodlea ei ole tässä yhteydessä käydyä erikseen läpi, koska sen käyttö kurssitoteutuksissa oli pientä ja se, kuten Onedrive, on pelkkä alusta, ei videopalvelu.

Läpi käytyjen tallenteiden lisäksi kurseilla esiintyi myös muita videomateriaalilinkityksiä. Yhdellä kurseista linkitettiin Adobe Connect-luontoon, joka oli tehty alun perin kyseisen kurssin korvaavalle vaihtoehtoisen suoritustavan kurssille. Myös useamman kurssin kesken jaettuja tallenteita esiintyi: kahdella kurssilla oli käytössään samat Youtube-ohjevideot ja yhdellä kurseista linkitettiin vanhemman kurssin Collaborate-esitelmätallenteeseen. Yksi Youtube-linkitys oli vanhentunut.

Muihin kuin koulun sisällä tehtyihin videoihin oli suoria linkityksiä kolmella kurssilla. Eniten ulkopuolisia linkityksiä sisältävällä kurssilla niitä oli yli 600 minuuttia, toisella yli 200 minuuttia ja kolmannella noin 130 minuuttia.

14.5 Huomioita koodekeista ja tallennusalustaratkaisuksista

Videon bittivirran huomattavasta vaihtelusta erilaisten tallenteiden välillä on pääteltävissä, että käytetyt koodekit ovat tehokkaita osaten analysoida jokaisen erillisen kuvan (*frame*) ja pakata sen sitä pienempään tilaan mitä vähemmän uutta tietoa siinä edelliseen verrattuna on. Erityisesti Youtube-tallenteiden kohdalla, joista suuri osa on luentoja kalvoesityksen tukemana, pakkautuvuuden voi havaita selkeästi.

Collaboraten kohdalla on kuvassa ajoittain havaittavissa epäselvyyttä ja sumenemista. Täydellä varmuudella ei voida päätellä milloin kyseessä on tallenteeseen päätynyt oppitunnin aikainen verkkohäiriö ja milloin pakkaamisesta aiheutunut artefakti. Useimmiten kyse lienee tunnin aikaisesta häiriöstä. 720p-tarkkuuden Collaborate-videot ovat silmämääräisesti arvioiden sumeampia kuin Youtuben 720p-videot.

C++-kurssilla collaboratetallenteita oli jälkikäteen siirretty Onedriveen ja poistettu Collaboratesta⁷³. Jos poisto on tehty Collaborate-palveluksen kautta ovat tallenteet yhä myös AWS-pilvipalvelimella.

14.6 Kyselytutkimukset tulokset

Kyselytutkimuksen vastauksia sain kahden viikon vastausajan aikana 4 kappaletta vastausprosentin jäädessä 28,6 prosenttiin. Ohjaava opettaja auttoi kyselytutkimuksen julkaisua muistutellen kyselystä kahtena peräkkäisenä viikkona opettajien viikkokokouksessa, jonka syystä katoa voi pitää yllättävän suurena. Osasyynä vastausten alhaiseen määrään voidaan pitää jatkuvassa muutoksessa olevaa koronatilannetta, joka oletettavasti lisää opettajien työkuormaa entisestään. Myös

⁷³ Se onko tallenteet poistettu vain Collaborate-palvelusta vai pysyvästi Behind the collaborate - palvelun kautta ei ole tiedossa.

vuoden ajankohta, marraskuu, on oletettavasti opettajilla tavanomaista kiireisempää aikaa. Kyselyn uudelleenlähettäminen tai muistutusviestit olisivat voineet tuoda lisävastauksia.

Tulleiden vastauksien täyttöajoista päätellen vastausaika-arvioksi olisi sähköpostiviestissä voitu laittaa 5–10 minuuttia 5–15 minuutin asemesta. Kyselyn uudelleenmuotoilu lyhyemmäksi jättämällä jonkin teeman pois olisi myös voinut rohkaista vastaamaan kyselyyn innokkaammin. Kyselyn tuloksista ei suuren kadan vuoksi voida tehdä pitkälle vieviä päätelmiä, mutta niiden antia voidaan käydä silti läpi.

Ympäristövaikutukset

Yleinen tietoisuus ympäristövaikutuksia kävi ilmi selkeästi kolmesta vastauksesta, mutta yksikään ei ollut huomionnut niitä kurseja suunnitellessaan. Yksi vastaajista kertoi että yksittäinen opettaja ei voi asiaan juurikaan vaikuttaa, loput kolme olivat kiinnostuneita käytännöistä, mutteivat kokeneet omaavansa vielä tarpeeksi tietoa asiasta. Yhdessä vastauksessa käytiin läpi mahdollisuutta esim. kurssimateriaalien uudelleenkäyttöön nostoen ongelmaksi saavutettavuusdirektiivin vaatimukset.

...Haasteeksi tällä hetkellä nousee saavutettavuusdirektiivi, sillä esim. uudelleenkäytettävät videot vaativat tekstityksen ja tällä hetkellä aika ei anna myöten tekstityksiin, jolloin kierrättämisedia vesittyy...

Tieto aiheesta kiinnostaa kaikkia vastaajia. Eräs vastaajista kertoo:

Digitaalisten palveluiden ympäristövaikutuksista on saatavilla paljon tietoa. Samoin on myös oman tietokoneen virransäästömahdollisuuksista ja aurinkoenergian käytöstä. Siitä taas miten oppimateriaalien ja opintojakson toteutus tähän vaikuttaa on jo oudompi asia.

Vaikka yleinen tietoisuus asiasta on, ei yksittäisten kurssitoteutusten vaikutusta osata välttämättä yhdistää osaksi kokonaisuutta. Saadun tiedon toivottaisiin olevan konkreettisia käytännön toimenpiteitä. Yksi vastaaja nostaa esille myös opettajien jaksamisen.

... Mitä tahansa vinkkejä siitä lähtökohdasta, että myös tekemisen resurssit pienenevät koko ajan. Miten tämä helpottaisi opettajan työtä ja samalla säästäisi energiaa kuitenkin opiskelijan oppimisen ja tukemisen kärsimättä.

Onkin oleellista, että aiheesta saadulla tiedolla on antaa vastaanottajalleen suoraviivaisia ja helppoja toimia ilman syyllistämistä.

Ympäristö- ja ilmastoasioiden yhteydessä puhutaan enenemässä määrin ympäristötunteista. Kyseessä on laajemmassa mittakaavassa vielä varsin tuore tutkimusala, mutta tätä nykyä ympäristötunteet pyritään ottamaan huomioon esim. lasten- ja nuorten ympäristökasvatuksessa (Toivoa ja toimintaa). Etenkin nuorten keskuudessa ilmastoahdistus on laajalti koettua ja noussut vahvasti viimeisen kymmenen vuoden aikana (Pekkarinen & Myllyniemi 2019, 2). Pahimmassa tapauksessa ympäristötunteista voi tulla ilmastonmuutosta hillitsevän toimimisen este (Sipilä 2020). Vaikka ympäristötunteita on tutkimuksellisesti käsitelty lähinnä nuorisonäkökulmasta, ovat psyykkiset mekanismit yhteneväiset aikuistenkin osalta. Tämän opinnäytteen viitekehyksessä keskeinen käsite on ilmastoahdistus johon reagointi ahdistukseen on aina yksilöllistä (Mielenterveyspooli 2020). Digitaalisen elämän hiilijalanjäljestä saatavan tiedon ei tulisi itsessään olla ilmastoahdistusta lisäävää, eikä toimenpide-ehdostusten opettajien työkuormaa lisäävää.

Vanhentunut sisältö

Vanhentuneita kurssitoteutuksia⁷⁴ pidetään Karelia-Moodlessa keskimäärin useita vuosia, lyhimmillään ”...piilotettuna seuraavaan samaan opintojaksoon saakka”. Yksi vastaajista pitää jaksoja saatavilla kyseisen opiskelijaryhmän opiskeluajan eli noin 3,5 vuotta. Niin ikään yksi vastanneista kertoo pitävänsä kursseja saatavilla ”Tyypillisesti kunnes siitä tulee muistutus organisaation toimesta...”. Vastauksesta ei käy ilmi, kuinka kauan toteutukset ovat Moodlessa ennen kuin organisaatio asiasta muistuttaa, mutta ilmeisesti yli 3,5 vuotta.

74 Kurssit joiden suoritusajanjakso on päättynyt.

Vanhoja Collaborate-tallenteita ei poista kolme neljästä vastaajasta. Yksi vastaaja poistaa ”Valitettavan harvoin...”, muistuttaen kuitenkin samalla, että kaikkia online-tunteja ei nauhoiteta. Yksi vastaajista olettaa, että ”...myös nauhoitteet poistuva, kun opintojakso poistetaan Moodlesta.”.

Sähköposti

Vanhoja sähköpostiviestejä poistetaan vaihtelevasti. Yksi vastaajista poistaa viestejä päivittäin, kaksi tekee siivousta viikon aikana. Kolme neljästä tekee suuremman siivouksen noin kaksi kertaa vuodessa. Niin sanottuja turhia viestejä on nollassa jopa kymmeneen tuhansiin. Kokonaisviestimäärä liikkuu noin kahdestasadasta yli 20 000:een.

15 Pohdinta

15.1 Miten digitaalisen toiminnan hiilijalanjälki muodostuu?

Digitaalisuuden hiilijalanjäljen suurin tekijä ovat infrastruktuurin ja päätelaitteiden aiheuttamien elinkaarikustannusten rakenteessa. Laitteiden suhteellisesti lyhyen käyttöiän takia niiden tuotannosta syntyneet päästöt kattavat elinkaarikustannuksista kohtuuttoman suuren osan. Esim. älypuhelimien osalta tätä epäsuhtaa käsiteltiin luvussa 4.3.2.

Verkon käytön osalta suurimmat tekijät ovat käyttäjämäärän, verkkoliittymien nopeuksien, liittymien määrän, sekä kulutetun materiaalin laadullinen ja määrällinen kasvu. Datavirrat moninkertaistuvat uusien teknologioiden tullessa kuluttajien saataville. Tutut 2G, 3G ja 4G ovat saaneet rinnalleen 4G:tä sata kertaa nopeamman 5G:n (Hoffman 2020). Ei ole siis perusteetonta odottaa datavirtojen jopa satakertaistuvan uuden teknologian myötä. Myös 6G on jo visioinnin ja suunnittelun

kohteena (6G Flagship 2020). Verkkoja käytiin läpi luvussa 4.2, käyttäjämäärien voimakasta kasvua luvussa 3 ja verkon käyttöä luvussa 9.

Verkon käyttäjän vastuulla on se, millaista päätelaitetta hän käyttää ja kuinka pitkän eliniän laitteelleen antaa. Myös verkkotyypin valintaan voi usein vaikuttaa. Mobiiliverkko kuluttaa energiaa 4–5 kertaa enemmän kuin kiinteän liittymän langaton w-lan verkko (Efoui Hess & Geist 2020, 19). Suuri vaikutus päästöjen kokonaisuuteen on myös verkon läpi liikkuvan datan määrällä. Suomessa mobiilidataa käytetään suhteessa enemmän kuin missään muualla maailmassa. Pätelaitteita käsiteltiin luvussa 4.3 ja Suomen erityisasemaa mobiilidatan saralla luvussa 7.2.

Digitaalisen hiilijalanjäljen muodostumisen eräs keskeisin vaikutusmekanismi on ns. rebound-vaikutus (Berners-Lee 2020, 17–18). Tämä tarkoittaa sitä, että asioiden muuttuessa helpommiksi, tehdään niitä enemmän. Esim. sähköpostin lähettämisen arvioidaan aiheuttavan kahdeskymmenesosan perinteisen kirjeen hiilijalanjäljestä. Jos kuitenkin sähköpostin lähettämisen helppous saa henkilön lähettämään yli kaksikymmentä kertaa enemmän sähköposteja kuin mitä hän lähettäisi kirjeitä, on sähköpostin hyöty mitätöitynyt (Berners-Lee 2020, 17, 49).

15.2 Mitkä ovat yksittäisen opettajan vaikutusmahdollisuudet Karelia-Moodle kurssien hiilijalanjäljen pienentämiseen ja onko niillä merkitystä?

15.2.1 Organisaatio ja opettaja – vapauksia ja sidoksia

Sekä yksittäisellä opettajalla, että organisaatiolla on tiettyjä mahdollisuuksia ja rajoituksia suhteessa hiilijalanjäljen muodostumiseen. Rajoituksia luovat säädökset, kuten esim. EU:n uusi esteettömyysdirektiivi, joka tuo omat haasteensa mm. kurssimateriaalien kierrätettävyyteen (kts. Luku 14.6), ja lait, kuten GDPR, joka vaikuttaa siihen, millä alustalla mitäkin tietoa voi julkaista. Oleellisinta hiilijalanjälkeä

arvioidessa on ottaa huomioon mittasuhteet. Karelia-Moodle-kurssitoteutusten hiilijalanjäljen suhteellista kokoluokkaa käydään läpi pohdintaluvussa 15.3

Karelian organisaatiolla on käytössään palvelualusta, joka on räätälöity käyttämään tiettyä pilvipalveluratkaisua. Pilvipalveluratkaisun muuttaminen tarkoittaisi samalla koko alustan muutosta. Yksittäisen opettajan mahdollisuudet rajoittuvat pitkälti kurssien ns. lisämateriaalien jakotapaan. Tallennealustavertailua käydään läpi luvussa 15.4.

15.2.2 Huonoa suunnittelua – haamutallenteet AWS-pilvessä

Blackboard Collaboraten kohdalla ongelmallista on tallenteiden poiston mutkikkuus, jota käsiteltiin luvussa 13.2. Yksittäisen opettajan tai tietohallinnon edustajan kannalta ei ole järkevää tai mahdollistakaan ryhtyä poistamaan Collaborate-tallenteita yksi kerrallaan Collaborate- tai Behind the Blackboard -palvelujen kautta. Ongelma on palvelun huonossa suunnittelussa. Ennen maaliskuun 2020 yrityskauppaa sekä Open LMS, johon Karelia-Moodle pohjautuu, että Collaborate olivat Blackboard Incin omistuksessa, mutta palvelut eivät silti toimineet synkronoidusti⁷⁵. Nyt omistajien ollessa eri yrityksiä, todennäköisyys synkronoinnille on aiempaakin pienempi.

15.3 Karelia-Moodle-kurssien hiilijalanjälki – vaikutusten kokoluokka

15.3.1 Bittivirtojen suhteellisuus

Tutkimuksesta ilmeni, että Karelia-Moodle-kurssitoteutusten tallenteiden datavirta on lähes poikkeuksetta alle 1 megabittiä sekunnissa alustasta riippumatta. Kun otetaan huomioon esim. suosittujen suoratoistopalveluiden bittivirrat, joista kerrottiin luvussa

⁷⁵ ts. Moodle-kurssi poistettaessa Collaborate-tallenteet eivät häviä.

9.3, voidaan todeta, että tutkittavat tallenteet ovat bittivirroiltaan hyvin maltillisia. Tästä seuraa luonnollisesti myös se, että tallenteiden koot ovat suhteessa pienet. Collaboraten kaistaleveysvaatimuksia loppukäyttäjälle käytiin läpi luvussa 13.2 ja niiden voidaan todeta olevan hyvin alhaiset.

15.3.2 Esimerkkitoteutukset suhteessa tutkintokokonaisuuteen

Tutkituista kursseista syntyy 33 opintopistettä. Tietojenkäsittelyn tardenomitutkinto koostuu minimissään 210 opintopisteestä. Jos analysoitu opintopistemäärä kerrotaan kertoimella 6,37 saadaan tulokseksi 210,21 op, hieman yli minimipistemäärän. Jos kuitenkin harjoittelun 30 op ja opinnäytetyön 15 op vähennetään kokonaiskertymästä jää jäljelle 165 op. Kertoimella 5 saadaan juuri tämä luku.

Näiden kertoimien avulla olisi mahdollista tutkiskella suurpiirteisesti millainen tallennemateriaalimäärä pilvessä tutkintoa kohti voisi olla. Jaettuna tuo määrä opiskelijoiden/valmistuneiden opiskelijoiden määrällä voitaisiin saada selville millainen siivu tästä materiaalista olisi yhtä oppilasta kohden. On tosin huomioitava, että tällä tavalla saadaan selville pelkkä materiaalin määrä pilvessä oppilasta kohden, ei datan liikkeen määrää, verkkojen ja päätelaitteiden kuormaa, ym. muuttujua, joilla on suuri merkitys todellisen hiilijalanjalan muodostumisessa.

Päästöjen arviointi on hyvin monimutkainen ja -syinen prosessi, eikä laskentakaavoista ole minkäänlaista yhteisymmärrystä. Varsinaisten päästöjen arviointiin asti ei siis tässä yhteydessä päästä. Voidaan kuitenkin hahmotella karkeasti mittasuhteita. Otetaan analysoidut kurssitoteutukset ja kerrotaan arvot viidellä. Saadaan taulukon 1 mukaiset tulokset.

Taulukko 1. Laskennallinen koulutuksen materiaalmäärä

	tallenteita, kpl	kesto	koko, Gt
Collaborate	450kpl	322t 55m	78,04 Gt
Youtube	270kpl	131t 45m	17,12 Gt
Onedrive	115kpl	120t 05m	31,70 Gt
Moodle	35kpl	05t 50m	1,15 Gt
yhteensä	870kpl	580t 35m	128,01 Gt

Oleellisin tulos on koko: 128 gigatavua. Vaikka ei tiedetä Amazonin ja Microsoftin pilvipalveluiden päästömääriä, voidaan käyttää lukemia joita tiedetään. Luvussa 4.1 ilmeni kolmen saksalaisen datakeskuksen arvot; 105–153 kg CO₂-vastaavia päästöjä vuodessa yhtä teratavua kohti. 128,01 Gt on noin 7,81-osa teratavusta, joten laskennalliseksi vuosipäästökseksi saadaan 13,44–19,59 kg CO₂-vastaavia päästöjä. Ei ole tiedossa, minkä kokoisia saksalaisen tutkimuksen keskukset ovat, mutta voidaan olettaa etteivät ne ole suurempia kuin Amazonin ja Microsoftin keskukset. Koska mittakaavaetu on datakeskuksista puhuttaessa päästövaikutuksiltaan merkittävä tekijä, voidaan olettaa, että Amazonin ja Microsoftin datakeskusten päästömäärät eivät ole ainakaan esimerkkiä suuremmat.

Tuloksesta on huomioitava sen kertovan vain pelkän pilvessä sijaitsevan liikkumattoman tallennedatan määrän ja laskennallisen CO₂-vastaavan päästökuorman. Datan liike, eli tallenteen toistokerrat, määräävät pitkälti sen, mitä todelliset päästöt pilven osalta ovat. Kokonaishiilikuormaa ei tässä yhteydessä ole oleellista lähteä arvioimaan ottaen huomioon tehtävän laskennallinen mahdottomuus ja tulosten suurpiirteisyys (Berners-Lee 2020, 9–11), jota pohjustettiin luvussa 2. Voidaan kuitenkin todeta Karelia-Moodle-kurssien tallenteiden hiilijalanjäljen olevan mittasuhteiltaan pieni.

15.4 Tallennealustojen erot - mitä tallennealustoja opettajan kannattaa suosia?

Tallenteiden minuuttikohtaisessa kokokeskiarvossa Youtube jää selvästi alhaisimmaksi 2,2 megatavulla, kuten kaaviosta 18 oli nähtävissä. Tästä huolimatta aistinvaraisesti arvioiden Youtube-tallenteiden laatu on vertailun parhaimmista. Youtuben omistaa

Google, jonka syksyllä 2020 uutisoitu ympäristöstrategia on suurista alan toimijoista kunnianhimoisin (Luku 6.2.3). Youtube on siis paitsi koko/laatu-suhteeltaan myös luvatululta päästökuormaltaan tässä yhteydessä selvästi suositeltavin valinta. Ainoa kiistanalalainen seikka on videon pakkaamiseen tarvittavat tallentajan oman päätelaitteen resurssit. Youtube prosessoi videon edelleen omalle alustalleen oikeaan muotoon, mutta ensipakkuksen tekee videon tekijä omalla laitteellaan. Googlella on Youtube-videoiden esivalmistelusta omat suosituksensa, joita noudattamalla kuorma molemmissa päissä voi pysyä ideaalina (Youtube Help). Yksi Googlen 21:stä datakeskuksesta sijaitsee Suomessa, joten on mahdollista että osaa Youtuben sisällöstä voidaan tallettaa Haminan datakeskuksessa (Google 2020).

Silmämääräisesti arvioiden Youtuben tarjoama 1080p-tarkkuus auttaa runsaasti yksityiskohtia sisältävän videokuvan hahmottamisessa. Ruudulla auki oleva ohjelma, jonka valikoissa liikutaan, näkyy Youtuben 1080p-videolla huomattavasti selkeämpänä kuin Collaboraten 720p-videolla. Tarkasteltujen tallenteiden joukosta löytyi kaksi sisällöltään ja pituudeltaan yhteneväistä Youtube-luentotallennetta, joista toisen tarkkuus oli 720p ja toisen 1080p. Korkeamman resoluution tallenne oli noin 1,6 kertaa matalamman kokoinen. 1080p-tallenteen kuva on terävämpi, mutta 720p-tallenteenkin kuva on riittävä.

Aistinvaraisesti arvioiden Collaboraten tallenteiden laatu on vertailun huonoin. Myös tallenteiden minuuttikohtainen keskiarvokoko on vertailun suurin tai toiseksi suurin (kaavio 18). Vaikka Collaboraten tarjoama ääniraidan virkistystaajuus on Youtuben vastaavaa korkeampi ei lisähertseillä ollut aistin varaisesti arvioiden vaikutusta äänenlaatuun. Collaborate käyttää Amazon AWS-pilvipalvelua, joka on suurista toimijoista huonoin valinta (Luku 6.2.1). Jos muita vaihtoehtoja on käytettävissä, ei näiden seikkojen takia Collaboratea kannata suosia.

Onedrive ja Moodle poikkeavat tässä yhteydessä siinä, että ne eivät ole itsessään videopalveluita, vaan alustoja joilla videota voi jakaa. On siis tallenteen tekijästä kiinni millaisen videotiedoston niihin tallentaa. Onedrive on Microsoftin palvelu ja

ympäristöstrategialtaan yritys on heti Googlen jälkeen kunnianhimoisin. Hyvä ratkaisu on Onedrivessa jaettu tiiviisti pakattu ja aistinvaraisesti hyväksi todettu tiedosto. Kiistanalaiseksi seikaksi jää se, millainen vaikutus kokonaispäästöihin tallenteen tekijän päätelaitteella tapahtuvalla videon pakkauksella on. Onedrive ei uudelleenprosessoi videota, joka puoltaa sen käyttöä.

15.5 Tutkimuksen jatko

Jos yhteisiä maailmanlaajuisia raportointikäytänteitä syntyy ja vertailudataa pilvitoimijoilta aletaan saada, voi tulla mahdolliseksi laskea paikkansa pitäviä yksittäisten kurssien hiilijalanjälkiä materiaalien osalta. Koko kurssin elinkaaren osalta laskelmat ovat kaikesta huolimatta monimutkaiset (Berners-Lee 2020, 9–11). Lukemattomat erilaiset päätelaitteet, verkkotyypit, toistokerrat ym. muuttuvat määreet ja luvut tekevät arvioinnista vaativaa ja virheeltistä. Luvun 15.3.2 kaltaisia esimerkinomaisia laskutoimituksia voidaan kuitenkin tuottaa ja saada täten osviittaa siitä, millaisissa mittasuhteissa päästöt erilaisin laite-, verkkoteknologia- ja datavirtayhdistelmin liikkuvat.

Ohjelmistorobotiikan avulla voisi olla mahdollista tehdä esim. neljännesvuosittaista seurantaa koko koulun kurssitarjonnasta. Opettajien erilaiset kurssien toteutustavat aiheuttavat kuitenkin haasteita toimivan robotin ohjelmoinnin suhteen⁷⁶. Kyselytutkimuksen anti jäi tässä yhteydessä laihaksi ja sen kehittäminen ja uudelleenjärjestäminen olisi myös suositeltavaa.

76 Erilaiset käytännöt tallenteiden linkitykseen kurssimateriaalien sisällä, mahdolliset eri palvelut joissa tallenteita säilytetään ym. seikat tekevät ohjelmistorobotin ohjelmoinnin haasteelliseksi.

16 Välttämätöntä tietää, mahdotonta mitata

Digitalisaation hiilijalanjäljen arvioiminen on mahdoton, mutta välttämätön tehtävä, kuten Mike Berners-Lee asian kiteyttää (Berners-Lee 2020, 9–10). Uutisointeja lukiessa ja yritysten hiilijalanjälkiraportteja silmäillessä oleellisia eivät ole luvut, vaan mittasuhteet. Euroopassa on asetettu voimakkaasti ympäristön ja yksilön taakse: EU on asettanut ja tulee asettamaan säädöksiä kiertotalouden kehittämiseksi ja useat Euroopan maat ovat sakottaneet suuryhtiöitä niiden ympäristön ja yksilön kannalta arveluttavien toimien vuoksi.

Vihreys on ollut osa bisnestä jo kauan, eikä IT-ala tee asiaan poikkeusta. Yhdysvaltalainen Climate TRACE -koalitio suunnittelee julkaisevansa kesällä 2021 työkalun, jonka avulla voidaan seurata maailman kasvihuonekaasupäästöjä reaaliajassa päästöt tarkkaan saastuttajaan yhdistäen. Työkalu lupaa tuoda maailmanlaajuisen saastuttamisen läpinäkyväksi. Muun muassa satelliittikuvannusta, koneoppimista, sekä datatieteilijöitä ja päästöeksperttejä hyödyntävä työkalu perustuu pääosin jo olemassa olevan datan ja laitteiston hyödyntämiseen mm. erilaisten maalla ja merellä toimivien sensoreiden ja dronejen muodossa. (Climate TRACE 2020.) Tarkennetun syyllistämisen kautta suuria saastuttajia voidaan saada muuttamaan tapojaan, ja tässä avuksi voivat tulla tekniset innovaatiot.

Myös loppukäyttäjien on osattava toivoa ja vaatia parempaa. Kuluttajille tarjotaan vihreämpiä tuotteita ja palveluja, mutta kuluttajan omalle vastuulle jää valitettavasti selvittää lupausten katteet. Kaikki ei ole kultaa mikä kiiltää, eikä kaikki vihreäksi mainostettu viherpesusta vapaata. Tanskalainen älypuhelinvalmistaja Fairphone pyrkii eettiseen materiaalien hankintaan ja helppoon korjattavuuteen edustaen uutta positiivista suuntausta päätelaitemarkkinoilla. (Fairphone 2020; Gibbs 2019; Schwab 2019.) Vihreämpienkin houkutusten äärellä kannattaa kuitenkin muistaa totuus, josta mediateoreetikko Douglas Rushkoff suorapuheisessa mielipidekirjoituksessaan muistuttaa: paras älypuhelin on se, jonka jo omistat (Rushkoff 2016).

Lähteet

- 6G Flagship. 2020. 6G Flagship In Brief. University of Oulu.
<https://www oulu.fi/6gflagship/inbrief>. 26.11.2020.
- Aalto-yliopisto. 2019. Runkoverkko. 8.7.2019.
<https://www aalto.fi/fi/palvelut/runkoverkko>. 28.11.2020.
- Actionable Intelligence. 2019. French Prosecutors Still Investigating Epson Inkjet Planned Obsolescence Claims. Actionable Intelligence Courthouse Briefings. 28.2.2019. <https://www.action-intell.com/2019/02/28/french-prosecutors-still-investigating-epson-inkjet-planned-obsolescence-claims/>. 22.11.2020.
- Adams, J. & Cser, A. 2019. Forrester Data: Cloud Security Solutions Forecast, 2016 To 2021. Tata Communications.
<https://www.tatacommunications.com/wp-content/uploads/2019/02/Forrester-Report.pdf>. 3.12.2020.
- Ahn, S.J., Bostick, J., Ogle, E., Nowak, K.L., McGillicuddy, K.T. & Bailenson, J.N. 2016. Experiencing Nature: Embodying Animals in Immersive Virtual Environments Increases Inclusion of Nature in Self and Involvement With Nature. Journal of Computer-Mediated Communication.
<https://vhil.stanford.edu/mm/2016/08/ahn-jcmc-experiencing-nature.pdf>. 10.12.2020.
- Allendorf, J. 2018. How big tech stopped Right to Repair in New York. 2.8.2018.
<https://medium.com/u-s-pirg/how-big-tech-stopped-right-to-repair-in-new-york-9109a7565596>. 22.11.2020.
- Amazon. 2019a. Amazon Sustainability. <https://sustainability.aboutamazon.com>. 22.11.2020.
- Amazon. 2019b. The Climate Pledge. <https://sustainability.aboutamazon.com/about/the-climate-pledge>. 8.12.2020.
- Amazon. 2020a. Sustainability in the Cloud.
<https://sustainability.aboutamazon.com/environment/the-cloud?energyType=true>. 5.11.2020.
- Amazon. 2020b. Amazon Announces Five New Utility-Scale Solar Projects to Power Global Operations in China, Australia, and the U.S. Amazon Press release 21.5.2020.
<https://press.aboutamazon.com/news-releases/news-release-details/amazon-announces-five-new-utility-scale-solar-projects-power>. 24.11.2020.
- Andrae, A.S.G. 2020. Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO2 emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030. WSEAS Transactions On Power Systems Volume 15, 2020, 50-59.
<https://www.wseas.org/multimedia/journals/power/2020/a125116-083.pdf>. 21.11.2020.
- Apple. 2018. Apple adds Earth Day donations to trade-in and recycling program. Apple Newsroom. 19.4.2018. <https://www.apple.com/newsroom/2018/04/apple-adds-earth-day-donations-to-trade-in-and-recycling-program/>. 22.11.2020.
- Apple. 2019a. Apple expands global recycling programs. Apple Newsroom. 18.4.2019. <https://www.apple.com/newsroom/2019/04/apple-expands-global-recycling-programs/>. 22.11.2020.
- Apple. 2019b. Apple Digital Masters: Studio-quality sound. For everyone.
<https://www.apple.com/itunes/docs/apple-digital-masters.pdf>. 5.12.2020.

- Apple. 2020a. Apple commits to be 100 percent carbon neutral for its supply chain and products by 2030. Apple Newsroom. 21.7.2020. <https://www.apple.com/newsroom/2020/07/apple-commits-to-be-100-percent-carbon-neutral-for-its-supply-chain-and-products-by-2030/>. 22.11.2020.
- Apple. 2020b. Environmental Progress Report – Covering fiscal year 2019. https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2020.pdf. 22.11.2020.
- Armstrong, M. 2019. The Carbon Footprint of 'Thank you' Emails. Statista. 4.12.2019. <https://www.statista.com/chart/20189/the-carbon-footprint-of-thank-you-emails/>. 7.12.2020.
- Babich, N. 2019. How VR In Education Will Change How We Learn And Teach. Adobe Xd Ideas. 19.9.2019. <https://xd.adobe.com/ideas/principles/emerging-technology/virtual-reality-will-change-learn-teach/>. 20.12.2020.
- BAN. 2020. Basel Action Network. <https://www.ban.org/>. 9.12.2020.
- Basel Convention. 2020a. Controlling transboundary movements of hazardous wastes and their disposal. United Nations Environmental Programme. <http://www.basel.int/>. 9.12.2020.
- Basel Convention. 2020b. Status of Ratifications. <http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/tabid/1341/Default.aspx>. 9.12.2020.
- BBC. 2012. Apple fined by Italy over misleading product guarantees. BBC News. 8.3.2012. <https://www.bbc.com/news/technology-16339651>. 22.11.2020.
- BBC. 2017. Apple faces lawsuits over slowed iPhones. BBC News 22.12.2017. <https://www.bbc.com/news/technology-42455285>. 22.11.2020.
- BBC. 2020a. Apple fined for slowing down old iPhones. BBC News 7.2.2020. <https://www.bbc.com/news/technology-51413724>. 22.11.2020.
- BBC. 2020b. Apple settles iPhone slowdown case for \$500m. BBC News. 2.3.2020. <https://www.bbc.com/news/technology-51706635>. 22.11.2020.
- BBC. 2020c. Apple first US company to be valued at \$2tn. BBC News 19.8.2020. <https://www.bbc.com/news/business-53840471>. 22.11.2020.
- Batt, S. 2018. PCs vs. Laptops vs. Tablets: Which Is the Most Energy-Efficient? Make Tech Easier <https://www.maketecheasier.com/pcs-vs-laptops-vs-tablets-energy-efficient/>. 1.9.2020.
- Bearchell, M. 2017. How Long Will This Server Last? A Basic Guide to the Shelf-Life of Your Organization's Hardware. Rocket It <https://rocketit.com/hardware-lifespan/>. 1.9.2020.
- Bell, P. 2020. Finns Lead the Way in Mobile Data Usage. TeleGeography Blog. 2.3.2020. <https://blog.telegeography.com/finns-lead-the-way-in-mobile-data-usage>. 26.11.2020.
- Benton D., Hazell J., & Coats E. 2015. A Circular Economy for Smart Devices. London, UK: Green Alliance. <https://www.green-alliance.org.uk/resources/A%20circular%20economy%20for%20smart%20devices.pdf>. 21.11.2020.
- Beres, D. & Campbell, A. 2016. Apple Is Fighting A Secret War To Keep You From Repairing Your Phone. Huffpost 10.6.2016. https://www.huffpost.com/entry/apple-right-to-repair_n_5755a6b4e4b0ed593f14fdea. 22.11.2020.
- Berners-Lee, M. 2020. How Bad are Bananas? The Carbon Footprint of Everything. Revised 2020 Edition. Lontoo: Profile Books Ltd.

- Bienkowski, T. 2020. COVID-19 Network Traffic Patterns: A Worldwide Perspective from Our Customers—Part 1. Netscout <https://www.netscout.com/blog/Network-Traffic-in-the-Age-of-COVID-19>. 1.9.2020.
- Blackboard Inc. 2018. Blackboard-ohje. Collaborate-tallenteet järjestelmänvalvojille. <https://help.blackboard.com/fi-fi/Collaborate/Ultra/Administrator/Recordings>. 5.11.2020.
- Blackboard Inc. 2020a. Collaborate Recordings for Administrators. 2020. Blackboard Help. <https://help.blackboard.com/Collaborate/Ultra/Administrator/Recordings>. 4.12.2020.
- Blackboard Inc. 2020b. Network Connection Management. Blackboard Help. https://help.blackboard.com/Collaborate/Ultra/Administrator/Low_Bandwidth_Management. 6.12.2020.
- BMU & UBA. 2020. Video streaming: data transmission technology crucial for climate footprint. <https://www.bmu.de/en/pressrelease/video-streaming-data-transmission-technology-crucial-for-climate-footprint/>. 18.11.2020.
- Boran, M. 2020. The true carbon cost of feeding the data centre monster. The Irish Times. <https://www.irishtimes.com/business/technology/the-true-carbon-cost-of-feeding-the-data-centre-monster-1.4236923>. 5.11.2020.
- Brandwatch. 2020. 57 Fascinating and Incredible Youtube Statistics. <https://www.brandwatch.com/blog/youtube-stats/>. 1.4.2020.
- Brian. 2012. Hacking the Samsung CLP-315 Laser Printer. Hello World! 3.3.2012. <https://rumburg.org/printerhack/>. 22.11.2020.
- BroadbandSearch. 2020. Mobile Vs. Desktop Internet Usage (Lastest 2020 Data) <https://www.broadbandsearch.net/blog/mobile-desktop-internet-usage-statistics>. 1.9.2020.
- Carrique, F. 2020. Apple sues recycling partner for reselling more than 100,000 iPhones, iPads, and Watches it was hired to dismantle. The Verge. 4.10.2020. <https://www.theverge.com/apple/2020/10/4/21499422/apple-sues-recycling-company-reselling-ipods-ipads-watches>. 22.11.2020.
- Carroll, R. 2020. Why Irish data centre boom is complicating climate efforts. The Irish Times. <https://www.irishtimes.com/business/technology/why-ireland-s-data-centre-boom-is-complicating-climate-efforts-1.4131768>. 5.11.2020.
- Cisco 2020. Cisco Annual Internet Report (2018-2023) <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/executive-perspectives/annual-internet-report/index.html>. 10.8.2020.
- Clancy, H. 2017. Microsoft's cloud serves up energy emissions data in near real time. GreenBiz. 9.8.2017. <https://www.greenbiz.com/article/microsofts-cloud-serves-energy-emissions-data-near-real-time>. 3.12.2020.
- Climate TRACE. 2020. <https://www.climate TRACE.org/>. 30.11.2020.
- Climate Transparency. 2019. Brown to Green: The G20 transition towards a net-zero emissions economy 2019: India. Climate Transparency. https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2019/11/B2G_2019_India.pdf. 26.11.2020.
- Climatecare. 2015. Infographic: The Carbon Footprint of the Internet. <https://climatecare.org/infographic-the-carbon-footprint-of-the-internet/>. 10.8.2020.
- Cloudscene. 2020. Search colocation Data Centers. <https://cloudscene.com/search/data-centers?searchTerm=Finland>. 14.11.2020.

- Collins, B. 2020. Netflix Viewers Upset With 4K Picture Quality. Forbes. 4.9.2020. <https://www.forbes.com/sites/barrycollins/2020/09/04/netflix-viewers-upset-with-4k-picture-quality/>. 4.12.2020.
- Comito, C. & Talia, D. 2017. Energy consumption of data mining algorithms on mobile phones: Evaluation and prediction. https://www.researchgate.net/publication/320404716_Energy_consumption_of_data_mining_algorithms_on_mobile_phones_Evaluation_and_prediction. 30.11.2020.
- Compare your country. Climate Change Mitigation Policies. OECD. <http://www.compareyourcountry.org/climate-policies?cr=oeed&lg=en&page=2>. 26.11.2020.
- Copenhagen Centre on Energy Efficiency. 2017. Alibaba Cloud adopts eco-friendly approach to advancing data center technology. Greening Internet Data Centres Webinar. 12.7.2017. <https://c2e2.unepdtu.org/alibaba-cloud-adopts-eco-friendly-approach-to-advancing-data-center-technology/>. 15.11.2020.
- Cordella, M., Alfieri, F. & Sanfelix, J. 2020. Guidance for the Assessment of Material Efficiency: Application to Smartphones. European Commission. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC116106/jrc116106_jrc_e4c_task2_smartphones_final_publ_id.pdf. 8.12.2020.
- CR. 2010. HP inkjet printer lawsuit reaches \$5 million settlement. Consumer Reports News. 17.11.2010. <https://www.consumerreports.org/cro/news/2010/11/hp-inkjet-printer-lawsuit-reaches-5-million-settlement/index.htm>. 22.11.2020.
- D'Alessandro, A. 2020. MPA Annual Industry Report Shows Global Entertainment Spending Hitting Record \$101B. Deadline. <https://deadline.com/2020/03/mpaa-annual-report-box-office-worldwide-revenues-mobile-home-entertainment-1202879659/>. 2.4.2020.
- Datareportal. 2020. digital 2020: October Global Statshot Report <https://datareportal.com/global-digital-overview>. 26.11.2020.
- Davis, C. 2018. HP Ink Cartridge Monopoly Class Action Lawsuit Settles for \$1.5M. Top Class Actions. 24.9.2018. <https://topclassactions.com/lawsuit-settlements/lawsuit-news/858824-hp-ink-cartridge-monopoly-class-action-lawsuit-settles-1-5m/>. 22.11.2020.
- Delventhal, S. 2020. How Jeff Bezos Became the World's Richest Man. Inversopedia. <https://www.investopedia.com/investing/how-jeff-bezos-got-be-worlds-richest-man/>. 22.11.2020.
- Denzin, NK. 1978. The research act: A theoretical introduction to sociological methods (2. laitos). New York: McGraw-Hill.
- Dernbach, C. 2020. Apple to Pay \$113 Million in Settlement With States Over iPhone Battery Slowdowns. 18.11.2020. <https://variety.com/2020/digital/news/apple-113-million-settlement-states-iphone-battery-slowdown-1234835118/>. 22.11.2020.
- DNA. 2018. DNA:n runkoverkko nostetaan 5G-valmiuteen. DNA Lehdistötiedotteet. 4.5.2018. <https://corporate.dna.fi/lehdistotiedotteet?type=stt2&id=67725313>. 28.11.2020.
- DNA. 2020a. Peittokartta. <https://www.dna.fi/yriyksille/dna-verkko/peittokartta>. 28.11.2020.
- DNA. 2020b. DNA:n ikäryhmävertailu paljastaa: Ero mobiilidatan kulutuksessa on huima jopa milleniaalien ja Z-sukupolven välillä. Teloja ONE Hub. 26.11.2020. <https://corporate.dna.fi/lehdistotiedotteet?type=stt2&id=69895033&scrollTo=UJpEOgFgPw1f>. 29.11.2020.

- Domo. 2020. Data Never Sleeps 8.0. Domo Inc. <https://www.domo.com/learn/data-never-sleeps-8>. 30.11.2020.
- EC. 2020. Changing how we produce and consume: New Circular Economy Action Plan shows the way to a climate-neutral, competitive economy of empowered consumers. European Commission Press release. 11.3.2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_420. 8.12.2020.
- ECOHZ. Energy Attribute Certificates (EACs). <https://www.ecohz.com/renewable-energy-solutions/energy-attribute-certificates/>. 12.11.2020.
- EEA. 2020. CO2 emission intensity. European Environment Agency: Data Visualization. 25.11.2020. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-5>. 26.11.2020.
- EEB. 2019. Coolproducts don't cost the Earth. European Environmental Bureau. <https://eeb.org/library/coolproducts-report/>. 21.11.2020.
- Efoui Hess, M. & Geist, J-N. 2020. Did The Shift Project really overestimate the carbon footprint of online video? Our analysis of the IEA and CarbonBrief articles. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/en/article/shift-project-really-overestimate-carbon-footprint-video-analysis/>. 8.8.2020.
- EK. 2010. Euroopan komission tiedonanto neuvostolle – Turvallista ja ympäristön kannalta järkevää alusten kierrätystä koskevan IMO:n Hongkongin yleissopimuksen, Baselin yleissopimuksen ja EU:n jätteen siirtoasetuksen välisen yhteyden arviointi. Euroopan komission tiedonanto neuvostolle. 52010DC0088. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX:52010DC0088>. 9.12.2020.
- Elisa. 2020a. Elisan 5G-verkko Suomessa. <https://elisa.fi/5g/5g-verkko>. 28.11.2020.
- Elisa. 2020b. WDM-palvelu. <https://elisa.fi/operaattoreille/muut-kapasiteettipalvelut/wdm-palvelu/>. 28.11.2020.
- Elisa. 2020c. Laajakaistamodeemin kytkentä. <https://elisa.fi/asiakaspalvelu/aihe/laajakaista/ohje/kayttoonotto/>. 28.11.2020.
- Energiavirasto. 2020. Ekosuunnittelu.info. <https://ekosuunnittelu.info/vaatimus/matka-ja-alypuhelimet/>. 8.12.2020.
- EnergySage. 2020. Renewable Energy Credits (RECs). <https://www.energysage.com/other-clean-options/renewable-energy-credits-recs/>. 12.11.2020.
- Enge, E. 2019. Mobile vs. Desktop Usage in 2019. <https://www.perficient.com/insights/research-hub/mobile-vs-desktop-usage-study>. 1.9.2020.
- EPA. Renewable Energy Certificates (RECs). United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/greenpower/renewable-energy-certificates-recs>. 13.11.2020.
- Eranti, V. & Ylä-Anttila, T. 2017. Yhteiskunnan mittaaminen: Big data ja tiedonlouhinta. Tampereen yliopisto, luento. 4.12.2017. <https://www.slideshare.net/tuylaant/yhteiskunnan-mittaaminen-big-data-ja-tiedonlouhinta>. 30.11.2020.
- Erma, M. 2019a. Yle: Neljän päivän leffaputki voi vastata päästöiltään yhden ihmisen lentomatkaa Helsingistä Tukholmaan. Ilta-sanomat. <https://www.is.fi/kotimaa/art-2000006155078.html>. 10.8.2020.
- Erma, M. 2019b. Asiantuntijat: Leffamaraton voi aiheuttaa yllättävän suuret päästöt – 7 vinkkiä, joilla vähennät nettiihijalanjälkeä. Ilta-Sanomat <https://www.is.fi/kotimaa/art-2000006156361.html>. 8.8.2020.

- EUR-Lex. 2013. Komission asetus (EU) N:o 617/2013.
<http://data.europa.eu/eli/reg/2013/617/oj>. 8.12.2020.
- Euroopan komissio. 2019. Pohdinta-asiakirja. Kohti kestävä Eurooppaa vuoteen 2030 mennessä. Euroopan komissio. https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/rp_sustainable_europe_fi_v2_web.pdf. 20.11.2020.
- European Commission 2019. Digital for Sustainability | A series of CONNECT University sessions <https://ec.europa.eu/futurium/en/blog/digital-sustainability-series-connect-university-sessions>. 10.8.2020.
- Fairphone. 2020. <https://www.fairphone.com/en/>. 12.12.2020.
- Fauville, G., Muller Queiroz, A.C. & Bailenson, J.N. 2020. Virtual reality as a promising tool to promote climate change awareness. Teoksessa Kim, J & Song, H. (toim.) Technology and Health: Promoting Attitude and Behavior Change. USA: Academic Press, 91-108. <https://vhil.stanford.edu/mm/2020/04/fauville-tah-vr-tool.pdf>. 10.12.2020.
- FiCom. 2020. Matkaviestinverkossa siirretty data. FiCom. 14.1.2020.
<https://www.ficom.fi/ict-ala/tietopankki/viestintaverkot-tietopankki/kiintea-ja-mobiili-laajakaista/matkaviestinverkossa-siirretty-data/>. 26.11.2020.
- Fingrid. Alkuperätakuu. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/alkuperatakuun-sertifikaatti/>. 12.11.2020.
- Finlex. 2020. Vaarallisten jätteiden maanrajan ylittävien siirtojen ja käsittelyn valvontaa koskeva Baselin yleissopimus. 45/1992.
https://finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1992/19920045/19920045_2. 9.12.2020.
- Finnet. 2019. VALOR-analyysi, Finnet PowerPoint-esitys. 28.2.2020.
- Finto. 2018. Tietotermit: tiedonlouhinta. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:au:tt:t51>. 7.12.2020.
- Floor, A. 2017. Opas pilvipalvelun ostajalle. Solita. 9.6.2017.
<https://www.solita.fi/blogit/opas-pilvipalvelun-ostajalle/>. 15.11.2020.
- FNE. 2020. Runkoverkko. FNE-Finland Oy. <https://www.fne.fi/runkoverkko/>. 28.11.2020.
- ForgeRock. 2020. The New Normal. Living Life Online.
https://www.forgerock.com/resources/view/112194411/industry-brief/forgerock-consumer-behavior-report-the-new-normal.pdf?utm_medium=third-party&utm_source=field&utm_campaign=brand&utm_content=the-new-normal-press-release. 15.11.2020.
- Fraunhofer IZM. 2020. Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets. <https://www.ecosmartphones.info/>. 8.12.2020.
- Free the Slaves. 2020. Slavery in the Congo: Slavery in 'Conflict Minerals'.
<https://www.freetheslaves.net/where-we-work/congo/>. 30.11.2020.
- Freund, K. 2019. Google Cloud Doubles Down On NVIDIA GPUs For Inference. Forbes. 9.5.2019. <https://www.forbes.com/sites/moorinsights/2019/05/09/google-cloud-doubles-down-on-nvidia-gpus-for-inference/#1fa3c4c36792>. 30.11.2020.
- Friedlander, J.P. 2020. Year-End 2019 RIAA Music Revenues Report. RIAA.
<https://www.riaa.com/wp-content/uploads/2020/02/RIAA-2019-Year-End-Music-Industry-Revenue-Report.pdf>. 2.4.2020.
- Gartner. 2020a. Gartner Says Global Smartphone Sales Declined 20% in First Quarter of 2020 Due to COVID-19 Impact. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-06-01-gartner-says-global-smartphone-sales-declined-20-in->
 14.11.2020.

- Gartner. 2020b. Gartner Forecasts Public Cloud Services in the Middle East and North Africa to Grow 21% in 2020. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-02-13-gartner-forecasts-public-cloud-services-in-the-middle>. 15.11.2020.
- Gartner. 2020c. Gartner Says Worldwide End-User Spending on Cloud-Based Web Conferencing Solutions Will Grow Nearly 25% in 2020. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-06-02-gartner-says-worldwide-end-user-spending-on-cloud-based-web-conferencing-solutions-will-grow-nearly-25-percent-in-2020>. 15.11.2020.
- Gartner. 2020d. Gartner Says Worldwide IaaS Public Cloud Services Market Grew 37.3% in 2019. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-08-10-gartner-says-worldwide-iaas-public-cloud-services-market-grew-37-point-3-percent-in-2019>. 14.11.2020.
- Gartner. 2020e. Gartner CFO Survey Reveals A Dramatic Digital Acceleration Since COVID-19. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-11-12-gartner-cfo-survey-reveals-a-dramatic-digital-acceleration-since-covid19>. 15.11.2020.
- Gartner. 2020f. Gartner Says Worldwide IT Spending to Decline 7.3% in 2020. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-07-13-gartner-says-worldwide-it-spending-to-decline-7-point-3-percent-in-2020>. 15.11.2020.
- Gartner. 2020g. Gartner Says Worldwide PC Shipments Grew 2.8% in Second Quarter of 2020. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-07-09-gartner-says-worldwide-pc-shipments-grew-2point8-percent-in-second-quarter-of-2020>. 15.11.2020.
- Gault, M. 2018. The New iOS Update Killed Touch Functionality on iPhone 8s Repaired With Aftermarket Screens. Vice Motherboard 9.4.1018. <https://www.vice.com/en/article/59jwvz/iphone-8-aftermarket-touchscreens-ios-update>. 22.11.2020.
- GESP. 2020. The Global E-waste Monitor 2020. Quantities, flows, and the circular economy potential. The Global E-waste Statistics Partnership. <https://publications.globalewaste.org/v1/file/271/The-Global-E-waste-Monitor-2020-Quantities-flows-and-the-circular-economy-potential.pdf>. 20.11.2020.
- Gibbs, S. 2019. Fairphone 3 review: the most ethical and repairable phone you can buy. The Guardian. 18.9.2019. <https://www.theguardian.com/technology/2019/sep/18/fairphone-3-review-ethical-phone>. 12.12.2020.
- Giest, S. 2017. Big data analytics for mitigating carbon emissions in smart cities: opportunities and challenges. European Planning Studies, 25 (6), 941-957. <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1294149>. 8.12.2020.
- Google. 2020. Discover our data center locations. <https://www.google.com/about/datacenters/locations/>. 4.12.2020.
- Google Cloud. 2020a. Unilever and Google Cloud Team up to Reimagine the Future of Sustainable Sourcing. 22.9.2020. <https://cloud.google.com/press-releases/2020/0922/unilever-to-reimagine-future-of-sustainable-sourcing>. 8.12.2020.
- Google Cloud. 2020b. Cloud sustainability. <https://cloud.google.com/sustainability>. 8.12.2020.
- Gorey, C. 2020. Host in Ireland report downplays future emissions impact of data centres. Siliconrepublic. <https://www.siliconrepublic.com/machines/host-in-ireland-report-emissions-data-centres>. 5.11.2020.

- Gorlick, A. 2011. New virtual reality research – and a new lab – at Stanford. Stanford Report 8.4.2011. <https://news.stanford.edu/news/2011/april/virtual-reality-trees-040811.html> 10.12.2020.
- Gotech. 2020a. Kodintekniikan kauppa kasvoi 3,7 prosenttia vuonna 2019. 3.2.2020. <https://gotech.fi/2020/02/03/kodintekniikan-kauppa-kasvoi-37-prosenttia-vuonna-2019/>. 21.11.2020.
- Gotech. 2020b. Kodintekniikan kauppa jatkoi kasvuaan 9,5 prosentin vauhdilla. Gotech. 29.10.2020. <https://gotech.fi/2020/10/29/kodintekniikan-kauppa-jatkoi-kasvuaan-95-prosentin-vauhdilla/>. 21.11.2020.
- Grand View Research. 2020. Artificial Intelligence Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution (Hardware, Software, Services), By Technology (Deep Learning, Machine Learning), By End Use, By Region, And Segment Forecasts, 2020–2027 <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-market>. 1.9.2020.
- Gray, P. 2019. World Cup Pushes Global TV Shipments to 221 Million Units in 2018, IHS Markit Says . Omdia <https://technology.informa.com/611707/world-cup-pushes-global-tv-shipments-to-221-million-units-in-2018-ih-markit-says>. 1.9.2020.
- Gray, P. 2020. Omdia cuts 2020 TV shipment forecast by 10 percentage points as coronavirus crisis goes global. Omdia <https://technology.informa.com/622337/omdia-cuts-2020-tv-shipment-forecast-by-10-percentage-points-as-coronavirus-crisis-goes-global>. 1.9.2020.
- Greenpeace East Asia. 2019. Electricity consumption from China's internet industry to increase by two thirds by 2023: Greenpeace. 9.9.2019. <https://www.greenpeace.org/eastasia/press/1255/electricity-consumption-from-chinas-internet-industry-to-increase-by-two-thirds-by-2023-greenpeace-2/>. 15.11.2020.
- Greenpeace East Asia. 2020. Clean Cloud 2020 – Tracking Renewable Energy Use in China's Tech Industry. Abridged English version. <https://www.greenpeace.org/eastasia/press/2846/greenpeace-releases-first-ever-clean-energy-scorecard-for-chinas-tech-industry/>. 15.11.2020.
- Guerry, M. 2020. Housebound workforce fuels demand for used computers, but repairs aren't so easy. West Central Tribune. 16.4.2020. <https://www.wctrib.com/business/technology/5199336-Housebound-workforce-fuels-demand-for-used-computers-but-repairs-arent-so-easy>. 22.11.2020.
- Haakana, K. 2019. Kuinka paljon Areena käyttää sähköä ja mitä siitä seuraa? Yle Areena Blogit. 26.6.2019. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2019/06/26/kuinka-paljon-areena-kayttaa-sahkoa-ja-mita-siita-seuraa>. 8.8.2020.
- Haapasaari, J. 2018. Lisätyn todellisuuden soveltaminen kampusalueella. Lahden ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018053011299>. 10.12.2020.
- Hagey, K. & Haggin, P. 2020. Apple Faces Antitrust Complaint in France Over Privacy Changes in iPhones. The Wall Street Journal. 28.10.2020. <https://www.wsj.com/articles/apple-faces-antitrust-complaint-in-france-over-privacy-changes-in-iphones-11603893625>. 22.11.2020.
- Hamburger, Á. 2019. Is guarantee of origin really an effective energy policy tool in Europe? A critical approach. Society and Economy 41 (4), 487-507. https://www.researchgate.net/publication/338174749_Is_guarantee_of_origin_really_an_effective_energy_policy_tool_in_Europe_A_critical_approach. 12.11.2020.

- Hang, A. 2019. Already Cheaper Than Gas, China's Renewables to Undercut Coal by 2026. Wood Mackenzie Power & Renewables.
<https://www.greentechmedia.com/articles/read/chinas-renewables-cost-to-fall-below-coal-power-by-2026>. 15.11.2019.
- He, G., Lin, J., Sifuentes, F., Liu, X., Abhyankar, N. & Phadke, A. 2020. Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China's power system. Nature communications. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-16184-x>. 15.11.2020.
- Helmore, W. 2020. Amazon third-quarter earnings soar as pandemic sales triple profits. The Guardian. 29.10.2020.
<https://www.theguardian.com/technology/2020/oct/29/amazon-profits-latest-earnings-report-third-quarter-pandemic>. 8.12.2020.
- Hern, A. 2019. Amazon accused of abandoning 100% renewable energy goal. The Guardian. 9.4.2020. <https://www.theguardian.com/technology/2019/apr/09/amazon-accused-of-abandoning-100-per-cent-renewable-energy-goal>. 8.12.2020.
- Hiekkanen, K., Seppälä, T. & Ylhäinen, I. 2020. Informaatiosektorin energian- ja sähkökäyttö Suomessa. ETLA. <https://www.etla.fi/julkaisut/informaatiosektorin-energia-ja-sahkonkaytto-suomessa/>. 18.11.2020.
- Hietalahti, S. 2019. VR-sovellus leikkaussalisiivouksen opetusympäristöksi. Karelia ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittelyn koulutus. Opinnäytetyö.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060114012>. 10.12.2020.
- Hill, J.S. 2019. Greenpeace & Amazon Trade Blows Over 100% Renewable Energy Claims. Clean Technica. 15.2.2019.
<https://cleantechnica.com/2019/02/15/greenpeace-amazon-trade-blows-over-100-renewable-energy-claims/>. 3.12.2020.
- Hilty, L. 2019. Ecological risks and opportunities of digitalisation. Discussion Forum of Life cycle Assessment 73: Digital transformation: LCA of digital services, multifunctional devices and cloud computing. ETH Zürich.
<https://video.ethz.ch/events/lca/2019/autumn/73rd/15935c62-fd1e-4c0a-9f1a-26dc3cf29b0c.html>. 2.4.2020.
- Hoffman, C. 2020. What is 5G, and How Fast Will It Be? How-To Geek.
<https://www.howtogeek.com/340002/what-is-5g-and-how-fast-will-it-be/>. 31.8.2020.
- Houston J. & Anna Kim, I. 2019. Why printer ink is so expensive. Business Insider. 5.9.2019. <https://www.businessinsider.com/why-printer-ink-so-expensive-2019-8?r=US&IR=T>. 22.11.2020.
- Huddleston, T. 2020. Amazon had to pay federal income taxes for the first time since 2016 — here's how much. CNBC Make It. 4.2.2020.
<https://www.cnbc.com/2020/02/04/amazon-had-to-pay-federal-income-taxes-for-the-first-time-since-2016.html>. 8.12.2020.
- Hänninen, J. 2020. Valtava pyramidihuijaus on hiipumassa – virtuaalivaluutta OneCoin ajautui kaaokseen. Yle 5.1.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-11139686>. 24.11.2020.
- IEA. 2017. Energy Policies of IEA Countries: Norway 2017 Review. International Energy Agency.
https://www.regjeringen.no/contentassets/21e80b8392494672897854413675021e/iea-rapport-idr_2017_norway_web-final.pdf. 26.11.2020.
- IEA. 2019. Global Energy & CO2 Status Report 2019. International Energy Agency. Emissions.

- <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions>. 26.11.2020.
- IEA. 2020a. Renewables 2020. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>. 3.12.2020.
- IEA. 2020b. Global Energy Review 2020. Global energy and CO2 emissions in 2020. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>. 26.11.2020.
- IIASA. 2019. TWI2050, The World in 2050 Report: The Digital Revolution and Sustainable Development: Opportunities and Challenges. International Institute for Applied Systems Analysis. <https://iiasa.ac.at/web/home/research/twi/Report2019.html>. 21.11.2020.
- IMPEL. 2018. IMPEL –TFS Enforcement Actions: Project Report 2016 –2017: Enforcement of the European Waste Shipment Regulation. <https://www.impel.eu/wp-content/uploads/2019/01/FR-2018-04-Enforcement-Actions-project-2016-2017.pdf>. 9.12.2020.
- Independent Expert Advisory Group. 2014. A world That Counts: Mobilising the Data Revolution for Sustainable Development. The United Nations Secretary-General's Independent Expert Advisory Group on a Data Revolution for Sustainable Development (IEAG). 11.2014. <https://www.undatarevolution.org/wp-content/uploads/2014/11/A-World-That-Counts.pdf>. 8.12.2020.
- Interbrand. 2020. Best Global Brands 2020 – A New Decade of Possibility. Interbrand. https://learn.interbrand.com/hubfs/INTERBRAND/Interbrand_Best_Global_Brands_%202020.pdf. 22.11.2020.
- Interpol. 2009. Electronic Waste and Organized Crime – Assessing the Links. The International Criminal Police Organization. <https://www.interpol.int/content/download/5174/file/Electronic%20Waste%20and%20Organized%20Crime%20-%20Assessing%20the%20Links.pdf>. 22.11.2020.
- IRENA. 2020. Renewable Capacity Statistics 2020. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>. 15.11.2020.
- ITU-R. 2015. Recommendation ITU-R M.2083-0 (09/2015). IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. International Telecommunication Union. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf. 21.11.2020.
- JAMK. 2020. Modernin teknologian hyödyntäminen opetuksessa – nyt ja tulevaisuudessa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Open stage. 27.5.2020. <https://verkkolehdet.jamk.fi/openstage/2020/05/modernin-teknologian-hyodyntaminen-opetuksessa-nyt-ja-tulevaisuudessa/>. 20.12.2020.
- Jeffries, A. 2014. The bleeding edge in Bitcoin-mining hardware comes to CES. The Verge 7.1.2014. <https://www.theverge.com/2014/1/7/5285242/the-bleeding-edge-in-bitcoin-mining-hardware-comes-to-ces>. 24.11.2020.
- Joutsijoki, H. 2018. Tiedonlouhinta ja sen mahdollisuudet. Suomen tieteellinen kirjastoseura. Seminaariesitys. 6.2018. https://www.stks.fi/wp-content/uploads/2018/06/STKS_Seminaari_Henry_Joutsijoki.pdf. 7.12.2020.
- Judge, P. 2017. The data center life story. DCD <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/the-data-center-life-story/>. 1.9.2020.

- Junttila, H. 2020. Datahäpeää koronan pyörteissä. Mikrobitti 36 (4), 3
- Juntunen, J. 2020. Palvelupyyntö ID: [IR8328] on ratkaistu. 4.11.2020. 1703328@edu.karelia.fi. 5.11.2020.
- Karelia AMK. 2020a. Karelia2030 – kestävä elinvoimaa. Karelia Ammattikorkeakoulu. <https://www.karelia.fi/wp-content/uploads/2016/09/karelia-strategia-2020-2030-2.pdf>. 7.12.2020.
- Karelia AMK. 2020b. Karelia-Moodle tietosuojaseloste. https://vanha.karelia.fi/rekisteriselosteet/moodlerooms_privacy_policy.pdf. 5.11.2020.
- Kafka, P. 2018. You can watch Netflix on any screen you want, but you're probably watching it on a TV. Recode/Vox. <https://www.vox.com/2018/3/7/17094610/netflix-70-percent-tv-viewing-statistics>. 8.8.2020.
- Kamiya, G. 2020. The carbon footprint of streaming video: fact-checking the headlines. IEA. <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>. 8.8.2020.
- Kastarinen, A. 2019. Virtuaaliset oppimisympäristöt suun terveydenhuollon koulutuksissa: Kuvailuva kirjallisuuskatsaus. Savonia ammattikorkeakoulu. Sosiaali- teveys- ja liikunta-ala. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904044344>. 10.12.2020.
- Kastrenakes, J. 2018. Google mandates two years of security updates for popular phones in new Android contract. The Verge. <https://www.theverge.com/2018/10/24/18019356/android-security-update-mandate-google-contract>. 2.4.2020.
- Kearns, J. 2020. We need to address streaming's massive carbon footprint. Venturebeat. <https://venturebeat.com/2020/02/22/we-need-to-address-streamings-massive-carbon-footprint/>. 2.4.2020.
- Keene, J. 2012. Apple bows to EU pressure, clarifies two-year statutory warranty coverage. The Verge. 2.4.2012. <https://www.theverge.com/2012/4/2/2919756/apple-eu-statutory-warranty-two-years>. 22.11.2020.
- Kemp, S. 2020. Digital 2020: Global Digital Overview. DataReportal. <https://datareportal.com/reports/digital-2020-global-digital-overview>. 31.8.2020.
- Keskinen, M. 2019. 5G in nutshell. Nokia. 27.11.2019. https://www.digicenterns.fi/wp-content/uploads/2019/11/5G_lecture_27112019.pdf. 10.12.2020.
- Kiviranta, V. 2017. Videoiden suosio kasvattaa internetin päästöjä – Miten surffailla energiaa säästään? Yle uutiset 12.2.2017 <https://yle.fi/uutiset/3-9424808>. 8.8.2020.
- Koebler, j. 2017. Apple Is Lobbying Against Your Right to Repair iPhones, New York State Records Confirm. Vice Motherboard. 18.5.2017. <https://www.vice.com/en/article/nz85y7/apple-is-lobbying-against-your-right-to-repair-iphones-new-york-state-records-confirm>. 22.11.2020.
- Koebler, J. 2018. Apple Sued an Independent iPhone Repair Shop Owner and Lost. Vice Motherboard 13.4.2018. <https://www.vice.com/en/article/a3yadk/apple-sued-an-independent-iphone-repair-shop-owner-and-lost>. 22.11.2020.
- Kotilainen, S. 2008. Datakeskus on ilmastopommi – rajuja keinoja tarvitaan, Tivi <https://www.tivi.fi/uutiset/datakeskus-on-ilmastopommi-rajuja-keinoja-tarvitaan/be78fac2-1b2b-3770-9f1b-297b0bc4ebb2>. 8.8.2020.
- Koomey, J. & Naffziger, S. 2015. Moore's Law Might Be Slowing Down, But Not Energy Efficiency. <https://spectrum.ieee.org/computing/hardware/moores-law-might-be-slowing-down-but-not-energy-efficiency>. 10.8.2020.

- Koomey, J. G. 2011. Growth in data center electricity use 2005 to 2010. Analytics Press for New York Times.
<http://www.mediafire.com/file/zzqna34282frr2f/koomeydatacenterlectuse2011finalversion.pdf>. 27.11.2020.
- Laakso, V. & Terävä, H. 2019. Netti syö kasvavalla tahdilla sähköä ja suurin syyllinen ovat nettivideot – "Epämiellyttävä totuus, josta ei haluta puhua". Yle Uutiset 26.6.2019 (Oikaisu 1.7.2019) <https://yle.fi/uutiset/3-10832413>. 8.8.2020.
- Laaksonen, K. 2020a. Digiviihdekö ekoteko? Mikrobitti 36 (5), 42-49.
- Laaksonen, K. 2020b. Hiilijalanjäljestä nousi haloo. Mikrobitti 36 (3), 8.
- Laaksonen, V. 2018. Riittääkö vihreälle sähkölle kysyntää?. Reilua Energiaa.
<https://reiluaenergiaa.fi/ilmasto/riittaako-vihrealle-sahkolle-kysyntaa/>. 12.11.2020.
- LaFreniere, M. 2015. Canon Inkjet Printer Class Action Settlement. Top Class Actions. 24.9.2015. <https://topclassactions.com/lawsuit-settlements/closed-settlements/170371-canon-inkjet-printer-class-action-settlement/>. 22.11.2020.
- Larsen, R. 2020a. Streaming: Video/audio quality (bitrate). Flat Panels HD Forum. 27.5.2020. <https://www.flatpanelshd.com/flatforums/viewtopic.php?p=27322#p27322>. 4.12.2020.
- Larsen, R. 2020b. Netflix cuts 4K bitrate in half, promises same quality 4K video. Flat Panels HD. 15.10.2020. <https://www.flatpanelshd.com/news.php?subaction=showfull&id=1602743673>. 4.12.2020.
- Leatham, X. 2020. Sending just ONE email less every day could cut CO2 emissions by 16,000 tonnes – the same as 80,000 flights. Daily Mail Online. 20.11.2020. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-8966829/Sending-just-ONE-email-day-cut-CO2-emissions-16-000-tonnes.html>. 7.12.2020.
- Lecher, C. 2019. American Trash – How an e-waste sting uncovered a shocking betrayal. The Verge 4.12.2019. <https://www.theverge.com/2019/12/4/20992240/e-waste-recycling-electronic-basel-convention-crime-total-reclaim-fraud>. 9.12.2020.
- Lee, J. & Kockelman, K.M. 2019. Energy implications of self-driving vehicles. 98th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 1.2019. https://www.cae.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/TRB19EnergyAndEmissions.pdf. 30.11.2020.
- Leskinen, M. 2018. Uusiutuvan energian hankinta sähkön alkuperätakuiden avulla. Energia. <https://www.energia.com/wp-content/uploads/2018/05/Uusiutuvan-energian-hankinta-s%C3%A4hk%C3%B6n-alkuper%C3%A4takuiden-avulla-webinaari-9.5.2018.pdf>. 12.11.2020.
- Levenson, J. 2020. Here's how and where you can watch the best 4K content. Digital Trends. <https://www.digitaltrends.com/home-theater/where-and-how-to-watch-4k-uhd-content/>. 2.4.2020.
- Linnake, T. 2020. Uuden Xboxin ennakkomyynti alkoi – moni saattoi ostaa vahingossa väärän konsolin. Ilta-Sanomat. 24.9.2020. <https://www.is.fi/digitoday/art-2000006646395.html>. 21.11.2020.
- Liptak, A. 2019. The MPAA says streaming video has surpassed cable subscriptions worldwide. The Verge. <https://www.theverge.com/2019/3/21/18275670/mpaa-report-streaming-video-cable-subscription-worldwide>. 2.4.2020.
- Liu, S. 2020. Market share of top online video codecs and containers worldwide from 2016 to 2018. Statista. <https://www.statista.com/statistics/710673/worldwide-video-codecs-containers-share-online/>. 5.12.2020.

- LTG. 2020. Learning Technologies Group to acquire Blackboard's Open LMS for \$31.7 million. LTG. <https://www.ltgplc.com/news/ltg-to-acquire-blackboards-open-lms/>. 5.11.2020.
- Lowensohn, J. 2012. Apple shelves AppleCare warranty product in Italy. Cnet. 13.11.2012. <https://www.cnet.com/news/apple-shelves-applecare-warranty-product-in-italy/>. 22.11.2020.
- Lucivero, F. 2019. Big Data, Big Waste? A Reflection on the Environmental Sustainability of Big Data Initiatives. *Science and Engineering Ethics* volume 26 (2020), 1009–1030. <https://doi.org/10.1007/s11948-019-00171-7>. 7.12.2020.
- LVM. 2020. ICT-ala, ilmasto ja ympäristö : ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmisteleavan työryhmän väliraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:9. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-601-6>. 13.11.2020.
- Macrotrends. 2020a. Amazon Revenue 2006-2020 | AMZN. <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/AMZN/amazon/revenue>. 8.12.2020.
- Macrotrends. 2020b. Microsoft Revenue 2006-2020 | MSFT. <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/MSFT/microsoft/revenue>. 8.12.2020.
- Mangiante, S., Klas, G., Navon, A., GuanHua, Z., Ran, J. & Silva, M.D. 2017. VR is on the Edge: How to Deliver 360° Videos in Mobile Networks. Conference Paper. VR/AR Network '17, August 25, 2017, Los Angeles, CA, USA. <https://doi.org/10.1145/3097895.3097901>. 10.12.2020.
- Marcacci, S. 2020. Plummeting Renewable Energy, Battery Prices Mean China Could Hit 62% Clean Power And Cut Costs 11% By 2030. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2020/08/10/plummeting-renewable-energy-battery-prices-mean-china-could-hit-62-clean-power-and-cut-costs-11-by-2030/>. 15.11.2020.
- Marra, A., Cesaro, A. & Belgiorno, V. 2015. WEEE Mechanical Treatments: Effectiveness of Critical Materials. Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes. https://cest2015.gnest.org/papers/cest2015_01433_oral_paper.pdf. 22.11.2020.
- Marttila, L. 2018. Lisätty todellisuus lisäarvon tuottajana : Case: Martela Oyj. Savonia ammattikorkeakoulu. Liiketalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018122022593>. 10.12.2020.
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. 2020. Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science* 367 (6481), 984–986. <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984>. 27.11.2020.
- Mauldin, A. 2020. Watch: Bandwidth Demand in a Pandemic. *TeleGeography Blog*. 16.11.2020. <https://blog.telegeography.com/watch-bandwidth-demand-in-a-pandemic>. 27.11.2020.
- Mavlankar, A., Guo, L., Moorthy, A. & Aaron, A. 2020. Optimized shot-based encodes for 4K: Now streaming! *Netflix Technology Blog*. 28.8.2020. <https://netflixtechblog.com/optimized-shot-based-encodes-for-4k-now-streaming-47b516b10bbb>. 4.12.2020.
- McDonald, A. 2017. IHS: TV replacement cycle to help spur flat panel growth <https://www.digitaltveurope.com/2017/11/22/ihs-tv-replacement-cycle-to-help-spur-flat-panel-growth/>. 1.9.2020.
- McKinsey & Company. 2020. How COVID-19 has pushed companies over the technology tipping point—and transformed business forever. <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our->

- [insights/how-covid-19-has-pushed-companies-over-the-technology-tipping-point-and-transformed-business-forever?action=download](#). 15.11.2020.
- Microsoft Corporation. 2020a. Corporate Social Responsibility. https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/sustainability?activetab=pivot_1%3aprimar3. 8.12.2020.
- Microsoft Corporation. 2020b. Microsoft Sustainability Calculator helps enterprises analyze the carbon emissions of their IT infrastructure. Microsoft Azure. 16.1.2020. <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/microsoft-sustainability-calculator-helps-enterprises-analyze-the-carbon-emissions-of-their-it-infrastructure/>. 3.12.2020.
- Microsoft Corporation. 2020c. Microsoft Sustainability Calculator. Microsoft AppSource. https://appsource.microsoft.com/en-us/product/power-bi/ai-sustainability/sustainability_dashboard?tab=Reviews#. 3.12.2020.
- Microsoft News Center. 2019. Schlumberger, Chevron and Microsoft announce collaboration to accelerate digital transformation. Microsoft Stories. 17.9.2019. <https://news.microsoft.com/2019/09/17/schlumberger-chevron-and-microsoft-announce-collaboration-to-accelerate-digital-transformation/>. 8.12.2020.
- Mielenterveyspooli. 2020. Ilmastoahdistus ja sen kanssa eläminen. <https://mielenterveyspooli.fi/materiaalipankki/ilmastoahdistus-ja-sen-kanssa-elaminen/>. 7.12.2020.
- Mikkonen, A. & Pakkanen, P. 2017. Lisätty todellisuus ja sen hyödyntäminen poliisitoiminnassa. Poliisiammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201703093086>. 10.12.2020.
- Mikolajczak, C. 2020. Apple crushes one-man repair shop in Norway's Supreme Court, after three-year battle. 4.6.2020. <https://repair.eu/news/apple-crushes-one-man-repair-shop/>. 22.11.2020.
- Mikrobitti. 2020a. Microsoftin uhkapeli kannatti – uusi Xbox lähtenyt räjähtävään nousuun, palveluntarjoajat natisevat latailupiikin alla. Mikrobitti. 17.11.2020. <https://www.mikrobitti.fi/uutiset/microsoftin-uhkapeli-kannatti-uusi-xbox-lahtenyt-rajattavaan-nousuun-palveluntarjoajat-natisevat-latailupiikin-alla/80df4b8c-3e1a-4e87-ae67-04162601d022>. 21.11.2020.
- Mikrobitti. 2020b. PlayStation 4 rikkoo ennätystä, vaikka PS5 on jo nurkan takana. Mikrobitti. 14.5.2020. <https://www.mikrobitti.fi/uutiset/playstation-4-rikkoo-ennatysta-vaikka-ps5-on-jo-nurkan-takana/70b07ea0-cfbf-4f89-9b21-eb30cda1c598>. 21.11.2020.
- Miller, C. 2020. Apple loses appeal in Italy over 10 million euro fine for iPhone performance throttling. 9to5Mac. 30.5.2020. <https://9to5mac.com/2020/05/30/apple-loses-appeal-in-italy-over-10-million-euro-fine-for-iphone-performance-throttling/>. 22.11.2020.
- Mills, M.P. 2016. Pokémon's Big Carbon Footprint Illustrates Energy Reality. Forbes. 25.7.2016. <https://www.forbes.com/sites/markpmills/2016/07/25/pokemons-big-carbon-footprint-a-virtual-reality-games-teaching-moment-about-energy-reality/>. 10.12.2020.
- Milman, O. 2020. Amazon threatened to fire employees for speaking out on climate, workers say. The Guardian. 2.1.2020. <https://www.theguardian.com/technology/2020/jan/02/amazon-threatened-fire-employees-speaking-out-climate-change-workers-say>. 8.12.2020.
- Mishra, A. 2020. Data Science: The Key Tool Cities Need To Reduce Carbon Emissions. Forbes. 13.7.2020.

- <https://www.forbes.com/sites/ankitmishra/2020/07/13/data-science-the-key-tool-cities-need-to-reduce-carbon-emissions/>. 8.12.2020.
- Molloy, D. 2020. Climate change: Can sending fewer emails really save the planet? BBC News 19.11.2020. <https://www.bbc.com/news/technology-55002423>. 30.11.2020.
- Moro, A. & Lonza, L. 2018. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 64, October 2018, 5-14. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>. 26.11.2020.
- Motiva. 2020. CO2-päästökertoimet. Motiva. 4.8.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet. 26.11.2020.
- MPEG LA. 2020. AVC/H.264. <https://www.mpegla.com/programs/avc-h-264/>. 5.12.2020.
- MSWorkers. 2019. Microsoft Workers for Climate Justice. <https://github.com/MSWorkers/for.ClimateAction>. 8.12.2020.
- Mulligan, M. 2020. Recorded Music Revenues Hit \$21.5 Billion in 2019. Midia. <https://www.midiaresearch.com/blog/recorded-music-revenues-hit-21-5-billion-in-2019/>. 2.4.2020.
- Mytton, D. 2020. Assessing the suitability of the Greenhouse Gas Protocol for calculation of emissions from public cloud computing workloads. Journal of Cloud Computing volume 9, Article number: 45 (2020). <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-020-00185-8>. 3.12.2020.
- Neikirk, L. 2019. How Long Should Your TV Last? <https://www.reviewed.com/televisions/features/how-long-should-a-tv-last>. 1.9.2020.
- Nevalainen, S. 2020a. Peliohjelmoinnin lehtori. Karelia-ammattikorkeakoulu. Ohjaustapaaminen 9.10.2020.
- Nevalainen, S. 2020b. Peliohjelmoinnin lehtori. Karelia-ammattikorkeakoulu. Ohjaustapaaminen 30.11.2020.
- Newman, P. 2020. THE INTERNET OF THINGS 2020: Here's what over 400 IoT decision-makers say about the future of enterprise connectivity and how IoT companies can use it to grow revenue. Preview. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/internet-of-things-report?IR=T>. 29.3.2020.
- Ng, A. 2019. Smartphone users are waiting longer before upgrading — here's why. CNBC. <https://www.cnbc.com/2019/05/17/smartphone-users-are-waiting-longer-before-upgrading-heres-why.html>. 31.8.2020.
- Nicas, J. 2020. Apple Reaches \$2 Trillion, Punctuating Big Tech's Grip. The New York Times. 19.8.2020. <https://www.nytimes.com/2020/08/19/technology/apple-2-trillion.html>. 22.11.2020.
- Nieva, R. 2019. Google makes global investment in solar and wind power. Cnet. 19.9.2019. <https://www.cnet.com/news/google-makes-global-investment-in-solar-and-wind-power/>. 24.11.2020.
- Nirajan, A. 2018. Bitcoin energy boom stamps down colossal carbon footprint. DW. <https://www.dw.com/en/bitcoin-energy-boom-stamps-down-colossal-carbon-footprint/a-41695365>. 2.4.2020.

- Nokia. 2020a. Nokia, Elisa and Qualcomm achieve 5G speed record in Finland. Nokia Press Release. 17.11.2020.
<https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2020/11/18/nokia-elisa-and-qualcomm-achieve-5g-speed-record-in-finland/>. 10.12.2020.
- Nokia. 2020b. People & Planet Report 2019.
https://www.nokia.com/sites/default/files/2020-03/Nokia_People_and_Planet_Report_2019.pdf. 20.11.2020.
- Nordic-Baltic Telecom Statistics 2019. 2020. Telecommunications Markets in the Nordic and Baltic Countries 2019. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Telecommunications-Markets-in-the-Nordic-and-Baltic-Countries-2019.pdf>. 26.11.2020.
- O'Halloran, J. 2012. TV Replacement Cycle Falls Below 7 Years. Rapid TV News <https://www.rapidtvnews.com/2012053022127/tv-replacement-cycle-falls-below-7-years.html>. 1.9.2020.
- Oberhaus, D. 2019. Amazon, Google, Microsoft: Here's Who Has the Greenest Cloud. Wired. <https://www.wired.com/story/amazon-google-microsoft-green-clouds-and-hyperscale-data-centers/>. 5.11.2020.
- OECD. 2020. OECD broadband statistics update. Organisation for Economic Co-operation and Development. 22.7.2020.
<http://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/>. 26.11.2020.
- Open LMS. About us. <https://www.openlms.net/about-us/>. 12.11.2020.
- Open LMS. 2020a. <https://www.openlms.net/>. 5.11.2020.
- Open LMS. 2020. Why Open LMS? <https://www.openlms.net/why-open-lms/>. 4.12.2020.
- OVO Energy. 2019. 'Think Before You Thank': If every Brit sent one less thank you email a day, we would save 16,433 tonnes of carbon a year – the same as 81,152 flights to Madrid. OVO Energy. 26.11.2019. <https://www.ovoenergy.com/ovo-newsroom/press-releases/2019/november/think-before-you-thank-if-every-brit-sent-one-less-thank-you-email-a-day-we-would-save-16433-tonnes-of-carbon-a-year-the-same-as-81152-flights-to-madrid.html>. 7.12.2020.
- Pakarinen, K. 2020. VR-Opetusympäristö: Mikroskooppi. Savonia ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202002252732>. 10.12.2020.
- Parker, G., Venkataramakrishnan, S. & Hook, L. 2020. Thanks for polluting the planet: emails blamed for climate change. Financial Times. 18.11.2020.
<https://www.ft.com/content/592e2903-a6af-4600-8987-3ea4b60b723b>. 7.12.2020.
- Paul, K. 2020. Hundreds of workers defy Amazon rules to protest company's climate failures. The Guardian. 28.1.2020.
<https://www.theguardian.com/technology/2020/jan/27/amazon-workers-climate-protest>. 8.12.2020.
- Pekkarinen, E. & Myllyniemi, S. 2019. Nuorisobarometri 2018: Infografiikka. Valtion nuorisoneuvoston julkaisu 60. Nuorisotutkimus-seuran/Nuorisotutkimusverkoston julkaisu 216.
<https://tietoanuorista.fi/wp-content/uploads/2019/03/nuorisobaro2018-infografiikka-nettifinal.pdf>. 7.12.2020.
- Pekkinen, J. Katse kohti 6G-verkkoja! Yle Puhe. 23.11.2020. <https://areena.yle.fi/audio/1-50692468>. 23.11.2020.
- Pettigrew, Andrew M. 1997, What is a processual analysis? Scandinavian Journal of Management 13(4), 337–348.

- Pichai, S. 2020. Our third decade of climate action: Realizing a carbon-free future. Google: The Keyword. 14.9.2020. <https://blog.google/outreach-initiatives/sustainability/our-third-decade-climate-action-realizing-carbon-free-future>. 8.12.2020.
- Pongratz, S. 2019. Ten 5G Predictions 2020. Dell'Oro Group. <https://www.delloro.com/ten-5g-predictions-2020/>. 29.3.2020.
- Proctor, N. 2020. Right to Repair surges forward on multiple fronts to start 2020. U.S. PIRG 7.2.2020. <https://uspig.org/blogs/blog/usp/right-repair-surges-forward-multiple-fronts-start-2020>. 22.11.2020.
- Rada, M. 2020. Does Liam loves Daisy? Michael Rada. 12.6.2020. <https://michael-rada.medium.com/does-liam-loves-daisy-8c0daa2b9b35>. 22.11.2020.
- Rahkola, M. 2019. Katsaus lohkokejtuteknologioiden hyödyntämiseen Suomessa. Raportti tulevaisuusvaliokunnalle. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 1/2019. https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/NETTI_TUVJ_1_2019_Lohkoketjuteknologiat.pdf. 12.12.2020.
- Ramrayka, L. 2018. How big data can help us fight climate change faster. Wolrd Economic Forum. 19.10.2018. <https://www.weforum.org/agenda/2018/10/how-big-data-can-help-us-fight-climate-change-faster/>. 8.12.2020.
- Rantsi, J. 2018. Lisätty todellisuus konetekniikassa : Creo Parametric 3D-mallit HoloLens-alustalla. Hämeen ammattikorkeakoulu. Konetekniikka. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018053011246>. 10.12.2020.
- Research and Markets. 2020. Cloud Computing Market by Service Model (Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), and Software as a Service (SaaS)), Deployment Model (Public and Private), Organization Size, Vertical, and Region – Global Forecast to 2025. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5136796/cloud-computing-market-by-service-model>. 15.11.2020.
- Reuter, M.A., Schaik, A. & Gedija, J. 2015. Simulation-based design for resource efficiency of metal production and recycling systems: Cases – copper production and recycling, e-waste (LED lamps) and nickel pig iron. The International Journal of Life Cycle Assessment volume 20, 671–693. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0860-4>. 22.11.2020.
- Rogers, S. 2019. Could Virtual Reality Make Us Care More About Climate Change? Forbes. 1.11.2019. <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2019/11/01/could-virtual-reality-make-us-care-more-about-climate-change/>. 10.12.2020.
- Rohwer-Kahlmann, M. 2020. Beyond repair: Planned obsolescence. Deutsche Welle. 10.11.2020. <https://p.dw.com/p/3l6Jq>. 22.11.2020.
- Rujanavech, C., Lessard, J., Chandler, S., Shannon, S., Dahmus, J., Guzzo, R. 2016. Liam – An Innovation Story. Apple. https://www.apple.com/environment/pdf/Liam_white_paper_Sept2016.pdf. 22.11.2020.
- Rummukainen, E. 2020. Virtuaaliodellisuuden hyödyntäminen ajoneuvotekniikan insinööriopintuksessa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020102921823>. 10.12.2020.
- Rushkoff, D. 2016. The best smartphone is the one you already own. Digital Trends. 24.9.2016. <https://www.digitaltrends.com/opinion/the-best-smartphone-is-the-one-you-already-own/>. 12.12.2020.

- Rust Consulting, Inc. 2006. 2006 Epson Ink Cartridge Class Action Lawsuit Settlement. EpsonSettlement.com. <http://www.epsonsettlement.com/>. 22.11.2020.
- Räsänen, M. 2020. Näkökulma: Kuluttajien mitta tuli täyteen: Yli 1000 euroa puhelimesta on liikaa. Iltalehti. <https://www.iltalehti.fi/digi uutiset/a/ea59aa01-e1d7-491d-9198-4d03193f9ab1>. 31.8.2020.
- Salmela, M. & Tavela, P. 2017. Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen kirurgia- alan koulutuksissa. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittely. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705239653>. 10.12.2020.
- Salovaara-Hiltunen, M. 2018. Käyttäjäkokenus ja oppiminen virtuaalitodellisuudessa : simulaatiopelin ja skenaarioiden kehittäminen terveydenhuollon ammattilaisille. Turun ammattikorkeakoulu. Hyvinvointiteknologia. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804094299>. 10.12.2020.
- Sandvine 2020. COVID Internet Phenomena Spotlight Report. 2020 <https://www.sandvine.com/covid-internet-spotlight-report?hsCtaTracking=69c3275d-0a47-4def-b46d-506266477a50%7Cac52173f-34c1-42df-8469-a091e7219e7a>. 10.8.2020.
- Schonfeld, E. 2010. H.264 Already Won—Makes Up 66 Percent Of Web Videos. Tech Crunch. 1.5.2010. <https://techcrunch.com/2010/05/01/h-264-66-percent-web-video/>. 5.12.2020.
- Schrieberg, D. 2017. Landmark French Lawsuit Attacks Epson, HP, Canon And Brother For 'Planned Obsolescence'. Forbes. 26.9.2017. <https://www.forbes.com/sites/davidschrieberg/2017/09/26/landmark-french-lawsuit-attacks-epson-hp-canon-and-brother-for-planned-obsolescence/#274ddc621b36>. 22.11.2020.
- Schwab, K. 2019. This startup is radically changing how smartphones are built. Fast Company. 28.9.2019. <https://www.fastcompany.com/90395841/its-really-really-hard-to-design-a-smartphone-that-doesnt-hurt-people-or-the-planet>. 12.12.2020.
- Seppälä, A. 2020. 5G vs. 4G — Mikä muuttuu? Telia One Hub. 12.10.2020. <https://www.telia.fi/yrityksille/artikkelit/artikkeli/5g-vs-4g>. 11.12.2020.
- Sharma, R. 2020. Reducing emails won't save us – they're a tiny fraction of climate change caused by the internet. inews.co.uk. 20.11.2020. <https://inews.co.uk/news/environment/emails-climate-change-effects-computer-internet-explained-765452>. 7.12.2020.
- Sipilä, A. 2020. Tunteet ilmastonmuutoksen hillinnän tiellä? Tampereen yliopisto. Yhteiskuntatutkimuksen tutkinto-ohjelma. Kandidaattitutkielma. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-201912197021>. 7.12.2020.
- Skyttä, T. & Lappalainen, J. 2020. VÄHEMMÄN PERINTEISIÄ WEBINAAREJA, ENEMMÄN VIRTUAALITODELLISUUTTA: Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen tapahtumassa, CASE: 3D Talon. Savonia ammattikorkeakoulu. Yhteiskuntatieteiden, liiketalouden ja hallinnon ala. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020120927051>. 10.12.2020.
- Smith, B. 2019. We're increasing our carbon fee as we double down on sustainability. Microsoft Blogs. 15.4.2019. <https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2019/04/15/were-increasing-our-carbon-fee-as-we-double-down-on-sustainability/>. 8.12.2020.
- Smith, B. 2020. Microsoft will be carbon negative by 2030. Microsoft blogs. 16.1.2020. <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>. 8.12.2020.
- SOLAR. 2020. What is Learning Analytics? Society for Learning Analytics Research. <https://www.solaresearch.org/about/what-is-learning-analytics/>. 8.12.2020.

- Sortor, E. 2018. HP Can't Escape Ink Cartridge Monopoly Class Action Lawsuit. Top Class Actions. 2.4.2018. <https://topclassactions.com/lawsuit-settlements/lawsuit-news/840859-hp-cant-escape-ink-cartridge-monopoly-class-action-lawsuit/>. 22.11.2020.
- Sortor, E. 2019. Epson Class Action Says Printers Disabled When Non-Epson Ink Used. Top Class Actions. 22.10.2019. <https://topclassactions.com/lawsuit-settlements/consumer-products/electronics/927517-epson-class-action-says-printers-disabled-when-non-epson-ink-used/>. 22.11.2020.
- Stake, Robert E. 1995. The art of case study research: Perspectives on practice. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Statista. 2018. Apple iPhone annual sales worldwide from 2007 to 2018. <https://www.statista.com/statistics/276306/global-apple-iphone-sales-since-fiscal-year-2007/>. 22.11.2020.
- Statista. 2019a. Global mobile data traffic from 2017 to 2022 <https://www.statista.com/statistics/271405/global-mobile-data-traffic-forecast/>. 1.9.2020.
- Statista. 2019b. Average lifespan (replacement cycle length) of consumer desktop PCs in the United States from 2018 to 2023 <https://www.statista.com/statistics/267465/average-desktop-pc-lifespan/>. 1.9.2020.
- Statista. 2019c. Average lifespan (replacement cycle length) of consumer tablets in the United States from 2018 to 2023 <https://www.statista.com/statistics/267473/average-tablet-life/>. 1.9.2020.
- Statista. 2020a. Average age installed base PCs (desktop & mobile) in the United States from 2017 to 2022 <https://www.statista.com/statistics/267474/average-life-of-pc-and-tablets/>. 1.9.2020.
- Statista. 2020b. Consumer Electronics – worldwide. Statista. <https://www.statista.com/outlook/251/100/consumer-electronics/worldwide>. 21.11.2020.
- Statista. 2020c. Estimated growth rates for the global electronics industry from 2019 to 2020, by region. <https://www.statista.com/statistics/268396/estimated-growth-rates-for-the-electronics-industry-by-region/>. 21.11.2020.
- Stetkiewicz, C. 2020. Shell, Microsoft find common ground in drive to reduce CO2 emissions. Microsoft Transform News. 22.9.2020. <https://news.microsoft.com/transform/shell-microsoft-find-common-ground-in-drive-to-reduce-co2-emissions/>. 8.12.2020.
- Suciu, P. 2017. Can the TV Industry Sustain Falling Prices? E-Commerce Times <https://www.ecommercetimes.com/story/84266.html>. 1.9.2020.
- Sullivan, M. 2018. Printed Electronics: Global Markets to 2022. BCC Publishing. <https://www.bccresearch.com/market-research/information-technology/printed-electronics-global-markets-report.html>. 20.11.2020.
- Solja, M. 2019. Luonnonvarojen syövä rinnakkaistodellisuus – digitaalisen viestinnän ekologinen jalanjälki. *Elonkehä* 25 (1), 11-17.
- Taloussanomien 2007. Digitoday – It-alan päästöt pyyhkivät ilmailun tasolla, *Taloussanomien* <https://www.is.fi/taloussanomien/art-2000001506981.html>. 8.8.2020.
- Tankovska, H. 2020. VR/AR/MR/XR technology and content investment focus worldwide from 2016 to 2019. Statista. <https://www.statista.com/statistics/829729/investments-focus-vr-augmented-reality-worldwide/>. 9.12.2020.

- Tanninen, T. 2020. Koronan varjolla tehdään virtuaalivaluutta- ja muita sijoitushuijausyrityksiä – näin tunnistat luvattoman toiminnan. Finanssivalvonta blogi. 17.6.2020. <https://www.finanssivalvonta.fi/tiedotteet-ja-julkaisut/blogit/2020/koronan-varjolla-tehdaan-virtuaalivaluutta-ja-muita-sijoitushuijausyrityksia--nain-tunnistat-luvattoman-toiminnan/>. 24.11.2020.
- TeleGeography. 2020a. Submarine Cable Map. <https://www.submarinecablemap.com/>. 28.11.2020.
- TeleGeography. 2020b. Submarine Cable 101. <https://www2.telegeography.com/submarine-cable-faqs-frequently-asked-questions>. 28.11.2020.
- Telia. 2018. Pilven monet kasvot – IaaS, PaaS ja SaaS. Telia Inmics-Nebula. 27.4.2018. https://www.inmicsnebula.fi/fi/blogi/pilven-monet-kasvot-iaas-paas-ja-saas?language_content_entity=fi. 14.11.2020.
- Telia. 2020a. Verkkomme Suomessa: Maan kattava varma ja luotettava runkoverkko. <https://www.telia.fi/operaattoreille/tuotteet-ja-palvelut/tutustu-meihin/verkkomme-suomessa>. 28.11.2020.
- Telia. 2020b. IT-johtajat: osaamisen puute hidastaa pilveen siirtymistä. Medialle. 30.4.2020. <https://www.telia.fi/telia-fi/telia-yrityksena/medialle/epress?articleId=bbb5ef05-4d4c-46f3-88e4-384083ab9e6c>. 14.11.2020.
- TEM. 2019. Edelläkävijänä tekoälyaikaan: Tekoälyohjelman loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:23. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161447/23_19_Tekoalyraportti.pdf. 12.12.2020.
- The Economist. 2017. Mass entertainment in the digital age is still about blockbusters, not endless choice. The Economist Special report. 9.2.2017. <https://www.economist.com/special-report/2017/02/09/mass-entertainment-in-the-digital-age-is-still-about-blockbusters-not-endless-choice>. 12.12.2020.
- The Irish Times. 2020. Stop sending pointless emails, the planet will thank you. The Irish Times. 19.11.2020. <https://www.irishtimes.com/news/environment/stop-sending-pointless-emails-the-planet-will-thank-you-1.4413605>. 7.12.2020.
- The Shift Project. 2019a. Climate crisis: The unsustainable use of online video – A practical case study for digital sobriety <https://theshiftproject.org/en/article/unsustainable-use-online-video/>. 8.8.2020.
- The Shift Project. 2019b. Lean ICT – Towards Digital Sobriety <https://theshiftproject.org/en/article/lean-ict-our-new-report/>. 8.8.2020.
- Thrope, D. 2016. What Are G20 Members Really Doing About Climate Change? The Energy Collective Group. 13.9.2016. <https://energycentral.com/c/ec/what-are-g20-members-really-doing-about-climate-change>. 26.11.2020.
- TietoEVERY. 2019. State of cloud in the Nordics – Cloud Maturity Index 2019. <https://www.tietoevery.com/en/campaigns/2019/cloud-maturity-survey/#CMI-2019-51377>. 15.11.2020.
- Tilastokeskus. 2019. Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestön tieto- ja viestintätekniiikan käyttö [verkkajulkaisu]. ISSN=2341-8699. <http://www.stat.fi/til/sutivi/index.html>. 1.9.2020.
- Toivoa ja toimintaa. Ilmastokasvatus ja tunteet. Biologian ja maantieteen opettajien liitto BMOL ry. https://toivoajatoimintaa.fi/ilmastokasvatus-ja-tunteet/#37_Ymparistotunteet_ja_ilmastotunteet. 7.12.2020.

- Traficom. 2020a. Viestintäpalvelujen tilastotaulukko. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Viestintäpalveluiden-tilastokooonti.ods>. 19.11.2020.
- Traficom. 2020b. Kiinteän verkon puhelinliittymät. <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/kiinteän-verkon-puhelinliittymät>. 19.11.2020.
- Traficom. 2020c. Viestintäpalvelujen kuluttajatutkimus 2020. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Kuluttajatutkimus-2020-vastaustaulukko.ods>. 19.11.2020.
- Tukes. 2020. Ekosuunnittelu. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/ekosuunnittelu>. 8.12.2020.
- Tyson, C. 2020. Italy Rejects Apple's Appeal for Charging Slowed iPhones. Regard 30.5.2020. <https://regardnews.com/italy-rejects-apples-appeal-for-charging-slowed-iphones/>. 22.11.2020.
- Tyyli.com. 2020. Mekkoja ostetaan pikkuhiprakassa ja palautetaan - verkkokauppa pisti epäreilut asiakkaat kuriin, jo 10 000 saanut porttikiellon. Iltalehti. Tyyli.Com. 6.12.2020. <https://www.iltalehti.fi/muoti/a/14298c4f-4e5d-46e6-95dc-be67c7b42a61>. 13.12.2020.
- UN Global Pulse. 2020. <https://www.unglobalpulse.org/>. 8.12.2020.
- UNEP. 2013. Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. <https://www.resourcepanel.org/reports/metal-recycling>. 22.11.2020.
- UNEP. 2020. Experience your carbon footprint in VR. United Nations Environment Programme News and Stories. 25.6.2020. <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/experience-your-carbon-footprint-vr>. 10.12.2020.
- University of Michigan. 2019. 'Induced' driving miles could overwhelm potential energy-saving benefits of self-driving. ScienceDaily. 17.4.2019 <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/04/190417153800.htm>. 30.11.2020.
- UNVR. 2017. United Nations Virtual Reality. UN SDG Action Campaign. <http://unvr.sdgactioncampaign.org/>. 10.12.2020.
- Vaarala, V. 2020. Playstation 5 -konsolia myytiin netissä jo tuplahintaan, kun verkkokaupat kaatuivat ja tilaukset jäivät saamatta. Yle. 19.11.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-11656051>. 21.11.2020.
- Van Waasbergen, C. 2020. Activists and legislators fight for the ability to fix items from home. 23.9.2020. <https://dailynorthwestern.com/2020/09/24/city/activists-and-legislators-fight-for-the-ability-to-fix-items-from-home/>. 22.11.2020.
- Vattenfall. 2019. Miten sähkön alkuperätakuu toimii? <https://energyplaza.vattenfall.se/fi/blogi/miten-sahkon-alkuperatakuu-toimii>. 13.11.2020.
- Vepsäläinen, J. 2019. VR-ratkaisut opetuksessa ja oppimisessa. Karelia ammattikorkeakoulu. Tietojenkäsittelyn koulutuohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019120524759>. 10.12.2020.
- Via Licensing. 2020. AAC: Advanced Audio Coding. <https://www.via-corp.com/licensing/aac>. 5.12.2020.
- Vuolasaho, K. 2017. Virtuaalitodellisuus sähkötekniikan opintojen tukena. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikankoulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017120720165>. 10.12.2020.
- WEF. 2019. A New Circular Vision for Electronics – Time for a Global Reboot. World Economic Forum.

- http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf. 9.12.2020.
- Wenxin, G. 2012. Hot new model – Exploding Samsung phone causes anxiety. Global Times. 25.4.2012.
<https://www.pressreader.com/china/global-times/20120425/283107066021299>. 22.11.2020.
- Weston, S. 2020. Irish AWS data centres to be powered by 100% renewable energy by 2025. ITPro. <https://www.itpro.co.uk/server-storage/data-centres/356864/irish-aws-data-centres-to-be-powered-by-100-renewable-energy>. 5.11.2020.
- WWF. 2020. Laskentaperusteet. Ilmastolaskuri.
<http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/calculation-basis>. 26.11.2020.
- YK 2015. Agenda 2030 – kestävän kehityksen tavoitteet <https://um.fi/agenda-2030-kestavan-kehityksen-tavoitteet>. 24.8.2020.
- Youtube Help. Recommended upload encoding settings. Google.
<https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=en>. 4.12.2020.
- Zhang, Y. & Mi, Z. 2018. Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis. Applied Energy, Elsevier, vol. 220(C), 296-301.
<https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v220y2018icp296-301.html>. 30.11.2020.

Karelia-Moodlen tarkasteltavat kurssitoteutukset

Kurssien sisältö ja oppimistavoitteet haettu **Peppi - Opiskelijan työpöytä** -palvelusta:

Peppi. Opintohaku: toteutukset. Karelia AMK.
<https://opiskelija.peppi.karelia.fi/toteutukset> 5.12.2020.

C++-ohjelmointi, LTD7013 (Syksy 2019) 3 op

Karelia-Moodle: <https://moodle.karelia.fi/course/view.php?id=2863> 5.12.2020.

Opintojakson sisältö:

- C++-kielen perusteet, kääntäjä, luokat, virtuaalifunktiot, poikkeukset
- muistinhallinta ja osoittimet
- geneerinen ohjelmointi, STL tietovirrat ja tietovirtaoperaattori
- moniperintä ja timanttimalli
- kirjastojen käyttö ja luonti.

Opintojakson osaamistavoitteet:

Tavoitteena ottaa C++-ohjelmointikieli haltuun UE4-kehitystä varten.

ICT-toimeksiantoprojekti, LTD6049-LTB20M1 (Kevät 2020) 10 op

Karelia-Moodle: <https://moodle.karelia.fi/course/view.php?id=4105> 5.12.2020.

Opintojakson sisältö:

- Toimeksiantoihin perustuvan ketterän kehitystoiminnan hallinta ja arviointi.
- Edistynyt vaatimusten-, tuotteen- ja konfiguraation hallinta. Ohjelmisto- ja ICT- kehitysprojektien automatisointi (DevOps, IT -process automation)
- Vaatimusten-, tuotteen ja konfiguraationhallinnan työkaluja.
- Testausympäristöt ja testausprosessien suunnittelun perusteet, automaattisen testauksen menetelmät ja ympäristöt.
- Valmiiden komponenttien riippuvuuksien hallinta (dependency management)

Karelia-Moodlen tarkasteltavat kurssitoteutukset

- Suuntautumisten ja toimeksiantojen pohjalta tarvittavat valinnaiset sisällöt (peliohjelmointi, ohjelmistokehitys ja digitaalinen liiketoiminta, älykäs automaatio).

Opintojakson osaamistavoitteet:

- Opiskelija osaa toimia itsenäisenä kehittäjänä ja ryhmän jäsenenä ulkoiseen toimeksiantoon perustuvassa ICT-projektissa
- Opiskelija osaa arvioida omaa sekä ryhmän kehittämistoimintaa kokonaisuutena.
- Opiskelija tuntee, osaa soveltaa, arvioida ja kehittää ketteriä kehitysmenetelmiä ICT-projektin (ohjelmisto- tai sähköisen liiketoiminnan kehittämisprojektin) toteuttamisessa.
- Opiskelija osaa arvioida ja kehittää edelleen projektityöskentelyyn liittyvien työkalujen käyttöä (vaatimustenhallinta, version- ja tuotteenhallinta, yksikkö-, moduuli- integrointi- ja järjestelmätestaus, testauksen automatisointi).
- Opiskelija syventää osaamistaan valitsemansa täydentävien osaamisen ja projektin toimeksiannon teknologiavaatimusten osalta.

Kehittynyt pelien tekoäly, LTD7015-LTA20M1 (Syksy 2020) 5 op

Karelia-Moodle: <https://moodle.karelia.fi/course/view.php?id=4274> 5.12.2020.

Opintojakson sisältö

Kurssilla tutustutaan pelitekoälyn oppimisen menetelmiin ja niiden sovellutuksiin, pelitekoälyn parseripohjainen keskusteluun, erilaisiin kehittyneisiin reitinhakutekniikoihin, sekä tekoälyhahmon päättelyn toteuttamiseen hyötylaskelmien avulla. Kyseiset tarkasteltavat tekniikat toteutetaan myös osana peliprojektia.

Opintojakson osaamistavoitteet

- Ymmärrät pelitekoälyn oppimiseen käytettävien eri menetelmien peruseriaatteita ja osaat hyödyntää oppimista osana pelitekoälyn käytännön sovellutusta.
- Ymmärrät pelitekoälyn parseripohjaisen keskustelun peruseriaatteet.

Karelia-Moodlen tarkasteltavat kurssitoteutukset

- Ymmärrät dynaamisen ja hierarkkisen reitinhaun toimintaperiaatteet ja osaat soveltaa niitä monipuolisesti osana pelitoteutusta.
- Ymmärrät hyötylaskentapohjaisen ei-pelaajahahmon päättelyn toimintaperiaatteet ja osaat soveltaa niitä monipuolisesti osana pelitoteutusta.

Pelikehityksen perusteet, LTD7012 (Syksy 2019) 5 op

Karelia-Moodle: <https://moodle.karelia.fi/course/view.php?id=3443> 5.12.2020.

Opintojakson sisältö

- Pelisuunnittelu
- 2D-pelin toteuttaminen
- Visuaalinen skriptaus
- Pelimoottorin käyttö

Opintojakson osaamistavoitteet

- Osaat hyödyntää pelimoottoria peliprojektin toteuttamisessa.
- Tunnet pelien keskeiset GUI-elementit ja osaat toteuttaa niitä pelimoottorin avulla.
- Tunnistat erilaiset pelikehityksessä käytettävät asetit..
- Osaat toteuttaa 2D-pelihahmon pelimoottorin avulla.
- Osaat ohjelmoida visuaalisen skriptauksen avulla toiminnallisuuden yksinkertaiselle 2D-pelille.
- Tunnistat eri pääpeligenret ja niiden keskeiset alagenret.
- Tunnistat peliohjelmoijan rooliin kuuluvat tarkemmat alaroolit.
- Osaat käsitellä ääniassetteja pelimoottorin avulla.
- Tunnistat erilaiset pelin kohdealustat.
- Tiedät mitä pelillistäminen tarkoittaa.
- Tunnistat pelisuunnittelun eri menetelmiä.
- Osaat luoda pelikenttiä pelimoottorin avulla.

Karelia-Moodlen tarkasteltavat kurssitoteutukset

- Tiedät, kuinka eri pelikehitysprosessin vaiheet ajoittuvat suhteessa toisiinsa.
- Pystyt hyödyntämään versionhallintaa peliprojektisi säilyttämiseen ja varmuuskopiointiin.
- Osaat luoda peliobjekteja valmiista ja tuoduista aseteista pelimoottorissa.

Professional English, LTD6024_2020 (Kevät 2020) 3 op

Karelia-Moodle: <https://moodle.karelia.fi/course/view.php?id=3791> 5.12.2020.

Opintojakson sisältö

- Oman ammattialan tekstejä ja oppimistehtäviä.
- Sanaston laajentaminen: Internetiin liittyvät aihepiirit, ICT-alan ajankohtaiset trendit ja tapahtumat.
- Suullinen ja kirjallinen viestintä (kokous- ja neuvottelutaidot, liikeviestintä, raportointi/dokumentaatio, työpaikkahakemus)
- Yleiset työelämätaidot, työpaikkahaastattelun simulointi.
- Opinnäytetyön abstraktin kirjoittaminen.

Opintojakson osaamistavoitteet

- Tämän opintojakson suoritettuaasi omaat sellaisen suullisen ja kirjallisen kielitaidon, että pystyt toimimaan ICT-alan kansainvälisissä toimintaympäristöissä.
- Osaat kirjoittaa työhakemuksen, suoriudut työpaikkahaastattelusta ja osaat pitää omalta alaltasi ammattimaisen esityksen englannin kielellä.
- Tunnet virtuaalista toimintaympäristöä ja tiedät sen vaatimukset vuorovaikutuksen ja tiimityön onnistumiselle.
- Tunnet akateemisen kirjoittamisen periaatteet ja osaat kirjoittaa tutkimustiivistelmän.

Karelia-Moodlen tarkasteltavat kurssitoteutukset**Web- ja mobiilikäyttöliittymät, K2020⁷⁷ (Kevät 2020) 5 op**

Karelia-Moodle: <https://moodle.karelia.fi/course/view.php?id=3818> 5.12.2020.

Opintojakson sisältö

- Erilaisiin web-käyttöliittymäsovelluksiin perehtyminen
- Erilaisten käyttäjäryhmien huomioiminen suunnittelussa
- Ubiikkilaskennan erilaisten käyttöliittymien tunnistaminen
- Web- ja mobiilikäyttöliittymien toteutustekniikoihin tutustuminen (web- vs. hybridi- vs. Natiivikehitys)
- Käytettävyyden huomioiminen web-käyttöliittymän suunnittelussa
- Myös mobiiliympäristössä toimivan web-käyttöliittymän toteuttaminen valitulla tekniikalla
- Toteutetun käyttöliittymän käytettävyyden arviointi ja testaus

Opintojakson osaamistavoitteet

- Opiskelija osaa huomioida käyttäjän käyttöliittymän määrittelyssä sekä suunnitella ja toteuttaa käyttöliittymän valitussa web- ja mobiilikäyttöliittymäympäristössä.
- Opiskelija ymmärtää ihmisten erilaisuudet järjestelmien käyttäjinä.
- Opiskelija osaa testata ja analysoida käytettävyyttä.
- Opiskelija tietää, mitä ovat ubiikkilaskennan käyttöliittymät ja miten niitä voi hyödyntää.

Yritys- ja yhteisöviestintä, LTD6030 (Kevät 2020) 2 op

Karelia-Moodle: <https://moodle.karelia.fi/course/view.php?id=4060> 5.12.2020.

Opintojakson sisältö

- yrityksen ja yhteisön viestinnän merkitys, tehtävät, osa-alueet ja keinot

⁷⁷ Huom! Kurssin koodilla K2020 ei löydy toteutusta Peppi-hausta. Liitteen tiedot otettu sisällöltään täysin yhteneväisestä toteutuksesta koodilla LTD7008.

Karelia-Moodlen tarkasteltavat kurssitoteutukset

- yrityksen tai yhteisön viestintä verkossa
- viestintäsuunnitelman laatiminen
- asiakasviestintä ICT-toimeksiantoprojektissa
- raportointi ja ohjeistuksen laatiminen
- viestintätaitojen itsearviointi ja vertaisarviointi

Opintojakson osaamistavoitteet

Opiskelija

- osaa viestiä tilanteen, kontekstin, vastaanottajan ja kanavan mukaisesti toimiessaan työyhteisön jäsenenä ja sen edustajana
- tietää, mitä osa-alueita yrityksen ja yhteisön viestintään kuuluu ja mikä merkitys niillä on arkipäivän toiminnassa ja yhteisö- ja yrityskuvan syntymisessä
- osaa soveltaa tietämystään työelämän viestintätilanteissa
- osaa laatia viestintäsuunnitelman
- osaa laatia asiakasviestintään liittyviä tekstejä
- osaa analysoida ja arvioida työelämässä tarvittavia viestintätaitojaan ja kehittää niitä.

Tallenteiden tekniset ominaisuudet

Tallennetiedostojen tekniset keskeiset ominaisuudet.

Collaborate-tallenteen tiedosto

Kokonaisbittivirta (otannat) kb/s: 700, 199, 263, 200, 623, 577, 791, 736, 637, 603, 590, 382

Videoraita:

Resoluutio: 1280 x 720

Ruudunpäivitysnopeus: 20 FPS

Bittivirta (otannat) kb/s: 630, 134, 554, 721, 203, 568, 507, 131, 666, 533, 520, 313

Maksimi bittivirta: 1000kb/s

pakkausalgoritmi: AVC Advanced Video Coding, H.264, MPEG-4 Part 10, MPEG-4 AVC⁷⁸

Videoraidan koko (otannat) %: 67, 77, 65, 82, 90, 91, 89, 88

Ääniraita:

Format: AAC LC, Advanced Audio Codec Low Complexity⁷⁹

MONO

Bittivirta (otannat) kb/s: 63.9, 61.1, 55,8, 64

Maksimi bittivirta: 64 kb/s

Virkistystaajuus: 48.0 kHz

Youtube-tallenteen tiedosto (niiltä osin kuin poikkeaa Collaboratesta)

Kokonaisbittivirta (otannat) kb/s: 256, 498, 188, 302

Videoraita:

Resoluutio (**useammin esiintynyt**): **1920x1080**, 1280x720

Bittivirta (otannat) kb/s: 122, 367, 87.9, 199

Ruudunpäivitysnopeus fps: 24, **25**

Videoraidan koko (otannat) %: 48, 74, 47, 66

Ääniraita:

⁷⁸ Esim. <https://fin.afterdawn.com/sanasto/selitys.cfm/avc>

⁷⁹ Esim. <https://fin.afterdawn.com/sanasto/selitys.cfm/aac>

Tallenteiden tekniset ominaisuudet

Bittivirta (otannat) kb/s: 128, 96, 93.6,
Virkistystaajuus: 44.1 kHz

Onedrive-tallenteen tiedosto (niiltä osin kuin poikkeaa Collaboratesta)

Kokonaisbittivirta (otannat) kb/s: 539, **4 696**, 252, 450, 1 216

Videoraita:

Resoluutio (**useammin esiintynyt**): 1920x1080, **1280x720**

Ruudunpäivitysnopeus fps: **20**, 24, 25

Bittivirta (otannat) kb/s: 470, 4 529, 184, 381, 1 119

Videoraidan koko (otannat) %: 87, 92, 73, 96, 85

Ääniraita:

Bittivirta (otannat) kb/s: 64, 163, 91.8

Virkistystaajuus kHz: 48, 44.1

Moodle-tallenteen tiedosto (niiltä osin kuin poikkeaa Collaboratesta)

Kokonaisbittivirta (otannat) kb/s: 448, 515, 452, 487, 401, 493, 452

Videoraita:

Resoluutio: 1920x1080

Bittivirta (otannat) kb/s: 351, 413, 345, 384, 299, 391, 350

Ruudunpäivitysnopeus fps: 25

Videoraidan koko (otannat) %: 78, 80, 77, 79, 75

Ääniraita:

Bittivirta (otannat) kb/s: 96

Virkistystaajuus: 44.1 kHz

Opettajakyselyn saatesähköposti

Opinnäytetyöhöni liittyvä kysely Karelia tikon opettajille

to 5.11.2020 9.28

Arvoisa Karelia TIKOn opettaja,

olen opintojeni loppusuoralla oleva tietojenkäsittelyn opiskelija ja teen opinnäytettä liittyen digitaalisuuden ekologiseen jalanjälkeen.

Tutkailen työssäni ennalta valittuja Moodle-kurssitoteutuksia ja osana työtäni on myös lyhyt aihetta sivuava kysely teille TIKOn opettajille.

[Kyselyyn](#) vastaaminen on anonyymiä ja vie aikaa n. 5-15min.

Olisin kiitollinen, jos vastaisitte kyselyyn 20.11.2020 mennessä.

Ystävällisin terveisin,

Atte Karvinen
LTDNS17A

Kyselytutkimus opettajille

Digitaalisen elämämme ekologinen jalanjälki

Kysely Karelia tikon opettajille opinnäytetyöhöni liittyen.

Ympäristövaikutukset

Digitalisoituneilla palveluilla on oma ympäristövaikutuksensa (esim. päästöt) siinä missä perinteisemmilläkin palveluilla.

1. Oletteko tietoinen asiasta ja oletteko mahdollisesti jo huomioineet tätä seikkaa kurssitoteutuksia suunnitellessanne? Miten?
2. Kiinnostaisiko teitä saada tietoa digitalisaation ympäristövaikutuksista ja siitä, kuinka päästöjen määrää voisi kurssitoteutusten yhteydessä yksilötasolla vähentää? Millaista?

Vanhentunut sisältö

Digitaalinen toimiminen jättää jälkeensä paitsi meille näkymätöntä metadataa, myös itse tuottamamme dataa (sisältöä), jota emme toimimisen jälkeen välttämättä enää tarvitse tai käytä. Etenkin itse tuottamamme materiaalin osalta voimme tehdä ns. ”digisiivousta”, siistiä jälkiämme ja täten vähentää päästöjä.

3. Kuinka kauan kurssin päättymisen jälkeen keskimäärin pidätte kurssitoteutuksen saatavilla Moodlella?
4. Poistatteko vanhentuneita (tarpeettomia) Collaborate tallenteita käsin? Kuinka usein?

Sähköposti

Sähköposti on oleellisessa osassa koulutuksemme viestinnässä. Luettuja ja lukemattomia viestejä kertyy sähköpostilaatikkoon helposti suuri määrä.

5. Kuinka usein poistatte vanhoja sähköposteja?
6. Kuinka monta viestiä työsähköpostilaatikossanne on tällä hetkellä ja kuinka suuri osa niistä on ns. "turhia"?