

Alma Pohjonen, Simo Asikainen, Lasse Okkonen

Digitaalisten palvelujen elinkaariarviointi

Kansainvälinen benchmarking-selvitys



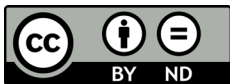
Julkaisusarja

Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisu C: Raportteja, 123

Tekijät

Alma Pohjonen, Karelia-ammattikorkeakoulu
Simo Asikainen, Karelia-ammattikorkeakoulu
Lasse Okkonen, Karelia-ammattikorkeakoulu

© Tekijät ja Karelia-ammattikorkeakoulu



Tämä julkaisu on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiMuutoksia 2.0 Kansainvälinen -lisenssillä.

ISBN 978-952-275-403-5

ISSN 2323-6914

Karelia-ammattikorkeakoulu 2023



Kommunikoiva energia – Uusi energiamurros ja vähähiiliset digitaaliset palvelut
Pohjois-Karjalassa -hanke



**BUSINESS
JOENSUU**



**Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020**



Sisällys

1 Johdanto	4
1.1 Kommunikoiva Energia -hanke.....	4
1.2 Selvityksen tarkoitus ja tavoitteet.....	4
2 Digitalisaatio ja elinkaariarvioinnit	6
2.1 Digitaalinen kohtuullisuus.....	6
2.2 Digitaalisten palvelujen elinkaarimallinnuksesta.....	8
2.2.1 Elinkaariarviointien näkökulmia.....	8
2.2.2 Infrastruktuurin tuotekohtainen laskenta	9
3 Konferenssit ja verkkoportaalit	10
3.1 Elinkaarijohtamisen ja -arvioinnin tapahtumat	10
3.1.1 Life Cycle Management Conference, LCM.....	10
3.1.2 Life Cycle Innovation Conference, LCIC.....	10
3.1.3 The International Conference on ICT for Sustainability, ICT4S	10
3.1.4 Going Green- CARE INNOVATION.....	10
3.2 Verkkoportaalit.....	11
3.2.1 Sustainable digital infrastructure alliance, SDIA.....	11
3.2.2 The LCA Discussion Forum.....	11
3.2.3 EPD International.....	11
3.2.4 ICTFootprint.eu.....	11
3.2.5 The Shift Project.....	11
3.2.6 Life Cycle Initiative	12
3.3 Lista verkkopalveluista ja tapahtumista	12
4 Ajankohtaista digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinneissa	13
4.1 Standardien kehitystyö ja soveltaminen	13
4.2 Digitaalisten tuotteiden ja palvelujen taksonomia	15
4.3 Tuotepassit ja tuoteinformaatio.....	16
4.4 Elinkaarilaskennan automatisointi.....	17
4.5 Yhteiskunnallisia näkökulmia	18
5 Lähteet	19
Liite 1. Haastattelukysymykset.....	21

1 Johdanto

1.1 Kommunikoiva Energia –hanke

Karelia-ammattikorkeakoulun *Kommunikoiva Energia – Uusi energiamurros ja vähähiiliset digitaaliset palvelut Pohjois-Karjalassa* -hanke kehittää lähien energiayhteisöjä, verkkopalvelujen vähähiilisyttä ja edistää kestävyttä yritysten strategisena valintana. Hankkeen keskeisenä teemana on uusi energiamurros ja siihen kytkeytyvät vähähiiliset digitaaliset palvelut. Hanketta rahoittaa Euroopan aluekehitysrachasto.

Energiamurros, digitalisaatio ja asiakkuuksien muutos ovat merkittäviä tulevaisuuden työn trendejä: tulevaisuuden työtehtävissä ICT-alan osajien, energia-alan insinöörien ja asiakaspalvelun työtehtävät kytkeytyvät yhä enemmän toisiinsa. Kommunikoiva energia -hanke on mahdollistanut alueellista valmistautumista ja siirtymistä energiamurroksen teknologioihin sekä yritysten että korkeakoulun toimintana. Hankkeessa on kehitetty hiilineutraaleja lähien energiayhteisöjä, verkkopalvelujen vähähiilisyttä ja edistetään kestävyttä yritystoiminnan strategisena valintana.

Kommunikoiva energia -hankkeen *Digitaalisten palveluiden hiilineutraalius* -työpaketissa on tuotettu tapaus selvityksiä verkkosivujen elinkaarianalyysistä, kansainvälinen benchmarking-selvitys digitaalisista palveluista, sekä ICT-tuotteiden ympäristöselosteiden laadintaa ja tuloksia kokoava toimintamalli digitaalisten palvelujen hiilineutraalisuuden edistämiseksi.

1.2 Selvityksen tarkoitus ja tavoitteet

Tämä julkaisu sisältää vertailuanalyysin eli benchmarking-selvityksen, jonka tarkoituksena on selvittää digitaalisten palvelujen elinkaarianalyysien nykytilannetta eurooppalaisten asiantuntijoiden, konferenssien sekä aihealueeseen liittyvien verkkopalvelujen avulla. Kerätty tieto on jäsennetty tiiviiksi ja helppokäyttöiseksi katsaukseksi.

Benchmarking tarkoittaa perinteisesti vertailuanalyysin laadintaa, jossa omaa toimintaa verrataan toiseen edelläkävijän toimintaan; usein ulkopuolelta havaittuun hyvään käytäntöön, teknologiaan tai innovaatioon. Benchmarking eli edelläkävijäanalyysi vastaa tyypillisesti kysymykseen: ”Mitä seuraavaksi?” (Metsämuuronen 2006, 312–313). Benchmarking voi olla myös eri maantieteellisten alueiden välisten erojen tunnistamista tai tiedon siirtoa alueiden välillä. Edelläkävijäanalyysi etenee tyypillisesti tiedon kokoamisena, johon voi kuulua mm. kirjallisuusanalyysiä, asiantuntijahaastatteluja ja

tulosten sovittamista ja tulkintaa käytännön toimien tueksi (emt.). Tässä selvityksessä benchmarking tarkoittaa ajankohtaisten kehitysteemojen tunnistamista ja jäsentämistä, jossa aineistona toimivat kirjallisuus, tiedonvälityksen konferenssit, verkkopalvelut sekä aihealueen keskeisten asiantuntijoiden haastattelut.

Selvityksen tavoitteet:

1. Tunnistetaan digitaalisten palvelujen elinkaarianalyysyjä käsitteleviä tapahtumia sekä verkkopalveluja ja verkostoidutaan alalla toimivien asiantuntijoiden kanssa.
2. Jäsennetään alan keskeisiä kehitysteemoja ja -haasteita; selvitetään digitaalisten palveluiden elinkaarilaskennan nykytilaa sekä tulevaisuuden näkymiä Euroopassa. Luodaan yleiskuva digitaalisuuden/ICT-alan LCA-laskennan tilanteesta.

Selvitystä varten haastateltiin elinkaarialan asiantuntijoita. Haastattelut toteutettiin sähköpostin avulla. Haastatteluja varten tunnistettiin henkilöitä, jotka ovat olleet tekemisissä digitaalisten palveluiden elinkaarilaskennan kanssa. Tunnistaminen tehtiin kehitys- ja tutkimushankkeiden, tutkimusartikkeleiden, konferenssien, verkkopalvelujen ja standardointiorganisaatioiden kautta.

Alan keskeisille asiantuntijoille lähetettiin kohdistetut kysymykset (Liite 1), jotka myötäilivät heidän ydinosaamistaan ja kokemustaan. Asiantuntijahaastattelujen kysymykset kohdentuvat ICT-sektorin elinkaari- ja päästölaskennan eri aspecteihin. Kysymysten teemoja olivat digitaalisten palveluiden elinkaariarvioinnin resurssit, kuten verkkosivustot ja tapahtumat, standardit, digitaalisen palvelun LCA:n (Life Cycle Assessment) eli elinkaariarvioinnin tärkeimmät valinnat, yritysten näkökulma, LCA-laskennan automatisointi ja tulevaisuuden kehityssuunnat.

Digitalisaatio ja siihen kytkeytyvät vaikutusmallinnukset ovat hyvin nopeassa kehitysvaiheessa. Alan kehityksen seuraamisen kannalta keskeisessä roolissa ovat sekä kansainvälisten tutkimusyhteisöjen konferenssit, ajantasaiset tietoa kokoavat verkkopalvelut, että standardointiorganisaatioiden työryhmien seuraaminen. Tämän selvityksen tavoitteena on siten tarjota alan seuraamista tukeva kokonaisuus, jonka kautta päivittyviin tietolähteisiin pääsee hyvin kiinni myös jatkossa.

2 Digitalisaatio ja elinkaariarvioinnit

2.1 Digitaalinen kohtuullisuus

Digitalisaatio korvaa yhä enemmän fyysisiä tuotteita digitaalisilla palveluilla (LVM 2020, 124). Digitaaliset palveluiden koetaan olevan aineettomia ja vähäpäästöisiä, vaikka todellisuudessa ne kuluttavat energiaa ja raaka-aineita eli niillä on olemassa hankintaketjut (SDIA 2022, 4). ICT-sektorin palvelujen kasvaessa myös niiden käyttöön tarvitaan yhä enemmän laitteita ja energiaa. Raaka-aineiden hankinta ja laitteiden sekä palvelujen valmistaminen tuottaa huomattavan paljon eri ympäristövaikutuksia. Myös internetin, tiedonsiirron ja mobiiliyhteyksien kasvu johtaa kasvaviin kasvihuonekaasupäästöihin (LVM 2020, 21–22.)

Digitaalisten palvelujen hiilijalanjälki on jo ylittänyt lentoliikenteen hiilijalanjäljen ja lähestyy suuruudeltaan maantieliikennettä (Ferreböf 2019). Toisaalta laitteiden nopeasti parantuva energiatehokkuus ja sähkö- ja energialaitteiden kierrätyksen kehittyminen vähentävät yksittäisten tuotteiden hiilijalanjälkeä (emt.). Myös tietoliikenneverkot ja kuluttajien laitteet kehittyvät koko ajan energiatehokkaimmiksi. (LVM 2020, 21–22.)

Digitalisaatio korvaa fyysisiä tuotteita virtuaalisilla ja digitaalisilla palveluilla (LVM 2020, 124). Nopeasti etenevä digitalisaatio ja uudet digitaaliset palvelut muokkaavat ihmisten vuorovaikutusta ja teollisuuden prosesseja. Palveluiden digitalisoinnin tarkoitus on helpottaa ihmisten elämää, parantaa yhteiskunnan toimintaa, sekä yritysten tuottoa. Suomesta on tullut digitalisaation kärkimaita, josta esimerkkinä on muun muassa maailman eniten lisääntynyt mobiilidatan käyttö asukaslukuun suhteutettuna. (emt., 20 – 21)

Digitalisaation haasteena on, ettei ympäristövaikutuksia voida tarkastella vain toimiala- tai maakohtaisesti. Digitaalisten palvelujen tuottamat päästöt voivat olla maiden rajojen ylittäviä: esimerkiksi kun Suomessa katsotaan suoratoistopalvelusta videota, on mahdollista, että se aktivoi toisessa maassa datakeskuksen, jonka energia on tuotettu fossiilisilla polttoaineilla. (Toivanen 2021) Toisaalta digitaalisten palvelujen ja tuotteiden avulla voidaan myös vähentää päästöjä esimerkiksi korvaamalla autolla liikkuminen etäyhteyksillä. Digitaalisilla palveluilla voidaan pienentää muiden toimijoiden hiilijalanjälkeä esim. korvaamalla fyysisiä tuotteita digitaalisilla tai optimoimalla energia- tai resurssitehokkuutta sovelluksien avulla (LVM 2020, 22–23).

EU:n ilmastostrategia European Green Deal esiteltiin joulukuussa 2019. Kolmen vuoden aikana siihen on liitetty monia kymmeniä ympäristön suojeluun liittyviä hankkeita. European Green Dealin tärkeimpiä tavoitteita on kuitenkin vähentää kasvihuonekaasujen tuottamista 55 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon, ja tehdä

Euroopasta ensimmäinen täysin hiilineutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. (EU Commission 2023)

European Green Dealin tavoitteita on kasvihuonekaasujen vähentämisen ohella myös ihmisten yleisen hyvinvoinnin edistäminen parantamalla elinolosuhteita. Näistä mainittakoon puhtaan ilman, veden ja ruuan tarjoaminen, energiatehokas rakentaminen, kestävämpiä tuotteiden ja palveluiden suunnittelu sekä innovaation ja kilpailun edistäminen yritysmaailmassa. Suomessa ICT-alan päästöjen hillitsemistä varten on luotu ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia (LVM 2021). Strategia esittelee tavoitteita ja toimenpiteitä tavoitteiden saavuttamiseksi.

Digitaalisten palveluiden avulla voidaan saavuttaa kestävän kehityksen kannalta sekä positiivisia että negatiivisia ratkaisuja. Digitaalisilla palveluilla on parannettu tuotteiden, prosessien ja palvelujen laitteiden energiatehokkuutta; palvelujen määrän ja kysynnän kasvaessa kokonaispäästöt ovat kuitenkin edelleen kasvussa. (Itten, Hischier & Andrae ym. 2020). Siten olisi tärkeää varmistaa, että digitalisaatiolla saavutetaan enemmän positiivisia vaikutuksia (päästövähennyksiä) kuin lisäkuormitusta (Liu, Gailhofer, Gensch ym. 2019, 90).

Digitaalisten palveluiden kulutuksesta johtuvia päästöjä voitaisiin hillitä vastuullisemmalla kulutuksella. *”Digital Sobriety”* tarkoittaa vapaasti suomennettuna digitaalista kohtuullisuutta ja systeemin muutosta kasvavasta laitteiden ja palvelujen kulutuksesta kohti kestävämpää mallia (Ferreboef 2019). Ajatushautomo The Shift Projectin asiantuntija Hugueh Ferreboef toteaa, että nykyinen sektorin ylikulutus on seurausta useista tekijöistä, kuten:

- kuluttajien vähäisestä tietoisuudesta erilaisista vaikutuksista (ympäristö, terveys, käyttäytyminen);
- yritysten ajautumisesta digitaaliseen siirtymään ilman sen kytkemistä kestäväyyteen ja energiamurrokseen/vihreään siirtymään (esim. IOT);
- julkisella sektorilla digitalisaatio voidaan nähdä keinona taloudelliseen kasvuun sitä tarkemmin määrittelemättä;
- palvelujen tarjoajat pyrkivät käyttäjämäärien maksimointiin käyttäen erilaisia riippuvuuksia aiheuttavia malleja ja kasvattaen ns. palvelujen ylikulutusta.

Mitä tarkoittaa digitaalinen kohtuullisuus? Ferreboefin (emt.) mukaan tarvitaan systeemin muutosta, jossa:

- informoidaan ja vaikutetaan median ja politiikan kautta;
- informoidaan yrityksiä ja mahdollistetaan laajennettuja digitaalisia siirtymiä soveltuvien työkalujen ja hallinnon avulla;
- tuodaan eri tasoilla päättäjien tietoisuuteen digitaalisen ylikulutuksen ympäristövaikutuksia ja toisaalta niitä mahdollisuuksia, joita edistyneempi ja kestävämpi digitaalinen ekosysteemi voi tarjota;

- käytetään markkinaperusteisia menetelmiä ohjaamaan kulutusta ja vaikute-
taan siten digitaalisten palvelujen tuottajiin.

2.2 Digitaalisten palvelujen elinkaarimallinnuksesta

2.2.1 Elinkaariarviointien näkökulmia

Digitaalisten palvelujen elinkaarianalyysit on ollut hyvin suosittu tutkimusala jo useiden vuosikymmenten ajan. Tutkimusten näkökulmat ovat sisältäneet mm. laitteiden ympäristövaikutuslaskentaa, digitalisaatiolla saavutettavien hyötyjen arviointeja sekä digitaalisten palvelujen kulutuksen laskentaa. Huoli ICT-sektorin kasvavasta ympäristökuormituksesta on lisännyt sen omien vaikutusarviointien tarvetta.

Informaatio- ja kommunikaatioteknologian vaikutuksien ja hyötyjen tutkimus alkoi 1990–2000 -luvulla toimistotyön muuttuessa ICT:n myötä. Laajemmin teeman tutkimus käynnistyi 2010-luvulla, jolloin siihen kytkeytyi vahvemmin myös sektorin kädenjälkivaikutus eli omien vaikutusten lisäksi aikaansaadut ympäristöhyödyt muilla sektoreilla (ks. esim. Hillty 2008; Verdecchia, Ricchiuti, Hankel ym. 2018). Myös kotitalouksien ja kuluttajien käyttäytyminen on ollut usein tutkimuksen keskiössä. Esimerkiksi Ryan, Babbitt & Williams (2015) seurasivat kotitalouksien elektroniikkalaitteiden kulutuksen muutosta 1992–2007 ja havaitsivat hiilijalanjäljen ja elinkaarenaikaisen kokonaisenergiankulutuksen kasvavan, vaikka laitteiden käytössä kehityskulku oli kohti pienempiä ja energiatehokkaampia laitteita. Tutkijat korostivat kulutuksen tarkastelua koko laitekannan ja käyttötapojen kokonaisuutena: olennaista on siten tietää kuinka digitalisaatio vaikuttaa kuluttajien käyttäytymiseen ja kuinka kuluttajat hyödyntävät laitteiden ympäristöä säästäviä ominaisuuksia (emt.).

Bekaroo et al. (2016) esittelevät ICT:n kaksoisroolin toisaalta vähähiilisyyden edistäjänä, mutta myös kasvavana energiasyöppönä. Tutkimus käsittelee sektorin ilmastovaikutuksen hallintaa siihen vaikuttavien sidosryhmien (teknologiavalmistajat, kuluttajat, hallinto, tutkimus) näkökulmista, keskittyen erityisesti kuluttajien toimintaan ja käyttötappoihin. Tutkimus huomioi, että standardit ja laitteiden ympäristömerkinnät ja käyttöohjeet ovat jo hyvin kehittyneitä, mutta ne eivät kuitenkaan siirry kovin hyvin käytäntöön. Digitaaliset ratkaisut ja uudet murrosteknologiat ovat hyvin keskeisessä roolissa myös elinkaariarvioinnin ja -hallinnan työssä, kun arvioidaan monipuolisten systeemien ympäristökuormitusta ja suunnitellaan tuotteista nykyistä kestävämpiä (Zhang, Zhong, Farooque, Kang & Venkatesh 2020). Esimerkiksi lohkoketjuna toteutettu hajautettu kirjanpito mahdollistaa globaalien arvoketjun aineistohallintaa ja IoT (Internet of Things) tarjoaa entistä enemmän mahdollisuuksia tiedon keräämiselle ja hyödyntämiselle. Murrosteknologiat voivat tuoda uuden askeleen elinkaarianalyysien läpinäkyvyyteen, reaaliaikaisuuteen, viestintään ja kestävään tiedolla johtamiseen.

Digitaalisten palvelujen elinkaarianalyysien vaikutusarvioinnit ovat usein keskittyneet pääasiassa energiankulutuksen vaikutuksiin ja hiilijalanjäljen mallinnukseen (ks. esim. Liu ym. 2019, 14). Digitalisaatioon kytkeytyviä vaikutuksia voidaan kuitenkin tutkia myös huomattavasti näitä vaikutusluokkia laajemmin. Tutkittavasta tuotejärjestelmästä voidaan tunnistaa vaikutuksittain nk. hot spot -kohtia. Nämä ovat vaikutusten kannalta keskeisiä tuotejärjestelmän prosesseja. Näkökulmasta riippuen näitä voivat olla esimerkiksi harvinaisten mineraalien hankinta, tuotteen valmistusprosessin vaihe, käytön-aikainen energiankulutus, kuluttajien käyttäytyminen tai kierrätyksessä käytettävä menetelmä. Ympäristövaikutuksien osalta mm. vaikutukset luonnon ekosysteemeihin ja monimuotoisuuteen on saamassa enemmän huomiota, joskin tätä pidetään menetelmällisesti hyvin haastavana tutkimusteemana (Liu ym. 2019, 51-52). Sosiaalisten vaikutusten elinkaariarvioinnilla (S-LCA) voidaan syventyä esimerkiksi työolosuhteisiin, lapsityön riskeihin tai paikallisyhteisöjen hyötyihin hankintaketjujen eri vaiheissa (Life Cycle Initiative 2023).

Liu ym. (2019, 78) nostavat esille yhtenäisten metodien määrittelytarpeen digitaalisten palvelujen LCA-laskentaan. Menetelmällisten ohjeiden lisäksi LCA-laskentaan tarvitaan yrityksiltä ja tuottajilta läpinäkyvyyttä ja laskenta-aineistojen avaamista ja jakamista. Samaa yhtenäisyyden tarvetta ja yhteisen metodologian käyttöä korostaa myös SDIA - Sustainable Digital Infrastructure Alliance (2022), jonka julkaisema toimintamalliehdotus perustuu elinkaariarvioinnin standardeihin, digitaalisen tuotejärjestelmän taksonomiaan ja vastuiden määrittelyyn.

2.2.2 Infrastruktuurin tuotekohtainen laskenta

Toimiakseen digitalisaatio vaatii paljon infrastruktuuria, kuten datakeskuksia ja verkkoliikenneyhteyttä. Infranrakentamiseen tarvitaan raaka-aineita ja käytön aikana laitteet vaativat myös paljon energiaa. (Liu ym. 2019, 90) Elinkaarianalyysin laadintaa ohjaavien ISO 14040 ja 14044 -standardien ohella ICT-alan infrastruktuurin päästöjä voidaan selvittää esim. EPD-selosteiden avulla. EPD (Environmental Product Declaration) on ympäristöseloste, joka ilmoittaa tuotteen ympäristövaikutukset sen koko elinkaaren ajalta. EPD tiedot perustuvat elinkaarianalyysiin, jonka tekemistä ohjaavat ISO-standardit sekä PCR (Product Category Rules) eli tuotekohtaiset ohjeet. EPD-selostetta voidaan käyttää ICT-alan infrastruktuurin päästöjen tutkimiseen.

EPD International on kehittämässä kansainvälistä PCR-ohjetta elektroniikkatuotteille, -komponenteille ja palveluille. PCR ei kata isokokoisia ns. rakennuselektroniikkatuotteita, kuten hissejä tai sähköisiä portteja. Tuleva PCR määrittelee elektroniikkatuotteiden, -laitteiden ja näihin liittyvien palveluiden laskentasäännöt, kuten toiminnallisen yksikön tai referenssiyksikön. PCR:n julkaisemisen jälkeen on mahdollista, että siihen liittyen tehdään myös c-PCR (complementary-PCR) eli täydentävä säännöksiä tarkemmin rajatuille tuotteille/palveluille. (EDP International 2022.)

3 Konferenssit ja verkkoportaalit

Elinkaariarvioinnin uusimmat metodologiat ja sovellusesimerkit ovat säännöllisesti esillä kansainvälisissä elinkaariarvioinnin ja -johtamisen tapahtumissa. Asiantuntijayhteisöjen muodostamat alustat kokoavat yhteen alan standardeja, toimintamalleja ja tutkimustietoa. Tässä luvussa on koottuna keskeisiä resursseja, joiden avulla digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinnin kehitystä on mahdollista seurata.

3.1 Elinkaarijohtamisen ja -arvioinnin tapahtumat

3.1.1 Life Cycle Management Conference, LCM

Life Cycle Management (LCM) -konferenssi järjestetään kahden vuoden välein. Konferenssi on yksi maailman johtavista kestävyttä käsittelevistä tapahtumista. Konferenssissa keskitytään käytännöllisiin elinkaariarvioinnin lähestymistapoihin, menetelmiin ja ratkaisuihin, joita voidaan soveltaa tutkimuksessa, teollisuudessa julkisella sektorilla sekä kansalaisjärjestöissä. Tapahtuman järjestäjät ovat elinkaarijohtamisen keskeisiä tutkimusinstituutiota ja yrityksiä. Digitaalisuus näkyy tapahtumissa yhtenä sektorina, jolla LCA-osaamista sovelletaan, sekä LCA:n menetelmäkehityksessä.

3.1.2 Life Cycle Innovation Conference, LCIC

Life Cycle Innovation Conference (LCIC) on kahden vuoden välein järjestettävä konferenssi, jonka pääteemana on elinkaarialan uudet innovaatiot. Konferenssi sisältää useita aihealueita käsitteleviä istuntoja, joissa alan asiantuntijat kertovat uusista kehityskohteista ja tutkimuksista. Yksi istuntojen aiheista on ollut digitalisaation kestävyys. Konferenssissa on puhuttu mm. voidaanko digitalisaation avulla saavuttaa päästövähennyksiä ja mihin suuntaan digitalisaatio on kehittymässä.

3.1.3 The International Conference on ICT for Sustainability, ICT4S

ICT4S on vuosittainen konferenssisarja, jossa käsitellään informaatiosektorin kestävyyyteen. Konferenssin tärkeimpiä tavoitteita on tuoda tutkijayhteisöjä yhteen ja luoda poikkitieteellisiä ratkaisuja ICT-sektorin kestävyyyteen liittyen.

3.1.4 Going Green- CARE INNOVATION

Going Green- CARE INNOVATION on neljän vuoden välein järjestettävä kansainvälinen elektroniikka-alan tapahtuma. Konferenssissa käsitellään elektroniikan ja automaation vaikutusta kestäväan kehitykseen. Konferenssin tavoitteena on koota koko ICT-alan toimijoita kertomaan uusista kestävästä kehitystä edistävästä innovaatioista. Konferenssin teemoja ovat mm. elinkaarianalyysit sekä kiertotalous.

3.2 Verkkoportaalit

3.2.1 Sustainable Digital Infrastructure Alliance, SDIA

SDIA on riippumaton liitto, joka koostuu digitaalisella sektorilla toimivista sidosryhmistä. SDIA:n sivustolle on koottu toiminnan tuloksia sekä tavoitteita. Sivustolla on myös "knowledge hub", jossa on tietoa digitaalisten palveluiden elinkaarianalyysin toteuttamisesta, digitaalisesta ympäristöjalanjäljestä ja tulevista EU:n standardeista.

3.2.2 The LCA Discussion Forum

LCA Forum on alusta, jossa elinaariasiantuntijat voivat verkostoitua ja vaihtaa ajatuksia. Mukana on edustajia tutkimuksesta, teollisuudesta, konsultoinnista ja hallinnosta. Jokaisessa foorumin tapahtumassa on erityisteema, jota käsitellään kattavasti eri näkökulmista: esimerkiksi LCA Forum nro 73 keskittyi digitaliseen murrokseen ja digitaalisten palvelujen elinkaariarviointeihin. Foorumille kutsutaan puhujiksi alan tunnustettuja huippuasiantuntijoita.

3.2.3 EPD International

EPD International on globaali EPD-selosteiden tuottaja ja verifioija. EPD Internationalin sivustolla on koottu tietoa EPD-selosteiden yleisistä käytänteistä ja toimintatavoista. Sivustolta löytyy myös materiaalia EPD-selosteen laatimista varten, kuten valmiita malliselostepohjia, tietoa selosteiden ympäristöindikaattoreista ja PCR (Product Category Rule) -selosteita. Sivustolta löytyy koottuna EPD Internationalin verifioimat EPD:t.

3.2.4 ICTFootprint.eu

ICTFootprint on eurooppalainen Horizon 2020 -hankkeessa kehitetty alusta, jonka tarkoituksena on edistää hiilijalanjäljen hallintaan liittyvää metodologiaa ICT-sektorilla. Sivustolle on koottu yrityksille ja organisaatioille suunnattua tietoa ja työkaluja, jonka avulla voidaan parantaa energiatehokkuutta sekä pienentää hiilijalanjälkeä.

3.2.5 The Shift Project

The Shift Project on hiilettömään yhteiskuntaan siirtymistä edistävä ranskalainen ajatushautomo. Sen tavoitteena on osallistua aktiivisesti kestävyysmurrokseen liittyvään keskusteluun Euroopassa käyttäen perustana tieteellisesti todennettua objektiivista tietoa. Organisaatio toimii työryhmien kautta ja vaikuttaa innovatiivisten kehitysehdotusten, kampanjojen, tapahtumien ja kumppanuuksien kautta. The Shift Project toteutti digitalisaation kestävyyttä käsittelevän Lean-ICT -hankkeen, jossa tuotiin yhteiskunnalliseen keskusteluun digitalisaation kiihtyvän kasvun kestävyysaasteita; hankkeen lopputaloudellinen raportti julkaistiin 2019. (The Shift Project 2023; 2019).

3.2.6 Life Cycle Initiative

LCI on YK:n UNEP-ohjelman ylläpitämä toimijaverkosto, johon kuuluu julkisia hallinnon toimijoita, yhdistyksiä, yrityksiä eri toimialoita sekä elinkaariasiantuntijoita. Tavoitteena on mm. edistää elinkaariajattelun, -lähestymistapojen ja -työkalujen käyttöä kestäväen kehityksen mukaisessa päätöksenteossa.

3.3 Lista verkkopalveluista ja tapahtumista

Tapaus	Verkko-osoite	Kuvaus
LCM	https://www.lcm2023.org/	Kansainvälinen elinkaariarvioinnin ja -johtamisen konferenssi, joka järjestetään 2 vuoden välein. Käsittelee monipuolisesti alan ajankohtaisia kysymyksiä ja metodologiaa.
LCIC	https://fslci.org/lcic/lcic2022/	Konferenssisarja, joka järjestetään 2 vuoden välein. Aiheena elinkaarialan uudet innovaatiot.
ICT4S	https://conf.researchr.org/home/ict4s-2023	Vuosittainen konferenssisarja, jonka aiheita ovat vuonna 2023 kestävä ICT systeemit ja applikaatiot.
Going Green-CARE INNOVATION	https://www.careinnovation.eu/programm-committee/	Kansainvälinen ICT-alan konferenssi, joka kokoaa yhteen kaikki alan toimijat kertomaan kestäväen kehityksen suunnista ja innovaatioista.
Verkkopalvelu	Verkko-osoite	Kuvaus
SDIA	https://sdialliance.org/	Sustainable Digital Infrastructure Alliance on riippumaton liittouma, joka koostuu digitaalisella sektorilla toimivista sidosryhmistä.
The LCA Discussion Forum	https://lca-forum.ch/	Elinkaariasiantuntijoiden, teollisuuden, konsulttien ja hallinnon välinen keskustelu-/asiantuntijafoorumi.
EPD International	https://www.environdec.com/all-about-epds/the-epd	EPD International on kansainvälinen EPD -selosteiden, verifiointin ja PCR:n tuottaja.
ICTFootprint.eu	https://ictfootprint.eu/	ICTFootprintEU:n tavoitteena on tukea yrityksiä ICT -sektorin vihreässä siirtymässä.
The Shift Project	https://theshiftproject.org/en/home/	The Shift Project on hiilettömään yhteiskuntaan siirtymisen ajatushautomo.
Life Cycle Initiative	https://www.lifecycleinitiative.org/	YK:n ympäristöohjelma UNEP:n ylläpitämä elinkaariosaamisen verkosto ja verkkoalusta.

Taulukko 1. Digitaalisten palvelujen kestävyttä edistäviä verkkopalveluja ja tapahtumia.

4 Ajankohtaista digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinneissa

Benchmarkingin osana toteutetuissa elinkaarialan asiantuntijoiden haastatteluissa selvitettiin digitaalisten palveluiden elinkaariarviointien nykytilannetta ja laskentojen soveltamista yritysmaailmassa. Haastattelukysymykset on esitelty liitteessä 1.

Asiantuntijahaastatteluista nousi esiin seuraavia pääteemoja:

- Rakennustuotteiksi laskettavien ICT-infrastruktuurien EPD-laskenta nähdään merkittävänä sektorina. EPD-laskennassa on käynnissä ajankohtaista standardien kehitystyötä, jota esitellään tarkemmin luvussa 4.1.
- Digitaalisten tuotteiden ja palvelujen taksonomian määrittely elinkaariarviointien perustaksi on vielä monelta osin avoin. Tutkittavat järjestelmät ovat hyvin moninaisia ja siten arviointien perustaksi tarvitaan yhtenäisyyttä.
- Elinkaariarvioinnille ja -tiedolle on laajentuva kysyntä digitaalisten tuotepassien ja -hallinnan myötä. EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelman toteuttaminen ja uudistuva EU-lainsäädäntö luovat alalle todennäköisesti voimakasta kysyntää.
- Elinkaarilaskennan kysynnän kasvu ja automatisointi: EPD-laskennan automatisointi on jo hyvin mahdollista ja vastaavaa kehityskulkua nähdään todennäköisesti myös kokonaisvaltaisempina palvelujen kehittymisenä.

Asiantuntijoiden näkemys oli, että yleensä yritykset, jotka käyttävät LCA-laskentaa ovat myös kiinnostuneita vähentämään omia kasvihuonekaasupäästöjään. Asiantuntijat mainitsivat muutamia yrityksiä, jotka jo hyödyntävät LCA-laskentaa tehdäkseen palveluistaan kestävämpiä. Paremmalla läpinäkyvyydellä ja yhteistyöllä voitaisiin päästövähennyksiä saavuttaa tehokkaammin. Yrityksiä kiinnostaa yleisesti myös hiilikädenjälki, eli kuinka teknologia-alan yritysten tarjoamat uuden ratkaisut auttavat kokonaisuutena päästövähennysten saavuttamisessa.

4.1 Standardien kehitystyö ja soveltaminen

Asiantuntijoilta kysyttiin muun muassa standardisoinnin tilanteesta ICT-yritysten näkökulmasta ja onko olemassa muita ICT-sektorin LCA:n standardeja, joita yritykset tai organisaatiot hyödyntävät.

ETSI ES 203 199 on laaja standardi ICT-tuotteiden ja -palveluiden elinkaarianalyysin laadittamiselle. Asiantuntijoilta kysyttiin, mikä on standardin päivittämisen ja hyödyntämisen nykytilanne. Asiantuntijan vastauksen mukaan standardia ovat hyödyntäneet suoraan pääosin isot ICT-verkkotarviketuottajat. Oletuksena on kuitenkin, että standardin

hyödyntäminen yleistyy tulevaisuudessa. ETSI:n standardi on ollut päivitettävänä loka-kuusta 2022 alkaen. Erään asiantuntijan mukaan standardin isoimmat kehittämiskohdet liittyvät laitteiston ja komponenttien mallintamiseen, toiminnallisen yksikön valinnan helpottamiseen ja elinkaaren lopun (End of Life) käsittelyprosessien kuvaukseen. Päämäärä on täyttää kaikki tunnistetut aukot standardissa vuoden 2023 aikana. Myös toinen standardi on kehityksessä kansainvälisen televiestintäliiton standardointiyksikössä (ITU-T). Tähän liittyy myös organisaation hiilijalanjäljen laskentastandardi Scope 3 -päästöjen osalta.

Standardien soveltamisesta asiantuntijoiden näkemykset vaihtelivat. Erään haastateltavan mukaan ITU L.1410 (LCA of ICT products, Networks, Services) -standardiin viitataan lähestulkoon kaikissa ITU-T:n muissa vihreissä standardeissa, jotka on kehitetty vuoden 2015 jälkeen. Hän toteaa, että ICT-tuotteiden elinkaarilaskenta on kypsynyt paljon ETSI:n ja ITU:n standardien myötä. ETSI:n standardi tulee olemaan vielä merkityksellisempi sen uuden päivityksen myötä.

EPD-laskennassa käytetään rakennustuotteille pääasiallisesti EN 15804:2019+A2 standardia, jonka lisäksi käytetään standardia tukevia PCR-ohjeistuksia. Elektroniikkatuotteille, -komponenteille ja palveluille on kehitteillä uusi PCR. PCR:n julkaisija on EPD International. PCR:n tavoitteena on luoda ohjeistus LCA-laskentaan, joka soveltuu elektroniikka- ja sähkölaitteiden EPD-kriteereihin.

Tulevan PCR:n kohteena ovat elektroniikkalaitteet ja palvelut, pois lukien isot rakennus-elektroniikat, kuten hissit ja sähköiset portit. Suurin osa ICT-alan infrasta tulee kuulumaan tämän PCR:n alle, joten PCR vaikuttaa vahvasti ICT-alan LCA-laskentaan. PCR määrittelee ICT-tuotteille esim. toiminnallisen tai ilmoitetun yksikön. PCR kytkeytyy monein eri standardeihin, joko viitaten niihin tai välttämällä päällekkäisyyttä. PCR:llä on kytköksiä mm. rakennustuotteiden EN 15804:2019+A2:2019, ISO 14025 ja EN 50693:2022 standardien kanssa.

Erään asiantuntijan mukaan EPD-laskennan kysyntä keskittyy Suomessa vielä rakennustuotteisiksi luokiteltavien koneiden/laitteiden/elektroniikkaan:

”Valmistajat haluavat yhä useammin tehdä LCA:n tai EPD:n tuotteilleen (esim. ilmanvaihtokoneet, liesituulettimet, valaisimet).”

Siten muiden elektroniikkatuotteiden laskennan kysyntä on vielä vähäisempää ennen tuoteryhmäsääntöjen valmistumista.

4.2 Digitaalisten tuotteiden ja palvelujen taksonomia

ICT-sektorin elinkaariarvioinnin kohteet ovat usein monimutkaisia ja ne ovat jatkuvassa muutoksessa. Laitteistot muuttuvat usein ja ohjelmistojen diagnostiikkaa muutetaan päivittäisellä tasolla. Uusia ratkaisuja ja metodeja tarvittaisiin vastaamaan alan nopeaan kehitykseen ja yhtenäisten käytäntöjen puutteeseen. Tähän tarpeeseen vastataan mm. standardointityöllä sekä tutkimusta kokoavilla palveluilla (esim. SDIA 2023).

Digitaalisten tuotteiden informaatio nousi asiantuntijoiden vastauksista ilmi tärkeänä kehityskohteena. Digitaalisen palvelun taksonomia ja palveluun kuuluvien infrastruktuuri- ja käyttöprosessien sekä niihin liittyvien vastuiden määrittely mahdollistaisi tarkemman LCA:n tekemisen ja parantaisi myös selvitysten läpinäkyvyyttä.

Asiantuntijat nostivat esille seuraavia taksonomiaan liittyviä alateemoja:

- Digitaalisten palvelujen kategorisointisäännöt erilaisille palveluille ja toiminnallisen yksikön määrittelytavat
- Informaation kerääminen digitaalisista palveluista luotettavalla tavalla
- Digitaalisten palvelujen kehittymisen seuranta ja arvontien dynaamisuus: ei ole olemassa vielä selvyttä kuinka digitaalisten ekosysteemien muutosta mitataan ja huomioidaan. Myös arvoa käyttäjien näkökulmasta pitäisi huomioida paremmin.
- Tuoteryhmäsääntöjen /-ohjeiden määrittely digitaalisille palveluille ja sovelluksille olisi tarpeellista (vastaavalla tavalla kuin esimerkiksi PEFCR, Product Environmental Footprint Category Rules on laadittu).

Digitalisaation elinkaariarvioinnin asiantuntija nosti esiin kaksi dynaamisuuden haastetta tutkittaessa ohjelmistojen vaikutuksia:

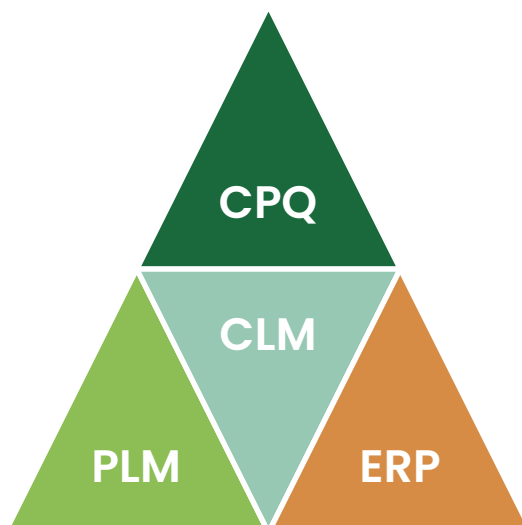
- Ohjelmistojen perinteisessä elinkaariarvioinnissa on haasteena se, että ne eivät ole fyysisiä objekteja vaan jatkuvassa muutoksessa. Siten ratkaisuksi on esitetty niiden määrittely digitaalisina resursseina (ml. ohjelmiston koodikielen yksiköt, prosessori, muisti, verkkoyhteyden kaistan leveys ja käytetty tallennustila) joita kaikki ohjelmistot käyttävät.
- Toisena haasteena on tiedon nopea vaihtuvuus. Ohjelmiston kehityksen aikana se rakennetaan, muutetaan, kootaan yhteen, testataan monta kertaa päivässä. Kaikki toiminnot muuttavat kehitykseen kuluva resurssimäärää ja niiden kohdentumista. Jokainen versio tarvitsisi siten uuden elinkaariarvioinnin, mikä on mahdotonta tehdä ilman automatisoitua ja dynaamista systeemiä.

4.3 Tuotepassit ja tuoteinformaatio

Digitaalinen tuotepassi, Digital Product Passport (DPP), on tällä hetkellä hyvin kiinnostava elinkaaritiedon tuottamisen ja käytön näkökulmista. Se perustuu EU:n kestäviä tuotteita koskevaan aloitteeseen, ESPR – EcoDesign for Sustainable Product Regulation (COM 2022/142) ja on myös osa EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelman (COM 2020/98) toteuttamista. Kiertotalouden toimintasuunnitelmassa ohjataan vahvasti keskeisten tuotteiden arvoketjuja ja kiertotaloutta, mukaan lukien elektroniikka ja tieto- ja viestintäteknikka. Myös akkutuotteille on kehitteillä omat digitaaliset tuotepassit (Digital Battery Passport, DBP) osana uudistuvaa akkuja koskevaa EU-lainsäädäntöä. Ensimmäisille tuoteryhmille digitaalisia tuotepasseja odotetaan otettavan käyttöön vuonna 2026.

Digitaalinen tuotepassi (DPP) tarjoaa tietoa tuotteen ympäristökestävyydestä. Tavoitteena on tarjota jäljitettävyyttä ja läpinäkyvyyttä koko arvoketjusta ja mahdollistaa tuotetietojen jakamista ja edistää tuotteiden kestäväää käyttöä, elinkaaren pidentämistä ja kiertotaloutta. DPP myös tarjoaa kuluttajille ja viranomaisille parempaa ympäristötietoa tuotteesta ja mahdollistaa siten kestävämpiä hankintoja ja parempaa viranomaisvalvontaa.

Yksi tähän selvitykseen haastatelluista asiantuntijoista tiivistä tuotteen elinkaaren hallinnan (PLM, Product Life Cycle Management) digitalisoinnin keskeiseksi kehittämistee-maksi. Siihen liittyy digitaalinen tuotepassi (DPP), sekä tuotekonfiguraatio (CPQ, Configure Price Quote), joissa molemmissa on todennäköisesti laajasti kysyntää elinkaaritiedoille. Tuotteen elinkaaren hallintaan ja tuotekonfiguraatioon on yhteydessä myös ERP (Enterprise Resource Planning), joka on yrityksissä käytössä oleva toiminnanohjausjärjestelmä. Nämä kolme osa-aluetta yhdistämällä saadaan CLM (Configuration Life Cycle management) eli konfiguraation elinkaaren hallinta.



Kuva 2. Elinkaaritiedon rakenne (mukaillen CPQ Finland 2023).

Yksi asiantuntijoista näki digitaaliset tuotepassit yhtenä ratkaisuna myös digitaalisille tuotteille (*using digital for digital*). Digitalisaatio voisi edistää vähähiilistä kehitystä kohti hiilineutraalisuutta:

”Jos jokainen digitaalinen palvelu pystyisi ilmoittamaan vaikutukset käyttäjän ja käyttötilin mukaan – samalla tavalla kuin elintarvikkeissa on ravintoselostukset”.

4.4 Elinkaarilaskennan automatisointi

Elinkaariarviointien kysynnän kasvaessa esille on noussut tarve lisätä laskennan automatisointia ja alentaa siten kynnystä elinkaariarviointien käyttöön. Esimerkiksi LCM 2021 -konferenssissa automatisointi nousi vahvasti esille elinkaariarvioinnin asiantuntijayritysten työpajoissa tapana vastata kasvavaan kysyntään, kustannuksiin ja nopeaan tiedontarpeeseen.

Laskennan automatisointi nähtiin tämä selvityksen asiantuntijahaastatteluissa kaksija-koisena asiana. Erään haastatellun asiantuntijan mukaan LCA:n automatisoinnissa on vielä monia haasteita:

”Automatisoitu laskenta ei sinällään tuota parempia/tarkempia tuloksia ns. manuaaliseen käsintehtyyn laskentaan verrattuna. Se voi kylläkin olla nopeampaa, jos LCA-malli on osattu rakentaa oikein ja sitä pystytään monistamaan huomioiden muuttuvat parametrit esim. tuotevariaatioiden välillä. LCA:n automatisaation haasteena on ehkä juuri tuo mallinnusosaaminen etenkin monimutkaisten tuotesysteemien kanssa: Master-mallin rakentaminen ja muuttuvien parametrien huolellinen ohjelmoiminen siihen...”.

Automatisoinnista keskusteltaessa elinkaarianalyysin ydin eli elinkaarimallin (Master-mallin) rakentaminen on nähty elinkaariarvioinnin asiantuntijatyöksi, jota on haastavampi automatisoida kuin sen soveltamista eri tuoteversioille. Automaattisempaa ja nopeampaa laskentaa edustavia elinkaariarvioinnin ohjelmistoja on myös kehitetty vastaamaan tähän kysyntään.

Erään haastateltavan mukaan automatisointi voi vaikuttaa myös alan asiantuntijapalveluiden kysyntään:

”Se on myös vaaraksi LCA/EPD-konsultointipalveluille, jos automatisoitu verifikaatio-/katselmus-/arviointikone tehtäisiin. Konsulttien käyttöä ei nähtäisi hyödyllisenä, joka voi viedä näiden yritysten elinkeinon.”

Elinkaarilaskennan automatisointi nähdään asiantuntijahaastatteluiden perusteella osin välttämättömyytenä kasvavaan kysyntään vastaamiseksi, mutta siinä nähdään myös riskejä liittyen arviointien luotettavuuteen ja syvyytasoon.

4.5 Yhteiskunnallisia näkökulmia

Tässä selvityksessä nousi laajempaa teemana esille digitalisaation hallinta eli se, kuinka digitalisaatiota ja ICT-sektorin vaikutuksia seurataan ja hallitaan yhteiskunnallisella tasolla. Vaikutuksiin lukeutuvat paitsi sektorin kasvava ympäristökuormitus, myös digitalisaation avulla saavutettavat ympäristöhyödyt.

SDIA (2022) nostaa digitaalisten palvelujen elinkaariarviointien kehityskohteina esille avoimen ja kattavamman inventaarioaineiston arviontien perustaksi, dynaamisen mallinnukset, jotka huomioivat palvelujen muuttuvan luonteen sekä standardoidut käytännöt digitaalisten resurssien ja analyysien soveltamisalan määrittelyyn. SDIA esittää tulevaisuuden kehityskohteeksi digitaalisten tuotteiden, palvelujen ja sovellusten oman ympäristömerkintää, joka perustuisi elinkaariarviontiin.

Asiantuntijahaastatteluissa keskeiseksi tutkimusteemaksi tunnistettiin kiertotalouden ja elinkaariarvioinnin yhteydet digitaalisissa ympäristöissä. Asiantuntijat toivat esille tämän näkökulman myös EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelmasta, jossa on asetettu tavoitteeksi koota arvoketjujen tuotteita koskevia tietoja ja tuotetietoja yhteiseen data-avaruuteen. Toimintasuunnitelmassa kuluttajien roolia halutaan vahvistaa edellyttämällä yrityksiltä tarkempaa tuotteen ympäristötietoa, perusteluja ympäristöväittämin, sekä ohjaavaa tietoa tuotteiden kestävydestä, kierrätettävyydestä ja kierrätysmateriaalien osuudesta. Työkaluksi tähän soveltuvat mm. tuotteiden ympäristöselosteet, ympäristöjalanjälkilaskennat ja digitaaliset tuotepassit.

Kuluttajien informoinnin ja ohjaamisen ohella on tärkeää huolehtia tiedon siirrosta yritysten käyttöön siten, että ne voivat olla aktiivisessa edelläkävijän roolissa ja hyödyntää kestävä liiketoiminnan uusia mahdollisuuksia. Elinkaariarviointien soveltamisesta yrityksissä saatiin viitteitä, mutta se ei näyttäytynyt vielä yleisenä käytäntönä ICT-alan toiminnassa. Standardiperusta on ollut olemassa jo varsin kauan, mutta digitaalisten palvelujen elinkaariarviontiin kaivattiin yhtenäisempää määrittelyä. Tämä parantaisi toimialan läpinäkyvyyttä ja mahdollistaisi myös teknologioiden hyötyjen eli kädenjälki-vaikutusten arviointia.

5 Lähteet

- Bekaroo, G., Bokhoree, C. & C. Pattison. 2016. Impacts of ICT on the natural ecosystem: A grassroot analysis for promoting socio-environmental sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57 (2016), Pp. 1580–1595.
- COM (2022) 142. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC.
- COM 2020/98. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe.
- CPQ Finland. 2023. <https://www.cpqfinland.fi/>.9.2.2023.
- EDP International. 2022. Environmental product declaration. <https://www.environmentalproductdeclaration.com/all-about-epds/the-epd>. 9.2.2023
- EU Commission 2023. A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en. 8.2.2023.
- Hilty, L.M. 2008. *Information Technology and Sustainability*. Books on Demand GmbH, Norderstedt.
- ICT Footprint. 2018. Webinar: How to ecodesign digital services? Focus on the GreenConcept project. Available at: <https://ictfootprint.eu/en/webinar/how-ecodesign-digital-services-focus-greenconcept-project>. 6.2.2023.
- Itten, R., Hischier, R., Andrae, A.S.G., Bieser, J.C.T., Cabernard, L., Falke, A., Ferreboeuf, H., Hilty, L.M., Keller, R.L., Lees-Perasso, E., Preist, C. & M. Stucki. 2020. Digital transformation -life cycle assessment of digital services, multifunctional devices and cloud computing. Conference Report. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 25: 2093–2098. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01801-0>.
- Liu, R., Gailhofer, P., Gensch, C-O., Köhler, A., & F. Wolff. 2019. Impacts of the digital transformation on the environment and sustainability. Issue Paper under Task 3 from the “Service contract on future EU environment policy”. https://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/studies/issue_paper_digital_transformation_20191220_final.pdf. 8.2.2023.
- LVM (Liikenne- ja viestintäministeriö). 2020. ICT-ala, ilmasto ja ympäristö. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162307/LVM_2020_9.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 8.2.2023.
- LVM (Liikenne- ja viestintäministeriö). 2021. ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategia. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:4. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-587-3>.
- Metsämuuronen, J. 2006. *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*. Gummerus. Jyväskylä.

- Ryen, E., Babbitt, C.W. & E. Williams. 2015. Consumption-Weighted Life Cycle Assessment of a Consumer Electronic Product Community. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 2549-2559.
- SDIA (Sustainable Digital Infrastructure Alliance). 2022. Creating a digital environmental footprint: a Life Cycle Assessment approach. <https://knowledge.sdialliance.org/digital-environmental-footprint>. 8.2.2023.
- The Shift Project. 2019. Lean ICT: Towards Digital Sobriety. Report of the working group directed by Hugues Ferreboeuf for the Think Tank the Shift Project. Available at: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report_The-Shift-Project_2019.pdf.
- The Shift Project 2023. DIGITAL SUFFICIENCY - LEAN-ICT: FOR A SOBER DIGITAL. <https://theshiftproject.org/en/lean-ict-2/>.8.2.2023.
- Toivanen, L. 2020. Digitalisaatio- ystävää vai vihollinen. <https://tieke.fi/digitalisaatio-ystava-vai-vihollinen/>. Tietoyhteiskunnan kehittämiskeskus ry (TIEKE). 8.2.2023.
- Verdecchia, R., Ricchiuti, F., Hankel, A., Lago, P & G. Procaccianti. 2017. Green ICT Research and Challenges. International Conference on Informatics for Environmental Protection (2017). https://robertoverdecchia.github.io/papers/EnvirolInfo_2017.pdf. 8.2.2023.
- Zhang, A., Zhong, R.Y, Farooque, M., Kang, K. & Venkatesh, V.G. 2020. Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture. *Resources, Conservation and Recycling* 152.

Liite 1. Haastattelukysymykset

1. We have identified vast resources based on these topics (such as LCA Forum #73, ICT Footprint.eu, GreenIT services, The Sift Project & LCM/LCIC events). Would you be aware of any additional or upcoming resources/development forums in this field?
2. Have you identified which subfields or themes in ICT & Digitalization are most pivotal in future LCA research and development? Would you explain why this/those themes are essential?
3. We have identified ETSI ES 203 199 (2015) as a comprehensive standard for the ICT sector LCA. We would appreciate if you would provide us with insights on the current status of this standard. How much is it applied in the ICT sector? Are there any additional development steps for this sector-specific LCA standard(s)?
4. How well has the LCA knowledge and application of LCA standards been transferred to the use in ICT sector businesses and industries? Would you have examples of business enterprises that utilize LCA for developing their digital services to be more sustainable?
5. Do you see that LCA studies of digital services (such as websites or cloud-based services) will also result in decreasing carbon footprint or carbon neutrality in business enterprises? What would be the preconditions for this kind of change?
6. Do you see that automation enables better LCA research, data analyses, and the creation of more sustainable LCA -based products and services? Do you see any risks or challenges in increased automation?