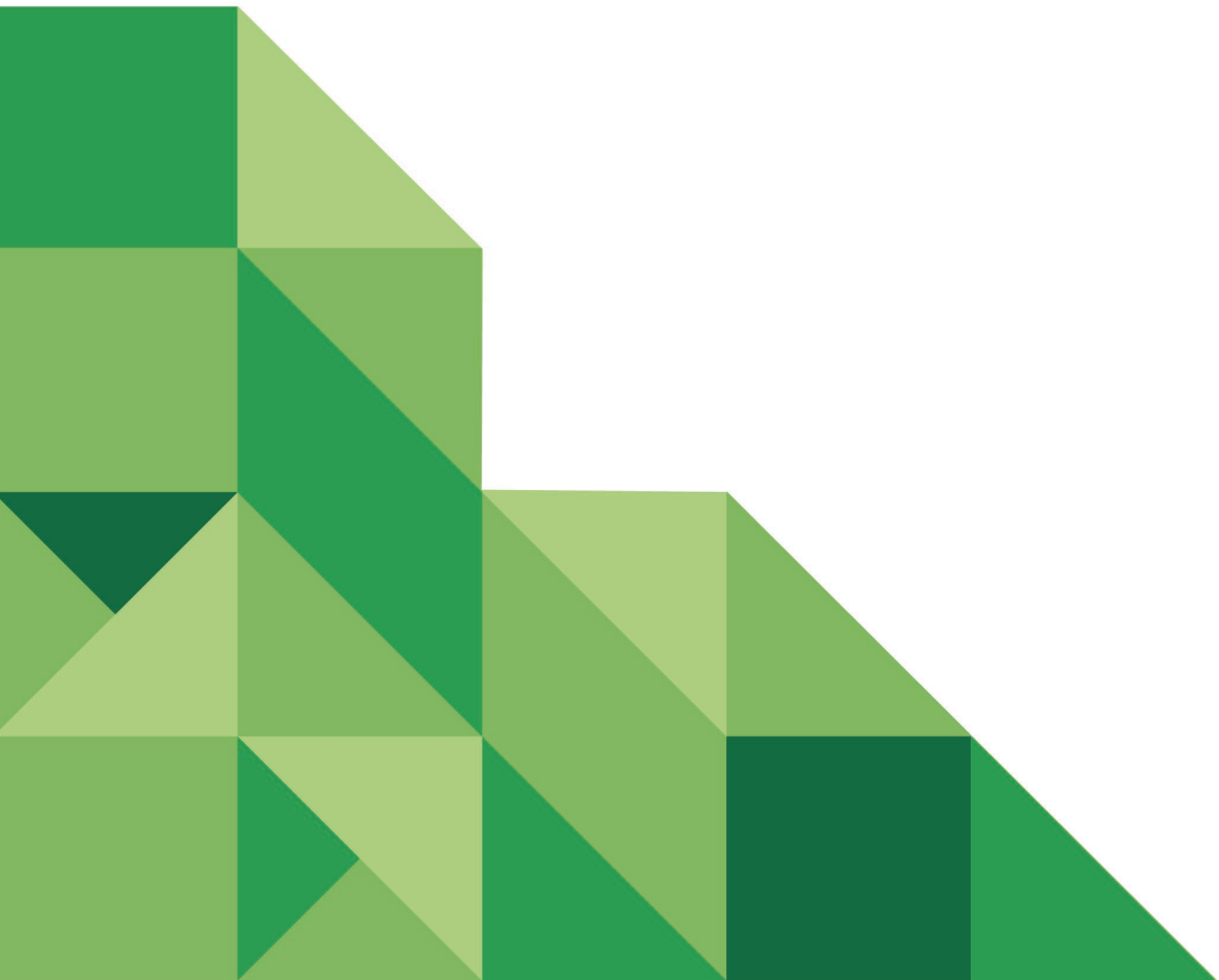


Alma Pohjonen, Simo Asikainen, Tiina Piironen, Joni Miettinen, Lasse Okkonen

Toimintamalleja digitaalisten palvelujen hiilijalanjäljen arviointiin

Tutkimusyhteisöjen näkemyksiä ja Kommunikoiva energia -
hankkeen tapaustutkimuksia



Julkaisusarja

Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisu C: Raportteja, 121

Tekijät

Alma Pohjonen, Karelia-ammattikorkeakoulu
Simo Asikainen, Karelia-ammattikorkeakoulu
Tiina Piironen, Karelia-ammattikorkeakoulu
Joni Miettinen, Karelia-ammattikorkeakoulu
Lasse Okkonen, Karelia-ammattikorkeakoulu

© Tekijät ja Karelia-ammattikorkeakoulu



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

ISBN 978-952-275-402-8

ISSN 2323-6914

Karelia-ammattikorkeakoulu 2023



Kommunikoiva energia

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



**BUSINESS
JOENSUU**



**Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020**



Sisällys

1 Johdanto	5
2 Toimintamalleja digitaalisten palvelujen hiilijalanjäljen arviointiin	6
2.1 Hiilijalanjälkilaskennan standardit	6
2.2 Elinkaariarviointi ja merkittävät vaikutusluokat.....	7
2.2.1 NegaOctet -verkoston esittämä metodologia.....	7
2.2.2 SDIA:n metodologia digitaalisten tuotteiden ja palvelujen ympäristöjalanjälkilaskentaan	9
2.2.3 EPD infranstruktuurin päästöjen laskennan työkaluna	11
3 Digitaalisten palveluiden tapaustutkimukset	12
3.1 Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysi – Hiilijalanjälkilaskenta Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelulle.....	12
3.1.2 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	12
3.1.3 Elinkaari-inventaario	12
3.1.4 Vaikutusarvioinnin tulokset.....	13
3.1.5 Tulosten tulkinta.....	13
3.2 Tovari Oy:n verkkosivuston hiilijalanjäljen arviointi.....	13
3.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	14
3.2.2 Elinkaari-inventaario.....	14
3.2.3 Vaikutusarvioinnin tulokset.....	14
3.2.3 Tulosten tulkinta.....	14
3.3 Digitaalisen tuotejärjestelmän hiilijalanjälki Sensire Oy:lle.....	15
3.3.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	15
3.3.2 Elinkaari-inventaario.....	15
3.3.3 Vaikutusarvioinnin tulokset.....	16
3.3.4 Tulosten tulkinta.....	17
4 EPD-tapaustutkimukset	18
4.1 EPD-seloste Greenled Oy:lle	18
4.1.1 Tavoitteet ja EPD-prosessi	18
4.1.2 Soveltamisalan määrittely	19
4.1.3 Elinkaari-inventaario.....	20

4.1.4 Vaikutusarvioinnin tulokset.....	21
4.1.5 Tulosten tulkinta.....	22
4.1.6 Verifiointi.....	22
4.2 Sähkökeskusmekaniikan elinkaariarviointi ja EPD-laskenta.....	23
5 Yhteenveto toimintamalleista.....	24
Lähteet	26

1 Johdanto

Karelia-ammattikorkeakoulun *Kommunikoiva energia – Uusi energiamurros ja vähähiiliset digitaaliset palvelut Pohjois-Karjalassa* -hankkeessa on tehty monipuolista kehittämistyötä energiayhteisöjen ja digitaalisten palvelujen hiilineutraalisuuden selvittämiseksi.

Kommunikoiva energia -hankkeen työpaketti *Digitaalisen palvelun hiilijalanjälki* toteutettiin yhteistyössä media- ja ICT-alan yritysten kanssa. Tämä selvitys perustuu hankkeessa laadittuihin digitaalisten palvelujen hiilijalanjäljen elinkaariarviointeihin. Hiilijalanjälkilaskentojen ja taustakirjallisuuden perusteella selvitettiin toimintamallia, joka edistää verkkopalvelujen vähähiilisyyttä ja tulevaisuudessa mahdollisesti myös hiilineutraalisuutta.

Digitaalisten palvelujen hiilijalanjäljen arvioinneissa selvitettiin hankkeeseen osallistuvien yritysten kanssa asiakkaille tarjottavien palvelujen tuotannon rakennetta. Laskennoissa selvitettiin mitkä osa-alueet kuuluvat palvelujen ja osapalveluiden kehitykseen. Näiden määrittely- ja inventaariotietojen perusteella suoritettiin elinkaariarviointi palvelujen hiilijalanjäljestä. Laskennan avulla tunnistettiin tuotantorakenteesta kohteet, joiden avulla voitaisiin pienentää hiilijalanjälkeä ja edetä kohti hiilineutraalien palvelujen tuotantoa.

Tähän toimenpiteeseen valittiin mukaan kolme hankeyhteistyössä mukana olevan yrityksen palvelua:

- Hurry Oy, Kuopion eläinpuiston verkkosivun ja mobiilisovelluksen elinkaarianalyysi (Pohjonen 2022).
- Tovari Oy:n verkkosivuston hiilijalanjäljen arviointi (Asikainen 2022).
- Digitaalisen tuotejärjestelmän hiilijalanjälki Sensire Oy:lle (Piironen 2022).

Analyysien kohteena oli erilaisia tuotejärjestelmiä sisältäen verkkosivuston ja mobiilisovelluksen, yrityksen oman verkkopalvelun sekä sensortekniikkaa hyödyntävän palvelun. Tapaustutkimukset antavat lisäymmärrystä digitaalisten palvelujen elinkaarianalyysien laadintaan ja menetelmällisiin ratkaisuihin. Elinkaarianalyysin avulla voidaan myös ymmärtää syvällisemmin digitaalisten palvelujen tuotannon ja käytön vaikutuksia ja mahdollisuuksia hiilijalanjäljen pienentämiseen.

Tämä raportti tiivistää aihepiiriin liittyvää tietoperustaa, esittelee selvitysten menetelmälliset perusteet ja keskeiset tulokset. Näiden pohjalta jäsennetään toimintamallia digitaalisten palvelujen hiilineutraalisuuden edistämiseksi.

2 Toimintamalleja digitaalisten palvelujen hiilijalanjäljen arviointiin

2.1 Hiilijalanjälkilaskennan standardit

Hiilijalanjälkilaskentaan ja raportointiin löytyy kokoava ohjeistus kasvihuonekaasuprotokollasta (GHG -protokolla), jonka standardit, työkalut ja koulutusmateriaalit tarjoavat perustan mm. alueen, sektorin, organisaation, tuotteen/palvelun, sekä kasvihuonekaasujen hallintaan liittyvän projektin laskentaan (WRI & WBCSD 2023). ICT-sektorin ja digitaalisten palvelujen hiilijalanjälkilaskennassa voi siten hyödyntää protokollan tarjoamia työkaluja hyvin monella tapaa. Kasvihuonekaasuprotokolla on julkaissut myös ICT-sektoria käsittelevän tuotteiden elinkaarilaskennan ja raportoinnin standardin (Carbon Trust, GeSI 2017).

ISO 14040 -standardi määrittelee elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet. Standardissa esitellään nelivaiheinen prosessi elinkaariarvioinnin laatimiselle, johon kuuluu tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi sekä tulosten tulkinta (ISO 2006a). ISO 14044 on suunniteltu täydentäväksi standardiksi ja siinä käsitellään tarkemmin mm. raportointia sekä tulosten ja toimintatapojen kriittistä tarkastelua (ISO 2006b).

ISO 14067 -standardi esittelee pääperiaatteet tuotteen hiilijalanjäljen laskemiseen (ISO 2018). Hiilijalanjälkilaskennan tavoitteena on standardin mukaan laskea tuotteen mahdollinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen ilmaistuna hiilidioksidiekvivalenttina. Hiilijalanjäljen laskennan pääperiaatteita ovat standardin mukaan tarkoituksenmukaisuus, kattavuus, johdonmukaisuus ja läpinäkyvyys.

Standardissa ETSI ES 203 199 esitellään ICT-tuotteiden, verkon ja palveluiden elinkaari-analyysin metodologiaa. Kyseinen julkaisu on myös suunniteltu täydentämään ISO 14040 ja ISO 14044 -standardeja. Standardissa kuvaillaan ICT-sektorin toimijoille kohdennettuja vaatimuksia ja kehoitteita.

SFS-EN 15804:2012 + A2:2019 on rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaa ohjaava standardi. Standardissa esitellään rakennustuotteiden EPD-selosteiden (ympäristöselosteiden) yleiset käytänteet, kuten tavoitteet, elinkaarenvaiheet, vaikutusarviointi menetelmät, tietojen esitysmuodon sekä selosteiden vertailtavuuden. EN 15084 määrittelee myös tarkempia ohjeita skenaarioille, kuten jäteskenaarioiden "end of waste" -tilan sekä kierrätyksestä saatavan hyödyn laskemissäännöt. Standardi määrittää myös

sen, mitä tietoja EPD-selosteessa pitää julkaista ja mitä vaaditaan verifiointia varten tehtävään taustaraaporttiin.

2.2 Elinkaariarviointi ja merkittävät vaikutusluokat

2.2.1 NegaOctet-verkoston esittämä metodologia

Euroopan parlamentin vihreä / vapaa allianssi -ryhmä EFA tilasi vuonna 2021 asiantuntijaselvityksen NegaOctet-verkoston (Demain, GreenIT.fr, Bureau Veritas LCIE CODDE Department & APL Data Center) digitaalisten palvelujen ympäristökuormituksesta (Bordage, de Montenay, & Benqassem ym. 2021). Tutkimuksessa lähtökohdaksi asetettiin elinkaariarviointi noudattaen ISO 14040 -standardin mukaista kokonaisvaltaista arviointia.

Tutkimus kattoi EU-28 alueen digitaalisten palvelujen sektorin ja sisälsi elinkaaren vaiheina valmistuksen (raaka-ainehankinnan), tuotteiden jakelun kuluttajille, käytön (pääasiassa sähkönkulutuksen) sekä elinkaaren lopun käsittely ja jätehuolto prosessit. (emt.) Tutkimuksessa selvitettiin ympäristöjalanjälki-metodin avulla ensin keskeisiä ympäristövaikutuksia ja päädyttiin 19 vaikutuksesta kahdeksaan keskeisimpään indikaattoriin, jotka yhdessä muodostavat n. 80% kokonaisvaikutuksesta (taulukko 1, s. 8). Lisäksi raaka-aine-, energia- ja jätevirtoja mallinettiin neljän kulutusta kuvaavan lisäindikaattorin avulla.

Vaikutusindikaattori	Osuus kokonaisvaikutuksesta
Resource use, minerals and metals - kg Sb eq. (Resurssien käyttö, mineraalit ja metallit - kg Sb ekv.)	22.9%
Resource use, fossils- MJ (Resurssien käyttö, fossiiliset polttoaineet- MJ)	17.0%
Acidification - mol H+ eq. (Happamoituminen - mol H+ ekv.)	4.5%
Ecotoxicity, freshwater - CTUe (Ekotoksisuus, makeavesi- CTUe)	4.7%
Climate change - kg CO ₂ eq. (Ilmastonmuutos kg CO ₂ ekv)	16.2%
Ionising radiation, human health - kBq U235 eq. (Ionisoiva säteily, ihmisen terveys - kg Bq U235 ekv.)	11.1%
Particulate matter - Disease occurrence (Hiukkaspäästöt - sairastavuus)	4.0%
Photochemical ozone formation - human health - kg NMVOC eq. (Valokemiallisen otsonin muodostuminen-ihmisen terveys - kg NMVOC ekv.)	1.8%
Muut kulutusperusteiset indikaattorit	
Raw materials (kg) (Raaka-aineet)	
Waste production (Kg) (Jätteet)	
Primary energy consumption (MJ) (Primäärienergian kulutus)	
Final energy consumption (use) (MJ) (Käyttövaiheen energiankulutus)	

Taulukko 1. Digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinnin (Product Environmental Footprint, PEF) normalisoidut ja painotetut tulokset sisältäen kahdeksan keskeisintä vaikutusindikaattoria (Bordage ym. 2021, 8)

Bordage ym. (2021) mukaan digitaalisten palvelujen elinkaari-vaikutuksista vuonna 2019 voidaan jäsentää seuraavat johtopäätökset:

- ICT-sektorin merkittävin ympäristöindikaattori oli *Resurssien käyttö, mineraalit ja metallit*, jonka jälkeen tulevat *Ilmastonmuutos* ja *Resurssien käyttö, fossiiliset resurssit*. Tämä tarkoittaa, että monikriteeristä arviointia tarvitaan kokonaisvaikutusten ymmärtämiseen ja ehkäisemään vaikutusten siirtymistä.
- Tuotantovaihe oli merkittävin resurssien kulutusta (mineraalit ja metallit), raaka-aineiden kulutusta ja jätteiden syntymistä aiheuttava elinkaaren vaiheista.
- Euroopan tasolla suurimmat vaikutukset syntyivät käyttövaiheesta. Esimerkiksi loppukäytettävät ICT-laitteet aiheuttivat suurimman osan vaikutuksista: niiden vaikutukset vaihtelivat 54% ja 90% välillä kokonaisvaikutuksista.
- Datakeskusten osuus vaikutuksista vaihteli 5–23% välillä riippuen ympäristövaikutuksesta.

- Koko sektorin hiilijalanjälki oli 185 Mt CO_{2e}, mikä vastaa n. 4,2 % EU-28 alueen kokonaispäästöistä. Digitaalisten palvelujen käyttövaiheen sähkönkulutus oli 283 TWh, mikä vastaa n. 9,3 % Euroopan kulutuksesta.
- Yhtä eurooppalaista kuluttajaa kohden vaikutukset olivat seuraavat: hiilijalanjälki 361 kg CO_{2e}, n. 1100 kg raaka-aineiden kulutusta, 225 kg jätettä, 2288 kWh primäärienergiankulutusta ja 550 kWh käyttövaiheen energiankulutusta (emt. 8-12).

Tutkimuksen lähtökohtana on vahvasti infrastruktuuriprosessien ja laitteiden käyttöön liittyvien prosessien mallinnus, jossa jaotteluna käytetään seuraavia tasoja: Tier 1: loppukäytettävät laitteet; Tier 2: verkot; Tier 3: datakeskukset. (emt. 9). Siten mallinnus ei huomioi digitaalisten palvelujen muodostamia epäsuoria vaikutuksia / hyötyjä muilla toimialoilla.

2.2.2 SDIA:n metodologia digitaalisten tuotteiden ja palvelujen ympäristöjalanjälkilaskentaan

SDIA (Sustainable Digital Infrastructure Alliance) on kehittänyt avoimen metodologian digitaalisten tuotteiden ja palvelujen ympäristöjalanjäljen laskentaan (SDIA 2022). Metodologia perustuu elinkaariarviontiin, mikä mahdollistaa kattavan ympäristövaikutuksen arvioinnin, sekä jatkuvan tuotteiden, palvelujen ja liiketoimintamallien kehittämisen. Arvoketjusta laadittu taksonomia sekä digitaalisten resurssien määrittelytavat ja kytkentä ympäristövaikutuksiin on merkittävä kehitysaskel digitaalisten palvelujen ympäristöjalanjälkilaskennassa.

SDIA (2022) toteaa, että jokaisella digitaalisella palvelulla on oma tuotantoketju, jota kutsutaan digitaalisiksi infrastruktuuriksi. Digitaalinen infrastruktuuri luo digitaalisia resursseja, joita tarvitaan mm. sovellusten ylläpitämiseen ja käyttäjien yhteyksiin esimerkiksi tietokoneella tai mobiililaitteella. Vaikka digitaalinen palvelu ei ole fyysinen tuote, sen ylläpitämiseen ja käyttöön tarvitaan digitaalisia resursseja. Näitä resursseja tarjoavat digitaaliset infrastruktuuriprosessit, joita ovat IT-laitteet, reitittimet ja tukiasemat sekä datakeskukset. Keskeinen tuotejärjestelmän panos on sähkö ja prosesseissa vapautuu lämpöä, jota voidaan hyödyntää muissa toiminnoissa.

SDIA:n mallissa digitaalisen infrastruktuurin tuottama digitaalinen resurssi voidaan allokoida (jakaa/kohdentaa) edelleen digitaalisille palveluille. Tässä allokoinnissa voidaan hyödyntää digitaalisten palvelujen käyttödataa. Tämä allokointi johtaa edelleen vastuuden määrittelyyn: digitaalisten palvelujen ympäristökuormitukselle on vaikea löytää vastuutahoa (omistajaa). Esimerkiksi datakeskukset nähdään usein vastuutahoina, vaikka ne ovat kuitenkin lähinnä palvelujen taustalla olevia infrastruktuuriprosesseja (vrt. esim. maantierakennus ja tiestö – henkilöauton käyttö). Infrastruktuurin tuottajien vastuulle voidaan määrittellä riittävien digitaalisten resurssien tuottaminen mahdollisimman kestävällä ja tunnistettavalla tavalla. Resurssien välittäjän tulisi pyrkiä

resurssitehokkuuteen ja "joutokäynnin" eli turhan resurssitarjonnan välttämiseen. Sovel-
lusten tuottajien ja tarjoajien pitäisi olla toiminnassaan läpinäkyviä, mitata resurssien
käyttöä ja tarjota kestävämmiin tuotteisiin resursseja. Käyttäjän vastuulle jäisi tarpeen
mukainen käyttö ja turhan digitaalisten palvelujen kulutuksen vähentäminen.

SDIA (emt., 7) tuo esille elinkaaritietokantojen kehitystarpeet: digitaalisille resursseille
tarvitaan mitattua ympäristövaikutustietoa samoin kuin on jo saatavissa muiden toi-
mialojen prosesseille. Digitaalisten resurssien käyttö liittyy pääasiassa energiaproses-
seihin, jotka ovat kohdennettavissa prosessorille, käyttömuistille, tallennustilalle ja verk-
koyhteyksille. Tämä tieto olisi hyödynnettävissä helpommin erilaisten digitaalisten tuot-
teiden vaikutusarvioinneissa ja mahdollistasi mm. ympäristömerkintöjen soveltamista
sektorin edelläkävijöiden tunnistamiseksi.

SDIA:n esittämässä metodologiassa noudatetaan myös hyvin vakiintunutta elinkaariar-
vioinnin standardiperustaa (ISO 14040) ja vaiheita. Digitaalisten resurssien ympäristö-
vaikutusten arviointiin soveltuvimmiksi havaitut vaikutusindikaattorit keskittyvät ilmas-
tovaikutukseen, luonnonvarojen käyttöön sekä elinkaaren aikaiseen energian- ja ve-
denkulutukseen (taulukko 2).

Vaikutusindikaattori	Yksikkö
Climate change – total, fossil, biogenic and land use (Ilmastonmuutos – kokonaisilmastonmuutos, fossiilinen, biogeeninen ja maankäyttö)	kg CO ₂ -eq
Depletion of abiotic resources – minerals and metals (Abioottisten luonnonvarojen ehtyminen – mineraalit ja metallit)	kg Sb-eq
Water use (Vedenkäyttö)	m ³ world eq. deprived (Globaali niukkuusekvivalentti)
Land use (Maankäyttö)	Dimensionless (Dimensioton)
Resurssien kulutusta kuvaavat parametrit	
Primary renewable energy (energy) (Primääri uusiutuva energia – energiankulutus)	MJ
Primary renewable energy (total) (Primääri uusiutuva energia – kokonaiskulutus)	MJ
Primary non-renewable energy (energy) (Primääri uusiutumaton energia – energiankulutus)	MJ
Primary non-renewable energy (total) (Primääri uusiutumaton energia – kokonaiskulutus)	MJ
Use of fresh water (Makean veden käyttö)	m ³

Taulukko 2. SDIA:n (2022) esittämät keskeiset digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinnin vaiku-
tusindikaattorit.

Digitaalisten palvelujen erityispiirteet ja epäsuorat hyödyt jäävät tällä hetkellä vielä usein tunnistamatta. SDIA:n ehdotuksena on alan yhteisten pelisääntöjen ja metodologian standardisointi ja myös digitalisaation ja automaation hyödyntäminen digitalisaation vaikutusten tutkimuksessa. Tällä hetkellä digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinnit ovat hyvin tapauskohtaisia ja siten niiden vertaaminen keskenään on haastavaa.

2.2.3 EPD infranstruktuurin päästöjen laskennan työkaluna

EPD (environmental product declaration) -ympäristöselosteet tarjoavat kolmannen osapuolen verifioimaa tietoa tuotteen ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. EPD:n tavoitteena on lisätä läpinäkyvää ja verifioitua tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista. (EPD international 2023).

EPD:n avulla voidaan selvittää ICT-alan infrastruktuurin elinkaaren aikaisia päästöjä. EPD:ssä elinkaari jaetaan moduuleihin, jotka kuvaavat tuotteet eri elinkaaren vaiheita. Moduulien avulla on helppo vertailla ICT-infran käytön aikaisia päästöjä sekä tuotannosta syntyviä päästöjä. EPD:ssä esitetään myös skenaario tuotteen elinkaaren lopulle eli kierrätykselle ja loppusijoitukselle. Tämä elinkaaren vaihe nousee merkittäväksi elektroniikkalaitteissa, jotka sisältävät paljon arvokkaita metalleja. Loppuvaiheen skenaarioita on myös vaikeaa arvioida koska aina ei voida suoraan sanoa millä tavalla elektroniikkajäte käsitellään, eli mitkä kaikki komponentit erotellaan ja mitä päätyy kierrätykseen tai suoraan uudelleen käyttöön.

3 Digitaalisten palveluiden tapaus- tutkimukset

Kommunikoiva energia -hankkeessa toteutettiin kolme kappaletta digitaalisten palvelujen hiilijalanjälkilaskentoja energia- ja ympäristötekniikan koulutuksen opinnäyteprojekteina. Opinnäytteissä sovellettiin LCA-laskentaa SimaPro-ohjelmistolla noudattaen ISO 14040 -standardin mukaisia vaiheita. Projekteissa tunnistettiin myös alaan liittyviä laskentastandardeja ja -käytäntöjä; laskentakokemukset antoivat myös hyvin näemyksiä tämän toimintamalliselvityksen laadintaan.

3.1 Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysi - Hiilijalanjälkilaskenta Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelulle

Karelia-ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan koulutuksen opinnäytetyönä (Pohjonen 2022) toteutetun selvitystyön pysyvä osoite on:

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202202232789>

3.1.2 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Hurry Oy on markkinointi-, paino- ja tapahtuma-alan yritys, jolla on toimipisteet Joensuu, Kuopiossa, Varkaudessa sekä Tampereella. Työ tavoitteena oli tehdä elinkaariarviointi Hurry Oy:n tuottamalle verkkopalvelulle. Analyysin kohteena oli Hurry Oy:n asiakkaan Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelu, joka sisälsi verkkosivuston, verkkokaupan ja mobiilisovelluksen.

Tutkimuksessa keskityttiin verkkopalvelun rakentamisen ja kulutuksen hiilijalanjälkeen. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin verkkoinfrastruktuurin rakentaminen, kuluttajien laitteiden tuottaminen sekä kuluttajien laitteiden energiankulutus. Työn toiminnallinen yksikkö on yksi verkkopalvelu, joka sisältää verkkosivuston, verkkokaupan sekä mobiilisovelluksen. Verkkopalvelu sijaitsee suomalaisella palvelimella ja siitä on olemassa varmuuskopio pilvipalvelussa. Toiminnallisen yksikön tarkastelujakson pituus on kolme kuukautta. Elinkaarianalyysi tehtiin SimaPro-ohjelmistolla.

3.1.3 Elinkaari-inventaario

Inventaarioanalyysi koottiin SimaPro Collect-kyselyn avulla sekä muista ajankohtaisista lähteistä. Hurrylta kerätyt vastaukset käytiin läpi ja tarkastettiin yhdessä palavereissa. Palavereissa Hurryn edustaja selvensi, kuinka he olivat keränneet tiedot.

Verkkopalvelun toteuttamisvaiheen päästöt saatiin laskettua Hurrylta saatujen aikamäärien ja suunnittelussa käytettyjen koneiden energiankulutuksen avulla. Toteuttamisvaiheessa huomioitiin myös toteuttamisvaiheen internetin käyttö. Datakeskuksen

energiankulutus laskettiin verkkosivustolle varatun levytilan perusteella. Levytilan kuluttaman energiankulutuksen lisäksi työssä huomioitiin verkkopalvelusta tehdyn varmuuskopion energiankulutus. Varmuuskopion koon oletettiin olevan yhtä suuri kuin verkkosivu ja mobiilisovellus yhteenlaskettuna, varmuuskopio on tallennettu pilvipalveluun.

Verkkopalvelun kulutuksessa otettiin huomioon verkkosivustolla vierailut, maksutapahtumat verkkokaupassa, mobiilisovelluksen lataaminen sekä maksutapahtumat sovelluksessa. Kulutusprofiiliin energiakulutusta laskiessa huomioitiin, millä laitteille kuluttajat vierailevat verkkosivustolla, mobiili- ja tablettilaitteiden oletettiin käyttävän mobiiliverkkoa ja tietokoneiden oletettiin käyttävän kiinteää verkkoyhteyttä.

Verkkosivulla vierailujen ja mobiilisovelluksen käytön energiankulutus laskettiin palvelimelta siirretyn kokonaisdatan avulla. Vierailujen kulutusprofiili laskettiin kertomalla datasiirto määrä verkon energiankulutuksella, joka oli mobiililaitteiden ja tabletin osalta mobiiliverkon energiankulutuksella 0,1 kWh/Gt ja tietokoneiden osalta kiinteänverkon energiankulutuksella 0,06 kWh/Gt. Sovelluksen lataamisen energiankulutus laskettiin kertomalla sovelluksen koko mobiiliverkon energiankulutuksella.

3.1.4 Vaikutusarvioinnin tulokset

Vaikutusarvioinnissa sijoitetaan tulokset vaikutusluokkiin ja lasketaan vaikutusluokka indikaattoritulokset (ISO 14044, 25.) Vaikutusarvioinnissa laskettiin verkkosivulle hiilijalanjälki IPCC GWP100a (2021) -metodin avulla. Kuopion Eläinpuiston digitaalisen palvelun kokonaishiilijalanjälki on kolmen kuukauden tarkastelujaksolla 57,4 kg CO_{2e}. Suurimmat päästöt muodostuvat verkkopalvelun ja mobiilisovelluksen tuottamisesta, koska näihin toimintoihin kuluu paljon aikaa.

3.1.5 Tulosten tulkinta

Päästöjä voidaan vähentää vaihtamalla energianlähteet uusiutuviin energianlähteisiin sekä muokkaamalla verkkosivujen ominaisuuksia, kuten kuvioiden ja videoiden määrää. Tuottamisen päästöjä voitaisiin pienentää huomattavasti vaihtamalla suunniteluun ja koodaukseen käytetty sähkö uusiutuvalla energialla tuotetuksi. Hiilineutraalisuus voitaisiin saavuttaa päästöjen kompensoinnin avulla.

3.2 Tovari Oy:n verkkosivuston hiilijalanjäljen arviointi

Karelia-ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan koulutuksen opinnäytetyönä (Asikainen 2022) toteutetun selvitystyön pysyvä osoite on:

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022121429850>

3.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tovari Oy on joensuulainen markkinointiin erikoistunut pienyritys. Laskennan kohteena oli Tovarin kotiverkkosivu, jonka pohjaa voidaan myös käyttää asiakkaille tarjottavana palveluna. Laskennan tarkoitus oli selvittää, kuinka suuri hiilijalanjälki verkkosivun kehitystyöstä aiheutuu. Tutkimuksessa rajattiin verkkosivun kehitykseen kuuluva infrastruktuuri Tovarilla; laskenta tehtiin hyödyntäen standardinmukaisia laskentamalleja.

3.2.2 Elinkaari-inventaario

Verkkosivun kehityksen infrastruktuuri Tovari Oy:llä selvitettiin yritysvierailuiden, sekä sähköpostikyselyiden avulla. Verkkosivun kehitystyötä tehtiin kahdella työasemalla, jotka olivat yhteydessä verkkoon reitittimen kautta. Työasemien käyttämän sähkön määrä kilowattitunteina voidaan selvittää tehdyn tuntimäärän, sekä energiankulutuksen mittauksen avulla.

Laitteiston energiankulutus saatiin selville käyttämällä energiamittaria. Mittarin avulla nähtiin suoraan, kuinka paljon energiaa työasema käyttää lepotilassa, sekä silloin kun kehitystyötä tehdään. Laitteiston käyttämän sähkön hiilijalanjälki saadaan laskettua, kun sähkön ominaispäästöt ovat tiedossa, tai sen sijaan voidaan käyttää vaihtoehtoisia mallinnuksia SimaPro -laskentaohjelmasta.

3.2.3 Vaikutusarvioinnin tulokset

Vaikutusarvioinnin yleinen tavoite on selvittää saatujen inventaariotulosten perusteella kohdejärjestelmän ympäristövaikutuksia. Tässä työssä vaikutusarvioinnin vaikutusluokkana on ilmastonmuutos, jonka indikaattori on hiilijalanjälki. Työn hiilijalanjälki laskettiin IPCC GWPI00a -metodilla.

Työasemien käyttämä sähkön määrä selvitettiin käyttöprofiilin ja laitteiston energiankulutuksen avulla. Työssä hyödynnettiin päästökertoimen Pohjois-Karjalan Sähkön markkinaperusteista päästökertoimena. Inventaarioanalyysissä selvitettyjen Tovari Oy:n verkkosivun kehitykseen kuuluvien osien perusteella tehtiin tuotejärjestelmästä mallinnus SimaPro -laskentaohjelmaan.

3.2.3 Tulosten tulkinta

Vaikutusarvioinnissa tehdyn mallinnuksen perusteella verkkosivun kehittämisen hiilijalanjäljeksi saatiin 4,27 kg CO₂-ekvivalenttia ja näin ollen yksi tunti kehitystyötä tuottaa tässä tapauksessa noin 41,5 g CO₂-ekvivalenttia. Verkkosivun kehittämisen aikaisia päästöjä voidaan pitää pieninä koko verkkosivun elinkaaren päästöihin verrattuna. Verkkosivun lopullisiin päästöihin vaikuttavat ylläpitopalvelimen sijainti ja energiatehokkuus, verkkosivun tarkoitus, sekä mahdollisten vierailijoiden määrä ja laitteet, joilla verkkosivua tarkastellaan.

Kestävällä verkkosivunkehittämisen metodeilla (EcoDesign) voidaan kuitenkin kehityksen aikana vaikuttaa olennaisesti lopullisiin päästöihin. Raskaat verkkosivut johtavat suurempaan sähkönkulutukseen, joten suunnittelun avulla voidaan helposti vaikuttaa palvelujen ilmastovaikutukseen. (GreenIT & Bordage 2019)

3.3 Digitaalisen tuotejärjestelmän hiilijalanjälki

Sensire Oy:lle

Karelia-ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan koulutuksen opinnäytetyönä (Piironen 2022) toteutetun selvitystyön pysyvä osoite on:

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204205488>

3.3.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Sensire Oy:n tuotejärjestelmän hiilijalanjäljen suuruutta. Tutkimuksessa tehtiin elinkaarianalyysi ruokaturvallisuuden ja omavalvontaan kehitetystä tuotejärjestelmästä, jolla voidaan välttää ruokahävikin syntymistä. Sensorit mittaavat esimerkiksi ruuan lämpötilaa ja lähettävät tiedot tukiaseman kautta pilvipalveluun, josta tiedot nähdään. Mobiilisovelluksella voidaan suorittaa omavalvontamittauksia ja tehtävälistoja.

Tutkittava tuotejärjestelmä koostui olosuhdesensorista, tukiasemasta, pilvipalvelusta ja mobiilisovelluksesta. Toiminnallisena yksikkönä työssä oli yksi sensori ja yksi tukiasema, joiden molempien elinkaari on 10 vuotta. Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen tarkastelujaksoksi valittiin yksi kuukausi, työn ulkopuolelle on rajattu mobiilisovelluksen ja pilvipalvelun tuottaminen. Elinkaarianalyysin vaikutusarvionti sisälsi sensorin ja tukiaseman komponenttien, kuljetusten ja juotoksen hiilijalanjäljen laskennan. Digitaalisten osien osalta selvitettiin pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälki.

3.3.2 Elinkaari-inventaario

Sensorin ja tukiaseman materiaalitiedot saatiin toimeksiantajalta saaduista komponenttিলistoista. Komponenttilistojen avulla selvitettiin komponenttien painot mouser.fi-sivustolta tai itse mittaamalla. Komponentit jaettiin pääkategorioihin ja alakategorioihin, jonka perusteella komponenteille etsittiin vastaavat prosessit SimaPro-ohjelmistosta. Seuraavan sivun taulukossa 3 on esitetty työssä käytetty pääkategoriajaottelu.

TSX (sensori)	GWX (tukiasema)
Enclosure	Enclosure
Integrated Circuits	Integrated Circuits
Resistors	Resistors
Capacitors	Capacitors
Inductors	Inductors
Transistors	Transistors
Diodes	Diodes
Crystals	Crystals
Miscellaneous	Miscellaneous
Transport	Led
Mounting	Switch
	Connectors
	Transport
	Mounting

Taulukko 3. Tutkittavien tuotteiden sisältämien komponenttien pääkategoriat, joiden alle ryhmiteltiin tarkemmat yksikköprosessit.

Pääkategoriat on jaoteltu sensorin ja tukiaseman sisällön mukaan: Enclosure -kategoriaan kuuluu tukiaseman osalta esim. tyhjäpiirilevy, antenni ja virtalähteet ja sensorin osalta tyhjä piirilevy ja patterit; Miscellaneous -kategoria piti sisällään piirejä suojaavia komponentteja ja muut kategoriat sisälsivät piirilevyn sisältymät komponentit poissulkien Transport ja Mounting -kategoriat, jotka sisältävät tiedon kuljetuksista ja komponenttien juottamisesta piirilevyyn.

Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön aikainen kulutus selvitettiin yhden kuukauden ajalta. Käytönaikaiseen kulutukseen kuului keskimääräinen tiedonsiirtomäärät sekä siirtoon kuluva energiamäärä. Sensori mittasi ja tukiasema lähetti tietoja 15 minuutin välein pilvipalveluun, molemmat laitteet ovat jatkuvasti päällä. Energiankulutukseen vaikuttaa huomattavasti internetyhteyden laatu eli kuinka sujuvasti data saadaan lähetettyä pilvipalveluun. Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen energiankulutukset laskettiin datankulutusmäärien ja pilvipalvelun sekä mobiilisovelluksen energiakulutuksen perusteella.

3.3.3 Vaikutusarvioinnin tulokset

Vaikutusarviointi menetelmänä työssä käytettiin IPPCC 2013 GWP 100a metodia, jonka tuloksena saadaan hiilijalanjälki ilmaistuna hiilidioksidiekvivalenttina lukuna. Karakterimalliksi työssä valittiin kansainvälisen ilmastomuutospaneelin 100 vuotta kattava vertailumalli.

Tukiaseman hiilijalanjäljeksi saatiin 32,3 kg CO_{2e} ja sensorin hiilijalanjäljeksi 3,63 tai 3,65 kg CO_{2e}. Tukiaseman suurimmat päästöt muodostivat Enclosure -pääkategoria, toiseksi suurimmat päästöt aiheuttivat Integrated circuits -kategoria. Myös sensorin

hiilijalanjäljestä suurimman osan kattoi Enclosure -kategoria. Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön aikaiset päästöt ovat 274 kg CO_{2e}. Pilvipalvelun hiilijalanjäljestä suurimman osan muodostaa energiankulutus.

3.3.4 Tulosten tulkinta

Elinkaariarvioinnissa huomattiin, että suurimman osan tukiaseman ja sensorin hiilijalanjäljestä muodostavat mikropiirit. Tutkimuksessa huomattiin, että infran tuotannon päästöt ovat suuremmat, kuin käytön aikaiset päästöt.

Tutkimuksen myötä saatiin selville, että kierrätysmateriaaleilla ja uusiutuvalla energialla digitaalisen tuotejärjestelmän hiilijalanjälkeä saataisiin pienennettyä. Tuotejärjestelmän digitaalisten osien, mobiilisovelluksen ja pilvipalvelun kuukauden käytön aikainen, hiilijalanjälki muodosti vain 0,75 % hiilijalanjäljestä, joka tukee havaintoa infrastruktuurin suuremmasta hiilijalanjäljestä käytön aikaisiin päästöihin verrattuna. On kuitenkin tärkeää muistaa, että datan kulutuksen hiilijalanjälki kasvaa, jos esimerkiksi internettyheys ei toimi.

Tutkimuksen aikana selvisi myös, että elinkaariarvioinnin tietokannoissa on hieman puutteita, mutta päivityksiä tulee kuitenkin säännöllisesti (mm. EcoInvent 3.8 päivittyi työn laatimisen jälkeen). Lisäksi havaittiin, että komponenttien kuljetusten hiilijalanjälki oli pieni ja komponenttien kansainväliset kuljetukset eivät ole kovin merkittävässä osassa ympäristövaikutuksissa.

Tutkimuksessa saatiin selville tuotejärjestelmän hiilijalanjälki, ja kuinka suuren osan siitä muodostivat digitaaliset osat. Mobiilisovelluksen ja pilvipalvelun käytön aikainen hiilijalanjälki vastasi koko tuotejärjestelmän hiilijalanjälkeä reilussa 11 vuodessa.

4 EPD-tapaustutkimukset

Kommunikoiva energia -hankkeessa toteutettiin EPD-seloste Greenled oy:lle. Työssä elinkaariohjelmistona käytettiin SimaPro-ohjelmistoa ja noudatettiin EN 15804 -standardin ohjeistuksia. Työssä tutustuttiin EPD-selosteen vaatimukseen ja elektroniikka-alan tuotekohtaisiin oheistuksiin. Hankkeessa toteutettiin EPD-laskenta myös opinnäytetyönä Finelcomp Oy:lle.

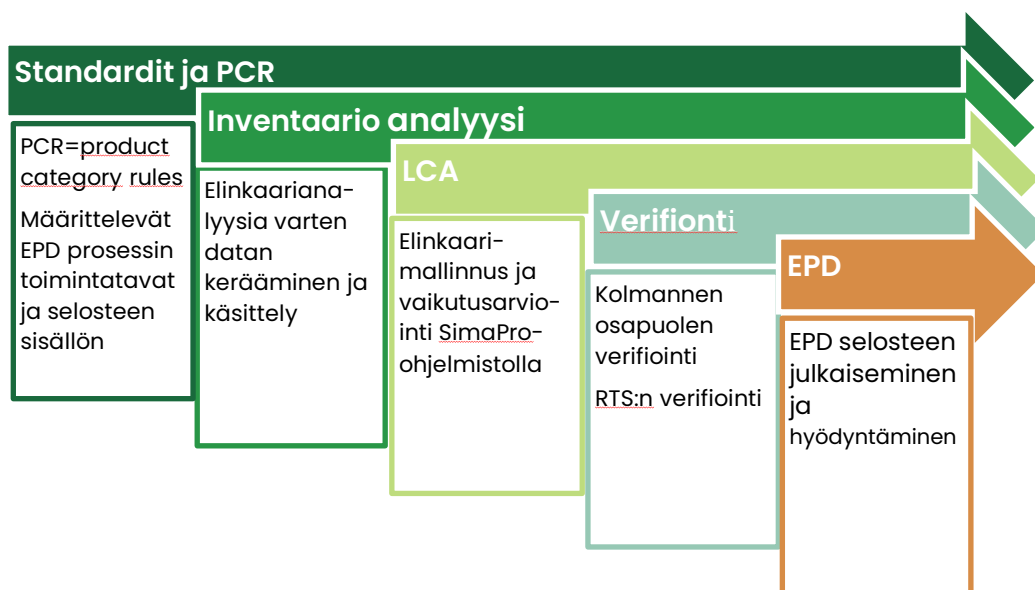
4.1 EPD-seloste Greenled Oy:lle

Greenled Oy:lle toteutettu EPD seloste on julkaistu RTS:n järjestelmässä. EPD:n pysyvä osoite on https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rts_210_23-epd_phi_greenled-22-3-1.pdf.

4.1.1 Tavoitteet ja EPD-prosessi

Työn tavoitteena oli tehdä Greenledin valaisintuoteperheelle EPD (Environmental Product Declaration) -ympäristöseloste. Greenled Oy lähti toteuttamaan EPD-selostetta, koska yritys haluaa tarjota asiakkailleen verifioitua tietoja tuotteistaan sekä lisätä omaa tietoisuutta tuotteiden ympäristövaikutuksista. EPD toteutettiin tiiviissä yhteistyössä Greenledin kanssa.

Alla olevassa kuvassa 1 on havainnollistettu EPD:n etenemisprosessia. EPD:n tekemisessä lähdettiin liikkeelle standardien läpikäynnistä sekä PCR:n valinnasta. Toimintamallin valitsemisen jälkeen päätettiin työn toiminnallinen yksikkö ja kerättiin inventaarioanalyysi. Tiedonkeräämisen jälkeen suoritettiin LCA-mallinnus ja vaikutusarvioinnin laskeminen. Vaikutusarvioinnin jälkeen tehtiin EPD-seloste sekä verifiointia varten taustat raportti. EPD verifioitiin kolmannen osapuolen toimesta.



Kuva 1. Greenled Oy:n EPD-prosessin vaiheet.

4.1.2 Soveltamisalan määrittely

Työssä käytetty PCR (product category rules) oli suomenkielinen RTS:n PCR. Työssä mukailtiin selosteetta laatiessa ISO-EN 15804:2012 + A2:2019- ja ISO 14025- standardeja ja elinkaariarvioinnissa ISO 14040- ja 14040- standardeja. Käytetty elinkaarianalyysiohjelmissä on SimaPro 9.3 ja käytetyt tietokannat ovat Ecolnvent 3.8 ja muut SimaProsta löytyvät tietokannat.

EPD tehtiin Phi-tuoteperehelle, johon kuuluivat valaisimet ovat Phi Linear, Phi Modul, Phi Vision Direct ja Phi Vision Direct/Indirect. Valaisimet ovat sisäkäyttöön tarkoitettuja mikroprismavalaisimia. Phi-tuoteperehen valaisimet on tuotettu Suomessa Greenledin Oulun tehtaalla. Phi-tuotteille laadittiin keskiarvoihin perustuva LCA -laskenta ja ympäristöseloste. EPD on tyypiltään "gradle to grate with options B6, C1-C4 and D".

Työn toiminnallinen yksikkö on yksi valaisin, jonka tekninen käyttöikä on 25 vuotta. Valaisimen oletetaan kestävän koko 25 vuotta ilman huoltoa tai komponenttien vaihtoa. Koska komponentit kestävät ehjinä käyttöajan ei niiden vaihtoa tai korvaamista mallinnettu EPD:ssä. Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty mitä elinkaareissa on otettu huomioon ja mitä on jätetty pois elinkaaresta.

Product stage			Construction process stage		Use stage							End-of-life stage				Supplementary information beyond the lifecycle		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction-installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demoli-	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse	Recovery	Recycling

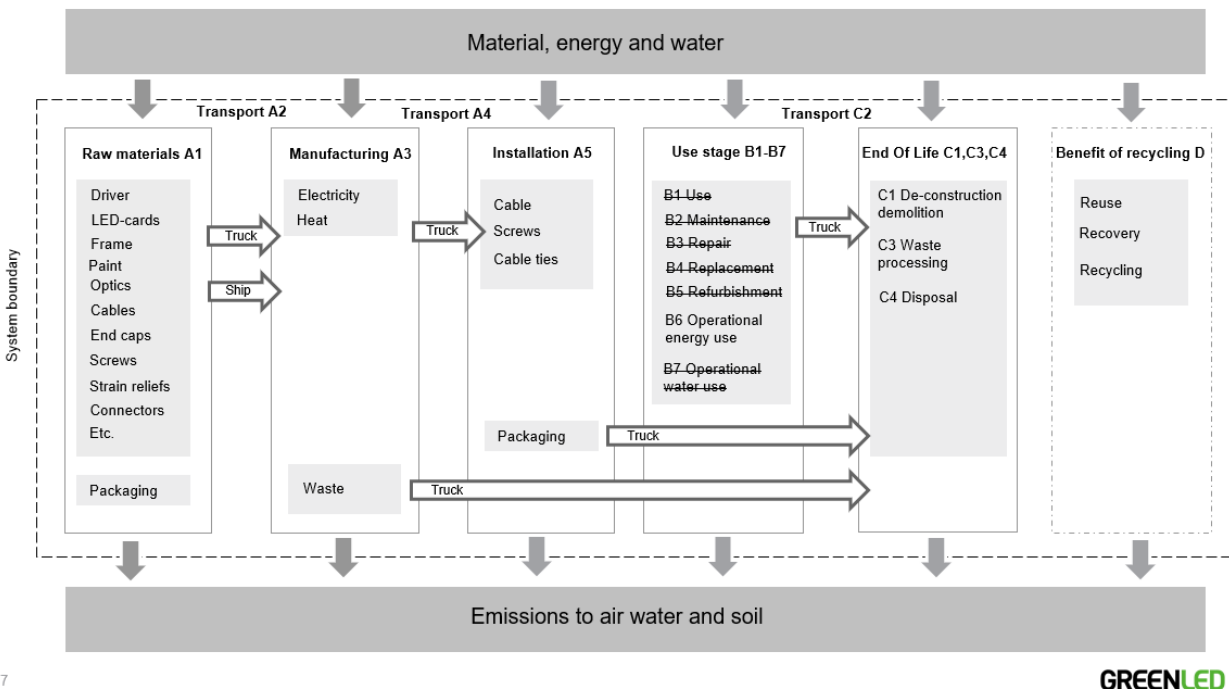
Mandatory modules
Mandatory as per the RTS PCR section 6.2.1 rules and terms
Optional modules based on scenarios

Kuva 2. Greenled Oy:n EPD:n elinkaaren rajaus.

4.1.3 Elinkaari-inventaario

Valaisimet ovat tyypiltään mikroprismavalaisimia, joissa on tasaisesti valaiseva valopinta. Kaikkien valaisimien runko on kuumasinkittyä terästä. Valaisimiin on mahdollista saada lisäosia, kuten liitoskappaleita ja liiketunnistimia. EPD-selosteessa on mallinnettu ns. perusversio ilman mitään lisäosia.

Valaisimien materiaalitiedot saatiin Greenlediltä exeleinä BoM (build of materials) -muodossa. BoM-listoihin oli merkitty kaikki valaisimen ja pakkauksen sisältämät osat ja niiden raaka-aineet ja määrän kilogrammoina sekä kuljetusetäisyydet ja -tavat. BOM-listan lisäksi Greenled toimitti materiaaleista lisätietoja tarvittaessa. Lisätiedot koskivat mm. metallin ja muovien työstöprosesseja. Materiaaleja koskevat tiedot on kerätty vuonna 2022. Inventaariotieto jaettiin EN 15804 mukaisesti moduulimuotoon. Työssä esitetyt moduulit ja niiden sisällöt on esitetty alla olevassa kuvassa 3.



7

Kuva 3. Phi-valaisimen elinkaaren vaiheet.

Valaisimen pääraaka-aineita ovat teräs, muovit ja elektroniikkakomponentit. Pakkaus koostuu pahvista ja PET-muoviosista. Valmistusvaiheessa otetaan huomioon valaisimen kokoonpanossa tarvittava energia sekä tuotannon jätteiden käsittely. Oulun tehdas käyttää lämmönlähteenä kaukolämpöä ja sähkön lähteenä sertifioitua vesivoimaa.

A4-moduulissa valaisimen ja pakkauksen keskimääräisen kuljetusmatkan on oletettu olevan 500 km täysperävaunurekalla. Asennusvaiheesta on huomioitu asennuksessa käytettävät apumateriaalit, kuten kaapeli ja nippusiteet.

Käyttövaiheen energiankulutus laskettiin valaisimille keskiarvoisen tehon perusteella. Jokaiselle valaisinmallille ja niiden pituusmalleille laskettiin omat energiankulutustiedot. Valaisimen käyttöajan oletettiin olevan 100 000h.

Elinkaaren lopussa valaisin oletetaan kuljetettavaksi noin 100 km päähän kierrätyskeskukseen, jossa valaisin käsitellään. Työssä oletettiin, että valaisesta kierrätetään metalli, muovi ja SER-jäteosat, SER-osilla tarkoitetaan johtoja, LED-korttia, liitäntälaitteita sekä vastusta. Kierrätysasteiden oletettiin olevan metallille 90%, muoveille 55% ja SER-osille 90,1%.

4.1.4 Vaikutusarvioinnin tulokset

Ympäristövaikutusarviointimetodina käytettiin EN 15804 + A2-metodia, joka on tarkoitettu EPD-selosteiden ympäristövaikutuslaskentaan. Ympäristövaikutuksista on esitelty RTS PCR:n mukaan pakolliset kategoriat sekä lisäindikaattorit. Luonnonvarojen kulutusta kuvaavana metodina käytettiin Cumulative Energy Demand 1,11 (CED) -metodia, veden kokonaiskäytön kuvaavana indikaattorina käytettiin ReCiPe Midpoint -metodia ja jätemäärien laskemiseen käytettiin EDIP 2003 -metodia.

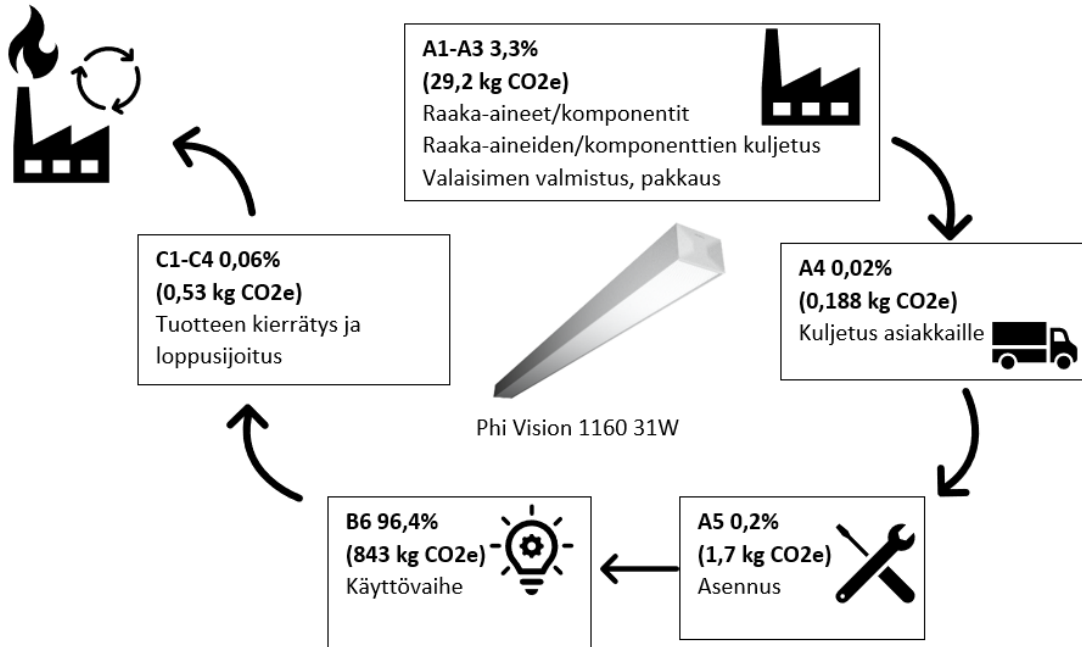
Vaikutusarvioinnin tuloksena saatiin kaikille moduuleille ympäristövaikutusta kuvaavat indikaattorit, luonnonvarojen kulumista kuvaavat indikaattorit sekä jätevirrat. Esimerkkinä alla olevassa taulukossa 4 on esiteltynä Phi Vision 1160 15-48W valaisimen kaikki moduulit ja niiden päästöt muutamassa ympäristövaikutuskategoriassa.

Phi Vision Direct 1160	Climate change kg CO2 eq	Ozone depletion kg CFC11 eq	Acidification mol H+ eq
A1-A3	2,92E+01	2,68E-06	1,38E-01
A4	1,88E-01	4,68E-08	5,98E-04
A5	1,69E+00	4,33E-07	7,55E-03
B6	8,43E+02	4,65E-05	3,61E+00
C1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
C2	3,40E-02	8,46E-09	1,08E-04
C3	1,07E-01	1,12E-08	6,11E-04
C4	3,85E-01	2,36E-09	1,86E-04
D	-1,74E+01	-1,62E-06	-1,41E-01

Taulukko 4. Phi Vision Direct 1160 -valaisimen päästöjä eri moduuleissa.

4.1.5 Tulosten tulkinta

Alla olevassa kuvassa 4 on havainnollistettu yhden valaisimen elinkaarenaikaisten hiilijalanjäljen jakautuminen. Kuvassa on esitetty prosenttiosuus, joka kertoo moduulin päästöjen osuuden kokonaispäästöistä.



Kuva 4. Phi Vision 1160 -valaisimen elinkaaren hiilijalanjälki.

Kuvasta 4 huomataan, että elinkaaren suurimmat päästöt muodostuvat valaisimen käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Käytönaikaiset energiankulutuksen päästöt ovat suuret, koska tarkasteluaika on pitkä. Toiseksi suurin vaikutus on valaisimen tuotannolla. Vaikutusarvioinnissa huomataan, että mitä suurempi valaisin on sitä enemmän sen valmistamiseen, kuluu raaka-ainetta ja sitä suurempi sen hiilijalanjälki on. Arvioinnissa huomataan myös, että kuljetuksen ja asennuksen päästöt jäävät pieniksi kokonaisuuteen verrattuna.

C1-C4 moduulin päästöissä kuljetuksen eli C2-moduulin osuus jää pieneksi ja suurimmat vaikutukset aiheutuvat jätteen loppusijoituksesta eli poltosta ja kaatopaikka sijoituksesta. Tuotteelle on ilmoitettu elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset moduuli D eli kierrätyksestä saatavat hyödyt, kun kierrätetyllä materiaalilla korvataan primäärimateriaali. Phi Vision Direct 1160 D moduulin vaikutukset hiilijalanjälkeen on -17,4 kg CO₂ eq.

4.1.6 Verifiointi

Greenled EPD on verifioitu kolmannen osapuolen toimesta. Verifioiva osapuoli oli Ramboll Finland. EPD on voimassa viisi vuotta verifiointin jälkeen. Greenled EPD on käynyt läpi myös RTS:n verifiointin ja seloste on julkaistu RTS:n EPD tietokannassa.

4.2 Sähkökeskusemekaniikan elinkaariarviointi ja EPD-laskenta

Finelcomp Oy:lle toteutetun energia- ja ympäristötekniikan koulutuksen opinnäytetyön (Miettinen 2023) pysyvä osoite on: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023060220752>.

Kommunikoiva energia -hankkeen yhteistyönä toteutetun opinnäytteen tavoitteena oli selvittää sähkökeskusemekaniikan ympäristövaikutuksia Finelcomp Oy:lle. Työn tarkoituksena oli toteuttaa yrityksen valmistamasta sähkökeskusemekaniikkatuotteesta elinkaariarviointi ja alustava EPD-laskenta. Elinkaariarvioinnin kohteena oli E-tuotesarjan sähkökeskusemekaniikka.

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa suoritettiin elinkaariarviointi SimaPro-ohjelmistolla. Tuloksena laskettiin tuotteen elinkaarihiilijalanjälki. Alustava EPD-seloste tehtiin taustaraporttina ISO 15804:2012+A2:2019-standardin ja RTS PCR-menetelmäohjeen ohjeistusten mukaan. Selosteen verifiointi rajattiin pois työstä.

Tuotteen hiilijalanjäljeksi laskettiin 1225,7 kg CO_{2e}. Noin kaksi kolmasosaa hiilijalanjäljestä koostuu tuotteessa käytetyistä materiaaleista, joista eniten tuotteessa on kuumasinkittyä terästä. Valmistuksen prosessien hiilijalanjälki on noin kolmannes tuotteen hiilijalanjäljestä.

Toimeksiantajalla on mahdollisuus hyödyntää tuloksia esimerkiksi valmistuksen päästöjen pienentämiseen.

5 Yhteenveto toimintamalleista

Kommunikoiva energia -hankkeen Digitaalisen palvelun hiilijalanjälki -työpakettin tavoitteena oli jäsentää toimintamallia digitaalisten palvelujen elinkaariarviointiin. Työpakettin tapaustutkimusten ja taustatyön aikana havaittiin, että digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinneissa on huomattavan paljon tapauskohtaisia eroja, ja täysin yhtenäiset käytännöt puuttuvat.

Toimintamallin näkökulmasta seuraavat asiat nousivat keskeisiksi:

- ISO-standardit, ICT-alan standardit ja kehittyvä EPD-ohjeistus antavat vahvan perustan digitalisaation infrastruktuurien vaikutuslaskentaan.
- Digitaalisten palvelujen dynamiikka voidaan jäsentää SDIA:n kehittämän digitaalisten resurssien määrittelyn ja digitaalisten palvelujen ympäristökuormituksen vastuujakoperiaatteiden avulla.
- Elinkaariarvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyt on laadittava hyvin tarkasti ja huomioitava vaikutusarviontien tulosten käytössä; esimerkiksi tutkittavat tuotejärjestelmät keskittyvät usein vain osaan digitaalisen palvelun elinkaarta.
- Asiantuntijoiden kesken on yhteisymmärrys digitaaliseen infraan liittyvistä ympäristönäkökohdista ja soveltuvista vaikutusindikaattoreista (luonnonvarojen / mineraalien kulutus, ilmastovaikutus, energian- ja vedenkulutus).
- Digitalisaatioon liittyvien prosessien (digitaalisten resurssien) ympäristövaikutustiedot ovat puutteellisia, mikä aiheuttaa haasteita digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinneille.
- Digitaalisten palvelujen dynaamisuuden huomiointi ja palvelujen avulla saavutettavien epäsuorien hyötyjen mallinnus on vielä alkuvaiheessa; tässä työssä tarvitaan todennäköisesti digitaalisuutta ja automatisointia ("Using Digital 4 Digital" / D-LCA -lähestymistapana).

Digitaalisten palvelujen elinkaariarvioinnissa havaittiin hyväksi toimintamalliksi osallistava elinkaariarviointi, jossa työtä tehtiin yrityksen edustajan ja elinkaariasiantuntijan yhteistyössä, mm. prosessien valinnassa ja tietojen varmentamisessa. Elinkaariarvioinnissa tarvittavan tiedon läpinäkyvä tarjoaminen (esim. BoM, Bill of Materials; BoP Bill of Processes, asiantuntijoille kohdennettu SimaPro Collect -kysely) mahdollisti hyvin erilaisten tuotejärjestelmien arviointeja. Arviontien kattavuuteen jäi puutteita johtuen mitatun kulutustiedon saatavuudesta ja digitaalisten tuotejärjestelmien laajuudesta. Tehdyissä tapaustutkimuksissa edettiin kuitenkin johdonmukaisesti ja systemaattisesti, vaikka alan tutkimuskäytännöt ovat vielä kehitysvaiheessa.

Kehittyvät elinkaariarvioinnin menetelmät sekä standardiperusta tarjoavat jatkossa yhteneväisempiä käytänteitä digitaalisen palvelun LCA-laskennalle ja vaikutusarvioinnin tulosten käytölle. Tässä selvityksessä ei paneuduttu organisaatiokohtaiseen hiilijalanjälkilaskentaan ja käytäntöihin, mutta alalla toimiville yrityksille sitä voidaan kuitenkin vahvasti suositella. Digitaalisten palvelujen osuus tulee jatkossa myös huomioitavaksi osana organisaatiokohtaista hiilijalanjälkilaskentaa, kohdentuen arvoketjujen epäsuoriin päästöihin (Scope 3) ja epäsuorien ympäristöhyötyjen eli kädenjälkivaikutusten laskentaan (nk. Scope 4). (WRI 2019). Siten digitaalisten palvelujen tuottajiin kohdentuu jatkossa odotuksia ja toiveita eri toimialoilta. Myös ICT-alan toimijat (n. 95%) tunnistivat jo vuonna 2004, että sektorilla on merkittäviä epäsuoria hyötyjä ja päästöjä välttävää vaikutusta muilla toimialoilla (emt.). Siten näiden tunnistaminen ja esille tuonti on merkittävä osa yhteiskunnallista hiilineutraalisuuden edistämistä.

Lähteet

- Asikainen, S. 2022. Verkkosivun kehitystyön hiilijalanjäljen arviointi Tovari Oy:lle. Energia- ja ympäristötekniikan opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022121429850>.
- Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. and Lees Perasso, E. GreenIT.fr. 2021. Digital technologies in Europe: an environmental life cycle approach.
- Carbon Trust, GeSI 2017. EVALUATING THE CARBON REDUCING IMPACTS OF ICT - AN ASSESSMENT METHODOLOGY. <https://www.gesi.org/research/evaluating-the-carbon-reducing-impacts-of-ict-an-assessment-methodology>. 21.2.2023.
- Greenled EPD. 2023. RTS. https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rts_210_23-epd_phi_greenled-22-3-1.pdf.
- GreenIT.fr & Bordage F. 2019. Web eco-design checklist. https://collectif.greenit.fr/eco-conception-web/2019-05-Ref-eco_web-checklist.v3.EN.pdf. 20.2.2023.
- EDP International. 2023. Environmental product declaration. <https://www.environmentalproductdeclaration.com/all-about-epds/the-epd>
- European Telecommunications Standards Institute. 2015. ETSI EN 203 199 Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communication Technology (ICT) goods, networks and services. https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203100_203199/203199/01.03.01_60/es_203199v010301p.pdf.
- ISO, 2006a. ISO 14040 Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- ISO, 2006b. ISO 14044. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.
- ISO. 2018. ISO 14067. Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification.
- Miettinen, J. 2023. Sähkökeskustekniikan elinkaariarviointi ja EPD-laskenta. Energia- ja ympäristötekniikan opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023060220752>
- Piironen, T. 2022. Digitaalisen tuotejärjestelmän hiilijalanjälki Sensire Oy:lle. Energia- ja ympäristötekniikan opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204205488>.
- Pohjonen, A. 2022. Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysi Hiilijalanjälkilaskenta Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelulle. Energia- ja ympäristötekniikan opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202202232789>.
- SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt.

- 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.
- WRI (World Resources Institute). 2019. Russel, S. ESTIMATING AND REPORTING THE COMPARATIVE EMISSIONS IMPACTS OF PRODUCTS. Working paper. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/18_WP_Comparative-Emissions_final.pdf. 21.3.2023.
- WRI (World Resources Institute) & WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). 2023. Greenhouse Gas Protocol. <https://ghgprotocol.org/>. 21.3.2022.