



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri, energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

# Digitaalisen tuotejärjestelmän hii- lijalanjälki Sensire Oy:lle

Tiina Piironen

Opinnäytetyö, maaliskuu 2022

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**Karelia**  
AMMATTIKORKEAKOULU

**Opinnäytetyö**  
**Maaliskuu 2022**  
**Energia- ja ympäristötekniikan koulutus**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
+350 13 260 600

Tekijä(t)

Tiina Piironen

Nimeke

Digitaalisen tuotejärjestelmän hiilijalanjälki Sensire Oy:lle

Toimeksiantaja

Sensire Oy

Tiivistelmä

Kiinnostus päästöjä ja ympäristökuormitusta kohtaan on lisännyt ympäristövaikutusten selvitystä sekä tuotteiden että myös digitaalisten palveluiden kohdalla. Nykypäivänä monet keksinnöt voivat myös olla hyödyksi ympäristökuormien pienentämiseksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli analysoida olosuhdesensorista, tukiasemasta, pilvipalvelusta ja mobiilisovelluksesta koostuvan tuotejärjestelmän hiilijalanjälkeä hyödyntämällä Si-maPro-elinkaariohjelmistoa. Lisäksi arvioitiin digitaalisten palveluiden osuutta kokonaishiilijalanjäljestä. Elinkaarianalyysi on tuotteen tai palvelun koko elinkaaren ympäristövaikutusten arviointiin kehitetty menetelmä, joka sisältää tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn, inventaarioanalyysin, vaikutusarvioinnin, tulosten tulkinnan ja raportoinnin.

Sensorin hiilijalanjäljeksi saatiin 3,63 tai 3,65 kg CO<sub>2</sub>e riippuen valitusta kuljetusreitistä. Tukiaseman hiilijalanjäljeksi muodostui 32,3 tai 32,4 kg CO<sub>2</sub>e. Kuljetusten osuus hiilijalanjäljestä oli alle 0,7 %. Pilvipalvelun hiilijalanjälki oli 273 g CO<sub>2</sub>e ja mobiilisovelluksen 0,226 g CO<sub>2</sub>e. Digitaalisten palveluiden osuus kokonaishiilijalanjäljestä oli noin 0,75 %.

Sensorin ja tukiaseman hiilijalanjäljestä suurimman osan muodosti logiikkatyypiset mikropiirit ja tyhjä piirilevy, joiden hiilijalanjäljen suurimpia tekijöitä olivat käytetty sähkö, piikiekot ja kulta louhinta- ja jatkokehitysprosesseineen. Pilvipalvelun hiilijalanjäljestä suurimman osan muodosti tukiaseman energiankulutus. Digitaalisten palveluiden hiilijalanjälki muodostui suurimmaksi osaksi infrastruktuurista. Jatkokehityksaiheena on tarkentaa elinkaarianalyysia ja kohdistaa elinkaarianalyysi koskemaan myös esimerkiksi datakeskusten rakentamiseen käytettyä työtä ja aikaa. Lisäksi tuotejärjestelmästä saatavan hyödyn eli vältetyn ruokahävikin hiilijalanjälki voisi olla jatkotutkimusaihe.

Kieli  
suomi

Sivuja 95  
Liitteet 10  
Liitesivumäärä 12

Asiasanat

hiilijalanjälki, elinkaarianalyysi, ympäristövaikutukset, teollinen ekologia



**THESIS**  
**March 2022**  
**Degree Programme in Energy and**  
**Environmental Engineering**

Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +350 13 260 600

Author(s)  
Tiina Piironen

Title  
Carbon Footprint of the Digital Product System for Sensire Ltd

Commissioned by  
Sensire Ltd

**Abstract**

Interest in emissions and environmental load has increased the environmental impact assessments for both products and digital services. Nowadays many inventions can also be utilized to reduce environmental loads.

The purpose of this thesis was to analyze the carbon footprint of a product system consisting of a sensor, an access point, cloud computing and mobile application using SimaPro LCA software. The share of digital services in the total carbon footprint was also assessed. Life cycle analysis is a methodology developed for environmental impact assessment of the entire life cycle of a product or service that includes goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation of the results.

The carbon footprint of the sensor was 3.63 or 3.65 kg of CO<sub>2</sub> eq depending on the transport route chosen. 32.3 or 32.4 kg CO<sub>2</sub> eq was the carbon footprint of the access point. The carbon footprint of the cloud computing was 273 g of CO<sub>2</sub> eq and for mobile application carbon footprint was 226 mg of CO<sub>2</sub> eq in month. Digital services were about 0.75% of the total carbon footprint.

Most of the carbon footprint of the sensor and access point was produced by logic type integrated circuits and wafers with electricity, gold and wafers used for their extraction and further development processes. Carbon footprint of the transportation was very low for both products. Most of the carbon footprint of cloud computing was produced by the energy consumption of access point. This study shows that the carbon footprint of digital services was for the most part made up of infrastructure. Further development topic is to define the life cycle analysis and allocate life cycle analysis to include, for example, the work and time spent building data centers. In addition, the carbon footprint of the benefit from the product system, such as avoided food waste, might be a further study topic.

Language  
Finnish

Pages 95  
Appendices 10  
Pages of Appendices 12

Keywords  
carbon footprint, life cycle assessment, environmental effects, industrial ecology

# Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto .....  | 7  |
| 2     | Elektroniikkateollisuus ja digitaaliset palvelut.....                                     | 8  |
| 2.1   | Toimeksiantaja Sensire Oy .....   | 8  |
| 2.2   | Ruokahävikki ja sen vähentäminen teknologian avulla .....                                 | 9  |
| 2.3   | Pilvipalvelut ja Microsoft Azure .....  | 10 |
| 2.4   | Elektroniikkateollisuuden kestävyys.....  | 11 |
| 2.5   | Digitalisaatio .....  | 13 |
| 2.5.1 | Esineiden internet (IoT) .....  | 14 |
| 2.5.2 | Digitaalisten palveluiden kestävyys .....   | 17 |
| 3     | Tuotelähtöinen teollinen ekologia ja digitaalisten palveluiden<br>elinkaarianalyysi ..... | 18 |
| 3.1   | Kestävä kehitys.....  | 18 |
| 3.2   | Teollinen ekologia.....   | 20 |
| 3.3   | Hiilineutraalius .....  | 21 |
| 3.4   | Hiilijalanjälki .....   | 23 |
| 3.5   | Hiilikädenjälki .....   | 24 |
| 3.6   | Elinkaarianalyysin laatiminen digitaaliselle palvelulle .....                             | 27 |
| 3.6.1 | Elinkaariarviointi (Life cycle analysis) ja standardit .....                              | 27 |
| 3.6.2 | Elinkaarianalyysin vaiheet .....  | 28 |
| 3.6.3 | Hiilijalanjälkilaskennan pääperiaatteet ISO 14067- standardin<br>mukaisesti.....          | 33 |
| 4     | Tarkoitus ja tutkimustehtävä .....  | 34 |
| 5     | Toteutus.....   | 35 |
| 5.1   | Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen .....  | 35 |
| 5.2   | Inventaarioanalyysi .....   | 37 |
| 5.2.1 | Sensori ja tukiasema .....  | 37 |
| 5.2.2 | Pilvipalvelu ja mobiilisovellus .....   | 42 |
| 5.3   | Vaikutusarviointi.....  | 44 |
| 6     | Tulokset .....  | 45 |
| 6.1   | Sensorin ja tukiaseman kokonaishiilijalanjälki.....                                       | 45 |
| 6.1.1 | Enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki .....  | 50 |
| 6.1.2 | Integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjälki .....                                  | 52 |
| 6.1.3 | Muiden pääkategorioiden hiilijalanjäljet .....  | 54 |
| 6.1.4 | Kuljetusten hiilijalanjälki .....   | 60 |
| 6.1.5 | Mounting -pääkategorian hiilijalanjälki .....   | 65 |
| 6.2   | Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjälki .....                                 | 66 |
| 7     | Pohdinta.....   | 68 |
| 7.1   | Tulosten tulkinta.....  | 68 |
| 7.2   | Jatkotutkimusmahdollisuudet.....  | 75 |
|       | Lähteet.....  | 77 |

## Kuvat

- Kuva 1. Esineiden internetin sovellustyypit (mukaillen Neittaanmäki ym. 2021, 104).
- Kuva 2. Esineiden internetin kuusi elementtiä.
- Kuva 3. Hiilikädenjäljen laskennan vaiheet (mukaillen Pajula, Vatanen, Behm, Grönman, Lakanen, Kasurinen, & Soukka 2021, 16–17).
- Kuva 4. Elinkaariarvioinnin vaiheet (mukaillen ISO 14040 2006, 24).
- Kuva 5. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja niiden väliset suhteet (ISO 14044 2006, 32).
- Kuva 6. ICT-sektorien jako (mukaillen Okkonen 2021, 5).
- Kuva 7. Inventaariotietojen vaikutusluokat ja suojelun kohteet (mukaillen Suomen ympäristökeskus 2010, 25).
- Kuva 8. Hiilijalanjäljenlaskennan pääperiaatteet (mukaillen ISO 14067 2018, 20–22).
- Kuva 9. Tuotejärjestelmän elinkaaren kaaviokuva.
- Kuva 10. Tukiaseman hiilijalanjäljen suurimmat tekijät cut-off 0,5 %.
- Kuva 11. Sensorin hiilijalanjäljen suurimmat tekijät cut-off 0,5 %.
- Kuva 12. Tukiaseman enclosure -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.
- Kuva 13. Sensorin enclosure -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.
- Kuva 14. Tukiaseman integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.
- Kuva 15. Sensorin integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.
- Kuva 16. Tukiaseman other categories -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Kuva 17. Sensorin other categories -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Kuva 18. Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki 1+2a.
- Kuva 19. Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki 1+2b.
- Kuva 20. Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki 1+2a.
- Kuva 21. Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki 1+2b.
- Kuva 22. Tukiaseman mounting -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Kuva 23. Sensorin mounting -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Kuva 24. Pilvipalvelun datan käytön hiilijalanjälki kuukaudessa.
- Kuva 25. Mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälki kuukaudessa.

## Taulukot

- Taulukko 1 Sensorin ja tukiaseman massojen ja valmistusmaiden suhteet.
- Taulukko 2 Sensorin ja tukiaseman pääkategoriat.
- Taulukko 3 Tukiaseman kokonaishiilijalanjälki 1+2a.
- Taulukko 4 Tukiaseman kokonaishiilijalanjälki 1+2b.
- Taulukko 5 Sensorin kokonaishiilijalanjälki 1+2a.
- Taulukko 6 Sensorin kokonaishiilijalanjälki 1+2b.
- Taulukko 7 Tukiaseman enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Taulukko 8 Sensorin enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Taulukko 9 Tukiaseman integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Taulukko 10 Sensorin integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjälki.
- Taulukko 11 Muiden pääkategorioiden hiilijalanjäljet.
- Taulukko 12 Sensorin muiden pääkategorioiden hiilijalanjälki.
- Taulukko 13 Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki transport 1.
- Taulukko 14 Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki transport 2a ja 2b.
- Taulukko 15 Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki transport 1.

- Taulukko 16 Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki 2a ja 2b.  
Taulukko 17 Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjälki.  
Taulukko 18 Kokonaishiilijalanjäljen prosenttiosuudet ja hiilijalanjäljet.  
Taulukko 19 Digitaalisten osien hiilijalanjäljen muodostuminen eri ajanjaksoilla.  
Taulukko 20 Hiilijalanjäljen vertauslaskelmat.  
Taulukko 21 Sähköpostin lähetyksen ja Netflixin suoratoiston päästöjen vertaus.

#### Liitteet

- Liite 1 Tukiaseman SimaPron prosessit  
Liite 2 Sensorin SimaPron prosessit  
Liite 3 Pilvipalvelun SimaPron prosessit  
Liite 4 Mobiilisovelluksen SimaPron prosessit  
Liite 5 Tukiaseman hiilijalanjäljen prosessikaaviot  
Liite 6 Sensorin hiilijalanjäljen prosessikaaviot  
Liite 7 Logiikkatyyppisen mikropiirin prosessikaavio cut-off 0,5 %  
Liite 8 Muistityyppisen mikropiirin prosessikaavio cut-off 0,5 %  
Liite 9 Piirilevyn prosessikaavion suurimmat tekijät  
Liite 10 Kannettavan tietokoneen virtalähteen prosessikaavio cut-off 10 %

# 1 Johdanto

Nykypäivänä lähes kaikkeen tekemiseemme liittyy ympäristökuormitus ja päästöjä. Ihmisten tietoisuus ja mielenkiinto oman sekä yritysten toiminnan aiheuttamiin päästöihin on lisääntynyt. Siksi mielenkiintomme on lisääntynyt myös ruokahävikin eli alun perin syömäkelpoisen ruuan hiilijalanjälkeen ja varsinkin keinoihin sen pienentämiseksi. Jokainen suomalainen tuottaa arviolta 23 kilogrammaa ruokahävikkiä joka vuosi. (Saa syödä 2021.) Ihminen tarvitsee elossa selvitäkseen ravintoa, ja ruoantuotannon lopettaminen ei ole vaihtoehto, vaan ratkaisut ruokahävikin pienentämiseksi on löydettävä muualta eli esimerkiksi teknologiasta. Myös monilta yrityksiltä vaaditaan tuotteiden tai koko yrityksen hiilijalanjälkeä ja näyttöä yrityksen vastuullisesta toiminnasta, mikä voi parantaa markkinointiasemaa sekä lisätä ympäristötietoisuutta asioiden ollessa kunnossa.

Opinnäytetyössä lasketaan ja analysoidaan digitaaliseen omavalvontaan ja ruokaturvallisuuden varmistamiseen kehitetyn laitekokonaisuuden hiilijalanjälkeä. Laitekokonaisuus koostuu olosuhdesensorista, tukiasemasta, pilvipalvelusta ja omavalvontasovelluksesta. Pilvipalvelusta nähdään helposti yleiskuva asiakkaan prosesseista ja sieltä voidaan tehdä uusia tehtävälistoja puhelinsovellukseen. Hiilijalanjäljen laskennan lisäksi saadut tulokset analysoidaan ja niistä tehdään johtopäätökset. Laskenta suoritetaan SimaPro-ohjelmistolla.

Opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Sensire Oy:lle, joka toimittaa ruokaturvallisuuden ja laadun varmistamiseksi omavalvontaratkaisuja, kuten olosuhdesensoreita. Sensorit voivat mitata esimerkiksi kosteutta ja painetta lämpötilan lisäksi. Yrityksen tärkein asiakasryhmä on erilaiset elintarvikealan yritykset, kuten suurkeittiöt. (Sensire 2021.) Aihe rajataan niin, että se sisältää elektronisen sensorin, tähän liitetyn tukiaseman, pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen. Omavalvontasovellusta ja pilvipalvelua on mahdollista käyttää myös ilman sensoreita, jolloin sinne voidaan lisätä erilaisia toiminta- ja tehtävälistoja seurantaan helpottamaan. Sensori ilmoittaa poikkeamista, jolloin tuote ei ehdi pilaantua ja tällöin voidaan välttää ruokahävikin syntymistä.

Lisäksi opinnäytetyö tehdään osana Karelia-ammattikorkeakoulun Kommunikoiva -energiahanketta. Kommunikoiva energia -hankkeen tavoite on edistää kestävyyttä, kehittää hiilineutraaleja verkkopalveluja ja lähienergiayhteisöjä Pohjois-Karjalassa, ja se on toteutettu yhteistyössä pohjois-karjalalaisten yritysten kanssa. (Kommunikoiva energia 2021.)

## **2 Elektroniikkateollisuus ja digitaaliset palvelut**

### **2.1 Toimeksiantaja Sensire Oy**

Opinnäytetyön toimeksiantaja on elektroniikkateollisuuden yritys Sensire Oy, joka tuottaa omavalvontaratkaisuja asiakkailleen, joille on tärkeää ruokaturvallisuuden ja laadun säilyminen. Yritys on perustettu vuonna 2001, ja suurin osa Sensire Oy:n asiakkaista työskentelee elintarvikealalla tai kylmäketjujen logistiikka-alalla. Sensire Oy tarjoaa olosuhdeseurantaan sensoreita ja tukiasemia, tehtävienhallintaan mobiilisovellusta ja pilvipalvelua sekä myös asiantuntijapalveluita. Sensire Oy:n tuotteet ovat EU-sertifioituja ja yrityksellä on ISO 9001-laajajärjestelmä. Tuotteet ja teknologia myös suunnitellaan ja kehitetään Suomessa, mistä Avainlippu-yhteisömerkki kertoo. (Sensire Oy 2021.)

Olosuhdesensoreita voidaan käyttää esimerkiksi jääkaapeissa ja kuljetuksissa, joissa ne keräävät dataa tietyin väliajoin. Kerätty data lähetetään tukiaseman kautta pilvipalveluun. Jos sensorit havaitsevat poikkeamia, niistä ilmoitetaan sähköpostilla tai tekstiviestillä. Pilvipalvelusta nähdään sekä sensoreiden keräämä että sovelluksella lisätyt tiedot. Lisäksi mobiilisovelluksella voidaan suorittaa tehtävälisterit ja lisätä bluetooth-mittapiikeillä tehtyjä omavalvontakirjauksia. (Kettunen 2021.) Myös Elintarviketurvallisuusvirasto Evira voi tarkastella mobiilisovelluksella tehtävien suorittamista rajoitetusti (Väänänen 2021). Sensire Oy:n sensoreiden ja tukiaseman liittämässä pilvipalveluun ja sitä kautta puhelinapplikaatioon on kyse IoT-teknologiasta, jolla voidaan luoda suoraa säästöjä ajallisesti ja rahallisesti (Sensire 2021).

## 2.2 Ruokahävikki ja sen vähentäminen teknologian avulla

Ruokahävikkiä syntyy, kun ruokaa säilytetään tai valmistetaan väärin (Luke 2022). Nykypäivänä kaikenlaista turhaa ympäristökuormaa pyritään vähentämään, ja ruokahävikillä on oma iso osansa ympäristökuormana. Luken (2017) tutkimuksen mukaan ruokaketjussa syntyy arviolta 400–500 miljoonaa kiloa hävikkiä vuodessa, ja tämän ruuan ilmastovaikutukset ovat lähes miljoona tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Vuoteen 2030 mennessä Suomi on sitoutunut puolittamaan ruokahävikin määrän Agenda 2030:n 12 ja 2 tavoitteen mukaisesti varmistamalla kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys sekä nälän poistamisen (Agenda 2030 yleiskokouksen päätöslauselma 2015, 24; Hartikainen & Riipi 2021). Tavoitteen saavuttamiseksi on tehtävä paljon.

Euroopan komissio on antanut vuonna 2019 päätöksen elintarvikejätteen mittaamisesta, jotta tavoitteeseen ruokahävikin puolittamisesta päästään (Luke 2021; Eurooppa-neuvosto, Euroopan unionin neuvosto 2021). Luken hankkeessa rakennetaan seurantajärjestelmää elintarvike- ja ruokajätteen seurantaan, jossa on eritelty pohjatiedot ja hävikin määrä elintarvikeketjun eri osissa. Lisäksi hankkeessa tunnistetaan keinoja jätteen pienentämiseksi, ja kehitetään kansallinen ruokahävikkitiekartta. (Luke 2021.)

Yksi Luken tiekartan keihäänkärjistä keskittyy hävikin pienentämiseen teknologian avulla. Tällä pyritään kehittämään ratkaisuja, joilla estetään ruokahävikin syntymistä. (Luke 2021.) Lisäksi yhtenä ratkaisuna pyritään elintarvikkeiden ja ruokaketjujen turvallisuuteen, jolloin myös vältettäisiin ruokahävikin syntymistä (Hartikainen & Riipi 2021). Näin ollen erilaiset sensorit ja sovellukset helpottavat vähentämään hävikin syntymistä, koska ruuan lämpötilaa on helppo seurata, ja hävikin määrät voidaan kirjata ylös, jolloin ruuan valmistusmääriä on helpompi ennakoita, ja ruokaa ei ehdi pilaantua.

### 2.3 Pilvipalvelut ja Microsoft Azure

Pilvipalvelut ovat useiden tietokoneiden ja palvelinten verkostoja, joissa tallennettuihin tietoihin pääsee käsiksi verkkoyhteyden avulla ulkopuoliselta palvelimelta. Fyysisesti tiedot voi olla jaettuna monelle eri palvelimelle. Yleensä pilvipalveluun tallennetut tiedot ovat salasanojen takana, mutta tietoihin käsiksi pääsemiseksi ei välttämättä tarvita edes erillistä sovellusta. (Mtech 2019.) Suomalaisista yrityksistä jopa 75 % käytti pilvipalveluita ja kuului EU-maiden ahkerimpiin käyttäjiin vuonna 2021. Eniten pilvipalveluita käytettiin sähköposteihin ja tiedostojen tallennukseen. (Ficom 2021.)

Pilvipalvelut voidaan jakaa kategorioihin palvelumallien eli vastualueiden perusteella. IaaS (Infrastructure as a Service) eli infrastruktuuri palveluna tarkoittaa palvelua, jossa toimittaja huolehtii tiloista, laitteista ja ylläpidosta, eli käyttäjä huolehtii sovelluksista, tietoturvasta, tietokannasta ja käyttöjärjestelmästä. PaaS (Platform as a Service) taas tarkoittaa sovellusalustaa palveluna, ja se sisältää IaaS:n lisäksi sovellusten kehittämisen, eli vain ja ainoastaan vastuu sovelluksesta ja sen kehittämisestä on käyttäjällä. SaaS (Software as a Service) sisältää kaikki valmiit palvelut, jotka toimivat internetyhteydellä, eli ainoastaan käyttö on käyttäjän vastuulla. Näistä yleisimmin käytettyjä ovat SaaS-palvelut. (FiCom 2021.) Näiden lisäksi uusimpia palvelumalleja ovat FaaS (Functions as a Service) ja CaaS (Containers as a Service) (Vento 2020).

Sensire Oy:llä on käytössään pilvipalveluna Microsoft Azure. Azuresta on tarjolla IaaS-, PaaS- ja SaaS-palvelumallit. (Kettunen 2022.) Muiden pilvipalvelujen tapaan Azure nojautuu virtualisointiin, jolla tarkoitetaan fyysisen ympäristön sijaan luotavaa simuloitua tai virtuaalista laskentaympäristöä. (Microsoft Azure 2021; Microsoft Azure 2022.)

Pilvipalvelu koostuu joukosta fyysisiä palvelimia, jotka ovat yhdessä tai useassa datakeskuksessa. Jokainen datakeskus taas koostuu palvelimista, jotka ovat palvelintelineissä. Näissä palvelintelineissä on taas useita blade-palvelimia, verkkokytkin ja virranjakoyksikkö. Palvelintelineitä voidaan yhdistää, jolloin niitä

kutsutaan klustereiksi. Suurin osa palvelimista suorittaa virtualisoituja laitteistoja käyttäjän puolesta, mutta jotkut palvelimista suorittavat pilvenhallintaohjelmistoa, jota kutsutaan nimellä ”fabric controller”. Nämä ovat yhdistettynä toiseen joukkoon palvelimia, jotka suorittavat niitä sovelluksia, jotka toimivat asiakkaalla. (Microsoft Azure 2021.) Kyseessä on siis monimutkainen joukko palvelimia, joka voi näkyä asiakkaalle vain verkkosivustona, jonne omat tiedostot ovat tallennettuina.

Microsoft aikoo siirtyä käyttämään pelkkää uusiutuvaa energiaa vuoteen 2025 mennessä omissa rakennuksissaan ja datakeskuksissaan. Lisäksi yritys aikoo poistaa hiiltä enemmän kuin saastuttaa vuoteen 2030 mennessä eli toisin sanoen olla hiilinegatiivinen. Vuoteen 2050 Microsoft aikoo poistaa kaiken tuottamansa hiilidioksidin vuodesta 1975 alkaen. (Microsoft 2020a, 18; Microsoft 2020b, 14.) Datakeskuksilla on suuri merkitys Microsoftin hiilinegatiivisuuden saavuttamisella. Microsoft aikoo vähentää datakeskusten vedentarvetta, kehittää vedettömiä jäähdytysjärjestelmiä, suunnitella keskukset ekosysteemien tueksi ja pienentää uusien keskusten hiilijalanjälkeä suunnittelu- ja rakennusvaiheissa. (Microsoft 2020c.) Itsessään osana Microsoftia Azure on ollut hiilineutraali vuodesta 2012 (Azure 2022).

## **2.4 Elektroniikkateollisuuden kestävyys**

1990-luvulla elektroniikkateollisuus kasvoi Suomen suurimmaksi teollisuudenalaksi, minkä mahdollisti tieto- ja viestintäteknologian tuotannon nousu (Elo-ranta, Ranta, Salmi & Ylä-Anttila 2010, 25). Nykypäivänä elektroniikkateollisuus kohtaa uusia haasteita, kun raaka-aineiden määrä vähenee, mutta elektroniikkajätteen määrä kasvaa. Digitalisaation ja digitaalisten palveluiden lisääntymisen myötä elektroniikkaa tarvitaan kuitenkin jatkossa vielä enemmän. Samaan aikaan kuitenkin EU ja Suomi pyrkivät hiilineutraaliuteen, joten resurssien käyttö ja ympäristöasiat ovat saatava tasapainoon. (Hakola 2020.) Olennaista kestäväen elektroniikkateollisuuden rakentamisessa on elinkaariajattelu, jossa

huomioidaan koko tuotantoketju sisältäen myös tuotteiden uudelleenkäytön, kierrätyksen tai loppusijoituksen (Okkonen 2021, 3).

Teknolוגiateollisuus, johon elektroniikkateollisuuskin kuuluu, on laatinut toimialakohtaisen tiekartan kohti vähähiilisyttä. Tämä tiekartta tukee sekä Suomen että EU:n tavoitteita hiilineutraaliudesta. Jotta Suomen tavoite vuoden 2035 hiilineutraaliudesta toteutuu, teollisuudelta odotetaan 6–8 Mt CO<sub>2</sub>-ekvivalentin päästövähennyksiä. Teknolוגiateollisuuden kaikkia toimialoja koskevia päästövähennyskohteita ovat esimerkiksi prosessien sähköistäminen, energia- ja materiaalitehokkuuden parantaminen, kiertotalous ja digitalisaation tuomat ratkaisut. (Soimakallio 2020, 5–14.)

Tiekartan lisäksi esimerkiksi Euroopan komission julkaisema Fit for 55 -ilmasto- ja energialainsäädäntöpaketti vaikuttaa elektroniikkateollisuuteen. Paketilla varmistetaan, että EU:n ilmastotavoite kasvihuonekaasupäästöjen 55 % pienennyksestä vuodesta 1990 vuoteen 2030 onnistuu. Hiilitulleilla varmistetaan, että korkeapäästöisistä tuontiteollisuustuotteista, kuten metallista maksetaan päästöoikeuksia EU:n sisämarkkinoille pääsemiseksi. Lisäksi Fit for 55 -paketti sisältää kohdan esimerkiksi energia-alan metaanipäästöjen vähentämiseksi sekä energiatehokkuuden tavoitteiden tiukentamiseksi. (Green deal office 2021.)

Suurista teknolוגiateollisuuden päästöistä huolimatta on tärkeää muistaa myös tuotteiden suuri hiilikädenjälki. Nykyisten teollisuuden vientituotteiden hiilikädenjäljen vaikutukseksi on arvioitu olevan 20 Mt CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia per vuosi, mutta teknolוגiateollisuus arvioi vaikutuksia vielä suuremmiksi. (Soimakallio 2020, 5–14.) Olennaista on kuitenkin muistaa, että puhutaan yleisemmällä tasolla teknolוגiateollisuudesta, eikä vain elektroniikkateollisuudesta. Teknolוגiateollisuuteen kuuluu elektroniikkateollisuuden lisäksi myös sähköteollisuus, kone- ja metalliteollisuus, metallien jalostus, suunnittelu sekä konsultointi ja tietotekniikka (Teknolוגiateollisuus 2021).

Valtaosan teknolוגiateollisuuden päästöistä muodostaa metallinjalostus ja kaivostoiminta (Soimakallio 2021). Ratkaisuja teknolוגiateollisuuden, kuten myös elektroniikkateollisuuden kestävyteen, haetaan kiertotaloudesta ja ekologisesta

tuotesuunnittelusta eli ecodesignista. Prosessien hukkamäärät on saatava miniiniin, mutta myös tuotteiden ja materiaalien sekä niiden arvojen on säilyttävä tai jopa kasvettava. Kiertotalouden toteutumiseksi on elinkaarinäkökulman oltava mukana jo uusia tuotteita ja teknologioita suunniteltaessa. (Lindell 2020.) Lisäksi kestävien raaka-aineiden ja biohajoavien materiaalien avulla päästään lähemmäksi elektroniikkateollisuuden kestävyyskriteerien toteutumista (Hakola 2020).

## 2.5 Digitalisaatio

Digitointi voidaan helposti sotkea digitalisaatioon. Erona näiden kahden välillä on se, että digitoinnissa data itsessään ei muutu, vaan sen muutetaan ainoastaan digitaliseen muotoon. Digitalisaatio taas menee pidemmälle kuin digitointi, koska siinä digitaalisen datan tai teknologioiden avulla muutetaan tai parannetaan kokonaisia prosesseja. Ilman digitointia ei siis olisi digitalisaatiota. Digitaalisella muutoksella taas tarkoitetaan liiketoiminnan muuttamista digitalisaation avulla. (Sen Gupta 2020.)

Suomessa digitalisaatio alkoi 1980-luvulla kotitietokoneiden yleistyttyä. Sittemmin yleistyivät myös matkapuhelimet ja internetyhteydet. (Neittaanmäki, Lehto & Savonen 2021, 15.) Elämme tällä hetkellä ennennäkemätöntä digitaalisen muutoksen kehitysjaksoa. Vaikka digitalisaatio on ollut esillä jo kauan, sille ei ole yhtä vakiintunutta käsitettä. Ilmiönä kyseessä on kuitenkin asiakaslähtöisyyteen perustuvaa toiminnan muutosta, jossa hyödynnetään teknologiaa. (Neittaanmäki ym. 2021, 11.) Toinen määritelmä digitalisaatiolle on digitaalisten teknologioiden hyödyntämistä toiminnan muuttamiseen tai parantamiseen (Kasvi 2019).

Digitalisaatio koskettaa jokaista yhteiskunnan jäsentä, koska sitä hyödynnetään yhteiskunnassa kaikkialla (Heikkinen 2022). Helposti voitaisiin ajatella, että digitalisaation myötä tietokoneet korvaavat ihmisten työt ja ihmiset jäävät työttömiksi. Kuitenkin vain alle 5 % töistä on täysin automatisoitavissa. On kuitenkin totta, että digitalisaatio muuttaa silti toimintatapoja ja töiden sisältöä. (Hakonen 2020.) Eniten muutoksen keskiössä ovat nyt yksinkertaiset toistotyöt sekä data-

ja asiantuntijatehtävät. Sen lisäksi työn fyysinen tekeminen ajan ja paikan suhteen on muuttunut. Etätöiden määrä on lisääntynyt, ja töitä tehdään fyysisen työpaikan ja työajan ulkopuolella. (Neittaanmäki ym. 2021, 34–35.)

Digitalisaation myötä datan määrä ja asema on kasvanut. Sen myötä myös termi big data eli massadata on yleistynyt. Massadatalta tarkoitetaan suurta tietojoukkoa, jossa on sekä strukturoitua että strukturoimatonta tietoa, äänitteitä, kuvia ja videoita. (Neittaanmäki ym. 2021, 77.) Lisääntyneen datan myötä esimerkiksi laitteiden ja prosessien etäohjaus- ja valvonta ovat kasvava alue liiketaloudessa ja digitalisaation vaikutukset leviävät laajemmalle alueelle teollisuuden alalla (Martinsuo & Kärri 2017, 10). Kääntöpuolella on kuitenkin se, että digitalisaatio on kallista ja vaatii internet-yhteyden, mikä voi lisätä eriarvoisuutta. Myöskään vääristynyt data ja sen pohjalta tehdyt päätökset eivät lisää tasa-arvoa. (Empirica 2021.)

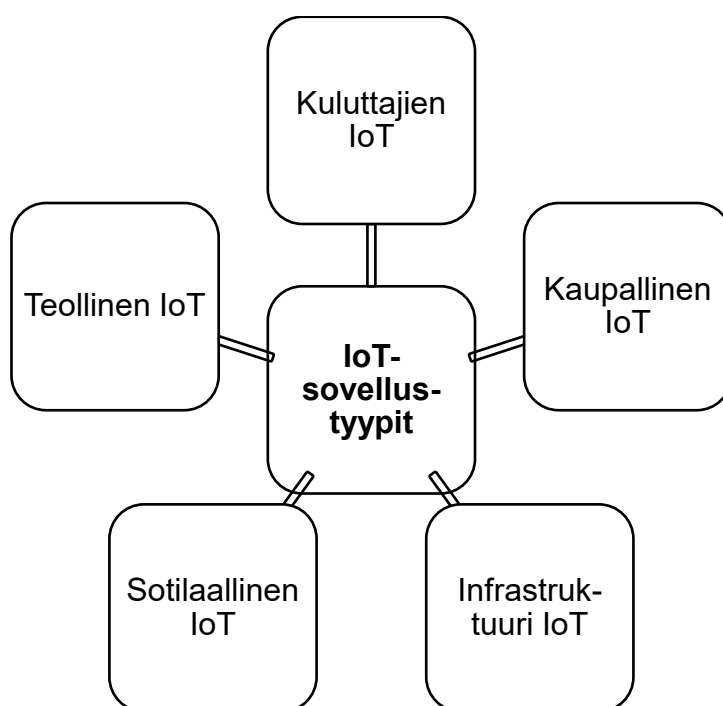
Vaikka digitalisaatio helpottaa arkea ja elämää, taustalla piilee myös monia uusia ja huonoja puolia. Yleisimmät uhat kohdistuvat rikollisuuteen, koska yli 80 % hyökkäyksistä perustuvat taloudellisen hyödyn saamiseen. Tavallisia rikoksia ovat esimerkiksi identiteettivarkaudet ja maksuvälipetokset. Muita digitalisaation tuomia uusia ovat vandalismi, vakoilu, terrorismi, sabotaasi ja vakavimpana sodankäynti. (Neittaanmäki ym. 2021, 131–134.)

### **2.5.1 Esineiden internet (IoT)**

IoT (internet of things) eli esineiden internet on digitalisaation megatrendi, jonka on luonut Kevin Ashton vuonna 1999, mutta pinnalle se nousi vasta 2010-luvulla. Se on digitalisaation yksi osa-alue, joka tarkoittaa erilaisten teknisten laitteiden ja reaali maailman esineiden liittämistä internetiin, jolloin laitteiden välinen tiedonsiirto on mahdollista. Teknisesti IoT-järjestelmät koostuvat internetyhteydestä ja siihen kytketyistä laitteista, mutta käytännössä tarvitaan myös informaation hallintaa, johon semanttinen mallinnus on konkreettinen työkalu. Semanttisella mallinnuksella tarkoitetaan tiedon kuvaamista uusilla ja koneiden ymmärtämällä tavoilla. (Nykänen 2017, 102–104.)

Vuonna 2021 käytössä oli yli 10 miljardia aktiivista IoT-laitetta. On arvioitu, että IoT-laitteiden määrä ylittää 75 miljardin vuoden 2025 loppuun mennessä. Lisäksi arvioiden mukaan IoT-laitteiden tuottama datan määrä kohoaa yli 73 zettavuun vuoteen 2025 mennessä. (Jovanović 2021.)

Tällä hetkellä IoT-sovelluksia on viittä eri tyyppiä: kuluttajien esineiden internet, kaupallinen IoT, teollinen esineiden internet, infrastruktuuri IoT ja sotilaallinen IoT (Neittaanmäki ym. 2021, 103). Näitä sovellustyyppejä havainnollistaa kuva 1. Teollinen esineiden internet sisältää esimerkiksi Sensire Oy:n kaltaisten tuotannon tietojen keräämisen erilaisista sensoreista. Yksinkertainen esimerkki kuluttajien esineiden internetistä on älyvalot, joita voidaan säätää puhelinapplikaatiolla. Kaupallista IoTia ovat esimerkiksi terveydenhuollon sovellukset. Infrastruktuuri IoTin avulla älykkäitä kaupunkeja voidaan liittää yhteen antureiden, ohjelmien ja järjestelmien avulla (Neittaanmäki ym. 2021, 103).

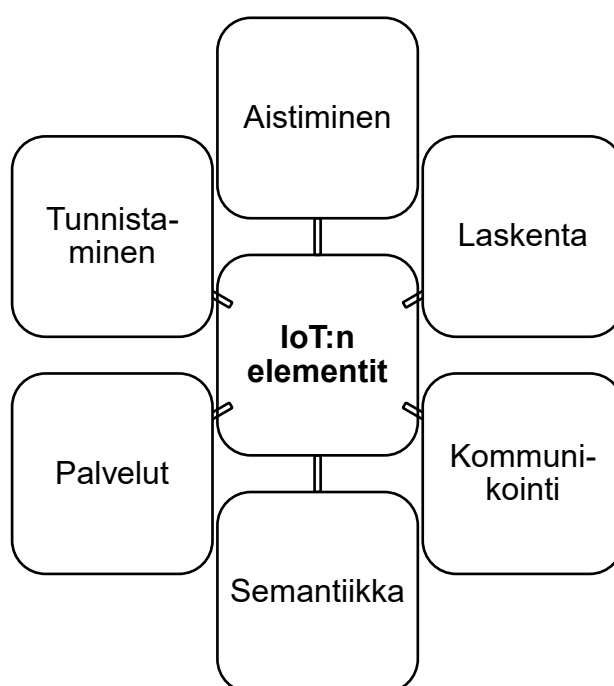


Kuva 1. Esineiden internetin sovellustyyppit (mukaillen Neittaanmäki ym. 2021, 104).

Teollisella internetillä tarkoitetaan esineiden internetin hyödyntämistä tuotannollisessa teollisuudessa eli jopa kokonaisten tuotantojärjestelmien, niihin liittyvien ihmisten ja internetin kytkeytymistä toisiinsa, jolloin tietoja voidaan seurata ja

ohjata jopa reaaliajassa (Martinsuo & Kärri 2017, 10). Teollinen internet on yksi viidestä IoT-sovelluksesta, jossa hyödynnetään digitaalisia ohjausjärjestelmä ja erilaisia sensoreita (Neittaanmäki ym. 2021, 103). Teollisella internetillä on laajat vaikutukset teollisuuden tiedonhallintajärjestelmiin ja niiden seurantaan sekä ohjaukseen. Digitalisaation myötä teollisuus ja sen toimialat uudistuvat ja mahdollistavat uusia asioita. (Martinsuo & Kärri 2017, 10.)

Viiden erityyppisen IoT-sovelluksen lisäksi esineiden internet voidaan jakaa kuuteen omilla tehtävillä oleviin elementteihin (Neittaanmäki ym. 2021, 103). Elementit näkyvät kuvassa 2.



Kuva 2. Esineiden internetin kuusi elementtiä.

Tunnistamista käytetään palveluiden erottamiseen toisistaan. Aistimisella taas pyritään datan keräämiseen ja käsittelyyn. Kommunikaation avulla laitteiden eri tekniikoiden kommunikointi on mahdollista. Laskenta tekee kaikki laskennat toimien laitteen aivoina. Palvelut mahdollistavat datan hyödyntämisen esimerkiksi sovellusten avulla. Semantiikka taas on oma suppea tekoäly laitteen sisällä. (Neittaanmäki ym. 2021, 103.)

## 2.5.2 Digitaalisten palveluiden kestävyys

Kuten digitalisaatiolla myös digitaalisilla palveluilla on kaksoisrooli ilmastonmuutoksen torjunnassa. Ne lisäävät luonnonvarojen ja energian kulutusta, mutta samalla ne mahdollistavat monia päästövähennysmahdollisuuksia. (Toivonen 2020.) Digitaaliset palvelut ja elektroniikka kietoutuvat vahvasti yhteen kuten myös niiden kestävyys. Digitalisaation ja erityisesti ICT-alan ilmasto- ja ympäristövaikutuksista on kuitenkin hankala saada selkeää kokonaiskuvaa saatavuuden ja läpinäkyvyyden vuoksi (Valtioneuvosto 2020). Järkevällä elinkaaritarkastelulla ja -suunnittelulla digitalisaation hyötyjä on kuitenkin mahdollista lisätä (Empirica 2021).

Digitaaliset palvelut tuovat monia hyötyjä, mutta myös suuren ympäristökuormituksen. Keskeistä digitaalisten palveluiden ympäristökuormituksessa on palveluiden vaikutukset. Suurin osa digitaalisten palvelujen kuormituksesta syntyy tarvittavien laitteiden, verkkoinfrastruktuurin ja palvelinten energia- ja materiaalivirroista. Myös käytetyn energian tuotantotavalla on keskeinen rooli digitaalisten palveluiden ympäristökuorman muodostumiseen. Ongelmia aiheuttavat myös digitaalisten laitteiden sisältämät metallit ja niiden louhinta sekä uusiokäytön haastavuus. (Empirica 2021.)

Digitaalisilla palveluilla voidaan edistää kiertotaloutta, parantaa tehokkuutta ja kestävyttä (Okkonen 2021, 2). Materiaali- ja palvelutehokkuus paranee, kun automatisoinnin avulla sama lopputulos saadaan vähemmällä panoksilla. Panosten pienentyessä myös energiankulutuksen voidaan olettaa vähenevän. Digitaalisten palveluiden keräämän datan avulla prosessien optimointi on helpompaa. Optimoiduista prosesseista taas voidaan tehdä ennustuksia ja välttää virheitä, jolloin ei myöskään synny turhaa hävikkiä ja energiankulutusta. Myös oikealla tavalla kehittyessä digitaalisten laitteiden energiankulutusta saadaan pienennettyä. Lisäksi teknologian avulla kierrättämisestä on tullut tarkempaa ja helpompaa, mikä edesauttaa kiertotalouden toteutumista. (Empirica 2021.) On myös tärkeää muistaa monien palveluiden aiheuttamat kädenjälkivaikutukset (Okkonen 2021, 4).

Parhaassa tapauksessa ja oikein käytettynä digitaalisilla palveluilla saadaan aikaseksi pitkälle johtava positiivisten tapahtumaketjujen jatkumo, jolla voidaan vähentää myös tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksia. IoTin avulla datan kerääminen esimerkiksi tuotteiden elinkaaren ajalta helpottuu, jolloin ympäristövaikutusten selvittäminen ja niiden pienentäminen olisi helpompaa (Okkonen 2021, 7). Tuotteiden ja palveluiden kuten myös digitaalisten palveluiden kestävyyttä voidaan arvioida ecodesignia hyödyntäen. Ekodesign taas hyödyntää elinkaarianalyysiä, jossa tuotteen ympäristövaikutukset ja vähentämismahdollisuudet tunnistetaan. (Okkonen 2021, 3–4.)

Ekologisesta tuotesuunnittelusta määrätään erikseen lailla, joka vaatii, että ”energiaan liittyvä tuote on suunniteltava niin, että tuotteella on mahdollisimman korkea ympäristönsuojelullinen taso koko sen elinkaaren ajan” (Laki tuotteiden ekologiselle suunnittelulle ja energiamerkinnälle asetettavista vaatimuksista 1005/2008, 5 §).

### **3 Tuotelähtöinen teollinen ekologia ja digitaalisten palveluiden elinkaarianalyysi**

#### **3.1 Kestävä kehitys**

Pohjana elinkaariarvioinnille on teollinen ekologia ja kestävä kehitys (ISO 14044 2006). Kestävällä kehityksellä pyritään turvaamaan tuleville ja myös nykyisille sukupolville hyvät elinolot. Kestävässä kehityksessä ihminen, ympäristö ja talous huomioidaan tasavertaisesti toiminnassa ja päätöksissä. Kestävän kehityksen käsite mainittiin ensimmäisen kerran YK:n Brundtlandin komissiossa vuonna 1987. Kestävä kehitys voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, joita ovat ekologinen, taloudellinen ja sosiaalinen sekä kulttuurinen kestävyys. (Ympäristöministeriö 2021a.)

Ekologisella kestävyydellä tarkoitetaan biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien toimivuuden säilyttämistä sekä ihmisen toiminnan sopeuttamista

luonnon kestävyys. Olennaista ekologisen kestävyuden toteutumisessa on varovaisuusperiaate, jonka mukaan ”ympäristön tilan heikkenemistä estävien toimien lykkäämistä ei voi perustella täyden tieteellisen näytön puuttumisella”. (Ympäristöministeriö 2021a.)

Taloudellisella kestävyydellä tarkoitetaan kasvua, joka ei saa pitkällä aikavälillä perustua velkaantumiseen tai varantojen hävittämiseen. Tällä pyritään siis luonnonvarojen saatavuuden takaamiseen myös tulevaisuudessa. Se toimii myös pohjana sosiaaliselle kestävyydelle. (Ympäristöministeriö 2021a.)

Sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyuden tarkoituksena on sukupolvelta toiselle säilyvä hyvinvointi. Sosiaalinen kestävyys pyrkii ratkaisemaan haasteet esimerkiksi väestönkasvun, köyhyyden ja tasa-arvon ympärillä. (Ympäristöministeriö 2021a.) Kulttuurisessa ja sosiaalisessa kestävässä kehityksessä ihmisiä kohdellaan oikeudenmukaisesti (Ympäristöosaava 2021).

Kestävän kehityksen globaali toimintaohjelma, Agenda 2030, ohjaa kaikkien maiden kestävä kehitystä. Se sisältää samat tavoitteet kaikille, vaikka painotuksessa otetaankin huomioon maan kehitystaso. Merkittävän Agenda 2030:sta tekee myös sen tapa korostaa tavoitteiden keskinäistä riippuvuutta ja, että ympäristöllistä, sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä tarkastellaan yhdessä. Vastuu Agenda 2030 tavoitteiden saavutuksesta on jokaisen maan hallituksella. Hallitus on sitoutunut laatimaan kansallisen suunnitelman tavoitteiden saavuttamiseksi. Sen lisäksi toimenpanotyön edistymisestä raportoidaan YK:lle. (Kestävä kehitys 2021.)

Agenda 2030 sisältää 17 tavoitetta, joilla on yhteensä 169 alatavoitetta (Kestävä kehitys 2021). 12. tavoite on varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys esimerkiksi vähentämällä jätteiden syntymistä ennaltaehkäisyyn, kierrätyksen ja uudelleenkäytön avulla. Lisäksi alatavoitteena on myös vähentää ruokahävikin- ja jätteen määriä vuoteen 2030 mennessä. Yhdeksäs tavoite keskittyy kestävä infrastruktuurin rakentamiseen sekä kestävä teollisuuden ja innovaatioiden edistämiseen. Lisäksi läheisesti opinnäytetyön aihepiiriin liittyvät kohdat 13–15, jotka keskittyvät ilmastonmuutosta vastaan toimimiseen, merten

säilyttämiseen ja kestäväan käyttöön sekä maaekosysteemien suojelemiseen. (Agenda 2030 yleiskokouksen päätöslauselma 2015, 24–27.)

### 3.2 Teollinen ekologia

Teollinen ekologia on tieteenala, joka tutkii systeemejä luonnonympäristön, yhteiskunnan ja talouden ympärillä. Teollisen ekologian tarkoituksena on teknologiaa hyödyntäen vähentää ympäristövaikutuksia ja sovittaa yhteen inhimillinen kehittyminen unohtamatta kuitenkaan teollisuuden sosioekonomisia tekijöitä. (International Society for Industrial Ecology 2021.) Tunnetuksi teollisen ekologian tekivät Frosch ja Gallopoulos (1989) artikkelilla ”Strategies for Manufacturing”, jossa ajatuksena oli, että teollisen prosessin jäte toimisi toisen prosessin raaka-aineena, jolloin vältettäisiin teollisuuden ympäristövaikutuksia. Teollisessa ekologiassa luonnon ekosysteemeistä pyritään ottamaan mallia teollisten järjestelmien toimintaan, missä aineet ovat jatkuvassa kierrossa (Saikku 2006, 1). Teollisella ekologialla tarkoitetaan materiaali- ja energianvirtojen tutkimista tukien ympäristönsuojelua ja kestäväää kehitystä (Suomen teollisen ekologian seura 2015).

Teollisella ekologialla tarkoitetaan materiaali- ja energiavirtojen laadullista analyysia systeeminäkökulmasta (Pauliuk 2018, 14). Systeeminäkökulmalla tarkoitetaan kokonaisuuden ymmärtämistä toisiinsa liitettyjen ja erilaisten elementtien kautta eikä vain yksittäisinä elementteinä. (Pauliuk 2018, 2.) Tällöin saadaan kokonaisvaltaisempi kuva prosesseista, sillä aiheutuvat ympäristövaikutukset eivät huomioi maiden tai valtioiden rajoja. (Saikku 2006, 6.) Esimerkiksi tuotteen alkuvaiheissa voidaan tarvita luonnonvaroja tai valmistusvaiheessa voi syntyä jätteitä, mutta näiden vaikutukset eivät kuitenkaan näy valmiissa lopputuotteessa. Yhteys tuotteiden, ympäristön ja sosiaalisten vaikutusten välillä ovat näkymättömiä, mutta siitä huolimatta olemassa. Ihmisen tekemät prosessit ja niiden väliset tuotevirrat muodostavat systeemin, jota kutsutaan teolliseksi systeemiksi. (Pauliuk 2018, 5.)

Täydellisessä teollisessa ekosysteemissä syötteenä on aurinkoenergia, ja teolliset yritykset toimivat yhteistyössä, jossa hyödynnetään toisten jätteitä ja energiaa minimoiden neitseellisten raaka-aineiden ja energian käyttöä. Tällä tavalla toimittaessa myös jätteellä on arvoa. Usein ja ”normaalissa” teollisuudessa voittoa saadaan ympäristön kustannuksella, mutta menestyvä teollinen ekosysteemi saavuttaakin taloudellista voittoa ympäristöhyötyjen seurauksena. Kustannukset pienenevät esimerkiksi raaka-aineiden, energiankäytön ja jätekustannusten vähenemisen muodossa. (Korhonen 2002, 41.)

Teollinen ekologia on saanut kaksi päälinjaa 4 viimeisen vuosikymmenen aikana: tuotelähtöinen ja maantieteellinen (Korhonen 2002, 41). Tuotelähtöisessä ekologiassa käsitellään tietyn tuotteen elinkaarta tai sen osaa esimerkiksi elinkaarianalyysin tai ekodesignin eli ekologisen tuotesuunnittelun kautta (Saikku 2006, 6). Ekodesignilla tarkoitetaan ympäristönäkökulmien huomioimista jo tuotetta suunniteltaessa (Ilmasto-opas 2018). Elinkaariajattelu keskittyy tuotteen kaikkiin ympäristövaikutuksiin sen elinkaaren aikana, mutta sitä voidaan myös hyödyntää ympäristöasioiden hallinnassa ja politiikassa (Korhonen 2002, 41). Maantieteellinen teollinen ekologia taas käsittää paikallisen tai alueellisen näkökulman, jolloin puhutaan ekoteollisuuspuistoista (Saikku 2006, 6).

Pyrkimyksenä on siis parantaa tehokkuutta ja vähentää energia- ja materiaalivirtojen ympäristövaikutuksia (Saikku 2006, 6). Teollisen ekologian päälinjat, kuten resurssitehokkuus ja jätteiden määrän minimointi, ovat huipentuneet kiertotalouteen, jolla tarkoitetaan tavaroiden tuottamisen sijaan niiden vuokraamista, jakamista ja kierrättämistä (International Society for Industrial Ecology 2021; Sitra 2022).

### **3.3 Hiilineutraalius**

Muiden maiden ja valtioiden lailla Suomikin on lähtenyt tavoittelemaan hiilineutraaliutta. Suomen tämänhetkisen hallitusohjelman yhtenä tavoitteena on, että Suomi saavuttaa vuoteen 2035 mennessä hiilineutraaliuden. Tavoitteeseen

päästäkseen päästövähennystoimia nopeutetaan ja hiilinieluja vahvistetaan. (Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019 2019, 34.)

Vuonna 2015 voimaan astuneen ilmastolain uudistuksella varmistetaan, että hiilineutraaliustavoitteeseen päästään (Ympäristöministeriö 2021b). Koska uudistus ei ole vielä valmis, voidaan vasta arvioida säännös- ja perusteluonnosten pohjalta, miten ilmastolaki muuttuu. Suomen ympäristökeskus SYKE (2021) arvioi, että lain uudistus lisäisi konkretiaa ja ennakoitavuutta, joilla saataisiin tukea ilmastopolitiikkaan ja päätöksiin.

Hiilineutraaliudella tarkoitetaan tilaa, jossa aiheutetut kasvihuonekaasupäästöt ovat ilmastonmuutoksen kannalta haitattomalla tasolla. EU:n komissio on määrittänyt sen tarkalleen ottaen näin:

”Hiilineutraalius on erikseen määritellyn alueen tila, jossa ihmistoiminnan synnyttämät kasvihuonekaasujen lähteet ja kasvihuonekaasuja poistavat nielut ovat yhtä suuret määrättyllä ajanjaksolla (käytännössä vuodessa, jos ei aikatekijää muutoin määritetä).” (Seppälä, Saikku, Soimakallio, Lounasheimo, Regina & Ollikainen 2019, 9.)

Usein määritelmä sisältää kaikki ihmisperäiset kasvihuonekaasupäästöt, joita ovat hiilidioksidi, dityppioksidi, metaani ja fluoratut kasvihuonekaasut. (Seppälä ym. 2019, 7.)

Suomen hallituksen tavoitteiden lisäksi myös Euroopan unionin ilmasto- ja energialainsäädännön veloitteet sitovat Suomea jäsenenä, joten Suomi on myös sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä ainakin 55 % vuoden 1990 tasosta 2030 vuoteen mennessä, vaikka Suomen oma tavoite hiilineutraaliudesta onkin kunnianhimoisempi (Ympäristöministeriö 2021b). Muiden EU-maiden tavoin Suomi on myös allekirjoittanut Pariisin ilmastopöytäkirjan, jossa tavoitteena on rajoittaa ilmaston lämpeneminen 1,5 asteeseen ilmastopaneeli IPPC:n mukaisesti. Jotta tämä saavutetaan, on tärkeää, että Euroopan unioni saavuttaa hiilineutraaliuden vuoteen 2050 mennessä. (Euroopan parlamentti 2021.)

Jokaisella sektorilla hiilineutraaliuteen pyrkiessä lähestymistapa sisältää kolme vaihetta. Näitä vaiheita ovat: kasvihuonekaasupäästöjen arviointi, kasvihuonekaasujen vähentäminen ja jäljelle jääneiden päästöjen hyvitys hiilineutraaliuden

saavuttamiseksi. Hiilineutraalius voidaan siis saavuttaa, vaikka kasvihuonekaasupäästöjä syntyisi edelleen, kun muodostuneet päästöt hyvitetään tai sidotaan ilmakehästä pois sovitussa ajassa, mikä on yleensä vuosi. (Seppälä ym. 2019, 9.) Suomessa hiilen sitomisessa ja varastoimisessa metsillä ja maaperällä on suuri rooli LULUCF-asetuksen myötä. EU:n ilmastolakipaketin fit for 55 myötä julkaistu LULUCF-asetus määrittelee EU:n ilmastotavoitteisiin, miten maankäytön, sen muutoksen ja metsien päästöt ja nielut sisältyvät laskentaan. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021.)

### 3.4 Hiilijalanjälki

Kasvava ilmastotietoisuus ja huoli ilmastomuutoksesta on herättänyt niin kuluttajat kuin yritykset vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään, mihin hiilijalanjäljen laskeminen on avuksi. Ilmastomuutos johtuu kasvihuonekaasuista, joista merkittävin on hiilidioksidi (Ilmasto-opas 2021b).

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen, palvelun tai toiminnan aiheuttamia päästöjä sen elinkaaren eli eliniän aikana aina raaka-aineiden hankinnasta loppusijoitukseen saakka (Sitra 2021a; Logistiikan maailma 2021). Hieman harhaanjohtavasti hiilijalanjälki voi sisältää kaikki kasvihuonekaasut eikä vain hiilidioksidipäästöjä. Kasvihuonekaasut kiihdyttävät ilmastomuutosta absorboimalla maan pinnalta tulevaa lämpösäteilyä, ja suurin osa päästöistä muodostuu energisektorilla eli esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käytöstä. (Ilmasto-opas 2020; Sitra 2021b.) Luonnosta löytyviä kasvihuonekaasuja ovat esimerkiksi vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja otsoni (Ilmasto-opas 2021b). Ihmisen toiminnasta aiheutuvia kasvihuonekaasuja taas ovat esimerkiksi vesihöyry, metaani, hiilidioksidi, troposfäärin otsoni, F-kaasut ja dityppioksidi (Sitra 2021b).

Hiilijalanjäljen yksikkönä käytetään hiilidioksidiekvivalenttia (CO<sub>2e</sub>), joka ilmoitetaan yleensä kiloina tai tonneina (Jaatinen 2018). Hiilidioksidiekvivalentti ottaa huomioon kasvihuonekaasujen ilmastoja lämmittävät vaikutukset suhteutettuna hiilidioksidin vaikutuksiin. Kasvihuonekaasuja vertailtaessa käytetään yksikköä lämmityspotentiaali eli GWP (global warming potential). Eri

lämmityspotentiaaleilla on erilaiset vaikutukset maan lämpenemiseen. Eroina kasvihuonekaasujen välillä on niiden kyky absorboida energiaa sekä elinikä, eli kuinka kauan kaasut pysyvät ilmakehässä. (EPA 2021.)

Lämmityspotentiaali kerrotaan vuosina, ja niistä käytetyin on sadan vuoden ajanjakso (OpenCO2 2021). Esimerkiksi metaanin lämmityspotentiaali on 29.8 sadan vuoden tarkastelujaksolla, joten sen lämmityspotentiaali on lähes 30 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin (IPCC 2021, 125). Mitä suurempi kaasun lämmityspotentiaali on, sitä enemmän se lämmittää maapalloa verrattuna hiilidioksiidiin tietyinä ajanjaksona (EPA 2021).

Tuotteen tai palvelun hiilijalanjälki lasketaan siis muuttamalla kaikki syntyneet kasvihuonekaasut hiilidioksidiekvivalenteiksi ja laskemalla ne yhteen tai laskemalla pelkästään hiilidioksidipäästöt. Yritysten hiilijalanjäljen laskeminen on haasteellisempaa kuin kuluttajan tai yhden tuotteen hiilijalanjäljen. GHG-protokolla ohjeistaa yritysten hiilijalanjälkilaskentaa. Kasvihuonekaasuprotokolla jakaa päästöt kolmeen luokkaan: suorat, epäsuorat ja muut epäsuorat päästöt (The Greenhouse Gas Protocol 2021, 25). Hiilijalanjäljen laskennalla tunnistetaan suurimmat päästöjen lähteet, jonka myötä myös päästövähennyksille voidaan määrittää toimenpiteet (FCG 2021).

### **3.5 Hiilikädenjälki**

Hiilikädenjäljellä tai kädenjälkivaikutuksella tarkoitetaan tuotteen tai palvelun tuomaa ilmastohyötyä, eli se keskittyy positiivisiin vaikutuksiin toisin kuin hiilijalanjälki. Tarkoituksena on siis kehittää palveluita ja tuotteita, jotka vähentävät kohdeyrityksen asiakkaiden hiilijalanjälkeä. (Pajula & Vatanen 2018.) Hiilijalanjälki on tarkoitus saada mahdollisimman pieneksi, kun taas hiilikädenjäljen positiivisilla vaikutuksilla ei periaatteessa ole rajaa. Tärkeää on kuitenkin, että pyritään kasvattamaan hiilikädenjälkeä samalla pienentäen hiilijalanjälkeä. (Pajula, Vatanen, Behm, Grönman, Lakanen, Kasurinen & Soukka 2021,12.)

Hiilikädenjälki syntyy yleensä tehokkaamman energian ja materiaalien käytöstä, materiaalien korvaamisesta ja välttämisestä, jätteen muodostumisen vähentämisestä, uudelleenkäytöstä ja käytön pidentämisestä. Myös näiden yhdistelmät ovat mahdollisia. Hiilidioksidin talteenotolla ja varastoinnilla voi olla tulevaisuudessa merkitystä hiilikädenjäljen luomisessa. (Pajula ym. 2021, 13.)

LUT-yliopisto ja VTT ovat kehittäneet hiilikädenjäljen laskentamenetelmän, joka perustuu ISO 14067 -standardiin (Siitonen 2020). Kädenjäljen laskeminen tällä menetelmällä koostuu neljästä vaiheesta, joissa on 13 eri kohtaa. Hiilijalanjäljen laskemisen tapaan kädenjäljen laskeminen on iteratiivinen prosessi. (Pajula ym. 2021, 16–17.) Kuvassa 3 esitetään hiilikädenjäljen laskemisen vaiheet. Yksinkertaisesti hiilikädenjälki saadaan vähentämällä kaksi hiilijalanjälkeä toisistaan eli vertaamalla alkuperäisen ratkaisun ja ”paremman” tuotteen tai palvelun muodostamaa hiilijalanjälkeä. Tarjotulla ratkaisulla tarkoitetaan ratkaisua, joka voi korvata lähtötason ratkaisun luomalla ympäristöhyötyjä.



Kuva 3. Hiilikädenjäljen laskennan vaiheet (mukaillen Pajula, Vatanen, Behm, Grönman, Lakanen, Kasurinen, & Soukka 2021, 16–17).

Sensire Oy:n kehittämällä sensorilla ja siihen liitetyillä palveluilla voi olla suuri kädenjälkivaikutus. Parhaassa tapauksessa sensorin avulla vältetään suuret kuormat ruokahävikkiä, energiaa, kuljetuksia sekä parannetaan yrityksen toimintaa ja säästetään aikaa. Näin ollen Sensiren asiakas voi saada positiivisen hiilikädenjäljen, jos heidän hiilijalanjälkensä pienentyy palveluiden käyttöönoton jälkeen. Tämän selvittämiseksi asiakasyrityksen hiilijalanjäljen niin sanottu lähtötaso pitäisi olla selvitetty ennen laitteiston käyttöön ottamista.

## 3.6 Elinkaarianalyysin laatiminen digitaaliselle palvelulle

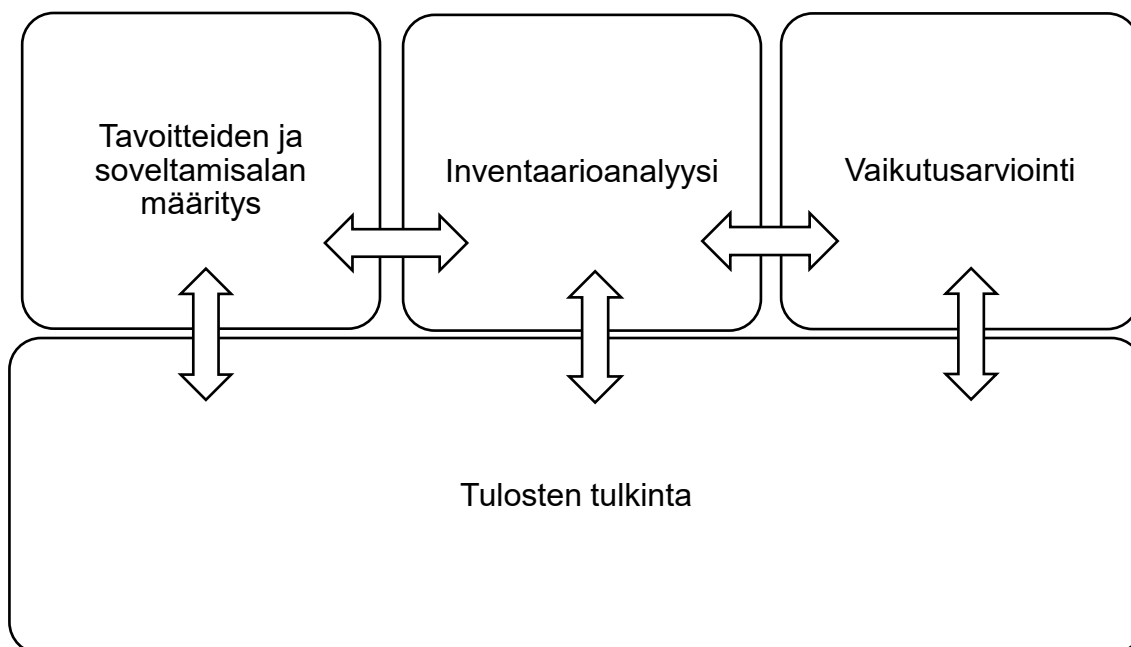
### 3.6.1 Elinkaariarviointi (Life cycle analysis) ja standardit

Elinkaariarviointi tai elinkaarianalyysi on nimensä mukaisesti tuotteen tai palvelun koko elin iän aikaisiin ympäristövaikutuksien ja -näkökohtien analysointiin ja arviointiin kehitetty menetelmä (Ympäristö 2013). Elinikä kattaa ajanjakson kehdestä hautaan eli tuotteen materiaalien hankinnasta aina sen hylkäämiseen tai loppusijoitukseen asti. Elinkaarianalyysin voi kuitenkin tehdä myös suppeammin vain rajatusta osasta elinkaarta. (Suomen ympäristökeskus 2017.)

Kuluttajien tuotteiden ympäristövaikutusten tutkiminen alkoi jo 1960–1970-luvulla erityisesti kontekstissa ”onko tuote A parempi kuin tuote B?”. Jo kauan sitten huomattiin, ettei suuri osa tuotteen ympäristövaikutuksista ole peräisin käytön ajalta vaan valmistuksesta, kuljetuksista ja hävittämisestä. Vähitellen 1980–1990-luvulla tuotteen elinkaaren käsittelemisestä tulikin asian ydin. Vuonna 1994 luotiin jo ensimmäinen ISO-standardi elinkaarianalyysia koskien. (Guinée 2011, 9–10.)

Elinkaariarviointien yhtenäistämiseksi ja helpottamiseksi on laadittu kansainvälisiä standardeja, jotka löytyvät ISO 14040-sarjasta (Ympäristö 2013). Elinkaariarviointi auttaa tunnistamaan parantamismahdollisuuksia tuotteiden ympäristösuorituskyvyssä, lisäämään tietoa päätöksenteossa, valitsemaan parhaita indikaattoreita ympäristösuorituskykyyn ja parantamaan asemaa markkinoinnissa (ISO 14040 2006, 8). Lisäksi ISO 14067 -standardi antaa pääperiaatteet tuotteen hiilijalanjäljen laskemiseen (ISO 14067 2018, 5).

ISO 14040 -sertifikaatti on muiden ISO-sertifikaattien (International Organization for Standardization) lailla maailmanlaajuisen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liiton tekemän standardi, joka antaa suosituksia tiettyyn aihepiiriin liittyen. ISO 14040 (2006) antaa viitekehyksen elinkaariarvioinnin tekemiseen ja kuvaa sen keskeisimmät piirteet yleisellä tasolla. Kuvassa 4 on elinkaariarvioinnin vaiheet, ja ne on selitetty tarkemmin luvussa 3.6.2 Elinkaarianalyysin vaiheet.



Kuva 4. Elinkaariarvioinnin vaiheet (mukaillen ISO 14040 2006, 24).

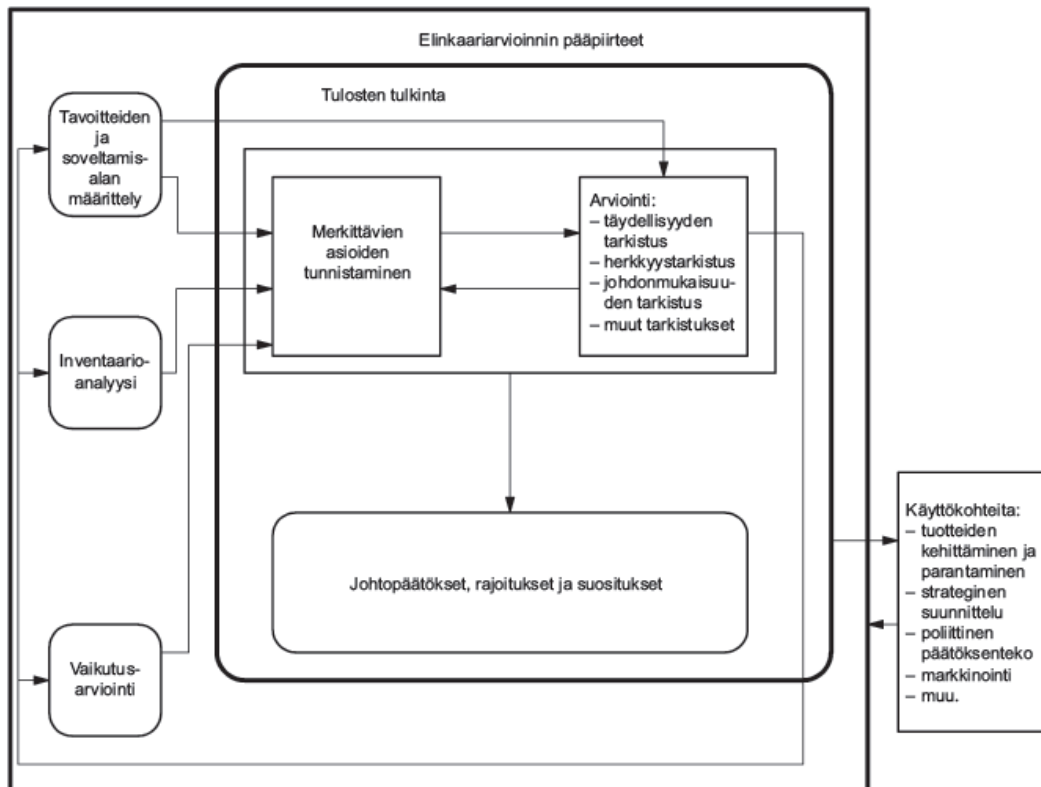
ISO 14044 -standardi keskittyy enemmän elinkaariarvioinnin metodologian pääpiirteisiin ja vaatimuksiin elinkaarianalyysin tekemistä varten. Siinä kuvataan myös tarkemmin elinkaarianalyysin vaiheita, raportointia ja kriittistä arviointia. (ISO 14040 2006, 8.)

### 3.6.2 Elinkaarianalyysin vaiheet

Opinnäytetyön keskeisimpänä menetelmänä on elinkaarianalyysin tekeminen ja erityisesti sen soveltaminen digitaaliselle palvelulle. Elinkaarianalyysissa arvioidaan ja analysoidaan muodostuvaa hiilijalanjälkeä. Elinkaarianalyysin tekemiseen antavat viitekehyksen erityisesti ISO 14040 ja ISO 14044 -standardit. ISO 14040 -standardi (2006, 12) antaa elinkaarianalyysin tekemiseen pääpiirteet ja periaatteet. ISO 14044 -standardi (2006, 4–9) taas määrittää elinkaarianalyysin vaatimukset ja antaa tarkempaa opastusta esimerkiksi elinkaariarvioinnin metodologiaan ja raportointiin.

Elinkaarianalyysin täytyy sisältää ISO 14040 -standardin mukaan tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen, inventaarioanalyysin, vaikutusarvioinnin ja tulosten tulkinnan sekä raportoinnin. Prosessina elinkaarianalyysi ja sen jokainen vaihe

on tai voi olla iteratiivinen, eli sen kulku ja suunta voi muuttua hallitusti kesken prosessin tiedon lisääntyessä, joten soveltamisala voi muuttua selvityksen aikana. (ISO 14044 2006, 15.) Digitaalisten palveluiden elinkaarianalyysin kohdalla iteratiivisuus voi näkyä niin, että tietojen lisääntyessä tai niiden puuttuessa elinkaaren systeemirajat voivat laajeta tai supistua. Kuvassa 5 esitetään elinkaarianalyysin osat ja niiden keskinäiset suhteet sekä käyttökohteita.



Kuva 5. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja niiden väliset suhteet (ISO 14044 2006, 32).

ISO 14044 -standardin mukaisesti elinkaarianalyysin tekeminen alkaa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittämisestä. Nämä täytyy määritellä selkeästi ja yhteensopivasti soveltamiskohteeseen. Soveltamisalaa määriteltäessä tärkeintä on tuotejärjestelmän ja sen toimintojen selkeä ja tarkka kuvaus, toiminnallisen yksikön määrittely, järjestelmän rajat ja mahdolliset rajoitukset elinkaarianalyysin tekemisessä (ISO 14044 2006, 15). Digitaalisen palvelun rajaus ja soveltamisalan määrittely vaatii paljon tarkkuutta, koska sen kulutus voi olla hankalasti kohdennettavissa. Kun kyseessä on digitaalinen palvelun elinkaarianalyysi, se voi koostua esimerkiksi datamääristä, laitteista, komponenteista tai infrastruktuurista. (Okkonen 2021, 5.) Kuva 6 hahmottaa digitaalisen palvelun digitaalisen

palvelusektorin muodostumista. Toiminnallinen yksikkö antaa vertailupohjan, johon elinkaaren aikaisia syötteitä ja panoksia suhteutetaan (ISO 14040 2006, 30). Digitaalisen palvelun kohdalla toiminnallisena yksikkönä voi olla esimerkiksi siirretty datamäärä tietyssä aikayksikössä tai laitteiden energiankulutus.



Kuva 6. ICT-sektorien jako (mukaillen Okkonen 2021, 5).

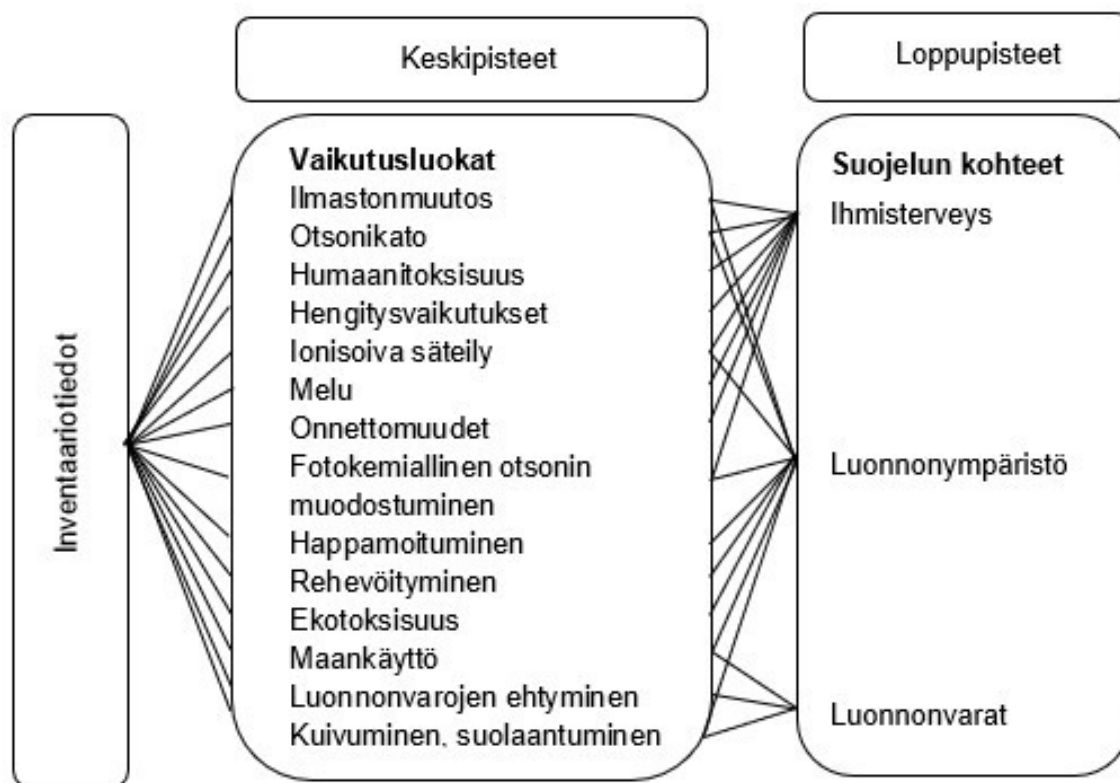
Seuraavana vaiheena on inventaarioanalyysin eli LCI:n tekeminen (ISO 14044 2006, 19). Inventaarioanalyysi koostuu tietojen keräämisestä ja niiden saattamisesta määrälliseen muotoon (ISO 14040 2006, 30). Inventaarioanalyysi sisältää kaikki panokset ja tuotokset, jotka kuuluvat rajauksen sisäpuolelle. Näistä esimerkkejä ovat materiaalit, tuotantoprosessit, kuljetukset, polttoaineiden ja energian käyttö, jätteet ja päästöt. (ISO 14044, 2006.) Digitaalisen palvelun elinkaaren suurimmat ympäristövaikutukset syntyvät kansainvälisistä hankinnoista, ja jos ne jätetään huomioimatta elinkaareissa, voidaan saada virheellinen käsitys ympäristövaikutuksista (Lehtinen 2022). Esimerkiksi suomalaisen yrityksen datakeskus saattaa sijaita ulkomailla, jolloin datakeskuksen ympäristövaikutukset jäävät huomioimatta suomalaisen yrityksen digitaalisen palvelun hiilijalanjäljessä.

Vaikutusarvioinnin pohjalla on toiminnalliseen yksikköön perustuva suhteellisuus (ISO 14044 2006, 24). Tässä vaiheessa arvioidaan päästöjen potentiaalisia vaikutuksia ihmisterveyteen, luonnonympäristöön ja luonnonvaroihin (Suomen ympäristökeskus 2010, 24). Vaikutusarvioinnin tekemisessä hyödynnetään

elinkaarianalyysiohjelmistoja (Suomen ympäristökeskus 2017, 3). Vaikutusarvioinnissa täytyy valita vaikutusluokka, vaikutusluokkaindikaattori sekä karakterisointikerroin. Sen jälkeen inventaarioanalyysin tulokset sijoitetaan valittuihin vaikutusluokkiin eli luokitellaan. Kolmas vaikutusarvioinnin pakollinen osa on vaikutusluokan indikaattoritulosten laskeminen eli luonnehdinta ts. karakterisointi. Tässä vaiheessa inventaarioanalyysin tulokset muunnetaan yhteiseen yksikköön. Yleensä vaikutusluokat, niiden indikaattorit ja karakterisointikertoimet valitaan valmiiksi olemassa olevien joukosta. Vaikutusarvioinnin valinnaisia osia ovat normalisointi, ryhmittely ja painotus. (ISO 14044 2006, 25–29.) Vaikutusarvioinnissa huomioidaan vain ympäristökysymykset, jotka ovat tavoitteeseen ja soveltamisalaan nähden olennaisia (ISO 14040 2006, 38).

Vaikutusarvioinnin mallinnus voidaan jakaa endpoint- (loppupiste) ja midpoint- (keskipiste) -mallinnukseen. Keskipistemallinnuksen ovat esimerkiksi seuraavat vaikutusluokat: ilmastonmuutos, rehevöityminen ja otsonikato. (PRé Sustainability 2020, 31.) Kuva 7 selkeyttää eroa ja yhteyttä keskipisteiden ja loppupisteiden välillä. Keskipistemallinnuksen indikaattorit keskittyvät yksittäiseen ympäristöongelmaan, kun taas loppupistemallinnuksen indikaattoreita ovat vaikutukset ihmisterveyteen, biodiversiteettiin ja luonnonvarojen niukkuuteen (National Institute for Public Health and the Environment, 2018).

Esimerkiksi jos keskipistemallinnuksesta valitaan vaikutusluokaksi ilmastonmuutos, voidaan valita vaikutusarviointimenetelmäksi IPCC GWP 100a, jonka vaikutusluokkaindikaattori on infrapunasäteilypakote, jonka karakterisointikerroin on ilmaston lämpenemispotentiaali kunkin kasvihuonekaasun osalta sadassa vuodessa (ISO 14044 2006, 27). Yksi elinkaarianalyysiohjelmisto SimaProsta löytyvä vaikutusarvioinnin menetelmä on ReCiPe 2016, jossa on valittavana loppupiste- ja keskipistemallinnus, missä määritetään 18 midpoint-vaikutusluokkaa ja 3 endpoint-vaikutusluokkaa. Lisäksi molemmissa menetelmissä huomioidaan myös kulttuurinäkökulma. (PRé Sustainability 2016.)



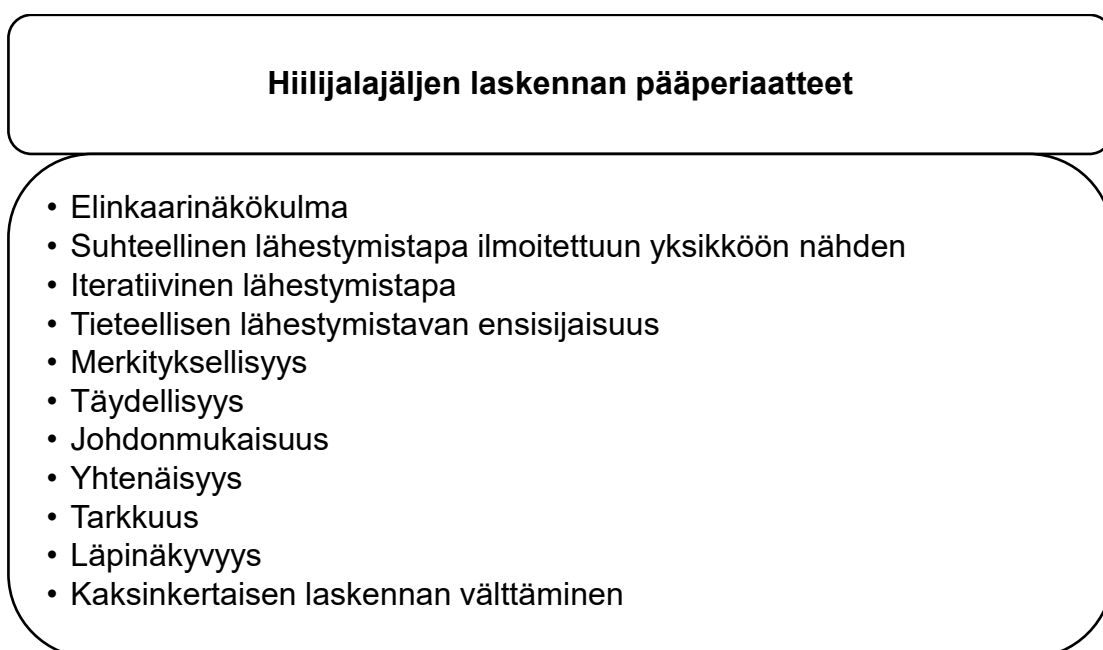
Kuva 7. Inventaariotietojen vaikutusluokat ja suojelun kohteet (mukailien Suomen ympäristökeskus 2010, 25).

Tulosten tulkinnan tarkoituksena on yhdistää inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tulosten merkittävien informaatioiden tunnistaminen, mutta arvioida myös tulosten epävarmuustekijöitä. Samalla arvioidaan elinkaarianalyysiin johdonmukaisuutta, herkkyyttä ja täydellisyyttä sekä tehdään johtopäätökset saaduista tuloksista. (ISO 14044 2006, 31–32.) Tulosten tulkinnan täytyy kuvastaa vaikutusarvioinnin tuloksia (ISO 14040 2006, 38). Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysissä yleensä parannusehdotuksia esitetään energiantuotantomuotoihin ja rakenteisiin sekä tehokkuuteen (Okkonen 2021, 6).

Elinkaarianalyysin tulokset raportoidaan, ja raportissa käsitellään selvityksen eri vaiheet. Raportissa käydään läpi elinkaariarvioinnin kaikki vaiheet ja käsitellään käytetyt tiedot, niiden lähteet ja menetelmät sekä mahdolliset rajoitukset läpinäkyvästi, tarkasti ja puolueettomasti. (ISO 14040 2006, 39.)

### 3.6.3 Hiilijalanjälkilaskennan pääperiaatteet ISO 14067- standardin mukaisesti

Mahdollisesti tärkein pääperiaate hiilijalanjäljen laskentaan on elinkaarinäkökulma. Se tarkoittaa, että laskennassa huomioidaan tuotteen koko elinkaari aina raaka-aineiden hankinnan suunnittelusta loppukäsittelyyn saakka. (ISO 14067 2018, 20.) Myös toiminnallinen yksikkö ja suhteellinen lähestymistapa eli tulosten laskeminen suhteessa kyseiseen toiminnalliseen yksikköön ovat merkitseviä (ISO 14067 2018, 21). Kuvassa 8 nähdään kaikki hiilijalanjäljenlaskennan pääperiaatteet.



Kuva 8. Hiilijalanjäljenlaskennan pääperiaatteet (mukaillen ISO 14067 2018, 20–22).

Iteratiivisella lähestymistavalla tarkoitetaan sitä, että prosessin edetessä sen kulku ja suunta voivat muuttua (ISO 14044 2006, 15). Näin ollen myös edellisiin vaiheisiin voidaan aina palata ja ne voivat tarkentua. Tällainen lähestymistapa vaikuttaa hiilijalanjäljen johdonmukaisuuteen, joka on myös yksi hiilijalanjäljen laskennan pääperiaatteista. Johdonmukaisuudella tarkoitetaan prosessin soveltamista samanlaisilla käytänteillä koko hiilijalanjälkiselvityksen ajan. (ISO 14067 2018, 21.)

Hiilijalanjäljen laskennan tarkkuudella ja läpinäkyvyydellä pyritään virheiden minimoimiseen ja tulosten edustettavuuteen. Kaikkien käytettyjen tietolähteiden on oltava selkeästi ja asianmukaisesti ilmoitettuna. Dokumentaatiosta tehdään avointa ja ymmärrettävää. (ISO 14067 2018, 22.) Läpinäkyvyys myös varmistaa tulosten oikean tulkinnan (ISO 14040 2004, 22).

ISO 14067 -standardin mukaan myös valittujen tietojen ja menetelmien on oltava merkityksellisiä päästöjen ja niiden poistumien arviointiin. Lisäksi täydellisyyteen pyritään, jotta prosessissa on mukana kaikki lopputulokseen merkittävästi vaikuttavat päästöt ja niiden poistumat. Aiheen rajauksella tehdään selväksi, mitkä osat jäävät rajauksen ulkopuolella ja näin ollen jäävät huomioimatta laskennassa. (ISO 14067 2018, 26.) Myös laskennan yhtenäisyydellä pyritään hiilijalanjälkien vertailtavuuden parantamiseen, joten käytetään ja sovelletaan olemassa olevia yleisesti tunnistettuja asiakirjoja, standardeja ja menetelmiä (ISO 14067 2018, 21).

Muita olennaisia pääperiaatteita ovat kaksinkertaisen laskennan välttäminen ja tieteellisen lähestymistavan ensisijaisuus (ISO 14067 2018, 21–22). Kaksinkertainen laskenta vältetään, kun prosessin panos- ja tuotosvirrat jaetaan eri prosessien välillä eli allokoidaan ts. kohdennetaan (ISO 14040 2004, 16). Tieteellisen lähestymistavan ensisijaisuudella tarkoitetaan sitä, että hiilijalanjälkilaskelmien päätöksissä pyritään hyödyntämään luonnontieteitä aina kun mahdollista (ISO 14067 2018, 21).

#### **4 Tarkoitus ja tutkimustehtävä**

Aiheena digitaalisten palveluiden hiilijalanjälkilaskenta on vielä alussa, vaikka tuotteiden hiilijalanjälkiä on laskettu jo kauemmin. Opinnäytetyön tarkoituksena oli analysoida olosuhdesensorin, tukiaseman, näihin yhteydessä olevan pilvipalvelun ja puhelinsovelluksen käytön hiilijalanjälki sekä arvioida ja raportoida saaduista tuloksista standardien mukaisesti. Käytetyt menetelmät ja niiden vaiheet esitettiin lukijalle ymmärrettävästi. Tarvittavat tiedot kerättiin kohdeyritykseltä ja

muista tietolähteistä, kuten internetistä. Itse elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta suoritettiin SimaPro-ohjelmistolla. Tulokset esitettiin erilaisten kuvien ja taulukoiden muodossa. Lisäksi grafiikoiden sisältö selitettiin ymmärrettävästi lukijalle. Lopuksi käytiin myös läpi mahdolliset laskentaan liittyvät epävarmuustekijät ja jatkotutkimusmahdollisuudet.

Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä Sensire Oy:n ja heidän asiakkaidensa tietoisuutta tuotteen hiilijalanjäljestä. Lisäksi tavoitteena oli saada tietoa digitaalisten palveluiden hiilijalanjälkilaskentaan, ja ymmärtää kokonaisuudessaan, mistä tuotejärjestelmän hiilijalanjälki muodostuu.

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

1. Mikä on sensorin, tukiaseman ja näihin liitettyjen pilvipalvelun sekä mobiilisovelluksen hiilijalanjälki?
2. Kuinka suuren osan tuotteen hiilijalanjäljestä muodostavat sen digitaaliset osat?

Opinnäytetyön myötä Sensire Oy sai käsityksen kyseisen tuotejärjestelmänsä hiilijalanjäljen muodostumisesta ja pohjan myös mahdollisille parannusehdotuksille hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Lisäksi selvitettiin myös, miten suuren osan tuotejärjestelmän hiilijalanjäljestä muodostivat sen digitaaliset osat.

Opinnäytetyön tekemiseen ei tarvittu tutkimuslupaa. Saatuja aineistoja käsiteltiin luottamuksellisesti Sensire Oy:n kanssa tehdyn salassapitosopimuksen mukaisesti, minkä vuoksi inventaariotietoja ei esitetä työssä.

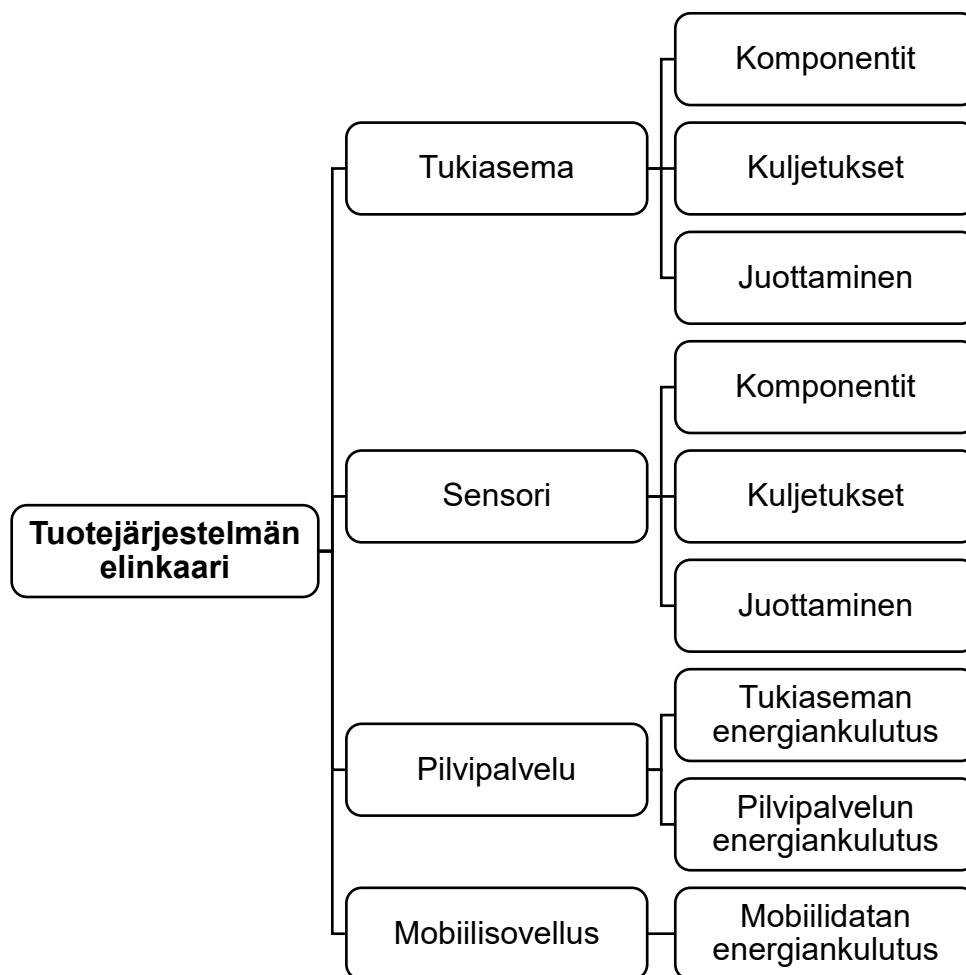
## **5 Toteutus**

### **5.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen**

Opinnäytetyön toteuttaminen aloitettiin ISO 14044 -standardin mukaisesti tavoitteiden ja soveltamisalan määrittämisestä. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada selville, kuinka suuri Sensire Oy:n tuotejärjestelmän hiilijalanjälki oli, ja tuloksia

voidaan käyttää tuotteen mainonnassa. Tuloksista raportoitiin Sensire Oy:lle, eikä tuloksia ole tarkoitus käyttää julkisesti esitettävissä vertailuväitteissä.

Soveltamisalaa määriteltäessä tärkeintä on tuotejärjestelmän ja sen toimintojen selkeä ja tarkka kuvaus, toiminnallisen yksikön määrittäminen, järjestelmän rajat ja mahdolliset rajoitukset elinkaarianalyysin tekemisessä (ISO 14044 2006, 15). Toiminnallinen yksikkö antaa vertailupohjan, johon elinkaaren aikaisia syötteitä ja panoksia suhteutetaan (ISO 14040 2006, 30). Kuvassa 9 on tuotejärjestelmän elinkaaren rakenne.



Kuva 9. Tuotejärjestelmän elinkaaren kaaviokuva.

Tuotejärjestelmä, jonka hiilijalanjälki laskettiin, koostuu olosuhtesensorista, tukiasemasta, pilvipalvelusta ja mobiilisovelluksesta. Toiminnalliseksi yksiköksi valittiin tukiaseman ja sensorin kohdalla yksi tuote molempia. Molempien tuotteiden elinkaari on 10 vuotta. Järjestelmän rajoiksi valittiin sensorin ja

tukiaseman hiilijalanjälki sekä asiakasyrityksen pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön aikaisen energiankulutuksen hiilijalanjälki kuukaudessa. Sensorin ja tukiaseman kohdalla selvitettiin myös komponenttien valmistuksen hiilijalanjälki sekä kuljetuksista aiheutuvat päästöt. Laskentaan ei otettu mukaan kuljetuspakauksia eikä valmiin tuotteen kokoonpanon tai asennuksen hiilijalanjälkeä. Rajoituksen ulkopuolelle jätettiin pilvipalvelun ja sovelluksen rakentamiseen käytetty aika ja työ. Rajoituksena sensorin ja tukiaseman hiilijalanjäljen laskennassa oli rajallisesti saatavilla olevat materiaalitiedot sekä hieman puutteelliset valmistusmaat ja massat. Lisäksi SimaProsta ei löytynyt kaikille komponenteille sopia prosesseja, jolloin ne korvattiin mahdollisimman hyvin vastaavilla prosesseilla.

## **5.2 Inventaarioanalyysi**

### **5.2.1 Sensori ja tukiasema**

Sensorin ja tukiaseman inventaarioanalyysi suoritettiin toimeksiantajalta saaduista komponenttilistoista. Lisäksi toimeksiantajalta saatiin tiedot esimerkiksi sensorin ja tukiaseman piirilevyjen koosta ja tuotteiden keskimääräisestä iästä, jonka arvioitiin olevan vähintään 10 vuotta, koska laitteita voidaan käyttää niin kauan kuin varaosia on saatavilla. Myös sensorin paristojen arvioitiin kestävän koko eliniän. (Tolonen 2022; Kuusela 2022.)

Internetistä etsittiin komponenttien kuvaukset, valmistusmaat ja massat niin tarkasti kuin mahdollista. Kaikkien komponenttien massoja ja valmistusmaita ei löytynyt. Näiden puuttuvien osalta etsittiin vastaavan komponentin massat samalta valmistajalta tai muuten samalla paketoinnilla olevan komponentin massa. Jos vastaavaa komponenttia ei löytynyt, valittiin alihankkijan sivulta löytynyt massa, joka mainittiin yleensä tarkkuudella 0,000001 kg. Valmistajan ja alihankkijan massoja vertaillaessa huomattiin, että alihankkijan massat eivät olleet niin tarkkoja. Muutamia komponentteja punnittiin toimeksiantajan toimesta. Lisäksi massojen osalta eri sivustojen välillä huomattiin eroavaisuuksia, ja sen

takia massojen saamiseksi jouduttiin näkemään paljon aikaa ja vaivaa. Suurin osa massoista saatiin mouser.fi-sivustolta.

Tarkkuusvaa'an puuttuessa sensorin tyhjän piirilevyn massa selvitettiin punnitsemalla kirjevaa'alla ladottu piirilevy, ja vähentämällä sen massasta kaikkien piirilevyn sisältämien komponenttien massat. Tukiaseman piirilevyn massa saatiin selville tyhjänä kirjevaa'alla punnitsemalla. Kuitenkin, jos komponentti oli punnittu itse kirjevaa'alla, sen massaa ei merkitty arvioiduksi massaksi. Toimeksiantaja punnitsi itse punnitut komponentit. Tietojen oikeellisuutta tarkasteltiin sähköpostikeskustelujen kautta virheiden ja epäselvyyksien välttämiseksi.

Ladottu tukiasema punnittiin kaikkien osien kanssa, ja sen massaksi saatiin 400 g. Arvioiden pohjalta tukiaseman massaksi saatiin 436 g. Eli punnittujen ja netistä saatujen tietojen pohjalta massa osoittautui 8,99 % suuremmaksi. Sensorin punnitukseksi massaksi saatiin 79 g, kun taas punnittujen ja netistä saatujen tietojen pohjalta massaksi tuli 84 g. Tulos oli prosentuaalisesti 6,7 % todellisuutta suurempi.

Tukiasemassa 43 komponentin kohdalla käytettiin netistä löydettyä samankaltaisen komponentin massaa. Prosentuaalisesti 146 komponentin massa oli 335 komponentin painosta 2,85 %. Sensorin komponenteista 48:n kohdalla jouduttiin käyttämään arviota. Prosentuaalisesti näiden 43 osan massa koko sensorin painosta oli kuitenkin vain 0,51 %. Taulukko 1 havainnollistaa puuttuvien painojen osuutta koko painosta. GWX tarkoittaa tukiasemaa ja TSX sensoria. Juotokselle ei ole laskettua painoa, koska SimaPron prosessin yksikkönä oli pinta-ala.

| Tuote                 | Kg     | Komponenttien lukumäärä | Koko massa (%) |
|-----------------------|--------|-------------------------|----------------|
| <b>GWX</b>            | 0,436  | 335                     | 100 %          |
| GWX puuttuvat massat  | 0,0124 | 146                     | 2,85           |
| GWX puuttuvat valmis- | 0,314  | 29                      | 71,96          |
| tusmaat               |        |                         |                |

|                                  |          |     |       |
|----------------------------------|----------|-----|-------|
| <b>TSX</b>                       | 0,084    | 109 | 100 % |
| TSX puuttuvat massat             | 0,000429 | 48  | 0,51  |
| TSX puuttuvat valmistus-<br>maat | 0,0442   | 8   | 47,31 |

Taulukko 1. Sensorin ja tukiaseman massojen ja valmistusmaiden suhteet.

Komponentit jaettiin pääkategorioihin, joiden pohjalta etsittiin prosessit SimaProsta. Jako pääkategorioihin oli tehty valmiiksi toimeksiantajan lähettämiin tiedostoihin, joten järjestystä ei muutettu merkittävästi muuten kuin lisäämällä juotoksen ja kuljetusten pääkategoriat. Näiden pääkategorioiden alle jaoteltiin erilaiset alakategorioihin kuuluvat komponentit. Transport -kategoriaan laitettiin kuljetukset, ja mounting -pääkategoriassa oli juottamisen prosessi eli komponenttien kiinnitys piirilevyyn.

Pääkategorioiden pohjalta etsittiin sopivat alakategoriat eli SimaPron prosessit, joihin komponentit sijoitettiin netistä löytyvien tietojen pohjalta. Sekä tukiasema että sensori ovat RoHS-lainsäädännön mukaisia, joten esimerkiksi lyijyn käyttöä on rajoitettu komponenttien valmistuksessa (Tukes 2022). Sen vuoksi SimaProsta valittiin lyijytön prosessi, jos sellainen oli saatavilla. Myös juotosprosessi valittiin lyijyttömänä, koska käytetty pasta ei sisältänyt lyijyä (Tolonen 2022). Valitut prosessit ovat liitteessä 1 tukiaseman osalta ja liitteessä 2 sensorin osalta. Samaan alakategoriaan kuuluvat komponentit merkattiin SimaProhon komponenttien yhteenlasketulla massalla. Pääkategorioiden avulla salattiin komponenttien valmistajat ja tarkat tuotenumerot.

SimaProssa käytettiin systeemiprosesseja ja seurausvaikutuksellista elinkaarivaihtelua, jonka tunnistaa prosessin perässä olevasta sanasta "Conseq". Market for -liite prosessin perässä tarkoittaa sitä, että prosessi sisältää tuotteen ja sen kuljetuksen seuraavalla käyttäjälle (Prè Sustainability 2022).

Sensorin ja tukiaseman pääkategoriat ovat taulukossa 2. Tukiaseman enclosure -pääkategoria sisälsi esimerkiksi tyhjän piirilevyn, antennit ja virtalähteen. Sensorin samassa pääkategoriassa oli myös tyhjä piirilevy ja esimerkiksi patterit. Enclosure -pääkategoria koostui siis kotelosta ja sen sisällöstä pois lukien

piirilevyn sisältämät komponentit. Miscellaneous -pääkategoria sisälsi piirejä suojaavia komponentteja ja esimerkiksi sensorin patteritelineen. Muissa kategoriaissa on piirilevyn sisältämät komponentti pois lukien kuljetukset ja juotoksen, mitkä ovat omissa pääkategorioissaan.

| <b>TSX</b>          | <b>GWX</b>          |
|---------------------|---------------------|
| 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 2. Sensorin ja tukiaseman pääkategoriat.

Kaikki komponentit, joille ei löytynyt suoraan sopivaa Simapro-prosessia, laitettiin ”Electronic component, active/passive, unspecified”-luokkaan. Tähän luokkaan laitettiin esimerkiksi tukiaseman antennit sekä molempien laitteiden liittimiä ja kristallit. Tukiaseman virtalähteen mukana tulee myös adapterit, joilla muuntajan saa sopimaan Australian, Yhdysvaltojen ja Iso-Britannian pistorasioihin. Tukiaseman virtalähteen SimaProssa prosessiksi valittiin kannettavan tietokoneen virtalähde, johon laitettiin massan sijaan kappalelukumäärä. Tietojen mukaan tyypillinen kannettavan tietokoneen virtalähde johtojen kanssa painaa 0,357 kg ja ilman johtoja 0,174 kg. Tukiaseman virtalähde painoi kuitenkin todellisuudessa vain 0,196 kg kaikkien vaihtopäiden kanssa ja ilman adaptereja 0,126 g. Lisäksi virtalähteen massa laskettiin mukaan kaikki vaihtopäät, vaikka todellisuudessa ne eivät liity suoranaisesti itse virtalähteeseen ainakaan

kaikkien vaihtopäiden kanssa. Niitä ei kuitenkaan eritelty mihinkään toiseen luokkaan, koska virtalähteen prosessin hiilijalanjälkeen oli laskettu myös kaikki virtalähteeseen kuuluvat kaapelit.

Opinnäytetyössä ei ole kuitenkaan eriteltyä pääkategorioiden sisältämien prosessien lisäksi sen tarkemmin, mitä komponentteja prosessit sisältävät. Syynä tähän on salassapitosopimus.

Kuljetuksista aiheutuvat ympäristövaikutukset laskettiin selvittämällä merirahti-laivojen reittien pituudet SeaRoutes-sivustolta, ja muutettiin ne koskemaan kilogrammakilometrejä, jotta kuljetukset ovat suhteutettuna komponenttien massoihin. Kaikkien samasta maasta tulevien komponenttien massat laskettiin yhteen, ja ne merkattiin yhtenä kuljetuksena SimaProhon. Kuljetukset laskettiin kuitenkin koskemaan erikseen sekä sensorin että tukiaseman komponentteja.

Tukiaseman komponenteista 29:lle 335:sta ei löydetty valmistusmaata. Prosentuaalisesti nämä 29 komponenttia muodostivat jopa 71,96 % koko tukiaseman massasta. Olosuhdesensorin kohdalla 8:lle 109:sta valmistusmaat jäivät puuttumaan. Koko olosuhdesensorin massasta tämä oli 47,31 %. Vaikka määrällisesti valmistusmaita puuttui vähän, ne olivat kuitenkin suhteessa painavia komponentteja, josta johtui suuri prosenttiluku. Taulukko 1 havainnollistaa puuttuvien valmistusmaiden massojen suhdetta koko massaan. Komponenteille, joille ei ilmoitettu valmistusmaata, ei myöskään laskettu kuljetuksia. Lisäksi ne, joille valmistusmaat löydettiin, olivat kuvattu sanoin "country in which last significant manufacturing process was carried out" eli maa, jossa viimeinen merkittävä valmistusprosessi tehtiin. Tietojen pohjalta etsittiin sopivat valmiit prosessit SimaProsta, joilla vaikutuslaskenta suoritettiin. Prosessit kuljetuksille ovat liitteissä 1 ja 2 tukiaseman ja sensorin osalta. Kyseessä on kuitenkin samat kuljetusprosessit molempien osalta.

Satamiksi valittiin kyseisen valmistusmaan käytetyin tai suurin satamat. Yhdysvalloista tuleville komponenteille määritettiin Los Angelesin satama lähtöpisteeksi sen ollessa suurin Yhdysvalloissa (iContainers 2022). Kaikkien merirahti-laivojen päämääräksi laitettiin Rotterdamin satama sen ollessa Euroopan suurin

syvänveden satama (Marvest 2022). Tietystä maasta tulevien komponenttien massat kerrottiin kuljetusmatkan pituudella, jotta saatiin ne koskemaan kilogrammakilometrejä. Erikseen laskettiin hiilijalanjälki Rotterdamista Helsinkiin merirahtialuksella ja Helsingistä rekka-autolla Joensuuun, ja Rotterdamista Joensuuun rekka-autolla. Syynä kahteen eri skenaarioon oli se, ettei komponenttien kuljetusreittiä tiedetty valmistusmaata tarkemmalla tasolla. Valituissa kuljetusprosesseissa ei määritelty, palaavatko kuljetusvälineet takaisin lähtömaahan tyhjänä vai täytenä. Rekka-autojen kuljetuksiin valittiin prosessit koskemaan eurooppalaisia tietoja. Merirahtialuksilla taas tiedot koskivat koko maailmaa, mutta prosessiksi valittiin kuivatuotteita koskeva merirahtialus. Lisäksi rekka-autokuljetuksiin valittiin päästöluokaksi EURO 6 eli vähiten päästöjä muodostava päästöluokka.

### **5.2.2 Pilvipalvelu ja mobiilisovellus**

Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen osalta aihe rajattiin niin, että huomioitiin mobiilidatan ja pilvipalvelun kuukauden käytön aikainen datan siirto. Työssä ei siis huomioitu mobiilisovelluksen tai pilvipalvelun rakentamista. Yksiköksi valittiin pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen datan käyttö kuukaudessa, koska tätä tietoa on helppo verrata esimerkiksi siihen, milloin digitaalisten palveluiden hiilijalanjälki täyttää laitteiden hiilijalanjäljen.

Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön aikaisen hiilijalanjäljen laskemiseksi selvitettiin niiden keskimääräiset tiedonsiirtomäärät ja, kuinka paljon energiaa kuluu tiedon siirtämisestä. 15 minuutin välein sensori mittaa olosuhteita, ja myös tukiasema lähettää kerättyä dataa 15 minuutin välein pilvipalveluun. Sensori on tukiaseman lailla koko ajan päällä. Energiankulutukseen vaikuttaa huomattavasti se, saadaanko tiedot lähetettyä kerralla pilvipalveluun, ja onko internetyhteys hyvä. Mahdolliset poikkeustilanteet, kuten yhteyden katkeaminen aiheuttaa datamäärien kasvua edestakaisen dataliikenteen myötä. (Kettunen 2022.) Pilvipalvelu ja mobiilisovellus ovat siis omia palveluitaan, vaikkakin mobiilisovelluksenkin tiedot lähetetään pilvipalveluun.

Mobiilisovelluksen keskimääräinen käyttöaika vuorokaudessa on maksimissaan 10 minuuttia, mutta keskimääräisesti n. 2–5 minuuttia. Pilvipalvelun käytön aikaa taas on hankala laskea, koska ilman häilytyksiä käyttöä saattaa muodostua kuukaudessa kerran. Toiset käyttäjät taas käyttävät pilvipalvelua päivittäin useita kertoja. Pilvipalveluun luotavien tehtävien tekoon kuluva aika vaihtelee tehtävien laajuuden vaihdellessa. Aika-arvioksi annettiin 5 minuuttia tehtävää kohden. (Kettunen 2022.) Opinnäytetyössä näitä aika-arvioita ei kuitenkaan käytetty hyödyksi hiilijalanjälkeä laskettaessa.

Sensorin toimii kahdella AA-paristolla, joiden on arvioitu kestävän 10 vuotta eli koko laitteen elinkaaren ajan (Tolonen 2022). Voidaan siis ajatella, että sensoreille ei tarvitse laskea energiankulutusta, kun selvitettiin mittauksen energiankulutusta.

Sensirellä on käytössään pilvipalveluna Microsoft Azure, josta käytössä on tietokannat SaaSina, sovelluspalvelimia Paasina ja virtuaalikoneita IaaSina (Väänänen 2021; Kettunen 2022). Sen datakeskus sijaitsee Saksassa (Väänänen 2021). Tiedot mobiilisovelluksesta ja tukiasemilta lähetetään pilvipalveluun, jossa ne ovat tarkasteltavissa. Datakeskuksen sijainnilla oli merkitystä pilvipalvelun energiankulutuksen tuotantotapaa valittaessa.

Toimeksiantajalta saatiin tiedot pilvipalvelun levytilan kulumisesta yhden sensorin mittaustuloksesta tavuina. Tulokseen vaikutti hieman se, mitä sensorilla mitattiin, mutta keskiarvo ei poikennut kovinkaan paljoa riippuen siitä, mitä mitattiin. Tässä laskelmassa käytettiin kuitenkin lämpötilamittauksen datamäärää. Salassapitosopimukseen vedoten opinnäytetyössä ei esitetä datatietoja. Kun sensori mittaa kerran 15 minuutissa, voidaan tästä laskea, kuinka monta kertaa sensori mittaa tietyssä ajassa. Vuorokauden mittausmäärät kerrottiin 30:lla, jotta tulos koski kuukautta. Levytilan kulutus pilvipalvelussa yhdessä kuukaudessa saatiin kertomalla sensorien lukumäärä mittaustavuilla ja mittauskerroilla. Vastaus muutettiin koskemaan gigatavuja binäärijärjestelmässä ConvertLIVE-verkosisivulla. Pilvipalvelun energiankulutukseksi tiedettiin noin 7 kWh/gt (Adamson 2017). Pilvipalvelun käytön aikaiset gigatavut kerrottiin tällä. SimaProhon energiankulutus syötettiin puoliksi tuulivoimana ja aurinkovoimana, koska Microsoft

tuottaa 100-prosenttisesti uusiutuvalla energialla (EPA 2022a). Kahteen eri energianlähteeseen syynä oli se, ettei tiedetty tarkalleen, mitä uusiutuvan energiantuotantotapaa Saksan datakeskus käyttää, mutta tiedettiin, että Microsoftin uusiutuvan energian suurimpina lähteinä ovat aurinko- ja tuulivoima (EPA 2022b).

Tukiaseman keskimääräiseksi jännitteeksi ilmoitettiin 135 mA (milliampeeri) 12 voltin jännitteellä (Kuusela 2022). Näin ollen tukiaseman teho saatiin kaavalla  $P = U * I$  eli kertomalla ampeerit volteilla, ja tulokseksi saatiin 1,62 wattia. Kun tukiasema on päällä vuorokaudessa 24 tuntia, tulee energiankulutukseksi noin 1,2 kWh kuukaudessa. Tukiaseman energianlähteeksi valittiin suomalainen sähkö, koska tukiasema sijaitsee Suomessa ja näin ollen käyttää suomalaista sähköä. Liitteessä 3 on pilvipalvelun SimaPron prosessit.

Mobiilidatan osalta toimeksiantajalta saatiin tiedot datan peruskulutuksesta kuukaudessa sekä lähetyksen ja mittauksen datan kulutus. Salassapitosopimuksen vuoksi opinnäytetyössä ei esitetä datatietoja. Vuorokauden datan kulutus kerrottiin 30:lla, jotta saatiin tiedot koskemaan kuukautta. Eli mittausten määrä kerrottiin lähetyksen mittauksen datan kulutuksen summalla sekä lisättiin datan peruskulutus. Tulos muutettiin gigatavuiksi binäärijärjestelmässä ConvertLIVE-verkkosivulla. Näiden tietojen pohjalta laskettiin energiankulutus kuukaudessa, kun tiedettiin, että vuonna 2020 gigatavun lähettäminen mobiilisovelluksella kuluttaa 0,1 kWh energiaa Suomessa (Pihkola, Hongisto, Apilo, Lasanen 2018, 6). SimaProsta valittiin prosessiksi suomalainen sähkö, koska mobiilidata käytetään Suomessa. Liitteessä 4 on mobiilisovelluksen SimaPron prosessit.

### 5.3 Vaikutusarviointi

ISO 14044 (2006, 25) vaatii valitsemaan vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit, minkä jälkeen inventaarioanalyysin tulokset voidaan sijoittaa vaikutusluokkiin. Sen jälkeen lasketaan vielä vaikutusluokan indikaattoritulokset. (ISO 14044 2006, 25.) SimaPron vaikutusarviointimenetelmäksi valittiin IPCC 2013 GWP 100a. Tämän vaikutusarviointimenetelmän vaikutusluokka

on ilmastonmuutos ja sen vaikutusluokkaindikaattorina toimii infrapunasäteilypakote ( $W/m^2$ ).

Karakterisointimalliksi valittiin opinnäytetyössä kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin 100 vuotta kattava vertailumalli. Karakterisointikertoimilla, joiksi valittiin hiilijalanjälkeä laskettaessa ilmastonlämpenemispotentiaali kunkin kasvihuonekaasun osalta, saatiin inventaaritiedot yksittäiseksi luvuksi eli hiilidioksidiekvivalentiksi. (ISO 14044 2006, 27.)

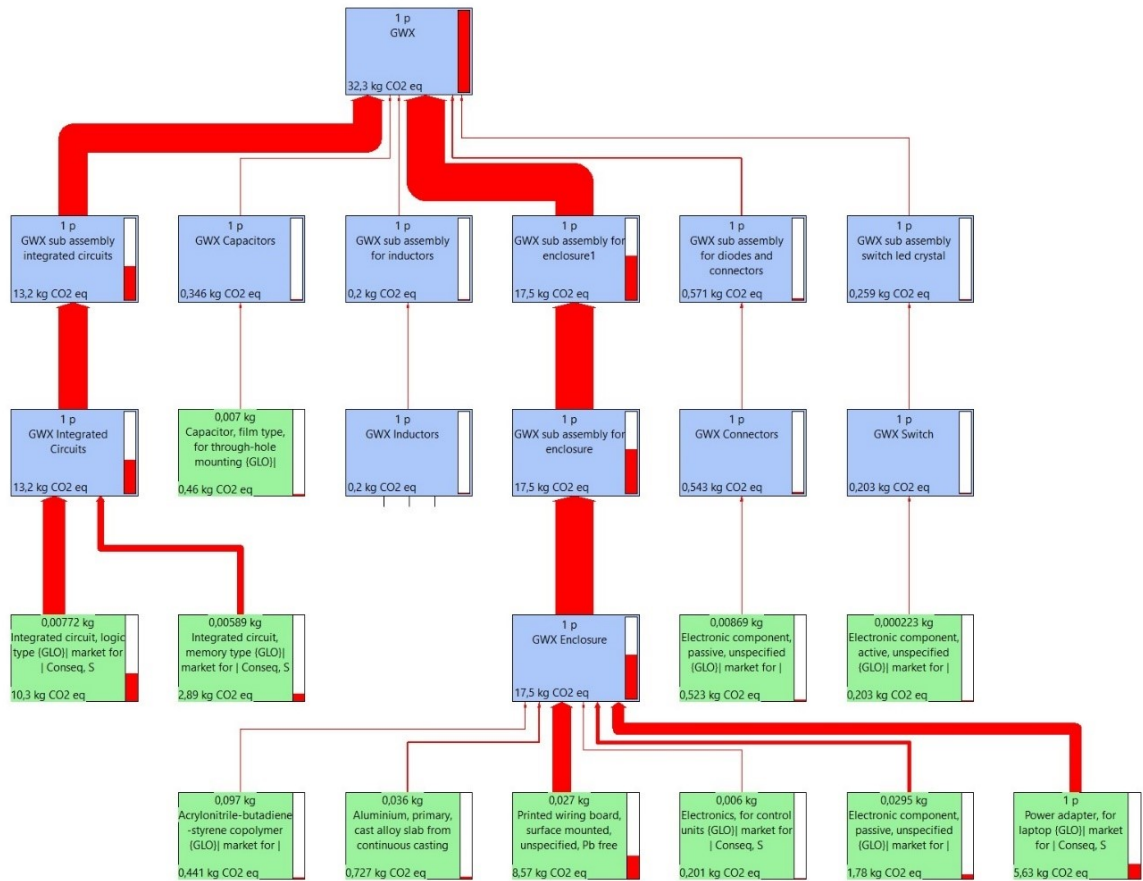
## **6 Tulokset**

### **6.1 Sensorin ja tukiaseman kokonaishiilijalanjälki**

Tukiaseman hiilijalanjäljeksi saatiin SimaPron mukaan 32,3 kg CO<sub>2e</sub> riippumatta siitä, kumpaa kuljetusreittiä komponentit kuljetettiin. Liitteessä 5 on tarkemmat laskelmat hiilijalanjäljen muodostumisesta. Siitä havaitaan, että kuljetusreitillä Helsingistä rekka-autolla Joensuuhun muodosti kuitenkin 32,4 kg:n CO<sub>2e</sub>:n hiilijalanjäljen ja kuljetusreitti merirahtialuksella Helsingin kautta rekka-autolla Joensuuhun 32,3 kg:n CO<sub>2e</sub>:n hiilijalanjäljen.

Tukiaseman hiilijalanjäljessä suurimman osan muodosti enclosure -pääkategoria 54,04 %:lla. Sen jälkeen toiseksi suurin pääkategoria oli integrated circuits 40,76 %:lla ja 13,2 kg CO<sub>2e</sub>. Näiden kahden kategorian jälkeen kolmanneksi suurimman osan hiilijalanjäljessä muodosti connectors -kategoria 1,68 %:lla. On kuitenkin tärkeää huomioida, että enclosure -kategoriasta muodostui jo yli puolet koko tukiaseman hiilijalanjäljessä 17,5 kg CO<sub>2e</sub>. Kuvassa 10 on tukiaseman hiilijalanjäljen suurimmat tekijät, kun kuljetusreitiksi on valittuna Rotterdamista Helsinkiin merirahtialuksella ja Helsingistä rekka-autolla Joensuuhun. Lisäksi taulukoissa 3 ja 4 ovat kaikki pääkategoriat ja niiden osuudet kokonaishiilijalanjäljessä molemmilla kuljetusreiteillä. Taulukossa 3 kuljetusreittinä oli Rotterdamista Helsinkiin merirahtialuksella, ja Helsingistä Joensuuhun rekka-autolla, kun

taas taulukossa 4 kuljetusreitti oli suoraan Rotterdamista suoraan Joensuuun rekka-autolla.



Kuva 10. Tukiaseman hiilijalanjäljen suurimmat tekijät cut-off 0,5 %.

| Pääkategoria        | Kg CO <sub>2</sub> e | Kok.hiilijalanjälki (%) |
|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Enclosure           | 17,5                 | 54,11 %                 |
| Integrated circuits | 13,2                 | 40,81 %                 |
| Resistors           | 0,083                | 0,26 %                  |
| Capacitors          | 0,346                | 1,07 %                  |
| Inductors           | 0,2                  | 0,62 %                  |
| Transistors         | 0,00000877           | 0,000 %                 |
| Diodes              | 0,028                | 0,09 %                  |
| Crystals            | 0,0139               | 0,04 %                  |
| Miscellaneous       | 0,0969               | 0,30 %                  |
| LED                 | 0,0427               | 0,13 %                  |
| Switch              | 0,203                | 0,63 %                  |

|                |        |        |
|----------------|--------|--------|
| Connectors     | 0,543  | 1,68 % |
| Mounting       | 0,0565 | 0,17 % |
| Transport 1+2a | 0,0287 | 0,09 % |
| Yhteensä       | 32,3   | 100 %  |

Taulukko 3. Tukiaseman kokonaishiilijalanjälki 1+2a.

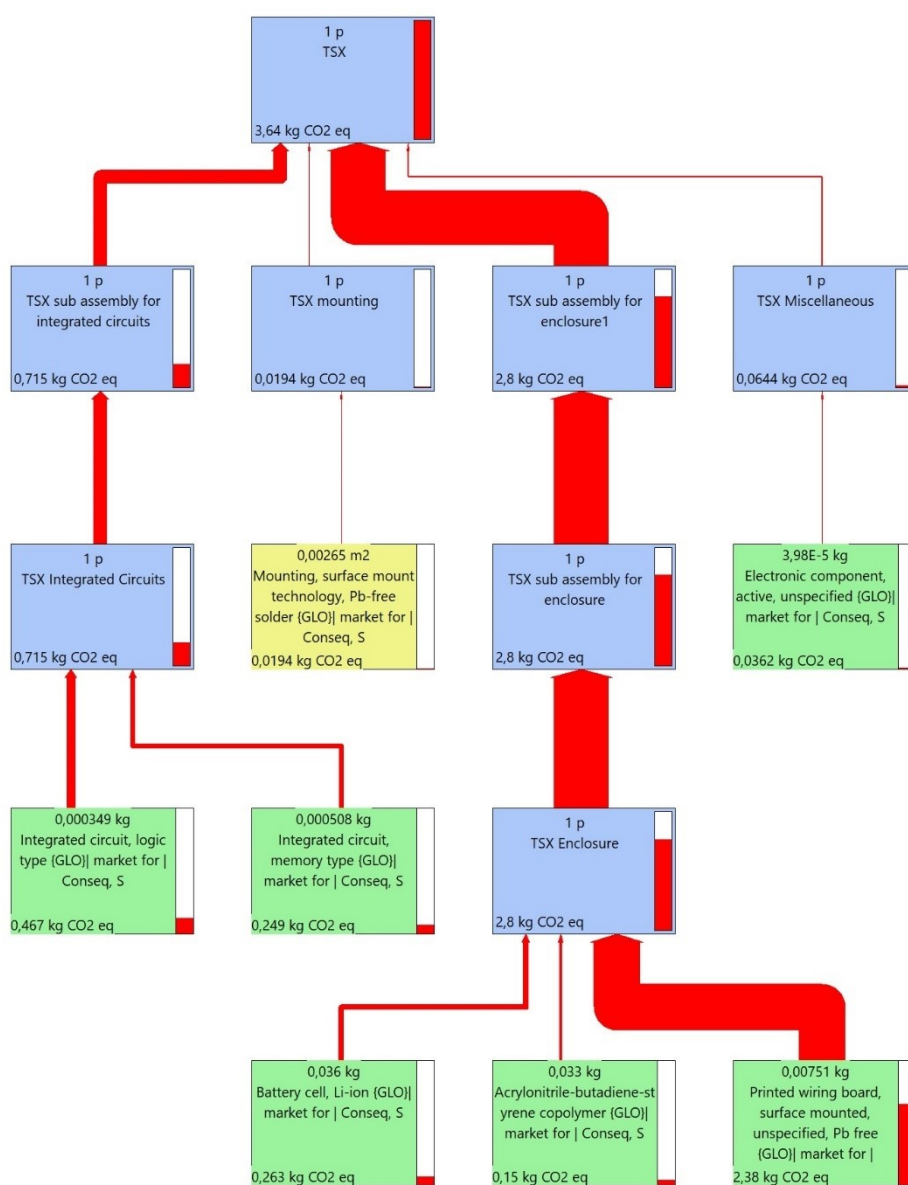
| Pääkategoria        | Kg CO <sub>2e</sub> | Kok.hiilijalanjälki (%) |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Enclosure           | 17,5                | 54,04 %                 |
| Integrated circuits | 13,2                | 40,76 %                 |
| Resistors           | 0,083               | 0,26 %                  |
| Capacitors          | 0,346               | 1,07 %                  |
| Inductors           | 0,2                 | 0,62 %                  |
| Transistors         | 0,00000877          | 0,00 %                  |
| Diodes              | 0,028               | 0,09 %                  |
| Crystals            | 0,0139              | 0,04 %                  |
| Miscellaneous       | 0,0969              | 0,30 %                  |
| LED                 | 0,0427              | 0,13 %                  |
| Switch              | 0,203               | 0,63 %                  |
| Connectors          | 0,543               | 1,68 %                  |
| Mounting            | 0,0565              | 0,17 %                  |
| Transport 1+2a      | 0,0728              | 0,22 %                  |
| Yhteensä            | 32,4                | 100 %                   |

Taulukko 4. Tukiaseman kokonaishiilijalanjälki 1+2b.

Olosuhdesensorin hiilijalanjäljeksi saatiin SimaPron mukaan 3,64 tai 3,65 kg CO<sub>2e</sub> riippuen valituista kuljetustavoista ja -reiteistä. Pienempi hiilijalanjälki muodostui, kun komponentit kuljetettiin Helsinkiin merirahtilaivalla ja sitten rekka-autolla Joensuuhun. Kuitenkin jokaisen pääkategorian hiilijalanjäljen summaksi saatiin joko 3,63 kg CO<sub>2e</sub> tai 3,65 kg CO<sub>2e</sub>, joten SimaPro pyöristänee tulosta hieman eri tavalla. Kuvassa 11 näkyvät sensorin hiilijalanjäljen suurimmat tekijät. Lisäksi liitteessä 6 on sensorin hiilijalanjäljen prosessikaavio kokonaisuudessaan molempien kuljetusreittien osalta.

Suurin osa olosuhdesensorin hiilijalanjäljestä muodostui enclosure -pääkategorian osasta, jonka osuus oli 77,08 % kokonaishiilijalanjäljestä 2,8 kg CO<sub>2e</sub>. Myös

integrated circuits - ja miscellaneous -pääkategoriat olivat suurimpia tekijöitä kokonaishiilijalanjälkeä tarkasteltaessa, mutta näiden osuus oli kuitenkin hyvin pieni verrattuna enclosure -pääkategorian osuuteen. Mikropiirien pääkategorian osuus oli 19,68 % kokonaishiilijalanjäljestä 715 g CO<sub>2</sub>e, kun taas sekalaisen kategorian hiilijalanjälki oli vain 1,77 % 64,4 g CO<sub>2</sub>e. Muiden pääkategorioiden osuus kokonaishiilijalanjäljestä oli alle 1 %:n. Taulukosta 5 nähdään hiilijalanjäljen muodostuminen, kun käytettiin kuljetusreittiä Rotterdamista Helsinkiin merirahtialuksella ja Helsingistä rekka-autolla Joensuuhun. Taulukossa 6 on taas kokonaishiilijalanjäljen muodostuminen, kun komponentit kuljetettiin Rotterdamista Joensuuhun rekka-autolla.



Kuva 11. Sensorin hiilijalanjäljen suurimmat tekijät cut-off 0,5 %.

| <b>Pääkategoria</b> | <b>Kg CO<sub>2</sub>e</b> | <b>Kok.hiilijalanjälki (%)</b> |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Enclosure           | 2,8                       | 77,08 %                        |
| Integrated circuits | 0,715                     | 19,68 %                        |
| Resistors           | 0,00247                   | 0,07 %                         |
| Capacitors          | -0,00279                  | -0,08 %                        |
| Inductors           | 0,0148                    | 0,41 %                         |
| Transistors         | 0,00235                   | 0,06 %                         |
| Diodes              | 0,00385                   | 0,11 %                         |
| Crystals            | 0,00376                   | 0,10 %                         |
| Miscellaneous       | 0,0644                    | 1,77 %                         |
| Mounting            | 0,0194                    | 0,53 %                         |
| Transport 1+2a      | 0,00919                   | 0,25 %                         |
| <b>Yhteensä</b>     | <b>3,63</b>               | <b>100 %</b>                   |

Taulukko 5. Sensorin kokonaishiilijalanjälki 1+2a.

| <b>Pääkategoria</b> | <b>Kg CO<sub>2</sub>e</b> | <b>Kok.hiilijalanjälki (%)</b> |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Enclosure           | 2,8                       | 76,76 %                        |
| Integrated circuits | 0,715                     | 19,60 %                        |
| Resistors           | 0,00247                   | 0,07 %                         |
| Capacitors          | -0,00279                  | -0,08 %                        |
| Inductors           | 0,0148                    | 0,41 %                         |
| Transistors         | 0,00235                   | 0,06 %                         |
| Diodes              | 0,00385                   | 0,11 %                         |
| Crystals            | 0,00376                   | 0,10 %                         |
| Miscellaneous       | 0,0644                    | 1,77 %                         |
| Mounting            | 0,0194                    | 0,53 %                         |
| Transport 1+2b      | 0,0244                    | 0,67 %                         |
| <b>Yhteensä</b>     | <b>3,65</b>               | <b>100 %</b>                   |

Taulukko 6. Sensorin kokonaishiilijalanjälki 1+2b.

Luvuissa 6.1.1 ja 6.1.2 on esitelty tarkemmin kahden suurimman pääkategorian hiilijalanjälkien muodostuminen. Luvussa 6.1.3 on esitelty muiden pääkategorioiden suurimmat tekijät hiilijalanjälkeen. Lisäksi kuljetusten selkeyttämisen vuoksi ne on käyty tarkemmin luvussa 6.1.4, vaikka kyseessä ei olekaan

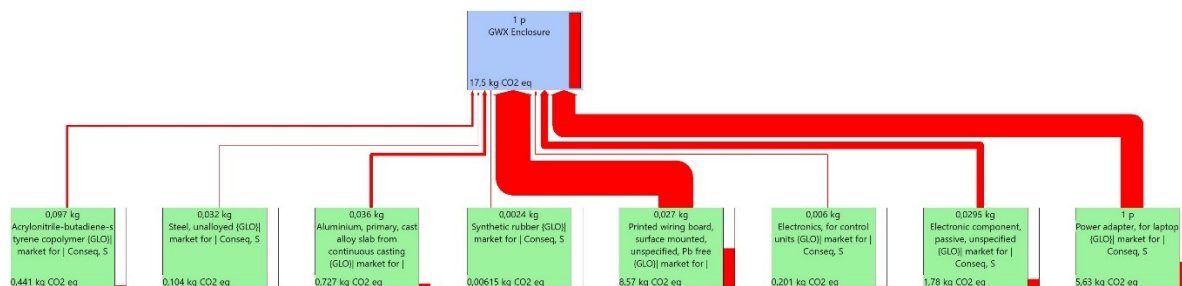
kokonaishiilijalanjäljen suurimpia tekijöitä. Myös juotoksen pääkategoria on eriteltynä luvussa 6.1.5.

### 6.1.1 Enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki

Tukiaseman enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki oli 17,5 kg CO<sub>2e</sub>. Tukiaseman kotelon pääkategoria koostui 8 alakategoriasta. Lähes puolet (48,97 %) tämän pääkategorian hiilijalanjäljistä muodostui tyhjän piirilevyn (printed wiring board, surface mounted) hiilijalanjäljistä, joka oli 8,57 kg CO<sub>2e</sub>. Toisena merkittävänä tekijänä oli virtalähde (power adapter), jonka hiilijalanjälki oli 5,63 kg CO<sub>2e</sub> 32,17 %:lla. Passiivisten elektroniikkakomponenttien (electronic component, passive) hiilijalanjäljistä muodostui 1,78 kg CO<sub>2e</sub>. Enclosure -pääkategorian hiilijalanjäljen muodostuminen on tarkemmin taulukossa 7 kokoonpanojen (assembly) osalta. Lisäksi kuvassa 12 on tämän pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.

| Kokoonpano                            | Kg CO <sub>2e</sub> | Kok.hiilijalanjälki (%) |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| <b>Enclosure</b>                      | 17,5                | 100 %                   |
| ABS-copolymer                         | 0,441               | 2,52 %                  |
| Steel, unalloyed                      | 0,104               | 0,59 %                  |
| Aluminium                             | 0,727               | 4,15 %                  |
| Synthetic rubber                      | 0,00615             | 0,04 %                  |
| Printed wiring board, surface mounted | 8,57                | 48,97 %                 |
| Electronics, for control units        | 0,201               | 1,15 %                  |
| Electronic component, passive         | 1,78                | 10,17 %                 |
| Power adapter, for laptop             | 5,63                | 32,17 %                 |

Taulukko 7. Tukiaseman enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki.



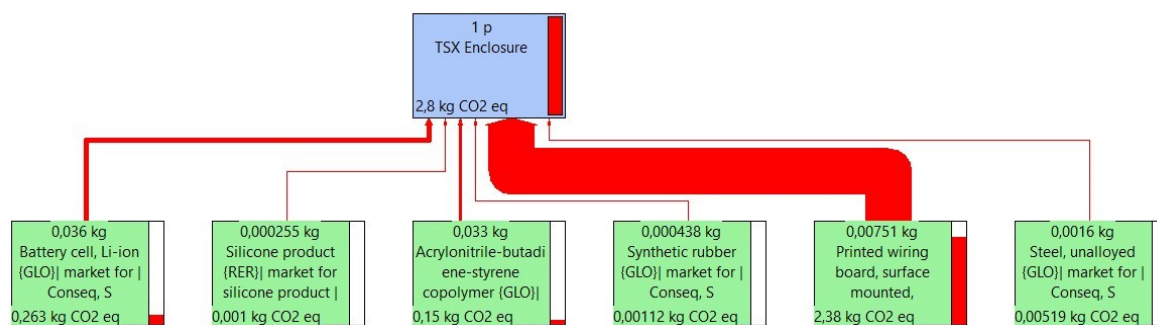
Kuva 12. Tukiaseman enclosure -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.

48,97 % tukiaseman enclosure -pääkategoriasta oli tyhjän piirilevyn hiilijalanjälkeä. Virtalähde muodosti 32,17 % pääkategoriasta. Passiivisista elektroniikka-komponenteista taas syntyi 10,17 % hiilijalanjäljestä. Alumiinin (aluminium) osuus oli 4,15 %. ABS-muovista (ABS-copolymer) muodosti 2,52 %, kun taas ohjausyksikkö (electronics, for control units) oli 1,15 %. Muiden enclosure -pääkategorian kokoonpanojen osuus oli alle 1 %:n.

Sensorin enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki saatiin 2,8 kg CO<sub>2</sub>e (kuva 13). Pääkategoria koostui 6 alakategoriasta. Suurin tämän pääkategorian hiilijalanjäljestä koostui tyhjän piirilevyn hiilijalanjäljestä, joka oli 2,38 kg CO<sub>2</sub>e. Lisäksi AA-paristojen (battery cell, Li-ion) ja ABS-muovin hiilijalanjälki oli merkittävässä osassa tämän pääkategorian hiilijalanjäljestä. Muiden alakategorioiden osuus hiilijalanjäljestä jäi alle 1 %:n. Tarkemmin sensorin enclosure -pääkategoria, ja sen muodostuminen on taulukossa 8.

| Kokoonpano                            | Kg CO <sub>2</sub> e | Kok.hiilijalanjälki (%) |
|---------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| <b>Enclosure</b>                      | 2,8                  | 100 %                   |
| Battery cell, Li-ion                  | 0,263                | 9,39 %                  |
| Silicone product                      | 0,001                | 0,04 %                  |
| ABS-copolymer                         | 0,15                 | 5,36 %                  |
| Synthetic rubber                      | 0,00112              | 0,04 %                  |
| Printed wiring board, surface mounted | 2,38                 | 85,00 %                 |
| Steel, unalloyed                      | 0,00519              | 0,19 %                  |

Taulukko 8. Sensorin enclosure -pääkategorian hiilijalanjälki.



Kuva 13. Sensorin enclosure -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.

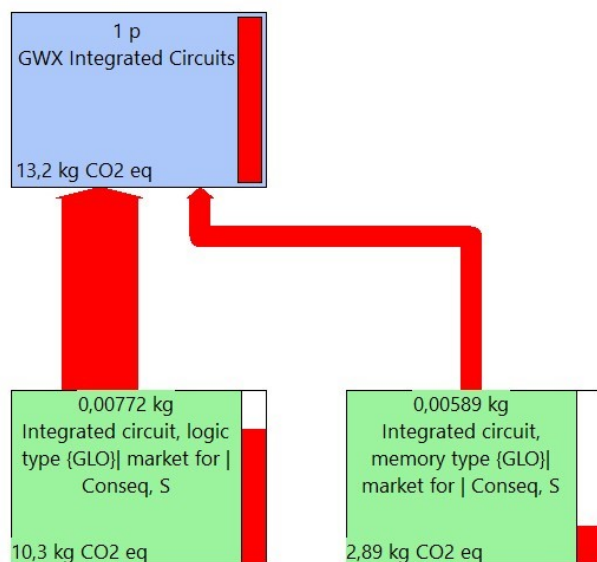
Sensorin enclosure -pääkategorian hiilijalanjäljestä 85 % muodostui tyhjästä piirilevystä. Seuraavaksi suurin osuus, 9,38 %, muodostui kahdesta AA-paristosta. 5,36 % pääkategorian hiilijalanjäljestä koostui ABS-muovista, josta sensorin kotelo on valmistettu. Muiden kokoonpanojen osuus hiilijalanjäljestä jäi alle 1 %:n.

### 6.1.2 Integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjälki

Tukiaseman integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjälki oli 13,2 kg CO<sub>2</sub>e (kuva 14). Tähän pääkategoriaan kuului kaksi kokoonpanoa toisin sanoen prosessia, jotka ovat logiikkatyypiset (integrated circuit, logic type) ja muistityypiset mikropiirit (integrated circuit, memory type). Logiikkatyypiset mikropiirit muodostivat 78,03 % pääkategorian hiilijalanjäljestä 10,3 kg CO<sub>2</sub>e. Taulukossa 9 esitetään pääkategorian hiilijalanjälki, ja sen kokoonpanojen muodostamat prosenttiosuudet.

| Kokoonpano                      | Kg CO <sub>2</sub> e | Pääkategorian hiilijalanjälki (%) |
|---------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| <b>Integrated circuits</b>      | 13,2                 | 100 %                             |
| Integrated circuit, logic type  | 10,3                 | 78,03 %                           |
| Integrated circuit, memory type | 2,89                 | 21,89 %                           |

Taulukko 9. Tukiaseman integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjälki.

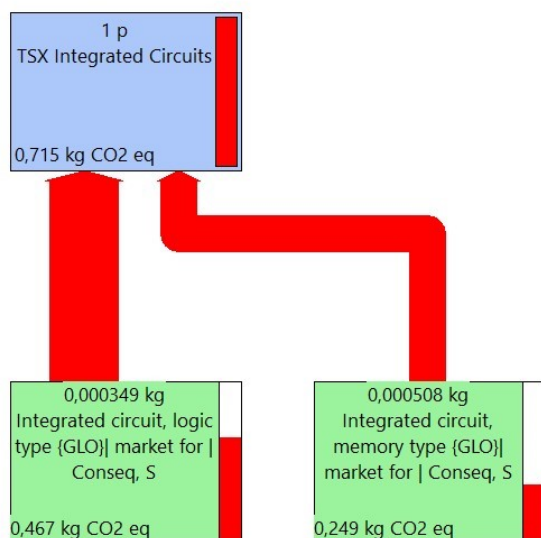


Kuva 14. Tukiaseman integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessikaavio.

Olosuhdesensorin saman pääkategorian hiilijalanjälki oli yhteensä 715 g CO<sub>2</sub>e. Myös sensorin pääkategoria koostui logiikkatyypisistä ja muistityypisistä mikropiireistä. Logiikkatyypisten mikropiirien hiilijalanjälki oli 467 g CO<sub>2</sub>e, mikä muodosti suurimman osan sensorin integrated circuits -pääkategoriasta. Taulukosta 10 nähdään mikropiirien hiilijalanjäljen muodostuminen. Lisäksi kuvassa 15 on prosessikaavio.

| Kokoonpano                      | Kg CO <sub>2</sub> e | Pääkategoria hiilijalanjälki (%) |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| <b>Integrated circuits</b>      | 0,715                | 100 %                            |
| Integrated circuit, logic type  | 0,467                | 65,31 %                          |
| Integrated circuit, memory type | 0,249                | 34,83 %                          |

Taulukko 10. Sensorin integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjälki.

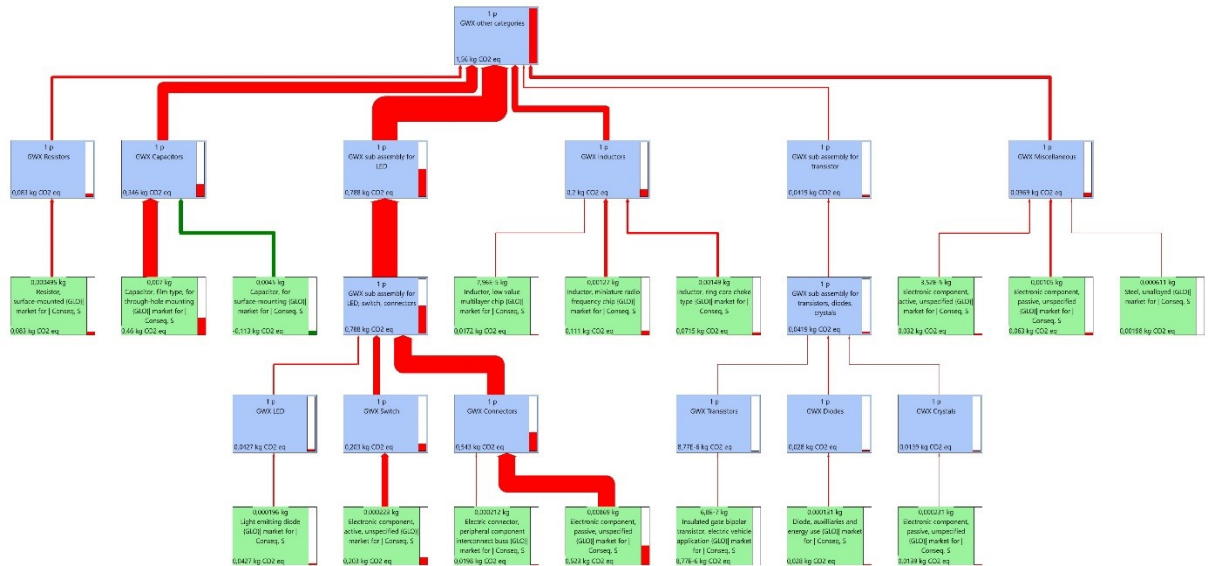


Kuva 15. Sensorin integrated circuits -pääkategorian hiilijalanjäljen prosessi-kaavio.

65,31 % sensorin integrated circuits -pääkategoriasta muodostui logiikkatyypistä mikropiireistä. 34,83 % hiilijalanjäljestä syntyi muistityyppisten mikropiirien hiilijalanjäljestä. Sekä tukiaseman että sensorin osalta voidaan yhtenäisesti, että logiikkatyypiset mikropiirit muodostivat suurimman osan tämän pääkategorian hiilijalanjäljestä.

### 6.1.3 Muiden pääkategorioiden hiilijalanjäljet

Tukiaseman muiden pääkategorioiden yhteenlaskettu hiilijalanjälki oli 1,557 kg CO<sub>2</sub>e. Näiden muiden kategorioiden hiilijalanjäljet ja prosessikaaviot ovat kuvassa 16.



Kuva 16. Tukiaseman other categories -pääkategorian hiilijalanjälki.

Tukiaseman resistors -pääkategoria koostui yhdestä kokoonpanosta, jossa oli pintaliitosvastukset (resistor, surface mounted). Hiilijalanjäljeksi vastuksille muodostui 83 g CO<sub>2</sub>e.

Capacitors -pääkategoriaan laitettiin muovifilmikondensaattorien (capacitor, film type, for through-hole mounting) ja pintaliitoskondensaattorien (capacitor, for surface mounting) kokoonpanot. Muovifilmikondensaattorien hiilijalanjälki oli 0,46 kg CO<sub>2</sub>e. Pintaliitoskondensaattorien hiilijalanjälki oli negatiivinen kierrätysmateriaalien ansiosta.

Inductors -pääkategoria koostui monikerrosinduktorien (inductor, low value multilayer chip) ja radiotaajuusinduktorien (inductor, miniature radio frequency chip) kokoonpanoista. Radiotaajuusinduktorien hiilijalanjälki oli 111 g CO<sub>2</sub>e, joka kattoi 86,58 % induktorien hiilijalanjäljestä. Yhteensä induktorien pääkategorian hiilijalanjäljeksi saatiin noin 128 g CO<sub>2</sub>e.

Transistors -pääkategorian hiilijalanjälki oli pienin ollessaan 8,77 mg CO<sub>2</sub>e. Pääkategoria koostui vain bipolaaritransistoreiden (insulated gate bipolar transistor) kokoonpanosta. Myös diodes -pääkategoria koostui vain yhdestä, diodien (diode, auxiliaries and energy use), kokoonpanosta. Diodien hiilijalanjäljeksi muodostui 28 g CO<sub>2</sub>e.

Crystals -pääkategorian hiilijalanjälki oli 13,9 g CO<sub>2e</sub>. Kristallit laitettiin passiivisten elektroniikkakomponenttien kokoonpanoihin.

Miscellaneous -pääkategorian hiilijalanjälki oli 96,98 g CO<sub>2e</sub>. Miscellaneous -pääkategoria eli sekalaisen komponenttien pääkategoria koostui passiivisten ja aktiivisten elektroniikkakomponenttien (electronic component, active) lisäksi raudan (steel, unalloyed) kokoonpanosta. Pääkategoriasta muodosti 64,96 % passiiviset elektroniikkakomponentit.

LED -pääkategoria koostui led-valon (light emitting diode) kokoonpanosta. Sen hiilijalanjäljeksi saatiin 42,7 g CO<sub>2e</sub>. Switch -pääkategoriassa oli kytkimen kokoonpano, johon sopivin prosessi löytyi aktiivisista elektroniikkakomponenteista. Kytkimen hiilijalanjäljeksi muodostui 203 g CO<sub>2e</sub>.

Connectors -pääkategorian hiilijalanjälki oli 542,8 g CO<sub>2e</sub>. Tämä pääkategoria koostui elektronisten liittimien (electronic connector, peripheral component interconnect buss) ja passiivisten elektroniikkakomponenttien kokoonpanoista. Passiiviset elektroniikkakomponentit muodostuivat liittinten pääkategoriasta 96,35 %, joka oli 523 g CO<sub>2e</sub>

Taulukosta 11 nähdään muiden kategorioiden hiilijalanjälkien muodostuminen prosenttiosuuksineen. Prosenttiosuudet laskettiin pääkategorian hiilijalanjäljestä.

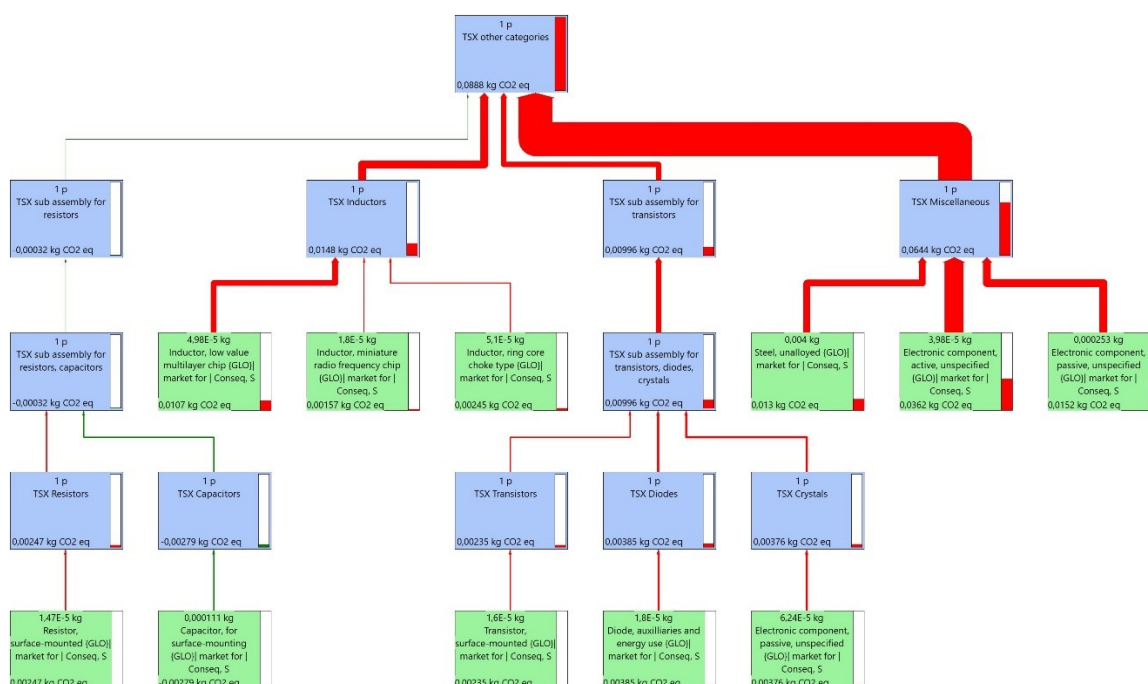
| <b>Kokoonpano</b>                               | <b>Kg CO<sub>2e</sub></b> | <b>Pääkategorian hiilijalanjälki (%)</b> |
|---|---------------------------|--|
| <b>Resistors</b>                                | 0,083                     | 100 %                                    |
| Resistor, surface mounted                       | 0,083                     | 100 %                                    |
| <b>Capacitors</b>                               | 0,347                     | 100 %                                    |
| Capacitor, film type, for through-hole mounting | 0,46                      | 132,56 %                                 |
| Capacitor, for surface-mounting                 | -0,113                    | -32,56 %                                 |

|  |            |         |
|--|------------|---------|
| <b>Inductors</b>   | 0,1282     | 100 %   |
| Inductor, low value multilayer chip                        | 0,0172     | 13,42 % |
| Inductor, miniature radio frequency chip                   | 0,111      | 86,58 % |
| <b>Transistors</b>   | 0,00000877 | 100 %   |
| Insulated gate bipolar transistor                          | 0,00000877 | 100 %   |
| <b>Diodes</b>  | 0,028      | 100 %   |
| Diode, auxiliaries and energy use                          | 0,028      | 100 %   |
| <b>Crystals</b>  |            |         |
| Electronic component, passive                              | 0,0139     | 100 %   |
| <b>Miscellaneous</b>                                       | 0,09698    |         |
| Electronic component, active                               | 0,032      | 33,00 % |
| Electronic component, passive                              | 0,063      | 64,96 % |
| Steel  | 0,00198    | 2,04 %  |
| <b>LED</b>   | 0,0427     | 100 %   |
| Light emitting diode                                       | 0,0427     | 100 %   |
| <b>Switch</b>  | 0,203      | 100 %   |
| Electronic component, active                               | 0,203      | 100 %   |
| <b>Connectors</b>  | 0,5428     | 100 %   |
| Electric connector, peripheral component interconnect buss | 0,0198     | 3,65 %  |
| Electronic component, passive                              | 0,523      | 96,35 % |

Taulukko 11. Muiden pääkategorioiden hiilijalanjäljet.

Tukiaseman muiden pääkategorioiden hiilijalanjäljestä suurimman muodosti connectors -pääkategoria eli liittimet. Lisäksi kondensaattoreiden eli capacitors -pääkategorian hiilijalanjälki oli 347 g CO<sub>2e</sub>.

Sensorin muiden kategorioiden yhteenlasketuksi hiilijalanjäljeksi saatiin 88,84 g CO<sub>2</sub>e. Niiden muodostumien prosessikaavioineen on kuvassa 17.



Kuva 17. Sensorin other categories -pääkategorian hiilijalanjälki.

Myös sensorin resistors -pääkategoria koostui ainoastaan pintaliitosvastusten kokoonpanosta. Vastusten hiilijalanjälkiekvivalentiksi saatiin 0,00247 kg CO<sub>2</sub>e eli 2,47 g CO<sub>2</sub>e. Capacitors -pääkategorian hiilijalanjälki oli negatiivinen. Syynä tähän oli kierrätysmateriaalien käyttö kondensaattorien valmistuksessa.

Inductors -pääkategoriassa oli kolmenlaisia induktoreja. 72,30 % tämän pääkategorian hiilijalanjäljestä muodosti monikerrosinduktorien kokoonpano, mikä oli 10,7 g CO<sub>2</sub>e. Radiotaajuusinduktorien kokoonpanon hiilijalanjälki oli 1,57 g CO<sub>2</sub>e ja kelainduktorien (inductor, ring core choke type) 2,45 g CO<sub>2</sub>e.

Transistors -pääkategorian hiilijalanjälki oli 2,35 g CO<sub>2</sub>e, ja se koostui vain pintaliitostransistorien kokoonpanoista. Diodes -pääkategoria koostui diodeista, ja niiden hiilijalanjälki oli 3,85 g CO<sub>2</sub>e. Myös crystals -pääkategoria koostui vain passiivisten elektroniikkakomponenttien kokoonpanoista. Kristallien hiilijalanjäljeksi saatiin 3,76 g CO<sub>2</sub>e.

Miscellaneous -pääkategorian hiilijalanjälki oli 64,4 g CO<sub>2</sub>e. Sekalaisista komponenteista koostuvassa pääkategoriassa oli raudan sekä passiivisten että aktiivisten elektroniikkakomponenttien kokoonpanot. 56,21 % tästä pääkategoriasta koostui aktiivisten elektroniikkakomponenttien kokoonpanon hiilijalanjäljestä, mutta sekin oli vain 36,2 g CO<sub>2</sub>e.

Taulukossa 12 nähdään sensorin muut pääkategoriat ja niiden kokoonpanot. Lisäksi taulukosta nähdään, kuinka suuren osan jokainen kokoonpano muodostaa pääkategoriasta.

| Kokoonpano                               | Kg CO <sub>2</sub> e | Pääkategorian hiilijalanjälki (%) |
|--|----------------------|-----------------------------------|
| <b>Resistors</b>                         | 0,00247              | 100 %                             |
| Resistor, surface mounted                | 0,00247              | 100 %                             |
| <b>Capacitors</b>                        | -0,00279             | 100 %                             |
| Capacitor, for surface-mounting          | -0,00279             | 100 %                             |
| <b>Inductors</b>                         | 0,0148               | 100 %                             |
| Inductor, low value multilayer chip      | 0,0107               | 72.30 %                           |
| Inductor, miniature radio frequency chip | 0,00157              | 10,61 %                           |
| Inductor, ring core choke type           | 0,00245              | 16,55 %                           |
| <b>Transistors</b>                       | 0,00235              | 100 %                             |
| Transistor, surface-mounted              | 0,00235              | 100 %                             |
| <b>Diodes</b>                            | 0,00385              | 100 %                             |
| Diode, auxiliaries and energy use        | 0,00385              | 100 %                             |
| <b>Crystals</b>                          | 0,00376              | 100 %                             |
| Electronic component, passive            | 0,00376              | 100 %                             |
| <b>Miscellaneous</b>                     | 0,0644               | 100 %                             |
| Steel, unalloyed                         | 0,013                | 20,19 %                           |
| Electronic component, active             | 0,0362               | 56,21 %                           |
| Electronic component, passive            | 0,0152               | 23,60 %                           |

Taulukko 12. Sensorin muiden pääkategorioiden hiilijalanjälki.

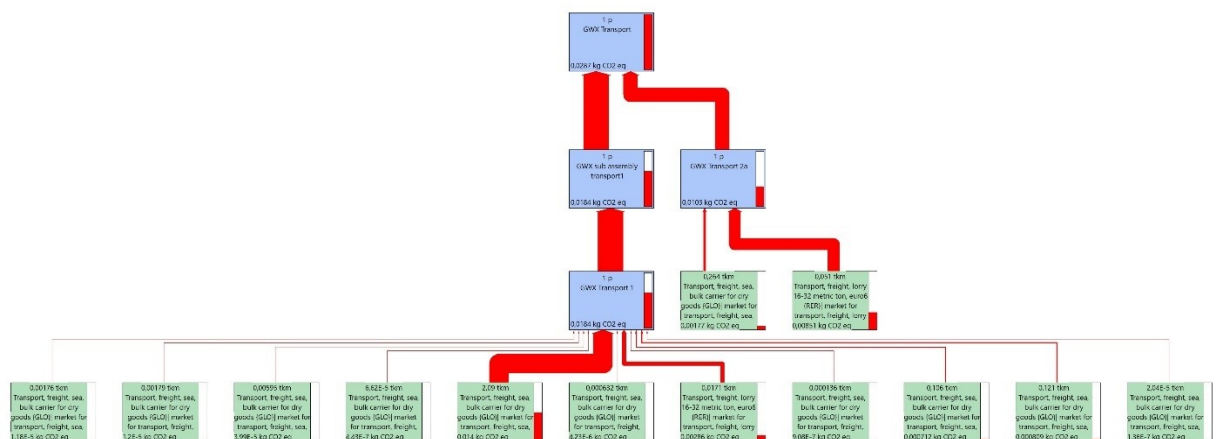
Sekalaisten komponenttien hiilijalanjälki oli muista pääkategorioista suurin. Sen jälkeen toiseksi suurin pääkategoria oli induktorien kokoonpanoista muodostuva

kategoria. Kuitenkin suhteessa koko sensorin hiilijalanjälkeen, näiden kaikkien muiden pääkategorioiden hiilijalanjälki oli vain pienen osan.

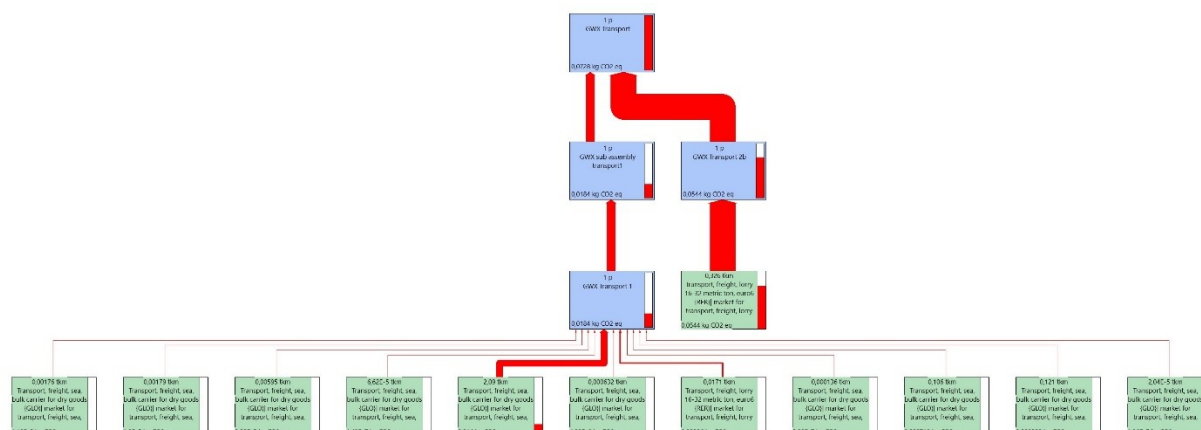
#### 6.1.4 Kuljetusten hiilijalanjälki

Kaikki komponentit kuljetettiin ensin Rotterdamin satamaan, mitä ilmentää transport 1. Ensimmäisen kuljetusprosessin hiilijalanjäljestä muodosti suurimman osan Japanista kuljetetut komponentit. Lisäksi toinen suuri tekijä oli Itävalasta suoraan Joensuuhun rekalla tuodut komponentit. Kuljetusprosessit merkittiin erikseen koskemaan jokaista valmistusmaata.

Transport 2a sisälsi kuljetukset merirahtialuksella ensin Rotterdamista Helsinkiin ja Helsingistä rekka-autolla Joensuuhun. Transport 2b taas sisälsi kuljetuksen suoraan Rotterdamista Joensuuhun rekka-autolla. Kuljetus rekka-autolla päätepisteeseen asti aiheutti suuremmat hiilidioksidipäästöt. Kyseessä ei kuitenkaan ollut merkittävä ero. Kuvassa 18 ja 19 on tukiaseman komponenttien kuljetusprosessien hiilijalanjäljet.



Kuva 18. Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki 1+2a.



Kuva 19. Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki 1+2b.

Kuljetusreitti valmistusmaista Rotterdamin kautta Helsinkiin merirahtialuksella, ja sieltä rekka-autolle Joensuuhun muodosti yhteensä 28,7 g:n CO<sub>2e</sub>:n päästöt. Hieman suuremman osan päästöistä muodosti kuljetukset valmistusmaista Rotterdamiin kuin jatkokuljetukset Helsingin kautta Joensuuhun.

Kuljetusreitti valmistusmaista Rotterdamiin, ja sieltä rekka-autolla Joensuuhun muodosti 72,8 g:n CO<sub>2e</sub>:n päästöt. Suurin osa päästöistä, 54,4 g CO<sub>2e</sub>, muodostui rekka-autokuljetuksesta Rotterdamista Joensuuhun.

Taulukosta 13 nähdään tarkemmin kuljetusten muodostuminen ja valmistusmaat transport 1 prosessin osalta. Prosenttiosuudet laskettiin transport 1:n hiilijalanjäljestä eli 18,45 g CO<sub>2e</sub>. Suurimman osan (75,88 %) kuljetusreittein hiilijalanjäljestä muodosti Japanista ja Itävallasta tulevat komponentit. Huomioitavaa on, että Itävallasta tulevat komponentit oli kuljetettu suoraan Itävallasta Joensuuhun rekalla. Muita merkittäviä hiilijalanjälkeen vaikuttavia kuljetuksia olivat Los Angelesista ja Kiinasta kuljetetut komponentit. Yhteensä tukiaseman komponenttien kuljetusten hiilijalanjälki valmistusmaista Rotterdamiin oli noin 18,5 g CO<sub>2e</sub>.

| Kuljetusreitti 1              | Kg CO <sub>2e</sub> | Kuljetusreitti 1:n<br>kok.hiilijalanjälki (%) |
|-------------------------------|---------------------|---|
| From Malaysia to Rotterdam    | 0,000011800         | 0,064 %                                       |
| From Philippines to Rotterdam | 0,000012000         | 0,065 %                                       |
| From Taiwan to Rotterdam      | 0,000039900         | 0,22 %  |

|                               |             |           |
|-------------------------------|-------------|-----------|
| From Thailand to Rotterdam    | 0,000000443 | 0,0024 %  |
| From Japan to Rotterdam       | 0,014000000 | 75,88 %   |
| From Mexico to Rotterdam      | 0,000004230 | 0,023 %   |
| From Austria to Joensuu       | 0,002860000 | 15,50 %   |
| From Israel to Rotterdam      | 0,000000908 | 0,0049 %  |
| From China to Rotterdam       | 0,000712000 | 3,86 %    |
| From Los Angeles to Rotterdam | 0,000809000 | 4,38 %    |
| From Germany to Rotterdam     | 0,000000136 | 0,00074 % |
| Yhteensä                      | 0,018450417 | 100 %     |

Taulukko 13. Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki transport 1.

Taulukossa 14 on transport 2a:n ja 2b:n hiilijalanjälki. Kuljetusten kokonaishiilijalanjäljen prosenttiosuus laskettiin sisältäen sekä transport 1:n että 2a:n tai b:n yhteenlaskettu hiilijalanjälki. Transport 2a hiilijalanjäljen prosenttiosuus laskettiin siis 0,02875 kg CO<sub>2e</sub>, ja transport 2b:n 0,07285 kg CO<sub>2e</sub>.

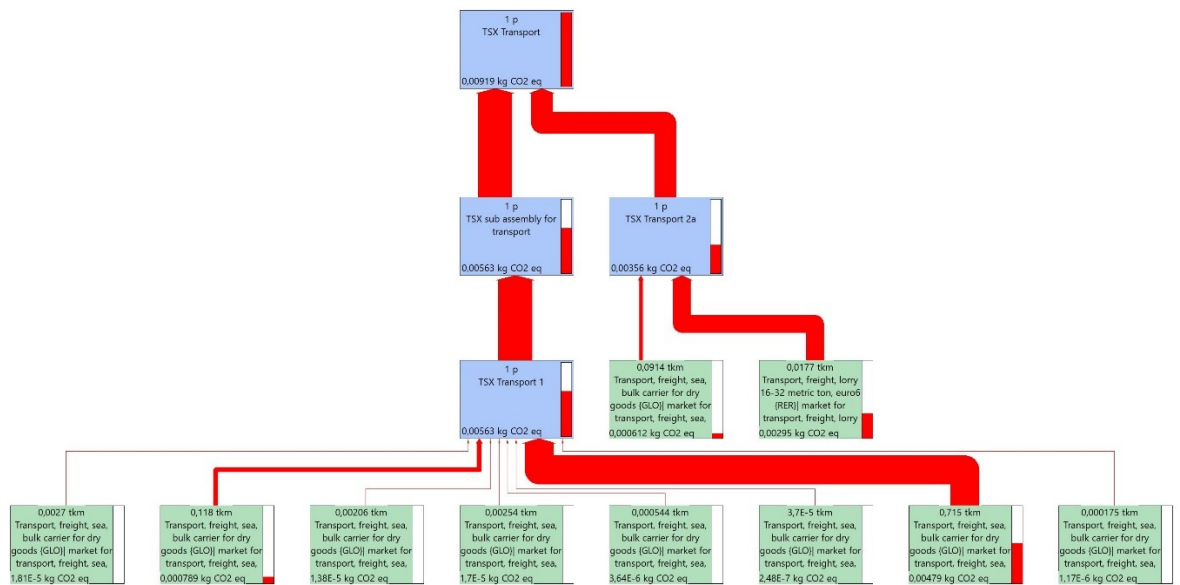
| Kuljetusreitti   | Kg CO <sub>2e</sub> | Kuljetusten kok.hiilijalanjälki (%) |
|--|---------------------|-------------------------------------|
| From Rotterdam to Helsinki by sea freight and from Helsinki to Joensuu by lorry 2a | 0,0103              | 35,8 %                              |
| From Rotterdam to Joensuu by lorry 2b  | 0,0544              | 74,7 %                              |
| Yhteensä 1+2a  | 0,02875             | 100 %                               |
| Yhteensä 1+2b  | 0,07285             | 100 %                               |

Taulukko 14. Tukiaseman kuljetusten hiilijalanjälki transport 2a ja 2b.

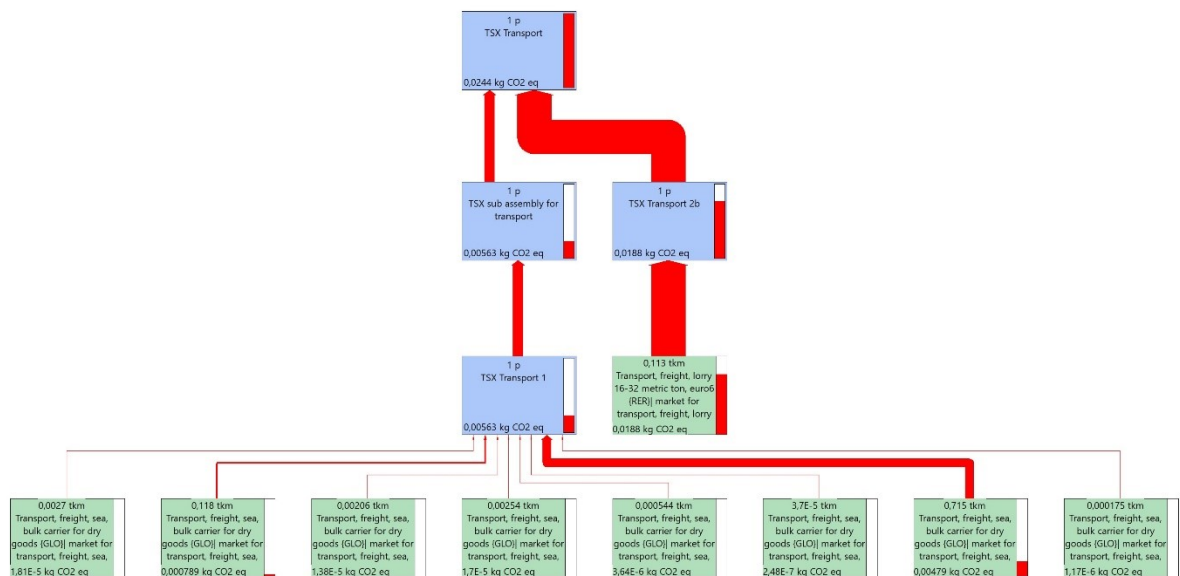
Eroa kuljetusreittien 2a ja 2b hiilijalanjäljessä oli vain alle 45 g CO<sub>2e</sub>. Kuitenkin kuljetusten kokonaishiilijalanjäljen ollessa niin pieni 44,1 g:n ero oli prosentuaalisesti 74,4 % kuljetusten kokonaishiilijalanjäljestä.

Kuvat 20 ja 21 esittävät olosuhdesensorin kuljetusten prosesseja. Tukiaseman tavoin myös sensorin komponentit kuljetettiin ensin valmistusmaista Rotterdamiin, minkä jälkeen ne kuljetettiin joko merirahtialuksella Helsinkiin ja siitä rekka-autolla Joensuuhun tai suoraan Rotterdamista Joensuuhun rekka-autolla. Suurempi hiilijalanjälki muodostui, kun komponentit kuljetettiin suoraan

Rotterdamın satamasta suorinta tietä rekka-autolla Joensuuhun. Kuitenkin kuljetusreitit ja -tavan valinnalla erot hiilijalanjäljessä olivat hyvin pieniä, ja erityisesti tarkasteltaessa kokonaishiilijalanjälkeä kuljetusten osuus oli hyvin pieni. Myös sensorin kohdalla suurimmat päästöt muodostuivat Japanista tulevista komponenteista.



Kuva 20. Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki 1+2a.



Kuva 21. Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki 1+2b.

Taulukossa 15 nähdään tarkemmin kuljetusten muodostuminen sekä valmistusmaat transport 1 prosessin osalta. Prosenttiosuudet laskettiin transport 1:n

hiilijalanjäljestä eli 5,633 g CO<sub>2e</sub>. Japanista ja Los Angelesista tulevat komponentit muodostivat suurimman osan kuljetusten hiilijalanjäljestä.

| <b>Kuljetusreitti 1</b>       | <b>Kg CO<sub>2e</sub></b> | <b>Kuljetusreitti 1:n<br/>kok.hiilijalanjälki (%)</b> |
|-------------------------------|---------------------------|---|
| From Philippines to Rotterdam | 0,0000181                 | 0,32 %  |
| From Los Angeles to Rotterdam | 0,000789                  | 14,01 %   |
| From Malaysia to Rotterdam    | 0,0000138                 | 0,24 %  |
| From China to Rotterdam       | 0,0000170                 | 0,30 %  |
| From Taiwan to Rotterdam      | 0,00000364                | 0,065 %   |
| From Israel to Rotterdam      | 0,000000248               | 0,0044 %  |
| From Japan to Rotterdam       | 0,00479                   | 85,04 %   |
| From Mexico to Rotterdam      | 0,00000117                | 0,021 %   |
| Yhteensä                      | 0,0056330                 | 100 %   |

Taulukko 15. Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki transport 1.

Taulukossa 16 on esitelty transport 2a:n ja 2b:n hiilijalanjälki. Kuljetusten kokonaishiilijalanjäljen prosenttiosuus laskettiin sisältäen sekä transport 1:n että 2a:n tai b:n yhteenlaskettu hiilijalanjälki. Näin ollen 2a hiilijalanjäljen prosenttiosuus laskettiin 9,193 g CO<sub>2e</sub> ja ja 2b:n 24,433 g CO<sub>2e</sub>.

| <b>Kuljetusreitti</b>   | <b>Kg CO<sub>2e</sub></b> | <b>Kuljetusten<br/>kok.hiilijalanjälki<br/>(%)</b> |
|---|---------------------------|--|
| From Rotterdam to Helsinki by sea freight<br>and from Helsinki to Joensuu by lorry 2a | 0,00356                   | 38,7 %   |
| From Rotterdam to Joensuu by lorry 2b   | 0,0188                    | 76,9 %   |
| Yhteensä 1+2a   | 0,009193                  | 100 %  |
| Yhteensä 1+2b   | 0,024433                  | 100 %  |

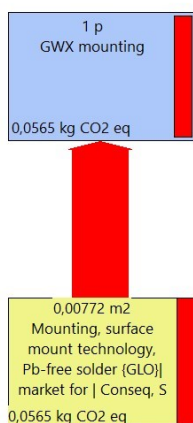
Taulukko 16. Sensorin kuljetusten hiilijalanjälki 2a ja 2b.

Taulukosta nähdään, että kuljetusten hiilijalanjälkeä saatiin pienennettyä huomattavasti, kun kuljetettiin komponentit Helsingin kautta Joensuuhun. Rekka-autolla

komponenttien kuljettaminen suoraan Joensuuhun muodosti 76,9 % kuljetusten kokonaishiilijalanjäljestä, vaikka eroa oli vain 15,24 g CO<sub>2</sub>e.

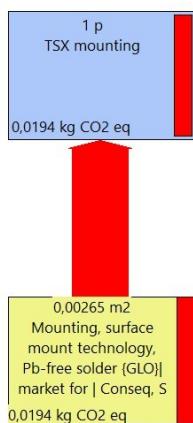
### 6.1.5 Mounting -pääkategorian hiilijalanjälki

Mounting -pääkategoria koostui ainoastaan juotosprosessista. Tukiaseman juotosprosessin hiilijalanjäljeksi saatiin 56,5 g CO<sub>2</sub>e (kuva 22).



Kuva 22. Tukiaseman mounting -pääkategorian hiilijalanjälki.

Myös sensorin osalta mounting -pääkategoria koostui juotosprosessista. Sensorin juotoksen hiilijalanjälki oli 19,4 g CO<sub>2</sub>e. Kuva 23 esittää sensorin juotosprosessin hiilijalanjäljen.

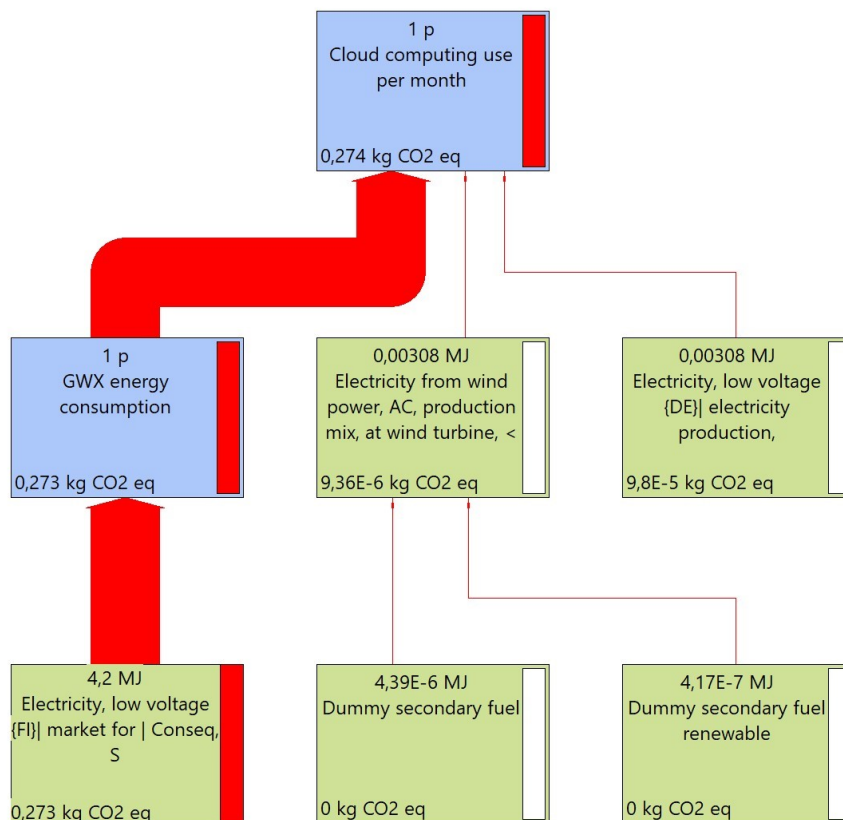


Kuva 23. Sensorin mounting -pääkategorian hiilijalanjälki.

Tukiaseman ja sensorin juotosprosessit muodostivat vain murto-osan kokonaishiilijalanjäljestä. Prosentuaalisesti koko tukiaseman hiilijalanjäljestä juotosprosessin osuus oli 0,17 % kuljetusreitistä huolimatta. Sensorin osalta juotosprosessin hiilijalanjäljeksi saatiin 0,53 % kokonaishiilijalanjäljestä molemmilla kuljetusreiteillä.

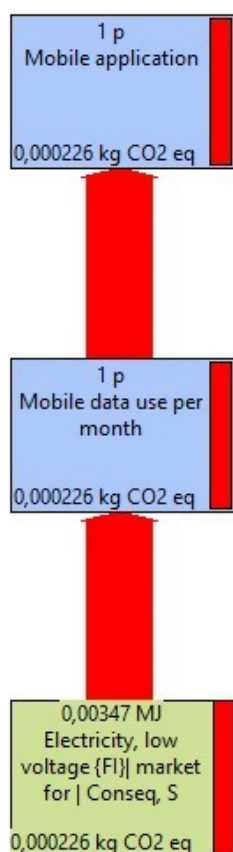
## 6.2 Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjälki

Pilvipalvelun käytön aikainen hiilijalanjälki kuukauden ajalta oli 274 g CO<sub>2</sub>e SiimaPron mukaan. Kuitenkin desimaaliluvuilla laskettaessa hiilijalanjäljeksi saatiin 273 g CO<sub>2</sub>e. Suurimman osan hiilijalanjäljestä muodosti tukiaseman energiankulutus. Kun energiaprosesseina käytettiin uusiutuvaa energiaa, ei niistä muodostunut huomattavia päästöjä. Kuvassa 25 nähdään pilvipalvelun käytön aikaisen hiilijalanjäljen muodostuminen.



Kuva 24. Pilvipalvelun datan käytön hiilijalanjälki kuukaudessa.

Mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälki kuukaudessa oli 226 mg CO<sub>2</sub>e. Kuvasta 25 nähdään hiilijalanjäljen prosessikaavio, joka koostui suomalaisen sähkön hiilijalanjäljestä. Lisäksi taulukossa 17 on laskettuna pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjäljen prosenttiosuudet digitaalisten palveluiden hiilijalanjäljestä. Yhteensä pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön aikaisen energiankulutuksen hiilijalanjäljeksi saatiin 274 g CO<sub>2</sub>e.



Kuva 25. Mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälki kuukaudessa.

| Kokoonpanot                   | Kg CO <sub>2</sub> e | Digitaalisten palveluiden kok.hiilijalanjälki (%) |
|-------------------------------|----------------------|---|
| <b>Cloud computing</b>        | 0,273                | 99,83 %   |
| Electricity, low voltage (FI) | 0,273                | 99,80 %   |
| Electricity from wind power   | 0,00000936           | 0,0034 %  |
| Electricity, photovoltaic     | 0,00009800           | 0,0036 %  |
| <b>Mobile application</b>     | 0,000226             | 0,083 %   |
| Electricity, low voltage (FI) | 0,000226             | 0,083 %   |
| <b>Yhteensä</b>               | <b>0,274</b>         | <b>100 %</b>                                      |

Taulukko 17. Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjälki.

Vertailtaessa pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjälkeä huomattiin, että pilvipalvelun hiilijalanjälki oli paljon suurempi, ja se muodosti 99,83 % digitaalisten palveluiden hiilijalanjäljestä. Toisaalta pilvipalvelun hiilijalanjäljestä muodosti suurimman osan tukiaseman energiankulutus, ja siihen valittu keskimääräinen suomalaisen sähkön prosessi.

## 7 Pohdinta

### 7.1 Tulosten tulkinta

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset liittyivät tuotejärjestelmän hiilijalanjälkeen, ja siihen, kuinka suuren osan digitaaliset palvelut muodostavat tästä hiilijalanjäljestä. Yhteensä tämän tuotejärjestelmän hiilijalanjäljeksi muodostui 36,2 kg CO<sub>2</sub>e.

Olennaisin tieto tukiaseman ja sensorin elinkaarianalyysin tuloksista oli se, että suurimman osan niiden hiilijalanjäljestä muodosti mikropiirit. Erityisesti vertailtaessa logiikka- ja muistityyppisiä mikropiirejä, havaitaan, että logiikkatyyppisten mikropiirien hiilijalanjälki oli suurempi, vaikka sensorissa oli vähemmän massaltaan logiikkatyyppisiä mikropiirejä. Logiikkatyyppisten mikropiirien valmistus vaatii enemmän sähköä ja kultaa, mistä suurempi hiilijalanjälki johtui. Lisäksi logiikkatyyppisissä mikropiireissä on piikiekkaja, joiden hiilijalanjälki on suuri. Muistityyppisten mikropiirien valmistuksessa taas lämmitystä tarvitaan enemmän. Liitteissä 7 ja 8 on logiikka- ja muistityyppisten mikropiirien prosessikaavioiden hiilijalanjäljen suurimmat tekijät.

Myös tyhjä piirilevy muodosti merkittävän osan hiilijalanjäljestä tarkasteltaessa tukiasemaa ja sensoria. Piirilevyt sisältävät paljon metalleja, joten ympäristön kannalta niiden kierrätys olisi hyvin tärkeää, jotta piirilevyjen sisältämät raaka-aineet saataisiin uusiokäyttöön, eivätkä ne päätyisi vain kaatopaikalle elinkaarren lopussa. Lisäksi raaka-aineiden prosessointi vaatii paljon sähköä, jolloin

hiilijalanjälkeä saataisiin pienemmäksi käyttämällä uusiutuvaa energiaa. Kun tarkastellaan yksikköprosessina piirilevyn hiilijalanjäljen muodostumista, havaitaan, että sen hiilijalanjälki koostui lähes 50 % sähköstä. Muita merkittäviä tekijöitä piirilevyn hiilijalanjäljessä olivat valmistetut piikiekot mikropiirissä sekä kulta, ja sen kaivaminen ja jalostus. Liitteessä 9 on piirilevyn yksikköprosessikaavio, jossa näkyvät suurimmat hiilijalanjäljen tekijät.

Lisäksi tärkeä huomio on se, että tukiaseman hiilijalanjälki oli yli 8-kertainen sensorin hiilijalanjälkeen verrattuna, eikä sensorin kokonaishiilijalanjälki ollut merkittävän suuri ollessaan alle 3,7 kg CO<sub>2</sub>e. Sensori ja tukiasema sisälsivät keskenään erilaisia komponentteja, mutta kuitenkin molempien hiilijalanjäljestä muodostivat suurimman osan samat komponentit. Toisaalta taas esimerkiksi virtalähteen kohdalla käytettäessä kannettavan tietokoneen virtalähdettä, voidaan arvioida hiilijalanjäljen olevan hieman pienempi todellisuudessa tämän komponentin osalta. Liitteessä 10 on tässä työssä käytetyn virtalähteen hiilijalanjälki. Esimerkiksi kaapelit ovat pidempiä ja paksumpia, ja tukiaseman virtalähde oli todellisuudessa RoHS-sertifikaatin mukainen, joten raskasmetallien määrä on pienempi verrattuna kannettavan tietokoneen virtalähteeseen (Digikey 2022). Lisäksi kannettavan tietokoneen virtalähde oli painavampi.

Kondensaattoreiden hiilijalanjälkeä analysoidessa huomattiin, että sensorin kohdalla sen hiilijalanjälki oli negatiivinen. Tulevaisuudessa näihin elinkaarianalyysien kaavioihin saadaan toivottavasti vielä enemmän vihreitä nuolia eli negatiivisia hiilijalanjälkiä, jolloin voidaan todeta, että elektroniikkakomponenttien kierrätysjärjestelmät ovat kehittyneet, ja kierrätysmateriaaleja hyödynnetään paremmin.

Vaikka kuljetusten osuus hiilijalanjäljestä oli kummallakin kuljetusreitillä vain murto-osan hiilijalanjäljestä, saatiin hiilijalanjälkeä pienemmäksi, kun kuljetettiin komponentit Rotterdamista Helsinkiin merirahtialuksella, ja Helsingistä jatkettiin rekka-autolla Joensuuhun asti. Toisaalta, kun huomattiin, että kuljetusten hiilijalanjälki oli vain murto-osan tuotteen valmistukseen nähden, voidaan ainakin näiden tuotteiden kohdalla ajatella, ettei välttämättä komponenttien kuljetus kauko- maista olekaan niin paha. On kuitenkin muistettava se, ettei valmistusmaita

saatu selville kaikkien komponenttien osalta ja juuri painavimpien komponenttien valmistusmaat jäivät epäselväksi. Lisäksi SimaProsta valittiin rekka-autojen osalta pienin päästöluokitus eli EURO6, joka pienentää päästöjä.

Pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjäljestä suurimman osan muodosti tukiaseman energiankulutus. Kuten todettua myös tietoperustassa hiilijalanjälkeä saataisiin pienemmäksi tukiaseman käytön osalta, jos käytettäisiin uusiutuvaa energiaa. Samaa tulkintaa tukee myös pilvipalvelun uusiutuvan energian käytön olemattomat hiilijalanjäljet. Toisaalta mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälki oli vain murto-osan koko tuotejärjestelmän hiilijalanjäljestä, ja mobiilisovelluksen datan käytöstä suuren osan muodosti kiinteä peruskulutus. Sen pohjalta usean sensorin liittäminen ei kasvata mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälkeä merkittävästi, jos sensoreita ei lisätä kuitenkaan satoja kappaleita. On tärkeää kuitenkin muistaa, että todellisuudessa pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen dataliikenne voi olla tai on monimutkaisempaa, ja internetyhteyden vaihdellessa datamäärät helposti kasvavat (Okkonen 2022; Kettunen 2022).

Yhteensä tukiasemasta, sensorista, pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön aikainen hiilijalanjälki oli 36,2 kg CO<sub>2</sub>e kummalla tahansa kuljetusreitillä. Toinen tutkimuskysymys käsitteli digitaalisten palveluiden osuutta hiilijalanjäljestä. Prosentuaalisesti pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön aikainen hiilijalanjälki kuukaudessa oli vain noin 0,75 % koko tuotejärjestelmän hiilijalanjäljestä. Tukiaseman osuus hiilijalanjäljestä taas oli 89,2 % ja sensorin 10 % kummalla tahansa kuljetusreitillä. Taulukosta 18 nähdään kokonaishiilijalanjäljen prosenttiosuuksien laskut kuljetusten tuomat erot huomioiden.

| <b>Tuote/palvelu</b>                                   | <b>Kg CO<sub>2</sub>e</b> | <b>Kok.hiilijalanjälki (%)</b> | <b>Kg CO<sub>2</sub>e</b> | <b>Kok.hiilijalanjälki (%)</b> |
|--|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Sensorin hiilijalanjälki                               | 3,63                      | 10,0 %                         | 3,65                      | 10,0 %                         |
| Tukiaseman hiilijalanjälki                             | 32,3                      | 89,2 %                         | 32,4                      | 89,2 %                         |
| Pilvipalvelun datan käytön hiilijalanjälki kuukaudessa | 0,273                     | 0,75 %                         | 0,273                     | 0,75 %                         |

|  |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälki kaudessa | 0,000226 | 0,0006 % | 0,000226 | 0,0006 % |
| Yhteensä   | 36,20    | 100 %    | 36,32    | 100 %    |

Taulukko 18. Kokonaishiilijalanjäljen prosenttiosuudet ja hiilijalanjäljet.

Lisäksi tärkeä huomio on se, että yhdessä pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen datan käytön hiilijalanjälki vastasi sensorin ja tukiaseman hiilijalanjälkeä reilussa 11 vuodessa. Myös tämä tukee väitettä, että infrastruktuuri muodostaa suuremman osan hiilijalanjäljestä kuin käytön aikaiset päästöt. Taulukosta 19 taas nähdään digitaalisten osien hiilijalanjäljen muodostuminen vuosien kuluessa.

|  | 1 kk    | 1 vuosi | 10 vuotta | 11 vuotta |
|--|---------|---------|-----------|-----------|
| Pilvipalvelun datan käytön hiilijalanjälki kg CO <sub>2e</sub>               | 0,273   | 3,276   | 32,76     | 36,04     |
| Mobiilisovelluksen datan käytön aikainen hiilijalanjälki kg CO <sub>2e</sub> | 0,00023 | 0,0027  | 0,027     | 0,030     |
| Yhteensä kg CO <sub>2e</sub>   | 0,273   | 3,27    | 32,79     | 36,07     |

Taulukko 19. Digitaalisten osien hiilijalanjäljen muodostuminen eri ajanjaksoilla.

Tuloksia on hieman hankala verrata, koska aiheena digitaalisten palveluihin elinkaarianalyysi on hyvinkin uusi aihe. Sensorin tai tukiaseman osalta ei löytynyt samankaltaisia hiilijalanjäljen laskelmia, joten luvuista tehtiin helpommin verrattavia. Verrattuna esimerkiksi Suomen henkilöauton hiilidioksidipäästöihin, jotka olivat vuoden 2021 lopussa keskimäärin 147,1 g/km, voidaan todeta, että tuotejärjestelmän hiilijalanjälki tuotti 246 kilometrin hiilidioksidipäästöt henkilöautolla (Liikennefakta 2022).

Toinen yleinen vertauskohde on sähköntuotanto. Keskimäärin suomalaisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästökerroin on 131 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Motiva 2022). Näin ollen tuotejärjestelmän kokonaishiilijalanjälki oli yhtä suuri kuin sähköä tuotettiin 276 kWh. On kuitenkin muistettava, että sähköntuotannon ja henkilöautojen päästöarvot kuvaavat vain hiilidioksidipäästöjä, eikä kaikkia

kasvihuonekaasuja. Taulukosta 20 nähdään sähköntuotannon ja henkilöauton päästöjen vertauslaskelmat.

|  |              |                         |
|--|--------------|-------------------------|
| Henkilöauton hiilidioksidipäästöt Suomessa | 0,1471       | Kg CO <sub>2</sub> /km  |
| Tuotejärjestelmän hiilijalanjälki          | 36,2         | Kg CO <sub>2</sub> e    |
| <b>Vastaa henkilöautolla</b>               | <b>246,1</b> | <b>Km</b>               |
| Sähköntuotannon hiilidioksidipäästökerroin | 131          | Kg CO <sub>2</sub> /MWh |
| Tuotejärjestelmän hiilijalanjälki          | 36,2         | Kg CO <sub>2</sub> e    |
| <b>Vastaa sähköntuotantoa</b>              | <b>276,3</b> | <b>KWh</b>              |

Taulukko 20. Hiilijalanjäljen vertauslaskelmat.

Tuotejärjestelmän digitaalisten palveluiden datan käytön hiilijalanjälki kuukaudessa oli noin 273 g CO<sub>2</sub>e. Yhden sähköpostin hiilijalanjälki on 4 g CO<sub>2</sub>e ilman liitteitä (eCO<sub>2</sub> Greetings 2021). Voidaan siis arvioida, että mobiilisovelluksen ja pilvipalvelun datan käytön aiheuttama hiilijalanjälki vastasi noin 68 sähköpostiviestiä. Verrattaessa hiilijalanjälkeä videoiden suoratoistoon Netflix-suoratoistopalvelussa laskujen mukaan hiilijalanjälki vastaa lähes 5 tunnin suoratoistoa, kun yksi tunti Netflixin katselua tuottaa noin 55 g CO<sub>2</sub>e Euroopassa (Steward & Schien 2021). Laskelmat nähdään taulukosta 21 sähköpostien ja suoratoiston osalta.

|   |              |                            |
|---|--------------|----------------------------|
| Yhden sähköpostin hiilijalanjälki                           | 0,004        | Kg CO <sub>2</sub> e       |
| Tuotejärjestelmän digitaalisten palveluiden hiilijalanjälki | 0,2736       | Kg CO <sub>2</sub> e/kk    |
| <b>Vastaa sähköposteja</b>                                  | <b>68,39</b> | <b>Sähköpostia</b>         |
| Netflix-suoratoiston hiilijalanjälki Euroopassa             | 0,055        | Kg CO <sub>2</sub> e/tunti |
| Tuotejärjestelmän digitaalisten palveluiden hiilijalanjälki | 0,2736       | Kg CO <sub>2</sub> e/kk    |
| <b>Vastaa suoratoistoa Netflixissä</b>                      | <b>4,97</b>  | <b>Tuntia</b>              |

Taulukko 21. Sähköpostin lähetyksen ja Netflixin suoratoiston päästöjen vertaus.

Opinnäytetyössä saatiin tuloksia, jotka ovat tavoitteen ja soveltamisalan mukaisia. Sensorin ja tukiaseman hiilijalanjälki selvitettiin rajoitusten ja järjestelmien rajojen mukaan mahdollisimman tarkasti. Samoin toimittiin pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen käytön osalta. Tulokset esitettiin lukijalle niin selkeästi kuin mahdollista huomioiden kuitenkin salassapitosopimus, joka esti esimerkiksi komponenttilistojen ja tarkkojen datatietojen esittämisen inventaariotiedoissa.

Epäselvyyksien ja virheiden välttämiseksi inventaariotietoja varmistettiin toimeksiantajalta. Näiden tietojen pohjalta tukiaseman ja sensorin komponenttilistojen massoihin ja materiaaleihin saatiin tarkennuksia. Myös datatietojen osalta laskujen oikeellisuus varmistettiin toimeksiantajalta. Resurssien pohjalta aineistoa käsiteltiin niin huolellisesti kuin mahdollista. Esimerkiksi SimaProhon syötetyt tiedot tarkistettiin inventaariotiedoista. Lisäksi laskennan luotettavuutta lisää toimeksiantajalta saatujen komponenttilistojen ja tietojen uutuus sekä ajankohtaisuus. Myös netistä otettujen tietojen lähteenä käytettiin maailmanlaajuisen jakeilijan tietoja niin pitkälle kuin mahdollista. Samojen lähtötietojen avulla samanlaisen elinkaarianalyysin tekeminen on siis täysin mahdollista.

Sensorin ja tukiaseman komponenttien massoja jouduttiin osittain arvioimaan. Kuitenkin molempien kohdalla massat erosivat todellisuudesta alle 9 prosentilla. Tuloksia voidaan siis pitää silti luotettavina, vaikka eroa oli hieman. Jos laitteista olisi saatu listat materiaaleista ja prosesseista komponenttien sijaan, ei olisi tarvinnut käyttää SimaPron prosesseja, jolloin tulokset olisivat saattaneet hieman tarkentua.

Pieniä epävarmuustekijöitä loi SimaPron hieman puutteelliset elektroniikkakomponenttien kokoonpanot. Jokaiselle komponentille ei löydetty täysin oikeaa prosessia, jolloin usein jouduttiin valitsemaan niin sanottu kaatoluokka. Esimerkiksi virtalähteiden ja antennien osalta kaivattaisiin täydennystä. Toisaalta opinnäytetyön myötä saatiin selvyys siitä, missä elektroniikkatietokantojen kannalta ollaan elinkaarianalyseissä – tiedoissa on puutteita, mutta ilmeisesti täydennyksiä on tulossa.

Elinkaarianalyysin inventaariotietojen keräämistä olisi helpottanut, jos teollisuuden alan tuotteiden komponenttien prosessi- ja materiaalitiedot olisivat helposti löydettävissä suoraan itse valmistajilta julkisesti. Sensorin ja tukiaseman massat erosivat eri sivustojen välillä, eikä tietoja ollut välttämättä ollenkaan saatavilla valmistajalta.

Toimeksiantajalla ei ollut tietoja komponenttien valmistusmaille, eikä kuljetustavoille tai pakkausmateriaaleille. Siksi käytettiin netistä löytyviä tietoja niin pitkälle kuin mahdollista, mutta jätettiin pakkaukset rajauksen ulkopuolelle. Toivottavasti yritykset ja alihankkijat panostavat jatkossa enemmän siihen, että tiedävät mistä komponentit tulevat, jotta elinkaarianalyysien tekeminen helpottuu, kun tiedot ovat helpommin saatavilla. Toisaalta tietokantojen täydennys alkaa siellä, mistä toimitusketju alkaa eli komponenttien valmistusmaissa. Jos pohjatiedot olisivat kunnossa, olisi myös lisätietojen kerääminen helpompaa. Ehkä myös yrityksen imago vastuullisena yrityksenä paranee, jos tiedetään todella komponenttien alkuperä. Esimerkiksi vaateteollisuuteen verrattuna olisi hyvinkin outoa, jos tiedossa ei olisi tuotteen valmistusmaata.

Tulevaisuudessa hiilijalanjäljen laskenta varmasti yleistyy, ja sen myötä olisi myös toivottavaa, että inventaariotiedot olisivat helpommin saatavilla, eikä niiden todenperäisyyden varmistamiseen tarvitsisi käyttää aikaa niin paljoa. Toisaalta myös tietokannat SimaPron kaltaisissa ympäristövaikutusten analysointiohjelmistoissa saavat lisäyksiä elektroniikan osalta, kun kysyntää on. Esimerkiksi SimaProhon on tulossa uusi ecoinvent 3.8 tietokanta, jossa lisäyksiä tehdään esimerkiksi elektroniikan ja metallien osalta (Ecoinvent 2022).

Menetelmänä elinkaarianalyysi oli toimiva myös digitaalisten palveluiden ympäristövaikutuksia arvioidessa. Elinkaarianalyysin vaiheiden seuraaminen helpotti digitaalisten palveluiden hiilijalanjäljen laskentaa, kun tiedossa oli vaiheet, joiden mukaan edettiin. Huomioitava on kuitenkin se, ettei opinnäytetyössä tutkittu esimerkiksi pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen rakentamisien hiilijalanjälkeä. Opinnäytetyöprosessin läpi säilytettiin suhteellinen lähestymistapa valittujen toiminnallisten yksiköiden ympärillä. Osaltaan prosessi oli myös iteratiivinen esimerkiksi datatietojen keräämisen suhteen.

Elektroniikan osalta saadut tulokset tukevat tietoperustassa todettua elektroniikkateollisuuden kestävyuden kohtaamia haasteita. Tällä hetkellä elinkaarianalyysissä ei havaittu paljoa negatiivista hiilijalanjälkeä, mutta tulevaisuudessa tilanne on toivottavasti parempi, kun elektroniikan kierrätys kehittyy.

Kuten jo aiemmin todettu, digitaalisten palveluiden elinkaarianalyysien aikakausi on vasta alussa. Vaikka niiden tekemisessä on monia haasteita, ei se ole kuitenkaan mahdotonta. Aiheena digitaalisten palveluiden hiilijalanjäljen laskenta on tärkeä, jotta palveluiden aiheuttamia suuria päästöjä voidaan myös pienentää.

Opinnäytetyön myötä toimeksiantaja sai lähtötason tuotteidensa hiilijalanjäljelle. Lisäksi tämän työ antoi lisätietoa Kommunikoiva energia -hankkeelle digitaalisen palvelujärjestelmän hiilijalanjäljestä, ja sen suurimmista tekijöistä.

Opinnäytetyö kokonaisuutena oli ehdottomasti opintojen kohokohta, ja itsenäinen työskentely oli hyvin mielekästä. Työn laajuuteen ja etenemiseen sai vaikuttaa itse hyvin paljon, ja se lisäsi mielekkyyttä. Kun kyseessä oli osa isompaa hanketta, apua oli saatavilla aina kun sitä tarvittiin. Opinnäytetyö tehtiin hyvin pitkälle sähköpostiviestien ja Teams-palavereiden kautta. Omalla tavalla prosessin laajat etätyömahdollisuudet tukivat myös tietoperustassa todettua digitaalisten palveluiden laajoja hyötyjä.

## **7.2 Jatkotutkimusmahdollisuudet**

Jatkotutkimusaiheena on tarkentaa edelleen tukiaseman ja sensorin hiilijalanjälkeä koskemaan myös kuljetuspakkauksia. Omana tutkimuksena voitaisiin myös selvittää, onko opinnäytetyössä todettu kuljetusketju todenperäinen. Lisäksi nestistä löytyvien massatietojen ja valmismaiden oikeellisuus voitaisiin tarkistaa. Kokoonpanon osalta henkilötyön hiilijalanjälki voitaisiin selvittää, kun tässä työssä huomioitiin vain juottamisen aiheuttama hiilijalanjälki. Myös se, mitä sensorille ja tukiasemalle tapahtuu käytön jälkeen, voitaisiin selvittää.

Lisäksi esimerkiksi mobiilisovelluksen ja pilvipalvelun kohdalla elinkaarianalyysia voitaisiin syventää koskemaan myös itse palvelujen kehitystä ja rakentamista aina jopa datakeskusten rakentamisen tasolle.

Jatkotutkimusaiheena voitaisiin myös selvittää, kuinka suuren hyödyn asiakas saa ottaessaan käyttöön sensorin ja tukiaseman. Yhdessä sensorin ja tukiaseman hiilijalanjäljeksi saatiin noin 36 kg CO<sub>2</sub>e, mutta ruokahävikin hiilijalanjäljestä ei löydy suoria lukuja, koska hiilijalanjälki riippuu esimerkiksi siitä, syödäänkö lihaa. Laskureita ruokahävikin hiilijalanjäljen laskemiseksi löytyy, mutta esimerkiksi Luken ja Pauligin tekemässä ruokahävikkilaskurissa tuloksiin vaikuttaa, miten kaupassa käydään ja kierrätetäänkö kotona (Paulig 2022). Näin ollen tiedot eivät ole suoraan yleistettävissä, joten ei voida suoraan sanoa monenko kilogramman ruokahävikin välttämällä sensori ja tukiasema maksaisivat itsensä takaisin. Tämän selvittämiseksi tarvittaisiin esimerkiksi suurkeittiön ruokahävikin määrät ennen palvelua ja sen käyttöönoton jälkeen.

## Lähteet

- Agenda 2030. 2015. Yleiskokouksen päätöslauselma. Epävirallinen suomenos. <https://urly.fi/2u7m>. 20.2.2022.
- Adamson, J. 2017. Carbon and the Cloud. Stanford Magazine. <https://medium.com/stanford-magazine/carbon-and-the-cloud-d6f481b79dfe>. 16.2.2022.
- Azure. 2022. Azure sustainability FAQs. <https://azure.microsoft.com/en-us/global-infrastructure/sustainability/#overview>. 16.2.2022.
- ConvertLIVE. 2022. Yksikkömuuntaja. <https://convertlive.com/u/convert/bytes/to/gigabytes#1>. 17.2.2022.
- Digikey. 2022. Inventaariotiedot. <https://www.digikey.fi/fi>. 20.2.2022.
- eCo2 Greetings. 2021. The Carbon Footprint of Email vs Postal Mail. <https://urly.fi/2tRg>. 17.2.2022.
- Eloranta, E., Ranta, J., Salmi, P. & Ylä-Anttila, P. 2010. Teollinen Suomi. Sitra. <https://media.sitra.fi/2017/02/24031323/sitra287.pdf>. 2.11.2021.
- Empirica. 2021. Digitalisaation haitat ja hyödyt. Miten digitalisoida vastuullisesti? <https://www.empirica.fi/digitalisaation-haitat-ja-hyodyt/>. 15.9.2021.
- EPA. 2021. Understanding Global Warming Potentials. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>. 16.12.2021.
- EPA. 2022a. Green Power Partnership National Top 100. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/green-power/green-power-partnership-national-top-100>. 17.2.2022.
- EPA 2022b. Meet Our Partners: Microsoft Corporation. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/greenpower/meet-our-partners?partner=microsoftcorporation>. 21.2.2022.
- Ecoinvent. 2022. Ecoinvent v3.8. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-8/#1610466712584-f7152c32-53201632217981603>. 19.2.2022.
- Euroopan parlamentti. 2021. Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tarkoittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-menessa>. 17.12.2021.
- Eurooppa-neuvosto, Euroopan unionin neuvosto. 2021. Ruokahävikin ja ruokajätteen vähentäminen. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/food-losses-waste/>. 13.1.2022.
- FCG. 2021. Ympäristökonsultointi. Yritysten ja organisaatioiden hiilijalanjälki. <https://www.fcg.fi/kestava-elinymparisto/ymparistokonsultointi/yritysten-ja-muiden-organisaatioiden-hiilijalanjalki>. 24.9.2021.
- FiCom. 2021. Pilvipalvelujen käyttö. <https://www.ficom.fi/ict-ala/tietopankki/internetpalvelut/pilvipalvelut/pilvipalvelujen-kaytto/>. 4.11.2021.
- Frosch, R., Gallopoulos, N. 1989. Strategies for Manufacturing. [http://www.teaching.industrialecology.uni-freiburg.de/Content/IE-ooc\\_Background1\\_Reading3\\_Strategies\\_For\\_Manufacturing\\_Sci\\_American\\_1989.pdf](http://www.teaching.industrialecology.uni-freiburg.de/Content/IE-ooc_Background1_Reading3_Strategies_For_Manufacturing_Sci_American_1989.pdf). 1.12.2021.

- Green deal office. 2021. EU Green Deal -ohjelma vuonna 2021 – Fit For 55 -paketti. <https://greendealoffice.fi/artikkelit/eu-green-deal-ohjelma-vuonna-2021-fit-55-paketti>. 23.11.2021.
- Guinée, J B. 2011. Life cycle assessment: past, present, and future. International Symposium of Life Cycle Assessment and Construction. <https://www.rilem.net/images/public/917db4447994958c78e8f7a51ca2677d.pdf>. 3.1.2022.
- Hakola, L. 2020. Viisi ratkaisua elektroniikan kestäväan kehitykseen. VTT. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/viisi-ratkaisua-elektroniikan-kestavaan-kehitykseen>. 2.11.2021.
- Hakonen, N. 2020. Digitalisaatio vaikuttaa työn murrokseen ja työllisyyteen. Työelämän kehittäminen 5/2020. Kuntatyönantaja. <https://www.kuntatyönantajalehti.fi/2020/5/digitaalisaatio-vaikuttaa-tyon-murrokseen-ja-tyollisyyteen>. 13.9.2021.
- Hartikainen, H. & Riipi, I.2021. Suomen kansallinen hävikkitiekartta. Luke. Julkistamistilaisuus 19.1.2021. [https://www.luke.fi/ruokahavikkisuuranta/wp-content/uploads/sites/38/2021/01/Tiekartan-julkistamistilaisuus\\_190121\\_esitys\\_final.pdf](https://www.luke.fi/ruokahavikkisuuranta/wp-content/uploads/sites/38/2021/01/Tiekartan-julkistamistilaisuus_190121_esitys_final.pdf). 22.9.2021.
- Heikkinen, H. 2022. Digitalisaation pikakurssi: hyödyt ja haasteet yrityksille. Talentree. <https://talentree.fi/softa/digitalisaation-pikakurssi/>. 20.2.2022.
- iContainers. 2022. The largest and busiest ports in the US. <https://www.iconainers.com/us/2017/05/16/top-10-us-ports/>. 24.1.2022.
- Ilmasto-opas. 2018. Kestävä suunnittelu vähentää tuotteiden ilmastovaikutuksia. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/e25090fe-19b6-40ae-a65b-78b901433a2a/kestava-suunnittelu-vahentaa-tuotteiden-ilmastovaikutuksia.html>. 23.9.2021.
- Ilmasto-opas. 2020. Maailman kasvihuonekaasupäästöt kasvavat yhä. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/42433dde-827f-485e-9fa9-45b49bfa317/maailman-kasvihuonekaasupaastot-kasvat-yha.html>. 23.9.2021.
- Ilmasto-opas. 2021a. Hiilidioksidi ja hiilenkiertokulku. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>. 16.12.2021.
- Ilmasto-opas. 2021b. Kasvihuonekaasut lämmittävät. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>. 3.9.2021.
- International Society for Industrial Ecology. 2021. What is industrial ecology? <https://is4ie.org/about/what-is-industrial-ecology>. 22.9.2021.
- IPCC. 2021. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Intergovernmental panel on climate change. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf). 4.1.2022.
- Jaatinen, K. 2018. Miten vähennän päästöjäni niin, että sillä on oikeasti vaikutusta? Helen. <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankoh-taista/blogi/2018/paastotpienemmiksi>. 3.9.2021.
- Jovanović, B. 2021. Internet of Things statistics for 2021 – Taking Things Apart. DataProt. <https://dataprot.net/statistics/iot-statistics/>. 16.12.2021.
- Kasvi, J. 2019. Digi, digi, digi. Digitalisaatiossa on kyse organisaatiokulttuurin muutoksesta. Se on tunnetusti vaikeaa. TIEKE. <https://tieke.fi/digi-digi-digi/>. 13.9. 2021.

- Kestävä kehitys. 2021. Kestävän kehityksen globaali toimintaohjelma Agenda2030. <https://kestavakehitys.fi/agenda-2030>. 22.11.2021.
- Kettunen, J. 2021. Koulutus pilvipalvelusta ja mobiilisovelluksesta. Sensire Oy. Joensuu 16.9.2021.
- Kettunen, J. 2022. Sähköpostikeskustelu. Sensire Oy. 19.2.2022.
- Kommunikoiva energia. 2021. <https://kommunikoivaenergia.karelia.fi/>. 8.9.2021.
- Korhonen, J. 2002. Two Paths to Industrial Ecology: Applying the Product-based and Geographical Approaches. <https://urly.fi/2hV9>. 23.9.2021.
- Kuusela, S. 2022. Sensire Oy. Sähköpostikeskustelu. 17.1.2022.
- Laki tuotteiden ekologiselle suunnittelulle ja energiamerkinnälle asetettavista vaatimuksista 19.12.2008/1005. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20081005>. 23.11.2021.
- Lehtinen, A. 2022. ICT-sektorin päästöistä merkittävä osa syntyy kansainvälisissä toimitusketjuissa. Sitra. <https://www.sitra.fi/uutiset/ict-sektorin-paastoista-merkittava-osa-syntyy-kansainvalisissa-toimitusketjuissa/>. 23.1.2021.
- Liikenne fakta. 2022. Hiilidioksidipäästöt. Liikenne- ja viestintävirasto. <https://liikenne fakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/hiilidioksidipaastot>. 14.2.2022.
- Lindell, P. 2020. Kestävää kasvua kiertotaloudesta. Teknologiateollisuus. <https://teknologiateollisuus.fi/fi/vaikutamme/kestava-kehitys/kestavaa-kasvua-kiertotaloudesta>. 5.11.2021.
- Logistiikan maailma. 2021. Tuotteen elinkaari. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/tuotteen-elinkaari/>. 3.9.2021.
- Luke. 2017. Ruokaketjun hävikki suurta -ravitsemuspalveluiden ruokahävikki pudonnut viidenneksen. <https://www.luke.fi/uutinen/ruokaketjun-havikki-suurta-ravitsemuspalveluiden-ruokahavikki-pudonnut-viidenneksen/>. 20.2.2022.
- Luke. 2021. Ruokahävikkiseuranta ja -tiekartta. <https://www.luke.fi/ruokahavikkiseuranta/>. 22.9.2021.
- Luke. 2022. Määritelmät. <https://projects.luke.fi/ruokahavikkiseuranta/elintarvikete-ja-ruokahavikki/>. 20.2.2022.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2021. Maankäyttösektorin ilmastolaskelmat perustuisivat uudessa LULUCF-asetuksessa sektorin todellisiin päästöihin ja nieluihin. Valtioneuvosto. <https://valtioneuvosto.fi//1410837/maankayttosektorin-ilmastolaskelmat-perustuisivat-uudessa-lulucf-asetuksessa-sektorin-todellisiin-paastoihin-ja-nieluihin>. 4.1.2022.
- Martinsuo, M. & Kärri, M. 2017. Johdanto. Teoksessa Martinsuo, M & Kärri, M. (toim.). Teollinen internet uudistaa palveluliiketoimintaa ja kunnossapitoa. Kerava: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, 10–15. [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128466/teollinen\\_internet\\_kirja\\_digi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128466/teollinen_internet_kirja_digi.pdf?sequence=1&isAllowed=y). 2.11.2021.
- Marvest. 2022. The port of Rotterdam. Invest in institutional grade maritime investment projects. <https://www.marvest.de/en/magazine/ships/the-port-of-rotterdam/>. 24.1.2022.
- Microsoft Azure. 2021. How does Azure work? <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cloud-adoption-framework/get-started/what-is-azure>. 3.1.2022.
- Microsoft Azure. 2022. What is virtualization? <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-virtualization/>. 3.1.2022.

- Microsoft. 2020a. The Carbon benefits of cloud computing. A study on the Microsoft Cloud in partnership with WSP. 12.1.2022.
- Microsoft. 2020b. 2020 Environmental Sustainability Report. <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RWyG1q>. 13.1.2022.
- Microsoft. 2020c. Microsoft asiakkaiden tukena matkalla kohti hiilineutraaliutta: datakeskukset ja kestävä kehitys. <https://news.microsoft.com/fi-fi/2021/10/27/microsoft-asiakkaiden-tukena-matkalla-kohti-hiilineutraaliutta/>. 13.1.2022.
- Motiva. 2022. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto\\_suomessa/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet). 14.2.2022.
- Mouser. 2022. Komponenttien tiedot. [www.mouser.fi](http://www.mouser.fi). 16.1.2022.
- Mtech. 2019. Mikä on pilvipalvelu? <https://www.mtech.fi/blogi/mika-on-pilvipalvelu/>. 4.11.2021.
- National Institute for Public Health and the Environment. 2018. LCIA: the ReCiPe model. RIVM. <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>. 21.9.2021.
- Neittaanmäki, P., Lehto, M. & Savonen, M. 2021. Yhteiskunnan digimurros. Jyväskylä. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/75328/Yhteiskunnan%20digimurros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 14.9.2021.
- Nykänen, O. 2017. Teollinen internet ja semanttinen mallinnus. Teoksessa Martinsuo, M & Kärri, M. (toim.). Teollinen internet uudistaa palveluliiketoimintaa ja kunnossapitoa. Kerava: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, 102–124. [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128466/teollinen\\_internet\\_kirja\\_digi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128466/teollinen_internet_kirja_digi.pdf?sequence=1&isAllowed=y). 2.11.2021.
- Okkonen, L. 2021. Näkökulmia digitaalisten palvelujen kestävyteen. Digi2Market. Karelia-ammattikorkeakoulu. [https://digi2market.karelia.fi/wp-content/uploads/2021/03/Nakokulmia-digitaalisen-palvelun-kestavyyteen\\_OkkonenL-2021.pdf](https://digi2market.karelia.fi/wp-content/uploads/2021/03/Nakokulmia-digitaalisen-palvelun-kestavyyteen_OkkonenL-2021.pdf). 3.11.2021.
- Okkonen, L. 2022. Sähköpostikeskustelu. Karelia-ammattikorkeakoulu. 28.2.2022.
- OpenCO2. 2021. Mitä tarkoitetaan hiilijalanjäljellä päästökertoimella tai CO<sub>2</sub>-ekvivalentilla? <https://www.openco2.net/fi/taustaa>. 8.9.2021.
- Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. 2019. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y). 20.2.2022.
- Pajula, T. & Vatanen, S. 2018. Hiilikädenjälki: Uusi ympäristömittari tuotteiden positiivisten ilmastovaikutusten arviointiin. VTT. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/hiilikadenjalki-uusi-ymparistomittari-tuotteiden-positiivisten>. 13.9. 2021.
- Pajula, T., Vatanen, S., Behm, K., Grönman, K., Lakanen, L., Kasurinen, H. & Soukka, R. 2021. Carbon handprint guide. V. 2.0. Applicable for environmental handprint. [https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon\\_handprint\\_guide\\_2021.pdf](https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon_handprint_guide_2021.pdf). 18.11.2021.
- Paulig. 2022. Ruokahävikkilaskuri. <https://www.lessfoodwaste.fi/paulig/Home>. 19.2.2022.

- Pauliuk, S. 2018. Industrial Ecology open online course. Quantitative Analysis of Industrial Systems: Intellectual Framing. [http://www.teaching.industrialecology.uni-freiburg.de/Content/IEooc\\_Background1\\_Reading1\\_Framing.pdf](http://www.teaching.industrialecology.uni-freiburg.de/Content/IEooc_Background1_Reading1_Framing.pdf). 24.11.2021.
- Pihkola, H., Hongisto, M., Apilo, O. & Lasanen, M. 2018. Evaluating the Energy Consumption of Mobile Data Transfer – From Technology Development to Consumer Behaviour and Life Cycle Thinking. Artikkelii. 17.1.2021.
- PRé Sustainability B.V. 2021. SimaPro 9.3 What's new? <https://simapro.com/wp-content/uploads/2021/12/SimaPro930WhatIsNew.pdf>. 11.1.2022.
- PRé Sustainability. 2016. ReCiPe. <https://pre-sustainability.com/articles/recipe/>. 26.9.2021.
- PRé Sustainability. 2020. SimaPro database manual. Methods library. <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/DatabaseManualMethods.pdf>. 21.9.2021.
- PRé Sustainability. 2022. What is the difference between ecoinvent market and transformation processes? SimaPro Help Center. <https://support.simapro.com/articles/FAQ/What-is-the-difference-between-ecoinvent-market-and-transformation-processes>. 1.2.2022.
- Saa syödä! 2021. Ruokahävikki Suomessa. <https://www.saasyoda.fi/ruokah%C3%A4vikki-suomessa>. 8.9.2021.
- Saikku, L. 2006. Ekoteollisuuspuistot. Taustaraportti Rantasalmen ekoteollisuuspuistohankkeelle. Etelä-Savon maakuntaliiton julkaisu 70:2006. 2.11.2021.
- SeaRoutes. 2022. <https://classic.searoutes.com/routing?speed=13&panama=true&suez=true&kiel=true&rivers=block&roads=block>. 24.1.2022.
- Sen Gupta, M. 2020. What is Digitization, Digitalization, and Digital Transformation? ARC Advisory Group. <https://www.arcweb.com/blog/what-digitization-digitalization-digital-transformation>. 16.12.2021.
- Sensire. 2021. <https://www.sensire.com/fi/>. 8.9.2021.
- Seppälä, J., Saikku, L., Soimakallio, S., Lounasheimo, J., Regina, K. & Ollikainen, M. 2019. Hiilineutraalius ilmastopolitiikassa – valtiot, alueet ja kunnat. Suomen ilmastopaneeli. Raportti 5a/2019. [https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/09/Hiilineutraalius\\_ilmastopaneeli\\_2019\\_FINAL.pdf](https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/09/Hiilineutraalius_ilmastopaneeli_2019_FINAL.pdf). 11.11.2021.
- SFS EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Suomen standardisoimisliitto SFS. 9.9.2021.
- SFS EN ISO 14044. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Suomen standardisoimisliitto SFS. 23.9.2021.
- SFS EN ISO 14067. 2018. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. 23.9.2021.
- Siitonen, S. 2020. Hiilikädenjälki – mitä se tarkoittaa ja kuinka se määritellään? Clonet. <https://www.clonet.fi/ilmasto/hiilikadenjalki-mita-se-tarkoittaa-ja-kuinka-se-maaritellaan/>. 13.9. 2021.
- Sitra 2022. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Kiertotalous. <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>. 4.1.2022.
- Sitra. 2021a. Tulevaisuussanasto. Hiilijalanjälki. <https://www.sitra.fi/tulevaisuus-sanasto/hiilijalanjalki/>. 3.9. 2021.

- Sitra. 2021b. Tulevaisuussanasto. Kasvihuonekaasu. <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/kasvihuonekaasu/>. 16.12. 2021.
- Soimakallio, H. 2020. Teknologiateollisuuden vähähiilitiekartta 2035. Teknologiateollisuus ry. PowerPoint-esitys. [https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden-va%CC%88ha%CC%88hiilitiekartta-tiivistelm%C3%A4\\_2020-06-08\\_FINAL\\_0.pdf](https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Teknologiateollisuuden-va%CC%88ha%CC%88hiilitiekartta-tiivistelm%C3%A4_2020-06-08_FINAL_0.pdf). 3.11.2021.
- Soimakallio, H. 2021. Teknologiateollisuuden tiekartta vähähiilisyyteen 2035. <https://tem.fi/documents/1410877/20657699/Teknologiateollisuuden+tiekartta+v%C3%A4h%C3%A4hiilisyyteen+-+tilannekuva>. 3.11.2021.
- Steward, E. & Schien, D. 2021. The True Climate Impact of Streaming. Netflix. <https://about.netflix.com/en/news/the-true-climate-impact-of-streaming>. 17.2.2022.
- Suomen teollisen ekologian seura. 2015. <http://www.teollinenekologia.fi/index.html>. 20.2.2022.
- Suomen ympäristökeskus. 2021. Uudistettava ilmastolaki mahdollistaa aiempaa tehokkaampaa ilmastopolitiikkaa. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Uudistettava\\_ilmastolaki\\_mahdollistaa\\_ai\(61126\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Uudistettava_ilmastolaki_mahdollistaa_ai(61126)). 8.12.2021.
- Suomen ympäristökeskus. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SY-KEra\\_7\\_2010.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SY-KEra_7_2010.pdf). 26.9.2021.
- Suomen ympäristökeskus. 2017. ToimintaMALLI yritysten elinkaristen Ympäristövaikutusten kehittämiseksi (MALLI-Y) -hanke. 8.9.2021.
- Teknologiateollisuus. 2021. Teknologiateollisuus on Suomen suurin vientiala – koostuu viidestä päätoimialasta. <https://teknologiateollisuus.fi/fi/talous-ja-toimiala/teknologiateollisuus-suomen-suurin-vientiala-koostuu-viidesta-paatoimialasta>. 3.11.2021.
- The Greenhouse Gas Protocol. 2021. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised edition. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. 27.9.2021.
- Toivonen, L. 2020. Digitalisaatio etenee, entä ymmärrys sen ympäristövaikutuksista? Sitra. <https://www.sitra.fi/blogit/digitalisaatio-etenee-enta-ym-marrys-sen-ymparistovaikutuksista/>. 14.9.2021.
- Tolonen, A. 2022. Sähköpostikeskustelu. Sensire Oy. 19.2.2022.
- Tukes. 2022. Vaaralliset aineet sähkö- ja elektroniikkatuotteissa – RoHS. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkolaitteiden-vaatimuksia/vaaralliset-aineet-sahko-ja-elektroniikkalaitteissa-rohs#7efcdc31>. 1.2.2022.
- Väänänen, M. 2021. Teams-kokous. Sensire Oy. 15.9.2021.
- Valtioneuvosto. 2020. Ekologisesti kestäväällä digitalisaatiolla ilmastotavoitteisiin – kuusi kohtaa ICT-alan hiilijalanjäljen pienentämiseksi ja digiratkaisujen hyödyntämiseksi. <https://valtioneuvosto.fi/-/ekologisesti-kestavalla-digitalisaatiolla-ilmastotavoitteisiin-kuusi-kohtaa-ict-alan-hiilijalanjaljen-pienentamiseksi-ja-digiratkaisujen-hyodyntamiseksi>. 14.9.2021.
- Vento, J. 2020. Iaas, Caas, Paas, FaaS, SaaS – mitä mikäkin tarkoittaa? Onrego Oy. <https://onrego.fi/julkisen-pilven-palvelumallit-avattuna/>. 17.12.2021.

- Ympäristö. 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus\\_ja\\_tuotanto/tuotesuunnitelu\\_ja\\_tuotteet/elinkaariarviointi\\_jalanjaljet\\_ja\\_panostuotosmalli](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/tuotesuunnitelu_ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli). 9.9.2021.
- Ympäristöministeriö. 2021a. Mitä on kestävä kehitys? <https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>. 24.9.2021.
- Ympäristöministeriö. 2021b. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka>. 8.12.2021.
- Ympäristöosaava. 2021. Kulttuurinen kestävyys. <https://www.ymparistosaava.fi/sosiaali-ja-terveysala/index.php?k=22588>. 17.12.2021.

## Tukiaseman SimaPron prosessit

Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {GLO}| market for | Conseq, S

Aluminium, primary, cast alloy slab from continuous casting {GLO}| market for | Conseq, S

Capacitor, film type, for through-hole mounting {GLO}| market for | Conseq, S

Capacitor, for surface-mounting {GLO}| market for | Conseq, S

Diode, auxiliaries and energy use {GLO}| market for | Conseq, U

Electric connector, peripheral component interconnect buss {GLO}| market for | Conseq, S

Electronic component, active, unspecified {GLO}| market for | Conseq, S

Electronic component, passive, unspecified {GLO}| market for | Conseq, S

Electronics, for control units {GLO}| market for | Conseq, S

Inductor, low value multilayer chip {GLO}| market for | Conseq, S

Inductor, miniature radio frequency chip {GLO}| market for | Conseq, S

Inductor, ring core choke type {GLO}| market for | Conseq, S

Insulated gate bipolar transistor, electric vehicle application {GLO}| market for | Conseq, S

Integrated circuit, logic type {GLO}| market for | Conseq, S

Integrated circuit, memory type {GLO}| market for | Conseq, S

Light emitting diode {GLO}| market for | Conseq, S

Power adapter, for laptop {GLO}| market for | Conseq, S

Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}| market for | Conseq, S

Resistor, surface-mounted {GLO}| market for | Conseq, S

Steel, unalloyed {GLO}| market for | Conseq, S

Synthetic rubber {GLO}| market for | Conseq, S

Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}| market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Conseq, S

Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO}| market for transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods | Conseq, S

Mounting, surface mount technology, Pb-free solder {GLO}| market for | Conseq, S

## Sensorin SimaPron prosessit

Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {GLO}| market for | Conseq, S

Battery cell, Li-ion {GLO}| market for | Conseq, S

Capacitor, for surface-mounting {GLO}| market for | Conseq, S

Diode, auxiliaries and energy use {GLO}| market for | Conseq, S

Electronic component, active, unspecified {GLO}| market for | Conseq, S

Electronic component, passive, unspecified {GLO}| market for | Conseq, S

Inductor, low value multilayer chip {GLO}| market for | Conseq, S

Inductor, miniature radio frequency chip {GLO}| market for | Conseq, S

Inductor, ring core choke type {GLO}| market for | Conseq, S

Integrated circuit, logic type {GLO}| market for | Conseq, S

Integrated circuit, memory type {GLO}| market for | Conseq, S

Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}| market for |  
Conseq, S

Resistor, surface-mounted {GLO}| market for | Conseq, S

Silicone product {RER}| market for silicone product | Conseq, S

Steel, unalloyed {GLO}| market for | Conseq, S

Synthetic rubber {GLO}| market for | Conseq, S

Transistor, surface-mounted {GLO}| market for | Conseq, S

Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}| market for transport,  
freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Conseq, S

Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO}| market for transport,  
freight, sea, bulk carrier for dry goods | Conseq, S

Mounting, surface mount technology, Pb-free solder {GLO}| market for | Con-  
seq, S

## **Pilvipalvelun SimaPron prosessit**

Electricity, low voltage {FI} market for | Conseq, S

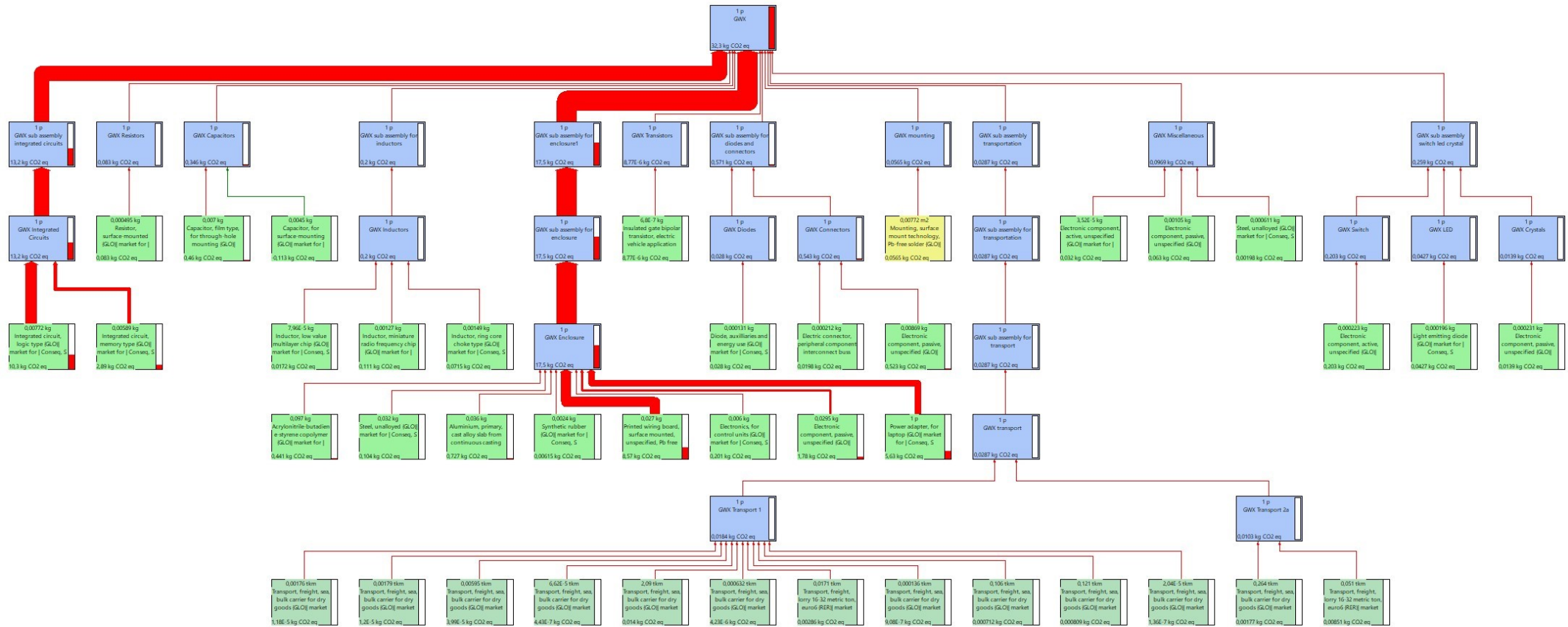
Electricity from wind power, AC, production mix, at wind turbine, < 1kV RER S

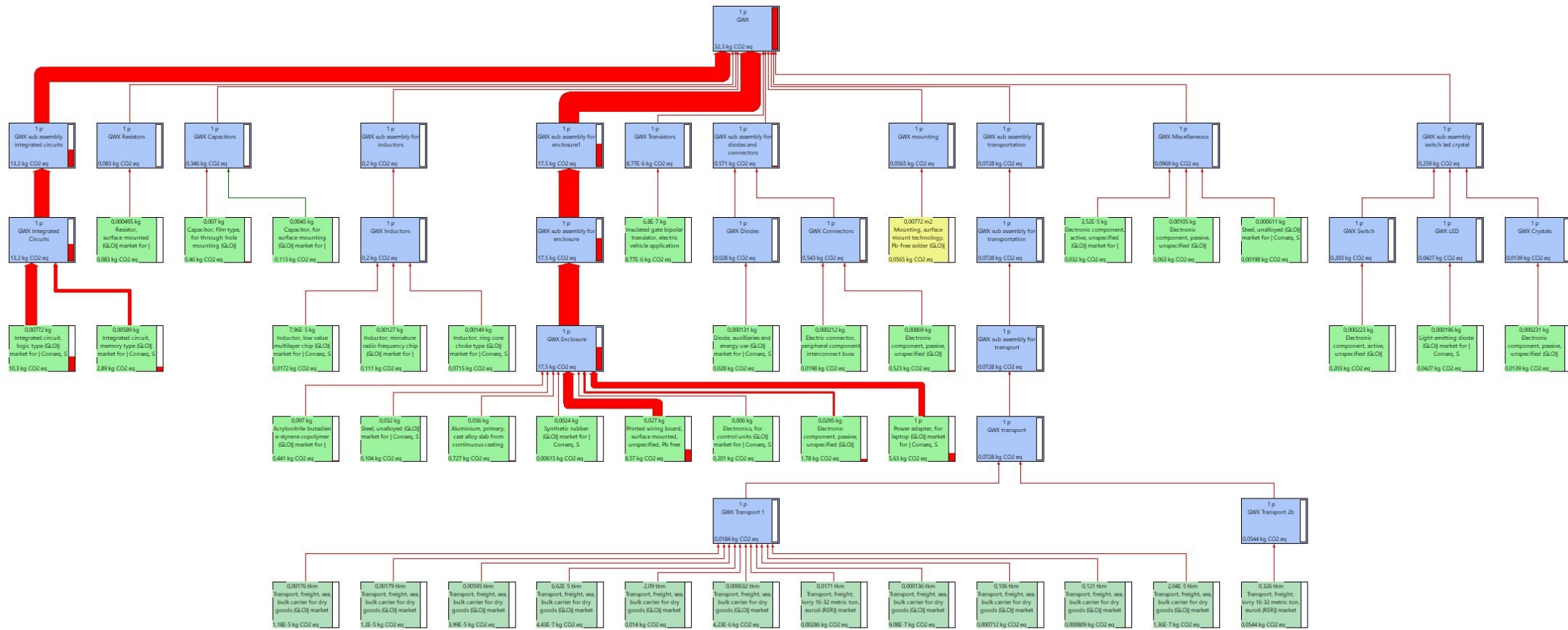
Electricity, low voltage {DE} electricity production, photovoltaic, 570kWp open ground installation, multi-Si | Conseq, S

## **Mobiilisovelluksen SimaPron prosessit**

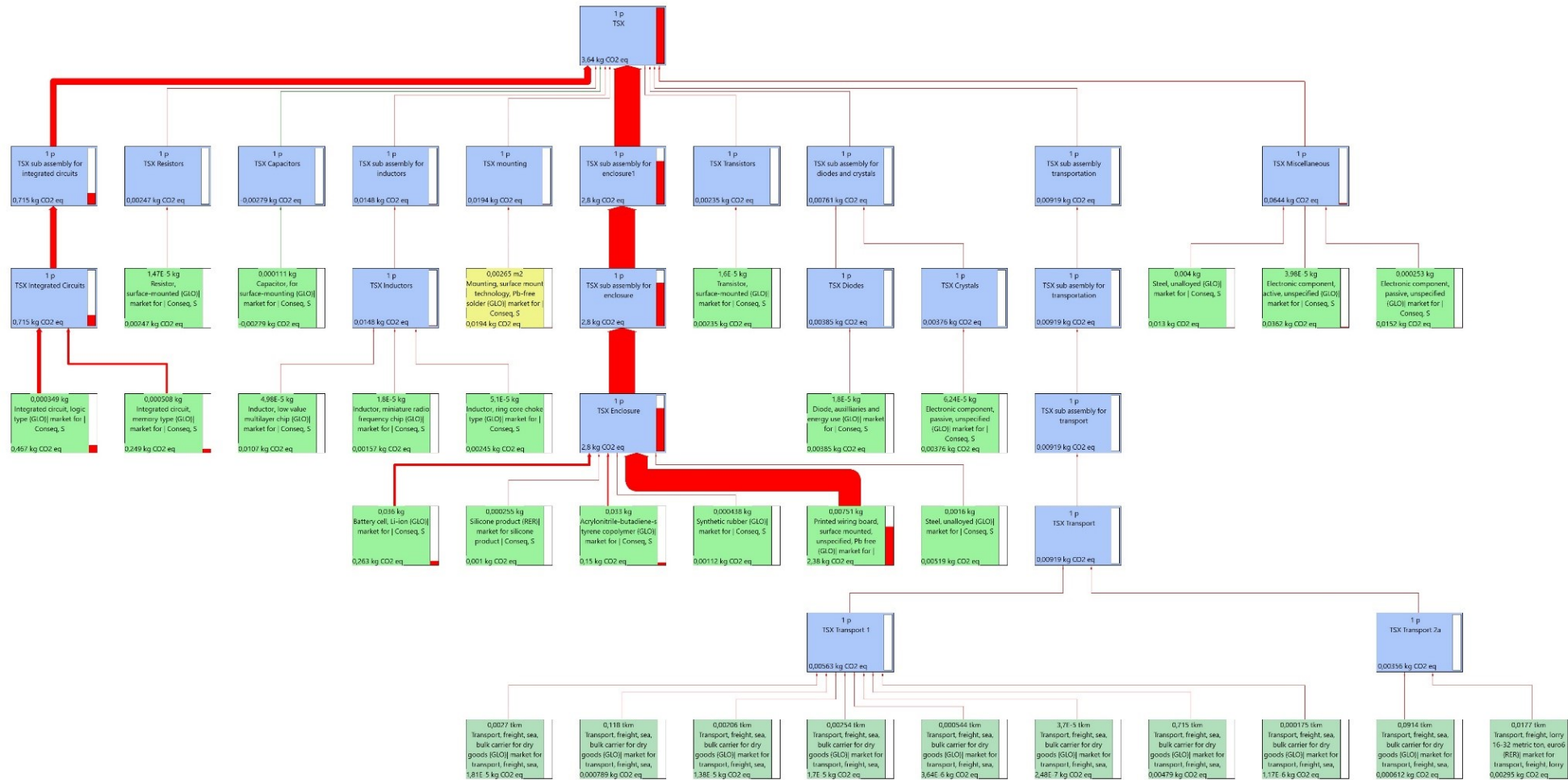
Electricity, low voltage {FI}| market for | Conseq, S

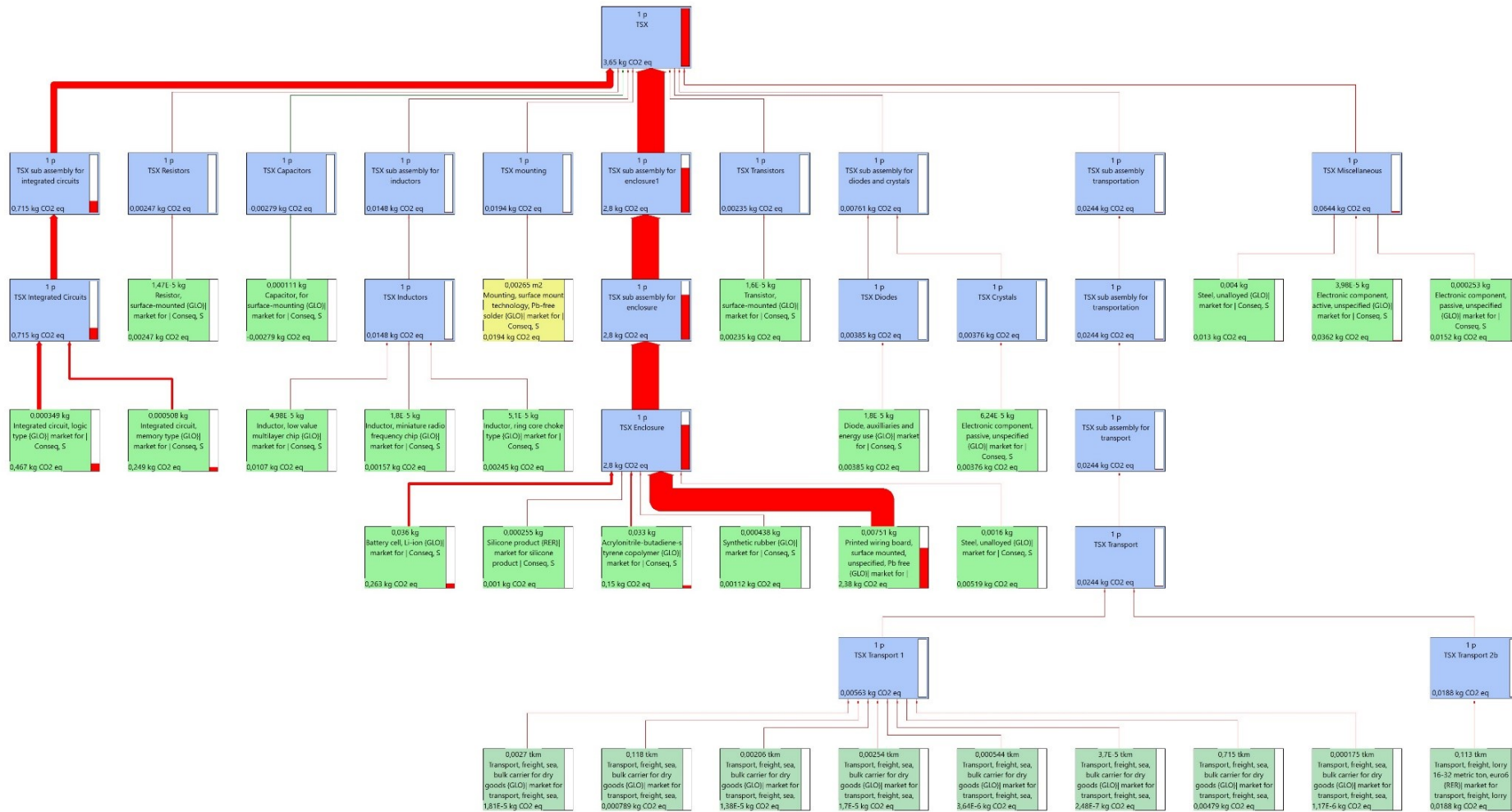
# Tukiaseman hiilijalanjäljen prosessikaaviot



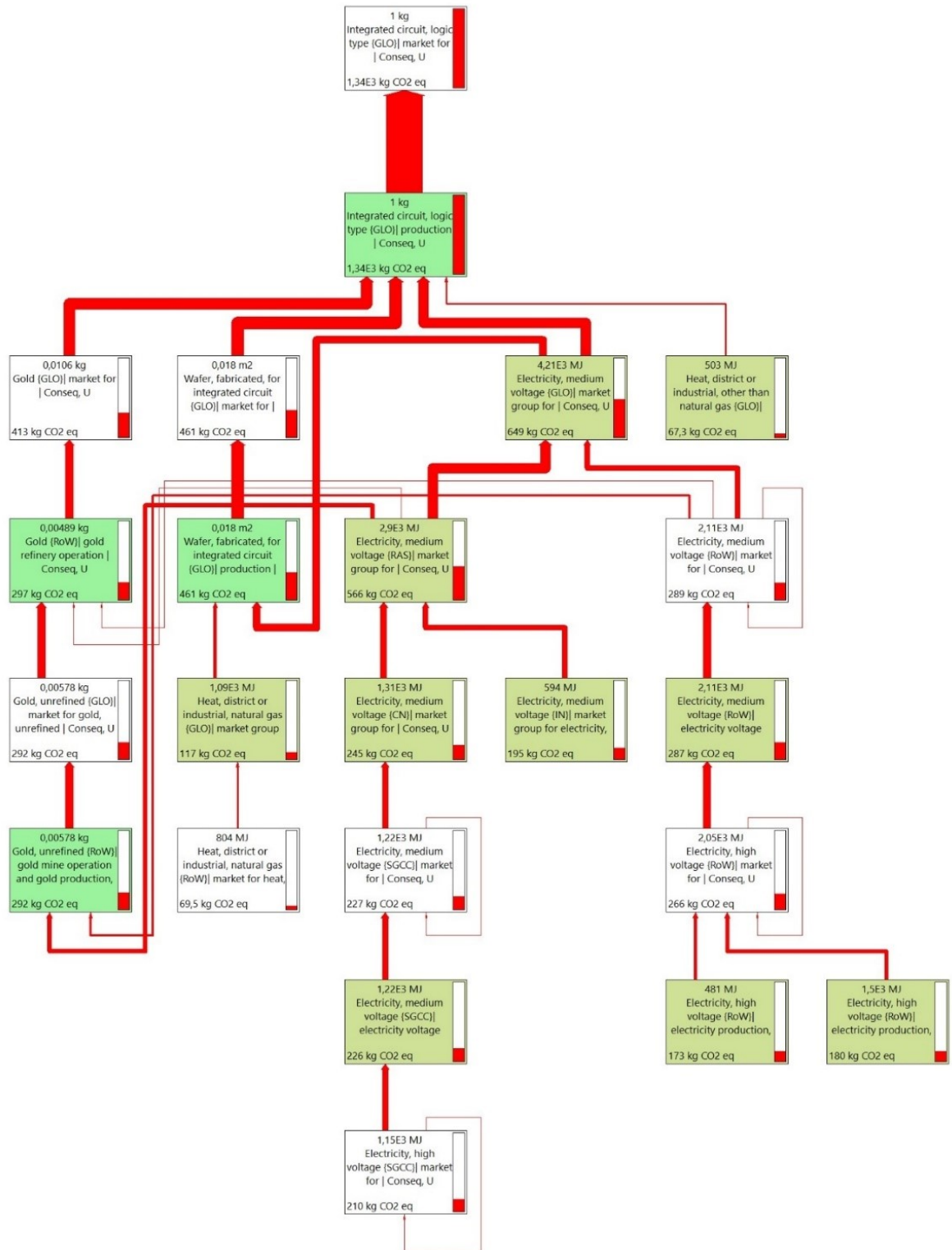


### Sensorin hiiljalanjäljen prosessikaaviot

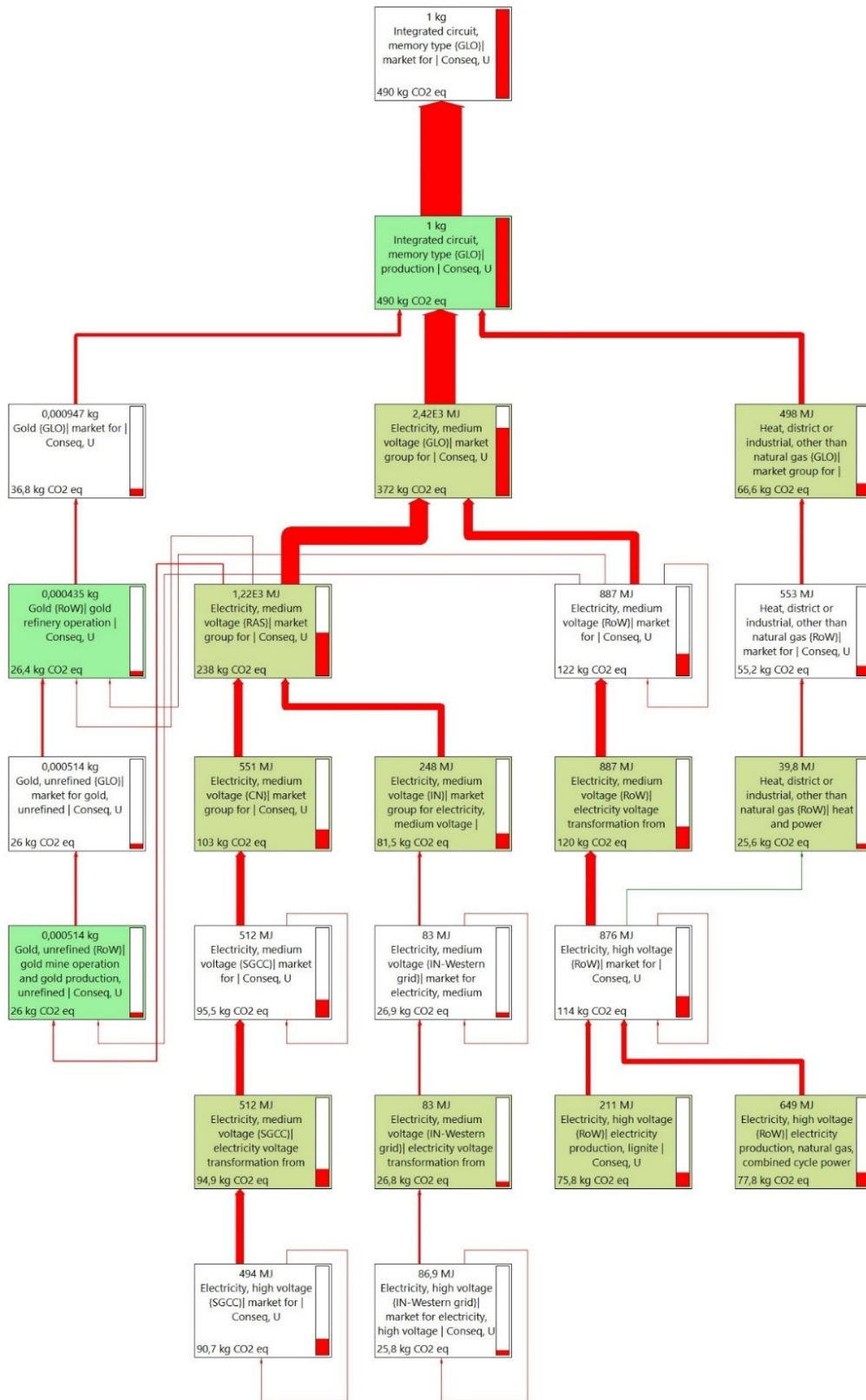




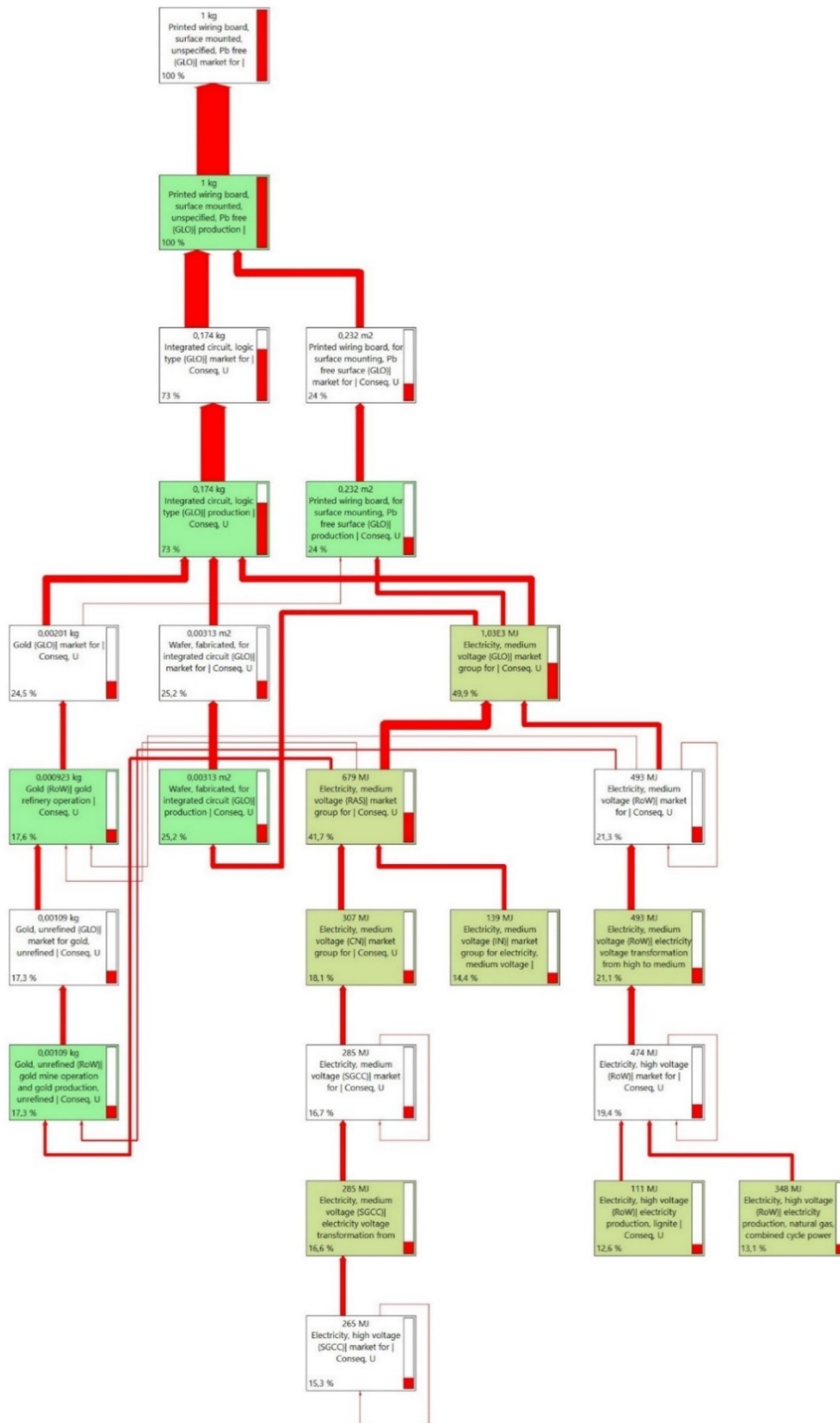
### Logiikkatyyppisen mikropiirin prosessikaavio cut-off 5 %



### Muistityyppisen mikropiirin prosessikaavio cut-off 5 %



## Piirilevyn prosessikaavion suurimmat tekijät



# Kannettavan tietokoneen virtalähteen prosessikaavio cut-off 10 %

