

JARMO LUOMA, JONI VIITALA, VALTTERI MANNINEN & REETA HAARANIEMI

# ELINTARVIKEALAN PK-YRITYSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN HALLINNAN OPAS

Ilmastokestävät elintarvikeprosessit -hanke



Tekijänoikeudet: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu Oy  
Lisenssi: CC BY-SA  
Julkaisija: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu Oy  
Painopaikka: Painokeskus ProPrint Oy, Seinäjoki 2023  
Taitto: Tiina Lehtineva  
ISBN 978-952-7515-24-2 (painettu)  
ISBN 978-952-7515-25-9 (verkkojulkaisu)



# **ELINTARVIKEALAN PK-YRITYSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN HALLINNAN OPAS**

**Ilmastokestävät elintarvikeprosessit -hanke**

**Kevät 2023**

**Kestävät ruokaratkaisut**

Hanke rahoitetaan REACT-EU-välineen määrärahoista  
osana Euroopan unionin COVID-19-pandemian johdosta  
toteuttamia toimia

# SISÄLTÖ

---

	Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
	Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1	<b>Hankkeen kuvaus ja taustat</b>	<b>10</b>
2	<b>Ympäristövaikutukset elintarvikeprosesseissa</b>	<b>12</b>
2.1	Tuotteiden ympäristöjalanjälki (PEF – Product Environmental Footprint)	16
2.2	Hiilijalanjälki	17
2.3	Ympäristökädenjälki	17
2.4	Elinkaaren vaiheet	17
2.4.1	Alkutuotanto	18
2.4.2	Prosessointi	20
2.4.3	Logistiikka	21
2.4.4	Jätteet ja sivuvirrat	23
2.4.5	Kauppa ja kuluttaja	24
3	<b>Elinkaariarviointi ja hiilijalanjälkilaskenta</b>	<b>25</b>
3.1	Laskennan vaiheet	27
3.1.1	Tavoitteiden määrittäminen	27
3.1.2	Laskentaperiaatteet ja -vaatimukset	27
3.1.3	Soveltamisalan ja laskennan rajauksen määrittely	28
3.1.4	Tiedonkeruu, laadun arviointi ja allokointi	31
3.1.5	Vaikutustenarviointi ja hiilijalanjäljen muodostaminen	35
3.1.6	Tulosten tulkinta, herkkyyсарviointi ja johtopäätökset	38
3.1.7	Raportointi	40
3.1.8	Toimenpiteet tavoitteisiin pääsemiseksi	41
3.2	ISO-standardit	43
3.3	Suosituks (PEF)	45

4	<b>IKE-hiilijalanjäljen laskentamenetelmä</b>	<b>48</b>
4.1	Tiedonhaku ja päästötietokannat laskentaan	49
4.2	Vertailevat tutkimukset ja arviointitavat	54
5	<b>Muut laskentamenetelmät</b>	<b>56</b>
5.1	Elinkaariarviointi	56
5.1.1	OpenLCA	56
5.1.2	SimaPro	57
5.1.3	Muut LCA-ohjelmat	57
5.2	Tuotteen hiilijalanjälki	57
5.2.1	HITU - tuotteen hiilijalanjäkilaskuri (SeAMK)	58
5.2.2	Eaternity	58
5.2.3	Valio Carbo ja muut alkutuotantoon liittyvät laskentaohjelmat	58
5.3	Yritysten hiilijalanjäljen laskenta	60
5.3.1	Greenhouse Gas Protocol	60
5.3.2	Y-HIILARI	64
6	<b>Laskentatulosten tulkinta ja toimintaohjeita ympäristövaikutusten pienentämiseksi</b>	<b>65</b>
6.1	IKE-hiilijalanjäkilaskurista saatavia tietoja	65
6.1.1	Raaka-aineet	66
6.1.2	Pakkausmateriaalit	66
6.1.3	Jätteet ja sivuvirrat	67
6.1.4	Energia	67
6.1.5	Logistiikka	68
6.2	Laskentatulosten muu hyödyntäminen	69
6.3	Elinkaariarvioinnin tulevaisuus	69
7	<b>Tietoa ja työkaluja ympäristövaikutusten arviointiin</b>	<b>71</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>74</b>
	<b>Liitteet</b>	<b>79</b>

# KUVA-, KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

---

<b>Kuvio 1.</b> Ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen kokonaisuudessaan	<b>13</b>
<b>Kuvio 2.</b> Ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen toimitusketjun (18 %) sisällä	<b>13</b>
<b>Kuvio 3.</b> Elintarviketuotteen merkittävimmät elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasuvaikutukset	<b>14</b>
<b>Kuvio 4.</b> Alkutuotannon elinkaarivaihe	<b>18</b>
<b>Kuvio 5.</b> Kuljetuksen mallintaminen	<b>22</b>
<b>Kuvio 6.</b> Elinkaariarvioinnin pääpiirteet	<b>26</b>
<b>Kuvio 7.</b> Inventaarioanalyysin vaiheet	<b>32</b>
<b>Kuvio 8.</b> Allokointimenetelmät ja välttämismenetelmät	<b>35</b>
<b>Kuvio 9.</b> Vaikutustenarvioinnin vaiheet	<b>36</b>
<b>Kuvio 10.</b> Herkkyysarviointi	<b>38</b>
<b>Kuvio 11.</b> Scope-luokat ja esimerkkejä niiden sisältämistä päästöistä	<b>61</b>
<b>Taulukko 1.</b> Listaus laskentasovelluksista	<b>71</b>
<b>Taulukko 2.</b> Tietokantoja elinkaariarviointiin	<b>72</b>
<b>Taulukko 3.</b> Hankkeen aikana kerätyt ohjeistukset ja lisätietoa sisältävät sivustot	<b>72</b>
<b>Taulukko 4.</b> Listaus ympäristövaikutusten parissa toimivista toimijoista Suomessa	<b>72</b>

# KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

---

<b>Aktiviteettidata</b>	Määrällinen suure, jolla mitattavan kohteen aktiivisuutta voidaan mitata päästöjen arvioimista varten. Käytetään yhdessä päästökertoimen kanssa.
<b>Allokointi</b>	Kohdentaminen.
<b>Biogeeniset päästöt</b>	Vapautuvat päästöt biomassan hajoamisen tai palamisen seurauksena.
<b>CO<sub>2</sub>-ekv.</b>	Hiilidioksidiekvivalentti, joka kuvaa ihmisen tuottamien, ilmastoa lämmittävien kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta.
<b>Elinkaari</b>	Tuotteen tai palvelun koko käyttöaika sen tuottamisesta käytöstä poistamiseen.
<b>Fossiiliset päästöt</b>	Vapautuvat päästöt uusiutumattomien päästölähteiden käytön seurauksena.
<b>IPP</b>	Integrated Product Policy, eli integroitu tuotekäytäntö on EU-tason aloite, jonka tavoitteena on vähentää tuotteiden ja palveluiden ympäristökuormitusta.
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change eli hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli
<b>LEAP</b>	LEAP-kumppanuus on monen sidosryhmän aloite, joka pyrkii parantamaan kotieläinsektorin ympäristön kestävyttä yhdenmukaistettujen menetelmien, mittareiden ja datan avulla.

<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment eli elinkaariarviointi.
<b>LCI</b>	Life Cycle Inventory eli inventaarioanalyysi
<b>LCIA</b>	Life Cycle Impact Assessment eli vaikutusarviointi
<b>PEF</b>	Product Environmental Footprint eli tuotteen ympäristöjalanjälki. Perustuu elinkaarenarviointimenetelmään, joka sisältää 16 tärkeintä ympäristövaikutusluokkaa.
<b>PEFCR</b>	Tuoteryhmäsäännöt, joilla voidaan tehdä tietyille tuotteille laskennan vertailua tuotekilpailutustilanteessa.
<b>PCR</b>	Product Category Rules eli tuoteluokkasäännöt. Sisältää ohjeet siitä, miten elinkaariarviointi tulisi toteuttaa.
<b>Primaaridata</b>	Ensisijainen tieto esim. prosessin sähkönkulutuksesta.
<b>Päästökerroin</b>	Käytetään vaikutusarviointilaskennassa päästön massana. Esimerkiksi elintarvikkeiden tapauksessa käytetään yleensä päästön massaa kilogramma (kg) suhteessa toiminnalliseen yksikköön kilogrammaan (kg) tuotetta, eli paljonko päästöjä syntyy kilogrammoina kilogrammaa tuotetta kohden. Päästökerrointa valitessa on tärkeää tutustua mitä lähtötietoja päästökertoimen laskentaan on sisällytetty.
<b>SeAMK</b>	Seinäjoen ammattikorkeakoulu
<b>Sekundaaridata</b>	Toissijainen tieto esim. kirjallisuuslähteestä tai yleisestä tietokannasta.



<b>SFS-EN ISO 14040: -06</b>	Käsittelee ympäristöasioiden hallintaa, elinkaariarvioinnin (LCA) periaatteita ja pääpiirteitä. Ohjaa elinkaariarvioinnin laskennan kriteerejä ja määrittää elinkaareen vaikuttavia tekijöitä.
<b>SFS-EN ISO 14044: -06</b>	Käsittelee ympäristöasioiden hallintaa, elinkaariarvioinnin (LCA) vaatimuksia ja suuntaviivoja.
<b>SFS-EN ISO 14067: -18</b>	Sisältää kasvihuonekaasujen määritelmät, sekä hiilijalanjäljen laskentaa koskevia vaatimuksia, määrittelyjä ja ohjeita.
<b>Tiedon laatuindikaattorit</b>	Greenhouse Gas Protocol-ohjeistusten määritelmät viisi laatuindikaattoria. Teknologinen vastaavuus, maantieteellinen vastaavuus, ajallinen vastaavuus, täydellisyys ja luotettavuus.
<b>TKI</b>	Tutkimus-, kehittämis- ja innovointitoiminta
<b>Vihreä siirtymä</b>	Euroopan Unionin tavoite ilmastoneutraalisuudesta vuoteen 2050 mennessä kaikkien sen jäsenmaiden toteuttamalla ilmastopolitiikalla.
<b>Ympäristöjalanjälki</b>	Määrittelee tuotteen elinkaaren tärkeimmät vaikutusluokat ympäristöön. Ympäristöjalanjälki pystytään määrittämään laskemalla käyttäen apuna PEF-ohjeistusta.

# 1

## HANKKEEN KUVAUS JA TAUSTAT

---

**Hankkeen nimi**

Ilmastokestävät Elintarvikeprosessit (IKE)

**Toteutusaika**

1.12.2021-31.8.2023

**Rahoitus**

Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) 80 % ja Seinäjoen Ammattikorkeakoulu Oy 20%

Hanke rahoitetaan REACT-EU-välineen määrärahoista osana Euroopan unionin COVID-19-pandemian johdosta toteuttamia toimia.

**Budjetti**

243 440 €

**Toteuttaja**

Seinäjoen Ammattikorkeakoulu Oy

## Hankkeen taustatietoa

Etelä-Pohjanmaalla on Suomen ruokamaakuntana kova paine ilmasto-kestävän tuotannon kehittämisessä. Euroopan Unionin vihreä siirtymä ja Suomen valtion ilmastotavoitteet hiilineutraalisuudesta vuoteen 2035 mennessä vauhdittavat tätä. Lisäksi kaupalliset toimijat ja kuluttajat ovat entistä ympäristötietoisempia ja haluavat tietoa tuotteiden hiilijalanjäljestä. Pienillä ja keskisuurilla yrityksillä on käytettävissään vähemmän resursseja tuotteidensa ympäristöjalanjäljen laskentaan kuin suuryrityksillä, eikä elintarvikeprosessien ympäristövaikutuksia tai kokonaistehokkuutta ole juuri-kaan tarkasteltu Etelä-Pohjanmaan pk-yrityksissä.

Seinäjoen Ammattikorkeakoulun (SeAMK) Ilmasto-kestävät elintarvikeprosessit -hankkeen päätavoitteena on ollut luoda Etelä-Pohjanmaan alueen pk-yritysten sekä tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimijoiden (TKI) käyttöön laskentatyökalu, jolla elintarviketuotteen ympäristöjalanjälki voidaan laskea. Hankkeen alun tavoitteisiin kuuluivat erilaisten arviointimenetelmien ja prosessien tunnistaminen ympäristö- ja elinkaarivaikutusten arviointiin. Luotua laskentamenetelmää mallinnettiin ja kehitettiin Frami Food Lab -ympäristössä sekä tämän jälkeen testattiin reaaliprosesseilla. Tuloksena saatua hiilijalanjäljen laskentamallia voivat hyödyntää kaikki pk-yritykset ja TKI-toimijat oman toimintansa kehittämisessä. Sen avulla pystytään samalla tukemaan elintarvikealan pk-yritysten vihreää siirtymää kohti hiilineutraalia elintarviketuotantoa vuoteen 2035 mennessä. Yritykset saavat avoimen laskentamenetelmän avulla mahdollisuuden oman tuotteensa hiilijalanjäljen arviointiin sekä työkalun sisäiseen kehitysohonsa kohti ympäristöystävällisempää tuotantoa. Lisäksi kehitettyä laskentamenetelmää on mahdollista edelleen jatkokehittää, päivittää sekä hyödyntää koulutuksessa ja opetuksessa.

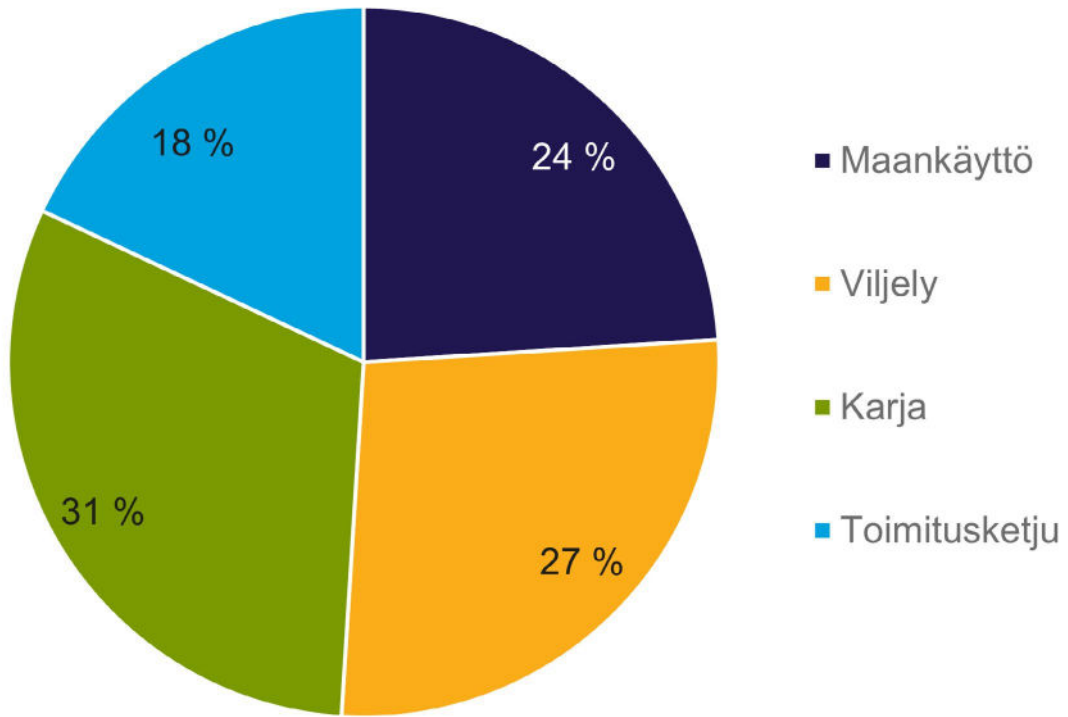
# 2

## YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET ELINTARVIKEPROSESSEISSA

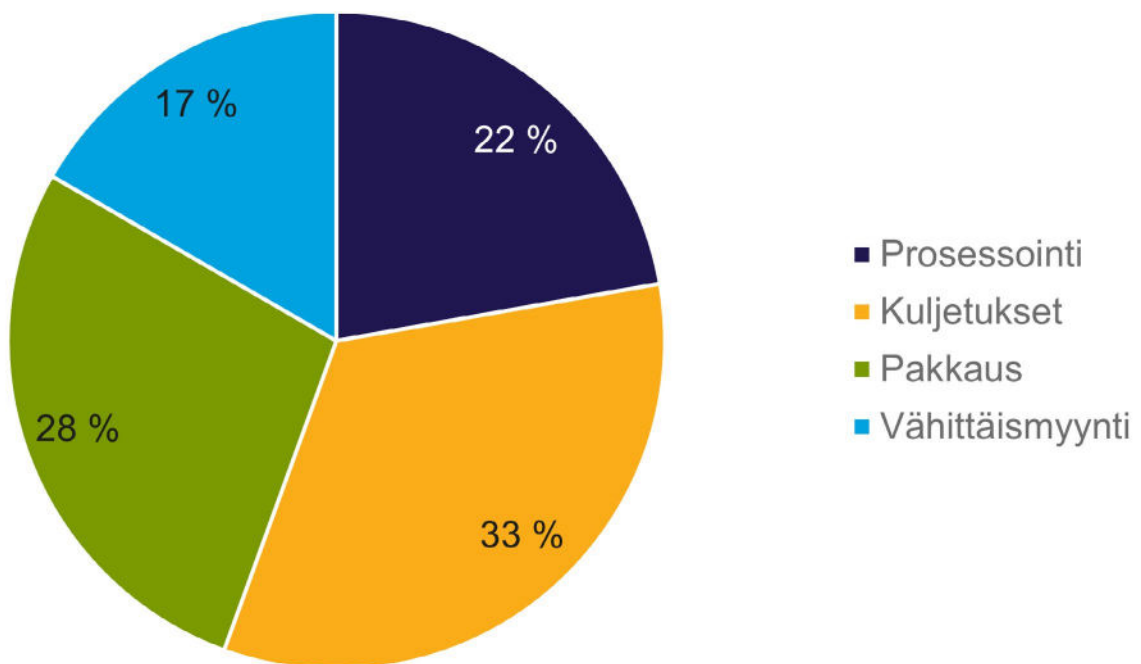
---

Tuotteiden, yritysten ja palveluiden ympäristövaikutuksia on tutkittu ja mitattu jo useamman vuosikymmenen ajan, ja menetelmät ovat kehittyneet jatkuvasti. Euroopan unionin vihreä siirtymä ja muut ilmastotoimet ovat lisänneet ja nostaneet esiin entistä enemmän keskustelua myös elintarvikkeiden ympäristövaikutuksista ja näihin yritysten on täytynyt päästä vastaamaan. Ruoantuotannon on arvioitu tuottavan maailmanlaajuisesti noin neljäsosan kasvihuonekaasupäästöistä, jolloin myös ruokasektorilla on olennainen osa ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta (Our World in Data, 2022). Siirtymä vähähiiliseen ruoantuotantoon ei kuitenkaan ole helppoa edelleen kasvavan maailman väestömäärän mukaan, kun ravitsevaa ruokaa on tuotettava riittävästi ja kestävästi ympäri maailman.

Maailmanlaajuisesti ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöistä on arvioitu noin 82 % tulevan alkutuotannosta kuvion 1 mukaisesti. Kuviossa 2 on avattu vielä jäljelle jääneen toimitusketjun 18 % osuus prosessoinnin, kuljetusten, pakkausten ja vähittäismyynnin osalta.

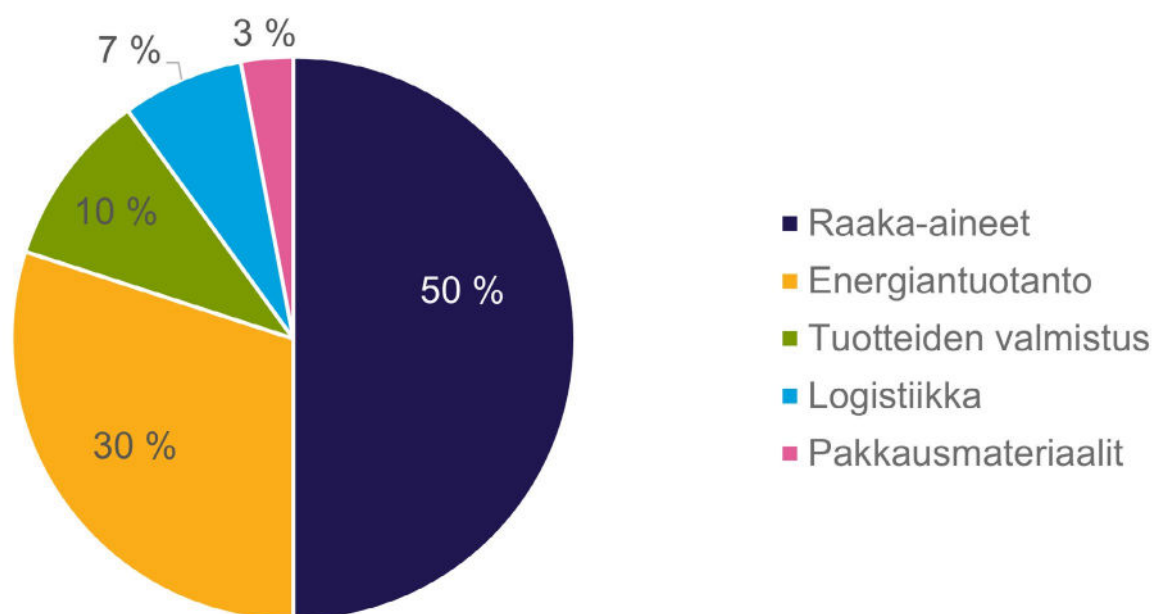


Kuvio 1. Ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen kokonaisuudessaan (soveltaen Our World in Data, 2022).



Kuvio 2. Ruoantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen toimitusketjun (18 %) sisällä (soveltaen Our World in Data, 2022).

Suomessa Elintarviketeollisuusliitto (2020a, s. 15) on arvioinut elintarviketehokasprosessoinnin kasvihuonekaasupäästöjen osalta noin 80 % syntyvän epäsuorina päästöinä raaka-aineiden ja energian tuotannosta. Loput noin 20 % päästöistä koostuvat suorina päästöinä itse valmistusprosesseista, logistiikasta ja pakkausmateriaaleista. Kuviossa 3 on havainnollistettu näiden kasvihuonekaasupäästöjen vaikutuksia elintarviketuotteiden valmistuksen elinkaaren ajalta. Elintarviketeollisuuden päästövähennysten näkökulmasta pienempi 10 prosentin osuus on hyvä lähtökohta yrityksen päästövähennysten toteuttamiseen, mutta elintarviketuotteiden ympäristövaikutusten vähentämistä on tarkasteltava koko tuotteen elinkaaren ajalta.



Kuvio 3. Elintarviketuotteen merkittävimmät elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasuvaikutukset (soveltaen Elintarviketeollisuusliitto, 2020a).

Osana elinkaari- ja kiertotalousajattelua on hyvä tarkastella elintarviketehokasprosessien ympäristövaikutuksia ja sen kehittämismahdollisuuksia (Bhatia ym., 2011. s.3). Laskennassa on käytettävissä useita erilaisia menetelmiä, joten siksi on tärkeää yhdenmukaistaa laskentaa vertailtavampaan muotoon. Tässä käytetään apuna laskentaa käsitteleviä standardeja ja ohjeistuksia, kuten esimerkiksi elinkaarimallintamiseen liittyvät ISO-standardit 14040 ja 14044 sekä Euroopan komission suositus: Ympäristöjalanjälkeä koskevien menetelmien käyttämisestä tuotteiden ja organisaatioiden elinkaaren ympäristötehokkuuden mittaamiseen ja siitä tiedottamiseen, eli ”PEF-ohjeistus”.

Ympäristövaikutuksista keskustellessa huomio kiinnittyy usein hiilijalanjäljellä mitattaviin ilmastovaikutuksiin, vaikka tuotteiden valmistuksessa syntyy myös useita muita ympäristövaikutuksia (Deconinck & Toyama, 2022, s. 19). Esimerkiksi runsaasti kastelua tarvitsevan elintarvikkeen alkutuotannolla ulkomailla voi olla suomalaista verrokkiaan pienempi hiilijalanjälki, mutta suurempi vesijalanjälki. Elintarviketuotteiden ympäristövaikutusten vertailevaa arviointia on hankala toteuttaa ilman yhdenmukaista laskentatapaa ja -sääntöjä. Tähän vaikuttavat erittäin suuret vaihtelut alkutuotannon kasvuolosuhteissa sekä ravitsemuksen huomioinnissa esimerkiksi proteiinien saannin osalta.

Laskennan taustalle tarvitaan tieteellisen tutkimuksen avulla luotettavaksi todennettua tietoa laskennassa käytettäville päästökertoimille sekä osamista itse arvioinnin suorittamiseen luotettavilla menetelmillä. Näiden kehittämistoimien toteutumiseksi yrityksille tarvitaan tukea myös valtionhallinnon suunnasta samaan aikaan, kun lainsäädäntö kehittyy ympäristövaikutusten huomioinnin ympärille. Euroopan komission (2023b) Euroopan parlamentille hyväksyntää varten valmisteltu Green Claims -direktiivin tavoitteena on tulla ohjaamaan yrityksiä ympäristöystävällisempien tuotteiden valmistukseen sekä helpottamaan kuluttajan päätöksentekoa. Direktiivin tavoitteena on kieltää harhaanjohtavien ympäristöväittämien käyttö sekä pelkästään hiilidioksidipäästökompensointeihin perustuvat väittämät.

### **Tärkeimpiä ympäristövaikutusten tarkastelun syitä (SFS, 2020, s. V; SFS, 2018, s. 5.):**

- Tuotekehityksen tukena entistä ympäristöystävällisemmän tuotteen kehittämiseksi
- Pystytään vastaamaan jatkuvasti kehittyvään ja entistä tiukempaan lainsäädäntöön ympäristövaikutuksista
- Valmistusprosessin optimointi: resurssi- ja energiatehokkuus, päästövähennykset, uudet materiaalivaihtoehdot, prosessitekniikat ja muut innovaatiot
- Kilpailuetu ja benchmarking muiden valmistajien tuotteisiin
- Kerätyn tiedon hyödyntäminen myös muussa prosessihallinnassa ja mittaroinnissa

## 2.1 TUOTTEIDEN YMPÄRISTÖJALANJÄLKI (PEF – PRODUCT ENVIRONMENTAL FOOTPRINT)

Tuotteiden ympäristöjalanjälki (PEF) on Euroopan komission kehittämä menetelmä tuotteiden elinkaaristen ympäristövaikutusten laskentaan. Menetelmän tavoitteena on ollut yhdenmukaistaa tuotteiden ympäristövaikutusten laskentaa vertailukelpoisempaan muotoon, sillä edelleen etenkin elintarvikkeiden osalta laskentatulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia yhteisten pelisääntöjen puuttuessa. Kehitystyö on jatkunut jo pitkään ja tällä hetkellä meneillään on pilotointivaihe, jonka on tarkoitus päättyä vuoden 2024 lopussa. Lakimuutosten tavoitteena on, että tulevaisuudessa yritysten on pystyttävä itse todentamaan tuotteidensa ympäristövaikutukset PEF-menetelmää käyttäen.

**Yleisesti ympäristövaikutuksista puhuttaessa keskustelu kääntyy kasvihuonekaasujen vaikutuksiin, mutta tuotteiden ympäristöjalanjälki huomioi yhteensä 16 eri vaikutusluokkaa (Euroopan komissio, 2021, s. 243):**

1. Ilmastonmuutos
2. Otsonikato
3. Myrkyllisyys ihmiselle – syöpää aiheuttavat vaikutukset
4. Myrkyllisyys ihmiselle – muut kuin syöpää aiheuttavat vaikutukset
5. Hiukkaset
6. Ionisoiva säteily – vaikutukset ihmisten terveyteen
7. Otsonin valokemiallinen muodostuminen – ihmisten terveys
8. Happamoituminen
9. Rehevöityminen maalla
10. Rehevöityminen makeassa vedessä
11. Rehevöityminen merivedessä
12. Ekotoksisuus makeassa vedessä
13. Maankäyttö
14. Vedenkulutus
15. Luonnonvarojen käyttö – mineraalit ja metallit
16. Luonnonvarojen käyttö – fossiiliset luonnonvarat

Elintarvikkeiden osalta suurimmat vaikutukset tulevat yleisesti maan- ja vedenkäytöstä, rehevöittävästä vaikutuksista, kasvihuonekaasuista ja biodiversiteettivaikutuksista (Ritchie ym., 2022). Ympäristövaikutusten arvioinnissa pystytään hyödyntämään elinkaariarviointisovelluksia ja niihin ladattavissa olevia tietokantoja.



## 2.2 HIILIJALANJÄLKI

Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen ilmastovaikutuksia ja se saadaan laskemalla yhteen kaikki sen elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt muutettuina hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO<sub>2</sub>-ekv.) (Euroopan parlamentti, 2021). Kasvihuonekaasut sitovat maahan heijastuvan auringon lämpösäteilyn ja estävät sen pääsyn takaisin avaruuteen aiheuttaen näin kasvihuoneilmaston. Ihmisen toiminnan seurauksena kasvihuoneilmiö on kuitenkin voimistunut ja aiheuttanut lämpötilanousun. Kasvihuonekaasuihin kuuluvat muun muassa hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>), typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>), fluorihilivedyt (HFC-yhdisteet) ja perfluorihilivedyt (PFC-yhdisteet). Nämä kyseiset kaasut tulee huomioida hiilijalanjäljen laskentaa tehdessä Kioton pöytäkirjan mukaisesti (Ranganatahan ym., 2015). Tuotteen koko elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt voidaan ilmoittaa ns. kehdosta hautaan, eli raaka-aineiden kasvatuksesta prosessointiin ja siitä kulutettavaksi ja hävitettäväksi (SFS, 2021, s. 7, 14).

## 2.3 YMPÄRISTÖKÄDENJÄLKI

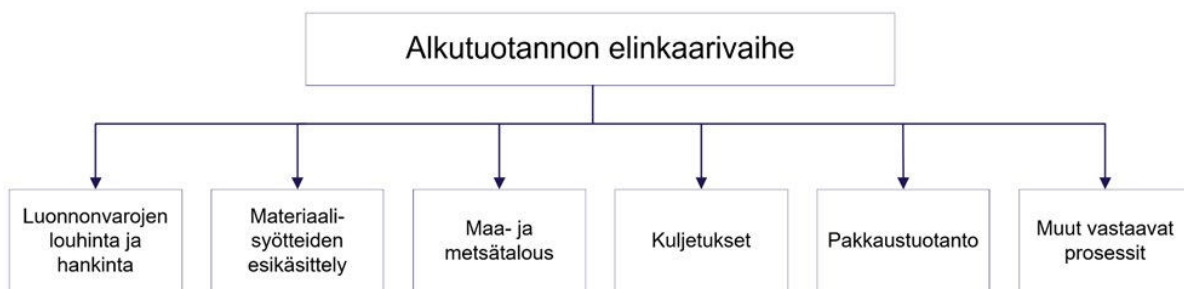
Aikaisemmin hiilikädenjäljen ympärillä pyörinyt keskustelu on ottanut askeleen eteenpäin kohti laajempaa ympäristökädenjälkiajattelua (Vatanen & Grönman, 2021). Toisin kuin negatiivisia ympäristövaikutuksia kuvaava ympäristöjalanjälki, ympäristökädenjälki kuvaa tuotteen tai palvelun positiivisia ympäristövaikutuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT (VTT) ja LUT-yliopisto kehittivät yhteistyössä menetelmän, jolla voidaan mitata veden, ravinteiden, ilmanlaadun sekä resurssitehokkuuden kädenjälkeä yritys- ja projektitasolla. Kun tavallisesti ympäristövaikutuksista raportoidaan negatiivisilla mittareilla, kuten hiili- ja vesijalanjäljellä, ympäristökädenjäljen avulla voidaan viestiä positiivisista ympäristövaikutuksista ja kannustaa päästöjen vähentämiseen.

## 2.4 ELINKAAREN VAIHEET

PEF-tutkimuksessa tulee tarkastella viittä eri elinkaaren oletusvaihetta, jotka ovat alkutuotanto, prosessointi, logistiikka, kauppa ja kuluttaja sekä jätteet ja sivuvirrat (Euroopan komissio, 2021, s. 35). Tämä on vähimmäisvaatimus ja tarvittaessa elinkaarivaiheita voidaan jakaa osiin, tai analyysiin voidaan lisätä myös uusia vaiheita. Mikäli näin tehdään, on tälle annettava perustelut PEF-raporttiin.

## 2.4.1 Alkutuotanto

Tämä elinkaarivaihe alkaa siitä, kun luonnonvaroja hankitaan ja puolestaan päättyy, kun tuotteen komponentit saapuvat tuotantolaitokseen (Euroopan komissio, 2021, s. 35–36.). Vaihe voi sisältää muun muassa luonnonvarojen louhintaa ja hankintaa (kuvio 4), tarkastelussa olevan tuotteen materiaalisyötteiden esikäsittelyä, maa- ja metsätalouteen liittyviä toimia, raaka-aineiden hankintapaikoilla ja esikäsittelylaitoksissa tapahtuvat kuljetukset kuten myös kuljetukset tuotantolaitoksiin ja muita vastaavia prosesseja. Niin ikään pakkaustuotanto on mallinnettava osana tätä elinkaarivaihetta.



Kuvio 4. Alkutuotannon elinkaarivaihe (Haaraniemi, 2023, soveltaen Euroopan komissio, 2021, s.35–36).

Maataloustuotannossa on käytettävä satoa, vedenkulutusta, maankäyttöä sekä sen muutoksia, ja lannoitteiden kuin myöskin torjunta-aineiden määriä määritettäessä viljelykasvi- ja maa-, alue- sekä ilmastokohtaisia tietoja, jotka ovat ilmoitettu hehtaaria kohti vuodessa (Suomen ympäristökeskus, 2017, s. 3). Viljelytiedot tulee kerätä tarpeeksi pitkältä aikaväliltä, jotta on mahdollista saada kuvaava keskimääräinen arvio tuotannon syötteiden ja tuotosten inventaarioanalyysi. Näissä on otettava huomioon myös kausivaihtelut.

**Tietojen keruussa on noudatettava LEAP (Livestock Environmental Assessment and Performance -Partnership) -ohjeita (Euroopan komissio, 2021, s. 39):**

- Yksivuotisilla kasveilla on oltava vähintään kolmen vuoden mittainen arviointijakso kasvuolosuhteiden vaihtuvuudesta aiheutuvien satoerojen tasoittamiseksi. Mikäli tietoja ei ole saatavilla kolmelta vuodelta uuden tuotantojärjestelmän käynnistämisen tai muun vastaavan syyn takia, on mahdollista suorittaa arviointi lyhyemmän ajanjakson perusteella, kunhan se on vähintään yhden vuoden mittainen.

- Monivuotisten kasvien tilanteen oletetaan olevan tasapainossa, eli niissä kaikilla kehitysvaiheilla on suhteellinen edustus tarkasteltavan ajanjakson aikana. Tällöin syötteiden ja tuotosten arvioinnissa tulee käyttää kolmen vuoden ajanjaksoa.
- Mikäli viljelysyklin eri vaiheiden kestossa esiintyy mahdollista vaihtelua, tulee tiedot oikaista mukauttamalla viljelyalat, jotka eri kehitysvaiheisiin on osoitettu, teoreettista tasapainossa olevaa tilannetta kuvaavia viljelyaloja vastaaviksi. Mikäli tämänkaltaisia oikaisuja käytetään, on se dokumentoitava PEF-raporttiin selityksineen. Elinkaari-inventaarion tekeminen monivuotisille kasveille tai viljelykasveille ei ole sallittua ennen kuin tuotantojärjestelmä alkaa todellisuudessa tuottaa satoa.
- Alle vuoden kuluessa viljeltävien ja korjattavien viljelykasvien tiedot tulee olla kerättyinä yhden sadon tuotantokaudesta käyttäen vähintään kolmen peräkkäisen viljelysyklin aikajaksoa. Keskiarvon laskeminen kolmen vuoden aikajaksolle onnistuu parhaiten kokoamalla ensin vuotuiset tiedot yhteen ja laskemalla näistä vuosittaiset elinkaaren inventaariotiedot. Tämän jälkeen voidaan määrittää keskiarvo kolmen vuoden jaksolta.

Torjunta-aineista aiheutuvat päästöt tulee mallintaa yksittäisten tehoaineiden tasolla (Euroopan komissio, 2021, s. 39). USEtox-vaikutusarviointimenetelmästä löytyy tehoaineiden vaihemalli, joka huomioi eri ympäristönosat ja joka simuloi torjunta-aineiden eri vaiheita. Tästä syystä elinkaari-inventaarion mallintaminen eri ympäristönosille vaatii käytettäväksi erilaisia oletuspäästöosuuksia. Muun muassa pellolle levitettävien torjunta-aineiden aiheuttamat päästöt tulee mallintaa käyttäen seuraavia osuuksia: 90 % päästöistä tulee päätyä maatalousmaahan, 9 % ilmaan ja yksi prosentti veteen.

Lannoitteiden sekä lannan käytöstä syntyvät päästöt tulee eritellä lannoitteen tyyppin mukaisesti ja päästöistä on ilmoitettava vähintään (Euroopan komissio, 2021, s. 39): Typpilannoitteiden käytöstä aiheutuvat  $\text{NH}_3$ - ja  $\text{N}_2\text{O}$ -päästöt ilmaan; kalkin, urean sekä ureayhdisteiden käytöstä aiheutuvat  $\text{CO}_2$ -päästöt ilmaan; typpilannoitteiden käytöstä peräisin olevat  $\text{NO}_3$ -päästöhuuhtoutumat veteen; fosforilannoitteiden käytöstä peräisin olevat liukoiset fosfaattihuuhtoutumat tai -valumat sekä niin ikään fosforilannoitteiden käytöstä aiheutuvat fosforipäästöt määrittelemättömään tai makeaan veteen

Elinkaari-inventaariomallinnuksessa maaperä nähdään osaksi teknozfääriä eli ihmisten tuottamia rakenteita, joten ne ovat tämän vuoksi sisällytettävä mallinnukseen (Euroopan komissio, 2021, s. 39–40). Mikäli fosforin määrään liittyviä tietoja ei ole saatavissa, voidaan elinkaari-inventaarion mallinnus peltolohkolle tehdä fosforin (joka on lannoitteiden mukana tullut) määrän sekä ympäristönosan, siis maaperän, perusteella. Tässä tilanteessa valumat maaperästä veteen huomioidaan vaikutusarvioinnissa sekä karakterisointikertoimessa. Maan rehevöitymisen vaikutusarviointi alkaa hetkestä, jolloin typpi poistuu pellon maaperästä. Tämä tarkoittaa sitä, että tämänkaltaisessa tilanteessa maaperään kulkeutuvia typpipäästöjä ei mallinneta, kun taas ilmaan sekä veteen päätyvät päästöt tulee mallintaa sitä lannoitemäärä kohti, mitä pellolle on levitetty. Typpipäästöt puolestaan lasketaan pellolle levitetyn typen perusteella, ja laskennassa ei huomioida typpipäästöjen ulkoisia lähteitä.

Lisäksi tarpeen mukaan on otettava huomioon myös muita toimintoja, ellei niitä voida poissulkea tietyin rajauskriteerein (Euroopan komissio, 2021, s. 42). Näitä ovat muun muassa siemenaineiston käyttö, turpeen lisääminen maa-ainekseen, pellon kasvustojäämien aiheuttamat typpipäästöt sekä koneiden käyttö, mikäli tunteja kertyy merkittävässä määrin.

## **2.4.2 Prosessointi**

Tuotteen tuotantovaihe käynnistyy tuotekomponenttien tuotantopaikalle saapumisesta ja päättyy valmiin tuotteen lähtöön tuotantolaitoksesta (Euroopan komissio, 2021, s. 36). Prosessointiin liittyviä toimintoja ovat muun muassa kemiallinen prosessointi, valmistus, puolivalmiiden tuotteiden kuljetus valmistusprosessien välillä ja komponenttien kasaaminen.

Sähköverkosta otettava käyttö sähkö, jota prosessoinnissa käytetään, on mallinnettava tarkasti asettaen toimittajakohtaiset tiedot etusijalle (Euroopan komissio, 2021, s. 42.). Sähkön ollessa peräisin uusiutuvista lähteistä on varmistettava, ettei sähköä lasketa kahdesti. Tämän vuoksi toimittajan on kyettävä takaamaan organisaatiolle toimitetun sähkön, jonka avulla tarkasteltavaa tuotetta on tuotettu, olevan tosiasiallisesti uusiutuvista energianlähteistä tuotettua ja ettei se ole enää saatavilla muille kuluttajille. Tähän liittyen käsitellään kahdenlaatuisia energiajakaumia, joista ensimmäinen on sähköverkosta saatavan sähkön kulutusjakauma ja se kattaa jonkin tietyn verkon kautta siirretyn kokonaisjakauman. Toinen on jännösjakauma, joka kattaa vain alkuperältään varmentamattoman ja julkisesti saatavilla olevan sähkön.

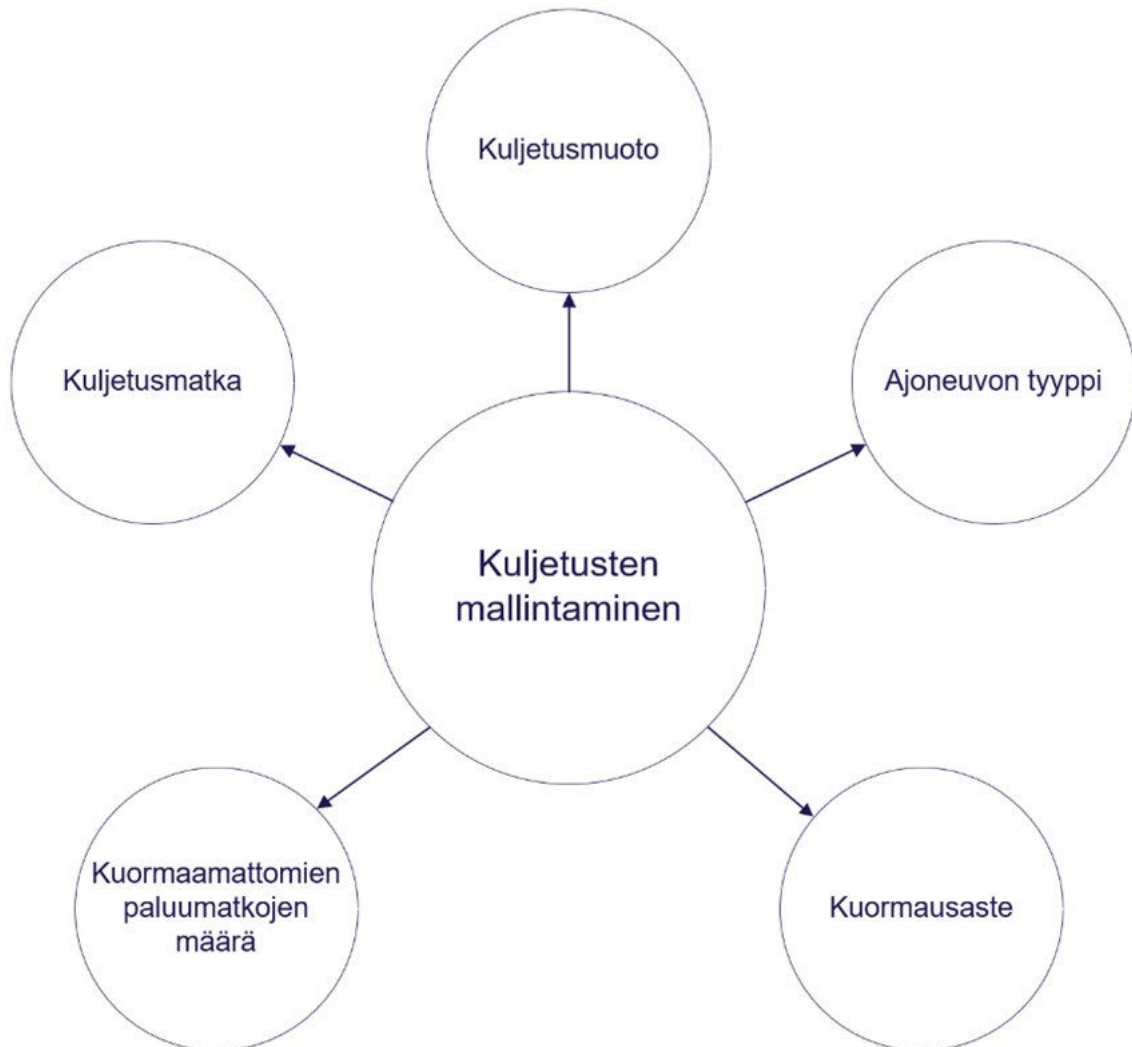
PEF-tutkimuksessa tulee käyttää seuraavassa mainittuja energiajakau-  
mia ja kerrotun mukaisessa järjestyksessä (Euroopan komissio, 2021, s.  
42–43). Ensimmäisenä vaihtoehtona on toimittajakohtaiset sähkötuotetie-  
dot, joita tulee käyttää, mikäli kyseisessä maassa käytetään täysin kattavaa  
sähkönseurantajärjestelmää. Toisena vaihtoehtona on toimittajakohtai-  
sen kokonaisjakauksen käyttö. Molemmat mainitut vaihtoehdot vaativat  
luonnollisesti myös sen, että näitä tietoja on saatavilla ja sopimusvälinei-  
den luotettavuus kyetään varmistamaan. Kolmantena vaihtoehtona on  
maakohtaisen jäännösjakauman käyttäminen. Tällä tarkoitetaan maata,  
johon tarkastelussa oleva elinkaarivaihe tai toiminta kohdistuu. Kaksois-  
laskennan ehkäisemiseksi jäännösjakauma ei huomioi a ja b alakohtiin  
määriteltyjä toimittajakohtaisia jakauksia. Neljäntenä ja viimeisenä vaihto-  
ehtona tulee puolestaan käyttää keskimääräistä EU:n jäännösjakaumaa tai  
muuta jäännösjakaumaa, joka edustaa kyseistä aluetta.

### 2.4.3 Logistiikka

Tuotteet kuljetetaan ja jaetaan käyttäjille, ja niitä voidaan myös varastoida  
monessa kohdassa toimitusketjun aikana (Euroopan komissio, 2021, s.  
36). Logistiikkavaiheeseen kuuluvat kuljettaminen tehtaalta varastoon tai  
vähittäismyyntiin, tuotteen varastoiminen kyseisessä varastossa tai vähit-  
täismyymälässä ja sen jälkeen kuljetus sieltä eteenpäin kuluttajan kotiin.  
Esimerkkiprosesseja logistiikassa ovat varastojen valaisemiseen ja lämmit-  
tämiseen käytettävät energiasyötteen, kylmäaineiden varasto- ja kuljetus-  
ajoneuvokäyttö, ajoneuvojen polttoaineenkulutus sekä tiet ja kuorma-au-  
tot. Tässä on huomioitava myös logistiikan ja varastoinnin aikana syntyvä  
hävikki.

Kuljetusten mallintamisessa on otettava huomioon viisi olennaista muut-  
tujaa. Ensimmäisenä on kuljetusmuoto (kuvio 5) eli miten tavaraa kuljete-  
taan (Euroopan komissio, 2021, s. 47). Kuljetustapana voi olla maateitse  
esimerkiksi kuorma-auton tai junan voimin, vesiteitse laivalla ja lautalla  
tai ilmateitse lentokoneella. Toisena on ajoneuvon tyyppi kuljetusmuo-  
doittain. Tämän jälkeen on kuormausaste, toisin sanoen käyttöaste. Kuor-  
mausaste on suoraan yhteydessä ympäristövaikutuksiin ajoneuvon muut-  
tuvan polttoaineen kulutuksen kautta, ja tämän vuoksi se tulee ottaa  
huomioon. Myös kuormattomien paluumatkojen määrä on huomioitava  
tarpeen mukaan, ja kuormattomalla ajoneuvolla ajatut kilometrit on niin  
ikään kohdennettava tuotteelle, jota tarkastellaan. Kuljetusten oletusda-  
ta-aineistossa tämä on monesti otettu valmiiksi huomioon käyttöasteen  
oletusarvoissa. Näiden lisäksi on vielä kuljetusmatka, joka on dokumen-  
toitava tarkasteltavan tapauksen ominaisia keskiarvoisia kuljetusmatkoja

käyttäen. Data-aineistoissa, jotka ovat EF-vaatimusten mukaisia, tulee kuljetusten suhteen huomioida niin ikään polttoaineen tuotanto, ajoneuvon polttoaineenkulutus, tarpeellinen infrastruktuuri sekä lisäresurssit, joita logistiset toiminnot edellyttävät.



Kuvio 5. Kuljetuksen mallintaminen (soveltaen Euroopan komissio, 2021, s. 47).

Kuorma-autokuljetuksien data-aineistoissa tulee EF-vaatimusten (Euroopan komissio, 2021, s. 47) mukaan ilmoittaa ympäristövaikutukset tonnikilometreinä, eli toisin sanottuna kun tuhat kilogrammaa (tonni) tavaraa kuljetetaan kuorma-autolla yhden kilometrin mittaisen matkan. Myös kuljetuksen hyötykuorma eli suurin sallittu massa tulee olla ilmoitettu data-aineistossa. Kuljetuksen päästöt tulee kohdentaa kuljetuksen kohteena olevan tavarann massan perusteella, ja jos kuorma-auton hyötykuorma on esimerkiksi 22 tonnia, niin tällöin tonnin tavarann kuljetus tällä ajoneuvolla aiheuttaa päästöjä  $1/22$  kyseisen kuorma-auton tuottamista

kokonaispäästöistä. Mikäli kuljetettava kuorma on pienempi, kuin maksimikapasiteetti, vaikuttaa se tähän sekä siten, että kuorma-auton polttoaineenkulutus kokonaiskuormaa kohti pienenee, ja toisekseen kuljetuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset kohdennetaan todellisuudessa kuljetetun kuorman mukaisesti.

#### **2.4.4 Jätteet ja sivuvirrat**

Tämä vaihe alkaa käyttäjän poistaessa tarkasteltavan tuotteen ja sen pakkausten käytöstä, ja päättyy tuotteen palautumiseen luontoon jätteenä tai siirtyessään toisen tuotteen elinkaareen (Euroopan komissio, 2021, s. 37). Tähän sisältyy tavallisesti jäte, joka on peräisin tarkasteltavasta tuotteesta. Mainittu jäte voi olla muun muassa elintarvikejätettä tai kuluttajapakkauksia. Prosessointi, logistiikka tai kauppa- ja kuluttajat -vaiheissa syntyvä jäte tulee sisällyttää tuotteen elinkaareen ja mallinnettava siinä elinkaaren vaiheessa, jossa jäte syntyy.

PEF-menetelmää käytettäessä on huomioitava kaikki tarkasteltavan tuotteen jätteisiin ja sivuvirtoihin liittyvät prosessit (Euroopan komissio, 2021, s. 37–38). Tämän elinkaarivaiheen prosesseja ovat esimerkiksi tarkasteltavan tuotteen kerääminen ja kuljettaminen loppukäsittelylaitoksiin, komponenttien purku, paloittelu sekä lajittelu, kierrätysmateriaaliksi muuntaminen, kompostointi, polttaminen ja pohjatuhkan hävitys, sekä kaatopaikalle sijoitus ja kaatopaikan toiminta sekä ylläpito.

PEF-ohjeistuksen mukaisesti (Euroopan komissio, 2021, s. 56–57) kierrätysmateriaalien ja käytöstä poiston mallintamisessa tulisi käyttää kiertojalanjäljen laskentakaavaa eli CFF-kaavaa (Circular Footprint Formula). Kaava on Euroopan komission kehittämä ja sen tarkoituksena on kohdentaa materiaalien, energian ja loppukäsittelyn vaikutuksia elinkaaren vaiheissa. Tarkalleen ottaen CFF-kaava sisältää kolme erillistä kaavaa, jotka sisältävät kahdeksantoista eri muuttujaa, joille tarjotaan kuitenkin esimerkiksi PEF-ohjeistuksessa perusteltuja oletusarvoja. CFF-kaavaa ei ole hyödynnetty esimerkiksi IKE-hiilijalanjälkilaskurissa, mutta siihen voi tutustua tarkemmin PEF-ohjeistuksesta ja liitteestä 1.

## 2.4.5 Kauppa ja kuluttaja

Kauppa ja kuluttaja vaiheessa kuvataan (Euroopan komission suositus, 2021. s. 36), millä tavoin loppukäyttäjän, kuten kuluttajan, odotetaan käytävän tarkasteltavaa tuotetta. Vaihe alkaa loppukäyttäjän aloittaessa tuotteen käytön, ja päättyy tuotteen lähtiessä käyttöpaikasta ja siirtyessä pois-  
toon, esimerkiksi kierrätettäväksi tai loppukäsittelyyn. Tämä vaihe sisältää kaikki toimenpiteet ja tuotteet, joita tarkasteltavan tuotteen asianmukainen käyttö vaatii. Toisin sanoen näiden avulla varmistetaan tuotteelle alkuperäisesti asetetun tehtävän täyttyminen koko sen elinkaaren ajan. Tuotteen käytöstä aiheutuvaa jätettä, kuten elintarviketejäte, ei huomioida käyttövaiheessa vaan se on osa jätteet ja sivuvirrat -vaihetta. Esimerkiksi kahvikapseleiden loppukäsittely ja valmistuksessa syntyvät jäämät sekä jauhetun kahvin pakkaukset huomioidaan jätteissä ja sivuvirroissa.

Joissain tapauksissa tuotteen asianmukainen käyttö vaatii muidenkin tuotteiden käyttöä. Tällöin ne tulevat fyysiseksi osaksi tarkasteltavaa tuotetta, ja näiden käytöstä syntyvät jätteet kuuluvat jätteisiin ja sivuvirtoihin (Euroopan komission suositus, 2021. s. 36). Esimerkiksi mikäli tuotteena olisi pesuaine, syntyy pesuaineen käytön yhteydessä jätevetä ja sen käsittely kuuluu jätteet ja sivuvirrat -vaiheeseen. Käyttöskenaariota yksi huomioon otettavista asioista on myös se, voiko tarkastelun kohteena olevan tuotteen käyttö johtaa käytettävän järjestelmän muutokseen.

Käyttöskenaariota koskevien teknisten tietojen lähteet sisältävät muun muassa markkinatutkimukset ja muut markkinatiedot, julkaistut kansainväliset standardit sekä julkaistut kansalliset ja toimialakohtaiset suuntaviivat (Euroopan komission suositus, 2021. s. 36–37).



# 3

## ELINKAARIARVIOINTI JA HIILIJALANJÄLKILASKENTA

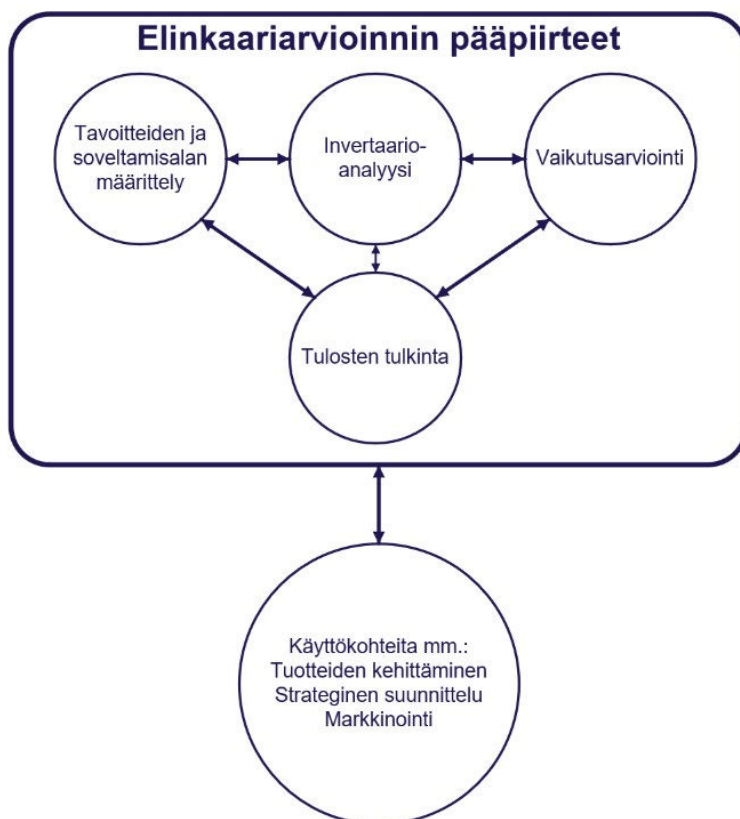
---

Elinkaariarviointi, jota kutsutaan myös elinkaarimallinnukseksi tai LCA:ksi (Life Cycle Assessment), on tuotteiden ympäristövaikutusten selvittämiseen ja ympäristön tehokkaampaan suojeluun kehitetty menetelmä (SFS, 2021, s. 7). Elinkaariarvioinnissa pääasiallisena tarkoituksena on tutkittavan kohteen ympäristövaikutusten mallintaminen koko sen elinkaaren ajalta aina raaka-aineiden tuotosta loppukäsittelyyn saakka. Tämänkaltaista mallinnusta kutsutaan kehdosta hautaan -arvioinniksi. Tutkimusta on kuitenkin mahdollista rajata suppeammaksi, jos tarve vaatii. Esimerkkejä tarkasteltavista ympäristövaikutuksista ovat muun muassa happamoituminen ja ilmastonmuutos.

Elinkaariarvioinnin ja -mallinnuksen tekemisen avulla voidaan saavuttaa monia hyötyjä, joista merkittävin on tutkittavan kohteen ympäristövaikutusten selvittäminen ja tarkentaminen elinkaaren eri vaiheissa (SFS, 2021, s. 7). Lisäksi mallinnus voi helpottaa päätöksentekijöitä, kun strategioita laaditaan, suunnitellaan ja priorisoidaan. Se myös auttaa sopivien ympäristöasioiden hallintaan liittyvien indikaattorien ja mittausmenetelmien määrittämisessä ja kehittämisessä, päästövähennyskeinojen tunnistamisessa sekä markkinoinnin edistämässä.

**Elinkaariarvioinnin merkittävimmät vaiheet (kuvio 6) voidaan jaotella neljään eri osaan (SFS, 2021, s. 7).**

1. Tavoitteen ja soveltamisalan määrittäminen. Tämän tarkoituksena on asettaa selvitykselle tavoite, määritellä rajat tutkittavalle systeemille ja niin ikään määritellä, miten arviointi tullaan toteuttamaan.
2. Elinkaariarvioinnin inventaarioanalyysi, eli LCI-analyysi. Tässä vaiheessa kerätään ja käsitellään selvityksen toteuttamiseen tarvittava data. Selvitys toteutetaan ensimmäisessä vaiheessa asetettujen tavoitteiden sekä määritysten mukaan.
3. Vaikutusten arviointi, eli LCIA. Arvioidaan kerätyn datan avulla ympäristövaikutuksia ja niiden merkittävyyttä tietyissä ennalta määritetyissä vaikutusluokissa.
4. Tulosten tulkinta. Arvioidaan tuloksia, joita tutkimuksesta on saatu, tehdään niistä johtopäätökset ja näiden perusteella annetaan suosituksia jatkotoimenpiteistä.



Kuvio 6. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet (Haaraniemi, 2023, soveltaen SFS, 2021, s. 2016).

## 3.1 LASKENNAN VAIHEET

Tässä kappaleessa esitellään yleisesti elinkaarimallintamiseen liittyviä laskennan vaiheita ja periaatteita PEF-ohjeistuksen, Greenhouse Gas Protocol-ohjeistusten ja ISO standardien pohjalta. Tässä oppaassa laskennan vaiheiden pääjaottelu tehdään PEF-ohjeistuksen (Euroopan Komissio, 2021, s. 26) pohjalta. Tämän mukaisia vaiheita ovat tavoitteiden määrittäminen, soveltamisalan määrittely, elinkaari-inventaario (LCI), vaikutusten arviointi (LCIA), PEF-tulosten tulkitseminen sekä PEF-raportointi.

### 3.1.1 Tavoitteiden määrittäminen

PEF-tutkimuksen ensimmäinen vaihe sisältää tutkimusten tavoitteiden sekä yleisen tutkimuskehyksen määrittelyn (Euroopan komissio, 2021, s. 28). Tavoitteet määritellään selkeästi, jotta voidaan varmistaa tavoitteiden, menetelmien, tulosten sekä käyttötarkoitusten olevan mahdollisimman yhdenmukaisia ja että tutkimuksen toteuttajilla on yhteinen visio, joka ohjaa heidän toimintaansa. PEF-tutkimuksen tavoitteiden määrittely vaatii seuraavien näkökohtien huomioimista: Käyttötarkoitukset, tutkimuksen toteuttamisen syyt sekä asiayhteys, kohdeyleisö, tutkimuksen tilaaja ja tutkimuksen todentaja.

### 3.1.2 Laskentaperiaatteet ja -vaatimukset

Hiilijalanjäljen laskennassa ja raportoinnissa tulee noudattaa merkityksellisyiden, tarkkuuden, täydellisyyden, johdonmukaisuuden ja läpinäkyvyyden periaatteita (Bhatia ym., 2011, s. 14). Laskennassa tulee huomioida hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>), typpioksiduulin (N<sub>2</sub>O), rikkiheksafluoridin (SF<sub>6</sub>), perfluorihilivetyjen (PFC-yhdisteet) sekä fluorihilivetyjen (HFC-yhdisteet) päästöt ilmakehään, kuten myös poistot ilmakehästä. Lisätyt hiilijalanjälkilaskennat tulee luetella raportissa. Yritysten tulee määritellä tuote, analyysiyksikkö ja referenssivirtaus. Yritysten tulee määritellä kaikille lopullisille tuotteille tutkimus-/analyysiyksikkö toiminnallisena yksikkönä. Puolestaan välituotteille, joiden lopullinen toiminto/tarkoitus ei ole tiedossa, yritysten täytyy määritellä analyysiyksikkö referenssivirtauksena.

Hiilijalanjäljen laskennassa täytyy kaikki aiheeseen liittyvät prosessit sisällyttää tuotejärjestelmään (Bhatia ym., 2011, s. 14). Yritysten tulee raportoida elinkaarivaiheiden määritelmät ja kuvaukset. Myös mahdolliset prosessien poissulkemiset tulee kertoa ja perustella inventaarioraportissa. Kaikki hiilijalanjäljen laskentaan suoraan vaikuttavat prosessit tulee raportoida prosessikaavion muodossa. Myös prosessit, joilla ei ole vaikutusta laskentaan tulee raportoida tuotejärjestelmän rajauksessa.

Laskennassa tulee soveltaa 100 vuoden ominaislämmitysvaikutuksen kerrointa (Bhatia ym., 2011, s. 85), eli niin kutsuttuja  $GWP_{100}$ -kertoimia hiilidioksidipäästöjen ja -poistumien tietoihin, jotta inventaarion tulokset voidaan laskea  $CO_2$ -ekvivalenttiyksiköinä. Ominaislämmitysvaikutuskertoimien lähde ja päivä tulee ilmoittaa.  $GWP_{100}$ -kertoimien lisäksi on käytössä myös muita kertoimia erilaisille ajanjaksoille (SFS, 2018, s. 91). Kansainvälisten sopimusten nojalla yleisesti lyhyen aikavälin vaikutuksia ilmastonmuutokseen kuitenkin kuvataan 100 vuoden aikajaksolla, vaikka tälle ei varsinaisesti ole tieteellistä perustetta.

### 3.1.3 Soveltamisalan ja laskennan rajauksen määrittely

Kun tehdään PEF-tutkimuksen soveltamisalan määrittelyä, kuvataan samalla tarkasti arvioitava järjestelmä ja tekniset eritelmät, mitkä siihen kuuluvat (Euroopan komissio, 2021, s. 28–29). Soveltamisalan täytyy olla tutkimustavoitteita mukaileva, ja sen on sisällettävä seuraavassa mainitut näkökohdat: toiminnallinen yksikkö ja vertailuvirta, järjestelmän rajat, EF-vaikutusluokat, täydentävät ja merkitykselliset tiedot, sekä rajoitukset ja oletukset.

**Toiminnallinen yksikkö ja vertailuvirta.** Toiminnallinen yksikkö (Euroopan komissio, 2021, s. 29) on vertailuyksikkönä käytettävä tuotejärjestelmän mitattavissa oleva tulos, ja se kuvaa tarkastelussa olevan tuotteen toimintoa ja kestoaa laadun ja määrän osalta. Vertailuvirta puolestaan on se määrä tarvittavia tuotteita, mikä tarvitaan halutun toiminnon tuottamiseen. Kaikki muut syöte- ja tuotosvirrat, jotka analyysiin sisältyvät, liittyvät määrällisesti siihen. Mikäli ei ole perusteltua syytä toimia poikkeavalla tavalla, tulisi tuotteen käyttöiän saavuttamiseksi tarpeellisten tuotteiden määrä pyöristää alati ylöspäin. Vertailuvirta on mahdollista esittää suoraan toiminnallisen yksikön suhteessa tai vaihtoehtoisesti tuotesuuntautuneemmalla tavalla. Menetelmää käyttävän henkilön on määritettävä nämä molemmat PEF-tutkimuksen toteuttamista varten. On myös kuvattava tuotteen osat, jotka eivät kuulu toiminnalliseen yksikköön ja perusteltava syyt, miksi ne eivät kuulu siihen.

Toiminnallinen yksikkö määritellään neljän kohdan perusteella (Euroopan komissio, 2021, s. 29): Ensimmäisenä on toiminnon tai palvelun määrittely, eli mitä käsitellään ja mikä toiminto tai palvelu on kyseessä. Toisena määritellään toiminnon tai palvelun laajuus eli vastataan kysymykseen ”miten paljon”. Kolmantena määritellään toiminnolta tai palvelulta odotettu laatutaso eli miten hyvin toiminto tulee tuottaa. Viimeisenä määritellään tuotteen käyttöikä, eli vastataan kysymykseen, miten kauan tuotteen/toiminnon tulee kestää.

Näiden lisäksi sekä varastointi-, vähittäismyynti- että kuluttajavaiheessa tulee määrittää ruokahävikki (Euroopan komissio, 2021, s. 29), mikäli elintarvikepakkauksessa on ilmoitettu tuotteen säilyvyysaika, joka voi olla esimerkiksi ”viimeinen käyttöpäivä”. Myös pakkaustyyppi tulee ottaa määrittelyissä huomioon, mikäli se vaikuttaa tuotteen säilymisaikaan.

**Käytännön esimerkkinä toiminnallisesta yksiköstä ja vertailuvirrasta voidaan käyttää leipää. Leipomossa tuotetun leivän toiminnalliseksi yksiköksi voidaan määritellä esimerkiksi:**

- Valmiiksi viipaloitua täysjyväviljaleipää (toiminnon tai palvelun määrittely)
- Suositeltu määrä viljavalmisteita aikuisen ihmisen ravitsemus- ja ruokasuositusten mukaisesti (toiminnon tai palvelun laajuus)
- Tuotettu suomalaisen elintarvikelainsäädännön mukaisesti (toiminnon tai palvelun odotettu laatutaso)
- Viimeinen käyttöpäivämäärä on alle kolme vuorokautta valmistuspäivämäärästä (tuotteen käyttöikä)

Vertailuvirtana tämän esimerkin mukaisesti kuusi leipäviipaleutta naisille ja yhdeksän viipaleutta miehille Ruokaviraston (2022) suositusten mukaisesti sillä oletuksella, että koko viljavalmisteiden tarve täytetään leivällä.

**Järjestelmäraajat** määrittelevät tutkimuksen kohteena olevaan järjestelmään kuuluvat tuotteen elinkaaren osat ja näihin liittyvät elinkaaren vaiheet sekä prosessit lukuun ottamatta rajaussäännön perusteella pois suljettuja prosesseja (Euroopan komissio, 2021, s. 30). Poissulkujen syyt ja merkitykset tulee dokumentoida ja perustella. Järjestelmäraajat tulee määrittää toimitusketjussa yleisesti käytössä olevan logiikan mukaan, ja tähän luetaan mukaan kaikki vaiheet alkutuotannosta, prosessoinnista, logistiikasta, jätteistä ja sivuvirroista aina kauppaan ja kuluttajaan saakka (ks. kohta 2.4 Elinkaaren vaiheet). Joka tapauksessa vähimmäisvaatimus on, että kaikki edustajärjestelmän rinnakkaistuotteet, sivutuotteet sekä jätevirrat yksilöidään selkeällä tavalla. Järjestelmän rajakaavio on analysoitavan järjestelmän kaavioesitys, jossa esitetään selkeästi ne toiminnot ja prosessit, jotka analyysiin sisältyvät ja myös eritellään ne toiminnot ja prosessit, mitkä on jätetty analyysistä pois. Lisäksi yrityskohtaisia tietoja sisältävät osa-alueet tulee korostaa.

**EF-vaikutusluokat.** Vaikutusarvioinnissa tarkoitus on ryhmitellä ja koota elinkaari-inventaarion tiedot yhteen niiden EF-vaikutusluokan osuuksien

mukaisesti (Euroopan komissio, 2021, s. 30–32). EF-vaikutusluokkia, joilla tarkoitetaan PEF-tutkimuksessa tarkasteltavia erityisiä ympäristövaikutusten luokkia, valittaessa on tärkeää huomioida tuotteen toimitusketjun monet oleelliset ympäristökysymykset PEF-tutkimuksissa käytössä olevien sovellettujen täydellisyysvaatimusten mukaan. EF-vaikutusluokat puolestaan muodostavat EF-vaikutusarviointimenetelmän. Elinkaari-inventaarion ja kunkin EF-vaikutusluokan indikaattorin välistä ympäristömekanismeja mitataan käyttämällä karakterisointimalleja.

**Täydentävät ja merkitykselliset tiedot.** Tuotteen potentiaaliset ympäristövaikutukset saattavat ulottua myös pidemmälle, EF-vaikutusluokkien ulkopuolelle (Euroopan komissio, 2021, s. 32). Mikäli mahdollista, ne tulee raportoida täydentävissä ympäristötiedoissa. Tuotteen oleellisimmat tekniset ja/tai fyysiset ominaisuudet voivat olla myös asioita, jotka täytyy ottaa huomioon, ja nämä seikat tulee raportoida täydentävissä teknisissä tiedoissa.

Täydentävien ympäristötietojen osalta on säädetty (Euroopan komissio, 2021, s. 33), että niiden tulee olla asiaan liittyvän lainsäädännön mukaisia. Tällainen lainsäädäntö voi olla esimerkiksi kaupallisiin menettelyihin liittyvä direktiivi ja sen ohjeistus. Täydentävien ympäristötietojen tulee olla myös merkityksellisiä kyseessä olevan tuotteen tai tuoteryhmän näkökulmasta ja lisäksi sellaisia, että ne täydentävät EF-vaikutusluokkien näkökohtia. Ne eivät siis saa kuvata samanlaisia seikkoja keskenään, eikä näillä ympäristötiedoilla voida esimerkiksi korvata EF-vaikutusluokkien karakterisointimalleja eikä niissä ole lupaa raportoida uusien karakterisointiker toimien tuloksista, jotka EF-vaikutusluokkiin on lisätty. Täydentävien tietojen tukeviin malleihin tulee viitata selkeästi ja niiden dokumentointi tulee toteuttaa niitä vastaavien indikaattoreiden kanssa samassa yhteydessä. Vaikkapa tietyn tuotantolaitoksen yhteydessä on mahdollista ilmetä biologiseen monimuotoisuuteen painottuvia vaikutuksia, joiden ilmeneminen on maankäytön muutoksista johtuvaa.

Täydentävien ympäristötietojen tulee liittyä vain ympäristöön liittyviin kysymyksiin, joten tietoja tai ohjeita, joilla ei ole kytköstä tuotteen ympäristötehokkuuteen liittyen, ei voida sisällyttää täydentäviin ympäristöehtoihin (Euroopan komissio, 2021, s. 33). Muun muassa seuraavanlaisia tietoja voidaan kuitenkin raportoida tässä kategoriassa: Paikallisten tai tuotantolaitoskohtaisten vaikutusten tiedot, hyvitykset, ympäristöindikaattorit, melun vaikutukset ja muut ympäristötiedot, jotka katsotaan oleellisiksi PEF-tutkimuksen suhteen.

Biologinen monimuotoisuus (Euroopan komissio, 2021, s. 33) on tärkeä asia useiden tuoteryhmien kohdalla, mutta PEF-menetelmään kuitenkin sisälly tätä seikkaa kuvaavaa vaikutusluokkaa, koska tähän mennessä ei olla löydetty kansainvälistä yksimielisyyttä tämän vaikutuksen määrittämiseen käytettävästä menetelmästä. PEF-menetelmässä on kuitenkin useita vaikutusluokkia, joilla on vaikutusta biologiseen monimuotoisuuteen. PEF-tutkimuksissa tuleekin selvittää biologisen monimuotoisuuden merkityksellisyyttä tarkastelussa olevan tuotteen näkökulmasta. Mikäli asia on merkittävä, on biologiseen monimuotoisuuteen liittyvät indikaattorit sisällytettävä ympäristötietoihin.

Täydentäviin teknisiin tietoihin voi sisältyä muun muassa (Euroopan komissio, 2021, s. 34) materiaaliluetteloiden tiedot, purettavuus, kokoonpanon helppous, korjattavuus ja muita kiertotaloutta koskevia tietoja, vaarallisten aineiden käyttötietoja, vaarallisten ja vaarattomien jätteiden hävittämistietoja, energiankulutustietoja, teknisiä parametrejä (kuten esimerkiksi sekä uusiutuva että uusiutumaton energia ja polttoaineet), tiedot jätteen kokonaispainosta lajittelu- ja hävitysmenetelmien perusteella eriteltynä ja biohajoavuuden ja kompostoitavuuden tietoja.

Tarkasteltavan tuotteen ollessa välituote (Euroopan komissio, 2021, s. 34), sisällytetään teknisiin tietoihin tiedot biogeenisestä (fyysisestä ja kohdenetusta) hiilipitoisuudesta tehtaan portilla, kierrätysmateriaalin osuudesta sekä tarpeen mukaan tulokset, joissa kiertojalanjäljen laskentakaavaan on hyödynnetty sovelluskohtaisia A-arvoja.

**Rajoitukset sekä oletukset.** PEF-tutkimukseen on mahdollista liittyä useita erinäisiä rajoitteita, ja tästä syystä oletuksia täytyy tehdä (Euroopan komissio, 2021, s. 34). Kaikki rajoitukset ja oletukset tulee raportoida avoimesti.

### **3.1.4 Tiedonkeruu, laadun arviointi ja allokointi**

Tiedonkeruu voi olla yksi kasvihuonekaasuluettelon laadinnan aikaa vievimmistä vaiheista (Bhatia ym., 2011, s. 47), mutta myös hyvin oleellinen osa sitä, koska kerätyn tiedon tarkkuudella voi olla suurikin vaikutus luettelon yleislaatuun. Tiedonkeruuprosessin aikana yritykset arvioivat aktiviteettidatan, päästökertoimien ja/tai suorien päästöjen tiedon laatua tiedon laatuindikaattoreita hyödyntäen. Kuviossa 7 on esitetty inventaarioanalyysin tärkeimmät vaiheet.



Kuvio 7. Inventaarioanalyysin vaiheet (Manninen, 2022, soveltaen SFS, 2020, s. 12).

Yrityskohtaisten elinkaari-inventaariotietojen tulisi sisältää prosessien kaikki tunnetut tuotokset ja syötteet (Euroopan komissio, 2021, s. 35). Syötteisiin kuuluvat muun muassa energian ja materiaalien käyttö, kun taas tuotoksia ovat muun muassa tuotetut tuotteet, jätteet ja aiheutuneet päästöt. Päästötietoja, jotka jakautuvat ilmaan, maaperään ja veteen kohdistuviin päästöihin, voidaan kerätä esimerkiksi suorilla mittauksilla tai suorittamalla laskentaa yrityskohtaisia toimintotietoja sekä asiaan liittyviä päästökertoimia hyödyntäen.

Yrityskohtaisia tietoja voidaan saada monista eri lähteistä (Euroopan komissio, 2021, s. 80). Näitä lähteitä ovat prosessi- tai laitostason tiedot kulutuksesta, laskut sekä muutostiedot liittyen kulutushyödykkeiden varastoihin, tiedot päästömittauksista, koostumustiedot tuotteista ja jätteistä sekä hankinta- ja myyntiyksiköistä saatava informaatio.

Uusien data-aineistojen (Euroopan komissio, 2021, s. 80), jotka PEF-tutkimuksen yhteydessä laaditaan, tulee olla EF-vaatimusten mukaisia. Yrityskohtaiset tiedot tulee mallintaa data-aineistossa yrityskohtaisesti poikkeuksetta. Materiaaliluettelo sisältää kaksi osaa, eli luettelon käytössä olleista materiaaleista ja/tai ainesosista sekä luettelo näiden määräistä. Materiaaliluettelossa olevien toimintotietojen tulee liittyä tarkastelussa olevaan tuotteeseen ja mallinnus tulee tässäkin tapahtua yrityskohtaisia tietoja käyttäen. Yrityksen tuottaessa useampaa kuin yhtä tuotetta, on käytössä olevien toimintotietojen koskettava kyseisellä hetkellä tutkittavana olevaa tuotetta.



Tiedon laadun arvioinnissa käytetään viittä eri indikaattoria (Bhatia ym., 2011, s. 48), jotka ovat teknologinen edustavuus, maantieteellinen edustavuus, ajallinen edustavuus, valmiusaste ja luotettavuus. Teknologinen edustavuus tarkoittaa sitä, että missä määrin tiedot heijastavat varsinaista prosessissa käytettyä tekniikkaa. Maantieteellinen edustavuus tarkoittaa sitä määrää, miten data heijastaa prosessien varsinaista maantieteellistä sijaintia tiettyjen rajojen puitteissa (esimerkiksi maa). Ajallinen edustavuus taas kertoo siitä, missä määrin saatu data heijastaa prosessin todellista aikaa tai ikää. Valmiusaste puolestaan tarkoittaa datan tilastollista edustavuutta prosessin suhteen ja luotettavuus kertoo siitä, miten luotettavia lähteet, tietojenkeruutavat ja varmistusmenettelyt ovat.

### **Tiedonkeruussa ja tiedon laatuarvioinnissa tulisi myös noudattaa seuraavia vaiheita (Bhatia ym., 2011, s. 49):**

- Laadi tiedonhallintasuunnitelma ja dokumentoi tiedonkeruu- ja arviointiprosessit, kun ne valmistuvat.
- Selvitä mitä kaikkea tietoa tarvitaan prosessikaaviota hyödyntäen.
- Tee seulonta, jotta tiedonkeruu helpottuisi.
- Tunnista tietomallit.
- Kerää primääridata kaikista prosesseista, jotka ovat raportoivan yhtiön hallussa tai omistuksessa.
- Muiden prosessien osalta kerää primääri- ja sekundääridata. Arvioi ja dokumentoi kerättyjen suorien päästöjen, aktiviteettidatan ja päästökertoimien tiedon laatu.
- Paranna tiedon laatua keskittyen prosesseihin, joilla on merkittävä vaikutus inventaariotuloksiin.

Tiedon laatuarviointi datankeruun aikana mahdollistaa sen, että yritykset voivat parantaa tiedon laatua tehokkaammin verrattuna tilanteeseen, jossa tietoa arvioidaan vasta, kun tiedonkeruu on jo tehty (Bhatia ym., 2011, s. 48).

Useimmissa elinkaarissa (Bhatia ym., 2011, s. 15, 61) on vähintään yksi yhteinen prosessi, jossa on useita tärkeitä tuotteita syötteinä tai tuotoksina ja joiden osalta ei ole mahdollista kerätä tietoa yksittäisestä syötteen tai tuotoksen tasosta. Näissä tilanteissa yhteisen prosessin kokonaispäästöt tai -poistumat tulee jakaa useiden syötteen ja tuotosten kesken, jotta ne kuvastavat riittävällä tarkkuudella tutkitun tuotteen ja sivutuotteen osuutta prosessin kokonaispäästöihin ja poistumiin. Tätä jakamista kutsutaan allokoinniksi, joka on tärkeä ja toisinaan haasteellinen osa tuotteiden

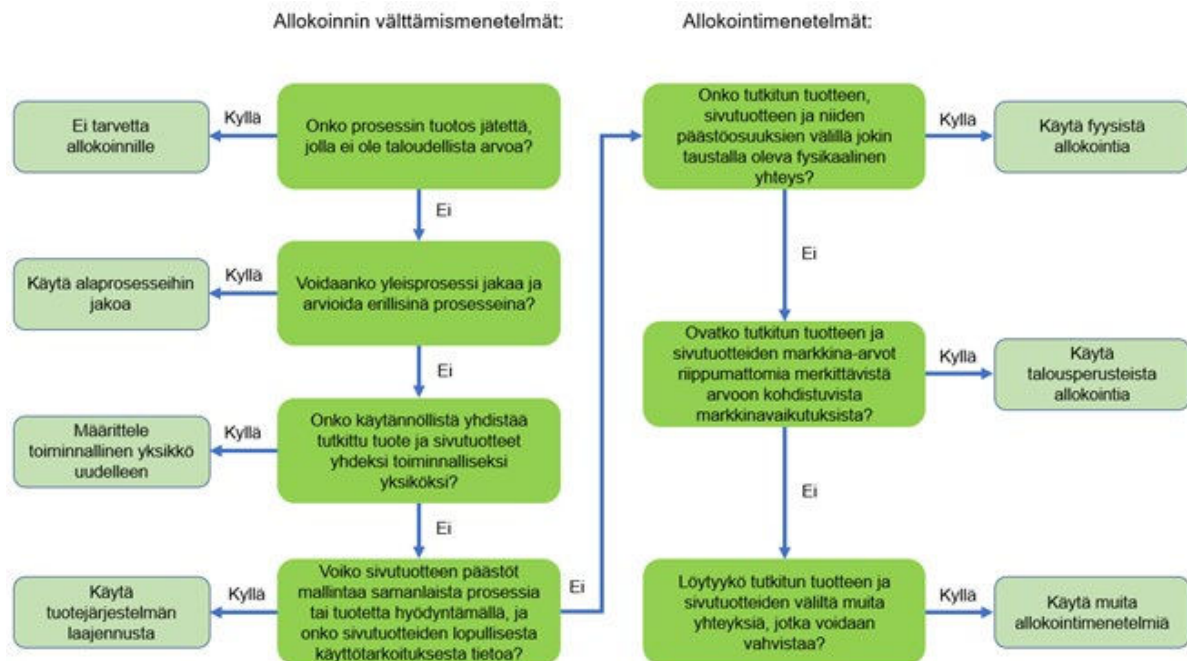
inventointiprosessia. Tutkittavan tuotteen päästöjen ja poistojen täsmällinen allokointi on silti välttämätöntä hiilijalanjälkilaskennan inventaarion laadun säilyttämiseksi, mikäli allokoinnin tekeminen ylipäätään todetaan tarpeelliseksi. Laskennassa tulee kuitenkin mahdollisuuksien mukaan välttää allokointia hyödyntämällä prosessien alajakoa, määrittelemällä toiminnallinen yksikkö uudelleen tai käyttämällä järjestelmälaajennusta. Jos allokointia ei voida välttää, on päästöt ja poistumat allokoitava tutkitun tuotteen ja sivutuotteiden välisten fyysisten suhteiden perusteella.

Erilaisia allokointitapoja ovat fyysinen allokointi, taloudellinen allokointi ja muiden suhteiden kautta tapahtuva allokointi (Bhatia ym., 2011, s. 69). Kun allokointi on välttämätöntä, tulee päästöt ja poistot allokoita ensisijaisesti tutkittavan tuotteen ja sivutuotteiden taustalla olevien fyysikaalisten suhteiden perusteella. Mikäli fysikaalisia suhteita ei voida yksin käyttää allokoinnin perustana, on valittava joko taloudellinen allokointi tai joku muu allokointitapa, joka heijastaa muita tutkittavan tuotteen ja sivutuotteiden suhteita. Allokoinnissa tulee käyttää samoja toimintatapoja samanlaisille syötteille ja tuotoksille tietyn tuotteen elinkaaren sisällä. Kierrätyksestä aiheutuvaan allokointiin tulee käyttää joko suljettua silmukan arviointimenetelmää tai kierrätetyn tavaran menetelmää standardin määrittämällä tavalla.

**Allokointia voidaan pyrkiä välttämään seuraavilla keinoilla (Bhatia ym., 2011. s. 65):**

- Alaprosesseihin jakaminen. Tällöin allokointi vältetään erottamalla sivutuotteen valmistukseen liittyvät toiminnot omiksi prosesseikseen. Tämä edellyttää sitä, että on mahdollista jollakin luotettavalla tavalla erottaa prosessien syötteen ja tuotokset eri yksikköprosessien välillä.
- Toiminnallisen yksikön uudelleen määrittäminen. Lisätään toiminnalliseen yksikköön lisää toimintoja, jotta toiminnallinen yksikkö kattaa myös sivutuotteiden toiminnallisuudet.
- Tuotejärjestelmän laajentaminen (tai systeemin laajennus). Käyttäen päästöjä vaihtoehtoisesta tuotteesta, joka käsittää saman toiminnallisen yksikön ja tämän avulla voidaan arvioida sivutuotteen päästöjä. Tätä voidaan käyttää ainoastaan, jos sivutuotteen toiminnosta ja lopullisesta käyttötarkoituksesta on olemassa selkeä tieto ja ne vastaavat täysin tätä eri tuotejärjestelmästä peräisin olevaa vaihtoehtoista tuotetta.

Kuviossa 8 on esitetty kaavio, jota voidaan käyttää apuvälineenä allokoinnin tarpeellisuutta tai sopivaa allokointimenetelmää valittaessa. Kaaviossa menetelmät on järjestetty sen mukaisesti, miten ensisijaisesti ohjeiden ja standardien perusteella on järkevää toimia. Kaavion lukeminen alkaa kohdasta ”Onko prosessin tuotos jätettä, jolla ei ole taloudellista arvoa?” ja jatkuu siitä vastausten perusteella niin pitkään, kunnes päädytään pienempään haalean vihreään laatikkoon, jossa on esitetty suositeltu toimenpide.

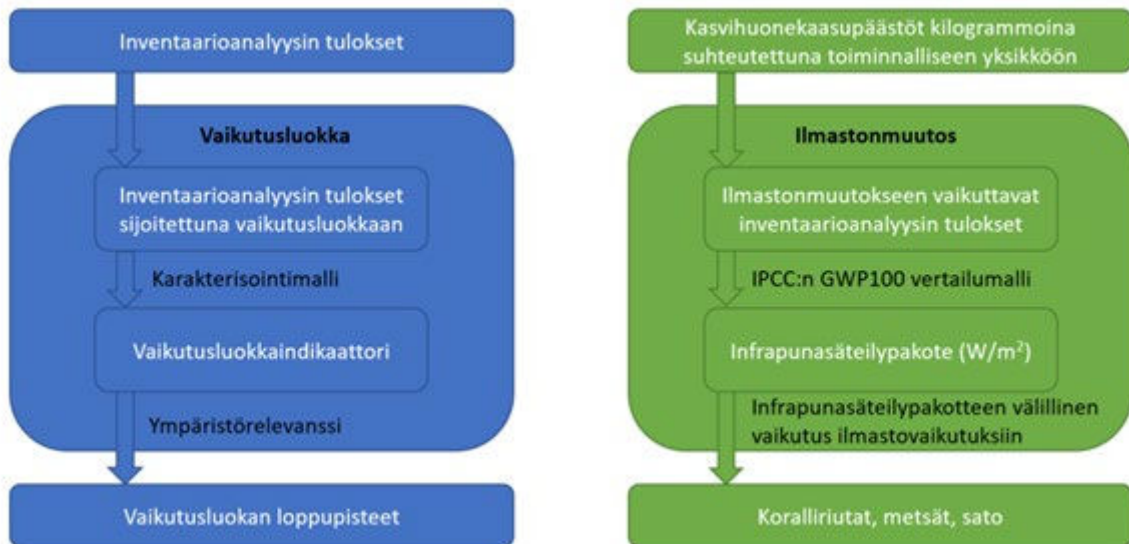


Kuvio 8. Allokointimenetelmät ja välttämismenetelmät (Luoma & Manninen 2023, soveltaen Bhatia ym., 2011, s. 66).

### 3.1.5 Vaikutustenarviointi ja hiilijalanjäljen muodostaminen

LCA:n kolmannessa vaiheessa vaikutustenarvioinnissa (LCIA) inventaarioanalyysin tulokset muunnetaan valitun karakterisointimallin avulla yhteen yhtenäiseen yksikköön, jolla kuvastetaan vaikutusta valittuun vaikutusluokkaindikaattoriin. (SFS, 2021, s.16–18; Bhatia ym., 2011, s. 88.) Lopuksi vielä vaikutusluokan loppupisteillä kuvataan asioita, joihin tämä vaikutusluokkaindikaattorin muutos konkreettisesti vaikuttaa. Kuviossa 9 on esitetty vaikutustenarviointi graafisena esityksenä yleisesti vasemmalla sinisellä, ja esimerkin kanssa oikealla vihreällä. Esimerkkinä on käytetty paljon käytettyä mallia hiilijalanjäljen määrittämiseen, jossa inventaarioanalyysin tulokset koostuvat laskennassa huomioitavista kasvihuonekaasuista määrällisesti suhteutettuna toiminnalliseen yksikköön, vaikutusluokaksi on määritelty ilmastonmuutos, karakterisointimalliksi IPCC:n GWP100 vertailumalli ja vaikutusluokkaindikaattoriksi infrapunasäteilypakote. Tiivistetysti hiilijalanjäljenlaskennan tapauksessa inventaarioanalyysi-

sin tuloksiksi saadut eri kasvihuonekaasujen määrät muutetaan GWP-kerroimien avulla vastaamaan ominaislämmitysvaikutuksiltaan hiilidioksidia, jolloin saadaan yksi luku kuvaamaan aiheutuneiden päästöjen vaikutusta infrapunasäteilypakotteeseen. Tämä luku esitetään yleensä hiilidioksidiekvivalentteina.



Kuvio 9. Vaikutustenarvioinnin vaiheet (Manninen, 2022, s. 21 soveltaen SFS, 2020, s. 18).

GWP eli ominaislämmitysvaikutus tai lämmityspotentiaali on mittari, joka ilmaisee kasvihuonekaasun päästöjen tietyllä ajanjaksolla aiheuttaman lämmitysvaikutuksen suhteellisen voimakkuuden suhteessa hiilidioksidin massayksikköön (Greenhouse Gas Protocol, 2013, s. 1). Kun hiilidioksidipäästöt tai -poistumat kerrotaan niitä vastaavilla ominaislämmitysvaikutuskertoimilla, saadaan tästä tulokseksi päästöjen tai poistumien arvo hiilidioksidiekvivalenttina (CO<sub>2</sub>-ekv.). Esimerkiksi metaanin (CH<sub>4</sub>) GWP<sub>100</sub>-kerroin on IPCC:n viidennen arviointiraportin mukaan 28. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että metaanin ilmastolämmityspotentiaali on laskennallisesti 28-kertainen massaansa suhteutettuna verrattuna hiilidioksidiin (CO<sub>2</sub>).

GWP:stä on olemassa muutamia erikestoisia menetelmiä (Bhatia ym., 2011, s. 85), esimerkiksi GWP20a, joka laskee päästöt 20 vuoden ajanjaksolle ja GWP 100a, joka puolestaan laskee päästöt 100 vuoden ajanjaksolle. Kun tiedonkeruu, allokointi ja tiedon laatu arviointi on tehty, seuraava vaihe on kvantifioida eli ilmaista määrällisesti ja raportoida hiilidioksidiekvivalenttitulokset analyysiyksikön mukaan.

Ominaislämmitysvaikutuksen laskennan metodologia kehittyy jatkuvasti ja tämän vuoksi ominaislämmitysvaikutuskertoimet arvioidaan IPCC:n toimesta aina muutaman vuoden välein (Bhatia ym., 2011, s. 88). Yrityksen tulee valita laskennassa käytettävä ominaislämmitysvaikutuskerroin, ja inventaariotulosten laskennassa on käytettävä 100-vuotista GWP-kerrointa ( $GWP_{100}$ ). Muissa, erillisissä laskennoissa, voidaan käyttää kuitenkin myös 20:n tai 500 vuoden GWP-kerrointa tai muita vaikutustenarviointimittareita, kuten maailmanlaajuista lämpötilan muutospotentiaalia, jos niiden käytön nähdään tuottavan hyödyllistä tietoa.

Hiilijalanjäljen laskentaa voidaan suorittaa tiettyjä laskentakaavoja hyödyntäen (Bhatia ym., 2011, s. 88). Kun suoria mittauksia ei tehdä, syötteiden, tuotettujen tuotteiden tai prosessien hiilidioksidiekvivalentti ( $CO_2e$ ) laskeaan aktiviteettidataan, päästökertoimiin ja GWP:hen (Global Warming Potential, ominaislämmitysvaikutus) perustuen seuraavaa laskentakaavaa 1 käyttäen.

$$\text{Kasvihuonekaasupäästöt (kg CO}_2e) = \text{Aktiviteettidata (yksikkö)} * \text{Päästökerroin} \left( \frac{\text{kg KHK}}{\text{yksikkö}} \right) * \text{GWP} \left( \frac{\text{kg CO}_2e}{\text{kg KHK}} \right) \quad (1)$$

Aktiviteettidata eli aktiviteettitiedot ovat fyysisiä, määrällisiä prosessin mittareita aktiviteettitason mittaamiseen, ja tämä aktiviteettitaso johtaa joko kasvihuonekaasupäästöihin tai -poistumiin (Bhatia ym., 2011, s. 47). Päästökertoimet tarkoittavat kasvihuonekaasujen päästöjä yhtä aktiviteettidatan yksikköä kohden. Suorat päästötiedot ovat tietoja päästöistä, jotka vapautuvat prosessista (tai päästöistä, jotka ovat imeytyneet ilmakehästä) suoran seurannan, stoikiometrian, massataseen tai vastaavien menetelmien kautta.

Mikäli tuotteen suorat päästötiedot on kerätty, päästökertoimia ei tarvita ja tällöin laskenta voidaan suorittaa käyttäen kaavaa 2:

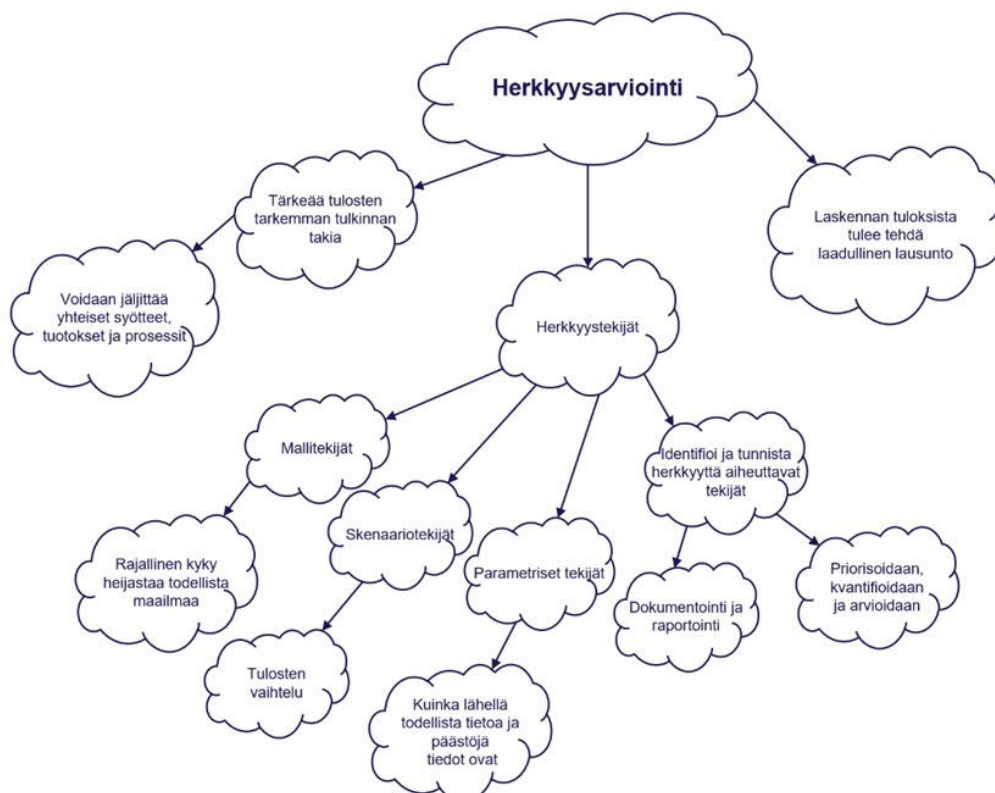
$$\text{Kasvihuonekaasut (kg CO}_2e) = \text{Suorat päästötiedot (kg KHK)} * \text{GWP} \left( \frac{\text{kg CO}_2e}{\text{kg KHK}} \right) \quad (2)$$

Yllä esitetty on ensisijainen ja suositeltu laskentatapa (Bhatia ym., 2011, s. 88), mutta käytännössä tämä on usein hyvin vaikea toteuttaa. Saatu- jen tulosten tarkkuutta voi kuitenkin vahvistaa tekemällä laskelmat näitä molempia kaavoja hyödyntäen, mikäli se on mahdollista.

Kun tuotteen hiilijalanjälki on laskettu (hiilidioksidiekvivalentteina), on syytä varmistaa, että kaikki tulokset ovat yksiköissä, jotka ovat suoraan vertailukelpoisia keskenään (Bhatia ym., 2011, s. 89). Eli esimerkiksi siten, että päästölaskenta on suoritettu kaikissa tapauksissa yhtä kilogrammaa tarkasteltavaa tuotetta kohti. Kokonaishiilijalanjälki analyysiyksikköä kohti edustaa kasvihuonekaasujen määrää, joka ilmakehään vapautuu tuotteen elinkaaren aikana. Tämän vuoksi päästöt ilmoitetaan positiivisina ja pois- tot negatiivisina arvoina.

### 3.1.6 Tulosten tulkinta, herkkyysarviointi ja johtopäätökset

Hiilijalanjälkilaskennan tuloksista tulee tehdä laadullinen lausunto herk- kyysarvioinnin osalta (Bhatia ym., 2011, s. 79). Herkkyysarviointi (kuvio 10) voi olla ensiarvoisen tärkeää tulosten tarkemman tulkinnan suhteen. Löytä- mällä ja dokumentoimalla herkkyyttä aiheuttavat asiat voidaan tuloksiin luottaa paremmin. Laadullinen lausunto tulee tehdä myös metodologi- sista valinnoista, joita ovat muun muassa allokointimenetelmät, ilmaston- lämpenemispotentiaalikerroimien lähteet ja laskentamallit.



Kuvio 10. Herkkyysarviointi (Haaraniemi, 2023, soveltaen Bhatia ym., 2011, s.79–83).

Herkkyysarvioinnissa tulee ensin identifioida ja tunnistaa herkkyyttä aiheuttavat asiat, niin parametrien, skenaarion ja kuin mallinkin osalta (Bhatia ym., 2011, s. 80). Tämän jälkeen priorisoidaan, kvantifioidaan ja/tai arvioidaan herkkyyttä aiheuttavat tekijät. Sen jälkeen nämä tekijät dokumentoidaan ja raportoidaan.

Epävarmuustekijöistä tai herkkyyttä aiheuttavista tekijöistä tulisi pitää kirjaa koko hiilijalanjälkilaskentaprosessin ajan herkkyyсарvioinnin sekä varmennus- ja raportointiprosessien helpottamiseksi (Bhatia ym., 2011, s. 80–81.). Hiilijalanjälkituloksiin voi vaikuttaa monenlaiset herkkyystekijät, jotka voivat nousta esiin monista erilaisista laskentaprosessin lähteistä. Herkkyyttä aiheuttavat tekijät jakautuvat kolmeen kategoriaan: parametriin tekijöihin, skenaariotekijöihin ja mallitekijöihin. Nämä kategoriat eivät ole toisiaan poissulkevia, mutta ne arvioidaan ja raportoidaan eri tavoin. Esimerkiksi sama herkkyystekijä voidaan luonnehtia parametriin herkkyystekijöihin ja/tai skenaarioherkkyystekijöihin kuuluvaksi.

Parametrinen herkkyyς on epävarmuutta liittyen siihen, edustaako laskennassa käytetty arvo tuotteen elinkaarella tapahtuvaa prosessia tai toimintaa riittävän tarkasti (Bhatia ym., 2011, s. 80). Jos tällainen herkkyyς voidaan määrittää, se voidaan tavallisesti esittää mahdollisten arvojen todennäköisyysjakamana, mukaan lukien laskennan tuloksissa käytetty arvo. Parametristen herkkyystekijöiden lähteitä ovat suorat päästötiedot, aktiviteetitiedot, päästökerrointiedot ja lämmityspotentiaalikerroimet.

Siinä, missä parametriset herkkyystekijät (Bhatia ym., 2011, s. 81) ovat mittari sille, miten lähellä todellista (mutta ei tiedossa olevaa) tietoa ja päästöjä hiilijalanjälkilaskentaan käytetyt tiedot ovat, skenaarioherkkyyς viittaa metodologisista valinnoista johtuvaan tulosten vaihteluun. Standardien käyttö vähentää tämän herkkyystekijän esiintymistä, koska ne rajoittavat valintoja, joita käyttäjät voivat tehdä toiminnassaan. Esimerkiksi rajausten aiheuttamat vaatimukset standardisoivat laskentaa kaikille tuotteille. Kuitenkin jos on valittavana useita metodologisia vaihtoehtoja, joihin sisältyy esimerkiksi allokointimenetelmät tai tuotteen käyttöoletukset, epävarmuus syntyy. Jotta voidaan identifioida näiden valintojen vaikutus tuloksiin, parametrejä vaihdellaan skenaarioanalyysiharjoituksessa. Tämän analyysin avulla voidaan paljastaa erot laskentatuloksissa, joita eri metodologiset valinnat ovat aiheuttaneet.

Malliherkkyς syntyy mallinnusratkaisujen rajallisesta kyvystä heijastaa todellista maailmaa (Bhatia ym., 2011, s. 81–82). Todellisen maailman yksinkertaistaminen numeeriseksi malliksi luo aina jonkinlaista epätark-

kuutta. Monesti malliherkkyydet voidaan esittää parametrisen herkkyyteen tai skenaarioherkkyyteen käytettävien lähestymistapojen avulla, ainakin osittain. Tästä huolimatta osa malliherkkyyden näkökohdista voi jäädä huomiotta näillä keinoin ja niitä on vaikea muutoin määrittää.

Kun kahden tai useamman prosessin, vaiheen tai tuotteen herkkyystekijöitä vertaillaan, on tärkeää jäljittää kaikki yleiset syötteen, tuotokset ja/ tai prosessit (Bhatia ym., 2011, s. 83). Mikäli vertailussa olevat tuotteet/ prosessit/vaiheet sisältävät samoja elementtejä keskenään, niiden herkkyystekijät todennäköisesti korreloivat keskenään, ja nämä tulisi jättää herkkyydsarviointivertailun tuloksien ulkopuolelle.

### 3.1.7 Raportointi

Raportointi on tärkeää, jotta voidaan varmistaa toiminnan vastuullisuus ja tehokas sitoutuminen sidosryhmien kanssa (Bhatia ym., 2011, s. 101). Raportoidun informaation tulee perustua tärkeimpiin laskentaperiaatteisiin, eli merkityksellisyyteen, tarkkuuteen, kokonaisvaltaisuuteen, johdonmukaisuuteen ja läpinäkyvyyteen.

Yritysten tulee raportoida julkisesti monia eri tietoja, jotka ovat käytetyn raportointiohjeen kanssa sopusoinnussa. Tässä oppaassa esitellään erityisesti GHG Protocol -ohjeistuksen malli raportoinnista, mutta se sisältää paljon samoja piirteitä PEF-ohjeistuksen raportointiohjeistusten kanssa.

Bhatian ym. (2011, s. 102) mukaan **yleisissä tiedoissa ja soveltamisalassa** on raportoitava kontaktitiedot, tutkitun tuotteen nimi ja kuvaus, analyysiyksikkö ja suhteellinen yksikkö, inventaarion tyyppi, mahdolliset muut hiilijalanjälkilaskennat, jotka ovat mukana inventaariossa, kaikki tuotteeseen liittyvät säännöt ja ohjeet, inventaarion päivä sekä versio, myöhempiä inventaarioita varten linkki edellisten inventaarioiden raportteihin sekä vastuuvapauslauseke, jossa ilmoitetaan rajoitukset raportin erilaisista mahdollisista käyttötavoista tuotteiden vertailu mukaan lukien.

**Tuotejärjestelmän rajauksista** on raportoitava (Bhatia ym., 2011, s. 102) elinkaarivaiheiden määritelmät ja kuvaukset, prosessikaavio, joka sisältää johdannaiset ja ei-johdannaiset prosessit inventaariossa, poissuljetut johdannaisprosessit ja syy niiden poisjättämiselle, perustelu kehdestä portille rajaukselle (kun käytössä), aikaväli ja maankäytön muutokseen käytetty metodi, jos käytössä.

Allokoinnin osalta tulee tuoda ilmi perustellut menetelmät, joiden avulla



sivutuotteista tai kierrätyksestä johtuva allokointi on suoritettu tai sen suorittaminen on vältetty (Bhatia ym., 2011, s. 102). Lisäksi, jos allokoinnissa käytetään suljetun silmukan arviointimenetelmää, kaikki siirtyneet päästöt ja poistumat raportoidaan erikseen käyttöiän loppuvaiheesta eroteltuna.

**Tiedonkeruusta ja tiedon laadusta** on raportoitava merkittävien prosessien osalta siten, että tietolähteistä, tiedon laadusta ja tiedon laadun parantamiseksi tehdyistä toimenpiteistä annetaan kuvaava lausunto (Bhatia ym., 2011, s. 102). Epävarmuustekijöistä ja metodologisista valinnoista tehdään laadullinen lausunto. Metodologisia valinnat voivat sisältää esimerkiksi allokointitapoja, käytettyjen lämmityspotentiaalikerroimien lähteitä ja laskentamalleja.

**Laskentatuloksista** raportoidaan (Bhatia ym., 2011, s. 102) muun muassa käytettyjen lämmityspotentiaalikerroimien lähteet ja päivämäärät, lopulliset laskentatulokset hiilidioksidiekvivalenttisyksikköinä ilmoitettuna (analyysiyksikköä kohti) sisältäen kaikki päästöt ja poistot, jotka on sisällytetty biogeenisten lähteiden, ei-biogeenisten lähteiden ja maankäytön muutoksen vaikutusten tuotejärjestelmään sekä prosenttiosuudet kunkin elinkaarivaiheen osuudesta suhteessa hiilijalanjälkilaskennan kokonaistulokseen.

### 3.1.8 Toimenpiteet tavoitteisiin pääsemiseksi

Yrityksien, jotka pyrkivät pienentämään hiilijalanjälkipäästöjään, tulee asettaa tavoitteita päästöjen vähentämiseksi. Päästöjen vähentämistavoitteiden asettaminen ja muutosten seuranta sisältää seuraavat kuusi vaihetta:

**Toteuta ja raportoi hiilijalanjäljen peruslaskenta** ohjeistusten mukaisesti (Bhatia ym., 2011, s. 110). Tämä toimii vertailupohjana, kun tehdään muutoksia päästöjen vähentämiseksi.

**Tunnista päästöjen vähennysmahdollisuudet.** Näitä voidaan selvittää samalla, kun laskentaa tehdään (Bhatia ym., 2011, s. 111). Mahdollisuudet voidaan arvioida siitä näkökulmasta, miten paljon ne vaikuttavat päästömääriin. Erityisesti yrityksen omassa hallinnassa olevat prosessit ovat sellaisia, joihin on perusteltua keskittyä ensisijaisesti, koska niihin voidaan vaikuttaa eniten. Näin ollen ensimmäisiä tunnistettavia kohteita voivat olla esimerkiksi energiansäästön tai käytettävän polttoaineen vaihtamisen mahdollisuudet. Monissa tapauksissa suurin kehityspotentiaali tulee

kuitenkin tuotteen elinkaaren varrella olevista prosesseista, jotka ovat toimittajien tai asiakkaiden hallinnassa.

**Aseta vähennystavoitteet.** Tavoitteiden asettaminen on yritykselle tärkeää monissa asioissa, esimerkiksi myyntimäärien ja tulojen suhteen (Bhatia ym., 2011, s. 111). Sama pätee myös kasvihuonekaasupäästöihin. Vaikka hiilijalanjäljen laskentaa ja seuranta voidaan tehdä ilman vähennystavoitettakin, on päästöjen hallinta tehokkaampaa, jos toiminnalle asetetaan tavoitteet. Vähennystavoite tulisi asettaa valmiin tuotteen koko elinkaarelle, jotta tavoitteet nähdään aidosti merkityksellisinä. Näin välitetään mahdolliset mielikuvat siitä, että valittavan tavoitteen kautta ”poimitaisiin parhaat päältä”. Myös muita oheistavoitteita vaiheille tai prosesseille on mahdollista asettaa. Tavoitteiden tulisi sisältää sekä tavoitetaso, eli numeerinen arvo, paljonko päästöjen tulisi tavoitteen mukaan laskea, että päivämäärä, johon mennessä tämä taso saavutetaan. On huomioitava, että vähennystavoitteet tehdään suhteessa analysoitavaan yksikköön, joten jos tuotteen elinkaareen tehdään parannuksia, se muuttaa analysoitavaa yksikköä ja tällöin on tehtävä uusi laskenta ja tämän pohjalta määritellään uusi analyysiyksikkö.

**Saavuta vähennykset ja arvioi ne tekemällä päivitetty laskenta.** Päästövähennyksiä voidaan saavuttaa monin eri tavoin (Bhatia ym., 2011, s. 111), kuten kehittämällä tuotteen prosessointia tai mallinnusta sisäisesti tai pitämällä yhteyttä asiakkaisiin ja toimittajiin. Jälkimmäiseen liittyen, on tärkeää tehdä yhteistyötä kumppaneiden kanssa elinkaaren varrella päästövähennysmahdollisuuksien tunnistamiseksi, mikä voi esimerkiksi sisältää työskentelyä yhdessä toimittajan kanssa tavoitteena vähentää heidän yrityksensä päästöjä. Toisaalta toimittajan kanssa voidaan tehdä yhteistyötä korvaavien, vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä (valmistuksessa) aiheuttavien materiaalien kehittämiseksi ja/tai esimerkiksi vähentää kasvihuonekaasuvaikutuksia pidemmällä tuotantoketjussa, esimerkiksi suunnittelemalla kevyempiä paneeliosia autoon, joka vähentää polttoaineen käyttöä tuotteen käyttövaiheessa. Kaikki tehdyt päästövähennykset tulisi arvioida käyttämällä suoraa mittaustietoja, aktiviteettidataa tai päästökertoimia, jotka noudattavat standardin attribuutiomenetelmää, eli ovat historiallisia, faktoihin perustuvia ja mitattavissa olevia.

**Tee peruslaskenta uudelleen tarpeen mukaan,** jos prosessissa tapahtuu merkittäviä muutoksia, esimerkiksi muutoksia tuotteen rajauksissa tai tiedon laadussa (Bhatia ym., 2011, s. 112). Ajan kuluessa aktiviteettidatassa, päästökertoimissa, tiedon laadussa ja menetelmissä voi tapahtua muutoksia ja parannuksia. Kun tämänkaltaisia muutoksia tapahtuu vaikut-

taen tuotteen elinkaaren hiilijalanjälkeen, tulisi elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta suorittaa uudelleen, jotta voidaan varmistaa päästötietojen vertailtavuus ajan myötä. Nämä muutokset voivat siis sisältää muun muassa laadukkaamman tiedonkeruuta, allokointitavan vaihtamista tai kierrätysmenetelmien päivittämistä.

**Tee päivitetty hiilijalanjälkilaskennan raportti**, joka sisältää päivitetty tulokset ja peruslaskennan tulokset (Bhatia ym., 2011, s. 112). Kun päästövähennykset on toteutettu, uutta tietoa on kerätty ja tarpeen vaatiessa uusi hiilijalanjälkilaskenta on suoritettu, tulee raportti päivittää sisältämään tulokset sekä vanhasta että uudesta laskelmasta. Raportin tulee täyttää raportoitavan luvun vaatimukset. Johdanto tulee päivittää vastaamaan päivityksen tarkoitusta sisältäen vähennystavoitteet, ja muut mahdolliset tiedot, jotka ovat muuttuneet alkuperäisen laskennan jälkeen, tulee merkitä selkeästi. Tutkittavan tuotteen edellisten raporttien määrä tulee merkitä ja linkit näihin tulisi olla saatavilla. Mikäli uusi peruslaskenta on tehty, kaikki muutokset ovat listattuna. Mikäli peruslaskentaa ei kuitenkaan ole päivitetty, raportoinnista pitää ilmetä kynnys, jonka puitteissa uudelleenlaskentaa ei toteutettu. Molemmissa tilanteissa sekä alkuperäisen laskennan että päivitetyn laskennan tulokset tulee sisältyä päivitettyyn listaukseen. Lisäksi raporttiin tulee merkitä saavutettujen päästövähennyksien prosentuaalinen määrä suhteessa alkuperäiseen tilanteeseen. Mikäli päästöjen määrä todellisuudessa kasvaa vähenemisen sijaan alkuperäiseen tilanteeseen nähden, tulee nämä tulokset raportoida ja antaa syy sille, miksi päästöt ovat kasvaneet ja mitkä ovat yrityksen suunnitelmat päästöjen vähentämiseksi tulevaisuudessa.

Yksi tuotteen hiilijalanjäljen laskennan rajoitteista on se, että se keskittyy yksittäiseen ympäristövaikutukseen (Bhatia ym., 2011, s. 111). Tästä syystä, ennen päätöstä pienentää kasvihuonekaasupäästöjä tekemällä muutoksia tuotteen elinkaareen, tulee ottaa huomioon muutoksen mahdolliset vaikutukset. Esimerkiksi voidaan vahingossa ajautua korvaamaan paljon kasvihuonekaasuja tuottava prosessi enemmän vesivarantoja kulutavalla prosessilla.

## 3.2 ISO-STANDARDIT

SFS-EN ISO 14040 -standardi käsittää ne periaatteet ja pääpiirteet, joita on noudatettava, kun tehdään tai suunnitellaan elinkaariarviointia (SFS, 2021, s. 16). Standardi esittelee merkittävimmät periaatteet, joita elinkaariarvioinnissa käytetään, kuin myöskin elinkaariarvioinnin vaiheet ja keskeiset

piirteet, yleiset käsitteet tuotejärjestelmille, raportointiohjeita, pääpiirteet menetelmiin liittyen sekä ohjeita kriittisen arvioinnin prosessista. Keskeisiä piirteitä elinkaariarvioinneissa ovat tämän standardin mukaan muun muassa elinkaarinäkökulma, suhteellinen lähestymistapa ja toiminnallinen yksikkö, painotus ympäristöön, läpinäkyvyys sekä kattavuus. Keskeisessä asemassa on elinkaarinäkökulma, sillä elinkaariarvioinnin tarkoituksena on muun muassa koko tuotteen elinkaaren mallintaminen, jotta voitaisiin selvittää kaikki merkittävät ympäristövaikutukset ja ehkäistä ympäristölle haitallisten tekijöiden siirtymistä yksikköprosessien ja elinkaaren vaiheiden välillä.

SFS-EN ISO 14044 -standardissa esitellään elinkaariarvioinnissa vaadittavat asiat ja se myös ohjeistaa laskennan ja raportoinnin toteuttamisessa ISO 14040 -standardia mukaillen (SFS, 2021, s. 7). Arviointi alkaa siitä, kun määritellään selvityksen tavoitteet ja soveltamisala. Näitä voidaan tarvittaessa tarkentaa myöhemmin. Tämä voi olla tarpeellista etenkin siksi, koska elinkaariarviointi on iteratiivinen. Tällöin arvioinnissa on useita päällekkäisiä vaiheita, joten arvioinnin myöhemmissä vaiheissa on mahdollista huomata puutteita tai muutostarpeita aikaisemmissa vaiheissa. Selvityksen tavoitteissa on oltava mainittuna aiottu käyttötarkoitus, syyt selvityksen tekemiselle, tarkoitettu kohdeyleisö sekä se, ollaanko tuloksia käyttämissä esitettävissä vertailuväitteissä.

Elinkaariarvioinnin inventaarioanalyysin toteutus tapahtuu arvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn aikana suunnitellun mukaisesti (SFS, 2021, s.11). Inventaarioanalyysiin sisältyy tarvittavien tietojen kerääminen, laskenta sekä mahdollinen allokointi.

Tietojen keräämisessä tulee ottaa huomioon kaikki yksikköprosessit ja virtaukset, jotka tuotejärjestelmä sisältää (SFS, 2021, s. 7). Julkisiin lähteisiin on viitattava ja kaikkien yksikköprosessien toiminta sekä keskinäiset suhteet on kuvattava ja tallennettava prosessikulkukaavioita käyttäen. Myös kaikki käytetyt laskentamenetelmät sekä yksiköt on oltava luetteluna. Niin ikään tärkeimmät tietojen luokitteluun tarvittavat luokat ovat määriteltynä standardissa. Näitä ovat energia-, raaka-aine-, apu- ja muut fysikaaliset syötteen, kuten myös tuotteet, rinnakkaistuotteet, jäte, päästöt maahan, veteen sekä ilmaan ja muut ympäristölliset näkökohdat (SFS, 2021, s. 11–12).

Laskentamenetelmien, joita tietojen laskennassa hyödynnetään, on oltava johdonmukaisia ja ne on dokumentoitava tarkkaan (SFS, 2021, s. 13). Mikäli käytetään oletuksia, ne on ilmoitettava selkeästi. Tiedot, joita käytetään, on

laadun varmistamisen vuoksi varmistettava vaikkapa energia- tai massata-seiden avulla. Yksikköprosesseille on myös määriteltävä virta, johon syötteitä ja tuotoksia suhteutetaan. Lopuksi järjestelmän rajoihin tehdään vielä tarkennuksia herkkyysanalyysiä apuna käyttäen. Tämän seurauksena on mahdollista rajata selvityksestä ulos jotain yksikköprosesseja, elinkaaren vaiheita tai vaikka tuotoksia, jos näiden merkitys jää vähäiseksi. Kuitenkin näitä voidaan myös lisätä, mikäli vaikuttaa, että sille on tarvetta.

LCA:n vaikutusten arviointivaiheessa on kolme pakollista vaihetta (SFS, 2021, s. 16–17). Ensin valitaan vaikutusluokat, ja -indikaattorit sekä karakterisointimallit, sitten sijoitetaan inventaarioanalyysin tulokset vaikutusluokkiin ja kolmanneksi lasketaan vaikutusluokan indikaattoritulokset. Käytetyt vaikutusluokat, vaikutusindikaattorit sekä karakterisointimallit on kuvailtava tarkasti, kuten elinkaariarvioinnin periaatteisiin kuuluu.

Elinkaariarvioinnissa on mahdollista tehdä pakollisten vaiheiden ohella myös vapaaehtoisia vaiheita, mikäli näin on määritelty (SFS, 2021, s. 20–21). Tällaisia vaiheita ovat normalisointi, painotus, ryhmittely sekä lähtötiedon laadun analysointi.

Arvioinnin viimeisessä vaiheessa tulkitaan tuloksia, joita on aiemmissa vaiheissa tuotettu (SFS, 2021, s. 23–25). Tulosten tulkintaan on sisällytettävä inventaarioanalyysin ja vaikutustenarvioinnin tulosten osalta tärkeimpien asioiden tunnistaminen, arvioinnit täydellisyyden, johdonmukaisuuden ja herkkyuden suhteen, sekä suositukset ja johtopäätökset. Tärkeitä asioita, jotka on oltava selvityksestä tunnistettavissa, saattavat olla muun muassa tietyt inventaariotiedot, vaikutusluokat tai elinkaaren oleelliset vaiheet.

### 3.3 SUOSITUKSET (PEF)

Product Environmental Footprint (PEF) eli tuotteen ympäristöjalanjälki on elinkaariarviointiin (LCA) perustuva menetelmä tuotteen (tavara tai palvelu) aiheuttamien ympäristövaikutusten määrittämiseksi (Zampori & Pant, 2019, s. 23). Se pohjautuu olemassa oleviin lähestymistapoihin ja kansainvälisiin standardeihin. PEF-tiedon pääasiallinen tarkoitus on tuotteiden tai palveluiden ympäristövaikutusten pienentämisen mahdollistaminen ottaen huomioon toimitusketjun toiminnot alusta loppuun saakka. Tämä tavoite saavutetaan antamalla yksityiskohtaiset vaatimukset materiaali- /energiavirtojen ympäristövaikutusten sekä tuotteeseen liittyvien päästöjen ja jätevirtojen mallintamiseksi koko sen elinkaaren ajalta.

PEF-menetelmässä esitetyt säännöt mahdollistavat PEF-tutkimusten tekemisen, jotka ovat helpommin toistettavia, vertailukelpoisempia ja jotka voidaan todentaa paremmin olemassa oleviin vaihtoehtoisiiin lähestymistapoihin verrattuna (Zampori & Pant, 2019, s. 23). Vertailu on kuitenkin mahdollista vain silloin, jos tulokset perustuvat samoihin tuotteen ympäristöjalanjäljen luokkasääntöihin eli PEFCR:n (Product Environmental Footprint Category Rules). PEF-menetelmään sisältyviä vaatimuksia voidaan soveltaa kolmessa eri tilanteessa:

1. Sellaisten tuotteiden PEF-tutkimuksissa, jotka eivät kuulu voimassa olevan PEFCR:n piiriin
2. Voimassa olevan PEFCR:n soveltamisalaan kuuluvien tuotteiden PEF-tutkimuksissa.
3. PEFCR:n kehittämisessä.

PEF:ssä otetaan huomioon useita ympäristövaikutusluokkia, mikä mahdollistaa tuotteen aiheuttamien ympäristövaikutusten tunnistamisen laajemmassa mittakaavassa (Ojala, 2014, s. 18). PEF-menetelmä on kehitetty olemassa olevia ympäristötehokkuuden laskentamenetelmiä pohjana käyttäen ja toisin kuin muut työkalut, PEF:n on tarkoitus olla vaatimuksiltaan yksiselitteinen, eikä siinä ole niin paljon vapauksia.

PEFCR:n ensisijainen tavoite on asettaa johdonmukaiset ja tarkasti määritellyt säännöt, joilla lasketaan soveltamisalan tuoteluokkaan kuuluvien tuotteiden asiaankuuluvat ympäristötiedot (Zampori & Pant, 2019, s. 27). Tärkeää on keskittyä siihen, mikä on tietyn tuoteryhmän kannalta tärkeintä, jotta PEF-tutkimuksia saataisiin nopeutettua, helpotettua ja niiden tekemisen hintaa alennettua. Yhtä lailla tärkeä tavoite on mahdollistaa vertailut ja vertailevat väitteet kaikissa tapauksissa, joissa se on mahdollista, oleellista ja tarkoituksenmukaista. Vertailut ja vertailevat väitteet ovat sallittuja ainoastaan, jos PEF-tutkimukset on suoritettu PEFCR:n sääntöjä noudattaen. PEF-tutkimus tulee toteuttaa PEFCR:n mukaisesti, mikäli PEFCR on saatavilla soveltamisalaan kuuluvalla tuotteella.

PEFCR voi tarkentaa PEF-menetelmässä ilmoitettuja vaatimuksia ja lisätä muita vaatimuksia niiltä osin, missä PEF-menetelmä jättää useamman kuin yhden toimintavaihtoehdon (Zampori & Pant, 2019, s. 27). Tavoitteena on

varmistaa PEFCR:n laadinta PEF-menetelmän mukaiseksi ja että ne sisältävät tarvittavat tiedot muun muassa vertailtavuuden, lisääntyneen toistettavuuden, johdonmukaisuuden ja merkityksellisyyden saavuttamiseksi PEF-tutkimuksissa. PEFCR:n kanssa samantyyllisiä sääntöjä löytyy myös muista elinkaariperusteisista standardeista, kuten ISO 14025:2006-standardista. PEFCR laadittiin kuitenkin näitä tiukemmaksi ja selkeämmäksi, jotta PEF-tutkimusten vaaditut tavoitteet voitaisiin saavuttaa tuotesääntöjä noudattaen. PEFCR:ien tulisi mahdollisuuksien mukaan olla sopusoinnussa olemassa olevien ja asiaankuuluvien kansainvälisten tuoteluokkasääntöjen (PCR) kanssa.

# 4

## IKE-HIILIJALANJÄLJEN LASKENTAMENETELMÄ

---

IKE-Hiilijalanjätkilaskuri on Microsoft Excel-pohjainen laskentamenetelmä tuotteen hiilijalanjäljen laskentaan. Laskentaperiaatteen suunnittelussa on pyritty noudattamaan ISO 14040 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet), ISO 14044 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja) ja ISO 14067 (Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet) -standardeja sekä EU komission suositusta: Ympäristöjalanjälkeä koskevien menetelmien käyttämisestä tuotteiden ja organisaatioiden elinkaaren ympäristötehokkuuden mittaamiseen ja siitä tiedottamiseen.

Laskentatyökalussa on käytetty paljon automatisointia Excelin VBA:n (Visual Basic for Application) avulla, jotta laskennasta voitiin tehdä monipuolisempi ja tarkempi kuitenkin siten, että laskurin käyttäjävystävällisyys ei kärsisi kohtuuttomasti. Tietyissä laskurin ominaisuuksissa on hyödynnetty myös Microsoft Wordia ja sen automatisointia esimerkiksi yhteenvedon raportin tulostuksessa ja ohjetiedoston aukaisemisessa. Varsinainen laskenta on laskurissa jaettu viidelle laskentavälilehdelle: raaka-aineet, pakkausmateriaalit, jätteet ja sivuvirrat, energia ja logistiikka. Ennen laskentavälilehtiä laskurista löytyy etusivu ja työkalut välilehdet, ja laskentavälilehtien jälkeen välilehdet yhteenvedolle, tasetarkastelulle sekä päästökertoimille.

Tässä oppaassa on käsitelty IKE-Hiilijalanjätkilaskurin käyttöä varten tarvittavan datan keräämistä ja laskurin vertautumista muihin laskentamenetelmiin. Tarkemmin itse laskurin käyttämisestä ja ominaisuuksista voit lukea hankkeen toisesta oppaasta "IKE-Hiilijalanjätkilaskurin käyttöopas".



## 4.1 TIEDONHAKU JA PÄÄSTÖTIETOKANNAT LASKENTAAN

Jotta IKE-hiilijalanjätkilaskuria pystyisi käyttämään tuotteen hiilijalanjäljen määrittämiseen, tulee ennen laskentaa olla tarvittavat lähtötiedot kerättyinä. Tässä inventaarioanalyysiin kuuluvassa vaiheessa kaikki tuotejärjestelmään mukaan luettujen yksikköprosessien syötet ja tuotokset tulee määrittää määrällisesti, jotta päästöjen määrää tuotejärjestelmän sisällä voidaan arvioida.

IKE-hiilijalanjätkilaskuri on ensisijaisesti suunniteltu siten, että päästöjen määrää arvioidaan aktiviteettidatan ja päästökertoimien perusteella. Laskurissa ei juurikaan ole mahdollisuuksia hyödyntää suorilla mittauksilla savutettua dataa päästöistä, vaikka tämä olisi huomattavasti tarkempi tapa arvioida päästöjen suuruutta yksikköprosessi kohtaisesti sekä elinkaarisalla.

Laskentaa varten tulee olla kerättyinä pääasiallisesti kahdenlaista dataa: aktiviteettidataa ja päästökertoimia. Aktiviteettidatan avulla arvioidaan niin sanotun aktiviteetin määrällistä suuretta, ja päästökertoimella päästöjen määrää suhteessa tähän suoritettuun aktiviteetin määrään. Esimerkkejä aktiviteettidatasta voi olla autolla ajettut kilometrit tai kulutetun vehnäjäuhon määrä kilogrammoina, ja näitä vastaavat päästökertoimet voisivat olla hiilidioksidiekvivalenttien määrä kilogrammoina ajettua kilometriä tai valmistettua vehnäjäuhokilogrammaa kohden. Aktiviteettidatan ja päästökertoimien yksiköitä voi olla monia erilaisia, mutta oleellista on niiden vastaavuus toisiinsa nähden. Kun aktiviteettidata ja päästökerroin kerrotaan keskenään, lopputulokseksi tulisi saada aktiviteetin synnyttämä päästöjen määrä massana.

IKE-hiilijalanjätkilaskuria käytettäessä aktiviteettidataa ja päästökertoimia tarvitaan seuraaviin aiheisiin liittyen: tuotteen valmistamiseen käytettävät raaka-aineet, käytetyt pakkausmateriaalit, syntyneet jätteet ja sivuvirrat, pesuaineet, energia ja logistiikka. Seuraavaksi käydään lyhyesti, mitä tietoja laskuria käytettäessä vähintään tarvitaan ja mitä lisäksi olisi hyvä olla tiedossa.

Etusivulla tulee määritellä **valmiin tuotteen massa pakkauksineen**. Tämän avulla laskuri myöhemmin laskee muun muassa massatasetta ja mahdollisesti kohdentaa päästöjä massaperusteisesti. Lisäksi etusivulle voidaan täyttää:

- Lyhyt kuvaus järjestelmän rajoista
- Tietojen laatua koskevat merkitykselliset näkökohdat
- Käytetyt rajaukset ja oletukset, syyt niiden käyttöön ja merkitys laskennan lopputuloksiin
- Kuvaus esiselvityksestä ja lisätiedot tuloksiin liittyen

Raaka-aineista tulee olla tiedossa kaikkien yksittäisten käytettyjen raaka-ainesten:

- Nimikkeet
- Määrät massoina
- Päästökertoimet

Näiden lisäksi olisi hyvä tietää inventaarioanalyysin luotettavuuden parantamiseksi lähteet näille tiedoille, maantieteellinen relevanssi ja ajallinen relevanssi. Mitä uudempia ja maantieteellisesti lähempänä todellista tuotantopaikkaa tiedot ovat, sitä tarkempi laskennan lopputulos on.

Pakkausmateriaalien osalta tarvittavat tiedot ovat samat, kuin raaka-ainesten osalta. Näiden tietojen lisäksi tarvitaan kuitenkin myös tieto siitä, **kuinka monta tuotetta (tai muuta laskennan kohteena olevaa yksikköä) kyseisellä määrällä pakkausmateriaalia pakattiin**. Esimerkiksi jos yhteen suureen pahvilaatikkoon pakataan useita tuotteita, tarvitaan näiden tuotteiden lukumäärä, jotta pahvilaatikon valmistuksesta syntyvät päästöt on mahdollista kohdentaa yksittäiselle tuotteelle.

Jätteiden ja sivuvirtojen päästöjen laskentaan tarvitaan myös:

- Nimikkeet
- Määrät massoina
- Päästökertoimet

Näiden lisäksi tulee tietää jokaisen **jätejakeen tai sivuvirran syntyvaihe** (raaka-ainetuotanto / prosessointivaihe) sekä luokitellaanko kyseinen nimike **sivuvirraksi vai jätteeksi**. Sivuvirta / jäte -luokittelu on tärkeä, sillä

tämän perusteella nimikkeestä joko syntyy päästöjä (jäte) tai sille kohdennetaan osuus kokonaispäästöistä allokointiperiaatteiden mukaisesti. Voit lukea allokoinnista lisää kappaleesta 3.1.4.

Samalta välilehdeltä jätteiden ja sivuvirtojen kanssa löytyy käytettyjen pesuaineiden taulukko. Pesuaineista tulee tietää:

- Käytettyjen pesuaineiden nimet
- Määrät massoina
- Käsiteltyjen tuotteiden lukumäärät
- Päästökertoimet

Näin käytettyjen pesuaineiden päästöt kohdennetaan yhdelle tuotteelle, kuten pakkausmateriaalien tapauksessa.

Energiaan liittyen tulee ensimmäisenä määritellä kulutetun sähköenergian laatu. Tätä varten tulee selvittää sähkön myyjän kautta **sähkön alkuperä**, eli millä tavalla käytetty sähkö on tuotettu. Jos sähköyhtiö kertoo tarkasti myydyn sähkön tuotantotavat, voidaan energijakauma muodostaa itse laskurin "Käytä omaa energijakaamaa" -työkalun avulla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää suoraan **sähköyhtiön ilmoittamaa päästökerrointa** tai **keskimääräistä päästökerrointa Suomessa**.

Sähkölaitteiden käytön päästöt arvioidaan käytetyn sähkön määrän ja edellisessä kohdassa määritellyn päästökertoimen perusteella. Käytetyn **sähköenergian määrän** voi lisätä joko suoraan kilowattitunteina, tai se arvioidaan täyttämällä taulukkoon:

- Käytetyn laitteen teho
- Käytetty aika
- Lukumäärä käsitellyistä tuotteista.

Sähkölaitteiden lisäksi energiavälilehdellä on mahdollista laskea päästöjä muillekin, kuin sähkölaitteille esimerkiksi polttomoottorin avulla toimivien laitteiden tapauksessa. Tällöin tulee olla tiedossa:

- Käytetyn laitteen nimike
- Käytetty polttoaine
- Kulunut aika
- Polttoaineen keskimääräinen kulutus
- Käsiteltyjen tuotteiden lukumäärä

Mikäli laitteen polttoaineen kulutukseen liittyvät tiedot eivät ole tiedossa, voidaan kulutetun **polttoaineen määrä** lisätä myös suoraan.

Energiavälilehdellä on omalla taulukollaan mahdollista arvioida muuhun, kuin energian tuotantoon kulutetun höyryn valmistuksen aiheuttamat päästöt. Tätä laskentaa varten tulee tietää:

- Kulutetun höyryn määrä kilogrammoina
- Polttoaine, jolla höyry on tuotettu
- Käsiteltyjen tuotteiden lukumäärä

Viimeisenä energiavälilehdeltä löytyy taulukko pesuvesien lämmityksestä johtuvan energiankulutuksen päästöjen laskentaan. Tätä varten tulee tietää:

- Kulutetun lämpimän veden määrä kuutioina
- Veden alku- ja loppulämpötilat
- Käsiteltyjen tuotteiden määrä

Laskentaa varten tarvittavat tiedot kuljetuksista vaihtelevat kuljetustyyppien mukaan. Mikäli käytetään oletusskenaarioita, riittää kuljetettavan **kohteen tyyppi ja määrä massana**. Tarkemmat tulokset saa kuitenkin laskemalla kuljetusten päästöt syöttämällä taulukkoon:

- Kuljetuksen ajoneuvon tyyppin
- Matkan tyyppin
- Kuljetetun matkan pituuden kilometreinä
- Kuljetettavan tuotteen massan

ja maantiiliikenteen tapauksessa myös **kuorman massan**. Tonnikilometriperusteisesti laskettavien kuljetusvälineiden (vesiliikenne, rautatie-liikenne ja lentoliikenne) tapauksessa kuorman massaa ei tarvita. Lisäksi suoraan polttoaineen kulutuksen perusteella laskettavien kuljetusvälineiden (esimerkiksi työkoneet) tapauksessa tarvitaan tieto **polttoaineenkulutuksesta ja polttoaineen laadusta**. Jos kuljetuksesta vastannut erillinen yritys on ilmoittanut kuljetusten päästöjen määrän suoraan, ei kyseisistä päästöistä tarvita muita tietoja.

Varastoinnin päästöjen laskentaan liittyvistä tiedoista tulee olla selvillä:

- Varaston tyyppi
- Varastointivaihe
- Varastoitavan tuotteen tilantarve kuutiometreinä
- Varaston pinta-ala (lämmitettävä varasto)
- Jäähdytysjärjestelmän tilavuus kuutiometreinä (jäähdytetty varasto)
- Varastointiaika vuorokausina
- Varastointikapasiteetti kyseisellä varastointiajalla
- Käytetty lämmitys tai jäähdytysenergia
- Energiamuoto

Varastointiin myös liittyy kylmäainekaasujen käyttö, joiden päästöt voidaan laskea erillisellä taulukolla logistiikkavälilehdellä. Kylmäainekaasujen päästöjen laskemiseksi tulee tietää:

- Varastointivaihe
- Varaston tyyppi
- Tuotteen tilantarve
- Varaston pinta-ala
- Varastointikapasiteetti

Mikäli tuotteen valmistuksessa syntyy sivuvirroiksi määriteltäviä sivutuotteita, niille kohdennetaan osuus päästöistä joko massaperusteista tai talousperusteista allokointimenetelmää hyödyntäen. Massaperusteisen allokoinnin tapauksessa laskuri muodostaa kohdennuskertoimen automaattisesti, mutta **talousperusteisen allokoinnin tapauksessa kohdennuskerroin tulee määritellä itse**. Tähän tulee syöttää kerroin päätuotteen ja sivutuotteiden taloudellisten arvojen suhteissa. Esimerkiksi jos päätuotteen taloudellinen arvo 7 euroa, sivutuotteen A arvo 2 euroa ja sivutuotteen B 1 euron, Sivutuotteelle A kohdennuskerroin olisi 20 prosenttia ja sivutuotteella B vastaava kerroin olisi 10 prosenttia.

Laskentaa varten tarvittavia päästökertoimia voi etsiä IKE-hiilijalanjälki-laskurista löytyvästä päästökerrointietokannasta. Ensisijaisesti kannattaa käyttää kuitenkin tarkempia päästökertoimia, mikäli niitä on saatavilla. Jos esimerkiksi raaka-aineen toimittaja on ilmoittanut tuotteelleen päästökertoimen, tulee tällaista arvoa käyttää mieluummin generisen kertoimen sijaan.

Jos laskennassa käytettävää päästökerrointa ei löydy valmiiksi IKE-hiilijalanjälkilaskurin tietokannasta, eikä siitä ole myöskään saatavilla tuotannosta kerättävää primaaridataa, on etsittävä vastaava tarvittava päästökerroin kirjallisuudesta tai Internetistä hakukoneella. Arvioinnissa käytettävien päästökerrointen etsinnässä lähdekritiikki ja laskennan sisältö ovat olennaisia lähteen luotettavuuden kannalta. Ensisijaisesti arvioinnissa on hyvä käyttää päästökerrointa siitä maasta, josta esim. laskettava raaka-aine on peräisin. Suomalaisia arvoja voi siis etsiä hakukoneilla suomenkielisistäkin lähteistä. Yleisesti etsinnässä on hyvä käyttää englanninkielisiä hakusanoja, kuten "CO2 emission factor". Tärkeää on myös huomioida ilmoitettu yksikkö, joka on mahdollisesti muunnettava vastaamaan IKE-hiilijalanjälkilaskurissa käytettävää kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg. Tässä voi hyödyntää apuna IKE-hiilijalanjälkilaskurin työkalut -sivua.

## 4.2 VERTAILEVAT TUTKIMUKSET JA ARVIOINTITAVAT

IKE-hiilijalanjälkilaskurilla pyritään mallintamaan nimenomaan halutun tuotteen hiilijalanjälki. Tämä tarkoittaa sitä, että tällä menetelmällä saadut tulokset kuvaavat ainoastaan laskennan kohteena olevan tuotteen vaikutusta ilmastonmuutokseen. Näin ollen muut vaikutusluokat jätetään täysin huomiotta, jotka normaalisti kuuluisivat kokonaisvaltaiseen elinkaarimallinnukseen. Lisäksi laskenta kohdentuu nimenomaisesti yksittäiselle tuotteelle, eikä esimerkiksi kerro paljoakaan tuotteen valmistaneen yrityksen hiilijalanjäljestä. Organisaation tasolle hiilijalanjäljen laskentaa tehdessä tulee ottaa huomioon erilaisia asioita verrattuna tuotteen hiilijalanjäljen laskentaan.

Mikäli halutaan tehdä vertailevaa tutkimusta tuotteiden hiilijalanjäljistä, on suositeltavaa, että laskentaperiaatteet ja -menetelmät ovat mahdollisimman identtisiä. Mikäli laskentamenetelmät tai laskennan vaatimukset poikkeavat toisistaan, eivät tulokset ole luotettavia tai vertailukelpoisia. ISO 14067 standardin liitteen B mukaisesti seuraavien kriteerien tulee täyttyä tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaiheessa, jotta eri tuotteiden hiilijalanjälkiä voidaan vertailla keskenään:

1. Tuoteryhmän määrittelyn ja kuvauksen tulee olla identtiset
2. Toiminnalliset yksiköt ovat identtiset
3. Tuotejärjestelmän rajat vastaavat toisiaan
4. Tietojen kuvaukset vastaavat toisiaan
5. Syötteiden ja tuotosten sisällyttämiskriteerit vastaavat toisiaan
6. Tiedon laatuvaatimukset vastaavat toisiaan
7. Käytetyt oletukset vastaavat toisiaan
8. Kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat käsitellään identtisesti
9. Identtiset yksiköt

Lisäksi inventaarioanalyysissä ja vaikutustenarviointivaiheissa tietojen keruumenetelmien, laatuvaatimusten, laskentamenettelyiden allokointisääntöjen ja käytettyjen ilmaston lämmityspotentiaalien olla vastaavat tai identtiset. (SFS, 2018, s. 45.)

Mikäli IKE-hiilijalanjälkilaskurilla haluaa suorittaa tuotteiden välillä vertailua, tulisi ideaalisti molempien laskentojen olla tehty IKE-hiilijalanjälkilaskurilla, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia. Lisäksi edellisissä kappaleissa määritellyt asiat tulisi olla kunnossa. IKE-hiilijalanjälkilaskurilla tämän kaltaista vertailevaa tutkimusta tehdessä tulee muistaa, että laskurilla saadut tulokset ovat tarkoitettu ainoastaan laskennan tekijän yksityiseen käyttöön. Näin ollen tämän kaltaiset tulokset **eivät ole kelvollisia julkisissa vertailuväitteissä**. IKE-hiilijalanjälkilaskurilla tehtyjä vertailevia tutkimuksia voidaan kuitenkin hyödyntää sisäisessä käytössä esimerkiksi tuotekehityksessä tai kehityksen mittarina.

# 5

## MUUT LASKENTAMENETELMÄT

---

Vuosien saatossa eri toimijat ovat laatineet lukuisia tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksia arvioivia ja laskevia sovelluksia. Tässä luvussa esitellään muita yleisesti tiedossa ja käytössä olevia ympäristövaikutusten laskentaohjelmistoja.

### 5.1 ELINKAARIARVIOINTI

Tässä osiossa käsitellään lyhyesti OpenLCA-, SimaPro- ja muita elinkaariarviointiin keskittyviä laskentaohjelmia.

#### 5.1.1 OpenLCA

OpenLCA on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, joka on tarkoitettu elinkaariarvioinnin ja kestävä kehityksen arviointiin (Ciroth ym., 2019, s. 1–3). Ohjelmistoa on kehitetty vuodesta 2006 lähtien GreenDeltan toimesta ja koska se on avoimen lähdekoodin ohjelma, se on vapaasti saatavilla. Lähdekoodia voi tarkastella ja muokata kuka tahansa. Lisäksi ohjelmiston luonne tekee siitä hyvin soveltuvan arkaluontoisten tietojen käsittelyyn. Ohjelmistoa ja laadittuja malleja voidaan jakaa vapaasti, jos tietokannan lisenssi sen sallii.

OpenLCA:ta voidaan käyttää laajasti elinkaariarviointitarkoituksiin, kuten hiili- ja vesijalanjäljen laskentaan (Ciroth ym., 2019, s. 1). Niin ikään muun muassa ympäristötuoteseloste (EPD) ja integroitu tuotekäytäntö (Integrated Product Policy, IPP) voidaan tehdä ohjelmaa käyttäen.



## 5.1.2 SimaPro

SimaPro on PRé Sustainabilityn kehittämä laskentaohjelmisto (Pasanen, 2023, s. 21), jota voidaan käyttää esimerkiksi ympäristöraportointitarkoituksiin ja elinkaarimallintamiseen, kuten hiili- ja vesijalanjäljen laskentaan. SimaPro LCA-ohjelmisto on käytössä yli 80 maassa ja sen käyttäjiin lukeutuvat niin yritykset kuin oppilaitoksetkin. SimaProlla on useita eri vaihtoehtoisia lisenssejä, ohjelmistosarja sisältää työpöytäsovelluksen lisäksi SimaPro Collectin, Sharen ja Exploren, jotka ovat pilvipohjaisia moduuleja.

## 5.1.3 Muut LCA-ohjelmat

**GaBi Sphera.** Spheralla on kestävään kehitykseen keskittynyt ohjelmisto, jonka avulla käyttäjä voi integroida elinkaariarvioinnin omaan tuotekehitysprosessiinsa (Sphera, 2023). Ohjelmiston avulla käyttäjän on mahdollista mallintaa ympäristövaikutusten ja tuotantokustannuksien välisiä kompromisseja, jotta saadaan käsitys, millainen toimintatapa on tavoitteiden kannalta järkevä.

**Umberto LCA+.** Kyseessä on ohjelmisto, joka tähtää taloudellisten ja ekologisten haasteiden ratkaisemiseen ja tätä kautta kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiseen (iPoint, 2023). Tämän lisäksi keskeisiä ohjelman tarjoamia tuloksia ovat resurssitehokkuuden lisääminen, materiaalivirran tehokkaampi hallinta, sekä yksinkertaisen visualisoinnin kautta (esim. energiavirran osalta) täysi läpinäkyvyys käyttäjän omista tuotantoprosesseista tai koko tuotteen/palvelun elinkaaresta.

**One Click LCA** on automatisoitu LCA-ohjelmisto ja sen avulla käyttäjä voi laskea rakennuksiin ja infrastruktuuriin liittyvien hankkeiden, tuotteiden ja portfolion ympäristövaikutuksia sekä suunnitella toimia näiden vähentämiseksi (Symetri, i.a). Ohjelmisto palvelee muun muassa valmistajia, suunnittelijoita sekä rakennusten omistajia laajasti ympäri maailmaa tähdäten hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen koko rakentamisen arvoketjun varrelta.

## 5.2 TUOTTEEN HIILIJALANJÄLKI

Tässä osiossa käsitellään laskentaohjelmistoja, jotka on laadittu erityisesti tuotteiden hiilijalanjäljen laskentaa varten. Tähän kategoriaan kuuluvat muun muassa HITU – tuotteen hiilijalanjälkilaskuri, Eaternity ja Biocode.

### 5.2.1 HITU - tuotteen hiilijalanjälkilaskuri (SeAMK)

HITU, eli Tuotteen hiilijalanjäljen laskentatyökalu (Riihi, i.a.; SeAMK, i.a.) on tuotettu Seinäjoen ammattikorkeakoulussa Ympäristöosaamisen kehittämisellä kohti kestävä teollisuutta -hankkeen tiimoilta ja se mahdollistaa Etelä-Pohjanmaan alueella toimiville pk-teollisuusyrityksille heidän tuotteidensa hiilijalanjäljen mallintamisen koko tutkittavan tuotteen elinkaaren ajan.

Kyseessä on Excel-pohjainen laskuri (Joensuu-Salo ym., 2022, s. 49, 51; Riihi, i.a.), joka on laadittu tarpeeseen saada suomenkielinen, maksuton, helppokäyttöinen sekä välitallennusmahdollisuuden sisältävä laskentasovellus. HITU-hiilijalanjälkilaskurin päivittämisen vastuu jää kunkin yrityksen omalle vastuulle hankkeen päättymisen jälkeen. HITU-laskurissa on samanlaisia piirteitä IKE-laskurin kanssa, mutta suurin erottava tekijä on kohderyhmä, sillä HITU-laskuri on keskittynyt teollisuuden tuotteiden hiilijalanjälkilaskentaan. Toinen merkittävä ero on laskennan rajauksessa. IKE-laskurissa rajaus on ”kehdosta portille” -tyylinen, jossa huomioidaan päästöt raaka-aineiden valmistamisesta aina tuotantoon saakka, kun taas HITU-laskurissa huomioidaan myös käyttö ja loppukäsittely, eli kyseessä on niin sanottu kehdosta hautaan -rajaus.

### 5.2.2 Eaternity

Eaternity on sveitsiläinen yksityisten ja ammattimaisten keittiöiden käyttöön tehty laskuri, jolla voidaan laskea tarkka hiilijalanjälki resepteille ja ruokalistoille (Eaternity, i.a; Climate-KIC, i.a). Palvelun avulla on mahdollista analysoida kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteita. Eaternity tarjoaa myös kuukausittaiset raportit yrityksen toiminnasta ja kehityksestä hiilipäästöjen osalta. Ravintolat voivat laskennan avulla nostaa esiin ympäristöystävällisiä aterioita ruokalistoiltaan ja tällä tavoin antaa kuluttajalle mahdollisuus ottaa nämä paremmin huomioon valinnoissaan. Ympäristöystävälliseksi merkittyjen aterioiden hiilijalanjälki on alle puolet keskimääräisen tavallisen aterian hiilijalanjäljestä.

### 5.2.3 Valio Carbo ja muut alkutuotantoon liittyvät laskentaohjelmat

Valio Carbo® on Valion maitotuottajia varten suunniteltu ympäristölaskuri, jonka avulla voidaan laskea tilan nykyinen hiilijalanjälki ja tarkastella tapoja sen pienentämiseksi (Kielenniva, J. 2022, s. 36–37). Hiilijalanjäljen laskennan suorittamiseksi käyttäjän tulee syöttää laskuriin muun muassa

karjan tunnusluvut, tiedot madontuotannosta ja lypsylehmien ruokinnasta, lannan käsittelystä, polttoaineen ja energian kulutuksesta, peltojen kalkituksesta ja niin edelleen.

Laskuri on ollut melko laajasti käytössä, sillä jo vuonna 2021 Valion maito-tiloista noin neljäsosa oli laskenut hiilijalanjäljen tuottamastaan maidosta (Valio, 2022). Tämä vastaa yli tuhatta maidontuotantotilaa. Näillä tiloilla tuotetulle raakamaidolle saatiin laskennan pohjalta keskimääräiseksi hiilijalanjäljeksi 1,06 kg/CO<sub>2</sub>e yhtä maitolitraa kohden. Laskuri on saanut yrittäjiltä positiivista palautetta helppokäyttöisyydestään sekä informatiivisuudestaan tilan ympäristövaikutusten kokonaiskuvan kannalta, kun se kertoo maitotilan eri tekijöiden, esimerkiksi peltohehtaarien määrän, karjan koon tai lehmien tuottavuuden, vaikutuksesta kokonaishiilijalanjälkeen.

Biocode (Maaseutuverkosto, i.a.) on verkkopalveluna toteutettu hiilijalanjälkilaskuri, joka on suunnattu ruokabrändeille, tuottajille ja viljelijöille. Palvelun avulla voidaan toteuttaa maataloustoiminnan elinkaariarviot ja hallita ilmastovaikutuksia paremmin. Hiilijalanjälkiarviointi tehdään pelto-lohkotasolla ja se auttaa maatalousyrittäjää optimoimaan omaa viljelykiertoaan ilmastovaikutus- ja tuotteiden hiilijalanjälkitietojen pohjalta. Palvelun avulla voidaan arvioida niin biogeenisiä päästöjä ja poistumia, jotka viljelytapojen aiheuttamien maaperän hiilivarastomuutosten seurauksena muodostuvat, kuin myös fossiilista hiilijalanjälkeä, mitä tuotantopanosten käytöstä syntyy.

### **Muita laskentaohjelmia:**

- The Cool Farm Tool. Verkossa toimiva kasvihuonekaasujen, veden sekä biologisen monimuotoisuuden laskentaan tarkoitettu laskentaohjelma (Cool Farm Alliance, i.a.). Kasvihuonekaasujen osalta ohjelmalla voidaan määrittää maatalojen kasvihuonekaasupäästöt ja maaperän hiilensidontakyky.
- The EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT) on työkalu, joka perustuu hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin metodologiaan kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa (Food and Agriculture Organization of the United Nations, i.a.). Ohjelma tarjoaa käyttäjilleen johdonmukaisen tavan arvioida ja seurata kasvihuonekaasupäästöjä maataloustuotannossa kattaen koko maataloussektorin, mukaan lukien maatalouden, metsätalouden, muun maankäytön, kalastuksen ja vesiviljelyn, sisä-

maan ja rannikon kosteikot sekä maatalouden tuotantopanokset ja infrastruktuurin.

- Solagro. Tämä hiilijalanjälkilaskuri (Solagro, i.a.) mahdollistaa energiankulutuksen sekä kasvihuonekaasupäästöjen diagnosoinnin maatilatasolla huomioiden päästöjen jakautumisen koepajoittain. Tämän lisäksi työkalulla voidaan laskea maatilan käyttöön myös päästövähennystoimiin liittyviä seikkoja.

## 5.3 YRITYSTEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

Tässä osiossa käsitellään yritysten omasta toiminnastaan syntyvän hiilijalanjäljen laskentaa ja arviointia. Yritykset toteuttavat oman hiilijalanjälkensä laskemista laajasti ja hyvin yleisellä tasolla. Laskenta perustuu yleisesti GHG Protocol-ohjeistuksiin.

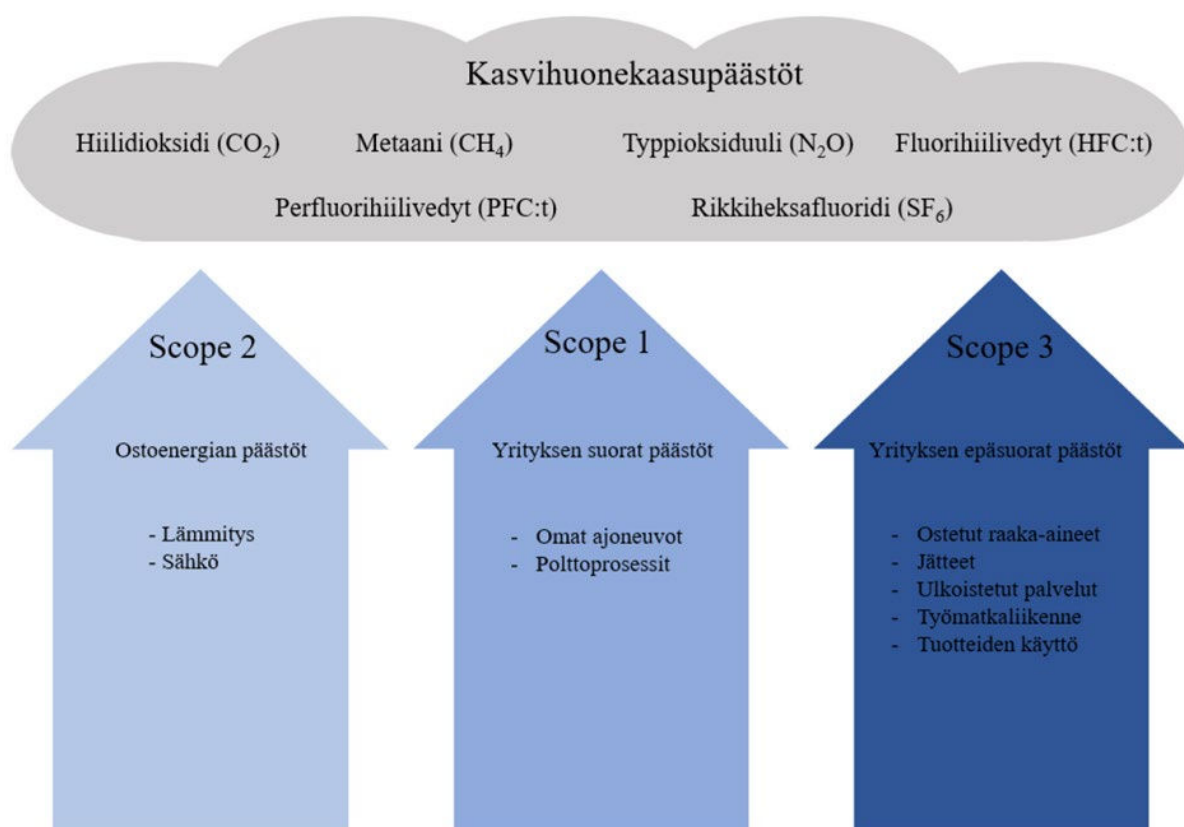
### 5.3.1 Greenhouse Gas Protocol

Yritysten hiilijalanjälkilaskentaa on mahdollista toteuttaa monin eri tavoin ja ohjeistuksin, ja näistä yhden menetelmän tarjoaa Greenhouse Gas (GHG) Protocol (Ranganathan ym., 2015, s. 3). Kyseessä on yritysten, kaupunkien, kuntien ja organisaatioiden hiilijalanjäljen laskentaan tarkoitettu standardisoitu kokoelma ohjeistuksia, työkaluja ja standardeja. GHG Protocol perustettiin 1990-luvun lopulla, kun World Resource Institute ja World Business Council for Sustainable Development organisaatiot havaitsivat, että kasvihuonekaasujen standardisoidulle laskennalle ja raportoinnille on kansainvälinen tarve. Hiilijalanjäljen laskenta huomioi kasvihuonekaasuista hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>), typpioksiduulin (N<sub>2</sub>O), rikkiheksafluoridin (SF<sub>6</sub>), fluorihilivedyt (HFC:t) sekä perfluorihilivedyt (PFC:t), ja nämä muutetaan tiettyjä GWP-kertoimia pohjana käyttäen vastaamaan vaikutukseltaan hiilidioksidia. Näin laskettu hiilijalanjäljen yksikkö on hiilidioksidiekvivalentti.

GHG Protocol Corporate Standard (Ranganathan ym., 2015, s. 7) on yritysten käyttöön suunniteltu ohjeistus, joka toimii yrityksen päästölaskennan ja raportoinnin yksityiskohtaisena oppaana. Standardissa korostetaan erityisesti viittä periaatetta, joiden pohjalle kasvihuonekaasupäästöjen laskenta tulisi aina perustaa. Nämä ovat merkityksellisyys, täydellisyys, johdonmukaisuus, läpinäkyvyys ja tarkkuus.

Lisäksi standardin suunnittelussa on korostettu muun muassa, että se auttaisi yritysten kasvihuonekaasupäästöjen inventaarioanalyysin valmistelussa noudattaen standardisoituja menetelmiä ja periaatteita sillä tavoin, että tuloksista saataisiin mahdollisimman totuudenmukaisia (Ranganathan ym., 2015, s. 2–3). Standardin on tarkoitus myös yksinkertaistaa inventaarioanalyysin tekoa ja pienentää siihen kohdennettavia kustannuksia, sekä tarjota tietoa niin tehokkaan strategian luomisesta päästöjen hallinnan suhteen kuin myös mahdollisuuksista, jotka helpottavat pakollisiin ja vapaaehtoiisiin päästövähennysohjelmiin osallistumista.

Operationaalisten rajojen asettaminen ja eritoten scope -luokittelu ovat standardin tärkeimpiä osa-alueita (Ranganathan ym., 2015, s. 25). Tähän sisältyy yritysten päästöjen luokittelua suoriin ja epäsuoriin päästölähteisiin (kuvio 11), joiden avulla yritysten päästövertailu helpottuu etenkin silloin, mikäli yrityksen rakenne on monimutkainen ja siitä johtuen riski päästöjen päällekkäiselle laskennalle kasvaa. Standardin luokittelun mukaan päästölähteet luokitellaan kolmeen luokkaan: scope 1, scope 2 ja scope 3.



Kuvio 11. Scope-luokat ja esimerkkejä niiden sisältämistä päästöistä. (Manninen, 2022, s. 24, soveltaen: Ranganathan ym., 2015, s. 31).

Scope 1 -luokkaan kuuluvat yrityksen suorat päästöt, joihin lukeutuvat kaikki yrityksen hallinnoimat tai omistamat päästölähteet (Ranganathan ym., 2015, s. 25). Tyypillisiä tähän luokkaan kuuluvia päästölähteitä ovat muun muassa yrityksen käytössä olevat omat ajoneuvot, yrityksen sisäiset polttamista vaativat prosessit sekä päästöt, jotka syntyvät kemikaaleja valmistettaessa.

Scope 2 -luokkaan kuuluvat sellaiset yrityksen aiheuttamat epäsuorat päästöt, joihin energian ostaminen joltain yrityksen ulkopuoliselta toimijalta liittyy olennaisesti (Ranganathan ym., 2015, s. 27). Tähän luokkaan lasketaan toimenpiteet, joissa ostettu energia valjastetaan hyötykäyttöön yrityksen hallinnoimissa tai omistamissa prosesseissa/toiminnoissa, esimerkiksi yrityksen ostama sähkö-, lämmitys-, ja jäähdytysenergia, joita se itse käyttää. Yrityksen itse tuottama energia taas ei kuulu tähän luokkaan, sillä yrityksen itse omistama tai hallinnoima energiantuotanto lukeutuu scope 1-luokan päästölähteisiin.

Scope 3 -luokkaan lukeutuu kaikki muut epäsuorat päästölähteet (Ranganathan ym., 2015, s. 29), ja toisin kuin kaksi ensimmäistä luokkaa, scope 3-luokan päästölähteet eivät ole kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa välttämättömiä. Ne ovat vapaaehtoisia, mutta kuitenkin hyödyllisiä sikäli, että niitä laskemalla ja raportoimalla yritys voi tehostaa päästöjensä hallintaa ja kohdistaa niiden raportointia yrityksen toiminnan, tavoitteiden ja saatavilla olevan tiedon kannalta merkityksellisiin kohteisiin.

Kun operationaaliset rajat on asetettu, GHG Corporate Protocol-ohjeistus käsittelee päästöjen jäljittämistä suhteessa ajankohtaan. Kun yrityksen kasvihuonekaasupäästöjä lasketaan, on oleellista sitoa ja suhteuttaa päästöt tiettyyn ajan hetkeen ja jaksoon. Tämä on oleellista siksi, että yritysten toiminta ei pysy vuodesta toiseen muuttumattomana. (Ranganathan ym., 2015, s. 34)

Lyhyesti sanottuna päästöjen ajan mittaan jäljittämisen oleellista on valita ns. perusvuosi, johon verrataan nykyisiä päästöjä (Ranganathan ym., 2015, s. 35). Tämä on päästöjen hallinnallinen näkökulmasta yritykselle tärkeää, sillä näin voidaan luotettavasti todeta päästöjen määrän, laadun ja lähteiden muutos ajan saatossa. Vaikka perusvuodeksi voidaan valita vain yksi vuosi, niin mahdollista on myös valita useamman vuoden aikajakso. Valintaan vaikuttaa tarpeellisen datan saatavuus ja se, kuvastaako kyseinen vuosi tarpeeksi hyvin yrityksen toimintaa ja sitä myöden päästö-määriä.

Seuraavaksi standardissa pureudutaan varsinaiseen päästölähteiden tunnistukseen ja laskentaan (Ranganathan ym., 2015, s. 41). Tämä vaihe voidaan jaotella viiteen alavaiheeseen, jotka ovat päästölähteiden tunnistaminen, laskentamenetelmien valinta, datan kerääminen sekä päästökertoimien valinta, laskentatyökalujen käyttöönotto ja tietojen kerääminen yritystasolle.

Aluksi (Ranganathan ym., 2015, s. 41) siis tunnistetaan sekä luokitellaan yrityksen päästölähteet käyttämällä neljää eri luokkaa (kiinteä palaminen, liikennevälineiden päästöt, prosessien päästöt ja hajapäästöt) scope-luokittelun mukaisesti, aloittaen scope 1-luokan päästöistä. Jokaisen scope-luokan päästölähteet luokitellaan näihin neljään kategoriaan erikseen.

Kun päästölähteet on tunnistettu (Ranganathan ym., 2015, s. 42), siirrytään valitsemaan laskentamenetelmät. Päästöjen määrästä voidaan ottaa selvää tekemällä suoria mittauksia päästökertoimia käyttämättä. Vaihtoehtoinen tapa päästömäärien selvittämiseen on käyttää esimerkiksi massataseisiin tai stoikiometrisiin määriin perustuvia päästökertoimia. Näistä jälkimmäinen tapa on paljon yleisemmin käytetty. On perusteltua käyttää sitä menetelmää, jota hyödyntäen tuloksista saadaan mahdollisimman tarkat ja tarkoitukseen sopivat.

Päästökertoimien valinta ja datan keräys tulee tehdä hyödyntämällä yrityksen käyttämiä laskettavien päästölähteiden määriä (Ranganathan ym., 2015, s. 42). Mikäli on saatavilla tarkempia päästökertoimia, jotka perustuvat lähteeseen tai ominaisuuksiin, tulisi näitä käyttää yleisempien päästökertoimien sijasta. Työkalut, joita laskennassa käytetään, ovat yrityksen itsensä päätettävissä. Käyttö on myös vapaaehtoista.

GHG Corporate Protocol-ohjeistuksen (Ranganathan ym., 2015, s. 45–46) viimeinen vaihe sisältää tietojen keräämisen yritystasolle ja sen tärkeys riippuu yrityksen koosta ja kompleksisuudesta. Tässä vaiheessa siis kootaan tiedot laskentaa varten suunnitellusti yrityksen eri fasiliteeteista, joita ovat muun muassa eri yksiköt, osastot ja toiminnot. Raportoinnin helpottamisen ja virheiden minimoinnin kannalta kyseessä on merkittävä vaihe. Tämän toteutukseen on kaksi toteutustapaa, jotka ovat keskitetty ja hajautettu menetelmä. Keskitetyssä menetelmässä päästöjen toimintatiedot kerätään niistä vastuussa olevien tahojen toimesta ja he välittävät nämä eteenpäin yritystasolle. Hajautetussa menetelmässä puolestaan päästömäärät lasketaan itsenäisten tahojen toimesta päästökertoimia hyödyntäen ja tämä tieto toimitetaan yritystasolle.

### 5.3.2 Y-HIILARI

Y-HIILARI on Suomen ympäristökeskuksen (Syke) tuottama Excel-pohjainen hiilijalanjäljen laskentatyökalu, jonka käyttö on maksutonta (Suomen ympäristökeskus SYKE, 2023b). Työkalu on laadittu Anniina Kontiokorven toimesta hänen diplomityönsä puitteissa, nimeltään Energia- ja ilmasto-toimenpiteiden käynnistäminen pk-yrityksissä, joka teetettiin Kohti hiili-neutraalia kuntaa -hanketta varten. Y-HIILARI:n rajaus hiilijalanjälkilas-kennassa perustuu GHG Protocol -ohjeistukseen ja laskennan rajauksessa otetaan huomioon Corporate Accounting and Reporting -standardissa pakolliseksi luokitellut scope 1 ja 2. Scope 3 on raportoinnissa vapaaehtoi-nen. Laskuri ottaa huomioon lämmön- ja sähköntuotannon, kuljetusten, jätehuollon sekä liikematkustamisen päästöt. Laskurissa tiedot syötetään kutakin osakokonaisuutta varten laaditulle omalle välilehdelleen (esimer-kiksi sähkönkulutus) ja työkalu laskee yrityksen hiilijalanjälkeä annettujen tietojen perusteella automaattisesti "etusivun" taulukkoon. Taulukosta sekä erillisestä kuvaajasta voidaan nähdä erikseen kunkin osakokonaisuu-den aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt (kg CO<sub>2</sub>ekv.) ja tämän lisäksi toisesta taulukosta päästöjen jakautumisen scope 1, 2 ja 3 päästöluokkiin.



# 6

## LASKENTATULOSTEN TULKINTA JA TOIMINTAOHJEITA YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN PIENENTÄMISEKSI

---

IKE-hiilijalanjälkilaskurilla saatujen tulosten perusteella pystytään tekemään arviointia siitä, miten tuotteen valmistusprosessia pystyttäisiin kehittämään entistä ympäristöystävällisemmäksi koko toimitusketjussa. Arviointitulosten hyödyntäminen on sitä helpompaa, mitä yksityiskohtaisemmin laskennassa käytetty tausta-aineisto on kerätty. Päästövähennysten tekeminen yrityksissä on ensisijainen keino päästöjen hillinnässä ja päästökompensaatioiden käyttö on suositeltavaa vasta sitten, kun muita keinoja päästövähennyksiin ei enää ole käytettävissä.

Elintarviketeollisuusliiton (2020) mukaan yhteiskunnan ja sidosryhmien toimet Suomen hiilineutraaliustavoitteissa vuoteen 2035 mennessä ovat avainasemassa kohti kestävämpää ruoantuotantoa. Tähän tarvitaan investointitukia vähähiilisempiin ratkaisuihin, yhtenäisempää ja kannustavampaa veropolitiikkaa, yhtenäisempää ja mahdollistavaa lainsäädäntöä sekä vakaata ja ennustettavaa toimintaympäristöä.

### 6.1 IKE-HIILIJALANJÄLKILASKURISTA SAATAVIA TIETOJA

Seuraavassa käydään läpi IKE-hiilijalanjälkilaskurista sivukohtaisesti, mitä toimenpiteitä voitaisiin tehdä tuotteen hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Ennen varsinaisten päästöjä vähennykseen tähtäävien toimenpiteiden aloittamista tulee tiedostaa merkittävimmät kohteet, joista päästöjä

ylipäättään syntyy. IKE-hiilijalanjälkilaskurin yhteenvetosivulta on mahdollista saada selkeästi koostettuna tietoja esimerkiksi:

- Päästöjen jakautuminen eri päästökategorioiden kesken.
- Päästöjen jakautuminen fossiilisten ja biogeenisten päästöjen kesken.
- Päästöjen jakautuminen päätuotteen ja mahdollisten sivutuotteiden kesken.

Näiden tietojen avulla voidaan tehdä päätelmiä siitä, missä merkittävimmät päästöjen lähteet ovat ja minne näin ollen on tehokkainta kohdentaa päästöjen vähennykseen tähtääviä toimenpiteitä. Lisäksi etusivulta löytyvästä raportin tulostustoiminnosta on mahdollista muodostaa PEF-ohjeistuksen raportointiohjetta mukaileva raportti IKE-hiilijalanjäljenlaskennan tuloksista.

### **6.1.1 Raaka-aineet**

Hiilijalanjäljen pienentäminen tuotteen raaka-aineiden osalta liittyy oleellisesti käytetyn raaka-aineen laatuun. Raaka-aineiden toimittajat saattavat tarjota arvioita tai valmiiksi tehtyjä laskelmia päästöistä, jolloin eri raaka-aine vaihtoehtojen vertailu helpottuu. Raaka-aineiden toimittajien kanssa kannattaa tehdä tiivistä yhteistyötä päästöjen vähentämiseksi esimerkiksi hiilensidonnan, energian käytön tai logistiikan osalta.

Usein on myös mahdollista pohtia korvaavia ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja hiilijalanjälkeen voimakkaasti vaikuttaville raaka-aineille. Tällöin voi verrata vaihtoehtoja tarkkojen tai geneeristen päästökertoimien, energiantensiivisyyden, valmistuspaikan tai materiaalitehokkuuden perusteella. Näissä vertailuissa tulisi käyttää mahdollisimman tarkkaa ja vertailukelpoista tietoa, sillä esimerkiksi valmistuspaikan läheisempi sijainti tai vähäinen energiankäyttö eivät automaattisesti takaa raaka-aineen pienempää hiilijalanjälkeä verrattuna toiseen. Lisäksi on tärkeää huomioida, että hiilijalanjälkeä tarkastellessa ei oteta huomioon muita ympäristövaikutuksiin liittyviä vaikutusluokkia, jolloin yksittäisen raaka-aineen tapauksessa hiilijalanjäljen pienentyessä toisen vaikutusluokan, kuten veden- tai maankäytön, vaikutukset saattavatkin kasvaa.

### **6.1.2 Pakkausmateriaalit**

Tuotteen hiilijalanjäljen pienentäminen pakkausmateriaaleista liittyy materiaalien laatuun, määrään ja jälkikäsitteilyyn. Materiaalin laatuun liit-

tyvät keinot ovat hyvin samankaltaisia, kuin raaka-aineiden tapauksessa. Pakkausmateriaalien toimittajien mahdollisia arvioita ja laskelmia materiaalien päästöistä voidaan hyödyntää ja yhteistyössä pienentää. Voidaan myös vertailla erilaisia materiaalivaihtoehtoja ja niiden vaikutusta hiilijalanjälkeen. Monista pakkausmateriaaleista on myös saatavilla uusio- ja kierrätysmateriaaleista valmistettuja vaihtoehtoja. Myös materiaalin käyttövaiheen jälkeiset kierrätysmahdollisuudet on hyvä huomioida.

Pakkausmateriaalilla on hyvin merkittävä vaikutus tuotteen ruokahävikin osuuteen hiilijalanjäljestä, sillä pakkausmateriaalin valinta vaikuttaa voimakkaasti tuotteen säilyvyyteen. Hiilijalanjäljen pienentäminen tuotteen pakkausmateriaaleista saattaa siis esimerkiksi kasvattaa tuotteen keskimääräisen ruokahävikin määrää ja näin ollen kasvattaa kokonaisuudessaan hiilijalanjälkeä.

Pakkaus on myös tärkeä kuluttajaviestinnän keino oikeaoppisesti tehdyille ympäristöväittämille. Viestinnässä ei saa käyttää kuluttajaa hämmentäviä virheellisiä ympäristöväittämiä eli ns. viherpesua.

### **6.1.3 Jätteet ja sivuvirrat**

Tuotteen hiilijalanjäljen jätteiden osuutta voi pyrkiä pienentämään monipuolisemmalla lajittelulla ja tehostamalla materiaalitehokkuutta niistä yksikköprosesseista, joista jätettä syntyy. Lisäksi jätteiden hiilijalanjälkeä voidaan pienentää kehittämällä jätejakeille hyödyntämismahdollisuuksia yrityksen omassa toiminnassa, jolloin jätteiden käsittelyn ja kuljetuksen ympäristövaikutuksilta vältytään.

Jätteiden lisäksi IKE-hiilijalanjälkilaskurissa käsitellään samalla laskentavälehdellä pesuaineet. Näiden osalta hyviä keinoja päästöjen vähentämiseen ovat pesuaineiden määrän ja laadun muuttaminen. Kuitenkin pesuaineiden määrää vähennettäessä tai laatua vaihtaessa tulee huomioida vaikutukset pesutulokseen. Suositeltavaa on käyttää pesuaineille suositeltuja käyttömääriä.

### **6.1.4 Energia**

Tuotteen valmistuksen energiankäyttö voi olla helppo ja kustannustehokas tapa vähentää tuotteen valmistusprosessin hiilijalanjälkeä, sillä tietyissä tapauksissa pelkästään käytetyn energianlähteen vaihtaminen voi tiputtaa energian osuuden hiilijalanjäljestä lähelle nollaa. Sähköenergian ostaminen alkuperäisvarmennetuista päästöttömistä tai uusiutuvista lähteistä on

hyvä mahdollisuus vaikuttaa nopeasti energian käytön hiilijalanjälkeen. On tärkeää huomata, että myös osa uusiutuvista energialähteistä aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä, mutta laskentatavan takia näitä päästöjä ei lasketa fossiiliperäisiin päästöihin ja sitä kautta hiilijalanjälkeen. Esimerkkejä tuotannon aikana päästöttömistä energialähteistä ovat esimerkiksi aurinkoenergia, tuuli- ja vesivoima sekä uusiutuvista biopolttoaineet.

Energialähteen lisäksi voidaan vaikuttaa käytetyn energian määrään. Valmistusprosessia voidaan optimoida mahdollisimman energiatehokkaaksi jatkuvalla energiankulutuksen seurannalla, automatiikalla. Robottiikan hyödyntäminen lisää tehokkuutta, laatua sekä antaa kustannussäästöjä. Laitteistojen optimaalisen energiankulutuksen ja moitteettoman toiminnan seuraaminen sekä laitteiden tasainen huolto ja kunnossapito auttavat myös vähentämään kulutusta.

Vaikka IKE-hiilijalanjälkilaskuri ei ota huomioon rakennusten lämmityksestä tai valaistuksesta aiheutuvia päästöjä, vaikuttavat ne kuitenkin esimerkiksi yrityksen hiilijalanjälkeen organisaatiotasolla. Lämmöntuotantotavoissa voidaan hyödyntää lämpöpumppuja ja valaistuksessa energiatehokkaampia lamppeja sekä aikaohjelmia. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien optimaalinen käyttö ja hukan tehokas hyödyntäminen muussa prosessissa esim. lämmön talteenottona poistoilmasta ja jätevedestä on myös hyvä keino vähentää energiankulutusta. Huomioitava myös ilmanvaihtokoneiden ja ilmamäärien tarkastukset sekä yleisesti tuotannon kustannustehokkuuden huomioiminen investoinneissa ja takaisinmaksuaikatavoitteissa.

### **6.1.5 Logistiikka**

Logistiikassa tuotteen hiilijalanjälkeä voi pienentää erilaisilla keinoilla liittyen käytettyyn esimerkiksi kuljetuskalustoon, reitteihin, käytettyihin käyttövoimiin ja varastoinnin tehostamiseen. Nykyään useat kuljetuspalvelut tarjoavat arvioita ja laskelmia palveluidensa päästöistä, jolloin päästöjen vähentäminen on tällaisissa tapauksissa mahdollista kuljetuspalvelun tarjoajan kanssa yhteistyössä.

Kun kuljetus tapahtuu omalla kuljetuskalustolla, voidaan päästöjä vähentää päivittämällä kuljetuskalustoa siten, että kuljetusten käyttövoima on vähäpäästöisemmästä lähteestä. Esimerkiksi sähköajoneuvoihin tai kaasuajoneuvoihin päivittämällä bensiini- tai dieselkäyttöisistä ajoneuvoista lähes aina vähentää kuljetusten aikaisia päästöjä. Myös vähäkulutuksisempien ajoneuvojen käyttäminen vähentää päästöjä. Kuljetuskaluston päivittämisen lisäksi päästöjä voidaan vähentää optimoimalla ajoreittejä ja kuorma-

määriä, seuraamalla polttoaineiden kulutusta, tekemällä muiden läheisten yritysten kanssa yhteistyötä esimerkiksi pakkausmateriaalien tilauksissa. Varastonnin osalta päästöjä voidaan vähentää optimoimalla varastojen käyttöastetta, kiinnittämällä huomiota varastojen lämpöhäviöihin esimerkiksi tilojen suluilla ja seuraamalla kylmäainekaasujen kulutusta.

## 6.2 LASKENTATULOSTEN MUU HYÖDYNTÄMINEN

IKE-Hiilijalanjälkilaskurin tuloksia voi olla muutakin hyötyä, kuin itse hiilijalanjäljen analysointi ja pienentäminen. Tuloksia voidaan hyödyntää myös yksikköprosesseja optimoimalla esimerkiksi materiaalitehokkuuden ja energiatehokkuuden parantamisen kautta, jolloin tällaisella optimoinnilla voidaan tehdä taloudellisia säästöjä. Laskentatuloksia voidaan hyödyntää tuotekehityksessä sekä kotimaisilla että ulkomaisilla markkinoilla. Suomessa on hyvät mahdollisuudet kansainväliseen kilpailuun kestävien ruokaratkaisujen parissa.

Mikäli kaikki toimet tuotteen päästöjen vähentämiseksi on jo tehty ja tuotteen hiilijalanjälkeä halutaan edelleen pienentää, voidaan harkita päästökompensaatioiden käyttöä. Päästökompensaatioissa hiilimarkkinoilta ostetaan ilmastoyksiköitä hankkeista, jotka korvaavat päästöjä esim. lisäämällä hiilinieluja metsityksen avulla. Hiilimarkkinoiden valvontaan on kehitetty erilaisia sertifiointiohjelmia, joiden avulla voidaan todentaa päästöjen hillintätoimet. Päästökompensaatioita hankittaessa on varmistuttava toimijan luotettavuudesta toiminnan läpinäkyvyydessä. Sertifiointiohjelmissa ja muista ulkopuolisten toimijoiden suorittamista varmennuksista huolimatta päästökaupassa on huomattu joitain epäselvyyksiä. (Suomen ympäristökeskus, 2023a).

## 6.3 ELINKAARIARVIOINNIN TULEVAISUUS

Oleellinen tekijä elinkaarivaikutusten laskennassa on tulosten vertailtavuus tuotteiden välillä. Elinkaariarviointiin liittyvien yhtenäistettyjen pelisääntöjen avulla tätä vertailtavuutta ja kilpailukykyä voidaan parantaa. Elinkaariarviointiin käytettäviä tietoja ja menetelmiä kehitetään ja päivitetään, ja lainsäädäntö asiaan liittyen kehittyy jatkuvasti. On odotettavissa, että erilaisten elinkaarijatteluun liittyvien metodien, työkalujen ja ohjeistusten vaikutus politiikan kehittymiseen kasvaa tulevaisuudessa (Sala ym., 2021. s. 15). Elinkaarimallintamisen kehitys viime vuosina viittaa myös siihen, että

aikaisemmin ekologiseen kestävyteen vahvasti keskittynyt elinkaarimallinnus on laajentumassa käsittämään aina vain vahvemmin myös sosiaalisen ja ekonomisen kestävyuden (Amahmoud ym., 2022. s. 9).

Niin kansalliset kuin kansainvälisetkin ympäristöohjelmat tulevat ohjaamaan entistä enemmän ympäristövaikutusten vähentämistä yrityksissä erilaisin keinoin. Esimerkiksi mahdolliset verotukset suuremmista ympäristöpäästöistä pakottavat yritykset entistä suurempiin päästövähennyksiin ja tämä näkyy hinnassa sekä tuotteen valmistajalle, että kuluttajalle. Elintarviketeollisuus ei kuulu EU:n päästökauppajärjestelmän piiriin, mutta esimerkiksi siihen kuuluvien energia- ja kemianteollisuuden yritysten kustannusten kasvu vaikuttavat myös elintarviketeollisuuteen (Euroopan komissio, 2023a). Tuotteiden ympäristövaikutusten selkeämpi ilmaisu kuluttajille tulee korostumaan ja ympäristövaikutusten arvioinnin osamista ja ymmärrystä lisätään koulutuksessa. Esimerkiksi EU on laatimassa uutta "Green claims" lakia, jonka tarkoituksena on vähentää viherpesua ja suojella sekä kuluttajaa että ympäristöä luomalla selkeämmät säännöt ja kriteeristön ympäristöväitteiden luomiseen (Euroopan komissio, 2023b).

Euroopan ja myös Suomen elinkaarimallintamisen käytäntöjen edistämistä ajaa eteenpäin erinäiset hiilineutraaliustavoitteet (Elintarviketeollisuusliitto, 2020a). Suomen valtion hiilineutraaliustavoitteen ollessa vuosi 2035, Elintarviketeollisuusliitto on linjannut oman tavoitteensa sen mukaisesti "tuottaa 75 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä alan liikevaihtoon suhteutettuna" ja tämän kautta edistää koko elintarvikeketjun hiilineutraaliutta.

# 7

## TIETOA JA TYÖKALUJA YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIIN

---

Tähän osioon on kerätty erilaisia listauksia työkaluista sekä tietolähteistä ympäristövaikutusten arviointia varten. Taulukot 1 ja 2 käsittelevät erilaisia laskentasovelluksia sekä niissä käytettäviä tietokantoja. Taulukossa 3 on listattu arvioinnissa käytettäviä standardeja ja ohjeistuksia sekä muita lisätietoja. Taulukosta 4 taas löytyvät ympäristövaikutusten arvioinnin parissa toimivien toimijoiden listaus.

Taulukko 1. Listaus laskentasovelluksista.

<b>OpenLCA</b>	<a href="https://www.openlca.org/">https://www.openlca.org/</a>
<b>SimaPro</b>	<a href="https://simapro.com/">https://simapro.com/</a>
<b>GaBi Sphera</b>	<a href="https://sphera.com/">https://sphera.com/</a>
<b>One Click LCA</b>	<a href="https://www.oneclicklca.com">https://www.oneclicklca.com</a>
<b>Umberto LCA+</b>	<a href="https://www.ifu.com/">https://www.ifu.com/</a>
<b>Eaternity</b>	<a href="https://eaternity.org/">https://eaternity.org/</a>
<b>Klimato</b>	<a href="https://www.klimato.co/">https://www.klimato.co/</a>
<b>The GHG Emission Calculation Tool</b>	<a href="https://ghgprotocol.org/">https://ghgprotocol.org/</a>

Taulukko 2. Tietokantoja elinkaariarviointiin.

<b>Agribalyse</b>	<a href="https://doc.agribalyse.fr/documentation-en/">https://doc.agribalyse.fr/documentation-en/</a>
<b>Ecoinvent</b>	<a href="https://ecoinvent.org/">https://ecoinvent.org/</a>
<b>Agri-Footprint</b>	<a href="https://blonksustainability.nl/">https://blonksustainability.nl/</a>
<b>Quantis</b>	<a href="https://quantis.com/">https://quantis.com/</a>

Taulukko 3. Hankkeen aikana kerätyt ohjeistukset ja lisätietoa sisältävät sivustot.

<b>PEF-ohjeistus</b>	<a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021H2279&amp;from=EN">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021H2279&amp;from=EN</a>
<b>ISO-standardit</b>	<a href="https://sfs.fi/">https://sfs.fi/</a>
<b>PAS 2050</b>	<a href="https://knowledge.bsigroup.com/">https://knowledge.bsigroup.com/</a>
<b>Greenhouse Gas Protocol</b>	<a href="https://ghgprotocol.org/">https://ghgprotocol.org/</a>
<b>SeAMK:n TKI-hankkeet ja niiden tapahtumatarjonta</b>	<a href="https://projektit.seamk.fi/">https://projektit.seamk.fi/</a>
<b>Euroopan komission LCA-tietoalusta</b>	<a href="https://eplca.jrc.ec.europa.eu/">https://eplca.jrc.ec.europa.eu/</a>

Taulukko 4. Listaus ympäristövaikutusten parissa toimivista toimijoista Suomessa.

<b>Biocode Oy</b>	<a href="https://biocode.io/fi/">https://biocode.io/fi/</a>
<b>Clonet Oy</b>	<a href="https://www.clonet.fi/">https://www.clonet.fi/</a>
<b>Ecobio Oy</b>	<a href="https://ecobio.fi/">https://ecobio.fi/</a>
<b>Ekokompassi</b>	<a href="https://ekokompassi.fi/">https://ekokompassi.fi/</a>
<b>Etteplan Finland Oy</b>	<a href="https://www.etteplan.com/fi">https://www.etteplan.com/fi</a>
<b>Gaia Consulting Oy</b>	<a href="https://gaia.fi/fi/etusivu/">https://gaia.fi/fi/etusivu/</a>
<b>Greenstep Oy</b>	<a href="https://greenstep.fi/">https://greenstep.fi/</a>
<b>Ilmastoapu Oy</b>	<a href="https://www.ilmastoapu.fi/">https://www.ilmastoapu.fi/</a>
<b>JAMIX Oy</b>	<a href="https://www.jamix.com/fi">https://www.jamix.com/fi</a>
<b>Keskuskauppakamari</b>	<a href="https://kauppakamari.fi/palvelut/ilmastositoumus/">https://kauppakamari.fi/palvelut/ilmastositoumus/</a>
<b>Luonnonvarakeskus (mm. EcoModules)</b>	<a href="https://www.luke.fi/fi">https://www.luke.fi/fi</a>
<b>OpenCO2net Oy</b>	<a href="https://www.openco2.net/fi/">https://www.openco2.net/fi/</a>
<b>Thermopolis Oy</b>	<a href="https://www.thermopolis.fi/">https://www.thermopolis.fi/</a>



Yllä mainittujen toimijoiden lisäksi kannattaa seurata alueella toimivien koulutuksen sekä tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan parissa työskentelevien ammattikorkeakoulujen, yliopistojen sekä ammatillisten kouluttajien toimintaa. Käynnissä voi olla useita ympäristövaikutusten hallintaan liittyviä hankkeita tai muita projekteja, jotka hyödyttävät alueellisia toimijoita.

# LÄHTEET

---

Amahmoud, A., El Attar, M. M., & Meleishy, A. (2022). The Evolution of Life Cycle Assessment Approach: A Review of Past and Future Prospects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 992, 9.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/992/1/012002>

Bhatia, P., Cummis, C., Brown, A., Draucker, L., Rich, D. & Lahd, H. (2011). Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. World Resource Institute, World Business Council for Sustainable Development.

<https://ghgprotocol.org/product-standard>

Ciroth, A., Noi, D., Lohse, T. & Srocka, M. (2019). OpenLCA 1.9. Comprehensive User Manual.

[https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2019/07/openLCA-1-9\\_User-Manual.pdf](https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2019/07/openLCA-1-9_User-Manual.pdf)

Climate-KIC. (i.a). Eaternity: Calculating the carbon footprint of consumer meals.

<https://www.climate-kic.org/success-stories/eaternity-3/>

Deconinck, K. & Toyama, L., (2022). Environmental Impacts Along Food Supply Chains: Methods, Findings, and Evidence Gaps. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, 185 (185), 19.

<https://doi.org/10.1787/48232173-en>

Eaternity. (i.a). Eaternity Gastro.

<https://eaternity.org/app/>

Elintarviketeollisuusliitto. (2020a). Elintarviketeollisuuden tiekartta vähähiilisyteen.

<https://www.etl.fi/media/aineistot/nettisisaltojen-liitteet/elintarviketeollisuuden-tiekartta-vahahiilisyteen.pdf>

Elintarviketeollisuusliitto. (2020b). Vähähiilisempää ruoan- ja juomantuotantoa.

<https://www.etl.fi/elintarviketeollisuus/vastuullisuus/ymparistovastuu/kohti-vahahiilista-elintarviketeollisuutta.html>

Euroopan komissio. (2021). Komission suositus (EU) (2279/2021). Ympäristöjalanjälkeä koskevien menetelmien käyttämisestä tuotteiden ja organisaatioiden elinkaaren ympäristötehokkuuden mittaamiseen ja siitä tiedottamiseen. s. 26, 28–40, 42–43, 47, 56–57, 80, 243

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021H2279>

Euroopan komissio. (2023a). EU Emission Trading System (EU ETS).

[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en)

Euroopan komissio. (2023b). Green Claims.

[https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en)

Euroopan parlamentti. (28.10.2021). Kasvihuonekaasupäästöt EU:ssa ja maailmalla.

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180301STO98928/kasvihuonekaasupaastot-eu-ssa-ja-maailmalla-infografiikka>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (i.a.). The EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT).

<https://www.fao.org/in-action/epic/ex-act-tool/suite-of-tools/ex-act/en/>

Greenhouse Gas Protocol. (2013). Global Warming Potentials Values.

[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards\\_supporting/Global%20Warming%20Potential%20Values%20%28Feb%202016%29.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/Global%20Warming%20Potential%20Values%20%28Feb%202016%29.pdf)

iPoint-Systems GmbH. (2023). Eco-efficiency Software - Umberto.

<https://www.ifu.com/umberto/>

Joensuu-Salo, S., Viljamaa, A. & Saarikoski, S. (2022). Kestävää tulevaisuutta tekemässä – Seinäjoen ammattikorkeakoulun liiketalouden alan kokoomateos 2022. [Seinäjoen ammattikorkeakoulu].

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/788557/B176.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kielenniva, J. (2022). Hiilijalanjäljen laskeminen Teerimäen tilalle. [opin-  
näytetyö, Savonia-ammattikorkeakoulu]. Theseus.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/748775/Kielenniva\\_Jaakko.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/748775/Kielenniva_Jaakko.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Maaseutuverkosto, Agrihubi. (i.a). Laskurit.  
<https://maaseutuverkosto.fi/agrihubi/laskurit-ja-tyokalut/laskurit/>

Manninen, V. (2022). Valmistavan teollisuuden ilmastovaikutukset.  
Case: Peltitarvike Oy:n ja esimerkkituotteiden hiilijalanjäljet [diplomityö,  
Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto]. LUTPub.  
<https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022112466821>

Ojala, E. (2014). Tuotteen ympäristöjalanjälki -menetelmän soveltuvuus  
ympäristöviestinnän työkaluksi. [diplomityö, Lappeenrannan teknillinen  
yliopisto]. LUTPub.  
<https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014112146493>

Our World in Data. (2022). Environmental Impacts of Food Production.  
<https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food?insight=food-responsible-for-one-quarter-of-emissions#key-insights-on-the-environmental-impacts-of-food>

Pasanen, H. (2023). LCA-laskentaohjelmiston käyttöönotto peruna-  
tärkkelystä käsittelevässä yrityksessä [opinnäytetyö, Seinäjoen  
ammattikorkeakoulu]. Theseus.  
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023062724322>

Ranganathan, J., Corbier, L., Bhatia, P., Schmitz, S., Gage, P. & Oren,  
K. (2015). A Corporate Accounting and Reporting Standard REVISED  
EDITION. World Resource Institute, World Business Council for Susta-  
nable Development.  
<https://ghgprotocol.org/corporate-standard>

Riihi. (i.a). Työkaluja toiminnan kehittämiseen. HITU, Tuotteen  
hiilijalanjälkilaskuri.  
<https://www.eepeeriihi.fi/tietoa-ja-tyokaluja2/materiaalipankki/tyokaluja-toiminnan-kehittamiseen/#hitu>

Ritchie, H., Rosado, P. & Roser, M. (2022). Environmental Impacts of Food Production. <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>  
Ruokavirasto. (2022). Ravitsemus- ja ruokasuositukset – Aikuiset.  
<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/terveytta-edistava-ruokavalio/ravitsemus--ja-ruokasuositukset/aikuiset/>

Sala, S., Amadei, A. M., Beylot, A., & Ardente, F. (2021). The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(12), 2295–2314.  
<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2>

Seinäjoen ammattikorkeakoulu. (i.a). Kehittämistyökalut. HITU – Tuotteen hiilijalanjäljen laskentatyökalu.  
<https://www.seamk.fi/tyoelamalle/kehittamistyokalut/>

Solagro. (i.a). Carbon Calculator.  
<https://solagro.com/works-and-products/outils/carbon-calculator>

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2018). Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet (SFS-EN ISO 14067:2018).

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2021). Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet (SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020).

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2020). Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines (SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2020).

Suomen ympäristökeskus. (2017). Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinikka-toimintamallista pk-yrityksille.  
<https://www.syke.fi/download/noname/%7B032490FA-19DF-4E5A-A40F-88E22B86DA20%7D/132057>

Suomen ympäristökeskus. (2023a). Päästöjen kompensointi.  
<https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-arki/paastojen-kompensointi>

Suomen ympäristökeskus. (2023b). Y-HIILARI Hiilijalanjälki -työkalu.  
[https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_\\_kehittaminen/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Laskurit/YHiilari](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari)

Sphera. 2023. The Power of Life Cycle Assessment (LCA).  
<https://sphera.com/the-power-of-life-cycle-assessment-lca/>

Symetri. (i.a.). One Click LCA. Laske elinkaarivaikutukset minuuteissa.  
<https://www.symetri.fi/tuotteet/one-click-lca/>

The Cool Farm Tool. (i.a.). Cool Farm Alliance.  
<https://coolfarmtool.org/coolfarmtool/>

Valio Oy. (2022). Jo yli tuhat Valion maitotilaa laskenut maidontuotannon hiilijalanjäljen – laskenta antaa suunnan päästöjen pienentämiseen.  
<https://news.cision.com/fi/valio-oy/r/jo-yli-tuhat-valion-maitotilaa-laske-nut-maidontuotannon-hiilijalanjaljen---laskenta-antaa-suunnan-pa,c3489990>

Vatanen, S. & Grönman, K. (10.5.2021). Hiilikädenjäljestä tuli ympäristökädenjälki – VTT ja LUT kehittivät positiivisten ympäristövaikutusten mittarin ympäristötekojen tueksi. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.  
<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/hiilikadenjaljesta-tuli-ymparistokadenjalki-vtt-ja-lut-kehittivat-positiivisten>

Zampori, L. & Pant, R. (2019). Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. Publications Office of the European Union.  
[https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF\\_method.pdf](https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEF_method.pdf)

# LIITTEET

---

Liite 1. CFF-kaavat

## Liite 1. CFF-kaavat

(Euroopan komissio, 2021, s. 56–57)

$$\text{Materiaalit: } (1 - R_1) + R_1 * \left( A E_{rec} + (1 - A) E_v * \frac{Q_{S in}}{Q_p} \right) + (1 - A) R_2 * \left( E_{recEoL} - E'v * \frac{Q_{S out}}{Q_p} \right)$$

$$\text{Energiankulutus: } (1 - B) R_3 * \left( E_{ER} - LHV * X_{ER,heat} * E_{SE,heat} - LHV * X_{ER,elec} * E_{SE,elec} \right)$$

$$\text{Loppukäsittely: } (1 - R_2 - R_3) * E_D$$

Missä:

**A:** kerroin, jolla kohdennetaan rasitteet ja hyvitykset kierrätysmateriaalin toimittajan ja käyttäjän välillä.

**B:** energian talteenottoprosesseihin liittyvä kohdentamiskerroin. Tätä sovelletaan sekä rasitteisiin että hyvityksiin.

Kertoimen arvoksi on asetettava nolla kaikkien OEF-tutkimusten tapauksessa.

**Q<sub>S in</sub>:** tuotejärjestelmään tulevan uusiomateriaalin eli kierrätysmateriaalin laatu korvauspisteessä.

**Q<sub>S out</sub>:** tuotejärjestelmästä lähtevän uusiomateriaalin eli kierrätysmateriaalin laatu korvauspisteessä.

**Q<sub>p</sub>:** ensiomateriaalin eli neitseellisen materiaalin laatu.

**R<sub>1</sub>:** aiemmasta järjestelmästä kierrätetyn materiaalin osuus tuotannon syötteestä.

**R<sub>2</sub>:** tuotteeseen sisältyvä materiaali, joka kierrätetään (tai uudelleen käytetään) myöhemmässä järjestelmässä. R<sub>2</sub>-arvossa on otettava huomioon myös keräys- ja kierrätysprosessien (tai uudelleenkäyttöprosessien) tehotomuudet.



$R_2$  on mitattava kierrätyslaitoksen tuotoksen perusteella.

$R_3$ : tuotteeseen sisältyvä materiaali, joka hyödynnetään energialähteenä käytöstäpoistovaiheessa.

$E_{rec}$ : kierrätetyn (tai uudelleenkäytetyn) materiaalin kierrätysprosessien (ml. keräys, lajittelu ja kuljetus) yhteydessä aiheutuvat päästöt ja kulutetut luonnonvarat (toiminnallista yksikköä kohti).

$E_{recEoL}$ : käytöstäpoistovaiheessa tapahtuvien kierrätysprosessien (ml. keräys, lajittelu ja kuljetus) yhteydessä aiheutuvat päästöt ja kulutetut luonnonvarat (toiminnallista yksikköä kohti).

$E_v$ : ensimateriaalin hankinnan ja esikäsittelyn yhteydessä aiheutuvat päästöt ja kulutetut luonnonvarat (toiminnallista yksikköä kohti).

$E'v$ : kierrätysmateriaaleilla korvattavan ensimateriaalin hankinnan ja esikäsittelyn yhteydessä aiheutuvat päästöt ja kulutetut luonnonvarat (toiminnallista yksikköä kohti).

$E_{ER}$ : energian talteenottoprosessien yhteydessä aiheutuvat päästöt ja kulutetut luonnonvarat (toiminnallista yksikköä kohti) (esim. energian talteenotto polttamisen tai kaatopaikalle sijoittamisen yhteydessä).

$E_{SE,heat}$  ja  $E_{SE,elec}$ : päästöt jotka olisivat aiheutuneet ja luonnonvarat jotka olisi kulutettu (toiminnallista yksikköä kohti) korvatus energialähteen yhteydessä, lämmön ja sähkön mukaan eriteltynä.

$E_D$ : tarkasteltavan tuotteen käytöstäpoistovaiheessa jätemateriaalien hävittämisen yhteydessä aiheutuvat päästöt ja kulutetut luonnonvarat (toiminnallista yksikköä kohti), energian talteenotto pois lukien.

$X_{ER,heat}$  ja  $X_{ER,elec}$ : energian talteenottoprosessin tehokkuus lämmön ja sähkön mukaan eriteltynä.

$LHV$ : tuotteeseen sisältyvän energialähteenä hyödynnettävän materiaalin alempi lämpöarvo.



**SeAMK**   
SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

 **ETELÄ-POHJANMAAN LIITTO**  
Regional Council of South Ostrobothnia

**Vipuvoimaa**  
**EU:lta**  
2014–2020



**Euroopan unioni**  
Euroopan aluekehitysrahasto