



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

# Muovisola Oy:n hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki organisaatiolle ja sen tuotteelle

Emmi Matikainen

Opinnäytetyö, huhtikuu 2022

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



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2022**  
**Energia- ja ympäristötekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)  
Emmi Matikainen

Nimeke  
Muovisola Oy:n hiilijalanjälki: hiilijalanjälki organisaatiolle ja sen tuotteelle

Toimeksiantaja  
Muovisola Oy & Tulevaisuuden työ -hanke

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä selvitettiin yrityksen tilikauden aikaiset kasvihuonekaasupäästöt GHG-protokollan organisaatiostandardin mukaisesti, sekä tuotteen elinkaari ISO 14040 -tuotestandardin ohjeiden mukaan. Tuloksia tarkasteltiin yhteismitallisena yksikkönä, hiilidioksidiekvivalentteina. Organisaation hiilijalanjälki ottaa huomioon kaikki tilikauden aikaiset päästölähteet ja jakaa ne kolmeen vaikutusluokkaan. Tuotteen hiilijalanjälkeä laskettaessa mallinnettiin polymeerin prosessointi SimaPro-ohjelmiston avulla. Laskussa otettiin huomioon ne päästöt, jotka muovituotteen valmistamisesta ruiskuvaluprosessissa syntyvät.

Opinnäytetyö on luonteeltaan tutkimuksellinen, ja se seuraa standardien vaatimia menetelmiä tulosten saavuttamiseksi. Organisaation hiilijalanjäljessä rajauksen ulkopuolelle jätettiin pienet kuluerät, jotka ovat lopputuloksen kannalta merkityksettömiä. Tuotteen hiilijalanjälki laskettiin niin kutsutulla kehdoista portille -menetelmällä, ja se rajattiin koskemaan keskimääräisesti ruiskuvaluprosessissa tunnettuja ja siihen vaikuttavia päästölähteitä.

Tulososiossa selviää yrityksen suurimmat päästölähteet sekä ruiskuvaluprosessin aiheuttama hiilijalanjälki. Yritys saa tietoa aiheuttamastaan ilmastokuormasta ja voi tehdä sen perusteella ilmaston kannalta kestäviä valintoja. Opinnäytetyössä pyrittiin käyttämään suomalaisista lähteistä olevia päästökertoimia, mutta kaksi erilaista laskutapaa ja erot lähdemateriaaleissa osoittavat laskennan epävarmuustekijöitä ja muutoksia kokonaispäästöissä.

Kieli  
suomi

Sivuja 52  
Liitteet 6  
Liitesivumäärä 9

Asiasanat  
hiilijalanjälki, kasvihuonekaasut, ruiskuvalu



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

Tikkarinne 9  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +350 13 260 600

Author(s)  
Emmi Matikainen

Title  
Carbon Footprint Calculation for Muovisola Oy: carbon footprint for organization and product

Commissioned by  
Muovisola Oy & Tulevaisuuden työ -Project

Abstract

The thesis examines company's annual greenhouse gas emissions in accordance with the organizational standard of the GHG protocol, and the product life cycle in accordance with the instructions of the 14040-product standard. The results were considered as a common measurement unit, carbon dioxide equivalent. Company's carbon footprint considers all emissions during the financial year and divides them into three impact categories. Carbon footprint of the product was modelled by using SimaPro software. This calculation considered the emissions from the injection moulding manufacturing of plastic products.

The character of this thesis was a research and development project, and it followed the required standard methods to achieve results. In the company's annual carbon footprint cut-off excluded small expense items which were insignificant in the result. The carbon footprint of the product was calculated by using the so-called cradle-to-grave cut-off and was limited to the average emission sources known and affected in the injection moulding process.

The result section shows the company's biggest emission sources and the carbon footprint caused by the injection moulding. The company receives information about the climate-sustainable choices based on it. The aim of the thesis was to use emission factors from Finnish sources, but two different calculation methods and differences in source material information shows uncertainties in calculations and changes in total emissions.

Language  
Finnish

Pages 52  
Appendices 6  
Pages of Appendices 9

Keywords  
carbon footprint, greenhouse gases, injection moulding

## Sisältö

1	Johdanto .....	6
2	Periaatteet hiilijalanjälkiselvitykseen .....	7
2.1	Elinkaarianalyysi ja hiilijalanjälki .....	7
2.2	Kasvihuonekaasuprotokolla ja vaikutusarviointimenetelmä .....	9
2.3	Tuote, palvelu vai organisaatiokokonaisuus? .....	11
2.4	Elinkaaren vaiheet .....	14
2.5	Hiilijalanjälkiselvityksen vaiheet .....	15
2.6	Ympäristönäkökohdat .....	17
2.7	Toimialan esittely .....	18
2.7.1	Ruiskuvalu .....	19
2.7.2	Muovilaadut .....	21
3	Opinnäytetyön lähtötiedot ja tarkoitus .....	23
3.1	Opinnäytetyön tarkoitus .....	24
3.2	Opinnäytetyön tavoite .....	26
3.3	Rajaus .....	27
3.4	Excel-pohjaiset laskentataulukot.....	30
3.5	SimaPron käsitteet ja prosessipolku .....	31
4	Hiilijalanjälkilaskun aineisto ja menetelmät .....	33
4.1	Inventaarioanalyysi ja lähtötiedot.....	33
4.2	Organisaation hiilijalanjälkilaskelma .....	36
4.3	Hiilijalanjäljen laskenta tuotteelle .....	37
4.4	Simapro Flow.....	39
5	Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	42
5.1	Organisaation hiilijalanjälkilaskennan tulokset.....	42
5.2	Tuotteen hiilijalanjälkilaskennan tulokset .....	46
5.2.1	Ruiskuvaluprosessi.....	46
5.2.2	Polymeerin prosessointi.....	48
5.2.3	Kokonaispäästöt .....	49
5.3	Lopuksi .....	52
6	Pohdinta.....	54
	Lähteet.....	58

### Liitteet

Liite 1	Yrityksen energiankulutustiedot.
Liite 2	Käytetyt päästökertoimet.
Liite 3	PKS:n myymän sähkön energijakauma (PKS 2021).
Liite 4	Ruiskuvaluprosessi suomalaisella sähköllä. Alkuperäinen ruiskuvaluprosessi.
Liite 5	Polymeerin prosessointi, käytetyt päästökertoimet, SimaPro.
Liite 6	Ruiskuvalun aiheuttamat päästöt vuodessa.

## Kuviot

- Kuvio 1 Esimerkki tuotejärjestelmästä elinkaariarviointia varten (ISO 14040:2006, 18).
- Kuvio 2 Elinkaaren vaiheet.
- Kuvio 3 Energian kulutus tyypillisessä ruiskuvaluprosessissa (Applied Market Information 2017).
- Kuvio 4 Ruiskuvaluprosessin virtauskaavio (W.M. Cheung ym. 2017. Journal of Cleaner Production).
- Kuvio 5 Tuotetun muovitonin ilmastovaikutukset.
- Kuvio 6 Flow-työkalun skenaarionäkymä.
- Kuvio 7 Flow-työkalun skenaariot vertailussa.
- Kuvio 8 Organisaation hiilijalanjäljen jakauma vaikutusluokittain.
- Kuvio 9 Vaikutusluokan 3 päästöt.
- Kuvio 10 SimaPro-mallinnus.
- Kuvio 11 Muovituotteen valmistamisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt.

## Taulukot

- Taulukko 1 GWP-kertoimia. (AR4: Lindroos, Ekholm & Savolainen 2012., AR5: Greenhouse Gas Protocol 2013.)
- Taulukko 2 Organisaation päästöt vuodessa.
- Taulukko 3 Ruiskuvalun sisäiset panokset.
- Taulukko 4 Ruiskuvalun sisäiset päästöt.
- Taulukko 5 Ruiskuvalun sisäiset tuotokset.
- Taulukko 6 Hiilijalanjälkilaskujen tulokset rinnakkain.
- Taulukko 7 Maantiekuljetukset käytetyillä päästökertoimilla.
- Taulukko 8 Maantiekuljetukset Lipaston päästökertoimilla.

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on Muovisola Oy:n kaikesta toiminnasta aiheutuvan hiilijalanjäljen laskeminen tilikauden aikana sekä muovin ruiskuvalusta aiheutuva hiilijalanjälki. Hiilijalanjälkilaskentaa voidaan käyttää toiminnan vastuullisuusmitarina ja markkinoinnin tukena, sillä yritys voi viestiä laskennan tuloksia sidosryhmilleen. Opinnäytetyössä yhdistyy kaksi standardia ja kaksi erilaista laskutapa, organisaatiolaskuihin soveltuvan Kasvihuonekaasuprotokollan (myöhemmin GHG-protokolla) mukainen yritysstandardi sekä tuotteen elinkaaren aikaisen ilmastopäästöjen laskemiseen tarkoitettu elinkaariarviointiosuus ISO 14000 -ympäristöstandardisarjasta. Opinnäytetyö on toteutettu osana Tulevaisuuden työ -hanketta

Opinnäytetyön toimeksiantaja Muovisola Oy on 1993 toimintansa aloittanut, Polvijärvellä sijaitseva muovituotteita valmistava yritys. Yrityksen palveluihin kuuluu koko muovituotteen valmistusketju suunnittelusta varastointiin. Ruiskuvaluovituotteet valmistetaan ISO 8 -standardin täyttävissä puhdastiloissa, mikä mahdollistaa korkeaa hygieniatasoa vaativien tuotteiden valmistamisen. Yrityksen painotus onkin puhtaan tilan tuotteissa, kuten lääkinnällisissä tuotteissa, mutta muita toimialoja ei suljeta pois. Yritys on jo ottanut askelia energiankulutuksen vähentämiseen konekantaan uusimalla.

Elinkaariajattelu ja hiilijalanjälkilaskenta auttavat yritystä tunnistamaan toiminnastaan aiheutuvat ilmastopäästöt, ja laskennan tarkoituksena on tunnistaa tuotannon suurimmat päästölähteet, optimoida tuotantoprosessi ja helpottaa aihealueen jatkuvaa parantamista yrityksen sisällä. Opinnäytetyön organisaation hiilijalanjälkiselvityksessä käytetään GHG-protokollaa, joka huomioi yrityksen suorat ja epäsuorat päästöt. Laskenta tapahtuu taulukkolaskentaohjelmaa hyödyntäen. Taulukkoon voidaan päivittää yrityksen päästöt ja päästökertoimet jatkuvuuden varmistamiseksi. Opinnäytetyössä on tutustuttu erilaisiin valmiisiin laskentataulukoihin, joiden avulla on päästy yritystä parhaiten palvelemaan ratkaisuun.

Ruiskuvaluprosessin hiilijalanjälkiselvitykseen käytetään SimaPro-laskentaohjelmaa, jolla voidaan mallintaa erilaisia kokoonpanoja ja prosesseja. SimaPro:n kirjastosta löytyy useita ajantasaisia tietokantoja, kuten tämän opinnäytetyön tekemisen aikana lanseerattu Ecolnvent 3.8. Elinkaarianalyysi antaa tietoa, kuinka hiilidioksidipäästöt (myöhemmin päästöt) jakautuvat elinkaaren eri vaiheille ja selventää sen suuripäästöisimmät osa-alueet. Valmis laskenta voidaan arvioida erilaisin vaikutusarviointimenetelmin, joista tässä työssä on käytetty IPCC2013 100a -metodia. Lopussa tulokset tulevat tarkasteluun ja voidaan huomata, millainen merkitys laskentamethodiikalla ja painotuksella on. Tuloksia voidaan vertailla keskenään ja niiden luotettavuutta arvioida. Tuloksien perusteella päätetään toimista jatkossa, esimerkiksi tarvitaanko päästövähennystavoitteita.

## **2 Periaatteet hiilijalanjälkiselvitykseen**

### **2.1 Elinkaarianalyysi ja hiilijalanjälki**

Ympäristövaikutuksia voidaan mitata elinkaarimallinnuksilla sekä hiili- ja vesijalanjäljillä (Kohvakka & Lehtinen 2019, 82). Elinkaarianalyysi (LCA) tarkastelee tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia sen koko elinkaaren ajalta. Elinkaariarviointiselvityksessä on neljä vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe, jossa määritellään laskennan raja- ja yksityiskohtaisuus selvityksen tavoitteista riippuen. Toisena inventaarioanalyysivaihe (LCI) eli tiedon keruuvaihe, jota seuraa vaikutusarviointivaihe (LCIA), jonka tarkoituksena on tuottaa lisätietoa tulosten arvioinnin avuksi. Viimeisenä on tulosten tulkintavaihe, jossa aiempien vaiheiden tulokset yhdistetään ja niitä käsitellään tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti. (ISO 14040:2006.)

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan toiminnan tai kokonaisuuden tuottamia kasvihuonekaasupäästöjä sen elinkaaren aikana. Hiilijalanjälkilaskennassa tuloksia tarkastellaan yleisesti hiilidioksidiekvivalentteina (CO<sub>2</sub>e), joka kertoo kuinka suurta hiilidioksidimäärää kyseinen päästö vastaa. Ilmastokuorma aiheutuu kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>) ja dityppioksidi (N<sub>2</sub>O),

päästöistä ilmakehään. Näillä päästöillä on GWP-kerroin (Global Warming Potential), joka kuvaa kaasun ilmasto lämmittävää vaikutusta suhteutettuna hiilidioksiidiin. Laskennan tavoitteena on selvittää toiminnan suoraan ja välillisesti aiheuttamat vaikutukset ilmakehään. (Sjøstedt 2018.)

Erona puhuttaessa elinkaarianalyysistä (Life Cycle Assessment) ja hiilijalanjälkilaskennasta (Carbon footprint) on tutkittavan aiheen vaikutusarvioiden painotus, joka on yksi osa-alue elinkaarianalyysistä. Elinkaarianalyysissä ilmastovaikutuksia arvioidaan laajemmassa mittakaavassa, sen tarkoitus on laskea tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikana aiheutuneet päästöt ympäristöön, maastoon ja vesistöön. Ilmasto lämmittävä vaikutus on vain yksi osa-alue siitä. (Kokko 2012, 13.) Hiilijalanjälkilaskenta keskittyy ilmastovaikutuksista kasvihuonekaasupäästöihin, jotka suhteutetaan hiilidioksidin lämmittäviin vaikutuksiin, kuten yllä mainittu.

Hiilijalanjälkilaskennan luotettavuus perustuu hyvien tieteellisten käytäntöjen noudattamiseen. Elinkaarianalyysi ja kasvihuonekaasuprotokolla perustuvat viiteen laskennan luotettavuutta arvioivaan ajatukseen ja peruseriaatteeseen, joita ovat olennaisuus, kattavuus, johdonmukaisuus, läpinäkyvyys ja tarkkuus. Olennaisuus ja täydellisyys varmistavat, että työssä huomioidaan kaikki päästölähteet rajauksen sisällä.

Järjestelmän rajaus on ilmoitettava selkeästi ja sitä, sekä laskennan eri vaiheita on arvioitava kriittisesti, ettei laskennan tuloksesta tule puolueellinen. Rajaukseen tulee sisällyttää päätöksenteon kannalta riittävän tarkasti kaikki organisaation toimintaan ja sen sidosryhmiin olennaisesti vaikuttavat suorat ja epäsuorat päästölähteet. Näin laskennasta tulee kattava. (Keskuskauppakamari 2021.)

Työn rajauksen ja menetelmien johdonmukainen käyttö varmistaa tulosten oikeanmukaisuuden ja vertailukelpoisuuden. Johdonmukaisesti koottu työ on luotettava ja vertailukelpoinen saman alan töihin myös tulevaisuudessa. Työn luotettavuutta lisää tarkka laskennan vaiheiden dokumentointi, josta selviää laskennassa käytetty metodiikka ja tietolähteet vuosilukuineen. Tällainen menettely



varmistaa työn läpinäkyvyyden, sekä auttaa työn edetessä ja lopussa havaitsemaan ja kohdentamaan virheet. (Keskuskauppakamari 2021.)

Tiedon saatavuuden rajoitteet on huomioitava lopputuloksessa. Hiilijalanjälkilaskennan tulee olla mahdollisimman tarkka ja rajauksen työhön sopiva, jotta epävarmuudet ja eturistiriidat voidaan minimoida. Näin tulokset muodostavat hyvän pohjan päätöksenteolle. Työn tulee olla avoin ja läpinäkyvä, ja tulokset tulee esittää ymmärrettävästi ja rajaukset perustellusti. (ICAEW Insights 2021.) Tarkoituksena on, että tätä tietoa voidaan käyttää osana laajempaa päätöksentekoprosessia esimerkiksi vastuullisen toiminnan varmistamiseksi, päästöjen vähentämistarpeiden havainnoimiseksi tai niiden luomiseksi.

## **2.2 Kasvihuonekaasuprotokolla ja vaikutusarviointimenetelmä**

GHG-protokolla (Greenhouse Gas Protocol) on ympäristövaikutusten laskemiseen kehitetty standardi, joka erittelee lyhytkiertoisien hiilen. Se on vakiintunut malli yksityisen ja julkisen sektorin toiminnoista aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen mittaamiseen ja hallitsemiseen. (Hämäläinen 2020, 12.) GHG-protokollassa päästöt jaotellaan kolmeen vaikutusluokkaan (Scope). Näistä kaksi ensimmäistä kuuluu niin kutsuttuun yritysstandardiin, ja ne on pakollista laskea päästölähteinä yrityksen hiilijalanjälkilaskelmassa.

*Vaikutusluokkaan 1* kuuluvat yrityksen toiminnasta aiheutuvat, niin kutsutut suorat päästöt, joihin yritys voi vaikuttaa kohtalaisen paljon. Vaikutusluokassa on kolme erilaista tyyppiä päästölähteitä: kiinteät päästölähteet, esimerkiksi yrityksen omat energianlähteet ja lämmöntuotanto, liikkuvat päästölähteet, tarkoittaen yrityksen ajoneuvoja ja työkoneita, sekä kolmantena kylmäaineet.

Vaikutusluokka sisältää Kioton pöytäkirjan mukaiset kasvihuonekaasut, kuten hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>), typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), fluorihilivedyt (HFC), perfluorihilivedyt (PFC), rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>) ja typpitrifluoridi (NF<sub>3</sub>). Se sisältää myös ne kasvihuonekaasut, joita ei ole lueteltuna Kioton pöytäkirjassa, mutta joita yritys tuottaa.

*Vaikutusluokkaan 2* kuuluvat toiminnan epäsuorat päästöt esimerkiksi ostoenergian tuotannosta. Se sisältää hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>) ja dityppioksidin (N<sub>2</sub>O). Energiaa yritys voi ostaa mm. sähkön, lämmön ja jäähdytyksen muodossa ja se määritellään ostoenergiaksi sen mukaan, missä energiaa fyysisesti tuotetaan. Ostoenergian päästöt voivat kattaa suurimman osan yrityksen päästöistä ja olla täten mahdollisuus vähentää päästöjä. Yrityksen sisällä voidaan tulosten avulla arvioida riskejä ja mahdollisuuksia energiamuotojen ja kustannusten välillä. (WRI & World Business Council for Sustainable Development 2004. 25, 27.)

*Vaikutusluokkaan 3* kuuluvat myytyjen tuotteiden loppukäytöstä ja tavaroiden ja palveluiden hankinnasta syntyneet päästöt eli kaikki epäsuorat päästöt. Vaikutusluokan päästöt ovat seurausta yrityksen toiminnasta, mutta ovat peräisin lähteistä, jotka eivät ole yrityksen omistuksessa. (WRI ym. 2004. 25.) Näitä ovat mm. jätehuolto, vesihuolto, logistiikka, materiaalien hankinnan päästöt. (Keskuskaupakamari 2021, 12.) Vaikutusluokka 3 kuuluu organisaatiolaskennassa vapaaehtoisesti ilmoitettaviin päästöihin, vaikka vaikutusluokka voikin olla hyvin merkittävä kokonaispäästöjen kannalta.

IPCC 2013 GWP on kansainvälisen ilmastopaneelin luoma arviointimenetelmä. Se ilmaisee kokonaispäästöjen vaikutuksia ilmastoon GWP-kertoimen (lämmityspotentiaali) avulla. GWP ilmaisee kasvihuonekaasun haitallisuuden mittaamalla, kuinka paljon lämpöenergiaa kasvihuonekaasu vangitsee ilmakehään suhteessa hiilidioksidiin. Kasvihuonekaasun molekyyli rakenne mahdollistaa lämpösäteilyn imeytymisen itseensä ja muuttamaan vastaanottamansa energian uudelleen säteilyksi. (Ilmasto-opas 2012.)

Mitä suurempi GWP-arvo on, sitä suurempi ilmastoa lämmittävä vaikutus kaasulla on. IPCC-menetelmässä voidaan käyttää kolmea ajanjaksoa, 20, 100 tai 500 vuotta. Ajanjakso vaikuttaa hiilidioksidiekvivalentin arvoon, ja lyhyen ajanjakson laskennassa korostuvat lyhytikäiset kasvihuonekaasut, kuten maatalouden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ja metaani.

Taulukossa 1 on esitetty GWP-kertoimet IPCC-menetelmän mukaisesti 100 ja 20 vuoden tarkasteluajanjaksoille vuosien 2007 ja 2014 Ilmastopaneelin tuottaman arviointikertomuksen (Assessment Report, AR) mukaisesti. Taulukossa metaanin ja dityppioksidin vaikutuksia on vertailtu hiilidioksidiin, joka näkyy vertailussa arvona 1. Esimerkiksi yksi ei-fossiilista lähteistä tuleva metaanimolekyylä vastaa vuoden 2014 arviointikertomuksen mukaan 28:a hiilidioksidimolekyylä.

	100 vuotta		20 vuotta	
	AR4 2007	AR5 2014	AR4 2007	AR5 2014
Kasvihuonekaasu				
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
Metaani CH <sub>4</sub> (ei fossiilinen)	25	28	72	84
Dityppioksidi N <sub>2</sub> O	298	265	289	264

Taulukko 1. GWP-kertoimia. (AR4: Lindroos, Ekholm & Savolainen 2012., AR5: Greenhouse Gas Protocol. 2013.)

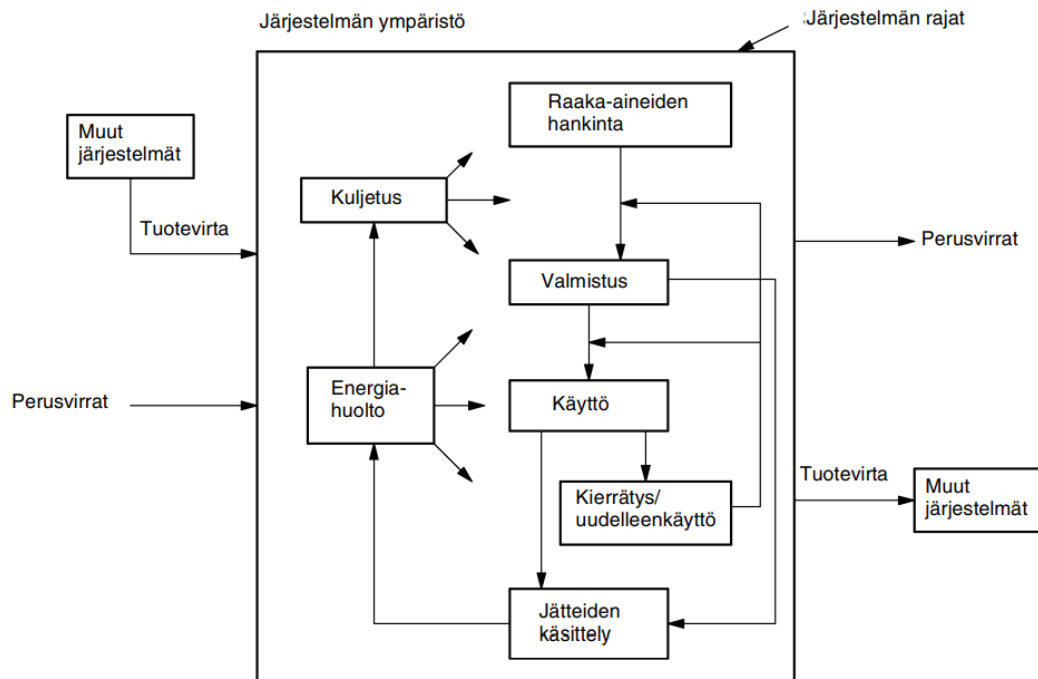
### 2.3 Tuote, palvelu vai organisaatiokokonaisuus?

Hiilijalanjätkilaskennan tarkoitus on tarkastella yrityksen, yhteisön, tuotteen tai toiminnan aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä ilmakehään. Opinnäytetyön laskennan tulos kertoo organisaation ja tuotteen hiilijalanjäljen. Muoviruiskuvalun lopputuote on kuitenkin verrattain yksinkertainen. Muovituotteet voivat olla pieniä ja kevyitä ja sisältävät usein vain yhtä muovilaatua ruiskuvaluvaiheessa. Lopullisen tuotteen kokoonpanovaiheessa ruiskuvallettuun muoviin voidaan asentaa käyttötarkoituksesta riippuen esimerkiksi elektroniikkaa.

Tuotteen hiilijalanjälkeä tai elinkaarta mallintaessa analysoidaan ja käsitellään tietoja tuotantoketjun yksittäisistä vaiheista raaka-aineiden louhinnasta ja hankinnasta tuotteen valmistamiseen, pakkaamiseen ja toimitukseen. Tuotteen elinkaarimallinnukseen voidaan käyttää julkaistuja tietokantoja, jotka voivat

perustua laajaan otantaan vastaamaan alueen keskimääräistä prosessia. Näitä tietokantoja avataan lisää kappaleessa 3.5 SimaPron käsitteet ja prosessipolku. Mahdollisimman tarkan tuloksen saavuttamiseksi on kuitenkin kerättävä tuotekohtaista tietoa esimerkiksi energian- ja materiaalin kulutuksesta.

Kuviossa 1 on esimerkki tuotejärjestelmän kehiksestä. Standardin ISO14040 mukaan järjestelmään saapuvat perusvirrat ovat inventaarioanalyysin tuloksia, ja ne sisältävät järjestelmän liittyvien luonnonvarojen käyttöä sekä tähän liittyviä päästöjä ilmaan, veteen ja maaperään. Järjestelmästä lähtevät perusvirrat kuvaavat prosessin aikana syntyviä päästöjä. Järjestelmän sisälle kuuluvat varsinainen materiaalinkäyttö sekä osakokoonpanot. Tuotejärjestelmiä toisiinsa yhdistävät tuotevirrat ja ympäristöön perusvirrat. Jos järjestelmään tulee tuotevirta, on se joko kierrätysmateriaalia tai uudelleen käytettäviä komponentteja. (Kokko 2012, 16–17.)



Kuvio 1. Esimerkki tuotejärjestelmästä elinkaariarviointia varten (ISO 14040:2006, 18).

Tuotteen tai palvelun hiilijalanjälkeä laskettaessa voidaan käyttää elinkaarimallinnusta, joka ei usein ole pätevin keino yrityksen toimintaa tarkasteltaessa. Palvelusta puhuttaessa lasketaan esimerkiksi tapahtuman elinkaaren aikaiset

päästöt. Tapahtumalla on selkeä alku ja loppu, ja sen aikaiset valinnat ovat usein hyvin pitkälti tapahtuman järjestäjien päätettävissä. Hankitun materiaalin päästöt ennen palvelukohtaiseen elinkaareen saapumista voivat olla haastavampaa selvittää, ellei tuottaja ole selvityksiä itse tehnyt. Vastuullinen palvelun järjestäjä voi kuitenkin tiettyjen rajojen puitteissa vaikuttaa, mistä lähteistä materiaalinsa hankkii. Rajoitteita voi kehittyä mm. tavaran saatavuudessa, hinnassa tai aikataulussa.

Yrityksen hiilijalanjälki sisältää kaikki yrityksen päätöksistä johtuvat päästöt. Tämä tarkoittaa suorien päästöjen lisäksi myös epäsuorien sisällyttämistä laskentaan. Teollisuusyritykselle se tarkoittaa rajauksesta riippuen arvoketjuun liittyviä päästöjä. Näitä päästöjä voi syntyä toimitusketjusta, energian kulutuksesta, logistiikasta, toimitilojen käytöstä, materiaalien kulutuksesta, ihmisten toiminnasta ja lopulta tuotteiden hävittämisestä ja jätteistä. Organisaation hiilijalanjäljen laskentaan on kehitetty muutamia standardeja, kuten GHG-protokollan luoma yritysstandardi (Corporate Standard), joka tarjoaa vaatimuksia ja ohjeita yrityksille ja organisaatioille, yritystason kasvihuonekaasupäästöjen laskemiseen. (WRI ym. 2004.)

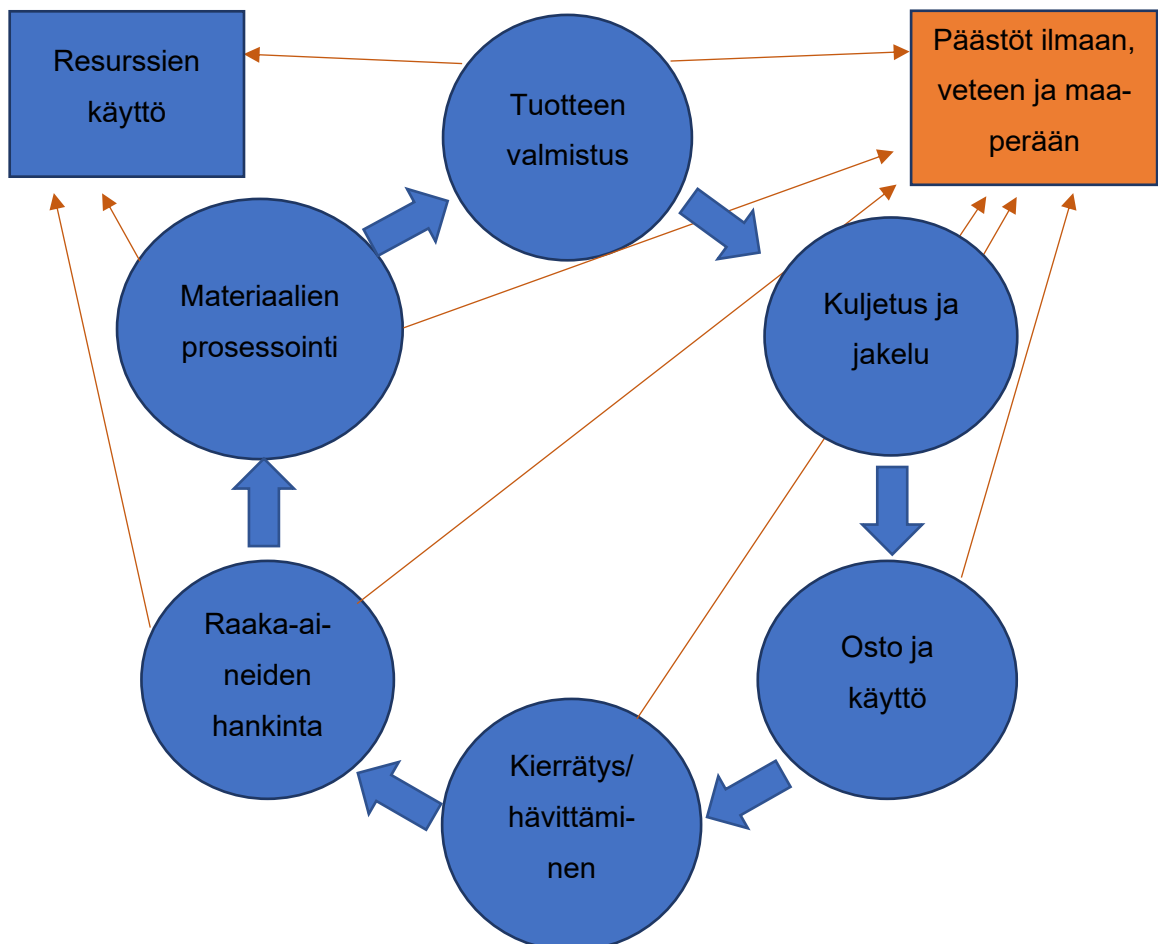
Organisational Life Cycle Assessment (OLCA tai O-LCA) perustuu ISO standardeihin ja on määritelty ISO/TS 14072 -standardissa. Se soveltuu isojen organisaatioiden hiilijalanjäljen laskemiseen. OLCA tunnistaa GHG-protokollasta tutun vaikutusluokka 3. päästöt ja on tehokas työkalu yrityksen kaikkien päästöjen mittaamiseen. Elinkaarianalyysissä tarkastellaan syötteitä (upstream), kuten ostettuja tavaroita ja palveluja, ja tuotoksia (downstream). Isot kansainväliset yritykset voivat tuottaa hyvin erityyppisiä tuotteita eri puolilla maailmaa. Näille yrityksille yksittäisen tuotteen elinkaarianalyysi kertoo vain hyvin pienestä osasta yrityksen toimintaa. (Tambjerg 2019.)

Elinkaariarviointimetodiikkaa on myös mahdollista soveltaa selvityksiin, jotka eivät ole elinkaariarviointeja, vaan esimerkiksi selvityksiä raaka-ainelähteestä tehtaan portille, portilta–portille tai elinkaaren osia, kuten jätteiden käsittelyä ja tuotteen komponentteja. Näissä tapauksissa voidaan soveltaa joitain ISO 14040 ja

ISO 14044 standardien vaatimuksia, kuten lähtötiedon laatu, sen kerääminen ja laskenta sekä allokointi ja kriittinen arviointi. (ISO 14040:2006, 27.)

## 2.4 Elinkaaren vaiheet

Kuviossa 2 esitetään elinkaaren vaiheet ja vaikutukset. Kun tuotetta lähdetään valmistamaan, on ensin hankittava tarvittavat raaka-aineet. Materiaalin prosessointivaiheessa tarvitaan työkaluja tai koneistoa, millä raaka-ainetta prosessoidaan valmiin tuotteen saavuttamiseksi. Sekä raaka-aine, että valmis tuote vaatii usein varastointia. Valmis tuote kuljetetaan käyttöpaikalleen ja käytön jälkeen se hävitetään tai kierrätetään uudeksi raaka-aineeksi. Jokainen vaihe voi aiheuttaa päästöjä ilmaan, veteen ja maaperään, sekä haitallisia ympäristövaikutuksia, kuten happamoitumista, rehevöitymistä, myrkyjä ihmisille ja luonnolle, ilmastonmuutosta ja materiaalien ehtymistä.



Kuvio 2. Elinkaaren vaiheet.

Yllä on kuvattu täydellinen ja suljettu elinkaaren kierto. Kun materiaali saadaan kierrätyksen kautta uusiokäyttöön, sen elinkaari pitenee ja elinkaaren aikaiset päästöt voivat vähentyä. Nykyinen tuotantotalous perustuu lineaariseen malliin ”osta–kuluta–hävitä”, mikä ei ole tulevaisuuden kannalta kestävä. Elinkaaren aikaiset päästöt kuormittavat maapalloa. Kun raaka-aine-, jäte- ja energiakustannukset pienenevät tai materiaali saadaan paremmin kiertoon, saavutetaan suoraan taloudellisia etuja, mutta myös sosiaalisia ja ympäristöllisiä etuja. (Euroopan komissio 2012.)

## 2.5 Hiilijalanjälkiselvityksen vaiheet

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely on elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe. Elinkaariarvioinnin alun tavoitteissa ilmaistaan, mihin tarkoitukseen, miksi ja kenelle se tehdään. Soveltamisalan määrittelyssä päätetään selvityksen laajuus ja mihin tietoa käytetään. Täytyy myös miettiä, tullaanko tuloksia käyttämään julkisesti esitettävissä vertailuväitteissä. (ISO 14040:2006, 30.) Monessa laskennan vaiheessa voidaan vaikuttaa sen vertailukelpoisuuteen ja tulokseen, ja siten alusta asti määrätietoinen aineiston dokumentointi ja laskentamethodikan valinta on tärkeää.

Yrityksen laskennan rajaus päätetään koko toiminnan tai osa-alueiden osalta. Yrityksen kulutustietoja, jotka voivat olla mitä tahansa karkeasta arviosta tarkoihin mittaustuloksiin, käytetään kartoittamaan liiketoiminnasta syntyneet päästölähteet. Esimerkiksi kokonaisuuden kannalta pienet syötteet ja tuotokset voidaan päättää rajata laskennan ulkopuolelle. Yrityksen koko ja tavoitteet hiilijalanjälkilaskennan suhteen voivat vaikuttaa tietojen tarkkuuteen. Toimialasta ja mahdollisuuksista riippuen inventaario voi olla hyvinkin tarkkaa jokaisen kulu- luerän kohdalla.

Suurissa ja keskisuurissa yrityksissä voi olla haastavaa pitää kirjaa jokaisesta kuluerästä yrityksen kaikkien osa-alueiden suhteen.

Inventaarioanalyysi (LCI) -vaiheessa kerätään kaikki tarvittava tieto. Sen perustana on toiminnallinen yksikkö, joka on vertailuyksikkö tulosten laskemista

varten. Näistä tiedoista selviää tuotteen elinkaari tai organisaation hiilijalanjälkilaskennassa käytetyn perusvuoden kulutus. Tuotteita tarkastellaan tuotejärjestelminä (kuvio 1), joissa on useita määriteltyjä toimintoja. Tarkasteltavana oleva kohde jaetaan osasysteemeihin, jolloin tiedon keräämisestä ja hallinnasta tulee helpompaa. (Suomen ympäristökeskus 2017.) Inventoinnin tuloksia käytetään vaikutusarvioinnissa (LCIA), jossa kulutustiedoille kartoitetaan päästökertoimet.

Tarkoituksena on tuottaa lisätietoa inventaarion tulosten avuksi, jotta merkitys ympäristön kannalta ymmärretään paremmin. Vaikutusarvioinnissa tarkastellaan yksikköprosessien ja päästöjen vaikutusta, ja se voidaan jakaa kolmeen osaan. Inventaarioanalyysin aikana kerätyt tiedot luokitellaan syötteiden laadun mukaan. Yksikköprosessit, syötteet ja tuotokset kerätään GHG-protokollan mukaisen luokituksen perusteella raaka-aine-, energia- ja apusyötteet erikseen. Elinkaarilaskentamallin luokituksia voisi olla edellä mainittujen lisäksi muut fyysiset syötteet ja tuotteet sekä esimerkiksi kemiallisen prosessin aiheuttamat päästöt. (Suomen ympäristökeskus 2017.)

Näille panoksille lasketaan vaikutusluokittain niiden päästöjen aiheuttamat vaikutukset ilmastoon, maaperään, biodiversiteettiin tai terveyteen, niin ihmisten kuin ympäristön. Saadut tulokset yhdistetään vaikutusluokan sisällä, ja konvertoidaan yhteismitalliseen yksikköön hiilidioksidiekvivalentiksi, joka kuvaa vaikutusluokan indikaattoritulosta. Kvantifioinnilla määritellään vaikutuksen suuruus ja arvottamalla vaikutukset niille annetaan eri painoarvot. (Suomen ympäristökeskus 2017.)

ISO 14040 mukaan elinkaarianalyysin viimeisessä vaiheessa sen tavoitteet tulevat tarkasteluun. Tämä vaihe voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen. Ensimmäisenä inventoinnin ja vaikutusarvioinnin tulokset yhdistetään elinkaarianalyysin tavoitteiden mukaisesti. Seuraavaksi tuloksia arvioidaan niiden täydellisyyden, johdonmukaisuuden ja herkkyyden osalta. Työn täydellisyyttä tukee riittävän tarkasti dokumentoitu informaatio ja lähtötiedot.

Johdonmukaisuutta voidaan arvioida siten, kuinka yhdenmukaisia olettamukset, menetelmät ja lähtötiedot ovat tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa (Kokko



2012, 21). Herkkyyttä mitataan herkkyyksanalyysin, jonka tarkoitus on tulosten epävarmuuden arvioiminen. Lopussa yhdistetään vaikutusarvioinnin tulokset, tehdään johtopäätökset, mietitään mitä tuloksille tehdään ja annetaan toimenpidesuosituksia. (ISO:2006 14040, 38.)

Elinkaarianalyysin tiedossa oleviin ongelmiin kuuluu käytäntöjen ja rajoitusten vaihtelu, joka hankaloittaa vertailua. Laskennassa vaadittava tietomäärä on suuri, jolloin ongelmaksi muodostuu tiedonhallinta prosessin edetessä. Laskennan muuttujat ovat subjektiivisia, jolloin rajaamisella voidaan vaikuttaa laskennan suuntaan. Laskennan tavoitteena on vaikutusarvioinnin lisäksi miettiä jatko-toimia, eikä laskennalla voi ottaa kantaa myöhempisiin vaikutuksiin, jos jälkiseuranta on puutteellista. Hiilijalanjälkilaskenta jättää aina tulkinnanvaraa laskennan epävarmuustekijöiden vuoksi.

Nämä epävarmuustekijät voivat liittyä lähdedataan, tietokantoihin ja laskentamenetelmiin. Laskennan päästölähteet tulisi ensisijaisesti hankkia esimerkiksi energian tai lämmön toimittajalta. Käytössä olevat päästötiedot voivat perustua sekundääridataan, joka tarkoittaa valmiista tietokannoista tai muista tutkielmista kerättyjä tietoja. Nämä tietokannat eivät ole laskennan tuloksen kannalta tärkeitä mahdollisia. (Kuronen 2020, 23–24.)

## **2.6 Ympäristönäkökohdat**

Elinkaarianalyysin keskeisenä piirteenä on ympäristöpainotus ja siinä käsitelläänkin tuotejärjestelmän ympäristönäkökohtia ja -vaikutuksia (ISO 14040:2006, 22). Yritysten toiminnasta syntyy aina päästöjä ja on toiminnan kestävyys kannalta tärkeää tietää, mitkä toiminnan osa-alueet tuottavat eniten kasvihuonekaasupäästöjä. Yrityksen ympäristönäkökohtiin liittyy myös toimitilojen energian käyttö ja inhimilliset tekijät, joita voidaan seurata tilikauden aikana jatkuvasti. Elinkaarianalyysi selvittää millainen tuotteen elinkaari on. Sillä saadaan vastauksia raaka-aineen alkuperään, tuotteen valmistamisen, jakeluun ja loppusijoitukseen liittyen.

Ympäristöministeriön (2021) mukaan muovin ympäristövaikutukset sen elinkaarenaikana ovat laajat. Muovintuotanto ja muovijätteen poltto aiheuttavat vuosittain noin 400 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä. Muovin käyttövaiheessa sillä on suhteellisen vähän suoraa ympäristövaikutuksia ja sen käyttö on perusteltua hyvien ominaisuuksien vuoksi, mutta käytön päätyttyä muovijäte on ongelmallista sen kierrätys- ja hävittämisvaiheessa. Muoviroska ja mikromuovit ovat ongelmallisia luonnossa. Tuotteen elinkaari, kiertotalous ja tuoteturvallisuus tulisi ottaa lähtökohdaksi kaikkiin materiaalivalintoihin.

Henri Vänskä kirjoittaa blogissaan Lyreco-yhtiön sivuilla, miksi muovin käyttö on perusteltua. Muovilla on hyvät tekniset ominaisuudet: ne ovat kevyitä, jolloin kuljetuskustannukset pysyvät maltillisena, pakkausmateriaalina ne ovat suojaavia ja kestäviä. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa muovi on turvallisuustekijä, joka antaa elintarvikkeille pidemmän käyttöiän ja suojaa niitä kolhuilta, ulkopuolisilta taudinaiheuttajilta ja saasteilta.

Muovit ovat myös helposti muotoiltavissa ja värjättävissä ja niiden hiilijalanjälki pysyykin matalana alhaisen työstölämpötilan ansiosta. Kertakäyttömuovin asemaa monilla aloilla ei ole syytä kyseenalaistaa, sillä esimerkiksi terveydenhuolto hyötyy jo aiemmin luetelluista teknisistä ominaisuuksista, joiden lisäksi muovi on hygieeninen ja paloturvallinen materiaali.

Suurin osa muoveista on kierrätettävissä, ja kierrätysmuovin uudelleenjalostus voikin aiheuttaa jopa 90 % vähemmän päästöjä neitseelliseen raaka-aineeseen verrattuna. Muovit tulee kuitenkin kierrättää oikein ja ongelmaksi voikin muodostua jätehuollon ja kierrätysmahdollisuuksien puute. Suomessa muovia kierrätetään alle kolmannes markkinoille tuoduista muovipakkauksista. Kuluttajan vastuulla on huolehtia, ettei muovia päädy luontoon. (Muoviteollisuus ry 28.1.2022.)

## **2.7 Toimialan esittely**

Muovisola Oy:lla on toimintaansa tukemassa laatustandardit ISO 13485, jossa määritellään lääkinnällisten laitteiden laadunhallinta, ISO 9001, jossa

määritellään organisaation laadunhallintajärjestelmät, sekä ISO 14001, jossa määritellään organisaation ympäristöjärjestelmän vaatimukset. Näitä järjestelmiä ylläpidetään ja valvotaan standardinmukaisten sertifiointiauditointien avulla. Yrityksellä on noin 30 työntekijää, joista tuotannossa 20, ja tuotanto pyörii kellon ympäri kolmessa vuorossa. Organisaation välillinen vienti on noin 95 % ulkomaille. Suoran viennin osuus on 3–4 % koko toiminnasta.

Toiminta painottuu ruiskuvalutuotteiden sopimusvalmistukseen. Tuotantotiloissa eri raaka-aineille on omat linjat, samalla koneella voidaan kuitenkin ajaa useita eri muovilaatujia. Tuotannossa on 24 ruiskuvalukonetta, joille suoritetaan kerran vuodessa määräaikaistarkastus. Uudet koneet ovat täyssähkökoneita. Vanhemmanmalliset hydraulikkakoneet eivät ole energiatehokkaita, eivätkä riittävän tarkkoja, siksi koneiston uudistaminen on perusteltua. Ruiskuvalukoneita ja robotteja investoidaan vuosittain.

### **2.7.1 Ruiskuvalu**

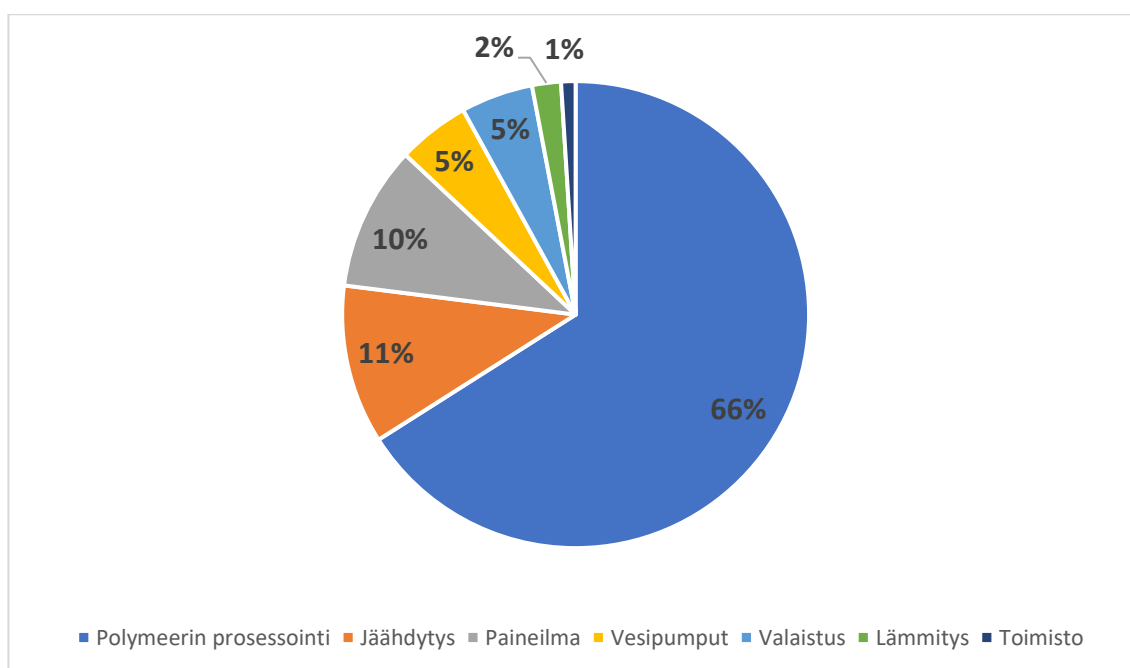
Ruiskuvalu on muovin massatuotantotyöstötekniikka, jossa muovi sulatetaan lämmön ja kitkan avulla ja ruiskutetaan suljettuun muottiin. Raaka-aine on muovigranulaattia tai -jauhetta. Ruiskuvalukone koostuu sulkuyksiköstä, ruiskutusyksiköstä, hydraulikkayksiköstä, ohjausyksiköstä ja rungosta. Muotti asetetaan sulkuyksikköön, joka pitää muotin kiinni ruiskutus- ja jälkipainevaiheissa, sekä säätelee muotin liikkeitä sulku- ja avausvaiheissa.

Työstön annosteluvaiheessa ruuvi sulattaa massan ja siirtää sitä sylinterin kärkeen, toimien mäntänä, joka puristaa sulan massan muottiin. Kappale jäähtyy muotissa ja irtoaa työstön lopussa. Nykyisissä ruiskuvalukoneissa ohjausyksikön tietokoneen avulla säädetään ja valvotaan ruiskuvaluprosessia (Muoviyhdistys 2016.)

Ruiskuvalumuotti on tiettyä kappaletta varten muotoiltu aihio, joka toimii sulan raaka-aineen virtauskanavana ja pesänä, jossa muovisula jähmettyy haluttuun muotoon. Ruiskuvalukone aiheuttaa suurta painetta ja rasitusta, joita muotin

täytyy kestää. Muotin pitää olla helposti ohjattavissa muottipöydän liikkeillä eli helposti avattavissa ja suljettavissa. Sulkeutuessaan muottipuolikkaiden tulee ohjautua tarkasti kohti toisiaan. (Koistinen 2014.)

Alla olevassa kuviossa 3 on esitetty ExxonMobilille tehdyn tutkimuksen tulokset energian jakautumisesta tyypillisessä ruiskuvaluprosessissa. Tämä malli on luotu kuitenkin ajatuksena tehtaan energiansäästömahdollisuudet ja se osoittaaakin, että noin 30 % ruiskuvaluprosessin kuluttamasta energiasta ei ole suoraan yhteydessä itse prosessiin, vaan kuuluu epäsuoriin vaikutuksiin, joihin voidaan energiansäästösuunnitelmassa kiinnittää huomiota.



Kuvio 3. Energian kulutus tyypillisessä ruiskuvaluprosessissa (Applied Market Information).

Thiriez (2006) käsittelee ruiskuvaluprosessin ympäristövaikutuksia. Thiriezin mukaan ruiskuvalukoneet jaotellaan käyttövoimansa mukaan. Vanhin malli, hydraulikkakäyttöinen ruiskuvalukone, käyttää yhtä tai useampaa hydraulipumppua työstövaiheisiin. Hydraulikkakoneen haittapuoli on se, että pumput jatkavat käymistään, vaikka itse kone on tyhjäkäynnillä. Se kuluttaa energiaa, joka ei kohdistu tuotantoon.

Sähköpumppu siirtää tehoa hydraulikkapiiriin, joka työstää komponentteja. Täyssähköinen ruiskuvalukone on energiatehokkaampi, sillä kone käyttää servomootoreita koneen eri osissa, joka poistaa yhden energiatehottoman vaiheen. Suuria puristusvoimia vaativat työstöt voivat hyötyä näiden yhdistelmästä, sillä hybridimallissa hydraulipumpulla voidaan hoitaa puristusvaihe ja servomootorilla esimerkiksi liikuttaa työstöruuvia.

Ruiskuvalukoneiden energiankulutus riippuukin useasta tekijästä, kuten osien halutusta muodosta ja koosta, valitusta polymeeristä sekä koneen suorituskyvystä ja fyysisestä koosta. Näistä tekijöistä saa lukemattomia yhdistelmiä. Saa-dakseen energiankulutusarvoja keskimääräiseen ruiskuvaluprosessiin täytyy hankkia energiamittauksia useista lähteistä, kuten tuote-esitteistä tai koneiden valmistajan tekemistä energiankulutustutkimuksista ja kirjallisuudesta.

### **2.7.2 Muovilaadut**

Muovisola Oy:lla eniten käytetyt muovilaadut ovat synteettiset polymeerit polyeteeni ja polypropeeni. Ne ovat niin kutsuttuja kestopuoveja, joita voidaan muovata lämmön ja paineen avulla. (Saarela ym. 2019.) Oswald ym. (2002, 34) mukaan termoplastiset muovit saavat lämmön vaikutuksesta nestemäisen olomuodon ja kovettuvat jäähtyessään. Ruiskuvalu vaatii riittävän kuivaa raaka-ainetta, ja muovigranulaatti tuleekin suojata valolta ja kosteudelta. Varastoinnin aikana syntynyt kosteus vaikuttaa lopullisen tuotteen pinnanlaatuun sekä heikentää materiaalin teknisiä ominaisuuksia. (Kurri ym. 2008, 33, 88.)

Kohvakka ja Lehtinen (2018) kirjoittavat kuinka muovit tuotetaan useimmiten öljystä ja maakaasusta. Sitä saadaan öljynjalostusprosessin sivutuotteena, jolloin muovin ympäristökuormitus on varsin pieni. Koko maailman muovin tarve kate-taan vain 4 %:lla koko öljyntuotannon kapasiteetista. Muovin valmistusprosessin alussa hiilivedyt jalostetaan mm. etaaniksi ja propaaniksi. Hiilivetymolekyylit eli monomeerit ketjutetaan kemiallisissa prosesseissa, jolloin niistä muodostuu polymeereja.

Öljynjalostuksen yksi vaihe on krakkaus, jossa tyydyttyneet hiilivetykaasut pilkotaan vähintään 900 °C:n höyryn avulla kevyemmiksi ja hyödyllisemmiksi yhdisteiksi, kuten eteeniksi ja propeeniksi. Muoviin voidaan laittaa lisäaineita, kuten UV-suoja-aineita, täyteaineita, pehmittimiä, ja sitä voidaan värjätä orgaanisilla väriaineilla sekä epäorgaanisilla tai orgaanisilla pigmenteillä. (Kohvakka & Lehtinen 2018.)

Telkon (2020) mukaan tuotantoketjusta granulaatin valmistus vastaa noin 60 % päästöistä, konvertoinnin eli jatkojalostuksen osuus on 30 % ja käytöstä poisto noin 10 %. Muovin elinkaaren päätyttyä maantäytteeksi päätyy 58 % muovista, kierrätykseen 18 % ja polttoon 24 %.

Polyeteeni (PE)  $(C_2H_4)_n$  on termoplastinen kestopuovi, jota valmistetaan eteenikaasusta. Sitä on helppo työstää, ja sillä on hyvä kemiallinen kestävyys. Polyeteenit jaetaan kolmeen ryhmään valmistusmenetelmien ja ominaisuuksien mukaan. Nämä ryhmät ovat LDPE (matalatiheyspolyeteeni), HDPE (korkeatiheyspolyeteeni) ja LLDPE (lineaarinen matalatiheyspolyeteeni). Polyeteenin ominaisuudet riippuvat molekyyli­rakenteesta, kuten kiteytymisestä, haarautumisesta ja polymerisaatiosta. LDPE on käytetyin muovi maailmassa (Muoviyhdistys 2016). HDPE on käytetyin polyeteeneistä Muovisola Oy:llä, ja sen laskennallinen hiilijalan­jälki keh­dosta portille on noin 1,8 kg CO<sub>2</sub>e (Bhusal 2021, 60, 64).

Polypropeeni on öljynjalostuksen sivutuotteena ja eteenin valmistuksen rinnak­kaistuotteena syntyvä termoplastinen muovi. Se on LDPE:n jälkeen käytetyin muovi (Muoviyhdistys 2016). Kuuselan (2020, 37) mukaan Euroopassa jaloste­ tun, keskimäärin nykyisillä fossiilisilla lähteillä tuotetun polypropeenin hiilijalan­ jälki on 1,63 kg CO<sub>2</sub>e. Nämä arvot ovat samoja kuin Industry Data 2.0 tietokan­ nassa, jota tässä työssä on käytetty lähteenä.

### 3 Opinnäytetyön lähtötiedot ja tarkoitus

Opinnäytetyössä hyödynnetään kahta erilaista standardia, kahden erityyppisen laskentatavan toteuttamiseksi. Organisaatiolaskussa käytetään GHG-protokollan mukaista standardia ja tuotteen hiilijalanjälkeä mallinnettaessa käytetään apuna ISO 14040 -elinkaarianalyysin standardia, sekä ISO 14067 -kasvihuonekaasustandardia. Standardit ohjaavat selvityksen kulkua, ja varmistavat laskennan luotettavuutta. Laskennan pohjalla on elinkaarinäkökulma, joka ohjaa tiedon keräystä. Elinkaariarviointiin ei ole olemassa yhtä tiettyä tapaa ja arviointi toteutetaan organisaation vaatimusten mukaisesti (ISO 14040:2006, 26).

Prosessin aikana tutustutaan valmiisiin Excel-pohjaisiin hiilijalanjälkilaskureihin, joiden tarkoitus on tukea laskentaa ja osoittaa sen oikeellisuus. Suomalaisista laskureista voidaan selvittää mahdollisia päästökertoimia ja tutustua laskentamenetelmiin esimerkiksi kuljetusten suhteen. Organisaation hiilijalanjälkilaskennassa käytetään apuna suomalaista Y-Hiilaria ja polymeerin prosessoinnista aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin käytetään SimaPro-laskentaohjelmaa.

Internetissä on olemassa valmiita Excel-pohjaisia laskentataulukoita, joilla organisaation päästöjä voidaan laskea. Esimerkiksi GHG-protokollan sivuilla on laskentataulukko, johon voi lisätä omia päästökertoimia ja laskea kasvihuonekaasupäästöjä. Taulukkopohjaa voi päivittää omaan tarkoitukseen sopivaksi ja käyttää päästötietoja omista lähteistä, kuten energiayhtiöltä. Esimerkiksi osuenergiassa on huomattavia eroja energiamuotojen välillä, ja siksi päästökerroimien kanssa tulee olla tarkkana.

SimaProssa on laajat tietokannat eli kirjastot, jotka kattavat erilaisia materiaaleja, prosesseja ja työvaiheita. Kirjastot ovat standardoituja resursseja, joita ei ole tarkoitettu muokattavaksi. Sveitsiläinen EcoInvent on yksi suurimmista käytetyistä tietokannoista (Ecoinvent 2021). Tällaiset nykyaikaiset laskentaohjelmistot nopeuttavat ja helpottavat elinkaariarviointien mallintamista ja laskemista tietokantojen ja datan hallinnan ansiosta.

SimaPro on ammattimainen työkalu yrityksen tuotteiden ja palveluiden elinkaari-tietojen keräämiseen, analysointiin ja seurantaan. Ohjelmistoa voidaan esimerkiksi käyttää kestäväen kehityksen raportointiin, hiili- ja vesijalanjäljen mittaamiseen, tuotesuunnitteluun, ympäristötuoteselosteiden laatimiseen ja keskeisten suoritusindikaattoreiden määrittämiseen. SimaPron laskentametodin valinta vaikuttaa vaikutusluokkiin ja lopputulokseen. Kun ympäristövaikutuksena on hiilidioksidipäästöt, sopiva vaikutusluokka on ilmaston lämpeneminen. (SimaPro 2021.)

### **3.1 Opinnäytetyön tarkoitus**

Organisaation hiilijalanjälki antaa arvokasta tietoa yritykselle, ja sen tarkoitus on toimia yritystoiminnan tukena tuotantoprosessissa ja päätöksenteossa. Hiilijalanjälkiselvitystä voidaan pitää vastuullisuusmittarina, joka osoittaa, että yrityksen sisällä on tietoa aiheutuneista päästöistä. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää mitä organisaation ja ruiskuvalutekniikan hiilijalanjälki pitää sisällään elinkaarianalyysin näkökulmasta ja tuottaa materiaalia hiilijalanjäljestä yrityksen käytettäväksi.

Tutkimus tunnistaa päästölähteet rajauksen sisällä ja esittää päästölähteille päästökertoimet, joiden avulla saavutetaan laskennan tulokset. Nämä tiedot yhdistetään yritykselle luodussa GHG-protokollaa mukailevassa Excel-pohjaisessa kasvihuonekaasulaskurissa. Sen tarkoitus on selkeyttää tämänhetkinen tilanne ja auttaa hiilijalanjäljen laskemista tulevaisuudessa. Tulos kertoo yrityksen vuoden 2021 aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja tarkoituksena on tunnistaa suurimmat päästölähteet, vertailla päästökertoimia sekä pohtia mahdollisia päästövähennyksiä. Opinnäytetyö selvittää kuinka suuri vaikutus päästöker-toimen valinnalla on tuloksen kannalta.

Opinnäytetyön tarkoituksena ei ole ottaa kantaa sosiaalisiin tai taloudellisiin vaikutuksiin, vaan laskea ainoastaan hiilidioksidipäästöjen aiheuttamat ympäristövaikutukset ilmastomuutoksen kannalta. Sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia on kuitenkin mahdollista laskea tulosten perusteella tulevaisuudessa. Koska



yrittäjien ja ihmisten toiminnasta aiheutuu päästöjä, on niitä oleellista seurata organisaation sisällä esimerkiksi ajallisen rajauksen tai tuotantomäärien avulla, jotta saadaan kokonaisvaltainen kuva yrityksen toiminnasta.

Saatuja tuloksia tarkastellaan yrityksen näkökulmasta ja organisaation aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä voidaan suhteuttaa esimerkiksi valmistettuja tuotteita kohden. Laskennan herkkyyks ja luotettavuus on tärkeää ottaa huomioon työn loppuvaiheessa, kun analysoidaan tuloksia. Uusia laskentaan vaikuttavia tekijöitä tulee koko inventaarion ajalta ja tekijöiden painotuksen kanssa täytyy olla puolueeton, jotta päästään mahdollisimman tarkkoihin tuloksiin.

Erilaisilla laskentamenetelmillä ja painotuksilla voidaan tarkastella organisaation hiilijalanjälkeä monipuolisemmin. Päästökertoimet ovat muuttuvia arvoja, joita täytyy päivittää muutaman vuoden välein. Tämän vuoksi laskentojen taustalla on hyvä olla jatkuvasti päivittyvät elinkaaritietokannat. Excel-pohjaisten laskentataulukoiden ongelmana on jatkuvuus, sillä päästökertoimet eivät Excelliin itsestään päivity.

Lopussa selviää prosessin ja organisaation ympäristövaikutukset ja niiden aiheuttajat. Tulosten luotettavuutta tarkastellaan ja laskentamenetelmiä avataan, jotta se on vertailukelpoinen jatkossa. Yrityksen hiilijalanjäljessä vähennyksiä voidaan saavuttaa erilaisin keinoin, kuten materiaalivalinnoilla, energiamuodon vaihtamisella vihreään sekä hyvällä ilmastopolitiikalla yrityksen sisällä, ja se voisi sisältää henkilökunnalle tiedottamista energiaa säästävistä valinnoista tai automaattisia virrankatkaisumenetelmiä.

Opinnäytetyön yhteistyötahona toimii Tulevaisuuden työ -hanke. Hankkeesta kerrotaan sen sivuilla näin:

*Tulevaisuudessa työ ja työn tekeminen ovat koko ajan muutoksessa. Tähän ovat vaikuttaneet teknologian voimakas kehittyminen sekä globaalit ja paikalliset muutokset elinympäristöissä. Työtä tehdään entistä enemmän etätöinä hyödyntäen erilaisia teknologisia ratkaisuja. Työn muuttuessa kovaa vauhtia, muuttuvat myös työelämässä tarvittavat taidot, oppiminen ja osaamisen kehittäminen.*

*Karelia-ammattikorkeakoulun Tulevaisuuden työ -hankekokonaisuudessa vastataan tulevaisuuden työn vaatimuksiin ja muutoksiin kiinteässä yhteistyössä työelämän kanssa. Tavoitteena on kehittää opetusta, pedagogiikkaa ja jatkuvan oppimisen palveluja sekä Karelian fyysisiä ja virtuaalisia oppimisympäristöjä. Opetuksen ja pedagogiikan kehittämisessä hyödynnetään uusinta opetusteknologiaa sekä kehitettäviä oppimisympäristöjä.*

*Hankekokonaisuus muodostuu kolmesta osa-alueesta: Tulevaisuuden työ -investointi (EAKR) ja Tulevaisuuden työ – pedagogiikan ja opettajien osaamisen kehittäminen (ESR). Lisäksi kokonaisuuteen liittyy Karelian oma pedagoginen investointi. Hanketta rahoittavat ESR/Etelä-Savon ELY-keskus, EAKR/Pohjois-Karjalan maakuntaliitto sekä Karelia.*

### **3.2 Opinnäytetyön tavoite**

Opinnäytetyö selittää lukijalleen mitä elinkaarimenetelmät ja hiilijalanjälki tarkoittavat työn rajauksen puitteissa. Siinä hyödynnetään hiilijalanjälkilaskentaan liittyvää tieteellistä perustaa, kuten julkaisuja ja tietokantoja. Siitä selviää laskennan laajuus ja tavoitteet, analyysissa käytetty toiminnallinen yksikkö, rajaukset ja päästökertoimet. Laskennan tulokset tulevat yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä tarkkoja määriä ole tarkoitus julkaista. Kulutustiedot pidetään salassa sellaisenaan, kuitenkin niin, että laskennan lopputulos, eli kokonaispäästöt ovat opinnäytetyössä esillä. Tuotantomääristä, eikä niiden suhteista toisiinsa nähden julkaista kulutustietoja.

Tavoite saavutetaan mahdollisimman tarkalla lähtödatan hankinnalla ja perustelluilla päästökertoimien valinnoilla. Dataa kerätään standardien ohjeiden mukaan. Kuluverille selvitetään toimittajat, joiden kautta on mahdollista selvittää päästökertoimia, jos niitä on toiminnoille julkaistu. Muuten pyritään käyttämään laajalti hyväksytyjä arvoja, esimerkiksi polymeerin päästökertoimia niiden valmistusvaiheessa tehtaalla. Kun tiedetään toimittaja, voidaan lähtöpaikka selvittää ja laskea matka, jonka raaka-aine kulkee tehtaalta tehtaalle.

Tuotteen hiilijalanjälkeä laskettaessa tavoitteena on selvittää sen osittainen elinkaari kehdestä portille. Valmistetun muovituotteen elinkaari päättyy tässä rajauksessa ennen sen saapumista asiakkaalle, siitä eteenpäin voitaisiin laskea

loppuosan ympäristövaikutukset. Jos tarkastellaan muovituotteen elinkaaren loppuosaa valmiista tuotteesta hävitykseen, täytyy vaikutuksiin ottaa huomioon sen kuljetus, käyttö ja loppusijoitus.

Koska yritystoiminta perustuu alihankintaan, tuotteen asianmukainen käyttö ja loppusijoitus on asiakkaan vastuulla, eikä tarkkaa dataa ole saatavilla. Tämän takia niitä ei voida ruiskuvaluprosessiin liittää. Ruiskuvaluprosessiin vaikuttaa koneiston elinkaari, sekä muoviraaka-aineen elinkaari, ennen saapumistaan yrityksen toimitiloihin. Koska konekanta uusitaan, on syytä huomioida laitteiston valmistamisen ja hankinnan aiheuttama ympäristörasite. Voi kuitenkin olla haastavaa saada ulkomaisista lähteistä tietoa materiaalista ja koneistosta.

### **3.3 Rajaus**

Tutkimuksen rajaamisella määritellään, mitkä yksikköprosessit sisällytetään hiilijalanjälkilaskelmaan ja sillä on suuri merkitys laskennan tulokseen. Rajausta miettiessä on hyvä aloittaa oletettavasti merkittävistä päästölähteistä. GHG-protokollan mukaisessa laskennassa nämä päästölähteet kuuluvat vaikutusluokkiin 1 ja 2, vaikka monessa tapauksessa vaikutusluokkaan 3 kuuluu merkittävä osa yrityksen päästöjä, käsittäähän se mm. logistiikkaa ja raaka-aineet.

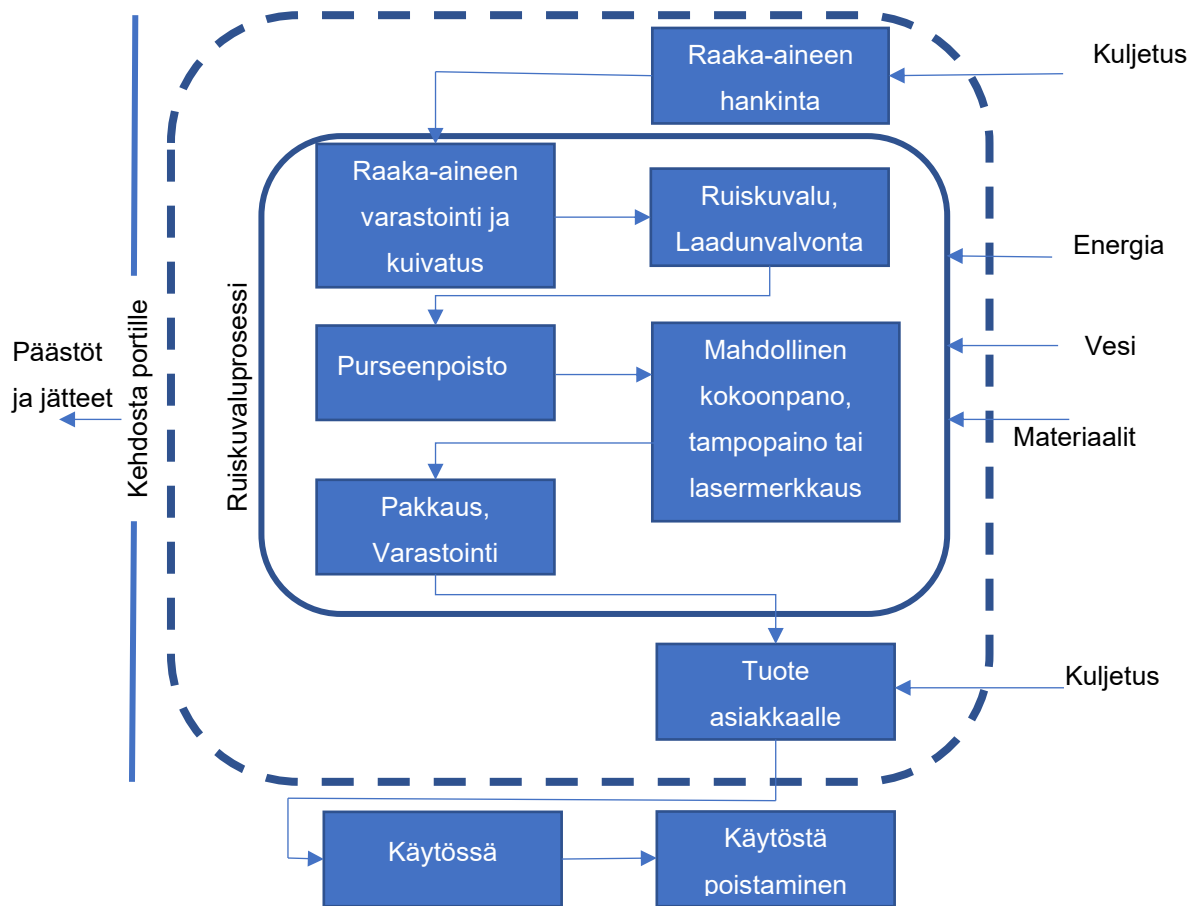
Jatkotoimenpiteisiin tai tuleviin tavoitteisiin voidaan merkitä ne osa-alueet, jotka ovat jääneet rajauksen ulkopuolelle. Näitä voisi esimerkiksi olla työntekijöiden työmatkat tai toimistotarvikkeet. Opinnäytetyön suunnitelmavaiheessa laskentatavoite rajataan laajalle, jotta tuloksista saadaan mahdollisimman kattavat.

Rajaus on jokaisessa työssä omanlaisensa. Rajaukseen vaikuttaa myös, onko laskennan kohteena tuote vai yritys. Tuotteen rajat voidaan päättää olevan esimerkiksi kehdosta hautaan (cradle to grave), portilta portille (gate to gate) tai kehdosta portille (cradle to gate). Kehdosta portille menetelmä soveltuu tuottajavaiheen laskentaan, esimerkiksi kun myydään yritykseltä yritykselle (Kokko 2012). Siinä laskennanaikaiseen elinkaareen kuuluu raaka-aineen hankinta ja

valmistus, joissain tapauksissa myös jakelu, mutta ajatuksena on vaikutusten päätyminen tuotantolaitoksen portille.

Raaka-aineiden osalta GHG-protokolla (2013, 14) on antanut ohjeistuksen kuinka materiaaleille ja raaka-aineille voidaan käyttää kahta erilaista laskentatapaa. Ensimmäinen laskee päästöt materiaalin tai tuotteen jokaisessa elinkaaren vaiheessa, raaka-aineen hankinnasta tai luonnonvarojenkäytöstä elinkaaren loppuun asti. Toinen tapa, kehdesta portille (nk. ylävirta), ottaa huomioon kaikkien aikaiset päästöt, ennen tuotteen luovutusta asiakkaalle.

Portilta portille -malli rajaa laskennan vaikutukset vain esimerkiksi tehdasalueelle. (Green Carbon 2021.) Kuviossa 4 on esitetty kehdesta hautaan -malli, joka soveltuu kuluttajatuotteille, sillä kulutustuotteen elinkaaren merkittävä osa on käyttövaihe ja hävitys tai kierrätys. (Kokko 2012, 16.) Rajaus tehdään tuotteen koko elinkaaren ajalta, raaka-aineen hankinnasta valmistuksen kautta käyttöön ja loppusijoitukseen. Kuvassa sivulla oleva jana ”kehdesta portille”, havainnollistaa kuinka sellainen malli rajataan.



Kuvio 4. Ruiskuvaluprosessin virtauskaavio (W.M. Cheung ym. 2017. Journal of Cleaner Production).

Järjestelmään tulevien syötteiden ja sieltä lähtevien tuotosten merkittävyys päätetään massan, energian ja ympäristövaikutusten mukaan. Jos panosten (syötteet ja tuotteet) osuus on merkittävä lopputuotteessa, otetaan ne mukaan tarkasteluun. Ulkopuolelle jäävät panokset tulee kuitenkin tuoda esille loppuraportissa. (Kokko 2012, 15.)

Tässä työssä rajauksen ulkopuolelle jätetään esimerkiksi työ- ja liikematkustuksen hiilijalanjälki, sillä haja-asutusalueella työmatkojen hiilijalanjälkeen on lähes mahdoton puuttua. Se, kuinka työmatkan taittaa, on jokaisen työntekijän henkilökohtainen valinta. Prosessiin tutustuttiin ja aineistoa kerättiin ennen laskentaohjelmiston käyttöä. Ruiskuvaluprosessista piirrettiin kuvio 4 selkeyttämään sen kulkua.

### 3.4 Excel-pohjaiset laskentataulukot

Internetistä löytyy useita suomenkielisiä laskureita. Opinnäytetyötä varten on tutkittu erilaisia laskureita, ja laskenta on aloitettu GHG-protokollan julkaisemalla laskurilla. Laskureilla on puutteita tiedonkeruussa, ja niissä on paljon tämän työn kannalta epäoleellisia kohtia. Laskureiden ongelma oli, etteivät ne useinkaan sisältäneet kaikkia vaikutusluokan 3 päästölähteitä. GHG-Protokollan omassa laskurissa niitä ei ole, sillä ne eivät kuulu pakollisina yritysstandardin mukaiseen päästölaskentaan. Muissa laskureissa vaikutusluokan 3 kategoriosta oli saatettu sisällyttää ne, jotka palvelevat kyseisen laskurin oletettua asiakasuntaa parhaiten. Näin esimerkiksi raaka-aineiden hiilijalanjälki jää kokonaisuudessaan uupumaan vastaan tulleissa malleissa.

Edellä mainittujen asioiden vuoksi on päädytty tekemään erillinen yhteenveto taulukkolaskentaohjelmaa hyödyntäen, jossa kaikki yrityksen päästöt ja vaikutuslaskennan tulokset ovat rinnakkain. Se palvelee opinnäytetyötä parhaiten ja on helpointa yrityksen ottaa käyttöön. Laskureiden luotettavuutta ja ajantasaisuutta tulee itsenäisesti arvioida. Tätä opinnäytetyötä varten on käyty läpi Internetistä löytyneitä kasvihuonekaasulaskureita ja niiden käytettävyyttä on arvioitu seuraavin kriteerein:

1. Laskurin luotettavuus. Voidaanko olettaa, että laskuri käyttää luotettavia lähteitä?
2. Revisiohistoria. Onko laskuri ajan tasalla? Laskurista tulisi löytyä revisiohistoria tai muunlaista tietoa lähdemateriaalin paikkansa pitävyydestä. Jos laskurissa ei ole muokkaushistoriaa näkyvillä tai sen viimeisin revisio on merkitty useampi vuosi sitten, voivat päästökertoimet olla muuttuneet. Päästökertoimet tulee tarkastaa lähteiden avulla.

3. Mihin standardiin laskuri perustuu? Usean vastaan tulleen Excel-pohjaisen laskurin rakenne mukailee GHG-protokollan kasvihuonekaasuille tarkoitettua laskentametodiikkaa.
  
4. Käytetyt päästökertoimet. Mitä päästökertoimia laskuri käyttää? Tietokantojen välillä on eroavaisuuksia. On syytä myös muistaa, että laskurit käyttävät oletusarvoisesti keskivertopäästökertoimia, ellei toisin mainittu. Näitä päästökertoimia tulee arvioida niiden lähteiden perusteella. Omassa laskelmassa on suositeltavaa käyttää primääridataa, eli laskettavan kohteen omia tietolähteitä ja alueellisesti päteviä päästökertoimia, joita voi saada näiden laskettavien päästölähteiden toimittajilta.

Opinnäytetyön tukena on toiminut Y-Hiilari, joka antaa seikkaperäiset ohjeet protokollan mukaiseen laskemiseen. Siinä päästökertoimina on käytetty mm. EcoInventin tietoja, ja maantieteellisenä rajauksena toimii joko Suomi tai Eurooppa. Laskurilla saadaan tarkasteltua vaikutusluokan 1 ja 2 päästöjä, sekä vaikutusluokan 3 jätehuoltoa ja kuljetustietoja. Y-Hiilarin etu on, että voidaan lähes varauksetta olettaa sen olevan ajan tasalla.

### **3.5 SimaPron käsitteet ja prosessipolku**

Nämä käsitteet ja prosessipolku ovat tämän opinnäytetyön selkeyttämistä varten suomennettu SimaPron omista materiaaleista, ellei toisin mainita. Alkuperäiset englanninkieliset materiaalit ovat saatavilla SimaPron Help Centeristä. EcoInventin data ei ole tarkoitettu suoraan vertailuun niiden sisältämien keskiarvotuksien takia. Jos suoraa vertailua aiotaan tehdä, täytyy järjestelmän elinkaari selvittää perusteellisesti ja päättää, mitkä mukautukset kuvaavat järjestelmää tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti.

Laskennan alussa päätetään mitä kirjastoja halutaan sisällyttää laskentaan. Seuraavaksi valitaan Inventory (Inventaariovaihe) otsikon alta, onko kyseessä prosessin (processes) elinkaaren kuvaus vai tuotteen (product stages) elinkaari. Prosessi on ihmisen suorasta toiminnasta aiheutuvaa muutosta, joten se voisi olla esimerkiksi puun kaataminen ja tuote kahvinkeitin. Kun projekti aloitetaan, valitaan laskentaa palvelevan alaotsikon alta oikea luokitus meneillään olevalle laskennalle. Tässä tapauksessa se on prosessointi.

Tämän jälkeen valitaan toiminnan tyyppi. Kaksi tärkeintä näistä on Market (markkina) tai Transformation (muutos). Markkinaprosessi edustaa kansallisia, alueellisia ja globaaleja markkinoita. Nämä markkinaprosessit sisältävät tuotantopanoksia, sekä mahdollisia kuljetuksia yhdessä tai useassa maassa. Markkinaprosessin avulla saadaan alueellisesti pätevää tietoa, kun yksittäisen toimijan tietoja ei ole saatavilla riittävän tarkasti. Muutosprosessi tarkoittaa ihmisen aiheuttamaa muutosta alkupanoksesta verrattuna loppupanokseen. Se sisältää kaikki tuotteen tai palvelun vaatimat syötteet, sekä syötteet resurssien hyödyntämisestä ja päästöistä, lukuun ottamatta kuljetuksia.

Kun valitaan panosta, voisi se näyttää esimerkiksi tältä:

Polyethylene, high density, granulate, recycled {Europe without Switzerland}  
market for polyethylene, high density, granulate, recycled | Cut-off, S

Alussa lukee valitun panoksen nimi, vaikutusalue ja tyyppi, kuten markkinaprosessi polyeteenille. Lopussa mainitaan allokointimenetelmä. Cut-off perustuu kierrätettävän syöttö- ja ulostulovirran inventointiin. Cut-off menetelmän ajatus on, että materiaalin alkutuotanto kohdistetaan sen ensimmäiselle käyttäjälle. Kierrätetyn materiaalin alkutuottaja ei saa hyvitystä kierrätyskelpoisten materiaalien tuotannosta. Tämän johdosta kierrätettävät materiaalit eivät tuota ilmastokuormaa kierrätysprosessissa.

Toinen menetelmä on At the Point of Substitution (APOS), jossa kierrätyksestä saatava hyöty kohdistetaan kierrättäjälle. Tässä lähestymistavassa vältetään neitseellisen materiaalin käyttö. Consequential, eli seurausmenetelmässä



käytetään perusoletuksia arvioimaan muutoksia järjestelmässä ja seuraukset jyvitetään tapahtumahetkestä eteenpäin.

Näiden menetelmien perässä olevat kirjaimet U ja S tarkoittavat unit process ja system process. Yksikköprosessissa (unit process) tuotejärjestelmä jaetaan ja avataan syötteiden ja tuotosten tunnistamiseksi. Nämä yksikköprosessit ovat helppo erottaa, koska prosessitietue sisältää linkkejä asiaankuuluviin prosesseihin. Tällöin on helpompi tutkia ja analysoida toimitusketjua. Yksikköprosesseja voidaan käyttää epävarmuusanalyysiin, sillä ne sisältävät varastotietojen todennäköisyysjakaumat SimaPro sisällyttää automaattisesti kaikki nämä alkuvaiheen prosessit valittuun yksikköön.

Kun valitaan järjestelmäprosessi (system process), sisältyy myös raaka-aineen valmistus sen elinkaaren alkuvaiheelta prosessiin. Tällöin ei ole linkkejä muihin prosesseihin, vain aineisiin ja päästöihin. Järjestelmäprosessi koetaan mustana laatikkona – et voi helposti nähdä, mitkä vaiheet aiemmista prosesseista ovat mukana. Järjestelmäprosessit ovat hyvä keino hallita salassa pidettävää materiaalia, kun tietojoukot voidaan muuntaa yhdeksi järjestelmäprosessiksi, jolloin taustatiedot häviävät näkyvistä, mutta sisältyvät laskentaan.

Molemmissa prosesseissa lopputulos on kuitenkin sama. Tässä työssä on käytetty järjestelmäprosesseja, sillä tiedot ladataan SimaPron Flow järjestelmään. Flow on verkossa toimiva lisäohjelma, joka vaatii yksikköprosessia kevyemmän version. Yksikköprosessi sisältää liikaa dataa tätä työkalua varten.

## **4 Hiilijalanjälkilaskun aineisto ja menetelmät**

### **4.1 Inventaarioanalyysi ja lähtötiedot**

Laskentaa varten tietoa kerättiin yritykseltä joulukuussa vuonna 2021 vuosien 2020 ja 2021 ajalta. Yrityksen kanssa käytiin esimerkiksi läpi energiankulutusmuodot ja kasvihuonekaasuprotokollaan kuuluvan 3. vaikutusalueen kategoriat,

josta saatiin alustavaa tietoa jatkoa varten. Tiedon avulla voitiin luoda lähtötietokyselylomake (liite 1), johon myös vaikutusalueen 3 tämän työn kannalta tarpeelliset kategoriat on sisällytetty. Lähtötietoina käytetään yrityksen sisältä saatavaa primääridataa kulutuksen suhteen. Suurin osa päästökertoimista on sekundäärilähteistä poimittu, kuten kansainvälisesti hyväksytyistä ympäristövaikutusten arviointiin tarkoitetuista tietokannoista. Lähteinä on käytetty myös muita käytössä olevia hiilijalanjälkilaskureita sekä joitain standardeja. Lähtötietoja on tarkennettu tammikuussa, kun laskentaohjelmia käytettäessä on havaittu puutteita.

Käytetyt päästökertoimet ja niiden lähteet on esitelty liitteessä numero 2. Liitteet 1 ja 2 ovat osa yritykselle tehtyä yhteenvetoa. Kulutustietojen päivittämistä voidaan jatkaa tälle laskurina toimivalle taulukolle, jonka päästökertoimet tulee tarkastaa säännöllisesti 2–5 vuoden välein. Tulevaisuudessa voi olla, että päästökertoimia saadaan paremmin primäärilähteistä, kuten jätteiden ja kuljetusten osalta, jos jäteyhtiö tai kuljetusliike niitä palveluilleen julkaisee. Yritykselle tehdyn yhteenvedon viimeinen osio on tulokset päästöluokittain ja niiden summa, joka kertoo vuoden kokonaispäästöt.

Liitteessä 1 päästölähteet on jaettu vaikutusluokittain. Vaikutusluokkaan 1 raportoidaan omat energianlähteet, tässä tapauksessa kevyt polttoöljy, ja yrityksen omistamat ajoneuvot. Tuotannon hukkalämmöllä lämpenee melkein koko kiinteistö. Kovimmilla pakkasilla lämmitetään sähköllä ja toimitiloissa on öljylämmitys varalla. Vaikutusluokkaan 2 kuuluu epäsuorat päästöt, eli ostoenergian raportointi. Vaikutusluokassa 3 nähdään yrityksen vaikuttavat muut epäsuorat päästöt, joita syntyy ostetuista tuotteista ja palveluista, kuten raaka-aineista, väriaineista, käyttövedestä ja pakkausmateriaaleista.

Vaikutusluokan 3 kategoriaan 2, eli käyttöomaisuuteen kuuluu vuoden aikaiset investoinnit ja komponentit, mutta ne on päätetty jättää tämän hiilijalanjälkilaskelman ulkopuolelle. Suuren investoinnin, kuten ruiskuvalukoneen päästöt olisivat hankala laskea ilman todellista tietoa koneen valmistusprosessista ja kuljetusreitistä. Kategoria 3 käsittää jätteet, joista on eritelty vaaralliset jätteet. Yrityksellä syntyy tavanomaisia jätejakeita ja vaarallisista jätteistä elektroniikkaromua,

kiinteää öljyistä jätettä, jäteöljyä sekä jäähdytysnestettä. Kaikki mahdollinen jäte kierrätetään. Muovijätettä syntyy mm. hukkaerien muodossa, mutta tällainen muovi saadaan hyvin kiertoon. Muoveista uusiokäyttöön menee propeeni ja kirkas eteeni, loput energijakeeksi.

Muoveille on arvioitu tonnikilometrit, joka on mittayksikkö, kun yksi tavaratonni kulkee tietyllä kuljetusmuodolla kilometrin matkan. Tonnikilometri sisältää kuljetusyksikön pakkaukset ja taarapainot. (IATE 2018.) Muovia saapuu yritykselle tasaisesti pitkin vuotta. Kuljetukset ovat toimittajakohtaisia kuorman ja käytetyn ajoneuvon suhteen. Muovi varastoidaan ja kuivataan ennen käyttöönottoa. Yrityksellä on käytössä kuivailma- ja kuumailmakuivureita. Kuivauksen jälkeen muovi työstetään ruiskuvalukoneessa.

Muutamit suurimmat muovin valmistajat ovat ottaneet askeleita kohti hiilineutraaliutta. Polyeteeniä valmistaa amerikkalaisomisteinen DOW, jonka vuoden 2020 vastuullisuusraportista nähdään, että yrityksessä kestävä kehitys arvotetaan korkealle, ja toimia tarkastellaan kvartaalia pidemmälle. DOW on asettanut tavoitteen olla hiilineutraali vuonna 2050. Matkalla tavoitteeseen tarkoitus on fossiilisista lähteistä tulevien päästöjen vähennys, sekä hiilidioksidia vähentäviin uusiin teknologioihin ja prosesseihin investointi. Innovoimalla vähähiilisempiä tuotteita autetaan myös asiakkaita vähentämään päästöjä.

Tanskalainen muovivalmistaja MELITEK käyttää toiminnassaan uusiutuvaa tuulivoimaa. MELITEK ilmoitti vuoden 2021 alussa uusivansa Renewable Energy Certificate Systemin (RECS) vihreän energian sopimuksen vuodelle 2021 ja ottaa aktiivisen roolin CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisessä. (MELITEK 2021.) Kolmas suuri valmistaja on kansainvälinen LyondellBasell, joka toimittaa polypropeenaa ja polyeteeniä. Yritys on mukana Pariisin Ilmastopöytäkirjassa, ja tähtää 15 % CO<sub>2</sub>-päästöjen alenemaan vuoteen 2030 mennessä.

## 4.2 Organisaation hiilijalanjätkilaskelma

Muovisola Oy:n perusvuodeksi valittiin tilikausi 2021. Laskennassa huomioitiin yrityksen oma lämmöntuotanto kevyellä polttoöljyllä ja ajoneuvojen käyttö, joiden päästökertoimet on saatu SFS 16258 -standardista. Vaikutusluokassa 2 huomioitiin toimitilojen sähkönkulutus, jolle päästökerroin saatiin sähkön toimitajalta. Vaikutusluokkiin 1 ja 2 kuuluvia muita päästölähteitä ei ole.

Polttoaineiden lämpöarvot ja oletuspäästökertoimet vaihtelevat lähteen asettamien arvojen ja tiedon julkaisuvuoden mukaan. Laskuissa käytettävien lämpöarvojen ja oletuspäästökertoimien lähteenä on varmistettu tietojen paikkansa pitävyys Tilastokeskuksen polttoaineluokituksista (2021), joka ilmoittaa polttoaineiden päästökertoimet  $t/TJ$ , joten laskumuunnoksia on tehtävä, jotta saadaan tiedot laskentaohjelmaan muodossa  $g/kWh$ . Polttoaineiden vaikutus (vaikutusluokka 1) on vähäinen päästöjen kannalta.

Raaka-aineiden päästöt laskettiin kehdosta portille. Laskelmassa käytettiin Industry Data 2.0: n yksikköprosessia polypropeenille ja polyeteenille. Nämä yksikköprosessit (polyethylene, HDPE, granulate, at plant/kg/RER ja polypropylene, granulate, at plant/kg/RER) ovat eurooppalaisia keskiarvoja, jotka sisältävät muovin valmistuksen raaka-aineesta granulaatiksi, sisältämättä kuljetuksia jatkokäsittelyyn asiakkaalle. Nämä kuljetukset huomioidaan erikseen.

Tampopainomaalien käyttö huomioitiin kulutustiedoissa, mutta jätettiin pois laskuista kahdesta syystä. Käyttömäärä on kokonaisuuden kannalta vähäinen, eikä maaleille löytynyt sopivaa päästökerrointa maalien ominaisuuksien ja valmistajien vaihdellessa. Väriaineella tarkoitetaan nk. masterbatch-lisäainetta, joka on noin 40–60 % muovia. Siihen on lisätty pigmenttiä ja mahdollisia muita lisäaineita. Pigmentin osuus, laatu (orgaaninen/ei orgaaninen) ja muiden lisäaineiden määrä vaihtelee.

Tietokannoista ei tällaiselle materiaaliryhmälle löydy päästökerrointa, joten väriaineille on käytetty polypropeenin valmistuksesta aiheutuvaa päästökerrointa. Polypropeeni on yrityksen suurin kuluerä, joten suurin osa väriaineiden

muovimatriisista on polypropeenia, joka on ainoa yhtenäinen tekijä eri valmistajien erilaatuisille ja värisille väriaineille.

Veden kulutus sisälsi sekä puhtaan talousveden, että jätevedenkäsittelystä aiheutuvat päästöt. Päästökertoimena käytettiin OpenCO<sub>2</sub> tietopankin antamaa lukua jätevedelle. Pakkausmateriaaleissa käytettiin Ecolnvent-tietokannasta löytyviä päästökertoimia pahville ja muoville. Toimisto- ja pakkauspaperin päästökerroin on VTT:n Leader tutkimusprojektista vuodelta 2007–2010, joka on aikakauslehtipaperin päästökerroin.

Jätteiden päästökertoimet ovat WWF:n Ilmastolaskurissa käytettyjä pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmista saatuja lukuja. Käyttövesi ja jätteet kuuluvat vain organisaatiolaskentaan, tosin SimaPron ruiskuvaluprosessissa on vettä ja jätteitä sisällytetty prosessiin. Nämä sisällytykset ovat kuitenkin tietokantaan lisättyjä keskimääräisiä oletuksia, eivätkä välttämättä täysin vastaa juuri tätä tapusta.

Raaka-ainekuljetukset muodostavat suuren osan yrityksen ympäristöpäästöistä raaka-aineiden ohella. Ajoneuvotiedot perustuvat oletusperusteiseen arvioon ajosuoritteesta, ajoneuvoluokasta, sekä kyseisen ajoneuvoluokan oletuspäästökertoimesta (gCO<sub>2</sub>/tkm). GHG-protokollassa kategoria 4 käsittää yritykseen saapuvat raaka-ainerahdit ja yrityksen maksamat muut kuljetukset ja valmiiden tuotteiden jakelun. Nämä kuljetukset on eritelty kategorian 9. lähtevistä kuljetuksista ja jakelupalveluista, joita organisaatio ei itse maksa. Tähän kategoriaan kuuluisi myös asiakkaiden liikkuminen, jos tällaista liittyisi yritystoimintaan. Näin yrityksen sisällä voidaan päättää mitkä kuljetukset sisällytetään laskentaan, ilman ristiriitaisuuksia rahtityyppien sisällä. (WRI ym. 2013, 49.)

### **4.3 Hiilijalanjalan laskenta tuotteelle**

SimaPro-laskentaohjelmistolla laskettiin ruiskuvaletun nk. osapuristeen ympäristövaikutukset, jonka valmistamiseen vaaditut prosessit sekä materiaalit löytyvät SimaPron kirjastoista. SimaPron avulla voidaan selvittää tuotteen

hiilijalanjälki sekä vuoden aikaiset polymeerien prosessoinnista aiheutuneet päästöt. Tuotteiden ollessa pieniä ja tuotantomäärien suuria, käytettiin toiminnallisena yksikkönä 1 000 kg. Toiminnallisen yksikön tarkoitus on olla vertailuyksikkö, johon syötteitä, tuotoksia ja niiden määriä suhteutetaan. Näitä tietoja voidaan vertailla organisaation sisältämään hiilijalanjälkeen. Yrityksen ajoneuvot vaikuttavat vain organisaatiolaskelmassa, koska niiden käyttötarkoitus on henkilökuljetus, eikä se suoraan liity ruiskuvaluprosessiin.

Energian ainevirrat näkyvät erillisinä muista ainevirroista. Tähän elinkaarilaskelmaan luotiin uusi ruiskuvaluprosessi, sillä alkuperäinen (liite 4. 2/2) ei palvele täysin tarkoitusta. Siinä on käytetty energianlähteenä maakaasua 4,21 MJ/kg. Laskussa energiamuoto vaihdettiin vastaamaan tilannetta ja lämmöksi valittiin kevyt polttoöljy. Polttoöljyn ja sähkön osuudet jaettiin vuoden tuotoksilla, jotta saatiin toiminnallista yksikköä vastaava määrä energiaa.

Sähkön kulutus vuodessa jaettuna vuodessa tuotetulla muovilla.

$$\frac{\text{Sähköä vuodessa kWh}}{\text{muovia vuodessa kg}} = 2,99 \text{ MWh/tkg}$$

Keuyen polttoöljyn kulutus vuodessa jaettuna vuodessa tuotetulla muovilla.

$$\frac{\text{polttoöljyä vuodessa kWh}}{\text{muovia vuodessa kg}} = 0,07 \text{ MWh/tkg}$$

Taloudellisista ainevirroista ruiskuvaluprosessin energiankulutus ja pakkausmateriaalit allokoitiin toiminnalliselle yksikölle, ja laskuissa ne kohdentuivat muoveille niiden massan mukaan. Energiaperusteinen allokointi tehtiin sen perusteella, että suurin osa yrityksen kuluttamasta energiasta kohdistuu ruiskuvaluprosessiin ja prosessi on eri muovilaaduille sama. Jos tiedossa olisi esimerkiksi tietyn muovilaadun pakkausmateriaali sen saapuessa tai lähtiessä tai jos tiedetään, että tiettyjä muovilaatuja ei värjätä tai tampopaineta, voisi niiltä silloin poistaa kohdennuksen. Se tekisi laskennasta tarkempaa, ja on välttämätöntä, jos halutaan tietää yhden muovivalmisteen todelliset kasvihuonekaasupäästöt, sillä tämä malli antaa keskiarvon päästöistä.

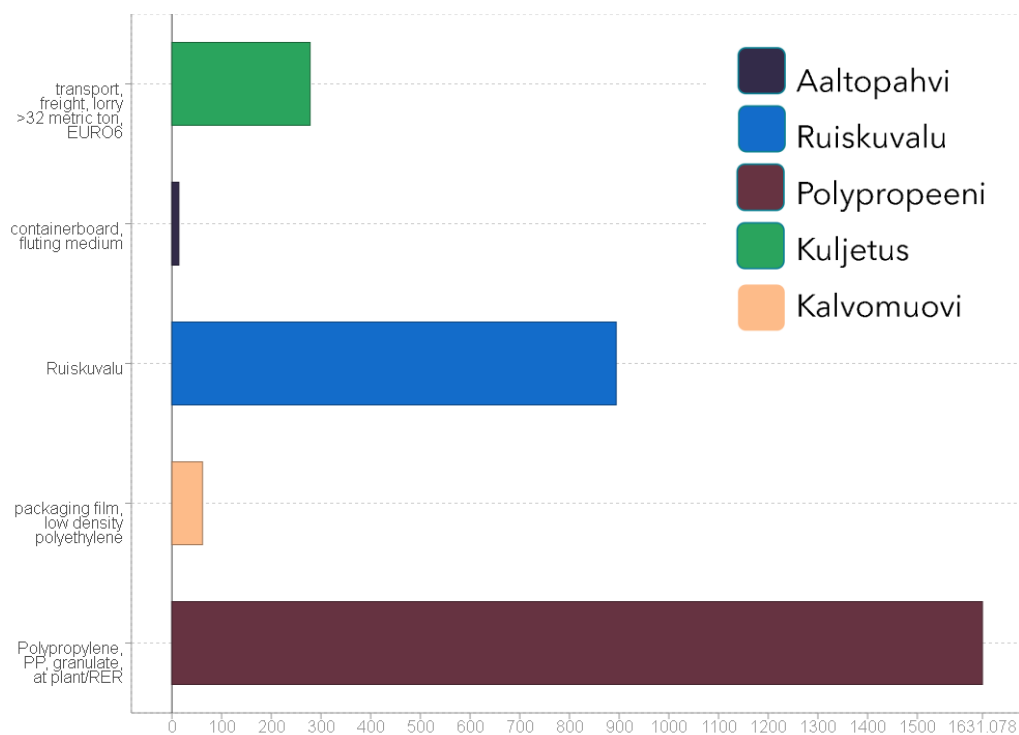
Yritys valmistaa monia erilaisia tuotteita samaan aikaan, eikä tällä hetkellä ole tarkempaa tietoa mitä prosesseja tiettyyn muoviin kohdistuu, tai mikä on yksittäisen tuotteen läpimenoaika. Tällöin voidaan olettaa lopullisten päästöjen jakautuvan tasaisesti. Ostetut kuljetukset raaka-aineen hankintavaiheessa kohdennettiin saatujen tietojen perusteella jokaiselle muoville erikseen ja ne jäivät tämän allokointimenetelmän ulkopuolelle.

#### 4.4 Simapro Flow

SimaPro Expert User -lisenssiin kuuluu SimaPron verkkosivuilla toimiva elinkaarilaskentaan soveltuva kokonaisuus -SimaPro Flow, Share ja Collect. Flow-toiminnon avulla SimaProssa tehty elinkaari saadaan verkkoon ja Share-ominaisuuden avulla elinkaarimalli voidaan jakaa asiakkaalle ja sidosryhmille. Asiakas voi esimerkiksi olla yrittäjä, joka voi luoda "Mitä jos" -skenaarioita tuotteelle ja nähdä valintojen vaikutukset tuotteen hiilijalanjäljessä. (SimaPro Help Center 2021.)

Flowssa luodaan projekti, jonka pohja voidaan ladata SimaPron työpöytäversiosta. Projektille tehdään laskutoimitukset, jossa valitaan pääprosessi, karakterisointimalli ja -kerroin. Prosessille voidaan luoda analyysiluokat, jotka selkeyttävät vaikutusarviointien tulkintaa, jos prosessissa on paljon eri vaiheita ja materiaaleja. Laskutoimituksen jälkeen työkalu antaa vaikutusarvioinnin tulokset.

Flow-työkalu on vielä beta-vaiheessa, ja siinä on paljon ohjelmointivirheitä ja rajoitteita, jotka aiheuttavat sen, ettei käyttökokemus ole paras mahdollinen. Alla oleva kuvio 5 esittää erään muoviprosessin vaikutusarviointiluokan tulokset. Tässä mallissa on tarkasteltu 1 000 kg ruiskuvalettua polypropeenaa. Käytettyjen prosessien päästökertoimet löytyvät liitteestä 5. Voidaan huomata 1 000 kg polypropeenaa tuottavan päästöjä 1630 kg CO<sub>2</sub>e. Ruiskuvalu aiheuttaa 909 kg CO<sub>2</sub>e päästöjä. Tähän malliin on lisätty 20 kg pakkauspahvia ja 20 kg kalvomuvia. Kalvomuovi aiheuttaa noin 62 kg CO<sub>2</sub>e päästöjä ja pakkauspahvi 15 kg CO<sub>2</sub>e. Kuljetuksia on lisätty malliin 3225 km, joka aiheuttaa kyseisellä kuljetusvälineellä 279 kg CO<sub>2</sub>e päästöt.



Kuvio 5. Tuotetun muovitonin ilmastovaikutukset.

Yksi ohjelman rajoitteista on, että se antaa tulokset vain yhtä kilogrammaa, tonnia tai kappaletta kohti. Rajoite aiheuttaa sen, ettei voi arvioida organisaation kokonaispäästöjä. Vaikka laskennan toiminnallinen yksikkö onkin 1000 kg, pitäisi skenaarioita pystyä tekemään vuodessa tuotetulla kokonaismäärällä. Yhden tonnin tarkastelu tällä mallilla ei anna tarpeeksi tarkkaa tulosta, että skenaarioita kannattaisi vertailla. Prosessit ovat jokaiselle muovilaadulle alun perinkin samankaltaiset allokoinnin vuoksi, ei riittäviä eroavaisuuksia tälle määrälle saada.

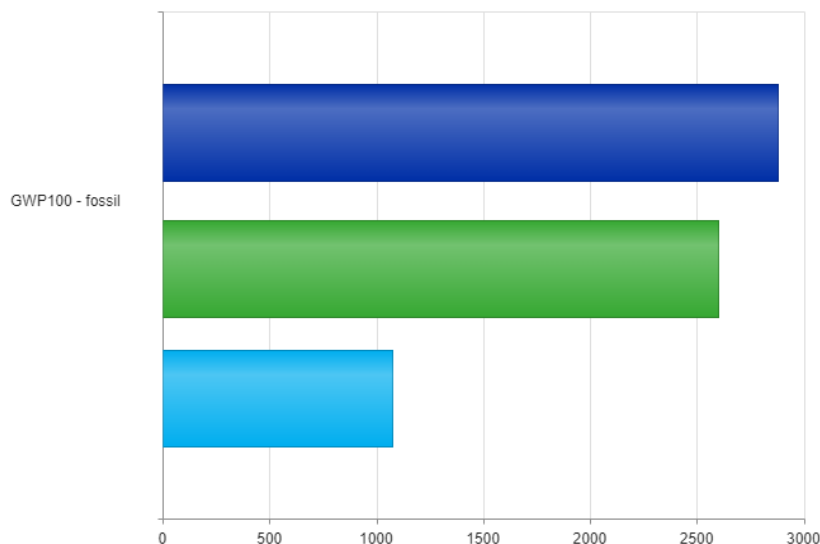
Ohjelma toimii siis yksinkertaisille kokonaisuuksille, jossa on selkeät vaihtoehdot materiaalille. Tässä tapauksessa esimerkiksi muovilaatujen vertaileminen ei tuo suurta muutosta päästöihin tonnissa. Lisäksi eri muoveilla on erilaiset ominaisuudet ja tehtaalla tuotetaan siitä muovista tuotteita, mistä on kysyntää. Jos olisi mahdollista vertailla koko vuoden tuotoksia keskenään, ja vaihdella tuotettujen muovien prosentuaalista määrää toisiinsa nähden, saisi suuremmat erot muovien aiheuttamiin päästöihin ja kuljetusmatkoista tai materiaaleista aiheutuviin päästöihin.



Seuraava vaihe on projektin lisääminen Shareen, jossa tarkasteltavalle tuotteelle luodaan skenaarioita. Alla on kuvattu muutamia mahdollisia skenaarioita. Alkutilanne on sama kuin yllä (kuvio 5). 1000 kg muovia kuljetetaan rekalla 3225 km. Tehtaalla muovin ruiskuvalu vaatii sähköä ja lämpöä, Pakkausmateriaaleja on laskettu 20 kg kumpaakin. Skenaariossa tätä voidaan verrata tilanteeseen, jossa 1000 kg muovia olisikin kierrätysmuovia ja sähköksi vaihdettaisiin tuulisähkö. Kolmannessa skenaariossa katsotaan kuinka paljon päästöihin vaikuttaa merimatkan lisääminen.

Overall results	Product scenarios																																																																																																																																							
<a href="#">+ Add new scenario</a>	<a href="#">- Collapse scenarios</a>	<a href="#">View scenarios from user...</a>																																																																																																																																						
<table border="1"> <tr><td><b>Kaikki</b></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Default values for hotspots.</td><td></td></tr> <tr><td><b>Muovilaatu</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Polypropylene, PP, granulate, at ...</td><td></td></tr> <tr><td>Muovilaatu</td><td></td></tr> <tr><td><b>Kuljetus</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3225 transport, freight, lorry &gt;32...</td><td></td></tr> <tr><td>Ajoneuvon tyyppi</td><td></td></tr> <tr><td><b>Sähkö</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>market for electricity, medium v...</td><td></td></tr> <tr><td>Sähkö</td><td></td></tr> <tr><td><b>Pakkaus</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>0.02 market for packaging film, l...</td><td></td></tr> <tr><td>Kalvomuovi</td><td></td></tr> <tr><td>0.02 market for containerboard, ...</td><td></td></tr> <tr><td>Pahvi</td><td></td></tr> <tr><td><b>Lämpö</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>0.07 Lampo (baseline)</td><td></td></tr> <tr><td>Kevyt polttoöljy</td><td></td></tr> <tr><td><b>Merimatka</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3225 transport, freight, lorry &gt;32...</td><td></td></tr> <tr><td>Merimatka</td><td></td></tr> </table>	<b>Kaikki</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	Default values for hotspots.		<b>Muovilaatu</b>	<input type="checkbox"/>	Polypropylene, PP, granulate, at ...		Muovilaatu		<b>Kuljetus</b>	<input type="checkbox"/>	3225 transport, freight, lorry >32...		Ajoneuvon tyyppi		<b>Sähkö</b>	<input type="checkbox"/>	market for electricity, medium v...		Sähkö		<b>Pakkaus</b>	<input type="checkbox"/>	0.02 market for packaging film, l...		Kalvomuovi		0.02 market for containerboard, ...		Pahvi		<b>Lämpö</b>	<input type="checkbox"/>	0.07 Lampo (baseline)		Kevyt polttoöljy		<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>	3225 transport, freight, lorry >32...		Merimatka		<table border="1"> <tr><td><b>Muovi 2</b></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Kierrätysmuovi HUOM</td><td></td></tr> <tr><td>Kuljetukseen kgkm</td><td></td></tr> <tr><td><b>Muovilaatu</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>1 Kierrätys HDPE</td><td></td></tr> <tr><td>Muovilaatu</td><td></td></tr> <tr><td><b>Kuljetus</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3.225 Kuorma-autolla</td><td></td></tr> <tr><td>Ajoneuvon tyyppi</td><td></td></tr> <tr><td><b>Sähkö</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>2.99 Tuulisähkö</td><td></td></tr> <tr><td>Sähkö</td><td></td></tr> <tr><td><b>Pakkaus</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>0.02 market for packaging film, l...</td><td></td></tr> <tr><td>Kalvomuovi</td><td></td></tr> <tr><td>0.02 market for containerboard, ...</td><td></td></tr> <tr><td>Pahvi</td><td></td></tr> <tr><td><b>Lämpö</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>0.07 Lampo (baseline)</td><td></td></tr> <tr><td>Kevyt polttoöljy</td><td></td></tr> <tr><td><b>Merimatka</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3225 transport, freight, lorry &gt;32...</td><td></td></tr> <tr><td>Merimatka</td><td></td></tr> </table>	<b>Muovi 2</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	Kierrätysmuovi HUOM		Kuljetukseen kgkm		<b>Muovilaatu</b>	<input type="checkbox"/>	1 Kierrätys HDPE		Muovilaatu		<b>Kuljetus</b>	<input type="checkbox"/>	3.225 Kuorma-autolla		Ajoneuvon tyyppi		<b>Sähkö</b>	<input type="checkbox"/>	2.99 Tuulisähkö		Sähkö		<b>Pakkaus</b>	<input type="checkbox"/>	0.02 market for packaging film, l...		Kalvomuovi		0.02 market for containerboard, ...		Pahvi		<b>Lämpö</b>	<input type="checkbox"/>	0.07 Lampo (baseline)		Kevyt polttoöljy		<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>	3225 transport, freight, lorry >32...		Merimatka		<table border="1"> <tr><td><b>Merimatka</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>HUOM Kuljetukseen kgkm</td><td></td></tr> <tr><td><b>Muovilaatu</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Polypropylene, PP, granulate, at ...</td><td></td></tr> <tr><td>Muovilaatu</td><td></td></tr> <tr><td><b>Kuljetus</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3.225 transport, freight, lorry &gt;3...</td><td></td></tr> <tr><td>Ajoneuvon tyyppi</td><td></td></tr> <tr><td><b>Sähkö</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>market for electricity, medium v...</td><td></td></tr> <tr><td>Sähkö</td><td></td></tr> <tr><td><b>Pakkaus</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>0.02 market for packaging film, l...</td><td></td></tr> <tr><td>Kalvomuovi</td><td></td></tr> <tr><td>0.02 market for containerboard, ...</td><td></td></tr> <tr><td>Pahvi</td><td></td></tr> <tr><td><b>Lämpö</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>0.07 Lampo (baseline)</td><td></td></tr> <tr><td>Kevyt polttoöljy</td><td></td></tr> <tr><td><b>Merimatka</b></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>0 transport, freight, lorry &gt;32 me...</td><td></td></tr> <tr><td>Merimatka</td><td></td></tr> </table>	<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>	HUOM Kuljetukseen kgkm		<b>Muovilaatu</b>	<input type="checkbox"/>	Polypropylene, PP, granulate, at ...		Muovilaatu		<b>Kuljetus</b>	<input type="checkbox"/>	3.225 transport, freight, lorry >3...		Ajoneuvon tyyppi		<b>Sähkö</b>	<input type="checkbox"/>	market for electricity, medium v...		Sähkö		<b>Pakkaus</b>	<input type="checkbox"/>	0.02 market for packaging film, l...		Kalvomuovi		0.02 market for containerboard, ...		Pahvi		<b>Lämpö</b>	<input type="checkbox"/>	0.07 Lampo (baseline)		Kevyt polttoöljy		<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>	0 transport, freight, lorry >32 me...		Merimatka	
<b>Kaikki</b>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																							
Default values for hotspots.																																																																																																																																								
<b>Muovilaatu</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
Polypropylene, PP, granulate, at ...																																																																																																																																								
Muovilaatu																																																																																																																																								
<b>Kuljetus</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
3225 transport, freight, lorry >32...																																																																																																																																								
Ajoneuvon tyyppi																																																																																																																																								
<b>Sähkö</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
market for electricity, medium v...																																																																																																																																								
Sähkö																																																																																																																																								
<b>Pakkaus</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
0.02 market for packaging film, l...																																																																																																																																								
Kalvomuovi																																																																																																																																								
0.02 market for containerboard, ...																																																																																																																																								
Pahvi																																																																																																																																								
<b>Lämpö</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
0.07 Lampo (baseline)																																																																																																																																								
Kevyt polttoöljy																																																																																																																																								
<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
3225 transport, freight, lorry >32...																																																																																																																																								
Merimatka																																																																																																																																								
<b>Muovi 2</b>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																							
Kierrätysmuovi HUOM																																																																																																																																								
Kuljetukseen kgkm																																																																																																																																								
<b>Muovilaatu</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
1 Kierrätys HDPE																																																																																																																																								
Muovilaatu																																																																																																																																								
<b>Kuljetus</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
3.225 Kuorma-autolla																																																																																																																																								
Ajoneuvon tyyppi																																																																																																																																								
<b>Sähkö</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
2.99 Tuulisähkö																																																																																																																																								
Sähkö																																																																																																																																								
<b>Pakkaus</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
0.02 market for packaging film, l...																																																																																																																																								
Kalvomuovi																																																																																																																																								
0.02 market for containerboard, ...																																																																																																																																								
Pahvi																																																																																																																																								
<b>Lämpö</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
0.07 Lampo (baseline)																																																																																																																																								
Kevyt polttoöljy																																																																																																																																								
<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
3225 transport, freight, lorry >32...																																																																																																																																								
Merimatka																																																																																																																																								
<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
HUOM Kuljetukseen kgkm																																																																																																																																								
<b>Muovilaatu</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
Polypropylene, PP, granulate, at ...																																																																																																																																								
Muovilaatu																																																																																																																																								
<b>Kuljetus</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
3.225 transport, freight, lorry >3...																																																																																																																																								
Ajoneuvon tyyppi																																																																																																																																								
<b>Sähkö</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
market for electricity, medium v...																																																																																																																																								
Sähkö																																																																																																																																								
<b>Pakkaus</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
0.02 market for packaging film, l...																																																																																																																																								
Kalvomuovi																																																																																																																																								
0.02 market for containerboard, ...																																																																																																																																								
Pahvi																																																																																																																																								
<b>Lämpö</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
0.07 Lampo (baseline)																																																																																																																																								
Kevyt polttoöljy																																																																																																																																								
<b>Merimatka</b>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																							
0 transport, freight, lorry >32 me...																																																																																																																																								
Merimatka																																																																																																																																								

Kuvio 6. Flow-työkalun skenaarionäkymä.



Kuvio 7. Flow-työkalun skenaariot vertailussa.

Sharen yksi rajoitteista on, ettei se tunnista kaikkia EcoInvent-tietokannan prosesseja, eikä tietokantaan voi tehdä minkäänlaista alueellista tai toiminnallista rajausta, joten ehdotetut prosessit eivät vastaa Suomessa vallitsevaa tilannetta. Tällainen mallinnus ja ”mitä jos” -skenaariot eivät vastaa tällä hetkellä todellista tilannetta, eivätkä siksi ole vertailukelpoisia. Yllä esitetty Flow-malli toimii siis harjoituskappaleena, mutta todellista hyötyä sillä ei saada.

## 5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

### 5.1 Organisaation hiilijalanjälkilaskennan tulokset

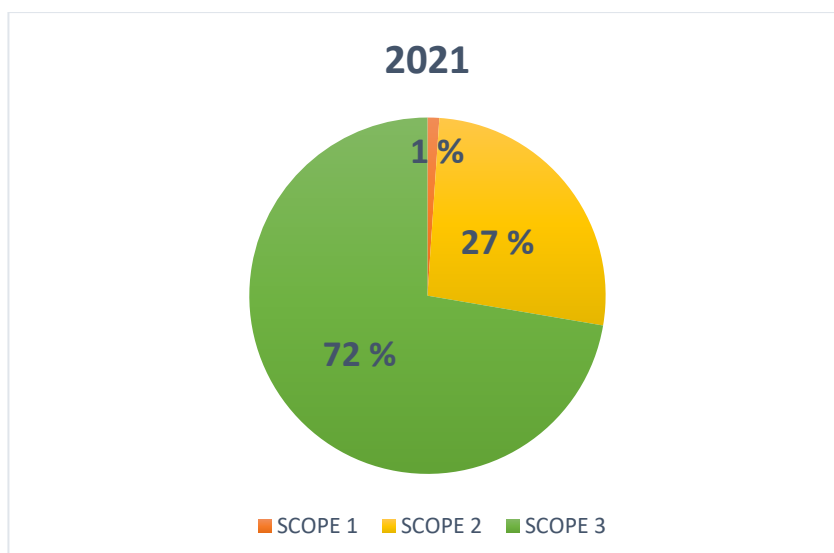
Inventoinnin ja vaikutusarvioinnin tulokset yhdistettiin ja taulukkoon 2. koottiin yrityksen kokonaispäästöt vaikutusluokittain ja vaikutusluokka 3 kategorioittain. Kasvihuonekaasupäästöt on saatu kertomalla vuoden kulutustiedot niitä vastaavilla päästökertoimilla (liite 2.)

Päästölähde	tCO <sub>2</sub> e/2021	%
Vaikutusluokka 1	14	1 %
Vaikutusluokka 2	353	27 %
Vaikutusluokka 3		72 %
K1 Ostetut tuotteet ja palvelut	817	
K4 Ostetut kuljetukset	117	
K5 Jätteet	24	
Yhteensä	1325	100 %

Taulukko 2. Organisaation päästöt vuodessa

Kuviossa 8 nähdään kasvihuonekaasupäästöt vaikutusluokittain. Vaikutusluokan 1 päästöt ovat kokonaisuudessa vähäiset, sillä päästöjä syntyi vain lämmitysöljyn kulutuksesta ja yrityksen omista ajoneuvoista. 27 % vuotuisista päästöistä syntyy sähkökulutuksesta. PKS:n päästökerroin sähkölle ei ole CO<sub>2</sub>ekvivalenttia, ja sisältää vain hiilidioksidin ilmastoa lämmittävän vaikutuksen. Päästökerroin, jossa on otettu huomioon kaikkien kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus, voi olla hieman suurempi.

Suurin osa päästöistä, 72 % syntyy vaikutusluokassa 3. Vaikka vaikutusluokka 3 sisällyttäminen onkin organisaation hiilijalanjäljen laskennassa GHG-protokollan mukaan vapaaehtoista, täytyy laskennan kuitenkin olla lopputuloksen kannalta kattava. Vaikutusluokkaa 3 tulee tarkastella kokonaisuudessaan niin, että kaikki merkittävät päästölähteet sisällytetään laskentaan.



Kuvio 8. Organisaation hiilijalanjäljen jakauma vaikutusluokittain.

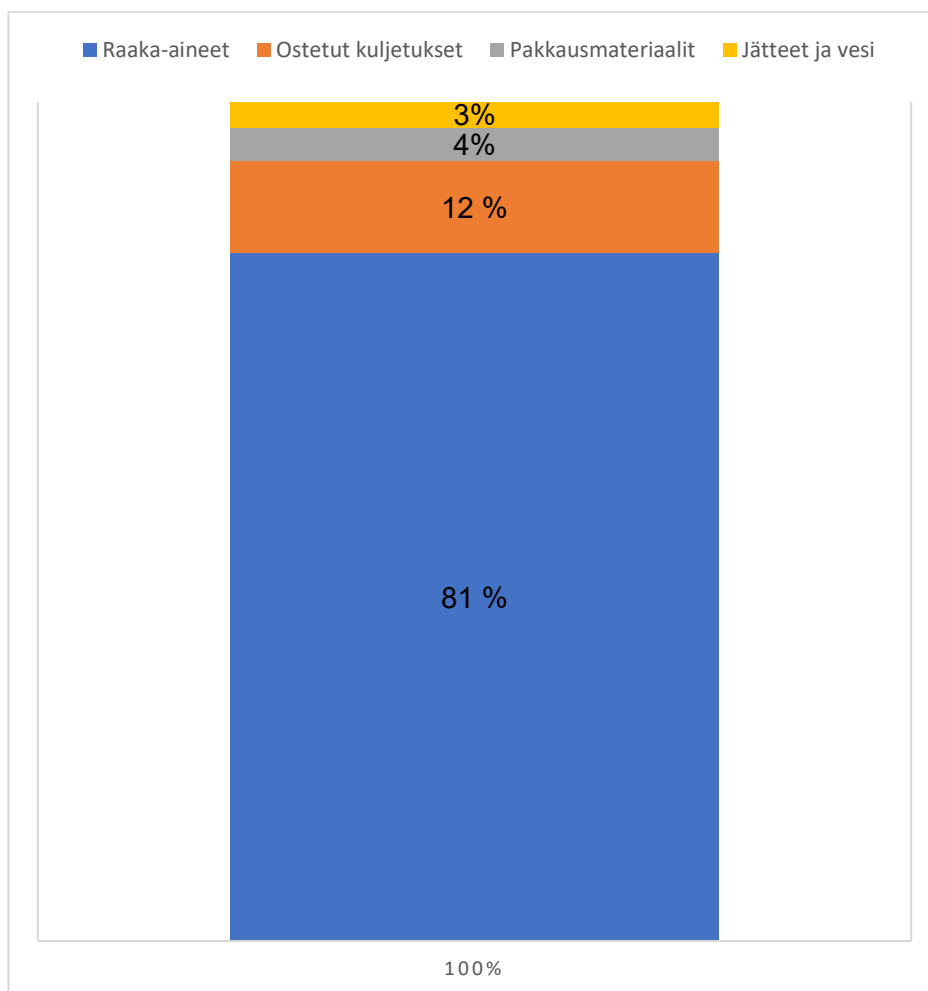
Kuviossa 9 on esitetty vaikutusluokan 3 kategoriat. Suurin osa, eli 81 % päästöistä tulee raaka-aineista, joissa on käytetty päästökerrointa muovin valmistusvaiheessa. Muovin ja muiden raaka-aineiden kuljetukset, eli yrityksen ostamat kuljetukset muodostavat 12 % vaikutusluokan 3 päästöistä. Pakkausmateriaaleina käytetään kalvomuovia ja pahvia, joiden osuus on 4 %. Yrityksessä menee vuodessa myös paperia toimisto- ja pakkausmateriaalina.

Kalvomuovin päästökertoimenä on käytetty Ecolnvent-tietokannan päästökerrointa pakkauksiin tarkoitetulle kalvomuoville, joka on matalatiheyspolyeteenia. Kalvomuovin päästökerroin on 57 % korkeampi kuin korkeatiheyspolyeteenigranulaatin, koska siinä on otettu huomioon kalvomuovin valmistuksen aikaiset päästöt, sekä kuljetus asiakkaalle. Poiston aikaisia päästöjä ei ole päästökertoimessa huomioitu, mutta opinnäytetyön laskuissa ne on huomioitu erikseen jätteet kohdassa.

Jätteiden ja vedenkäytön osuus jää pieneksi. Veden osuus on 0,01 %, jätteiden 2,4 % ja vaarallisten jätteiden 0,11 %, eli yhteensä 2,52 %. Jos näiden osuus lasketaan koko vuoden päästöistä, ovat ne vain 2 % luokkaa. Jätteiden päästöt perustuvat pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin ja niiden oletuksena kierrätysasteen oletetaan olevan korkea. Esimerkiksi polttoon päätyessään jätteiden päästöt kasvavat merkittävästi.

Laskennassa jätemuoville käytettiin päästökerrointa (liite 2) 367 kg CO<sub>2e</sub> ja kalvomuoville 70 kg CO<sub>2e</sub>, jotka ovat tarkoitettu kierrätettävälle muovijätteelle. Eri päästökertoimet johtuvat näiden muovien eri kierrätyspaikoista. Kalvomuovin kierrätyspaikka on Pohjois-Karjalassa, joten kuljetuksen aikaisia päästöjä ei juuri tule. Kalvomuovin päästökerroin on esitetty HSY:n pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmissa erilliskerättynä muovina. Päästökertoimet on laskettu vain siitä pisteestä eteenpäin, kun materiaali on muuttunut jätteeksi. Y-Hiilarissa esitetään polttoon päätyvälle muovijätteelle Tilastokeskuksen vuoden 2019 päästökerrointa 1850 kg CO<sub>2e</sub>. Jos yrityksellä syntyvää muovijätettä ei saataisi kiertoon, vaan poltettaisiin, muovijätteestä syntyvät päästöt moninkertaistuisivat.

Laskelma ei ota huomioon eroja kuljetuksien välillä, eikä tarkastele kuljetusyrityksen toimintatapoja reittivalintojen, ajo- tai kuormaustapojen välillä. Kuljetustietoja voi myöhemmin tarkentaa mm. selvittämällä tarkan kuorman asiakasta kohden, sekä päästökertoimiin tai mitattuun energiankulutukseen perustuvaan kuormausasteeseen ja ajoneuvoluokkaan. (Vainio 2018, 16–18.) Tässä tapauksessa kilometrit laskettiin tiematkoina, meriliikenne voitaisiin erotella laskuihin. Merimatkojen erottelu laskuihin madaltaisi kuljetusten aiheuttamia kokonaispäästöjä, konttialuksen päästökertoimen ollessa verrattain matala 0,042 kg CO<sub>2</sub>e/tkm (VTT Oy 2017a). Kuljetuksia tulee vuodessa kuitenkin niin monta kertaa eri osoitteista, että merimatkojen lisääminen tiematkojen oheen olisi vaatinut enemmän tutustumista reitteihin ja kuljetusyritysten tapoihin, joten ne on tästä laskennasta jätetty pois.



Kuvio 9. Vaikutusluokan 3 päästöt.

Kun kaikkien vaikutusalueiden tulokset on summattu yhteen, voidaan tulosta tarkastella esimerkiksi tuotantomäärien suhteen. Kun vuotuiset päästöt jaetaan vuodessa käytetyllä muovimäärällä, saadaan tulokseksi, että vuonna 2021 yhden muovikilon valmistaminen aiheutti 2,6 kg CO<sub>2</sub>e, kun muovia kulutettiin 501 000 kg. Tässä laskentatavassa kaikki päästöt on allokoitu muovikiloa kohden eikä ole eritelty inhimillisten tekijöiden aiheuttamia ja suoran tuotantoketjun aiheuttamia päästöjä. Näitä voitaisiin erotella esimerkiksi jätteiden ja veden käytön osalta. Toisaalta työntekijöiden toiminta on välttämätöntä tuotteiden valmistamiseksi, joten näin tarkkaan laskentaan sopii paremmin jokin toinen metodiikka, kuten esimerkiksi elinkaarianalyysi. Tässä laskentatavassa ei myöskään ole eritelty erilaisia muovilaatuja, vaan se kuvaa näiden keskiarvoa.

## **5.2 Tuotteen hiilijalanjälkilaskennan tulokset**

Tämän laskennan vaikutusluokkana on ilmastonmuutos ja inventaarioanalyysin tuloksia tarkastellaan kasvihuonekaasujen määrää toiminnallista yksikköä kohti. Karakterisointimallina toimii IPCC100a, joka arvioi vaikutusluokkaa ja laatii karakterisointikertoimeksi ilmaston lämpenemispotentiaalin kunkin kasvihuonekaasun osalta. Vaikutusluokan indikaattorituloksena saadaan siis kg CO<sub>2</sub>e. Laskennassa huomioidaan raaka-aineet, energian kulutus, kuljetukset toimittajakohtaisesti, sekä pakkausmateriaalit, kalvomuovi ja pahvi.

### **5.2.1 Ruiskuvaluprosessi**

Liitteessä 4. on ruiskuvalumalli suomalaisella sähköllä ja kevyellä polttoöljyllä, muita prosesseja ei ole muutettu. Ensimmäinen kuva osoittaa tässä työssä käytetyn ruiskuvaluprosessin, jälkimmäinen on alkuperäinen muokkaamaton malli. Ruiskuvaluprosessiin on valittu Electricity, medium, voltage (FI), sillä sen päästökerroin, 257 g CO<sub>2</sub>e/kWh on lähellä Pohjois-Karjalan Sähkön ilmoittamaa 235 g CO<sub>2</sub>/kWh (liite 3).

1000 kg ruiskuvalettua muovia vaatii 2,99 MWh sähköä ja 0,07 MWh kevyttä polttoöljyä, kun jaetaan käytetyn energian osuus vuodessa kulutetulla muovilla. Ruiskuvaluprosessi SimaProssa sisältää 0,006 % häviön, joka tarkoittaa, että yhdestä kilosta raaka-ainetta saadaan 0,994 kg valmista tuotetta. Prosessi on mallinnettu Euroopan alueella tapahtuvaan ruiskuvaluun. Ruiskuvaluprosessi aiheuttaa 454 t CO<sub>2</sub>e päästöjä, kun polymeerejä prosessoidaan 501 t. Liitteessä 4. näkyy pyörityksestä johtuen, että 1000 kg ruiskuvalettua muovia aiheuttaa 909 kg CO<sub>2</sub>e päästöt, joka aiheuttaisi kokonaispäästöt 909 kg CO<sub>2</sub>e\*501 t = 455 t CO<sub>2</sub>e.

Vertailun vuoksi organisaatiolaskelmassa sähkön ja kevyen polttoöljyn aiheuttamat hiilidioksidipäästöt olivat yhteensä 362 t CO<sub>2</sub>e. Tässä laskussa niiden päästöt ovat yhteensä 397 t CO<sub>2</sub>e. Kun vähennetään ruiskuvaluprosessin aiheuttamista päästöistä energian osuus, saadaan ruiskuvaluprosessin sisäinen kuormitus. Ecolinventin ruiskuvaluprosessi laskee 57 t lisää päästöjä vuodessa sen sisäisistä materiaaliprosesseista,

$$454 \text{ tCO}_2\text{e} - 397 \text{ tCO}_2\text{e} = 57 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Nämä sisällytetyt materiaalit/prosessit ovat muun muassa ruiskuvaluprosessin vaatimia panoksia, eli kemikaaleja ja voiteluaineita. Panosten lisäksi muodostuu päästöjä. Päästöjä syntyy ilmaan vesihöyryinä ja vesistöön päästessään ruiskuvalun aiheuttamat päästöt huonontavat luonnonvesistöjen kemiallista hapenkulutusta ja lisäävät humuspitoisuutta. Prosessiin on myös lisätty automaattisesti vaarallisia jätteitä, sekajätettä ja jätemuovia. Alle on listattu esimerkiksi osa panoksista ja tuotoksista ja päästöistä. Määrät on laskettu toiminnalliselle yksikölle 1000 kg.

Panokset	Määrä	Yksikkö
Chemical, organic {GLO}  market for   Cut-off, U	12,8	kg
Lubricating oil {RER}  market for lubricating oil   Cut-off, U	3	kg
Solvent, organic {GLO}  market for   Cut-off, U	44,7	kg
Titanium dioxide {RER}  market for   Cut-off, U	1,99	kg

Taulukko 3. Ruiskuvalun sisäiset panokset

Päästöt	Minne	Määrä	Yksikkö
Vesihöyry	Ilmaan	4,3	m <sup>3</sup>
COD, Kemiallinen hapenkulutus	Vesistöön	0,000092	kg
DOC, Liuennut orgaaninen hiili	Vesistöön	3437	kg

Taulukko 4. Ruiskuvalun sisäiset päästöt

Jätteet	Määrä	Yksikkö
Hazardous waste, for underground deposit {GLO}  market for   Cut-off, U (Vaarallinen jäte)	0,00003	kg
Municipal solid waste {RER}  market group for municipal solid waste   Cut-off, U (Yhdyskuntajäte)	0,8	kg
Waste plastic, mixture {RER}  market group for waste plastic, mixture   Cut-off, U (Jätemuovi)	5,67	kg

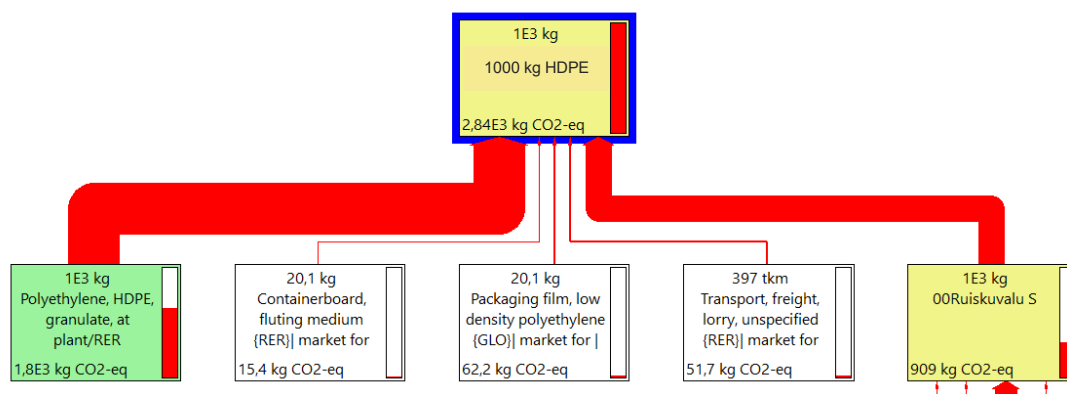
Taulukko 5. Ruiskuvalun sisäiset tuotokset

Aineita, kuten liuottimia, stabilointiaineita, pigmenttejä, kaoliinia, kalkkia, talkkia, täyteaineita ja vaarallisia jätteitä, ei tarvita muiden polymeerien kuin PVC:n käsittelyyn, mutta ne sisältyvät keskimääräiseen EcoInvent-aineistoon ja vaikuttavat tässäkin tuloksessa. (Elduque, Javierre, Elduque & Fernández 2015.)

## 5.2.2 Polymeerin prosessointi

Alussa laskettiin jokaisen muovin toimittajakohtaiset ympäristövaikutukset 1000 kg kohti, jotta jokaiselle muoville saatiin keskiarvo kuvaamaan sen aiheuttamia ilmastopäästöjä. Esimerkiksi alla näkyvään muovin elinkaareen (kuvio 10) lisättiin polyeteenin osuus, pakkausten osuus, kuljetus ja ruiskuvalu. Elinkaarien yhtenäisenä tekijänä on ruiskuvaluprosessi ja pakkausmateriaalit, kuljetusmatka ja muovilaatu vaihtelee. Matkan osuus laskettiin muovin lähtöpaikasta suomalaiselta varastolta, 397 km, joten 1000 kg kohti 397 tkm. Näin laskettuna muovituotteen, jonka massa on 1 kg hiilijalanjälki on 2,84 kg CO<sub>2e</sub>. Kuvasta rajattiin pois ruiskuvaluun sisältyvät prosessit.





Kuvio 10. SimaPro-mallinnus.

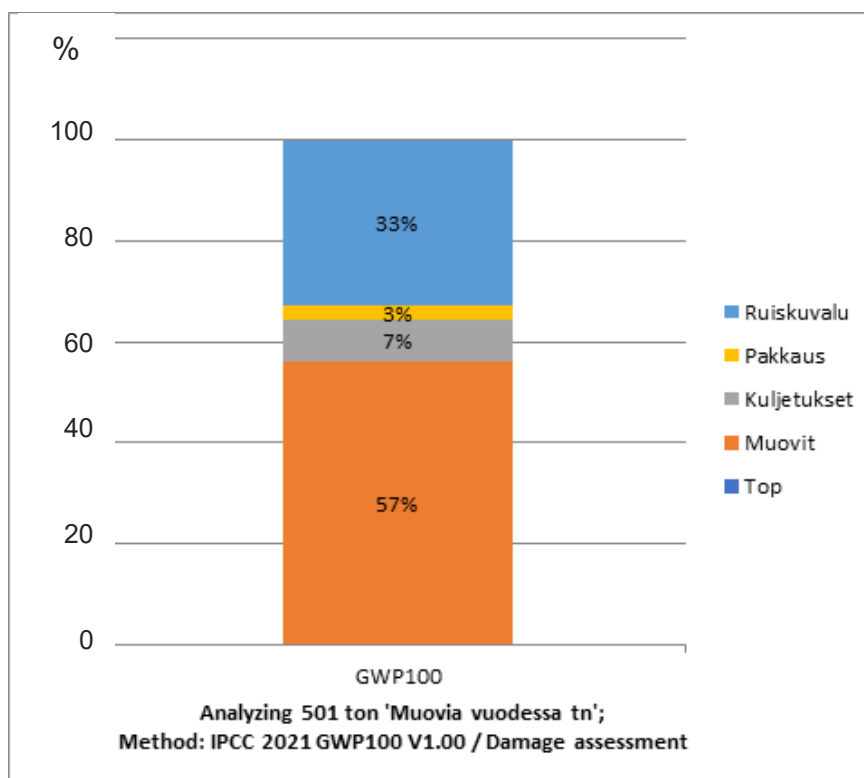
Kun jokaiselle muoville tehtiin kuvion 10 mukainen koonti, ne yhdistettiin elinkaarianalyysin tavoitteiden mukaisesti, jotta saatiin vuoden kokonaispäästöt. Liitteessä 6 on esitetty eri muovilaadut numeerisilla arvoilla 1–8. Muovilaatuja on 3 erilaista, polyeteeni, polypropeeni sekä kierrätetty polyeteeni. Kierrätetty muovi on tosiasiaa kierrätettyä polypropeenia, mutta sitä ei ollut SimaPron kirjastoissa, joten valittiin kierrätetty polyeteeni. Muovien hiilidioksidipäästöt kilogrammoissa vaihtelivat 1,7 kg CO<sub>2</sub>e–2,9 kg CO<sub>2</sub>e. Laskennallisesti alhaisin määrä on väriaineella, sillä niille ei ole lisätty tiedettyjä kuljetuksia. Suurin hiilidioksidipäästö, 2,9 kg CO<sub>2</sub>e on muovilla, jolle on laskettu pisin kuljetusmatka.

### 5.2.3 Kokonaispäästöt

Kaikista muovilaaduista tehtiin lopussa kokoonpano, joka vastaa vuoden aikaisia päästöjä. Lasketun mallin mukaan muovituotteiden valmistuksen vuoden aikaiset päästöt ovat 1 360 t CO<sub>2</sub>e (liite 6). Joten muovikilolle laskettuna

$$1360 \text{ t CO}_2\text{e} / 501 \text{ t} = 2,71 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Vuoden aikaiset polymeerinprosessointiin liittyvät ilmastopäästöt on esitetty kuviossa 11 57 % eli 775 t CO<sub>2</sub>e päästöistä syntyy raaka-aineiden valmistuksesta, 33,4 % eli 454 t CO<sub>2</sub>e ruiskuvaluun liittyvästä prosessista, 6,8 % eli 93 t CO<sub>2</sub>e kuljetuksista ja 2,8 % eli 38 t CO<sub>2</sub>e pakkausmateriaaleista.



Kuvio 11. Muovituotteen valmistamisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt.

Organisaatiolaskelmassa yrityksen kaikki päästöt jäivät vähäisemmäksi, 1325 t CO<sub>2</sub>e. Erot johtuvat valituista päästökertoimista, niiden sisältämistä ympäristökuormituksista ja ruiskuvaluprosessin aiheuttamasta ympäristökuormituksesta. Kun verrataan organisaation vuoden aikaisiin päästöihin GHG-protokollan mukaisesti laskettuna, ovat polymeerin prosessoinnin aiheuttamat päästöt 25 t CO<sub>2</sub>e suuremmat. Polymeerin prosessointi ei sisällä jätteiden, veden käytön eikä yrityksen ajoneuvojen aiheuttamia päästöjä. Näiden osuus organisaatiolaskelmassa oli yhteensä noin 29 t CO<sub>2</sub>e, jolloin polymeerin prosessoinnin vuoden aikaiset kokonaispäästöt nousisivat 1389 t CO<sub>2</sub>e, jos tuloksia yhdisteltäisiin.

Liitteessä 5. on esitelty polymeerin prosessoinnin päästökertoimet. EcoInventin päivityksen takia esimerkiksi sähkön ja kevyen polttoöljyn päästökertoimet nousivat, EcoInventin aikaisempi päästökerroin sähkölle Suomessa oli 243 kg CO<sub>2</sub>e, nyt se on 257 kg CO<sub>2</sub>e. Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa päästökerroin kevyelle polttoöljylle on 0,255 kg CO<sub>2</sub>e/kWh ja EcoInventin tietokannassa se on jo 0,331 kg CO<sub>2</sub>e/kWh. Jos polttoöljyä kuluu 36 MWh vuodessa, on erotus päästöissä 2 736 kg CO<sub>2</sub>e. Erotusten vaikutus kasvaa, kun niitä on useassa kohdassa.

Hakulinen (2010) on laskenut Medisize Oy:lle hiilijalanjäljen. Medisize Oy on terveydenhuoltoalan ja terveysteknologian tuotesuunnitteluun ja valmistukseen erikoistunut muovikomponenttien valmistaja (Phillips-Medisize 2022). Kontiolahden tehtaalla on ollut vuonna 2010 noin 300 työntekijää, ja muovia kulunut vuodessa noin 1,5 miljoonaa kiloa.

Hakulisen työssä hiilijalanjäljen laskeminen on toteutettu PAS 2050 -ohjeistusta (Publicly Available Specification) käyttäen. Laskenta on toteutettu B2B-metodilla (Business to business), johon sisällytetään tuotannon aikaiset päästöt ja kuljetus asiakkaalle. Työssä hiilijalanjälkeen vaikuttavat toiminnot on rajattu viiteen eri ryhmään, energian kulutukseen, saapuviin kuljetuksiin, liikematkustamiseen, jätteisiin ja tieliikenteeseen. Työntekijöiden työmatkoja ei ole sisällytetty lopputulokseen.

Jos Hakulisen mallissa laskettaisiin kokonaispäästöt jaettuna vuodessa käytetyllä muovilla, päästöjä syntyisi kilogrammaa kohti

$$\frac{2\,798\text{ t CO}_2e}{1\,500\text{ t}} = 1,87\text{ kgCO}_2e$$

Laskussa ei kuitenkaan ole otettu huomioon raaka-aineen valmistamisesta johtuvaa ympäristökuormitusta. Jos tähän laskuun lisättäisiin raaka-aineiden (polypropeenin päästökerroin 1 630 kg CO<sub>2</sub>e) valmistuksen aiheuttamat päästöt, yhteensä 2 445 t CO<sub>2</sub>e, ja sisällyttäisi laskuun energiankulutuksen, saapuvat kuljetukset, jätteet ja tehtaan omistamat ajoneuvot, yhteensä 2145 t CO<sub>2</sub>e (Hakulinen 2010, 24.)

Tällöin hiilidioksidipäästöt tuotettua kiloa kohti olisi 3,06 kg CO<sub>2</sub>e. Näitä tuloksia ei voida vertailla sellaisenaan, sillä laskelmat on tehty eri vuosina eriävillä tiedoilla, eikä Medisizen raaka-aineista ole tietoa. Tämä arvio skaalaa kuitenkin tulokset samalle tasolle, joka osoittaa tuotetun kilon aiheuttavan ilmastopäästöjä n. 3 kg CO<sub>2</sub>e.

### 5.3 Lopuksi

Lopussa yhdistettiin vaikutusarvioinnin tulokset, tehtiin johtopäätökset, mietittiin mitä tuloksille tehdään ja annettiin toimenpidesuosituksia. Taulukossa 6. näkyy molempien laskujen lopputulos. Organisaation hiilidioksidipäästöt vuodessa GHG-protokollan mukaisesti laskettuna ovat 1325 t CO<sub>2</sub>e ja polymeerin prosessoinnista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vuodessa SimaPro-ohjelmistoa käyttäen 1360 t CO<sub>2</sub>e.

Päästöt vuodessa	1 kg muovia			
Organisaatio	1325	tCO <sub>2</sub> e	2,6	kgCO <sub>2</sub> e
Polymeerin prosessointi	1360	tCO <sub>2</sub> e	2,7	kgCO <sub>2</sub> e

Taulukko 6 Hiilijalanjälkilaskujen tulokset rinnakkain

Painoarvoltaan suurin päästölähde on käytettyjen raaka-aineiden valmistuksen aiheuttama kuormitus, sekä tuotteen elinkaaren aikana, että organisaation vuoden aikaisissa päästöissä. Selkeimmät päästövähennykset saavutettaisiin, jos kierrätetyn muovin osuutta tuotannossa lisättäisiin, mutta luonnollisesti raaka-aineet eivät ole päästövähennystavoitteen kohteena, kun yrityksellä on kasvutavoite. Tässä kohdassa päästövähennyksiin tulisi pyrkiä raaka-aineiden valmistajien.

Painoarvoltaan seuraavaksi suurin päästölähde on energiankulutus. Kevyt polttoöljy on sisällytetty molempiin laskuihin, mutta sen osuus energiankulutuksesta on huomattavasti pienempi kuin suorasähkön. Suuria muutoksia ei pääse syntymään ihmisten tekemien valintojen suhteen energiankulutuksessa, vaikka kaikki energia ei suoraan polymeerin prosessointiin kohdistukaan. Erona ExxonMobilin tutkimukseen (kuvio 3) on, ettei yritys käytä jäähdytystä tuotannossaan, josta syntyy kyseisen tutkimuksen mukaan 11 % päästöistä. Kun lämmitykseen käytetään tuotannosta aiheutuvaa hukkalämpöä, eikä tiloja jouduta jäähdyttämään koneellisesti, eivät lämmityksen ja jäähdytyksen aiheuttamat päästöt ole suuret.

Erilaisten laskutapojen ja päästökertoimien vuoksi suositellaan tulosten tarkastelemista toisiaan tukevin kokonaisuuksina. Ettei käytössä ole useaa eri päästökerrointa, täytyy päättää mitkä tulokset ovat organisaation toimintaa parhaiten vastaavia. Organisaation hiilijalanjälkilaskelma sisältää jo kaikki päästöt, joista osaa ei polymeerin prosessoinnissa käytetty. Tämän vuoksi organisaation päästökertoimessa voitaisiin huomioida ruiskuvaluprosessin osuus vuodessa, eli 57 t CO<sub>2</sub>e per 501 tn muovia, jolloin kokonaispäästöt nousevat 1382 t CO<sub>2</sub>e. GHG-protokollan ohjeen mukaan tuotanto, joka ei kuulu vaikutusluokkiin 1 tai 2, voidaan sijoittaa vaikutusluokan 3 kategorian 1 alle. Ruiskuvalun lisääminen nostaa vaikutusluokan 3 päästöt 73 % organisaation kokonaispäästöistä (kuvio 8) ja kattaa 8 % vaikutusluokan 3 päästöistä.

Kuljetuksien päästöjen suhteen tulee olla kriittinen, sillä organisaatiolaskennassa sisällytettiin kaikki tiedetyt kuljetukset vuoden aikana, jolloin päästöjä syntyy 117 t CO<sub>2</sub>e. Tuotteen elinkaareissa huomioitiin vain ne kuljetukset, jotka suoraan vaikuttavat tiettyyn muoviin, syntyy päästöjä 93 t CO<sub>2</sub>e. Massaltaan 15 t jakelukuorma-autolle annetaan Y-Hiilarissa päästökerroin 0,05 kg CO<sub>2</sub>e/tkm ja 60 t perävaunulliselle yhdistelmälle 0,03 kgCO<sub>2</sub>e/tkm.

Nämä ovat Lipasto-tietokannasta saatuja päästökertoimia (VTT Oy 2016.) Opin- näytetyön laskuissa on käytetty EcoInvent-tietokannasta saatuja päästökertoimia tulosten yhtenäistämiseksi, koska SimaProssa ei suomalaisia päästökertoimia ole. EcoInventin päästökertoimet kuorma-autolle on 0,131 kg CO<sub>2</sub>e/tkm ja perävaunurekalle 0,09 kg CO<sub>2</sub>e/tkm. Jos käytettäisiin VTT:n julkaisemia päästökertoimia, kuljetusten aiheuttamat päästöt tippuisivat huomattavasti.

Maantiekuljetus	Yhteensä tkm	CO <sub>2</sub> ekv <sub>täysi</sub> (kg/tkm)	Yht. kg CO <sub>2</sub> e
Kuorma-auto (15 t)	175 709	0,131	23 018
Perävaunurekka	1 043 971	0,09	83 518
Yhteensä			117 tkg CO <sub>2</sub> e

Taulukko 7. Maantiekuljetukset käytetyillä päästökertoimilla.

Maantiekuljetus	Yhteensä tkm (t x km)	CO <sub>2</sub> ekv <sup>täysi</sup> (kg/tkm)	Yht. kg CO <sub>2</sub> e
Kuorma-auto (15 t)	175709	0,05	8785
Perävaunurekka	1 043 971	0,03	31319
Yhteensä			40 tkgCO <sub>2</sub> e

Taulukko 8. Maantiekuljetukset Lipaston päästökertoimilla.

Yritys on tässä tapauksessa valmistanut tuotteen ja sen jatkokäyttö tai jatkojalostus on ostajatahon vastuulla, eikä se voi vaikuttaa kuinka tuotetta tullaan käyttämään. Koska kyseessä on alihankintayritys, on tuotteen tilaajan vastuulla tuotteen oikeaoppinen säilytys, käyttö ja hävitys. Jatkossa päästöjen seuraaminen on mahdollista yritykselle luodun yhteenvedon avulla, joka toimii kasvihuonekaasulaskurina. Vaikutusluokan 3 kategorioista kuuluu tähän laskuun vain 1, 4 ja 5. Myöhemmin voitaisiin tutkia päästöjä esimerkiksi työntekijöiden työmatkoista, muusta liikematkustuksesta tai tuotteiden jatkoprosessoinnista, käytöstä tai käytöstä poistosta.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyötä tehdessä etsittiin tietoa niin standarditeksteistä, kirjallisuudesta, kuin opinnäytetöistä. Kokon opinnäytetyö (2012) antoi hyvän pohjan sille, kuinka lähteä suunnittelemaan hiilijalanjälkilaskentaa. Kokon työssä tarkastellaan ja vertaillaan kolmen eri ohjelmiston ominaisuuksia ja sen tarkoituksena on helpottaa ohjelmiston valintaprosessia. Kokko kuvaa työssään ISO 14040 ja ISO 14044 mukaisen elinkaarimallinnuksen. Työssä on otettu esille ainevirtojen ja kuormitusten kohdentaminen, eli allokointi.

Yritys voi tuottaa useampaa tuotetta, tai jos eri linjastojen välillä on eroavaisuuksia raaka-aineensyötössä tai tuotoksissa, tällöin ainevirtoja ja kuormituksia joudutaan kohdentamaan. Menetelmä voi vääristää jonkun tuotannon osan painotusta kokonaisuuden kannalta, jos sen menetelmät tai tuotos merkittävästi eroaa muista tuotannon osista.

Allokointia käytettiin tässä opinnäytetyössä energia- ja kulutusperusteisesti. Perusteena on, että muovilaatujen läpikäymä ruiskuvaluprosessi on samanlainen, vaikka valmistuvat tuotokset ovat erilaisia. Yrityksellä on eri vuosimallia olevia koneita, eikä näiden koneiden energiankulutusta voida määritellä jokaista erikseen. Muovien valmistajat ovat tiedossa, joten on luonnollista, että raaka-aineen hankintaan liittyviä logistiikan päästöjen vaikutuksia ei jaettu eri muovien kesken. Jos esimerkiksi muovin värjäämiseen tai pakkausmateriaaleihin liittyen olisi tiedossa muovilaatukohtaista tietoa yrityksen puolesta, olisi tätä tietoa voitu hyödyntää.

Cheung, Leong, Jun ja Vichare (2017) kertovat kuinka muoviteollisuus on paineen alla kehittääkseen ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja pysyäkseen kilpailukykyisenä. Muovien ympäristövaikutukset ovat laajat. Muovi ei hajoa luonnollisesti, joka aiheuttaa suurta määrää jätettä. Tuotantonopeus edesauttaa jätteen määrän kasvua, etenkin jos joudutaan käyttämään neitseellistä materiaalia, eikä muoveille keksitä jatkokäyttömahdollisuuksia tuotteen elinkaaren lopussa.

Julkaisussa kerrotaan, että suuri osa muovituotteista valmistetaan ruiskuvaluprosessissa. Kuitenkaan prosessin ympäristövaikutuksista ei ole tehty paljon tutkimuksia. Julkaisun tarkoituksena onkin tutkia ruiskuvaluprosessin mahdollisia ympäristövaikutuksia muovin läpimenoajan avulla. Läpimenoaika kuvaa kaikkia niitä prosessin vaiheita, joita vaaditaan tuotteen valmistamiseen. Näiden vaiheiden energiankulutus on laskettu ja lisätty kuljetuksen aiheuttama ympäristörasite.

Yrityksen kokonaispäästöt vuoden 2021 aikana olivat 1382 t CO<sub>2</sub>e GHG-protokollan mukaisesti laskettuna, kun tuloksiin yhdistettiin ruiskuvalun aiheuttama ilmastokuormitus. Yksi kilogramma muovituotteita aiheuttaa keskimäärin 2,8 kg CO<sub>2</sub>e. Eri muovilaatujen päästöihin vaikuttaa tässä laskennassa muovin tyyppi, sekä kuljetusmatka. Suomen sisältä saatava kierrätysmuovi aiheuttaa pienimmät päästöt kilogrammaa kohden, 1,7 kg CO<sub>2</sub>e.

Hiilijalanjätkilaskennasta yritys saa arvokasta tietoa käyttöön, joka toimii sekä yrityksen sisäiseen kehittämiseen, kuin markkinointina asiakkaalle. Laskenta osoittaa yrityksen kiinnostuksen ympäristö- ja ilmastoasioihin, ja työ onkin tarkoitettu alaa kehittäväksi. Muovin ja etenkin muovijätteen ympäristövaikutukset on tunnistettu ja vastuullinen hävitys ja kierrätys on avainasemassa muovijätteen haitallisten ympäristövaikutusten hillitsemiseksi.

Yritys voi jatkaa hiilidioksidipäästöjen seuraamista laskentataulukon avulla. Laskuissa käytettiin paljon sekundäärilähteistä otettuja päästökertoimia, sillä toimittajakohtaista dataa ei ollut saatavilla. Laskennan tuloksista tulisi tarkempia, jos toimittajayritykset, kuten kuljetusyrietykset ja jäteyhtiö, ilmoittaisivat palveluilleen päästökertoimia.

Ruiskuvaluprosessi yleisesti ottaen kuluttaa paljon neitseellistä materiaalia ja energiaa, ja ne ovatkin hiilijalanjäljen suurimmat päästölähteet. Polymeerin prosessoinnin elinkaari tehtiin SimaProlla. Se on helppokäyttöinen ja sopii moneen erilaiseen laskentatapaan. Expert User -lisenssin tuomat lisämahdollisuudet tulivat tutuiksi opinnäytetyötä tehtäessä, mutta Flow ja Share eivät toimi vielä tällaisenaan kovin hyvin tämälntyyppiseen laskentaan. Ohjelmistovirheiden takia se ei tunnista kaikkia haluttuja prosesseja ja kaatuu helposti muutoksia tehtäessä. Kolmea skenaariota on lähes mahdoton tutkia rinnakkain.

Työ dokumentoitiin standardien ohjeiden mukaan ja laskennan aikaiset epävarmuudet huomioitiin tuloksissa. Valmiissa työssä selviää organisaation aiheuttamat ympäristövaikutukset, ja mitkä prosessit niitä aiheuttavat. Näiden tulosten avulla voidaan miettiä vähentämistavoitteita. Yrityksellä ei ollut lähtökohtaisesti selkeää vähentämistavoitetta, vaan tarkoitus oli tulosten perusteella määritellä, tarvitaanko niitä. Laskennan tuloksille ei löydy sopivaa vertailukohdetta, mutta tuotannon ja päästöjen suhde osoittaa, että yrityksen toimista aiheutuu noin 1 kg CO<sub>2</sub>e lisää päästöjä neitseelliseen raaka-aineeseen verrattuna, kun polyeeteenin päästökerroin on 1,8 kg CO<sub>2</sub>e/kg.

Arvot, jotka otetaan sekundäärilähteistä saattavat sisältää kierrätyksen aiheuttamia hyvityksiä. Materiaalien kierrätys ja uusiomateriaalien käyttö vaikuttavat



laskennan lopputulokseen positiivisesti. Virheitä saattaa syntyä, kun lainataan arvoja muualta, sillä laskelmia ei ole tehty samoissa olosuhteissa eikä samoilla rajauksilla. Tiedot voivat myös olla vanhentuneita. (Kuronen 2020, 23–24.) Laskentaohjelman allokointimenetelmillä voidaan kuitenkin vaikuttaa näihin hyvityksiin.

## Lähteet

- Applied Market Information, Tangram Technology. 2017. An Energy Saving Guide for Plastic Injection Molding Machines. ExxonMobile. 19.1.2022.
- Bhusal, S.R. 2021. Carbon footprint of polyethylene produced from CO<sub>2</sub> and renewable H<sub>2</sub> via MTO route. Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT. Degree Programme in Environmental Technology. Master's thesis. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202201041138>. 7.3.2022. 60,64.
- Cheung, Wai M., Leong, Jun T., Vichare, P. 2017. Incorporating lean thinking and life cycle assessment to reduce environmental impacts of plastic injection moulded products. *Journal of Cleaner Production*. Amsterdam: Elsevier Ltd. 167. 759–775.
- DOW. 2020. Intersections. ESG-Report. <https://corporate.dow.com/documents/about/066-00338-01-2020-esg-report.pdf>.
- Ecoinvent. About Ecoinvent. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/>. 24.1.2022.
- Elduque, A., Javierre, C., Elduque, D. & Fernández, Á. 2015. LCI Databases Sensitivity Analysis of the Environmental Impact of the Injection Molding Process. doi:10.3390/su7043792 9.3.2022.
- Euroopan komissio. 2012. Ekoinnovointi, Euroopan kilpailukyvyyn avain tulevaisuudessa <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/ecoinnovation/fi.pdf>. 24.1.2022.
- Green Carbon. 2021. Green Carbonin webinaarit, osa 6: PK-yrityksen hiilijalanjäljen hallinta. <https://greencarbon.fi/webinaarit/>. 2.2.2022.
- Green Carbon. 2021. Tuotteen hiilijalanjälki esimerkkiraportti. <https://greencarbon.fi/hiilijalanjaljen-laskenta/>. 23.1.2022.
- Greenhouse Gas Protocol. Global Warming Potential Values. [https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf). 8.3.2022.
- Hakulinen, H. 2010. Hiilijalanjäljen laskeminen Medisize Oy:n Kontiolahden tehtaalle. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201102081215>. 7.3.2022.
- Hyttinen, L. 2014. Uudelleengranuloidun muovimateriaalin vähentyneet ympäristövaikutukset ja kustannussäästöt. Karelia-ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201401301867>. 7.3.2022.
- Hämäläinen, R. 2020. GHG-protokollan mukainen kasviuonekaasupäästölaskenta infrahankkeelle, Case: Viinijärven ylikulkusilta. Savonia-ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020052614000>. 15.
- IATE. 2018. Tonne-kilometre. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Tonne-kilometre\\_\(tkm\)](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Tonne-kilometre_(tkm)). 8.3.2022.
- ICAEW Insights. 2021. Definitions: Can You tell your LCA from your carbon footprint. <https://www.icaew.com/insights/viewpoints-on-the-news/2021/jun-2021/netzero-can-you-tell-your-lca-from-your-carbon-footprint>. 21.1.2022.

- Ilmasto-opas.fi. 2012. Kasvihuonekaasut lämmittävät. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastomuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>. 24.1.2021.
- Keskuskauppakamari. Hiilijalanjäljen laskentaohjeet. <https://kauppakamari.fi/wp-content/uploads/2021/05/Ilmastositoumus-laskentaohje.pdf>. 27.09.2021.
- Kohvakka, J. & Lehtinen, L. 2018. Hyvä, paha muovi. Viite – Tieteen ja teknologian vihreät. 3.3.2018. <https://www.viite.fi/2018/03/03/hyva-paha-muovi/>. 23.1.2022.
- Kohvakka, J. & Lehtinen, L. 2019. Hyvä, paha muovi – vähennä viisaasti. Helsinki: Minerva Kustannus Oy. 82.
- Koistinen, V.-M. 2014. Monipesäisen ruiskuvalumuotin validointi. Karelia ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201403133106>. 7.3.2022.
- Kokko, J. 2012. Hiilijalanjätkiselvitys ja siihen käytettävän ohjelmiston valinta. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205076766>. 13.3.2022.
- Kuronen, O. 2020. Muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla urheilutapahumassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020061242923>. 13.3.2022.
- Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2008. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Lindroos, T., Ekholm, T. & Savolainen, I. 2012. Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen suhteellinen painotus ilmastopolitiikassa. Espoo: VTT.
- LyondellBasell. <https://www.lyondellbasell.com/en/sustainability/un-sustainable-development-goals/climate-action/>. 3.11.2021.
- MELITEK. 2021. MELITEK continues our green commitment. 9.2.2021. <https://www.melitek.com/News/News-archive-2021/MELITEK-continues-our-green-commitment>. 3.11.2021.
- Muoviteollisuus ry. Muovit kuuluu kiertoon. <https://www.muovikuuluukiertoon.fi/muovin-merkitys/muovin-tulevaisuus/>. 28.1.2022.
- Muoviyhdistys. 2016. Muovien työstö. <https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/18/osa-9-muovien-tyosto-ruiskuvalu/>. 13.2.2022.
- Niemistö, J. 2017. Elinkaariarvioinnin mahdollisuudet pkyrityksissä. <https://docplayer.fi/49462365-Elinkaariarvioinnin-mahdollisuudet-pkyrityksissa.html>. 3.11.2021.
- Oswald, T., Touring, L. & Gramann, P. 2002. Injection molding handbook. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, Inc.
- Phillips-Medisize. 2022. Huippuluokan terveysteknologiaa Itä-Suomessa. <https://www.phillipsmedisize.fi/>. 11.3.2022.
- Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2019. Komposiittirakenteet. [www.lujitemuovi.fi](http://www.lujitemuovi.fi). 7.3.2022.
- SFS-EN ISO 13485:2016. Terveystekniikan laitteet ja tarvikkeet. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset viranomaismääräyksiä varten.
- SFS-EN ISO 14001:2015. Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeita.
- SFS-EN ISO 14040:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.

- SFS ISO 14044:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.
- SFS-EN ISO 14067:2018. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki.
- SFS-EN ISO 16258:2014. Kuljetuspalvelujen energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen laskenta- ja ilmoitusmenetelmät (tavara- ja henkilökuljetukset).
- SFS-EN ISO 9001:2015. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset.
- Sjostedt, T. 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Sitra. 26.6.2018. <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarchoittavat/>. 8.3.2022.
- Suomen ympäristökeskus. 2017. Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaari-klinikkatoimintamallista pk-yrityksille. <https://www.syke.fi/download/noname/%7B032490FA-19DF-4E5A-A40F-88E22B86DA20%7D/132057>. 3.11.2021.
- Tambjerg, L. 2019. What is an Organisational Life Cycle Assessment (OLCA)?. Ecoact. <https://eco-act.com/carbon-footprint/organisational-life-cycle-assessment/>. 28.1.2022.
- Telko. 2020. Näin vähennät muovituotteiden kasvihuonekaasupäästöjä <https://www.telko.com/fi/blog/n%C3%A4in-v%C3%A4henn%C3%A4t-muovituotteiden-kasvihuonekaasup%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6j%C3%A4>. 24.1.2022.
- Thiriez, A. 2006. An environmental analysis of injection molding. Massachusetts Institute of Technology.
- Tilastokeskus. 2021. Polttoaineluokitus 2021.
- Tulevaisuuden työ -hankkeen esittely. <https://tulevaisuudentyo.karelia.fi/hankkeen-esittely/> 1.11.2021.
- Vainio, S. 2018. Okaria Oy:n kotimaan kuljetuksien hiilijalanjälki vertailu. Tiivistelmä. Turun ammattikorkeakoulu. Liiketoiminnan logistiikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018121922464>. 8.3.2022. 16–18.
- VTT Oy. 2016. Lipasto-yksikkötietokanta. Tieliikenne, tavaraliikenne.
- VTT Oy. 2017a. Lipasto-yksikkötietokanta. Vesiliikenne, tavaraliikenne, konttialukset. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/kontti.htm>. 9.3.2022.
- VTT Oy. 2017b. Lipasto-yksikkötietokanta. Tieliikenne, henkilöliikenne, bensiinikäyttöiset. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/habens.htm>. 9.3.2022.
- Vänskä, H. 2019. Muovi on mainettaan parempi materiaali. Lyreco. 9.9.2019. <https://lyreco.com/group/finland/fin/yritysvastuu/muovi-mainettaan-parempi-materiaali>. 23.1.2022.
- Ympäristöministeriö. 2021. Muovitiekartta Suomelle, Tietoa Muoveista. <https://muovitiekartta.fi/tietoa-muoveista/>. 19.11.2021.
- WRI & World Business Council for Sustainable Development. 2004. The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard. <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>. 7.3.2022.
- WRI & World Business Council for Sustainable Development. 2013. Greenhouse Gas Protocol. Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3\\_Calculation\\_Guidance\\_0.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf). 7.3.2022. 49.

## Yrityksen energiankulutustiedot

Numeeriset arvot piilotettu sinisistä soluista. Toimittajat piilotettu.

SCOPE 1 Suorat päästöt			
Päästölähde		2020	2021
<i>Omat kiinteistöt</i>	<i>Toimittaja</i>	<i>Kulutus</i>	
Kylmäaineen lisäys			
Lämmitys (Öljy) (litraa)			
Lämmitys (Öljy) (kWh)			
<i>Yrityksen ajoneuvot</i>	<i>Ajoneuvon tyyppi</i>	<i>litraa</i>	<i>litraa</i>
Polttoaineen kulutus (l)	Kuorma-auto (Diesel)		
	Hlö-auto (Bensa)		
	Hlö-auto (Diesel)		
SCOPE 2 Epäsuorat päästöt			
	<i>Toimittaja</i>	kWh	kWh
Sähkönkulutus			
Ostettu lämmitys (muu kuin sähkö)			
Ostettu jäähdytys			
SCOPE 3 Muut epäsuorat			
<i>K1 Ostetut tuotteet ja palvelut</i>			
<i>Raaka-aine</i>	<i>Toimittaja</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>
Muovi, Polyeteeni (kg)			
Muovi, Polypropeeni (kg)			
Muovi, muut (kg)			
Väriaineet (kg)			
Tampopainovärit (kg)			
Käyttövesi, jätevesi (m3)			
Pakkausmateriaali (kg)			
Muovi (kg)			
Pahvi (kg)			
Muu (kg)			
Paperi (toimisto/pakkaus) (kg)			
<i>K2 Käyttöomaisuus</i>	<i>Hankittu tuote</i>		
Investoinnit (kalusteet, laitteisto)	Ruiskuvälukone		
	Robotti		
<i>K5 Jätteet (kg)</i>			
Pahvi			
Paperi			
Energiajäte			
Muovi			
Kalvomuovi			
Puu			
Metalli			
Lasi			
<i>Vaaralliset jätteet</i>			
SER (kg)			
Kiinteä öljyjäte (kg)			
Jäteöljy (litraa)			
Jäähdytysneste (litraa)			

Ensimmäisen, kaksisivuisen liitteen toinen sivu

<i>K4 Ostetut kuljetukset</i>			
Raaka-ainekuljetukset ulkomailta	Ajoneuvon tyyppi	Lastin paino tn	krt vuodessa
Lähtöpaikka			
Raaka-ainekuljetukset kotimaasta	Ajoneuvon tyyppi		
Lähtöpaikka			
Muut	Ajoneuvon tyyppi	Lastin paino tn	
Määränpää			

## Käytetyt päästökertoimet

SCOPE 1 Suorat päästöt					
Päästölähde	Päästökerroin (CO <sub>2</sub> -ekv) 2021	Yksikkö	Lähde	Vuosi	Lisätieto
<b>Omat kiinteistöt</b>					
Kylmäaineen li-säys					
Lämmitys (Öljy)	0,255	kg/kWh	Polttoaineluokitukset. Ti-lastokeskus 2021.	2021	<a href="https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html">https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html</a>
Yrityksen ajoneuvot					
Polttoaineen kulutus	2,67	kg/l	SFS-EN 16258	2013	
	2,42	kg/l	SFS-EN 16258	2013	
	3,21	kg/kg	SFS-EN 16258	2013	
	3,25	kg/kg	SFS-EN 16258	2013	
SCOPE 2 Epäsuorat päästöt					
Sähkönkulutus	0,235	kgCO <sub>2</sub> /kWh	PKS	2020	Liite 3.
SCOPE 3 Muut epäsuorat					
K1 Ostetut tuotteet ja palvelut					
Raaka-aine					
Muovi, Polyeteeni	1800	kg/tn	Industry Data 2.0	2022	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER
Muovi, Polypropeeni	1 630	kg/tn	Industry Data 2.0	2022	Polypropylene, PP, granulate, at plant/RER
Kierrätys PP	727	kg/tn	EcolInvent3	2022	Polyethylene, high density, granulate, recycled {Europe without Switzerland}   market for polyethylene, high density, granulate, recycled   Cut-off, S
Muovi, muut	1 630	kg/tn	Industry Data 2.0	2022	Polypropylene, PP, granulate, at plant/RER
Väriaineet	1 630	kg/tn	Industry Data 2.0	2022	Polypropylene, PP, granulate, at plant/RER
Merkkausvärit	-				Ei vaikutusta
Käyttövesi, jätevesi	0,499	kg/m <sup>3</sup>	OpenCO2	2019	<a href="https://www.openco2.net/fi/paastokertoimet/tuote/vesi-jateveden-puhdistus/1724">https://www.openco2.net/fi/paastokertoimet/tuote/vesi-jateveden-puhdistus/1724</a>
Pakkausmateriaali					
Muovi	3 090	kg/tn	EcolInvent3	2 022	Packaging film, low density polyethylene {GLO}   market for   Cut-off, S
Pahvi	725	kg/tn	EcolInvent 3		Containerboard, fluting medium {RER}   market for containerboard, fluting medium   Cut-off, S
Muu	-				

Paperi (toimisto/pakkaus)	905	kg/tn	The Carbon Footprint of a magazine; VTT:n LEADER tutkimusprojekti	2007-2010	<a href="https://www.motiva.fi/files/6515/Ilmastolaskurissa_kaytetyt_oletukset_toimet_ja_arvot.pdf">https://www.motiva.fi/files/6515/Ilmastolaskurissa_kaytetyt_oletukset_toimet_ja_arvot.pdf</a>
<b>K5 Jätteet</b>					
Pahvi	60	kg/tn	Henna Teerihalme.	2018	Käytetty kerroin pohjautuu pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin.
Paperi	1050	kg/tn	Henna Teerihalme.	2018	Käytetty kerroin pohjautuu pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin.
Energiajäte	410	kg/tn			
Muovi	367	kg/tn	EcolInvent3	2022	Waste polyethylene, for recycling, sorted {Europe without Switzerland}  treatment of waste polyethylene, for recycling, unsorted, sorting   Cut-off, U
Kalvomuovi	70	kg/tn	Henna Teerihalme.	2018	Käytetty kerroin pohjautuu pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin.
Puu	143	kg/tn	Tilastokeskus, polttoaineluokitus 2019	2019	
Metalli	130	kg/tn	Henna Teerihalme.	2018	Käytetty kerroin pohjautuu pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin
Lasi	570	kg/tn	Henna Teerihalme.	2018	Käytetty kerroin pohjautuu pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin
<b>Vaaralliset jätteet</b>					
SER (kg)	720	kg/tn	Henna Teerihalme.	2018	Käytetty kerroin pohjautuu pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin
Kiinteä öljyjäte (kg)	1410	kg/tn	Henna Teerihalme.	2018	Käytetty kerroin pohjautuu pääkaupunkiseudun jätehuollon laskelmiin
Jäteöljy (litraa)	1410	kg/tn			
Jäähdytysneste (litraa)	1410	kg/tn			
<b>K4 Ostetut kuljetukset</b>					
Raaka-ainekuljetukset ulkomailta					
Perävaunurekka	0,09	kg/tkm	EcolInvent 3	2022	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RER}  transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6   Cut-off, S
Kuorma-auto	0,131	kg/tkm	EcolInvent 3	2022	Transport, freight, lorry, unspecified {RER}  market for transport, freight, lorry, unspecified   Cut-off, S



## PKS:n myymän sähkön energiajakauma

(PKS 2021.)



PKS:n myymän sähkön energialähdejakauma 2020	
Fossiiliset energialähteet ja turve	36,0 %
Uusiutuvat energialähteet	33,5 %
Ydinvoima	30,5 %
Yhteensä	100 %

Sähkön ominaispäästöt:	
Hiilidioksidi	235 g CO <sub>2</sub> /kWh
Käytetty ydinpolttoaine	1,49 mg U/kWh

Muut erittelyt (sisältyvät yllä oleviin lukuihin):	
ETA-alueen ulkopuolinen tuonti, Venäjä	0,0 GWh
Ostettu tukkusähkömarkkinoilta	404,3 GWh

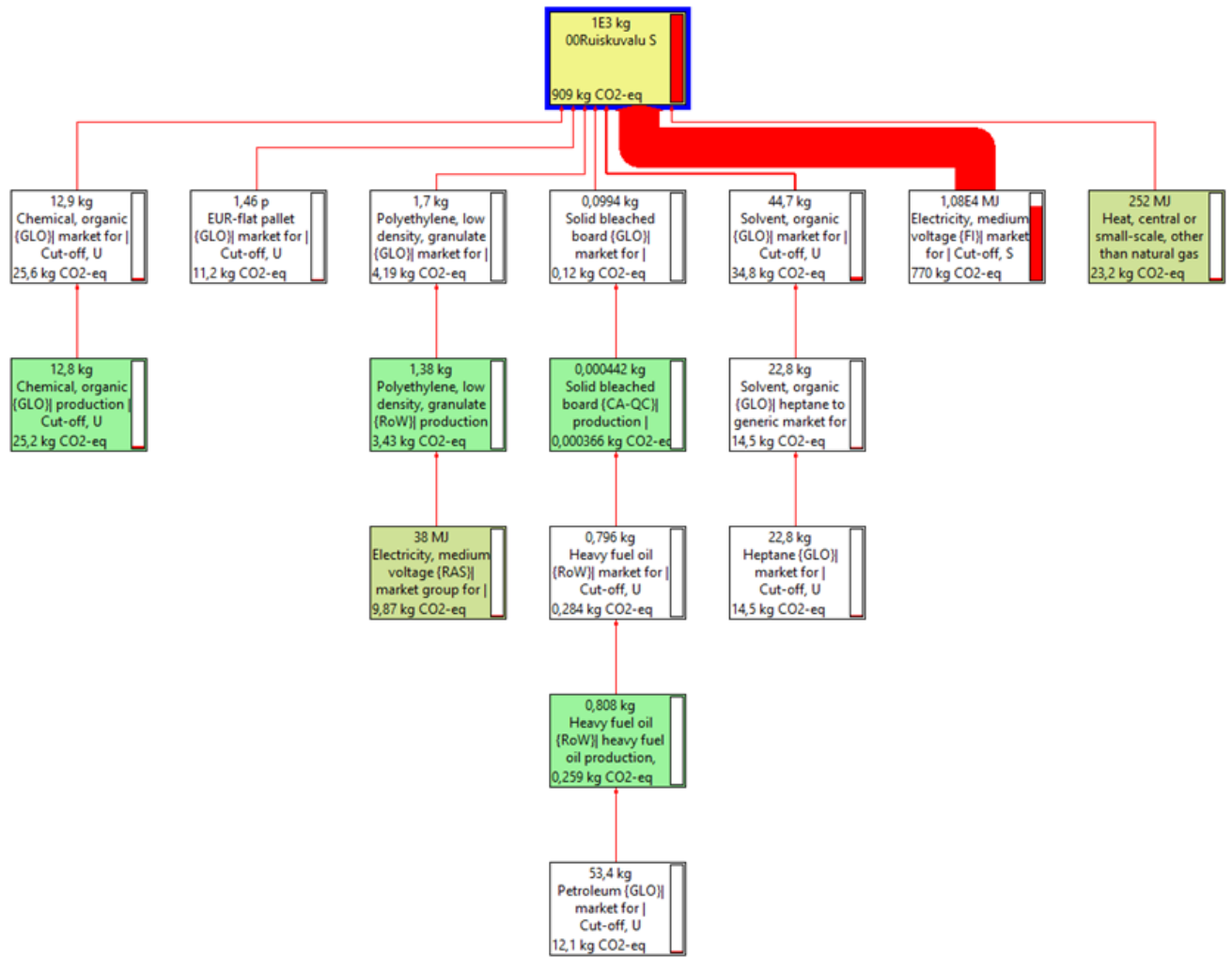


PKS:n myymän sähkön energialähdejakauma 2019		GWh
Fossiiliset energialähteet ja turve		40,5 %
Uusiutuvat energialähteet		35,4 %
Ydinvoima		24,1 %
Yhteensä		100 %

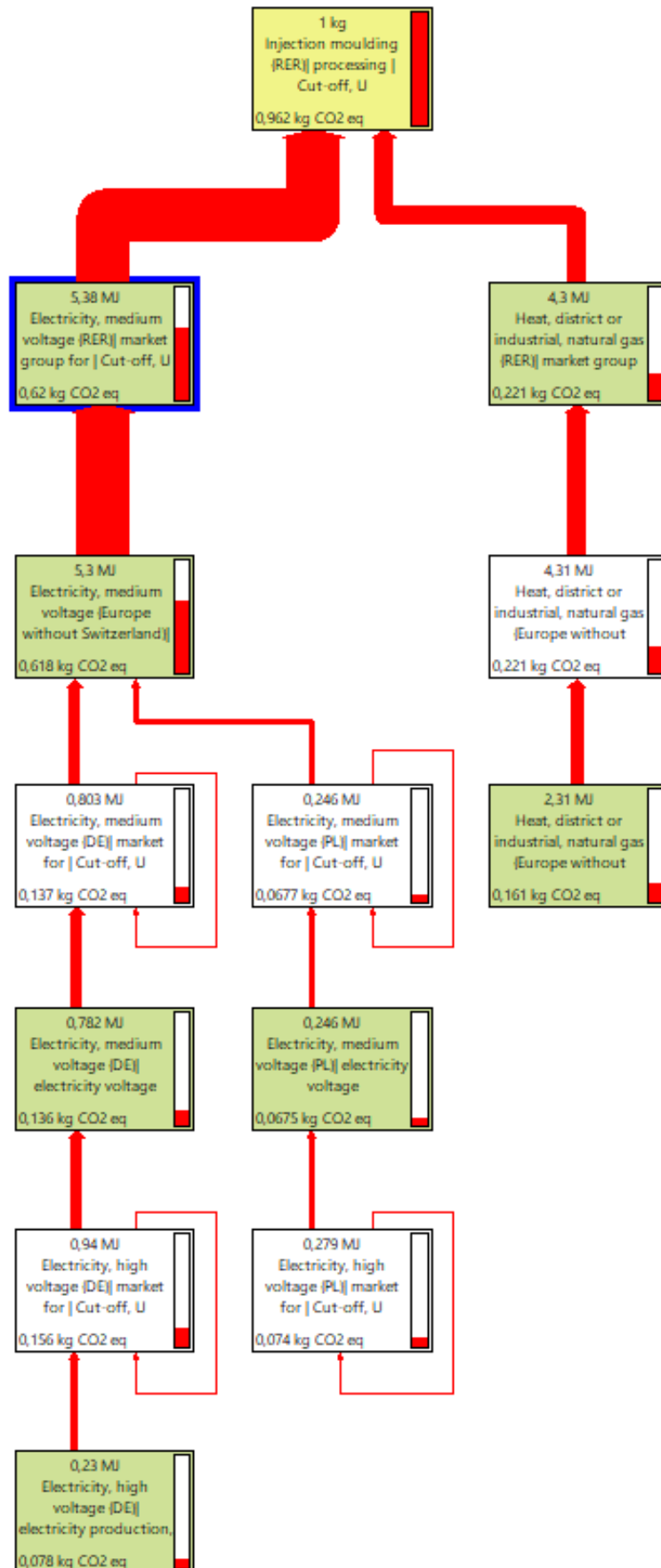
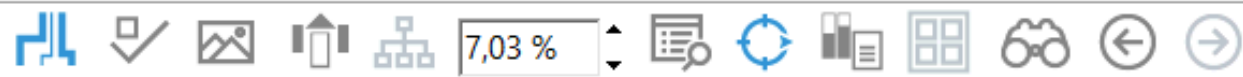
Sähkön ominaispäästöt:	
Hiilidioksidi	247 g CO <sub>2</sub> /kWh
Käytetty ydinpolttoaine	1,42 mg U/kWh

Muut erittelyt (sisältyvät yllä oleviin lukuihin):	
ETA-alueen ulkopuolinen tuonti, Venäjä	0 MWh
Ostettu tukkusähkömarkkinoilta	738 MWh

## Ruiskuvaluprosessi suomalaisella sähköllä



## Alkuperäinen ruiskuvaluprosessi



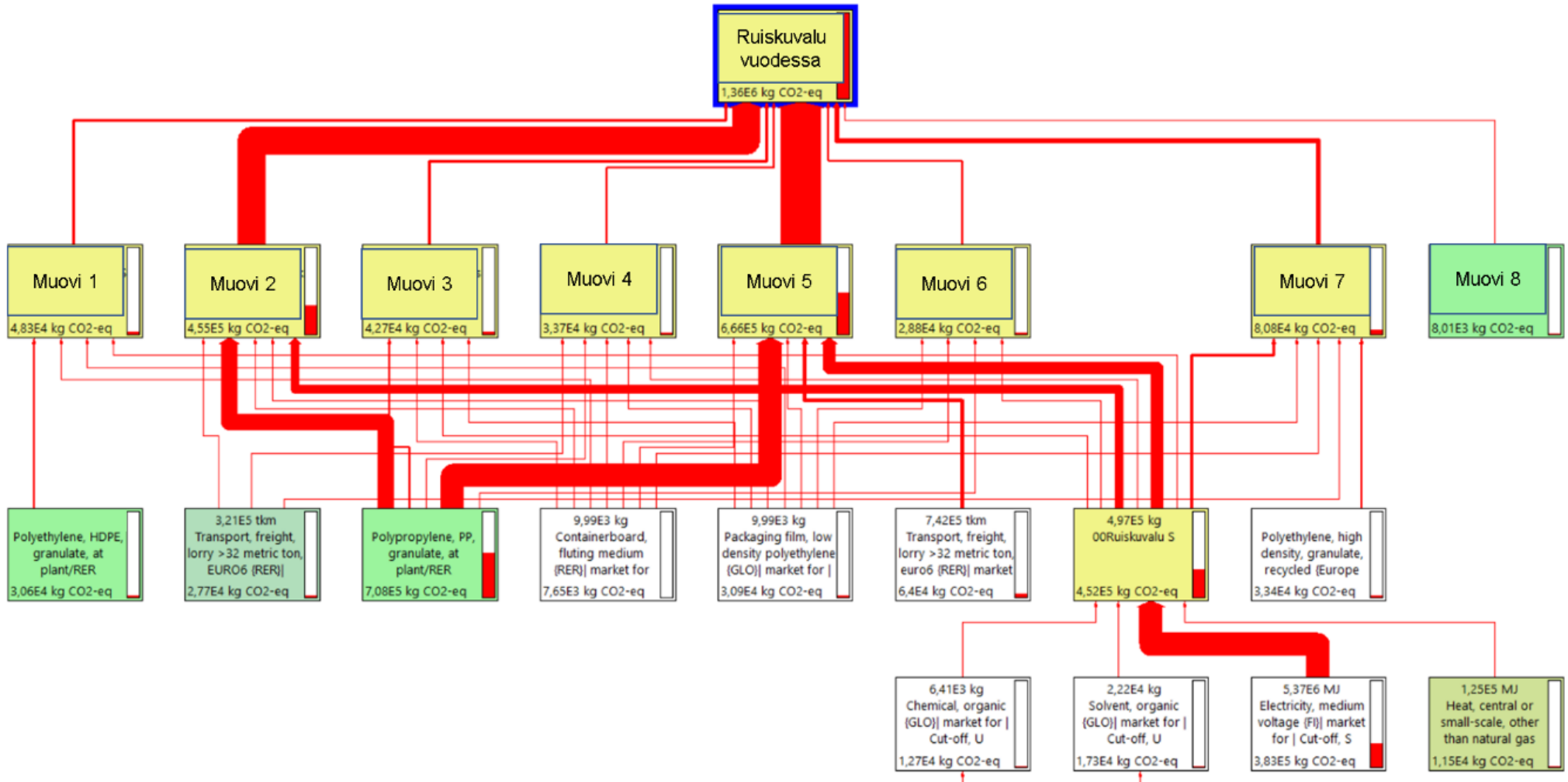
## Polymeerin prosessointi, käytetyt päästökertoimet, SimaPro

<b>Alkuperäinen prosessi</b>	Injection moulding {RER} Processing  Cut-off, U
<b>Uusi prosessi</b>	00Ruiskuvalu
<b>Päästökertoimien lähteet</b>	Ecolnvent 3

<b>Alkuperäinen panos</b>	<b>Uusi panos</b>
Electricity, medium voltage {RER}  market group for   Cut-off, U	Electricity, medium voltage {FI} market for  Cut off-S
Heat, district or industrial, other than natural gas {RER}  market group for   Cut-off, U	Heat, central or small-scale, other than natural gas {Europe without Switzerland}  heat production, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating   Cut-off, S
Heat, district or industrial, natural gas {RER}  market group for   Cut-off, U	Poistettu.

<b>Käytetyt panokset</b>	<b>Päästökerroin kgCO<sub>2</sub>e</b>	<b>Lähde</b>	<b>Pvm</b>
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER	1800	Industrial Data 2.0	4.3.2022
Polypropylene, granulate {RER}  production   Cut-off, S	1630	Industrial Data 2.0	4.3.2022
Polyethylene, high density, granulate, recycled {Europe without Switzerland}  market for polyethylene, high density, granulate, recycled   Cut-off, S	727	Ecolnvent 3	14.3.2022
Containerboard, fluting medium {RER}  market for containerboard, fluting medium   Cut-off, S	725	Ecolnvent 3	14.3.2022
Packaging film, low density polyethylene {GLO}  market for   Cut-off, S	3090	Ecolnvent 3	4.3.2022
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER}  market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6   Cut-off, S	0,09	Ecolnvent 3	4.3.2022
Transport, freight, lorry, unspecified {RER}  market for transport, freight, lorry, unspecified   Cut-off, S	0,131	Ecolnvent 3	14.3.2022

### Ruiskuvalun aiheuttamat päästöt vuodessa



SimaPro 9.3.0.3 Network  
 Category: Processing\Plastics\Market Method: IPCC 2021 GWP100 V1.00 Selected indicator: Damage assessment, GWP100 (kg CO2-eq) Indicator mode: Cumulated indicator Exclude long-term emissions: No  
 Node cut-off: 0.45