



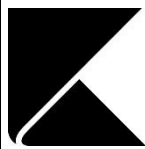
Karelia-ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Sähkökeskusmekaniikan elinkaariarviointi ja EPD-laskenta

Joni Miettinen

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

www.karelia.fi



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Joni Miettinen

Nimeke
Sähkökeskusmekaniikan elinkaariarviointi ja EPD-laskenta

Toimeksiantaja
Finelcomp Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää sähkökeskusmekaniikan ympäristövaikutuksia Finelcomp Oy:lle. Työn tarkoituksena oli toteuttaa yrityksen valmistamasta sähkökeskusmekaniikkatuotteesta elinkaariarviointi ja alustava EPD-laskenta. Elinkaariarvioinnin kohteena oli E-tuotesarjan sähkökeskuskaappi.

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa suoritettiin elinkaariarviointi SimaPro-ohjelmistolla, joka on elinkaariarvioinnin työkalu. Tuloksena saatiin laskettua tuotteen hiilijalanjälki, jota yritys aikoo hyödyntää tuotteiden markkinoinnissa. Alustava EPD-seloste tehtiin taustaraporttina ISO 15804:2012+A2:2019-standardin ja RTS PCR-menetelmäohjeen ohjeistusten mukaan. Selosteen verifiointi rajattiin pois tästä työstä.

Tuotteen hiilijalanjäljeksi laskettiin 1225,7 kg CO₂e. Noin kaksi kolmasosaa hiilijalanjäljestä koostuu tuotteessa käytetyistä materiaaleista, joista eniten tuotteessa on kuumasinkittyä terästä. Valmistuksen prosessien hiilijalanjälki on noin kolmannes tuotteen hiilijalanjäljestä.

Tutkimuksessa selvitettiin tuotteen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Toimeksiantajalla on mahdollisuus hyödyntää tuloksia esimerkiksi valmistuksen päästöjen pienentämiseen. Tutkimuksessa kävi ilmi, että valmistuksen prosesseista maalauksen ja lävistyksen ympäristövaikutukset ovat suurimmat.

Kieli
suomi

Sivuja 58
Liitteet 2
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
elinkaarianalyysi, päästölaskelmat, arviointi, hiilijalanjälki



THESIS

May 2023

Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author

Joni Miettinen

Title

Life Cycle Assessment and EPD of the Switchgear Mechanics

Commissioned by

Finelcomp Ltd

Abstract

The aim of this thesis was to examine the environmental effects of the switchgear mechanics product for Finelcomp Ltd, mainly the carbon footprint. The purpose of this study was to implement a life cycle assessment and a preliminary EPD calculation of the switchgear mechanics. The object of the life cycle assessment was the switchgear mechanics of the E-product series.

In this quantitative study a life cycle assessment was performed using the SimaPro software, which is a life cycle assessment tool. As a result, a carbon footprint of the product was calculated, which the company intends to use in marketing the products. The preliminary EPD specification was made as a background report according to the ISO 15804:2012+A2:2019 standard and the RTS PCR method instructions. The verification of the EPD was excluded from this work.

The carbon footprint of the product was calculated to be 1 225,7 kg CO₂e. About two-thirds of the carbon footprint consists of the used materials of the product, most of which was hot-dip galvanized steel. The carbon footprint of manufacturing processes is about a third of the product's carbon footprint.

This research discovered the environmental effects during the life cycle of the product. The commissioner has an opportunity to utilize the results, for example reducing production emissions. The study revealed that painting and piercing have the greatest environmental impacts of the manufacturing processes.

Language

Finnish

Pages 58

Appendices 2

Pages of Appendices 4

Keywords

life cycle analyses, emission calculation, assessment, carbon dioxide

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Aiheen taustaa	6
1.2	Keskeisiä käsitteitä	7
2	Elinkaariarviointi ympäristötietoisuuden työkaluna	8
2.1	Elinkaariajattelu yrityksissä	8
2.2	Ympäristönäkökulmien arviointi	9
2.3	Vesijalanjälki	9
2.4	Ekologinen jalanjälki	10
2.5	Hiilijalanjälki	10
2.6	Materiaalivirta-analyysi (MFA) ja ainevirta-analyysi (SFA)	11
2.7	Ympäristöjärjestelmät	11
3	Elinkaariarviointi (LCA)	12
3.1	Elinkaarianalyysi	14
3.2	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen	14
3.3	Inventaarioanalyysi	15
3.4	Vaikutusarviointi	15
3.5	Tulosten tulkinta	16
3.6	SimaPro	17
3.7	International Life Cycle Data system (ILCD)	18
4	EPD-laskenta	18
4.1	Ympäristötuoteseloste (EPD)	18
4.2	RTS EPD-ympäristötuoteseloste	20
4.3	Informaatiomodulit	21
4.3.1	Tuotevaihe A1-A3	21
4.3.2	Käyttövaihe, B1-B7	22
4.3.3	Purkuvaiheen modulit C1-C4	24
4.3.4	Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, D-moduuli	25
4.4	EPD-selosteen pakolliset elinkaariarvioinnin tulokset	26
5	Standardit	26
5.1	ISO-standardit (14040-sarja)	26
5.2	EPD-laskentaa ohjaava standardi	27
6	Sähkökeskusmekaniikka	28
6.1	Yrityskuvaus Finelcomp Oy	28
6.2	Teräsohutlevy tuotteiden valmistus	28
6.3	Tässä opinnäytetyössä analysoitavan tuotteen valmistus	29
7	Tuotteen elinkaariarviointi ja EPD-laskenta, käytetyt menetelmät	29
7.1	Tutkimusmenetelmät ja rajaukset	29
7.2	Tutkimuksen kohde ja kulku	30
7.3	Elinkaariarvioinnin laajuus ja ilmoitettu yksikkö	32
7.4	Inventaarioanalyysi	33
7.5	Elinkaariarviointi	33
7.6	EPD-selosteen laatiminen	34
8	Tulokset	35
8.1	Tuotteen hiilijalanjälki	35
8.2	Valmistus tehtaalla	36
8.3	Osto-osat	40
8.4	Kuljetus	44

8.5	Pakkausmateriaalit	45
8.6	EPD- moduulit.....	45
8.6.1	Työssä käytetyt moduulit	45
8.6.2	A1-A3.....	46
8.6.3	A4-A5.....	47
8.6.4	C1-C4	48
8.6.5	D-moduuli	48
8.7	Allokointi	50
8.8	Tuotejärjestelmän rajausta	50
8.9	Vaikutusarviointi.....	51
9	Pohdintaa.....	54
9.1	Tulosten tarkastelu ja hyödynnettävyys	54
9.2	Oma oppiminen ja eettisyys.....	56
	Lähteet.....	57

Liitteet

- Liite 1 Elinkaariarvioinnin laskelmissa käytettyjä tietoja
- Liite 2 Tietoa E-NFS-sarjan sähkökeskusmekaniikkatuotteesta

1 Johdanto

1.1 Aiheen taustaa

Tämä opinnäytetyö tehtiin Kommunikoiva Energia-hankkeessa toimeksiantona Finelcomp Oy:lle. Opinnäytetyö oli tutkimuksellinen kehittämistyö, jonka lopputuotoksena saatiin sähkökeskusmekaniikkatuotteen elinkaariarviointi ja alustava ympäristötuoteseloste (EPD).

Insinööritöön tavoitteena oli selvittää Finelcomp Oy:lle sähkökeskusmekaniikkatuotteen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset, etenkin hiilijalanjälki (CO₂e). Tarkasteltava tuote oli ohutlevyistä valmistettu kotelorakenteinen sähkökeskuskaappi, joka on Finelcomp Oy:n E-NFS-sarjaa. Haluttiin tietää, kuinka paljon 1 m valmista sähkökeskuskaappia tuottaa hiilijalanjälkeä. Laskettua hiilijalanjälkeä yritys aikoo hyödyntää erikokoisten keskusten päästölaskelmissa ja myynnin edistämisessä. Valmiita elinkaariarvioinnin tuloksia yrityksen tavoitteena oli käyttää hyödyksi toiminnan ja prosessien kehittämisessä.

Elinkaariarviointi suoritettiin SimaPro-ohjelmistolla. Elinkaariarvioinnin tuloksista laadittiin taustaraporttina alustava EPD-seloste. Raportti tehtiin RTS PCR-menetelmäohjetta ja EN-ISO 15804-standardin ohjeistusta noudattaen. Elinkaariarviointi tuli sisältämään elinkaaren vaiheet materiaalin hankinnasta, valmistuksesta, kuljetuksesta valmistukseen ja työmaalle sekä käytöstä poiston aikaiset päästöt ja kierrätyksen. Elinkaariarviointi tehtiin periaatteella ”kehdosta tehtaan portille optioon”. Laskuista rajattiin pois käytönaikaiset päästöt, koska niitä ei tuotteella juuri ole, eikä koettu niillä olevan merkittävää vaikutusta lopputulokseen.

1.2 Keskeisiä käsitteitä

BOM, Bill Of Materials

Yksityiskohtaiset tiedot tuotteen materiaaleista.

BOP, Bill Of Processes

Yksityiskohtaiset tiedot tuotteen valmistamisen prosesseista.

Elinkaari

Peräkkäiset tai vuorovaikutteiset vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tai luonnosta tuottamisesta loppusijoitukseen (EN-ISO 14044:2020, määritelmä 3.1).

Elinkaariarviointi, LCA - Life Cycle Assessment

Tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostaminen ja arviointi (EN-ISO 14044:2020, määritelmä 3.2).

End-of-waste tila

Tila kun tuotteen jäteominaisuus päättyy.

EPD, Environmental Product Declaration

Elinkaarianalyysiin perustuva laskenta, esittää tulokset tuotteen ympäristövaikutuksia, ympäristöseloste.

GWP, Ilmaston lämpenemispotentiaali

Ympäristövaikutus, jota elinkaarianalyysillä tutkitaan, hiilijalanjälki.

Hiilijalanjälki

Tuotteen, toiminnan tai palvelun aiheuttaman kasvihuonekaasujen määrä tietyn ajanjakson aikana.

Inventaarioanalyysi, LCI - Life Cycle Inventory

Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa tuotteen elinkaaren aikaiset syötteen ja tuotokset koostetaan ja kuvataan määrällisenä (EN-ISO 14044:2020, määritelmä 3.3).

Prosessi

Sarja toisiinsa liittyviä tai vuorovaikutteisia toimintoja, jotka muuttavat syötteen panoksiksi (ISO 9000:2005, määritelmä 3.4.1).

Päästöt

Päästöt ilmaan, veteen tai maaperään (ISO 14040:2020, määritelmä 3.30).

SimaPro

Standardeja noudattava ohjelmisto ympäristövaikutusten analysointiin.

Syöte

Prosessiin tuleva tuote-, materiaali- tai energiavirta (EN-ISO 14044:2020, määritelmä 3.21).

Tuote

Mikä tahansa tavara tai palvelu (EN-ISO 14044:2020, määritelmä 3.9).

Tuotos

Prosessista poistuva tuote-, materiaali- tai energiavirta (EN-ISO 14044:2020, määritelmä 3.25).

Vaikutusarviointi

Elinkaariarvioinnin vaihe, jonka tarkoituksena on ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana (EN-ISO 14044:2020, määritelmä 3.4).

Ympäristönäkökohta

Organisaation tuotteiden tai toimintojen osa, joka voi olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa (ISO:14001:2004, määritelmä 3.6).

Ympäristövaikutus

Ihmisen toiminnan haitallinen tai hyödyllinen vaikutus ympäristöön.

2 Elinkaariarviointi ympäristötietoisuuden työkaluna

2.1 Elinkaariajattelu yrityksissä

Elinkaariajattelun tärkeys on Suomessa hyvin tiedostettu. Yhä useammat yritykset käyttävät elinkaariajattelua ja -menetelmiä toimintansa kehittämiseen ja tukemiseen. Yritysnäkökulmasta katsottuna elinkaariajattelu ja LCA ovat hyviä työkaluja monimutkaisten ilmiöiden ymmärtämiseen sekä sidosryhmien kanssa kommunikoimiseen. (Antikainen ym. 2012, 21.)

Yritysten elinkaariajattelun hyödyntämisen lisäksi myös tiedeyhteisö hyötyy yhteistyöstä yritysten kanssa. Monet yritykset ja kattojärjestöt ovat osallistuneet menetelmien ja tietokantojen kehittämiseen sekä tiedon tuottamiseen.

Mahdollisuuksien mukaan yritykset myös hyödyntävät elinkaaritietokantoja ja työkaluja. (Antikainen ym. 2012, 21.)

2.2 Ympäristönäkökulmien arviointi

Menetelmiä arvioida elinkaariajatteluun perustuvia ympäristönäkökulmia on monia. Euroopan unionin komission mukaan elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment) on menetelmistä tieteellisin. Elinkaariarviointi mahdollistaa erilaisten vaikutusten huomioinnin kaikista kattavimman. (antikainen ym. 2012, 16.)

Monissa tilanteissa voidaan täydellisestä elinkaariarvioinnista tehdä yksinkertaistettu (streamlined) LCA. Tämä tarkoittaa, että voidaan eri työvaiheissa yksinkertaistaa tutkimusta. Voidaan esimerkiksi vähentää tutkittavien päästöjen tai ympäristövaikutusten määrää. (Antikainen ym. 2012, 16.)

2.3 Vesijalanjälki

Makean veden saatavuus on tärkeää luonnonympäristöille ja ihmisille. Vesijalanjälki (water footprint) on menetelmä jolla makeaa vettä tarkastellaan. Vedenkäyttö erotellaan tässä menetelmässä kolmeen komponenttiin: sininen vesi, vihreä vesi ja harmaa vesi. Sininen vesi on haihdutettua pinta- ja pohjavettä. Vihreä vesi on haihdutettua sadevettä. Saastutettua vesitilavuutta kuvaa harmaa vesi. (Antikainen ym. 2012, 18.)

Vesijalanjälki muistuttaa elinkaariarviointia, mutta eroaa allokaation ja rajausten suhteen. Lisäksi poikkeavuutena elinkaariarviointiin vesijalanjälkimenetelmässä ei arvioida ympäristövaikutuksia, vaan vettä käsitellään vain resurssinäkökulmasta. Vesijalanjälki menetelmää ohjataan standardilla ISO 14046. (Antikainen ym. 2012, 18.)

2.4 Ekologinen jalanjälki

Ekologinen jalanjälki maa- ja vesipinta-alaa, joka tarvitaan tietyn yhteisön kuluttamien resurssien tuottamiseen ja jätteiden käsittelyyn. Ekologinen jalanjälki esitetään globaalihehtaareina, eli sinä pinta-alana joka keskimääräisesti tarvitaan resurssien tuottamiseen ja jätteiden käsittelyyn. Ekologinen jalanjälki sisältää pelkästään biopohjaiset resurssit ja jätteistä hiilidioksidin. (Antikainen ym. 2012, 18.)

Ekologinen jalanjälki-menetelmä on elinkaariarvioinnin kaltainen. Ekologisessa jalanjäljessä arvioidaan fossiilisista polttoaineista vapautuvat hiilidioksidipäästöt, josta lasketaan niiden hiilimäärä. Tähän lisätään globaalihehtaareina käytetyn biomassan hiilen määrä, josta saadaan lopullinen ekologinen jalanjälki. Ekologisia jalanjälkiä lasketaan pääasiassa alueille ja maille, mutta myös tuotteille sekä yrityksille. Ekologista jalanjälkeä vertaamalla biokapasiteettiin, eli käytettävissä olevaan maapinta-alaan saadaan selkeä kuva siitä, onko toiminta ekologisesti kestävä. (Antikainen ym. 2012, 18.)

2.5 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljen (carbon footprint) tulisi perustua elinkaariarviointiin, jossa kasvi-huonepäästöt lasketaan CO₂-ekvivalenttiluvuiksi. Joissain hiilijalanjälkilaskureissa tulokset kattavat kuitenkin vain pienen osan elinkaaren aikaisista päästöistä. Menetelmiä hiilijalanjäljen laskentaan on useita ja ne eroavat toisistaan rajauksissa ja määritelmässä sekä valinnassa mitkä elinkaarenvaiheet tarkasteluun sisältyy. Näistä eroista johtuen tulokset vaihtelevat runsaasti ja monien laskureiden tulokset ovatkin suuntaa antavia. (Antikainen ym. 2012, 18.)

Iso-Britannian standardiviranomainen (BSI) ja Carbon Trust julkaisivat 2008 ja 2011 ohjeistukset hiilijalanjäljen laskentaan, jotta tulokset tasaantuisivat. Kansainvälinen standarsoimisjärjestö ISO julkaisi 2013 tuotteen hiilijalanjälkilaskennan tueksi teknisen spesifikaation ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases -

Carbonfootprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication. (Antikainen ym. 2012, 25.)

2.6 Materiaalivirta-analyysi (MFA) ja ainevirta-analyysi (SFA)

Materiaalivirta-analyysissä (Material flow analysis) tarkastellaan järjestelmän materiaalien kokonaisvirtoja. Järjestelmä voi olla esimerkiksi tuote tai maantieteellinen alue. Menetelmässä tarkastellaan luonnonvarojen kulutusta, jota mitataan luonnonvarojen kokonaiskäytöllä TMR (total material requirement). TMR-indikaattoriin lasketaan lisäksi jätteet ja sivutuotteet. (Antikainen ym. 2012, 19.)

Ainevirta-analyysi (substance flow analysis, SFA) keskittyy järjestelmän kokonaisvirtoihin ja sitä pidetään yhtenä muotona materiaalivirta-analyysistä. SFA on MFA:n tavoin periaatteeltaan muista elinkaarimenetelmistä poikkeava, sillä tarkasteltava järjestelmä on tyypillisesti maantieteellinen alue, kuten kaupunki tai maa. Menetelmä on kuitenkin sovellettavissa myös toisiin järjestelmiin. Esimerkiksi tuotteeseen tai yrityksen toimintoihin. SFA on suppea menetelmä kestävyyden kannalta, koska luonnonvarojen käyttöön ei keskitytä laajemmin. (Antikainen ym. 2012, 19.)

2.7 Ympäristöjärjestelmät

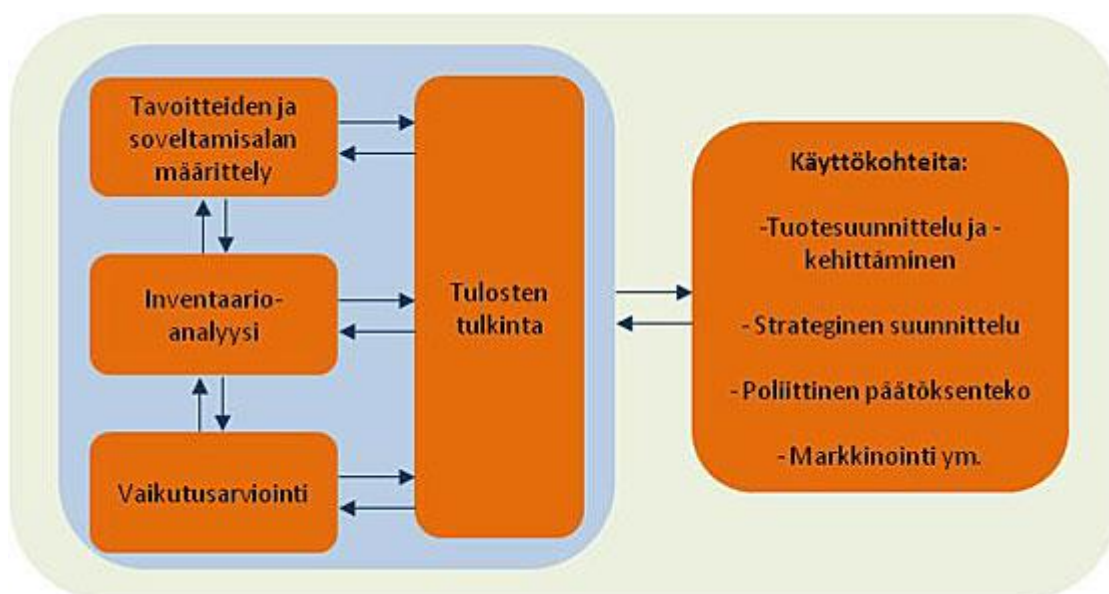
Ympäristöjärjestelmä on organisaation ympäristöjohtamisen väline, jolla kaiken toiminnan ympäristöasiat otetaan huomioon. Toimiessaan ympäristöjärjestelmä auttaa säästämään kustannuksissa ja vähentämään tuotteiden ja palveluiden ympäristöhaittoja. Koska päästöt ja vaikutukset ovat tiedossa, tuotesuunnittelua voidaan tehostaa sekä etsiä ympäristöystävällisempiä raaka-aineita ja tuotantotapoja. Näistä tunnetuimpia ovat ISO 14001-standardiin ja EMAS-asetukseen pohjautuvat järjestelmät. (Syke 2023.)

EMAS- järjestelmä (Eco-Management and Audit Scheme) sopii kaikenlaisille yrityksille. Ympäristöjärjestelmä perustuu EU:n asetukseen ja muodostuu EMAS-selonteosta. EMAS-selonteko on ympäristöraportti, joka toteutetaan ISO 14001-standardin ohjeistuksen mukaisesti. (Syke 2023.)

3 Elinkaariarviointi (LCA)

Elinkaariarviointi LCA (Life Cycle Assessment) on tuotteiden ja palveluiden koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointiin ja analysointiin käytetty menetelmä. Elinkaari käsittää materiaalien hankinnan luonnosta, materiaalin prosessoimisen, kuljetuksen ja tuotteen valmistuksen. Lisäksi elinkaareen sisältyy tuotteen jakelu, käyttö, huolto, uudelleenkäyttö ja kierrätys. (Antikainen 2010, 17.) Tuotteen elinkaaren aikana valmistuksesta, käytöstä ja käsittelystä on vastuussa useita tahoja. Tuotteen elinkaaren hallinta tukee ja edellyttää verkostoitumista. (Sahi-Pajunen, ym 2012, 5.)

Elinkaariarviointi on lähestymistapa, joka on rakennettu toiminnallisen yksikön ympärille. Tämä määrittelee mitä tarkastellaan ja kaikki myöhemmät analyysit ovat yhteydessä tähän toiminnalliseen yksikköön. Elinkaariarviointi on tekniikaltaan iteratiivinen, eli kaikki arvioinnin yksittäiset vaiheet hyödyntävät muiden vaiheiden tuloksia, ja näin ollen raportoidut tulokset ovat kattavampia ja johdonmukaisempia. Läpinäkyvyys on elinkaariarvioinnin tekemistä ohjaava periaate ja sen avulla saatavat tulokset voidaan tulkita aina oikein. (SFS-EN 14040:2006, 15.)



Kuvio 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040:2006 mukaan.

Elinkaariarvioinnin tekemisen ohjaamiseksi on laadittu kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n 14040-sarjan standardit. Yksityiskohtaisten elinkaariarviointien lisäksi voidaan tehdä myös ns. yksinkertaistettuja elinkaariarviointeja, joissa tarkastellaan vain jotain tiettyä päästöä (esim. CO₂-päästö) tai tarkastelua johonkin rajattuun tuotejärjestelmäosaan. (Antikainen 2010, 16.)

Elinkaariarviointi toteutetaan ISO 14040- ja ISO 14044-standardien ohjeistuksia noudattaen. ISO 14040 standardin mukainen elinkaariarviointi sisältää neljä vaihetta:

- Tavoitteiden määrittäminen.
- Inventaarioanalyysi (LCI, Life Cycle Inventory).
- Vaikutusarviointi (LCIA, Life Cycle Impact Assessment).
- Tulosten ja tulkintojen hyödyntäminen.

3.1 Elinkaarianalyysi

Elinkaarianalyysi on elinkaariarvioinnin menetelmä, jonka avulla analysoidaan tuotetta tai palvelua, sekä niiden tuotantoprosessia. Elinkaarianalyysillä järjestelmiä tarkastellaan globaalista näkökulmasta. Tutkittaessa tuotantojärjestelmiä kokonaisvaltaisesti, ainoa tapa on tarkastella niiden tehokkuutta vaiheittain. Tarkastellaan raaka-aineiden kulkemaa matkaa aina käsittely- ja kuljetusprosesseista loppukäsittelyyn asti. Tämä on nimeltään kehdosta-hautaan-lähestymistapa. (Antikainen 2010, 18.)

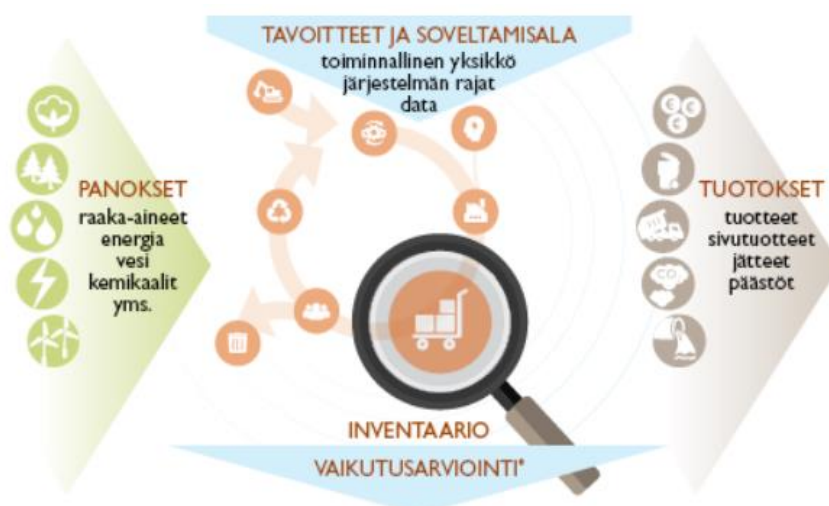
Kun halutaan tunnistaa tuotantoprosesseja, joilla on suuri ympäristövaikutus, elinkaariarviointi on keskeisessä asemassa. Sillä voidaan todentaa parannusvaihtoehtot, joilla ympäristöön kohdistuvat positiiviset vaikutukset voidaan halutusti maksimoida ja negatiiviset minimoida. Elinkaariajattelun toteutuksessa elinkaariarviointi on tärkein työkalu. Se on objektiivinen menetelmä, jolla tuotteen, prosessin tai toiminnon ympäristöseuraamuksia ja vaikutuksia arvioidaan koko elinkaaren ajalta. Tämä tekniikka mahdollistaa tuotantoprosessin vaiheiden tarkastelun toisiinsa liittyvinä ja toisistaan riippuvina. Elinkaariarviointia valvotaan ja ohjeistetaan kansainvälisellä tasolla ISO 14040- ja ISO 14044-standardeilla. (Sahi-Pajunen 2012, 8.)

3.2 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely on tärkeä vaihe elinkaariarvioinnissa, koska se määrittelee muun muassa sen, miten yksityiskohtainen tutkimus on ja mitä ajanjaksoa se tarkastelee. Tämä vaihe siis määrittää elinkaariarvioinnin laajuuden. (Antikainen 2010, 17.) Määrittämisvaihe sisältää elinkaariarvioinnin tekemisen tarkoituksen ja syyt. Lisäksi tuodaan esille ketkä tuloksia aikovat hyödyntää. Määrittelyvaihe esittää myös raportoinnin vaatimukset, sekä arvioinnin mahdolliset rajoitukset. Samalla määrittelyvaihe huolellisesti tehtynä selkeyttää ja tehostaa itse elinkaariarvioinnin tekemistä. (Niemistö ym. 2017, 11.)

3.3 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysi eli kaikkien lähtötietojen kerääminen on olennainen osa elinkaariarviointia. Elinkaari-inventaariossa eritellään tuotteeseen tai toimintaan liittyvät materiaali- ja energiavirrat raaka-aineiden käyttönä ja ympäristövaikutuksina. Siinä kerätään yhteen tuotosten ja panosten tiedot analysoitavasta järjestelmästä. Panoksilla tarkoitetaan esimerkiksi raaka-aineita, energiaa, kemikaaleja, vettä ja muita järjestelmään käytettyjä komponentteja. Sivutuotteet, päästöt ja jätteet luetaan tuotoksiksi, eli ovat tuotteen elinkaaren aikana aiheutuneita ympäristövaikutuksia (kuvio 2). (Antikainen 2010, 17.)



Kuvio 2. Inventaarioanalyysin vaiheet

3.4 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointi eroaa muista laskentamenetelmistä siten, että se on lähestymistapana suhteellinen ja perustuu toiminnalliseen yksikköön (functional unit). Tällä tarkoitetaan vertailuyksikköä, jonka suhteen panos- ja tuotosmallit normalisoidaan, toisin sanoen se on tarkasteltavan tuotejärjestelmän tuotosten tai toiminnallisten tuotosten suorituskyvyn mittayksikkö. Toiminnallinen yksikkö voi olla yksi toiminto tai yksi kilo (1 kg) tai muu arvo jotain tuotetta. (Antikainen 2010, 17.)

Vaikutusarvioinnissa määritetään millaisia vaikutuksia ja millä vaikutusmittareilla tuotteen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset arvioidaan. Vaikutusarviointivaiheessa käytetään inventaarioanalyysin aikana kerättyjä tietoja. Vaikutusarviointi tehdään keski- tai loppupistemallinnuksena. Tässä vaiheessa tavoitteena on tarkastella päästöjen ja toimien haitallisia ympäristövaikutuksia. Keskipistemallinnuksessa toiminnallisen yksikön vaikutukset kuvataan eri vaikutusluokissa. Tällaisia vaikutusluokkia (impact categories) ovat esimerkiksi ilmastonmuutos, rehevöityminen, luonnonvarojen ehtyminen ja happamoituminen. Loppupistemallinnuksessa mahdollisia vaikutuksia ihmisen terveydelle, luonnonvaroille tai -ympäristölle arvioidaan vaikutusluokkatietojen mukaan. (Niemistö ym. 2017, 11.)

3.5 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkintavaiheessa tunnistetaan kaikki merkittävät tuloksiin vaikuttavat tekijät. Tässä vaiheessa myös arvioidaan tulosten täydellisyyttä, johdonmukaisuutta ja herkkyyttä. Epävarmuusanalyysi ja lähtötietojen laadun analyysi täydentävät näitä arviointeja. Tulosten arviointiosiossa määritetään inventaarion tai elinkaariarvioinnin tulosten luotettavuus, kaikki käytetyistä menetelmistä johtuvat seuraukset ja rajoitukset huomioon ottaen. Vaiheen lopuksi tehdään johtopäätöksiä tunnistetaan rajoituksia ja annetaan kohderyhmälle suosituksia, jotka heijastavat johtopäätösten seurauksia. (Niemistö ym. 2017, 13.)

ISO-standardin mukaan elinkaariarvioinnin kattavuutta ja johdonmukaisuutta pitäisi tarkastella sen tekemisen yhteydessä. Lisäksi tulisi suorittaa arvioinnin kattavuuden herkkyyshanalyysi. Herkkyyshanalyysissä arvioidaan miten epävarmuustekijät vaikuttavat tuloksiin ja johtopäätelmiin. Täydellisyyden tarkistus varmistaa, että arvioinnin tekemiseen vaadittava kaikki olennainen tieto on ollut saatavilla. Puutteellisten tietojen vaikutuksia täytyy arvioida mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ja tarvittaessa lähtötietoja täydennetään. Johdonmukaisuuden tarkistuksessa arvioidaan menetelmien, lähtötietojen ja olettamusten yhdenmukaisuus soveltamisalan ja tavoitteiden kanssa. Arvioinnin tekemisessä ja

tulosten tulkinnassa on monia mahdollisia kohtia tehdä virheitä. Esimerkiksi tavoitteiden ja rajojen asetus, sekä toiminnallisen yksin tai vaikutusarviointimenetelmän valinta ovat epävarmuustekijöitä, joissa virhe mahdollisesti tapahtuu. Lisäksi prosessitiedot voivat olla puutteellisia ja sisältää mittausvirheitä, sekä vanhentuneita tai muuten vääriä tietoja. Myös tietojen suhteuttamisessa toiminnalliseen yksikköön voi virheitä tapahtua. Kaikki virheet vaikuttavat suoraan tuloksiin, aiheuttaen epävarmuutta. Tulosten tulkintakin vaatii tiettyä osaamista, jotta virheiltä voidaan välttyä. (Niemistö ym. 2017, 13.)

3.6 SimaPro

Opinnäytetyössä käytettiin elinkaarianalyysin laatimiseen SimaPro:ta, joka on kansainvälisesti johtava ja tunnetuin järjestelmä elinkaarianalyysille (LCA). Kattava järjestelmä on hollantilaisen PRe Sustainability (tunnetaan johtavana toimijana sosiaalisten- ja ympäristövaikutusten arvioinneissa) kehittämä. SimaPro:lla on yli 3000 käyttäjää, yli 80:ssä maassa. (Pre Sustainability 2023.)

SimaPro:ta voidaan käyttää mm.

- Hiili- ja vesijalanjälkilaskelmiin.
- Yksityiskohtaisiin elinkaariarviointeihin.
- Tuotteiden ja yritysten ympäristöjalanjälkilaskelmiin (PEF&OEF).
- Tärkeiden kiintopisteiden löytämiseen ja tulosten tarkasteluun.

SimaPro on erittäin kattava työkalu ympäristövaikutusten analysointiin ja mittamiseen elinkaaren jokaisilta vaiheilta ja se käyttää elinkaariarvionneissa luotettavia menetelmiä. SimaPro käyttää maailmanlaajuisesti elinkaariarvioinnissa hyväksyttyä Ecoinvent- tietokantaa. Yhtenä esimerkkinä käytettävistä menetelmistä on EU:n hyväksymä ja komission julkaisema ILCD (International Life Cycle Data) -menettelytapa (Pre Sustainability 2023). Tämä ILCD-menettelytapa käytännössä yhdenmukaistaa eri tietokannoista saatavan tiedon. (Antikainen 2010, 18.)

3.7 International Life Cycle Data system (ILCD)

Elinkaariarviointien kysyntä alkoi kasvaa 2000-luvun loppupuolella. Niiden laatu ja toteutustapa kuitenkin vaihtelivat runsaasti ja tästä syystä niihin suhtauduttiin vielä varauksella. Laadun vaihteluun vaikutti se, että ISO-standardit antoivat suhteellisen paljon vapauksia elinkaariarvioinnin tekijöille. Yhtenä ratkaisuna tähän aloitettiin laaja ohjeistustyö elinkaariarviointeja varten vuonna 2009. Euroopan komission alaisessa Joint Research Centre (JRC) tutkimuskeskuksessa toteutun työn tavoitteena oli palauttaa luottamus elinkaariarviointiin. Laadukkaiden tutkimusten pohjaksi ja päätöksenteon tueksi tarvittiin yhdenmukaista ja vertailukelpoista LCI/LCA -dataa. Jotta tällaista dataa pystyttäisiin tuottamaan tarvitaan yhtenäistä ohjeistusta. Tähän kehitettiin International Life Cycle Data System (ILCD) -käsikirja ja -tietojärjestelmä (EC 2009a). Käsikirjan ohjeistus ei ole sitovaa, eikä sillä ole virallista statusta, mutta kaikki järjestelmään tuotava tieto on täytynyt tehdä käsikirjan ohjeistuksen mukaan. Kehitystyössä olivat osallisena UNEP (The United Nations Environmental Programme), ja LCA- asiantuntijoita ympäri maailmaa kuultiin ja heiltä pyydettiin kommentteja valmistelutyötä varten. (Antikainen 2010, 18.)

4 EPD-laskenta

4.1 Ympäristötuoteseloste (EPD)

Elinkaariajattelu (LCT) konseptina ja kulttuurillisena näkökulmana on noussut viime vuosina tärkeäksi palvelun tai tuotteen ympäristövaikutusten arvioinnissa. Elinkaariajattelussa huomioidaan koko tuoteketju ja nähdään parannus- ja uudistuskohteet sekä keinot niiden tekemiseen. (Niemistö, ym 2017.)

Ympäristötuoteseloste on yrityksille vapaaehtoinen, mutta tärkeä työkalu, jos halutaan aktiivisesti hallita ympäristötekijöitä. Ympäristötuoteseloste on

läpinäkyvä ja objektiivinen tapa ilmoittaa tuotteen tai palvelun ympäristötekijät. Läpinäkyvyys ja ohjeistusten noudattaminen ovat ympäristötuoteselosteen käytön tae. Ympäristöseloste esittää raaka-aineiden hankinnasta, tuotteen valmistuksesta, käytöstä ja loppusijoituksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset. (SFS-EN ISO 15804:2012+A2:2019, 47).

Raportin sisältöä:

- Arvioinnin tilaaja ja tekijä.
- Päiväys.
- Todetaan, että tutkimus suoritettu standardin mukaan.
- Tavoite.
- Toiminnallinen yksikkö.
- Järjestelmän rajat.
- Rajauskriteerit.

EPD-seloste on kattava yhteenveto kaikesta tutkimuksen dokumentaatiosta ja se tukee ympäristöselosteen todentamista. Selosteessa raportoidaan kaikki elinkaariarvioinnin tulokset, lähtötiedot, menetelmät, oletukset, rajaukset ja johtopäätökset. Tiedot esitetään läpinäkyvästi ja ilmoitetaan tarkasti sekä raportin tulee mahdollistaa tulosten ja tulkintojen käytön ympäristöselosteessa. (SFS-EN 15804:2019, 48.)

Kun ympäristötuoteseloste on raportoitu, toteutetaan kolmannen osapuolen toimesta ympäristötuoteselosteen verifiointi. Verifiointi tehdään ISO 14025-standardin periaatteiden mukaan, nimettyjen hyväksytyjen verifioijien toimesta. Lista hyväksyttävistä verifioista on saatavilla osoitteessa www.epd.rts.fi. Hyväksyntä tehdään EPD toimikunnan hyväksymässä työryhmässä. Työryhmän tehtävä on varmistaa, että vaaditut tiedot on esitetty selosteessa, verifiointitodistuksessa ja hakemuksessa (kuvio 3). (RTS PCR-menetelmäohje 2020, 12.)

Lähtötiedot	<ul style="list-style-type: none"> • Standardi (EN 15804 + A1) ja RTS EPD- menetelmäohje (RTS PCR) • Lähtötietojen esittäminen: Yritys tekee ympäristöselosteen. EPD-tiedoista täytyy löytyä malliselosteessa ilmoitetut asiat, jotka esitetään osittain myös standardissa. • EPD:n ulkoasu voi olla yrityksen oma.
Verifiointi	<ul style="list-style-type: none"> • Verifiointi tehdään ISO 14025 periaatteiden mukaan ennen selosteen lähettämistä RTS:n • Lista verifioijista ja LCA laskentaa tekevista yrityksistä löytyy osoitteesta epd.rts.fi
Hyväksyntä	<ul style="list-style-type: none"> • Hyväksyntä RTS EPD:ksi tehdään erillisessä PT18 RT EPD toimikunnan työryhmässä • RTS lähettää tiedon hyväksynnästä hakijayritykselle, yrityksellä on oikeus käyttää RTS EPD-tunnusta selosteensa yhteydessä

Kuvio 3. EPD-projektin kulku, (RTS PCR-menetelmäohje 2020, 13)

EPD-selosteen verifiointi ja julkaisu vaatii taustaraportin laatimista. Taustaraporttiin kootaan yksityiskohtaiset tiedot elinkaariarvioinnin tekemisestä, eikä sitä tarvitse julkaista. Selosteen verifiointinnissa taustaraporttia tullaan kuitenkin hyödyntämään. (RTS PCR-menetelmäohje 2020, 13.)

4.2 RTS EPD-ympäristötuoteseloste

RTS EPD-ympäristötuoteseloste on rakennusmateriaaleille ja -tuotteille tehtävä ympäristöseloste. RTS EPD:n tiedot perustuvat elinkaarianalyysiin (LCA) tuotteen koko elinkaaren ajalta. Tuotteen ympäristövaikutukset on siis koottu ja laskettu raaka-aineen hankinnasta aina loppusijoitukseen saakka. (Rakennustietosäätiö 2022.) Tiedot RTS EPD-selosteessa esitetään EN 15804-standardin mukaisesti. Standardi edellyttää 95 % kattavuutta, ja materiaaleja tai energiaa joiden osuus kokonaisuudesta on vähintään 1 % ei saa sivuuttaa. (RTS PCR-menetelmäohje 2020, 3.)

Standardin SFS-EN 15804 mukaisesti laadittu ympäristötuoteseloste kertoo tuotteesta määrällisiä ja tieteellisesti perusteltuja ympäristötietoja (SFS-EN 15804:2019, 15). Pakollisina ympäristövaikutuksina tulee esittää raaka-aineiden hankinta, kuljetus valmistukseen ja valmistus (informaatiomodulit A1-A3). Lisäksi ympäristöselosteeseen tulee sisällyttää purkujätteen käsittelyn

ympäristövaikutukset, kuljetukset työmaalle, uudelleenkäyttö, hyödyntäminen tai kierrätys, sekä purkuvaiheen ympäristövaikutukset. (RTS PCR-menetelmäohje 2020, 4.)

4.3 Informaatiomodulit

4.3.1 Tuotevaihe A1-A3

Tehtäessä RTS EPD-ympäristötuoteselostetta sen laadinnassa noudatetaan SFS-EN 15804:2019-standardin mukaista elinkaaren jaottelua ja moduulirakennetta. Tuotteen elinkaaren vaiheet ovat jaettuna tuote-, asennus- ja purkuvaiheeseen, sekä elinkaaren ulkopuolisiin vaikutuksiin. (RTS PCR-menetelmäohje, 2020, 6.)

Tuotevaiheeseen sisältyy kaikki materiaalien, energian ja tuotteiden hankinta, sekä syntyvän jätteen käsittely raaka-aineiden hankinnasta aina uusiokäyttövaiheeseen asti (SFS-EN 15804:2019, 18).

A1. Raaka-aineiden hankinta ja käsittely-moduuli sisältää raaka-aineiden hankinnan ja käsittelyn sekä edeltävien tuotejärjestelmien uudelleenkäytön. Tuotteen valmistukseen käytetyn kierrätysmateriaalin prosessoinnin, sähköntuotannon, primäärienergianlähteistä tuotetun höyryn ja lämmön mukaan lukien niiden hankinta, jalostus ja kuljetus. Sisältää myös energiantuotannon kierrätyspolttoaineesta ja kierrätyspolttoaineen prosessoinnin. (SFS-EN 15804:2019, 24.)

A2. Kuljetus valmistukseen-moduuli sisältää tiedot kuljetuksista tehtaan portille, sekä sisäiset kuljetukset (SFS-EN 15804:2019, 24). Valmistus-moduuli A3 sisältää apumateriaalien ja esivalmisteiden tuotannon sekä uotteiden ja sivutuotteiden valmistuksen. Moduuli sisältää myös pakkausmateriaalien valmistuksen ja

pakkausprosessin. Lisäksi moduuli A3 käsittää kaikkien A-moduulien jätteenkäsittelyn end-of-waste tilaan. (SFS-EN 15804:2019, 24.)

A4. Kuljetukset työmaalle-moduuli sisältää kuljetuksen tehtaan portilta rakennustyömaalle/asiakkaalle (SFS-EN 15804:2019, 24.) Työmaatoiminnot/asennus-moduuli A5 sisältää tuotteen varastoinnin, sisältäen varastoinnin olosuhdevaatimukset (lämmitys, jäähdytys, kosteus..) ja rakennustuotteiden hukan (sitä vastaava lisätuotanto). Rakennustuotteiden asennuksen sisältäen apumateriaalien valmistuksen ja kuljetuksen sekä asennus tai työmaatoiminnassa tarvittavan energiantarpeen. Moduuli sisältää myös tuotteen asennukseen liittyvät toiminnot, esim muokkaaminen, nostot, siirrot, jne. (SFS-EN 15804:2019, 24.)

4.3.2 Käyttövaihe, B1-B7

Käyttövaihe sisältää valinnaiset informaatiomoduulit rakennuksen luovutuksesta sen purkamiseen saakka. Tuotteiden käyttövaiheen kesto voi olla eri kuin rakennukselta vaadittu käyttöikä. Käyttövaihe sisältää rakennustuotteiden ja laitteiden käytön sekä käytönaikaiset palvelut. Se sisältää myös kunnossapidon. Käytönaikaisten prosessien ja niihin liittyvien ympäristövaikutusten ja ympäristönäkökohtien jakaminen eri moduuleihin voi aiheuttaa eri tulkintoja. Tästä huolimatta moduulien B1-B5 ja B6-B7 mukaisesta poikkeava ympäristövaikutusten ja -näkökohtien jaottelu on aina raportoitava läpinäkyvästi. (SFS-EN 15804:2019, 25.)

B1. Käytönaikaiset päästöt ympäristöön- moduuli kattaa rakennuksen ja rakennosien aiheuttamat ympäristövaikutukset normaaleissa käyttöolosuhteissa. Esimerkiksi ainepäästöt sisältä ulkoilmaan, maaperään tai veteen. (ISO 15804:2019, 25.)

B2. Kunnossapito- moduuli kattaa toimenpiteet, joilla asennettu tuote tai sen osat pidetään toimintakuntoisina ja kaikin puolin käyttökelpoisina, myös esteettisesti. Moduuli sisältää ennaltaehkäisevät ja suunnitellut toimenpiteet kuten,

määräaikaishuollon, puhtaanapidon ja kuluneiden sekä rikkoutuneiden osien vaihdot. (SFS-EN 15804:2019, 25.) Puhtaanapitoon käytetty energia ja vesi siällytetään tähän moduuliin. Kunnossapidossa käytettävien tuotteiden ja apumateriaalien valmistus sekä kuljetuksesta ja kunnossapitoprosessista syntyvien jätteen käsittely ovat myös moduulissa B2. (SFS-EN 15804:2019, 25.)

B3. Korjaus- moduuli sisältää kaikki toimenpiteet, joilla tuote tai sen osia korjataan toimintakelpoisiksi niiden rikkouduttua, mukaan lukien esteettisyyden. Rikkoontuneen komponentin tai sen osan vaihto kuuluu moduulin B3 piiriin ja kokonaisen elementin vaihto moduuliin B4, osien vaihto. (SFS-EN 15804:2019, 25.) Korjausmoduuli kattaa korjatun osan korjausprosessin, joka sisältää korjatun osan ja sen apumateriaalien valmistuksen, prosessiin kulutetun veden ja energian sekä kuljetuksen ja prosessien aikana tapahtuvan materiaalihukan. Lisäksi korvaavan komponentin ja korjauksessa tarvittavien apumateriaalien kuljetukset sekä korjauksesta aiheutuvien jätteen käsittely kuljetuksineen sisältyy moduuliin. (SFS-EN 15804:2019, 25.)

B4. Osien vaihto-moduuliin sisältyy vaurioituneiden kokonaisten elementtien vaihto. Moduulin on katettava vaihdossa käytettyjen komponenttien ja apumateriaalien valmistus, vaihtoprosessien aikaiset veden ja energian käytön, vaihdettavien osien ja vaihdossa tarvittavien apumateriaalien kuljetukset, sekä prosessista syntyneiden jätteen käsittely ja kuljetukset. (SFS-EN 15804:2019, 26.)

Esimerkkinä käyttöikänsä päättyessä vaihdettavan kokolattiamaton vaihtoprosessi sisältää uuden maton ja tarvittavien apumateriaalien (liima) valmistuksen, pakkauksen ja kuljetuksen, sekä kaikki vaihtoon liittyvät työvaiheet (imurointi, jne.). Lisäksi vaihtoprosessi sisältää alkuperäisen kokolattiamaton ja pakkausjätteen käsittelyn sekä uuden maton ja apumateriaalien hukan. (SFS-EN 15804:2019, 26.)

B5. Laajamittaiset korjaukset. Tämä moduuli sisältää toimenpiteet, joilla rakennus tai sen osia palautetaan korjaamalla teknillisesti ja toiminnallisesti vaatimukset täyttävään kuntoon (SFS-EN 15804:2019, 26). Myös entisöinti tulee sisällyttää laajamittaiset korjaukset- moduuliin. Tämä moduuli kattaa kaikki merkittävät ennaltasuunnitellut toimenpiteet, jotka kohdistuvat koko rakennukseen tai suureen osaan sitä. Moduuli sisältää korjauksissa käytettyjen komponenttien ja

apumateriaalien valmistus. Prosessin veden ja energian käytön sekä prosessin ja kuljetusten aikaista materiaalihukkaa vastaavan lisätuotannon. Moduuli sisältää myös korjauksessa käytettävien komponenttien ja apumateriaalien kuljetukset sekä syntyvän jätteen käsittely. (SFS-EN 15804:2019, 27.)

B6. Rakennuksen teknisten laitteiden käyttöön tarvittava energia-moduuli kattaa rakennuksen teknisen järjestelmän käytön aikaisen energian kulutuksen, johon sisältyy energiamuodon raaka-aineiden hankinta ja valmistus, energiansiirto sekä sen käytöstä aiheutuvien jätteiden käsittelyn ja kuljetukset. Rakennukseen integroidut tekniset järjestelmät ovat rakennukseen asennettuja teknisiä laitteita, jotka tukevat sen toimintaa (SFS-EN 15804:2019, 27). Niihin kuuluvat lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, valaistus ja lämpimän käyttöveden järjestelmät. Teknisiä laitteita ovat myös kaikki turvallisuusjärjestelmät ja rakennuksen kuljetusjärjestelmät eli hissit ja rullaportaat sekä tietoliikennejärjestelmät. (SFS-EN 15804:2019, 27.)

B7. Rakennuksen teknisten järjestelmien veden käyttö-moduuli kattaa rakennuksen tai rakennuskohteen käyttövaiheen, eli luovutuksesta purkamiseen asti. Moduuli kattaa rakennuksen tai rakennuskohteen teknisten järjestelmien käytön aikaisen veden kulutuksen, johon sisältyy veden hankinta, käsittely ja siirto, sekä jäteveden käsittely ja siirto. Rakennukseen integroidut tekniset järjestelmät ovat rakennukseen asennettuja teknisiä laitteita, jotka tukevat sen toimintaa (SFS-EN 15804:2019, 28). Rakennuksen integroituihin teknisiin järjestelmiin kuuluvat lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, valaistus ja lämpimän käyttöveden järjestelmät. Teknisiä laitteita ovat myös kaikki turvallisuusjärjestelmät ja rakennuksen kuljetusjärjestelmät eli hissit ja rullaportaat sekä tietoliikennejärjestelmät. (SFS-EN 15804:2019, 28.)

4.3.3 Purkuvaiheen moduulit C1-C4

Rakennustuotteen purkuvaihe alkaa, kun se korvataan, irroitetaan, tai puretaan rakennuksesta. Purkuvaiheen aikana kaikki poistuvat tuotteet, (rakennustuotteet,

materiaalit, jne..) luokitellaan jätteeksi. Jätemateriaali voi saavuttaa end-of-waste-tilan, jos talteenotettua materiaalia käytetään johonkin tarkoitukseen ja se täyttää käyttökohteen tekniset vaatimukset, tuotteella on rahallista arvoa sekä sen käyttö ei tuota haitallisia ympäristövaikutuksia. (SFS-EN 15804:2019, 28). Tuotteen käyttöiästä ja valitusta purkuvaiheen skenaariosta riippuen rakennustuotteen käytöstäpoisto voi olla sama kuin rakennuksen (SFS-EN 15804:2019, 28).

C1. Purkamisen-moduuli kattaa materiaalin, tuotteen tai rakennusosan korvaamisen, irrottamisen tai purkamisen. Moduuli sisältää kaikista toimenpiteistä aiheutuvien jätteiden työmaalajittelun. (SFS-EN 15804:2019, 28). Purkuvaiheen kuljetukset-moduuli C2 kattaa poistetun materiaalin, tuotteen tai rakennusosan kuljetus jätteenkäsittelyn osana, esimerkiksi kuljetus kierrätysmateriaalin lajitte-lupaikalle tai jätteen kuljetus loppusijoitukseen. (SFS-EN 15804:2019, 28.)

C3. Purkujätteen käsittely-moduuli kattaa jättejakeiden keräämisen työmaalta ja niiden käsittely uudelleenkäyttöä, kierrätystä tai energiantuotantoa varten. Jätteenkäsittelyprosessi on mallinnettava ja kaikki perusvirrat tulee sisällyttää inventaarioon. Mikäli materiaali, tuote tai rakennusosa voidaan hyödyntää energiantuotantolaitoksessa, jonka hyötysuhde on vähintään 60%, se katsotaan energiantuotannon kierrätyspolttoaineeksi. (SFS-EN 15804:2019, 28.) C4. Purkujätteen loppusijoitus-moduuli sisältää purkujätteen fysikaalisen esikäsittelyn ja loppusijoituksen sekä loppusijoituspaikan ylläpidon. (SFS-EN 15804:2019, 28.)

4.3.4 Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, D-moduuli

D-moduulit ovat elinkaaren ulkopuolisia vaikutuksia, kierrätystä, uudelleenkäyttöä ja hyödyntämistä. Informaatiomoduli D pyrkii läpinäkyvyyteen käytöstä poistuvien materiaalien ja tuotteiden energian käytöstä johtuvien ympäristövaikutusten esittämisessä seuraavassa tuotejärjestelmässä. (SFS-EN 15804:2019, 29.)

4.4 EPD-selosteen pakolliset elinkaariarvioinnin tulokset

EPD-selosteeseen tulee RTS PCR-menetelmäohjeen mukaan sisällyttää seuraavat elinkaariarvioinnin tulokset:

- Ympäristövaikutukset.
- Luonnonvarojen käyttö.
- Jätekategoriat.
- Muut ympäristöindikaattorit.
- Muut ilmoitettavat tiedot (päästöt maahan, pintaveteen, sisäilmaan).
- Tekniset lisätiedot.
- Käyttö, tuotteen kuljetus, hukka työmaalla, end-of-life, jätteen käsittely ja uudelleen käyttö.
- Hyödyntäminen ja kierrätys.
- Lisätietoja.

5 Standardit

5.1 ISO-standardit (14040-sarja)

Tällä hetkellä on käytössä viisi elinkaariarviointia ohjaavaa standardia:

- ISO 14040:2006: Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.
- ISO 14044:2006: Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.
- ISO/TR 14047: Environmental management. Life cycle impact assessment.
- ISO/TS 14048:2002: Environmental management. Life cycle assessment. Data documentation format.

- ISO/TR 14049:2000: Environmental management. Life cycle assessment. Examples of application of ISO 140414 to goal and scope definition and inventory analysis. (Antikainen 2010, 16.)

ISO 14040 esittelee elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja periaatteet. ISO 14044 määrittää elinkaariarvioinnin vaatimukset ja opastaa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittämisessä, inventaarion tekemisessä sekä vaikutusarvioinnissa. ISO 14040 sisältää yleiset ohjeet elinkaariarvioinnin vaiheiden sisällöstä ja mitä niissä tulisi huomioida. (Antikainen 2010, 16.)

ISO/TR 14047 ja ISO/TR 14049 ovat teknisiä raportteja, jotka selventävät ISO 14040:n ja ISO 14044:n soveltamista esimerkkien avulla. ISO/TS 14048:ssa on esitetty inventaariotietojen raportoimiseen vaikuttavat yleiset kehykset ja vaatimukset. Nämä kolme viimeisimmin mainittua standardia ovat saatavilla ainoastaan englanninkielisinä. (Antikainen 2010, 16.)

5.2 EPD-laskentaa ohjaava standardi

EPD-laskentaa ohjaava standardi on SFS EN ISO 15804:2012+A2:2019. Standardin tarkoituksena on varmistaa todennettavissa olevien ja yhdenmukaisten, elinkaariarviointiin perustuvien tietojen tuottaminen ympäristöselostetta varten. (Antikainen 2010, 19.)

- ISO 15804:2012+A2:2019: Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt.

Tässä opinnäytetyössä pääasiallisesti käytettävät standardit ovat SFS-EN ISO 14040:2006+A1:2019, SFS-EN ISO 14044:2006+A2:2020 ja SFS-EN ISO 15804:2012+A2:2019. Tämän opinnäytetyön alustava EPD-seloste toteutettiin RTS EPD:n mukaan. EPD-seloste tehtiin RTS PCR-menetelmäohjeen mukaan, käyttäen ohjaavana standardina ISO 15804:2019+A2-standardia.

6 Sähkökeskusmekaniikka

6.1 Yrityskuvaus Finelcomp Oy

Pohjois-Karjalan Outokummussa sijaitseva Finelcomp Oy on Suomen johtava sähkökeskusmekaniikan ohutlevyosien valmistaja. Yritys tarjoaa ratkaisuja sähkönjakelu- ja telelaitteiden kotelointi- ja kiinnitysmekaniikan tarpeisiin valmistaamallaan ohutlevykeskuksilla (Finelcomp 2020). Yritys työllistää nykyisin noin 120 työntekijää ja on alusta asti toiminut Outokummussa. Heidän keskeisimmät asiakkaat tässä opinnäytetyössä analysoitavan tuotteen osalta ovat pohjoismaiset sähkökeskusvalmistajat Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. (Kauppinen 2022.)

6.2 Teräsohutlevytuotteiden valmistus

Ohutlevykäsitteen rajana pidetään 3-4 millimetrin ainevahvuutta. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelmä & Hultin 2010, 1.) Teräsohutlevyksi katsotaan pinnoittamaton tai pinnoitettu teräslevy, joka on ainevahvuudeltaan korkeintaan 3mm. Erilaisilla käsittelyillä saadaan muutokset pinnanlaatuihin ja muokattavuuteen. (Matilainen, ym 2010, 7.)

Leikkaaminen on ensimmäinen työvaihe, joka ohutlevytuotteelle tehdään ja käytettäviä menetelmiä on useita (Parviainen, Havas 2010, 142). Finelcomp Oy:llä materiaalin leikkaaminen tapahtuu pääasiassa levytyökeskuksilla (Kauppinen, 2022). Levytyökeskukset ovat levytyötekniikassa yleiskoneita, joilla pystytään leikkaamaan, lävistämään, nakertamaan ja tekemään matalia muotoja. Erikoistyökaluna levytyökeskuksiin on kehitetty monityökalupää (multitool), jolla lisätään valmistuksen automaatiota ja tehokkuutta. (Parviainen, Havas 2010, 182-183.)

Ohutlevyketeloiden muotoilu tapahtuu taivutusautomaatilla tai särmäyspuristimella. Taivutusautomaatti toimii nimensä mukaisesti automaattisesti käyttäjän ohjelmoitua koneen toteuttamaan työ tietyllä tavalla (Kauppinen 2022.) Särmäminen eli ohutlevyjen taivuttaminen tehdään särmäyspuristimella, joka on yleisimpiä ohutlevyteollisuuden koneita. Niitä on erikokoisia ja -tehoisia moniin eri käyttötarkoituksiin. Särmäyspuristin toimii mekaanisesti, hydraulisesti tai pneumaattisesti. (Parviainen, Havas 2010, 239-240).

6.3 Tässä opinnäytetyössä analysoitavan tuotteen valmistus

Tässä opinnäytetyössä analysoidut teräsohutlevyketelot ovat materiaaliltaan kuumasinkittyä terästä. Ainevahvuus vaihtelee 1-2 mm:n välillä. Kappaleiden valmistuksessa käytetyt työvaiheet ovat lävistäminen, taivutus ja valmiiden kappaleiden maalaus. Ohutlevytuotteiden valmistuksessa käytetyt laitteet ovat monityökalupäinen levytyökeskus teräsohutlevyjen lävistämiseen, sekä särmäyspuristin tai taivutusautomaatti leikattujen kappaleiden taivuttamiseen. Lopuksi kappaleet maalataan jauhemaalilla automaattisella maalauslinjastolla. (Kauppinen 2022).

7 Tuotteen elinkaariarviointi ja EPD-laskenta, käytetyt menetelmät

7.1 Tutkimusmenetelmät ja rajaukset

Tämä opinnäytetyö toteutettiin tutkimuksellisena kehittämistyönä. Kirjallisuuskatsaus suoritettiin lähinnä standardeja ja rakennustietosäätiön sekä ympäristökeskuksen erilaisia julkaisuja tarkastellen. Aineiston valinnassa kiinnitettiin

huomiota lähteiden tuoreuteen, koska lakimuutoksia ympäristöasioihin tehdään jatkuvasti.

Kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimuksessa suoritettiin elinkaariarviointi ja laadittiin alustava EPD-seloste. EPD-selosteen julkaisu ja verifiointi on rajattu pois tästä opinnäytetyöstä. Tutkimuksen aineisto kerättiin haastattelemalla yrityksen edustajaa ja yritykseltä saaduista materiaali- ja prosessitiedoista. Lisäksi aineistona käytettiin Ecoinvent-tietokantaa, jota SimaPro-ohjelmisto hyödyntää. Tämä tietokanta sisältää luotettavia prosessien ja raaka-aineiden päästötietoja. Lisäksi alustavan EPD-selosteen laatimisessa käytettiin mallina Karelia AMK:sta valmistuneen Alma Pohjosen laatimaa, Suomen ensimmäistä led-valaisimille tehtyä EPD-selostetta.

7.2 Tutkimuksen kohde ja kulku

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin tarkastelemaan sähkökeskuselektronikkatuotteen ympäristövaikutuksia. Tärkeimpänä tavoitteena oli saada laskettua Finelcomp Oy:n E-NFS-sarjan sähkökeskuselektronikkatuotteen hiilijalanjälki. E-NFS-sarjan sähkökeskuselektronikkasta oli yrityksen tiloissa valmis esittelymalli, joka päädyttiin ottamaan tarkasteluun, koska siinä on kaikki yleisimmät komponentit, mitä heidän sähkökeskuselektronikkatuotteissaan käytetään.

Tässä opinnäytetyössä tehtiin elinkaariarviointi ja sen pohjalta alustava EPD-seloste Finelcomp Oy:n E-NFS-sarjan sähkökeskuselektronikalle. Elinkaariarvioinnin tuloksia käytetään organisaation sisäisesti. Elinkaariarvioinnin työkaluna käytettiin SimaPro-elinkaariarviointi työkalua. Alustava EPD-seloste laadittiin RTS EPD-selosteena, SFS-EN 15804:2012 + A2:2019-standardin ja RTS PCR-menettelmäohjeen mukaan.

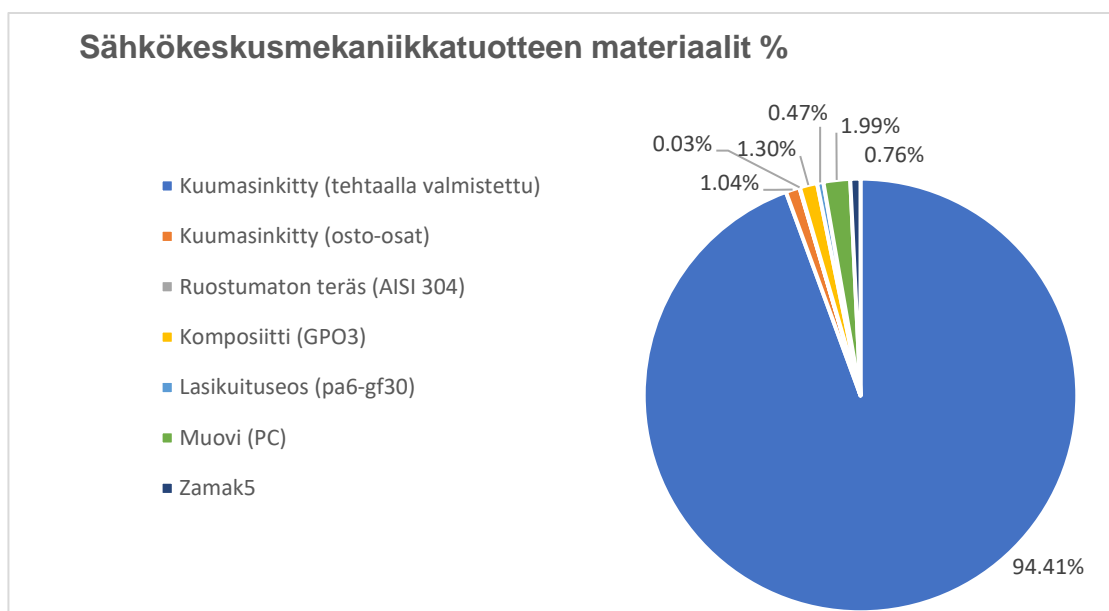
Tutkimuksen kohteena ollut sähkökeskuselektronikkatuote on ohutmetallilevyistä koostuva sähkökeskuselektronikka (kuva 1). Tuote sisältää esimerkiksi pystykiskoja, kennostoja ja ulosvedettäviä lähtöyksiköitä. Tuotteessa on standardisoidut

paikat komponenteille, jotka asiakas itse laittaa käyttötarkoituksen mukaan paikoilleen. Tuotteen runko on valmistettu kuumasinkitystä teräksestä ja PC-muovista valmistetaan tuotteeseen tukieristimet. Lisäksi laskelmiin rajattiin mukaan kaikki materiaalitiedoista selvinneet ruuvit, lukot, saranat yms.



Kuva 1. Finelcomp Oy:n E-NFS-sarjan sähkökeskusmekaniikkatuote.

Analysoitava tuote koostuu pääasiassa kuumasinkitystä teräksestä (441,75 kg). Lisäksi tuotteessa on osto-osien materiaaleina ruostumatonta terästä (Aisi 304) 0,16 kg, komposiittia (GPO3) 6 kg, PC muovia 9,2 kg, Zamak5 sinkkiseosta 3,5 kg ja lasikuituseosta (pa6 GF30) 2,2 kg. Kuviossa 4 näkyy materiaalien prosentuaaliset osuudet tuotteessa.



Kuvio 4. Materiaalien osuudet tuotteesta

7.3 Elinkaariarvioinnin laajuus ja ilmoitettu yksikkö

Tämä elinkaariarviointi suoritettiin ympäristönäkökannalla ja siitä rajattiin sekä sosiaalinen, että taloudellinen näkökulma pois. Elinkaariarviointi suoritettiin tehtaalta-portille optioon. Tämä käsittää moduulit A1-A5, C1-C4 ja D. Tuotteella ei ole käytön aikaisia päästöjä, eikä sitä juurikaan tarvitse huoltaa, joten B-osio päätettiin rajata pois laskelmista.

Tähän elinkaariarviointiin ei määritelty toiminnallista yksikköä, koska se ei sisällä elinkaaren käyttövaiheita, eikä tuotteen elinkaaren aikana kulu energiaa eikä vettä. Ilmoitetuksi yksiköksi valittiin 1m valmista tuotetta, jolla saatiin hiilijalanjälkiyksikkö kg CO₂e/m laskettua.

7.4 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysi suoritettiin haastattelemalla Finelcomp Oy:n teknistä päälliköä Heikki Kauppista. Kauppisen kanssa käytiin keskusteluja yrityksessä paikan päällä ja sähköpostitse. Inventaarioanalyysi muodostuu pääasiassa Finelcomp Oy:n BOM- ja BOP-taulukoista, jotka olivat vuoden 2021 dataa. Lisäksi yrityksessä punnittiin fyysisesti niiden komponenttien massa, mistä massatietoja ei ollut saatavilla.

Haastatteluista saadut materiaali ja prosessitiedot syötettiin SimaPro-ohjelmistoon. A1-A3 moduulien tiedot syötettiin itse, joten se vaikuttaa luotettavuustason tekijän kokemuksen ja työn aikataulun mukaan. Tiedonsiirrot ja oikeellisuudet tarkastettiin useaan otteeseen. A4-A5 ovat osittain itse syötettyjä ja osittain SimaPro-ohjelmiston arvoja. C1-C4 ovat kokonaan ohjelmiston arvoja, eikä käyttäjä näihin vaikuttanut.

7.5 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi suoritettiin käyttämällä SimaPro-ohjelmistoa. SimaPro hyödyntää Ecoinvent 3.0 tietokantaa. Allokointimetodina käytettiin SimaProssa cut-off by classification, jota EN 15804-standardin mukaan tulee EPD-selosteessa noudattaa. Ympäristövaikutukset karakterisoitiin SimaProssa en 15804+A2 Method V1.02/EF 3.0 normalization and weighting, metodilla. SimaPro-tietokannasta valittiin prosessit mahdollisimman tarkasti oikeaa materiaalia, tuotetta tai prosessia vastaavaksi. Kaikkia prosesseja ei tietokannasta löytynyt, joten ne mallinnettiin itse. Kaikista käytetyistä prosesseista tiedot löytyvät liitteestä 1. Taulukossa 1 näkyy käytetyt SimaPro-prosessit materiaalien osalta.

MATERIAALI	SimaPro prosessi
Kuumasinkitty (tehtaalla valmistettu)	Galvanized steel sheet, at plant/RNA

Kuumasinkitty (osto-osat)	Galvanized steel sheet, at plant/RNA
Ruostumaton teräs (AISI 304)	Steel, chromium steel 18/8 hot rolled (GLO) market for, cut-off, U
Komposiitti (GPO3)	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin hand lay-up (GLO) market for, cut-off, U
Lasikuituseos (pa6-gf30)	Nylon 6/6(RER) market for nylon 6/6, cut-off, U
Muovi (PC)	Polycarbonate (GLO) market for, cut-off, U
Zamak5	Itse tehty prosessi (tiedot litteessä 1)

Taulukko 1. Materiaalien SimaPro prosessit.

7.6 EPD-selosteen laatiminen

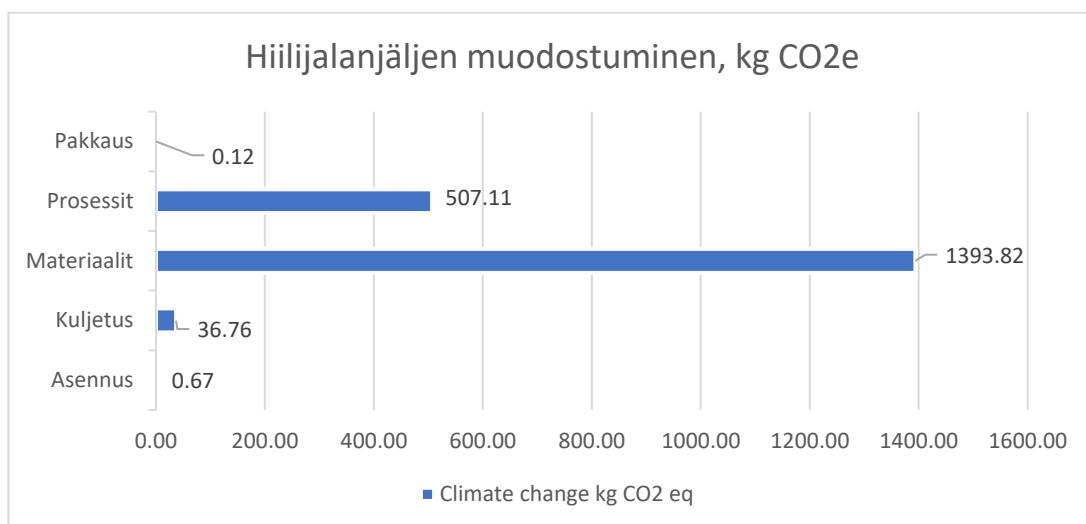
Alustava EPD-seloste laadittiin taustaraporttina elinkaariarvioinnista saadusta datasta. Raportti tehtiin mahdollisimman tarkasti SFS EN ISO 15804:2019 standardin ohjeistusta ja RTS PCR-menetelmäohjetta noudattaen. Tämän opinnäytetyön tärkeimpänä periaatteena pidettiin läpinäkyvyyttä, joten kaikki tiedot raportoitiin avoimesti ja läpinäkyvästi.

Alustava EPD-seloste ei sisällä kaikkia ohjeistuksissa määriteltyjä pakollisia tietoja. Esimerkiksi ympäristövaikutustuloksia ei ilmoitettu moduuleittain vaan raportoitiin kokonaisuutena, koska haluttiin pitää opinnäytetyö laajuudeltaan mallillisena. EPD-selosteen laatimiseen käytettiin suuntaa antavana raporttina Alma Pohjosen Greenledille tekemään led-valojen EPD-selostetta.

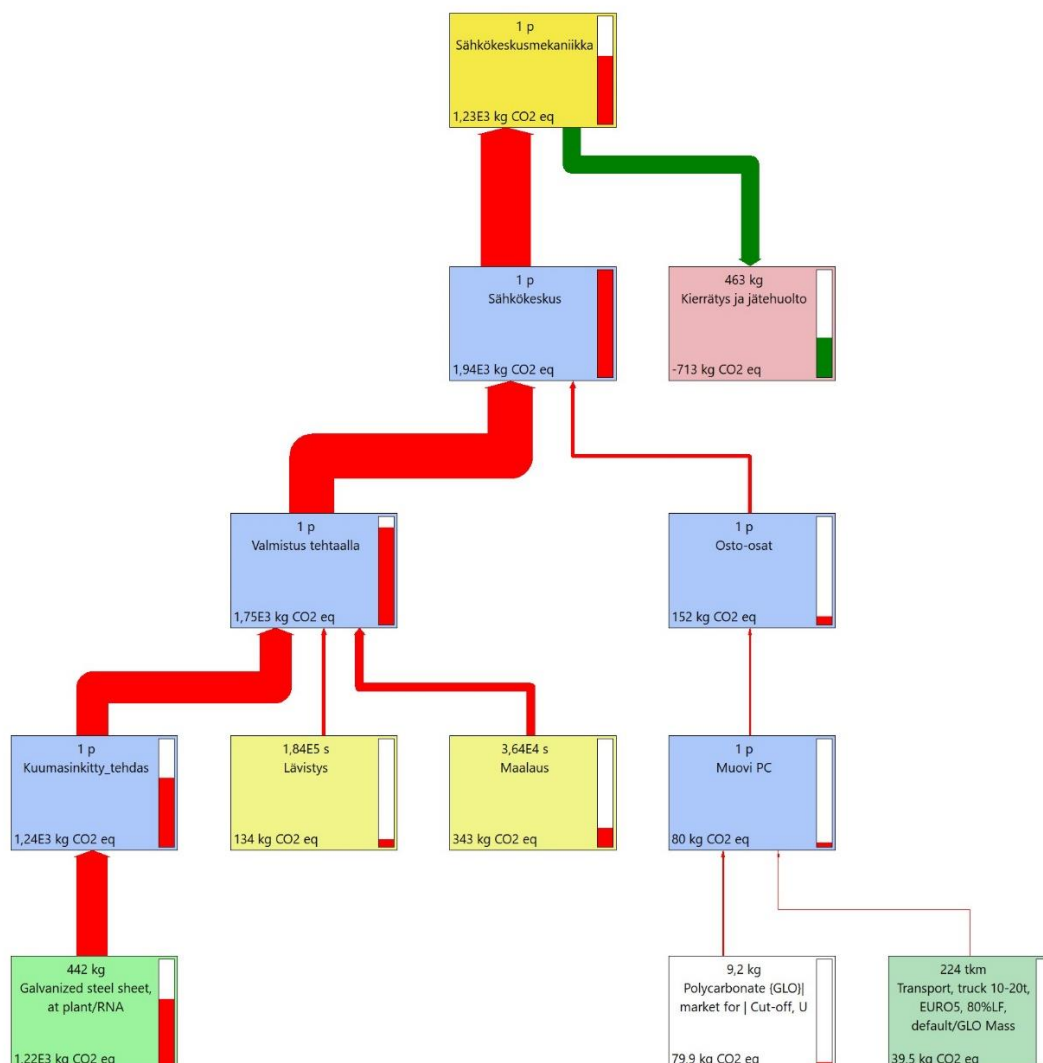
8 Tulokset

8.1 Tuotteen hiilijalanjälki

Opinäytetyössä selvitettävän sähkökeskuselektronikkatuotteen elinkaaren aikaiseksi hiilijalanjäljeksi laskettiin ”kehdosta – tehtaanportille optioin” SimaPro-mallinnuksella 1 225,7 kg CO₂e. Tuotteen hiilijalanjälki muodostuu pääasiassa tuotteen valmistukseen käytetyistä materiaaleista (72%) ja valmistuksen prosesseista (26%). Materiaaleihin sisältyy laskelmissa materiaalien kuljetukset. Elinkaaren ulkopuolisten vaikutusten eli D-moduulin kierrätyshyödytystä syntyy negatiivinen hiilijalanjälki -713 kg CO₂e (kuvio 6). Valmiin tuotteen toimituksen hiilijalanjälki on 36,8 kg CO₂e eli noin 2% koko tuotteen hiilijalanjäljestä. Asennuksen osuus hiilijalanjäljestä on 0,67 kg CO₂e ja pakkausmateriaalien 0,12 kg CO₂e (kuvio 5).



Kuvio 5. Hiilijalanjäljen muodostuminen tuotteen elinkaaren aikana, laskettu SimaPro, en15804+A2, method V1.02.

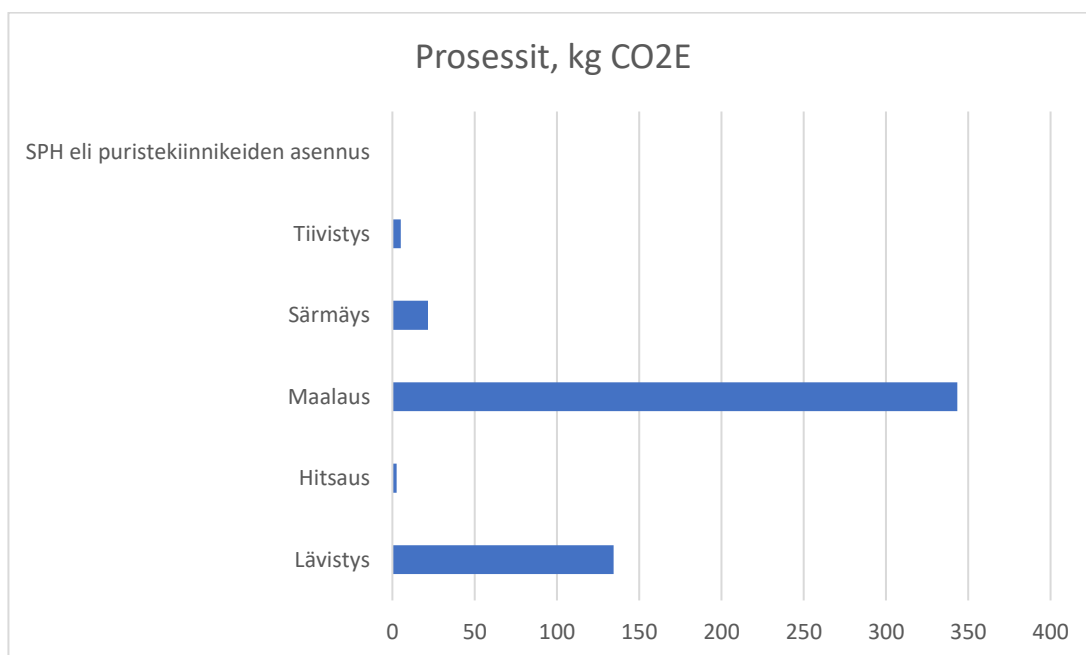


Kuvio 6. Tuotteen elinkaarimallinnus, SimaPro- metodi: en15804+A2

8.2 Valmistus tehtaalla

Tuotteen metalliohutlevyt valmistetaan tehtaalla. Tuotejärjestelmään sisältyviä valmistusprosesseja ovat särmäys, lävistys, hitsaus, maalaus, SPH ja tiivistys. Niiden hiiljalanjäljeksi laskettiin 507,1 kg CO₂e, josta kuviossa 7 näkyy prosessien osuudet. Prosesseissa käytetään sähköä ja nestekaasua. Sähkönkulutus laskettiin työkoneiden ilmoitettujen otto/liitäntätehojen mukaan. Prosessien kuttama sähkö valittiin tehtaan käyttämän sähköyhtiön (PKS) vuoden 2021

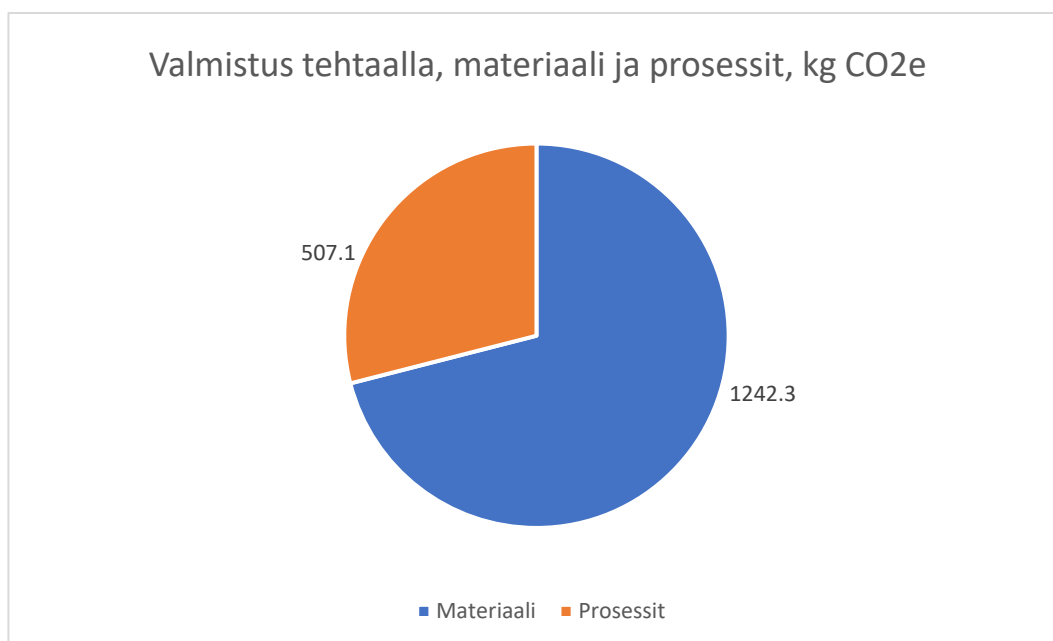
päästökerrointa vastaavaksi. SimaPro- prosessi tehtaalla käytetylle sähkölle on electricity, medium voltage (FI) market for, cut-off, U.



Kuvio 7. Tehtaan valmistusprosessien hiilijalanjäljet laskettuna SimaPro en15804+A2, method V1.02.

Kaukolämpötiedot syötettiin itse SimaPro-laskelmiin. Nämä tiedot allokoitiin tehtaan vuotuisesta kaukolämmön kulutuksesta, tuotteen massan perusteella ja päästökerroin laskettiin kaukolämmön toimittajan, Outokummun Energian viiden viimeisimmän vuoden (2017-2021) keskiarvo. Päästökertoimenä käytettiin 0,66 kg/MWh. Tämän hetkinen kaukolämmön päästökerroin Outokummun Energialla on 0,4 kg/MWh, mutta laskelmissa käytettiin viiden vuoden keskiarvoa EN 15804:2019 standardin ohjeistuksen mukaisesti.

Lisäksi tehtaalla valmistuksen laskelmiin lasketaan tuotteeseen menevän kuumasinkityn teräksen määrä. Laskelmista rajattiin pois tehtaan sisäinen liikenne, koska tehtaan valmistusmääristä yhden tuotteen allokointi olisi tulosten kannalta vaikutuksetonta. Kokonaisuudessaan hiilijalanjälki tehtaalla valmistuksen osalta oli 1 749,5 kg CO_{2e}, joka sisältää kaikki prosessit energiankulutuksineen, kaukolämmön ja tuotteeseen käytetyn kuumasinkityn teräksen sekä maalit (kuvio 8).



Kuvio 8. Tehtaalla valmistuksen materiaalin ja prosessien hiilijalanjäljet, SimaPro, en15804+A2, method V1.02.

Tuotannon prosessien pyörittämiseen käytetään energioina sähköä ja nestekaasua. Sähköenergiaa käytetään tuotteen valmistukseen yhteensä 1633,15 kWh. Tämä on laskettu yrityksen BOP-taulukoista ja käytettyjen työkonoiden otto/ilmoitustehon mukaan. Nestekaasua kuluu 24,63 kg, joka on allokoitu tehtaan vuotuisesta nestekaasun käytöstä. Energiaa kaukolämpönä kuluu tuotantotilojen lämmitykseen 0,1823 MWh.

Maalauksessa kuluu sähköä ja nestekaasua omina energioinaan. Sähköä kuluu eniten puhaltimien moottoreiden pyörittämiseen ja kaasu poltetaan prosessin kuivaus- ja polttouunien lämmitykseen. Maalauksen työaika on 10,12 h ja sähköä kuluu 1 011,67 kWh. Nestekaasua kuluu 24,63 kg ja maalia 9,4 kg. Maalauksessa käytettävä maali on Teknos jauhemaalaa. Maalin tuotesisältö on katsottu Teknoksen nettisivuilta, jonka pohjalta tehtiin SimaPro-mallinnus (kuvio 9).

Maalaus on tehtaalla valmistuksen prosesseista hiilidioksidipäästöiltään suurin. Maalauksen hiilijalanjäljeksi laskettiin 343,3 kg CO₂e, joka sisältää energian käytön ja käytetyn maalin, sekä nestekaasun jota käytetään maalauslinjojen prosessienergiaksi.

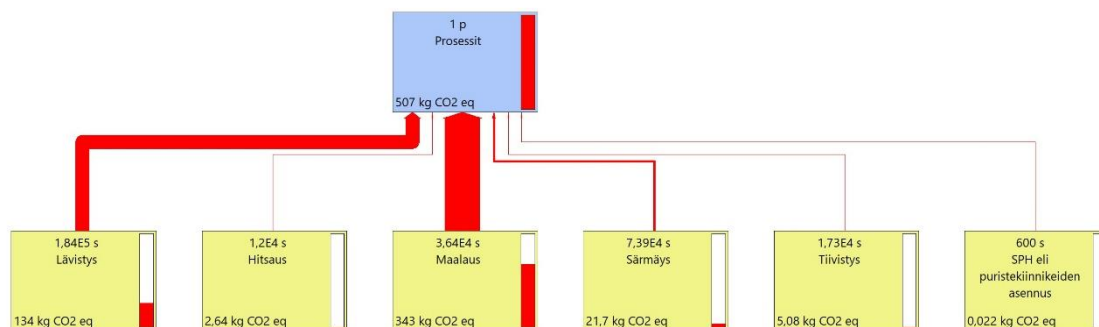
Products				
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocation
Maalaus	1	hr	Time	100 %
Add line				
Outputs to technosphere: Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2'
Add line				
Inputs				
Inputs from nature	Subcompartment	Amount	Unit	Distribution SD2 or 2'
Add line				
Inputs from technosphere: materials/fuels		Amount	Unit	
Propane (GLO) market for Cut-off, U		24,628091/10,17 = 2,42	kg	
Polyester resin, unsaturated (RER) market for polyester resin, unsaturated Cut-off, U		9,334841/10,17 = 0,918	kg	
Add line				
Inputs from technosphere: electricity/heat		Amount	Unit	Distribution SD2 or 2'
Electricity, medium voltage (FI) market for Cut-off, U		100	kWh	Undefined
Add line				

Kuvio 9. Maalauksessa käytetyt SimaPro- prosessit

Lävistys tehdään levytyökeskuksella. Lävistyksessä energiaa kuluu sähkönä, joka on saatu laskettua yrityksen BOP-taulukoista. Lävistyksen työaika on 50,98 h ja levytyökeskuksen kulutus on 10 kW. Sähköenergiaa kuluu 510 kWh. Lävistyksen hiilijalanjäljeksi laskettiin 134,4 kg CO₂e.

SPH on puristekiinnikkeiden asennusta. Kone vastaa pientä särmäyspuristinta. SPH-nimitys tulee koneen mallista (Amada SPH-80). Työtä kutsutaan ohutlevyteollisuudessa yleisesti pemmaukseksi, mikä tulee tunnetuimmasta ja niinsanotusta alkuperäisestä kiinnikebrändistä nimeltään PEM. Sähköenergiaa asennuksessa kuluu 0,08 kWh. Hiilijalanjäljeksi laskettiin 0,02 kg CO₂e.

Tiivistyksen hiilijalanjäljen osuudeksi laskettiin 5,1 kg CO₂e. Tiivistyksen työaika on BOP-taulukon mukaan 4,82 h ja koneen kulutus 4 kW, sähköä kuluu 19,3 kWh. Särmäyksen työaika on 20,53 h ja koneen kulutus 4 kW, sähköä käytetään 82,1 kWh. Särmäyksen hiilijalanjäljeksi laskettiin 21,7 kg CO₂e. Hitsauksen hiilijalanjäljeksi laskuissa saatiin 2,6 kg CO₂e. Työaika on 3,33 h, koneen kulutus 3 kW ja sähköenergiaa kuluu 10 kWh. Prosessien SimaPro-verkosto näkyy kuviossa 10.



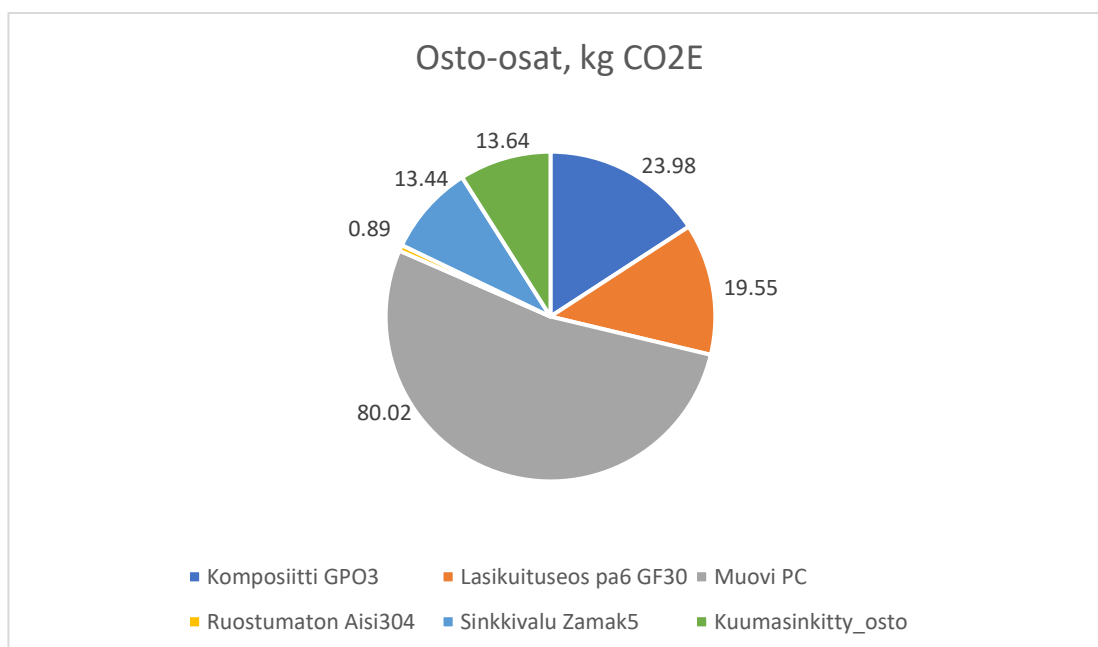
Kuvio 10. Tuotteen valmistuksen prosessien SimaPro- verkosto, en15804+A2, method V1.02, cut-off 5%.

Tehtaalla valmistukseen käytetyn kuumasinkityn teräksen hiilijalanjäljeksi laskettiin 1 242,3 kg CO₂e. Tämä sisältää käytetyn materiaalin määrän ja kuljetuksen tehtaalle. Laskennassa käytetty SimaPro-prosessi on Galvanized steel sheet, at plant/RNA. Kuumasinkittyä terästä tehtaalla valmistuksen osalta tuotteessa on 435,96 kg.

8.3 Osto-osat

Osto-osien hiilijalanjälki on 149 kg CO₂ e (kuvio 11), joka on 8% koko sähkökeskuksen hiilijalanjäljestä. Tuotteen osto-osat koostuvat pulteista, muttereista, saranoista, tukieristimistä, lukoista yms. Ostosissa käytetyt materiaalit ja määrät ovat PC-muovi 9,2 kg, pa6GF30-lasikuituseos 2,2 kg, GPO3-komposiitti 6 kg, AISI304-ruostumaton teräs 0,16 kg ja sinkkivalu-zamak 5 metalliseos 3,5 kg. Yhteensä osto-osien massa on 25,9 kg, joka on 5,6 % sähkökeskuksen materiaalien massasta.

Kaikkien osto-osien laskelmissa huomioitiin ainoastaan osiin menevän materiaalin määrä, eikä valmistuksen prosesseja. Esimerkkinä mutterin valmistuksen prosessit rajattiin järjestelmästä pois, laskettiin vain mutteriin käytettävän materiaalin massa. Kuljetusprosesseina materiaalien kuljetuksissa SimaProssa käytettiin Transport, truck 10-20 t, EURO 5, 80%LF, default/GLO Mass rekkarahdin ja Transport, sea ship, 10 000 dwt, 80%LF, short, default/GLO Mass lauttarahdin osalta. Taulukosta 2 näkyy materiaalien käytetyt SimaPro-prosessit.



Kuvio 11. Osto-osien hiilijalanjäljet, laskettuna SimaProssa vaikutusarviointi metodilla en15804+A2, method V1.02.

Komposiitista GPO 3 valmistettuja osia sähkökeskuksessa ovat kiskostotuki ja päätyeristin. Komposiitissa käytetty prosessi SimaPro:ssa on glass fibre reinforced plastic, polyester resin hand lay-up (GLO) market for cut-off. Osat tulevat tehtaalte Suomesta ja laskelmissa on huomioitu kuljetus rekkarahdilla tavarantoimittajalta.

PC-muovista valmistetaan tukieristimiä sähkökeskusmekaniikkatuotteeseen. Muovin osuus hiilijalanjäljestä on 80,02 kg CO₂e. PC-muovia tuotteessa on 9,2 kg. Muovi tulee tehtaalte Suomesta, ja kuljetus rekkarahdilla tavarantoimittajalta on huomioitu laskelmissa. SimaPro-prosessina käytettiin polycarbonate (GLO) market for cut-off.

Lasikuituseosta pa6GF30 on tuotteessa 2,2 kg. Siitä valmistetaan tuotteeseen sarana-aukon peitelevyjä. Peitelevyt valmistetaan Euroopassa ja laskelmiin käytetty kuljetusmuotoina lauttarahtia ja rekkarahtia. Hiilijalanjäljeksi lasikuituseoksen osalta laskuissa saatiin 19,55 kg CO₂e. SimaPro-prosessina käytettiin nylon 6-6, (RER) market for nylon 6-6, cut-off.

Ruostumattomasta teräksestä AISI 304 valmistettuja osia ovat saranatavit ja niitä tuotteessa on yhteensä 0,16 kg. Kuljetukset rekka- ja lauttarahdilla

sisällytettiin laskelmiin. Hiilijalanjälkeä ruostumaton teräs tuottaa 0,89 kg CO₂e. SimaPro prosessina käytettiin Steel, chromium steel 18/8, hot rolled, (GLO), market for, cut-off.

Kuumasinkitetystä teräksestä valmistettuja ostettuja osia tuotteessa ovat kisko-liittimen hakapala ja tukieristinkiinnitin. Hiilijalanjälki kuumasinkittyjen osto-osien osalta on 13,64 kg CO₂e. Osat tulevat tehtaalte rekkarahdilla Suomesta ja materiaalia on tuotteessa 5,02 kg. SimaPro prosessina käytettiin Galvanized steel sheet, at plant/RNA.

Materiaali	SimaPro prosessi
Kuumasinkitty teräs	Galvanized steel sheet, at plant/RNA
Ruostumaton teräs AISI304	Steel, chromium steel 18/8 hot rolled (GLO) market for, cut-off, U
Komposiitti GPO3	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin hand lay-up (GLO) market for, cut- off, U
Lasikuituseos pa6GF30	Nylon 6/6(RER) market for nylon 6/6, cut-off, U
Zamak 5	itse tehty mallinnus (kuvio 11)
Muovi PC	Polycarbonate (GLO) market for, cut- off, U

Taulukko 2. SimaPro käytetyt materiaalien prosessit.

Sinkkivalu-zamak 5 on metalliseos, joka valmistetaan valamalla ja se on suurimmaksi osin sinkkiä (materiaalitiedot taulukossa 3). Zamak 5-metalliseosta ei SimaProsta löytynyt valmiiksi mallinnettuna, joten tiedot syötettiin itse ja tehtiin oma mallinnus. Zamak 5:n valmistusprosessia ei löytynyt, eikä valmistaja vastannut tiedusteluihin, joten työssä käytettiin SimaPron tietokannasta löytynyttä valamisen mallinnusta. Tämän oletettiin valamisprosessien energian- ja vedenkulutuksien osalta vastaavan erittäin lähelle oikeaa prosessia. Kuviossa 12 näkyy SimaProssa käytetyt Zamak 5-prosessit.

Materiaali	osuus %	kg
Alumiini	4.000 %	0.140324
Kupari	1.000 %	0.035081
Magnesium	0.050 %	0.001754
Rauta	0.080 %	0.002806
Lyijy	0.003 %	0.000105
Cadmium	0.003 %	0.000105
Tina	0.001 %	0.000035
Sinkki	94.863 %	3.327889
	Yhteensä	3.508100

Taulukko 3. Zamak 5- sinkkivalun materiaalisältö, lähde dynacast.fi

Edit assembly 'Sinkkivalu Zamak5'							
Input/output		Parameters					
Name	Status	Comment					
Sinkkivalu Zamak5	None	Merkittävimmät Zamak 5 aineet dynacast.com mukaan. Lisäksi valuun arvioitu energian käyttö, maakaasulla tuotettua sähköä.					
Materials/Assemblies		Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max
Zinc (GLO) market for Cut-off, U		3,32788903	kg	Undefined			
Copper, at regional storage/RER U		0,035081	kg	Undefined			
Aluminium, primary, cast alloy slab from continuous casting (GLO) mark		0,140324	kg	Undefined			
Magnesium (GLO) market for Cut-off, U		0,00175405	kg	Undefined			
Lead (GLO) market for Cut-off, U		0,000105243	kg	Undefined			
Cadmium (GLO) market for Cut-off, U		0,000105243	kg	Undefined			
Tin (GLO) market for Cut-off, U		0,000035081	kg	Undefined			
Cast iron (GLO) market for Cut-off, U		0,00280648	kg	Undefined			
Add line							
Processes		Amount		Unit			
Transport, truck 10-20t, EUROS, 80%LF, default/GLO Mass		0,0035081*1720 =		€ tkm			
Transport, freight, sea, ferry (GLO) market for transport, freight, sea, ferry Cut-off, U		0,0035081*80 = 0,2		tkm			
Electricity, natural gas, at power plant/CENTREL U		0,07		kWh			
Add line							

Kuvio 12. Sinkkivalu Zamak 5:n SimaProssa käytetyt prosessit.

Tutkittavan sähkökeskusmekaniikan Sinkkivalu zamak5-metalliseos osat valmistetaan Euroopassa ja materiaalit matkaavat toimittajilta Viroon rekkarahdilla sekä lauttarahdilla Viroota Suomeen, josta rekkarahdilla tehtaalle Outokumpuun.

8.4 Kuljetus

Valmistusmateriaalit tulevat suurimmiksi osin tehtaalle rekalla, joko Suomesta tai Euroopasta. Taulukossa 4 näkyy materiaalien kuljetusmatkat ja taulukossa 5 kuljetusten päästökertoimet. SimaPro:ssa käytettiin rekkarahdin osalta Transport, truck 10-20t, 80%LF, default/GLO Mass-prosessia ja lauttarahdin prosessiksi valittiin Transport, sea ship, 10000 dwt, 80%LF, short, default/GLO Mass. Tämä vastaa oikeaa lauttaa MS Finbo Cargo, Eckerölinen rahtikuljetus-lauttaa, jolla materiaalien oletetaan kuljetettavan Virosta Suomeen.

Materiaali	Matka rekalla (km)	Matka laivalla (km)
Kuumasinkitty teräs	430	-
Ruostumaton teräs (AISI 304)	1720	80
Komposiitti (GPO3)	430	-
Lasikuituseos (pa6-GF30)	1720	80
Muovi (PC)	65	-
Sinkkivalu (Zamak 5)	1720	80

Taulukko 4. Materiaalien kuljetusmatkat tehtaalle

Kohde	Arvo	Tiedon laatu
A4 Kuljetuksen ominaispäästö, rekka, CO ₂ päästö g CO ₂ ekv./t * km	80	Merenkulkujärjestö IMO, GHG second study
A4 keskimääräinen kuljetusmatka, rekka, km	1014.167	Materiaalien matkojen keskiarvo laskettuna
A4 Kuljetuksen ominaispäästö, laiva, CO ₂ päästö g CO ₂ ekv./t * km	7.9	Merenkulkujärjestö IMO, GHG second study
A4 keskimääräinen kuljetusmatka, laiva, km	80	Laivalla sama reitti kaikilla toimituksilla, 80 km

Taulukko 5. Kuljetusten keskiarvotiedot.

8.5 Pakkausmateriaalit

Pakkausmateriaalit sisällytettiin tässä työssä asiakkaalle kuljetuksen yhteyteen. Kuviossa 13 näkyy SimaProssa käytetyt prosessit. Pakkausmateriaalien määrät ovat arvioita. Laskelmissa käytettiin kartongin massana 0,8 kg ja pakkausmuovin massana 0,2 kg. Hiilijalanjäljeksi laskettiin 0,12 kg CO₂e.

Name	Status	Comment
Pakkausmateriaalit	None	

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
Corrugated board, recycling fibre, single wall, at plant/RER U	0,8	kg	Undefined				arvio määrästä!
Packaging film, low density polyethylene (GLO) market for Cut-off, U	0,2	kg	Undefined				arvio määrästä!

Add line

Processes

Add line

Amount

Unit

Distribution

SD2 or 2SD

Image

Kuvio 13. Pakkausmateriaalien SimaPro- prosessit.

8.6 EPD- moduulit

8.6.1 Työssä käytetyt moduulit

Tässä opinnäytetyössä EPD-seloste tehtiin alustavana. Kaikki ilmoitetut (taulukko 6) moduulit on tarkasteltu, mutta kaikista moduuleista ei tuloksia raportoitu. Ympäristövaikutuksia ei ilmoitettu erikseen jokaisen moduulin kohdalta, kuten standardi ja menetelmäohje vaatii, vaan vaikutukset ilmoitettiin kokonaisuutena (taulukot 10 ja 11).

Tämä seloste on tehty "kehdosta - tehtaan portille optioin" ja se kattaa alla X - merkityt moduulit.

Tuote vaihe			Asennus-vaihe		Käyttövaihe							Purkuvaihe				Elinkaa-ren ulko-puoliset vaikutuk-set		
X	X	X	X	X								X	X	X	X	X	X	X
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D
Raaka-aineiden hankinta	Kuljetus valmistukseen	Valmistus	Kuljetus	Asennus	Käyttö	Kunnossapito	Korjaus	Osien vaihto	Laajamittaiset korjaukset	Teknisten järjestelmien energian	Teknisten järjestelmien veden	Purkaminen	Purkujätteen kuljetus	Purkujätteen käsittely	Purkujätteen loppusijoitus	Uudelleenkäyttö	Palauttaminen	Kierrätys

	Pakolliset mo- duulit
	Pakollisia RTS EPD- menetelmäohjeen kohdan 6.2.1 sääntöjen ja ehtojen mukaisesti
	Valinnaiset mo- duulit

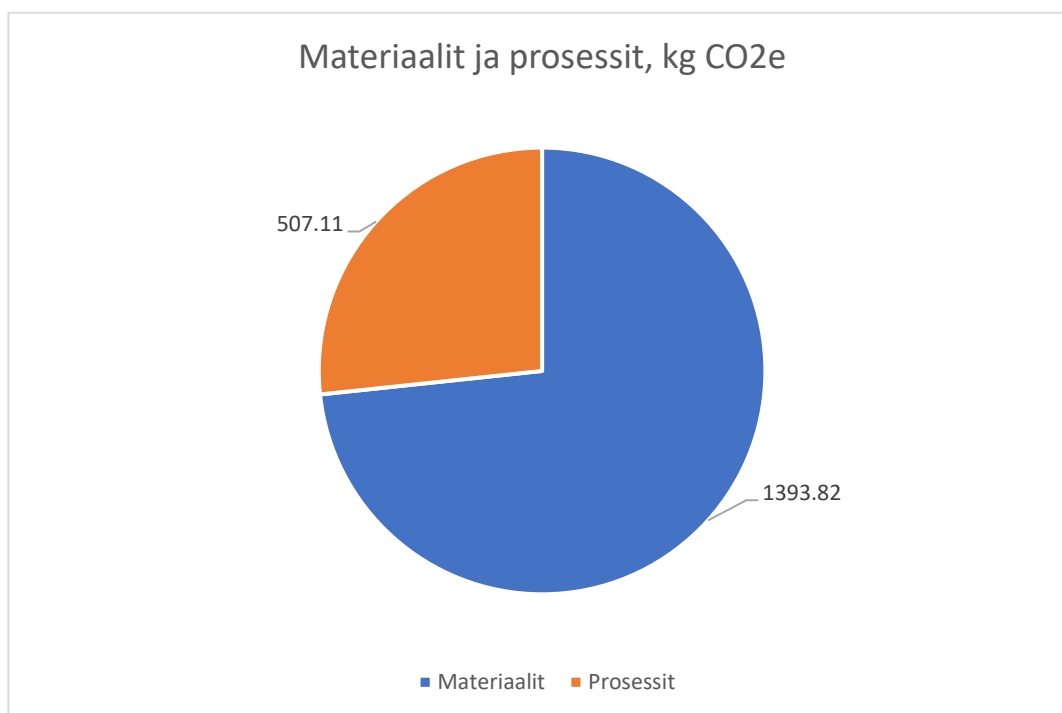
Taulukko 6. Tässä työssä tarkastellut moduulit.

8.6.2 A1-A3

Raakamateriaalien louhinta ja toimitus-moduuli A1 kattaa perusmateriaalin ja esivalmistettujen komponenttien hankinnan ja käsittelyn. A2 moduuli sisältää materiaalien ja komponenttien kuljetuksen valmistajalta tuotteen valmistusteh-
taalle (Outokumpu, Suomi). Valmistus-moduuli A3 sisältää tuotteen valmistami-
seen käytetyn energian. Kaikki käytetyt tiedot kerättiin yrityksen BOP (bill of pro-
cesses) taulukoista. Valmistuksen prosessien laskelmissa käytettiin sähköener-
gian prosessia electricity, medium voltage (FI) market for, cut-off, U.

Tässä työssä materiaalien kuljetusprosesseista ei ole eriteltyjä laskelmia. Mo-
duulien A1-A3 hiilijalanjälki on 1 938,4 kg CO₂e ja tämä kattaa 98 % koko

tuotteen hiilijalanjäljestä. Alla kuviossa 14 on eriteltynä materiaalien ja tehtaan prosessien hiilijalanjäljet.



Kuvio 14. Materiaalien hiilijalanjäljet mitattuna EN 15804+A2 Method V1.02:lla.

8.6.3 A4-A5

Tehtaalta tuote kuljetetaan asiakkaalle rekkarahdilla. Koska tuotteella ei ole yhtä tiettyä toimituspistettä, päädyttiin laskelmissa käyttämään kuljetusmatkana 400 km. Tämä matka on arvioitu keskimääräiseksi kuljetusmatkaksi. Kuljetusprosessina SimaPro laskelmissa käytettiin Transport, truck 10-20t, EURO 5, 80%LF, default/GLO Mass. Rekan oletettiin kuljettavan materiaalit täyteen lastattuna ja oletettiin palaavan takaisin 80% lastissa. Kuljetuspainoon laskelmissa lisättiin 3 euro-lavaa, jotka ajateltiin kattavan kyseisen sähkökeskusmekaniikka-tuotteen kuljettamisen. Työmaalle kuljetuksen osuudeksi hiilijalanjäljestä laskettiin 36,8 kg CO₂e.

Asennusvaiheen päästöissä huomioitiin puolen tunnin poraaminen 1 kW:n porakoneella. Asennuksen toteutus on arvioitu oletuksena, koska on

tapauskohtaista, miten ja mihin alustaan sähkökeskus kiinnitetään. Tuotteen kaasaaminen onnistuu oletettavasti ilman sähkötyökaluja. Asennuksen hiilidioksidipäästökseksi saatiin 0,67 kg CO_{2e}.

8.6.4 C1-C4

Moduulit C1-C4 tämän selvityksen osalta sisältävät pelkästään puretun tuotteen kuljetuksen C2, koska purkamisesta ei ole saatavilla luotettavaa tietoa. Purkutyö oletetaan tämän tuotteen kohdalla melko yksinkertaiseksi, joten sillä ei ole merkittävyyttä tuloksiin. Jätteenkuljetustiedot ovat sisällytetty LCA- laskelmiin tuotteen massan ja etäisyyden mukaan. Jätteiden kuljetusmatkaksi arvioitiin keskimäärin 25 kilometriä.

8.6.5 D-moduuli

Edut ja kuormitukset järjestelmän rajojen ulkopuolella. Tästä tuotteesta syntyy laskelmien mukaan ympäristöhyötyjä kierrätyksestä n. -713 kg CO_{2e}. SimaPro laskelmissa käytettiin metallijätteen kierrätysprosenttia 90%. Tämä perustuu EuRIC julkaisemaan metal recyclign factsheetin ilmoittamaan metallin talteenotto- ja kierrätysasteeseen (kuvio 15). Muovista oletettiin kierrätettävän 55 % ja pakkauskartongista 90 % (kuvio 16). Taulukossa 7 näkyy SimaPron kierrätysprosessit joita työssä käytettiin.

Materiaali	Kierrätysaste	Kierrätysprosessi SimaPro
Metalli	90 %	steel and iron (waste treatment) (GLO), recycling of steel and iron, APOS, U
Muovi	55 %	mixed plastics (waste treatment) (GLO) recycling of mixed plastics, APOS, U

Sinkki	93 %	zink scrap, post-consumer (GLO) zink scrap, post-consumer, APOS, U
Kartonki	90 %	core board (waste treatment) (GLO) recycling of core board, APOS, U

Taulukko 7. SimaPro:ssa käytetyt kierrätysprosessit

Kuvio 15. SimaPro:ssa käytetty metallinkierrätys prosessi.

Kuvio 16. Kartongin ja muovin kierrätysprosessit SimaPro:ssa.

Jätehuolto ja kierrätys perustuvat ajatukseen, että kierrätysmateriaalilla korvataan alhaisemman jalostusasteen primäärimateriaalia, jonka valmistuksen vältyt päästöt lasketaan D- moduulissa ympäristöhyödyksi. Tätä kutsutaan haitanjaolliseksi elinkaariarvioinniksi ja tämä on nykyisin vallitseva käytäntö yrityksissä. Muiden jätelajien oletettiin päätyvän poltettavaksi.

8.7 Allokointi

Tuotannon kaukolämmön kulutuksen allokaatio perustuu vuosituotantoon. Energiankulutus laskettiin jakamalla tuotteen massa 436,95 kg, koko tehtaan vuotuisen sähkömekaniikkatuotteiden valmistuksen massalla. Tästä saatiin tuotteen prosentuaalinen osuus tuotannosta, jota käytettiin energiankulutuksen allokoinnissa. Nestekaasun ja maalin määrä laskettiin myös samalla suhteella allokointuna vuotuisesta tuotannosta (liite 1). Tehtaan kokonaistuotannon tietoja ei raportissa ilmoitettu, koska koettiin ne salassa pidettäviksi.

8.8 Tuotejärjestelmän rajaus

Tutkimus on tehty kehdosta portille optioin, moduuleilla C1-C4 ja moduulilla D. Tutkimus sisältää kaikki standardissa EN 15804:2012+A2:2019 ja RTS PCR-menetelmäohjeen pakolliseksi määritellyt moduulit. Käytönaikaisia moduuleja (B1-B7) ei tässä työssä ole tarkasteltu. Alla olevasta taulukosta 8 näkyy, mitä moduuleja työ sisältää.

Sisältyy	Ei sisälly
Tuotteen valmistus A1	Komponenttien valmistus
Kuljetus valmistukseen A2	Palautusten kuljetusta
Tuotannon energiankulutus A3	Käyttövaihe B1
Kuljetus asiakkaalle A4	Kunnossapito B2
Asennus A5	Korjaus B3
Purkaminen C1	Vaihto B4
Kuljetus hävitykseen C2	Kunnostus B5
Jätteen käsittely C3-C4	Käytön aikainen energia B6
	Veden käyttö B7

Taulukko 8. Sisällytetyt moduulit

8.9 Vaikutusarviointi

Sähkökeskuskonekatuotteiden ympäristövaikutukset laskettiin SimaPro en 15804+A2 Method V1.02/EF 3.0 normalization and weighting, vaikutusarviointimenetelmällä. Luonnonvarojen käyttöä kuvaavat indikaattorit laskettiin CED-menetelmällä.

EPD:ssä ilmoitetaan standardin EN 15804+A2:2019 mukaiset ympäristövaikutuksia kuvaavat indikaattorit (taulukko 10) sekä lisäindikaattorit (taulukko 12). Tässä raportissa ei eritelty ympäristövaikutuksia moduuleihin, vaan ilmoitettiin kokonaisen tuotteen ja D-moduulin vaikutukset.

Vaikutusluokka	Indikaattori	Yksikkö (ilmoitettuna toiminnallista tai ilmoitettua yksikköä kohti)
Ilmastonmuutos	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, kokonaisvaikutus (GWP-total)	kg CO2 ekvivalentti
Ilmastonmuutos, fossiiliset	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, fossiiliset polttoaineet (GWP-fossil)	kg CO2 ekvivalentti
Ilmastonmuutos, eloperäiset	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, eloperäinen (GWP-biogenic)	kg CO2 ekvivalentti
Ilmastonmuutos, maankäyttö ja maankäytön muutokset	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, maankäyttö ja maankäytön muutos (GWP-luluc)	kg CO2 ekvivalentti
Otsonikato	Vaikutuspotentiaali yläilmakehän otsonikatoon (ODP)	kg CFC 11 ekvivalentti
Happamoituminen	Vaikutuspotentiaali happamoitumiseen, kertynyt ylittymä (AP)	mol H+ ekvivalentti
Rehevöityminen, makea vesi	Vaikutuspotentiaali rehevöitymiseen, makeaan veteen siirtyvien ravinteiden osuus (EP-freshwater)	kg PO4 ekvivalentti
Rehevöityminen, merivesi	Vaikutuspotentiaali rehevöitymiseen, meriveteen siirtyvien ravinteiden osuus (EP-marine)	kg N ekvivalentti

Rehevöityminen, maaperä	Vaikutuspotentiaali rehevöitymiseen, kertynyt ylitymä (EP-terrestrial)	mol N ekvivalentti
Valokemiallisen otsonin muodostuminen	Vaikutuspotentiaali alailmakehän otsonin muodostumiseen (POCP)	kg N M VOC ekvivalentti
Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen, fossiiliset polttoaineet	Vaikutuspotentiaali uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymiseen, fossiiliset polttoaineet (ADP-fossil)	MJ, alempi lämpöarvo
Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen, mineraalit ja metallit	Vaikutuspotentiaali uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymiseen, mineraalit ja metallit (ADP-minerals&metals)	kg Sb ekvivalentti
Veden käyttö	Vaikutuspotentiaali veden niukkuuteen, niukkuudella painotettu veden kulutus (WDP)	m3, globaali niukkuusekvivalentti

Taulukko 9. Vaikutusluokkaindikaattorit EN15804 mukaan.

Impact category	Unit	Total	Sähkökeskus	Kierrätys ja jätehuolto
Climate change	kg CO2 eq	1225.70	1938.47	-712.76
Ozone depletion	kg CFC11 eq	-8.2E-06	4.2819E-05	-5.1E-05
Acidification	mol H+ eq	6.78	9.34	-2.56
Eutrophication, freshwater	kg P eq	-0.025	0.18	-0.21
Eutrophication, marine	kg N eq	-3.07	-2.48	-0.59
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	8.59	14.86	-6.27

Ecotoxicity, freshwater	CTUe	- 5028.95	14116.53	-19145.5
Water use	m3 depriv.	263.38	319.45	-56.07
Resource use, fossils	MJ	24162.6	30428.18	-6265.57
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	0.0066	0.008	-0.0014
Climate change - Fossil	kg CO2 eq	1212.65	1927.62	-714.97
Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	8.3	5.88	2.42
Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq	4.39	4.56	-0.18

Taulukko10. Sähkökeskusmekaniikan ympäristövaikutusarviointi, laskettu SimaPro, metodilla en15804+A2 V1.02.

Vaikutusluokka	yksikkö	indikaattori
Particulate matter	disease inc.	Vaikutuspotentiaali hiuk- kaspäästöjen aiheuttamiin sairauksiin
Ionising radiation	kBq U-235 eq	Vaikutuspotentiaali ionisoi- valle säteilylle altistumiseen suhteessa U235:een
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	Toksisuuden vaikutuspo- tentiaali makean veden ekosysteemiin
Human toxicity, non-cancer	CTUh	Toksisuuden vaikutuspo- tentiaali terveyteen, muut kuin syöpävaikutukset
Human toxicity, cancer	CTUh	Toksisuuden vaikutuspo- tentiaali terveyteen, syöpä- vaikutukset
Land use	Pt	Vaikutuspotentiaali maape- rän laatuun

Taulukko 11. Ympäristövaikutuksia kuvaavat lisäindikaattorit EN 15804 muk-
aan.

Impact category	Unit	Total	Sähkökes- kus	Kierrätys ja jätehuolto
-----------------	------	-------	------------------	----------------------------

Ionising radiation	kBq U-235 eq	611.57	623.47	-11.9
Particulate matter	disease inc.	-6.6E-06	6.1375E-05	-6.8E-05
Human toxicity, non-cancer	CTUh	9.2E-06	2.28168E-05	-1.4E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	2.14E-06	4.7572E-06	-2.6E-06
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	-5028.95	14116.53	-19145.5
Land use	Pt	3074.41	4433.78	-1359.36

Taulukko 12. Lisäindikaattorit laskettu SimaPro, metodilla en15804+A2 V1.02.

9 Pohdintaa

9.1 Tulosten tarkastelu ja hyödynnettävyys

Tässä opinnäytetyössä toteutettiin sähkökeskusmekaniikkatuotteen elinkaariarviointi ja alustava EPD-laskenta. Työn tavoitteet saavutettiin ja tutkimuksessa selvitettiin tuotteen elinkaaren ympäristövaikutukset. Suurimmat osuuden tuotteen hiilijalanjäljestä aiheutuivat materiaaleista (72 %) ja valmistuksen prosesseista (26 %) (kuvio 5, s. 32). Tuloksista kävi ilmi, että prosesseista maalauksen ja lävistyksen ympäristövaikutukset ovat suurimmat. Maalauksessa energioina käytetään sekä sähköä, että nestekaasua. Sähköä prosessissa kului eniten puhaltimeiden moottoreiden pyörittämiseen ja nestekaasu poltettiin prosessin kuivaus- ja polttouunien lämmitykseen.

Elinkaariarvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää valmistusprosessien energiatehokkuuden lisäämiseen ja raaka-ainehankintojen uudelleenarviointiin. Esimerkiksi maalauslinjaston toimintaa voidaan tutkimustulosten avulla kehittää päästöttömämpään suuntaan, koska suurimmat ympäristövaikutustekijät ovat tiedossa. Lisäksi laskettua hiilijalanjälkeä aiotaan käyttää erikokoisten

pienjännitekoteloiden markkinoinnissa. Alustavaa EPD-selostetta voidaan käyttää mallina EPD-selosteen tekemiseen.

Tuotteelle laskettiin hiilijalanjäljeksi 1 225,7 kg CO₂e. Keskiverto polttomoottori-käyttöisen auton valmistamisen hiilijalanjälki on noin 6 000-7 000 kg CO₂e ja sähkökäyttöisen vielä runsaampi. (EEA 2016, TNO 2014, The Steel Wire 2017.) Tämä vastaa n. 10 000 ajokilometriä 2015-vuosimallin diesel-käyttöisellä autolla (autoalan tiedotuskeskus) tai keskiverto suomalaisen 1,5 kuukauden hiilijalankeä. Hiilijalanjälki ympäristökeskuksen mukaan on n. 10 000 kg CO₂e/vuosi.

Opinnäytetyötä tehtäessä noudatettiin melko tarkasti EPD-selosteen osalta annettuja määräyksiä ja ohjeistuksia. Joitain tietoja jätettiin tulosten raportoinnista pois, mitä EN 15804 standardin mukaan EPD-selosteessa tulisi olla. Elinkaariarviointia tehtäessä joitain tietoja arvioitiin tai oletettiin, jos täsmällistä tietoa ei ollut saatavilla. Tässä tutkimuksessa pidettiin ensiarvoisen tärkeänä työn läpinäkyvyyttä, joten kaikki mitä tehtiin myös raportoitiin. Tiedon saatavuus oli mutkatonta ja käytetty data on luotettavaa. Tulosten laskemiseen tarvittava data saatiin pääasiassa yrityksen BOM- ja BOP-Excel taulukoista.

Tämän tutkimuksen elinkaariarviointi tehtiin kehdosta-tehtaan portille optioin. Käytönaikaiset ympäristövaikutukset rajattiin tutkimuksesta pois eikä tutkimuksessa selvitetty asiakkaiden käytöstäpoiston käytäntöjä. Suurin epävarmuus työssä liittyykin tuotteen elinkaaren loppuun, koska varmuudella tiedetä me neekö kierrätysperäinen materiaali oikeasti korvaamaan primäärimateriaalia ja millä prosentilla, vai onko se niin sanotusti lisävirta. Tämä voi antaa laskelmiin liian suuren kierrätyschyödyn, mutta on vältettävien materiaalien osalta tehty Ecoinventin mukaan ja vallitseva käytäntö.

9.2 Oma oppiminen ja eettisyys

Tekijän näkökulmasta tarkasteltuna tämä opinnäytetyö kehitti ammatillista osaamista elinkaariarvioinnin ja EPD-laskennan osalta merkittävästi. SimaPro-ohjelmiston ympäristö ja käyttäminen tulivat erittäin tutuksi. Työtä tehtäessä opittiin elinkaariarvioinnin tärkeydestä niin kuluttajan kuin yrityksen näkökulmasta ja työ avasi runsaasti uusia näkökulmia ympäristöasioiden tarkasteluun.

Tekijä oli erittäin tyytyväinen tämän opinnäytetyön aiheen valintaan, vaikka aihe oli kaukana osaamisalueelta. Työn edetessä opittiin aihetta tarkastelemaan uudesta näkökulmasta ja kiinnostuttiin uudella tavalla projektin merkityksestä toimeksiantajalle ja tekijälle. Elinkaariarvioinnin toteuttaminen ja EPD-laskenta vaativat sekä aikaa, että kärsivällisyyttä ja oppimisprosessi oli täynnä haasteita. Tästä huolimatta tai tämän vuoksi lopputuotteena syntyi asetetut tavoitteet täytävä insinöörityö.

Tämä opinnäytetyö tehtiin hyvien tieteellisten peruseriaatteiden mukaan. Suunnittelu ja raportointi toteutettiin oikeudenmukaisesti sekä laadittiin rehellisyyttä ja avoimuutta kunnioittaen, puolueettomasti yksityiskohtia salaamatta. Tekijä on vastuussa työstään, suunnittelusta toteutukseen.

Lähteet

- Antikainen, R & Seppälä, J, ym. 2012. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena. Ympäristökeskus. Helsinki. <https://core.ac.uk/download/pdf/14927314.pdf>. 11.05.2023.
- Antikainen, R. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Ympäristökeskus. Helsinki. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf. 11.05.2023.
- Greenled. 2023. Environmental product declaration of phi product family. Rakennustietosäätiö RTS Building Information Foundation RTS. Helsinki.
- Hakala, J.T. 2004. Opinnäytetyöopas ammattikorkeakouluille. Helsinki: Gaudeamus.
- Kauppinen, H. 2022. Suullinen ja kirjallinen tiedonanto. 19.11.2023.
- Kopioisto ry & opetus- ja kulttuuriministeriö. 2023. KOPIRAITTLA. Kuvien siteeraaminen. <https://kopiraittila.fi/teosten-kaytto/siteeraus/>. 13.02.2023.
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.
- Niemistö, J., Myllyviita, T., Holma, A., Judl, J., Sironen, S., Antikainen, R. ja Leskinen, P. Elinkaariajattelu pk- ja startupyritysten ympäristövaikutusten arvioinnissa ja tuotekehityksen tukena. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/228240/SYKEra_34_2017.pdf. 11.5.2023.
- Okkonen, L. 2022. Life Cycle Assessment with SimaPro 7. Industrial Ecology and Life Cycle Analyses kurssin luento. 8.9.2022.
- RTS PCR- menetelmäohje. 2020. Rakennustietosäätiö RTS:n julkaisemat ympäristöselosteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.
- Sahi-Pajunen, T. 2014. Elinkaariarviointi tuotesuunnittelussa: Opas metalli- ja konepajateollisuudelle. Tampere: FIMECC.
- SFS EN ISO 14067:2013 Greenhouse gases – Carbon footprint of products
- SFS-EN 15804:2012 + A2 2019 Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 14001:2015 Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 14025:2010 Ympäristömerkit ja -selosteet. Tyypin III ympäristöselosteet. Periaatteet ja menettelyt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 14040:2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.

- SFS-EN ISO 9000:2005 Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- Suomen Ammattikorkeakouluopiskelijayhdistysten Liitto. 2001. Ammattikorkeakouluopiskelijan tekijänoikeusopas 2001. SAMOK ry. <http://www.samok.fi/toiminta/tekijanoikeusopas.pdf>. 14.10.2022.
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausten käsitteleminen. https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf. 14.05.2023.
- Ympäristöhallinto ja Suomen ympäristökeskus SYKE. 2023. Tuotesuunnittelu. <https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/tuotesuunnittelu>. 10.4.2023.
- Ympäristöhallinto ja Suomen ympäristökeskus SYKE. 2023. Ympäristöjärjestelmät ja johtaminen. <https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/kestava-tuotanto/ymparistojarjestelmat-ja-johtaminen>. 25.4.2023.

Tekstiä täydentävät lisäykset

MATERIAALI	Massa (kg)	SimaPro prosessi
Kuumasinkitty (tehtaalla valmis- tettu)	436.95	Galvanized steel sheet, at plant/RNA
Kuumasinkitty (osto-osat)	4.8	Galvanized steel sheet, at plant/RNA
Ruostumaton te- räs (AISI 304)	0.1596	Steel, chromium steel 18/8 hot rolled (GLO) market for, cut-off, U
Komposiitti (GPO3)	6.02	Glass fibre reinforced plastic, polyester re- sin hand lay-up (GLO) market for, cut-off, U
Lasikuituseos (pa6-gf30)	2.183	Nylon 6/6(RER) market for nylon 6/6, cut- off, U
Muovi (PC)	9.2	Polycarbonate (GLO) market for, cut-off, U
Zamak5	3.5081	Itse tehty prosessi
Sähkökeskus	462.82	

Taulukko 1. Materiaalien tiedot

PROSESSIEN SÄHKÖTEHO		
Särmäys	4	kW
Maalaus	100	kW
Hitsaus	3	kW
Tiivistys	4	kW
Lävistys	10	kW
SPH	0.5	kW
KÄYTTÖAIKA		
Särmäys	20.5	h
Maalaus	10.1	h
Hitsaus	3.3	h
Tiivistys	4.8	h
Lävistys	51	h
SPH	0.2	h

PROSESSIEN ENERGIAN- KULUTUS		
Särmäys	82.1	kWh
Maalaus	1011.7	kWh
Hitsaus	10.0	kWh
Tiivistys	19.3	kWh
Lävistys	509.8	kWh
SPH	0.08	kWh

Taulukko 2. Tehtaalla valmistuksen prosessien tiedot

	SimaPro prosessi
Kuljetus rekarahti	Transport, truck 10-20t, EURO5, 80%LF, default/GLO Mass
Kuljetus lauttarahti	Transport, sea ship, 10000 DWT, 80%LF, short, default/GLO Mass
Sähkö	Electricity, industrial gas, at power plant/NORDEL, U
Nestekaasu	Propane (GLO) market for, cut-off, U
Maali	Polyester resin, unsaturated (RER) market for polyester resin, unsaturated, cut-off, U
Kartonki	Corrugated board, rycycling fibre, single wall, at plant/RER U
Pakkaus- muovi	Packaging film, low density polyethylene (GLO) market for, cut-off, U

Taulukko 3. Käytetyt SimaPro prosessit.

Edit assembly 'Sinkkivalu Zamak5'

Input/output

Parameters

Name	Status	Comment
Sinkkivalu Zamak5	None	Merkittävimmät Zamak 5 aineet dynacast.com mukaan. Lisäksi valuun arvioitu energian käyttö, maakaasulla tuotettua sähköä.

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
Zinc (GLO) market for Cut-off, U	3,327888903	kg	Undefined				
Copper, at regional storage/RER U	0,035081	kg	Undefined				
Aluminium, primary, cast alloy slab from continuous casting (GLO) mark	0,140324	kg	Undefined				
Magnesium (GLO) market for Cut-off, U	0,00175405	kg	Undefined				
Lead (GLO) market for Cut-off, U	0,000105243	kg	Undefined				
Cadmium (GLO) market for Cut-off, U	0,000105243	kg	Undefined				
Tin (GLO) market for Cut-off, U	0,000035081	kg	Undefined				
Cast iron (GLO) market for Cut-off, U	0,00280648	kg	Undefined				
Add line							

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max
Transport, truck 10-20t, EURO5, 80%LF, default/GLO Mass	0,0035081*1720 = €	tkm				
Transport, freight, sea, ferry (GLO) market for transport, freight, sea, ferry Cut-off, U	0,0035081*80 = 0,2	tkm				
Electricity, natural gas, at power plant/CENTREL U	0,07	kWh	Undefined			
Add line						

Kuvio 1. Sinkkivalu zamak 5:n itse tehty SimaPro prosessi.

Edit processing process 'Maalaus'

Documentation **Input/output** Parameters System description

Products

Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocation
Maalaus	1	hr	Time	100 %
Add line				
Outputs to technosphere: Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2'
Add line				

Inputs

Inputs from nature	Subcompartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2'
Add line					
Inputs from technosphere: materials/fuels		Amount	Unit		
Propane (GLO) market for Cut-off, U		24,628091/10,17 = 2,42	kg		
Polyester resin, unsaturated (RER) market for polyester resin, unsaturated Cut-off, U		9,334841/10,17 = 0,918	kg		
Add line					
Inputs from technosphere: electricity/heat		Amount	Unit	Distribution	S
Electricity, medium voltage (FI) market for Cut-off, U		100	kWh	Undefined	
Add line					

Kuvio 2. Maalauksen SimaPro prosessit.

Tarkasteltu sähkökeskuskonekone E-NFS



E-NFS on kilpailukykyinen rakennejärjestelmä teollisiin kohteisiin. Kennokeskus on DNV-GL sertifioitu, joten se sopii hyvin vaativiin käyttötarkoituksiin.

E-sarjan kennokeskus voidaan rakentaa sekä yksi- että kaksipuoliseksi ja valkka L- tai jopa U-muotoon. Kokoojakiskostojärjestelmiä yhteen keskuksen saadaan useampia erilaisia. Kiskostot on mahdollista rakentaa keskuksen takaosaan, yläosaan tai keskelle, mille tahansa korkeudelle. Kiskostojen materiaalina voi olla joko alumiini tai kupari.

Tyypitestatut ulosvedettävät lähtöyksiköt on suunniteltu helposti huollettaviksi ja vaihdettaviksi. Kompakti kasettirakenne on hyvin tuuletettu ja suojattu lukituksella. Kaapelit sekä kytkennät on sijoitettu omaan kenttäänsä.

MITAT

Leveys	200	300	450	600	750	900	1050
Korkeus	1680	1820	1960	2100			
Syvyys	500	650	800	1000			
Sokkeli	50	100					

SÄHKÖISET OMINAISUUDET

Mitoitusjännite U_n	Eristysjännite U_i	Mitoitusvirta I_n	Lyhytaikainen mitoituskestovirta I_{cw}	Mitoitusvirran huippuarvo I_{pk}	Mitoitus- taajuus f	Valokaari- oikosulkuk- estoisuus
<~ 690V	1000V	<~ 3200A <~ 5000A	<~ 1280A <~ 1500A	<~ 100kA	<~ 220kA	50 – 60Hz

MEKAANISET OMINAISUUDET

Kotelointi- luokka	Iskulujuus (ulk./sis)	Osastointi- muoto	Ovien alenevuus
<~ IP55	IK09/07	2, 3, 4	1,4mm

MATERIAALIT

Runko	Tuki- eristimet	Kosketus- suojat
kuumasinkitty teräslevy	PC	kuumasinkitty teräslevy

PINTAKÄSITTELY

jauhemaalaus RAL7035

STANDARDIT

EN 60529

EN 62262

IEC/EN 61439-1
IEC/EN 61439-2
IEC/EN 61439-3

IEC/EN 62208

Finelcomp Oy:n nettisivuilta