



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ROGER PELTONEN

Valssatun kuparituotteen hiilijalan- jälkiselvitys

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2022

Tekijä Peltonen, Roger	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2022
	Sivumäärä 48+4	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Valssatun kuparituotteen hiilijalanjälkiselvitys		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Aurubis Finland Oy, joka valmistaa erilaisia valssattuja kuparituotteita Porin Kupariteollisuuspuistossa. Tavoitteena oli selvittää valssatun kuparituotteen tyypillinen hiilijalanjälki. Lisäksi opinnäytetyössä kerättyjä lähtötietoja oli tarkoitus hyödyntää mahdollisesti myöhemmin.</p> <p>Opinnäytetyössä avattiin hiilijalanjälkikäsitteen taustaa ja määritelmää sekä tuotteen hiilijalanjälkiselvitysprosessia. Valssatun kuparituotteen hiilijalanjälkiselvitys rajattiin kehdosta portille -selvitykseksi. Selvityksessä hyödynnettiin SFS-EN ISO 14067:2018 Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet -standardia sekä EN 15804:2012 + A2:2019 Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt -standardia. Selvityksessä toteutettiin soveltaen kaikki elinkaariarvioinnin neljä vaihetta: Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta.</p> <p>Lopputuloksesi saatiin tyypillinen toimeksiantajayrityksen valmistaman valssatun kuparituotteen hiilijalanjälki. Tuloksien tulkintavaiheessa selvisi, että hiilijalanjäljen kannalta merkittävimmät seikat olivat raaka-aineen koostumus ja energia. Hiilijalanjäljen pienentämiseen tähtäävät toimet, on hyödyllisintä kohdistaa merkittäviksi havaittuihin seikkoihin.</p>		
Avainsanat Hiilijalanjälki, hiilijalanjälkiselvitys, valssattu kuparituote		

Author Peltonen, Roger	Type of Publication Bachelor's thesis	Date April 2022
	Number of pages 48+4	Language of publication: Finnish
Title of publication Carbon Footprint of Rolled Copper Product		
Degree programme Energy- and Environmental Engineering		
<p>The orderer of this thesis was Aurubis Finland Oy. Aurubis Finland Oy is manufacturing various flat rolled copper products at Copper Industry Park which is located in Pori. The aim of the thesis was to find out a carbon footprint of an typical flat rolled copper product. In addition some of the data gathered in this thesis was planned to use afterwards if possible.</p> <p>In this thesis the background and meaning of the term carbon footprint was explored and also the process of the products carbon footprint assessment. In the assessment cradle-to-gate study boundaries was applied. Standards that was utilized were ISO 14067:2018 Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and SFS-EN 15804:2012 + A2:2019 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products. All four phases of life cycle analysis were applied in the assessment. These phases are goal and scope definition, life cycle inventory analysis, life cycle impact assessment and life cycle interpretation.</p> <p>A typical carbon footprint of flat rolled copper product manufactured by the client company was obtained as the result of this study. Life cycle interpretation phase pointed out that the significant issues regarding the carbon footprint was the composition of the raw material and energy. Acts that aim to reduce carbon footprint are most beneficial when they are focused on these significant issues.</p>		
Keywords Carbon footprint, product carbon footprint assessment, rolled copper product		

ALKUSANAT

Haluan kiittää Aurubis Finland Oy:n ympäristöpäällikkö Katja Silvantoa hyvistä neuvoista ja ohjauksesta sekä kannustuksesta. Lisäksi haluan kiittää oppilaitoksen edustajaa ja opinnäytetyöni ohjaajana toiminutta Aino Pelto-Huikkaa.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TOIMEKSIANTAJA	7
3 KUPARI.....	8
3.1 Kupari materiaalina.....	8
3.2 Kuparin ominaisuudet	9
3.3 Kuparin elinkaari ja valmistusprosessi.....	10
4 HIILIJALANJÄLKI.....	14
4.1 Elinkaariarviointi.....	14
4.2 Hiilijalanjälki käsite ja tausta	16
4.3 Hiilijalanjäljen laskentaperiaate	19
5 TUOTTEEN HIILIJALANJÄLKISELVITYS	22
5.1 Keskeisimmät ohjeistukset ja standardit	24
5.2 Selvityksen periaatteet	25
5.3 Selvitysprosessi	26
6 VALSSATUN KUPARITUOTTEEN HIILIJALANJÄLKI	30
6.1 Selvityksen kohteena olevan tuotteen valmistus.....	30
6.2 Selvitysprosessin kuvaus.....	32
7 LOPPUTULOKSET	39
7.1 Merkittävät seikat ja tekijät	39
7.2 Lopputulosten epävarmuudet ja niihin vaikuttavat tekijät	42
7.3 Tulosten herkkyys	43
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	46
8.1 Johtopäätökset.....	46
8.2 Pohdintaa.....	46

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutosta pidetään yhtenä ihmiskunnan suurimpana globaalina haasteena. Lähes kaikki toimet, joilla tätä haastetta pyritään ratkaisemaan pohjautuvat kasvi-huonekaasupäästöjen laskentaan, arviointiin tai seurantaan. Hiilijalanjälki on käsite, jonka käyttö on jatkuvasti lisääntynyt viime vuosien aikana ja käsitteenä se liittyykin kiinteästi ilmastonmuutokseen. Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen, palvelun tai organisaation potentiaalista vaikutusta ilmastonmuutokseen. Kupari on materiaali, joka osaltaan mahdollistaa monet sellaiset teknologiset sovellutukset, jotka ovat kriittisessä roolissa tähän haasteeseen vastaavissa ratkaisuihin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Aurubis Finland Oy:n valmistaman valssatun kuparituotteen suuntaa antava hiilijalanjälki. Opinnäytetyön aiheen ja tarpeen taustalla vaikuttavat Aurubis Finland Oy:n vastuullinen toiminta ja lisäksi toimeksiantajayritys on uusimassa arkkitehtuurituotteidensa ympäristötuoteselosteita, joissa yksi raportoitava ympäristövaikutusluokka on ilmastonmuutos. Ajatuksena on, että tämän opinnäytetyön yhteydessä kerättyjä tietoja voidaan myös osaltaan hyödyntää ympäristötuoteselosteiden laadinnassa. Hiilijalanjälkiselvitys rajataan kehdestä portille –selvitykseksi, jolloin siihen sisältyvät tuotteen elinkaaren vaiheista raaka-aineiden hankinta ja valmistus, niiden kuljetukset tuotteen valmistukseen ja tuotteen valmistus. Opinnäytetyö on case-tutkimus, jossa sovellettava tutkimusmetodiikka pohjautuu hiilijalanjälkiselvityksessä hyödynnettyihin standardeihin.

Opinnäytetyössä käsitellään kuparia materiaalina ja esitellään pääpiirteittäin katodikuparin valmistusprosessi sekä kuparin elinkaari. Hiilijalanjälkikäsitteen taustaa ja määritelmää käsitellään luvussa neljä. Työssä käydään läpi tuotteen hiilijalanjälkiselvitystä prosessina ja selvityksiin liittyvät keskeiset ohjeistukset ja standardit esitellään lyhyesti. Tarkemmin käsitellään tuotteen hiilijalanjäljen laskentaa varten laadittua SFS-EN ISO 14067:2018 Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet -standardia. Opinnäytetyössä

esitellään pääpiirteittäin keskeiset tutkimuksen kohteena olevan tuotejärjestelmän yksikköprosessit sekä kuvataan hiilijalanjälkiselvityksen prosessia. Selvityksen lopputuloksia analysoidaan työn lopussa ja viimeiseksi esitetään johtopäätöksiä sekä pohdintaa opinnäytetyön tekemisestä.

2 TOIMEKSIANTAJA

Opinnäytetyön toimeksiantajayritys on Aurubis Finland Oy. Aurubis Finland Oy on osa monissa erimaissa toimivaa saksalaista Aurubis –konsernia. Konserni lukeutuu yhdeksi maailman suurimmista kuparin kierrätykseen keskittyneistä toimijoista. Konsernilla on toimintaa kolmessa eri maanosassa ja konserni työllistää yhteensä noin 7200 ihmistä. Kestävyys ja vastuullisuus ovat arvoja, jotka ohjaavat vahvasti konsernin toimintoja. (Aurubis Finland Oy:n [www-sivut 2021](#) & Aurubis –konsernin [www-sivut 2021](#).)

Aurubis Finland Oy toimii Porissa Kupariteollisuuspuistossa, jossa sillä on kuparivalssaamo ja –valimo. Aurubis Finland Oy:llä työskentelee noin 260 ihmistä. Valmistettavista tuotteista 90 % menee vientiin. Valimossa valetut kuparivalanteet valmistetaan valssaamossa asiakkaiden toiveiden mukaisiksi tuotteiksi. Aurubis Finland Oy:n valmistamat tuotteet voidaan jakaa teollisuus- ja arkkitehtuurituotteiksi. Tehtaalla valmistettavia teollisuustuotteita ovat esimerkiksi valanteet, kuumavalssatut levyt, kylmävalssatut levyt, nauhat ja pyörylät. Teollisuustuotteita käyttävät mm. rakennus-, sähkö- ja elektroniikkateollisuus, yritys toimii myös muilla teollisuuden aloilla, joissa kuparin sähkönjohto- ja lämmönjohtokykyä tarvitaan. Yrityksen valmistamat arkkitehtuurituotteet ovat löydettävissä Nordic Copper –tuotemerkin alta. Nordic Copper –tuotteita käytetään rakennusten julkisivuissa uusissa ja historiallisissa rakennuksissa ympäri maailmaa (Kuva 1.).



Kuva 1. Nordic Blue –tuote Lontoon Royal Academy of Music:in katon pintamateriaalina (Nordic Copper:in [www-sivut](http://www-nordiccopper.com) 2021).

3 KUPARI

3.1 Kupari materiaalina

Kupari, kemialliselta merkiltään Cu, on yksi alkuaineista ja niistä metalleista, joita esiintyy myös luonnostaan elävissä organismeissa. Arviolta ihminen on käyttänyt kuparia jo jopa 10 000 vuoden ajan, arviot perustuvat arkeologisiin löytöihin. Kupari onkin yksi ensimmäisistä metalleista, joita ihminen oppi hyödyntämään. Historian saatossa kupari on kulkenut mukana ihmiskunnan kehitysaskelissa yhä kasvavassa roolissa. Läpi historian säilynyt kuparin tärkeys ihmiskunnalle perustuu kuparin fysiikkaan, mekaanisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Nykyisin kuparia ja kupariseoksia käytetään lukemattomissa käyttökohteissa, joiden voidaan katsoa olevan välttämättömiä kohtuullisen elintason kannalta. Kuparia käytetään paljon eri teollisuuden sektoreilla, tärkeimpinä rakennusteollisuus ja elektroniikka- ja sähköteollisuus. Tulevaisuudessa kuparilla nähdään olevan yhä kasvava rooli yhteiskunnassa. (Doebrich 2009, 1, ICSG 2021, 1 & Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 8.) Kupari nähdään

avaintekijä kestävässä kehityksessä, resurssitehokkuudessa ja monet teknologiset ratkaisut, jotka auttavat saavuttamaan tavoitteita kestävä kehityksen saralla ja mahdollistavat sitä ovat riippuvaisia kuparista (Reuter & Kojo 2014, 46-47). Kuparin kysyntä tulee myös kasvamaan tulevaisuudessa, viimeisen 50 vuoden aikana kuparin kysyntä on kolminkertaistunut (ICSG, 2021, 5). Kasvavaan kysyntään voidaan vastata primääriraaka-aineen hankinnalla, käyttämällä kierrossa olevaa kuparia mahdollisimman resurssitehokkaasti ja hyödyntämällä kuparin 100 % kierrätettävyyttä, sillä kuparia voidaan kierrättää kerta toisensa jälkeen ilman, että sen fysikaaliset ominaisuudet kärsivät mitenkään. Sekundaarikuparia ja primäärikuparia ei voida tunnistaa toisistaan, jos ne prosessoidaan uudestaan tuotteiksi. (ICSG 2021, 1-2 & International Copper Alliance:n [www-sivut 2021](http://www-ivut 2021).)

3.2 Kuparin ominaisuudet

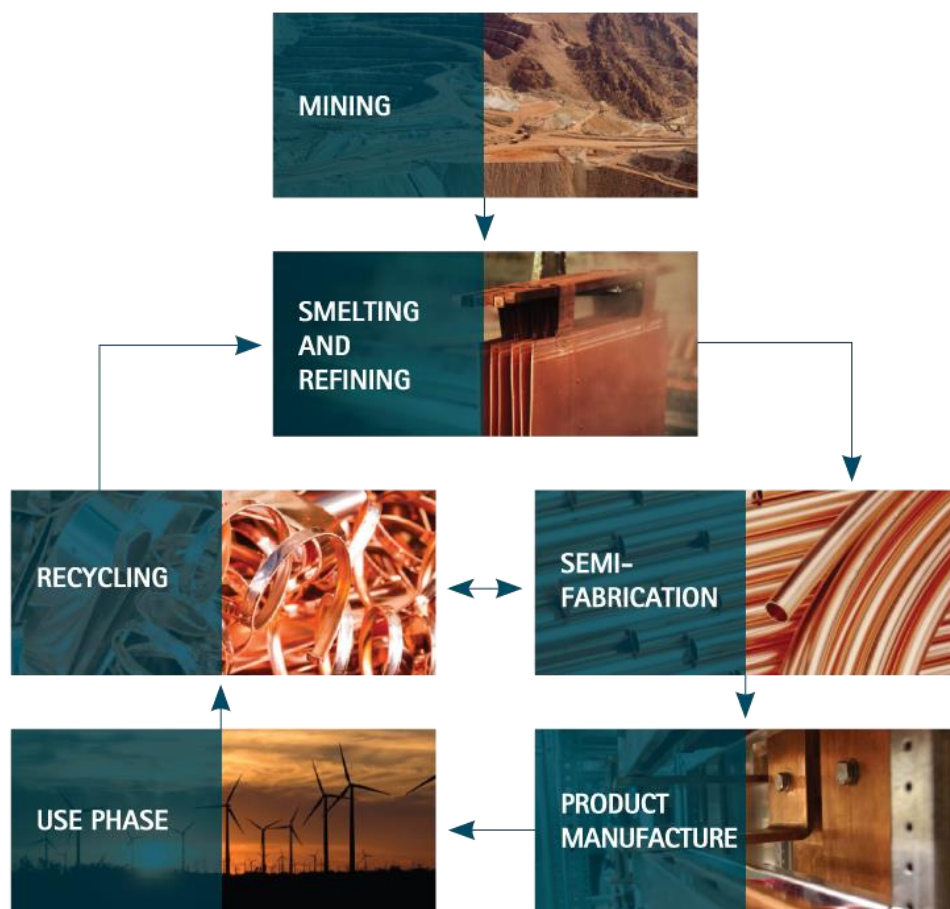
Tärkein puhtaan kuparin fysikaalisista ominaisuuksista on erinomainen sähkönjohtavuus. Melkein kaikki sähkön johtamisessa tai kuljettamisessa käytettävä materiaali on kuparia jossain muodossa. Kuparin sähkönjohtavuuteen vaikuttavat lämpötila, epäpuhtaudet ja tehdyt muokkaustoimenpiteet, kuten hehkutus ja kylmämuokkaus. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 8, 13, 16 & 17.) Toiseksi tärkein kuparin ominaisuus on hyvä lämmönjohtavuus. Tätä ominaisuutta hyödynnetään monissa kohteissa, joissa vaatimuksena on nopea lämmönsiirto, kuten lämmönsiirtimissä ja jäähdytyselementeissä. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 8 & Scandinavian Copper Development Association Suomen [www-sivut 2021](http://www-ivut 2021).)

Kolmas kuparin tärkeä ominaisuus on sen korroosionkestävyys, joka säilyy useimmissa olosuhteissa. Kuparin ja kupariseosten hyvä kemiallinen stabiilisuus perustuu kuparin pinnalle nopeasti muodostuvaan pintaoksidiin. Hidas korroosioprosessi on ominaisuus, jonka ansioista kuparia voidaan käyttää laajasti erilaisissa putkistojärjestelmissä ja venttiileissä. Korroosionsietokyky mahdollistaa myös kuparin käytön julkisivumateriaalina. Hyvä muokattavuus on yksi kuparin ja kupariseosten tärkeistä ominaisuuksista, muokkaus on helppoa kylmänä ja kuumana. Kuparin kovuus-, lujuus- ja sitkeysominaisuudet ovat muovattavissa käyttökohteiden vaatimuksiin nähden sopiviksi. Metallin mikrorakenne määrittää kovuus-, lujuus- ja sitkeysomina-

suudet ja mikrorakennetta on mahdollista muokata lämpökäsittelyillä, mekaanisella muokkauksella ja seostamalla. Esimerkiksi seostamalla voidaan lisätä kuparin kovuutta ja lujuutta, mutta seostaminen vaikuttaa negatiivisesti kuparin kykyyn johtaa sähköä. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 8 & Scandinavian Copper Development Association Suomen www-sivut 2021.)

3.3 Kuparin elinkaari ja valmistusprosessi

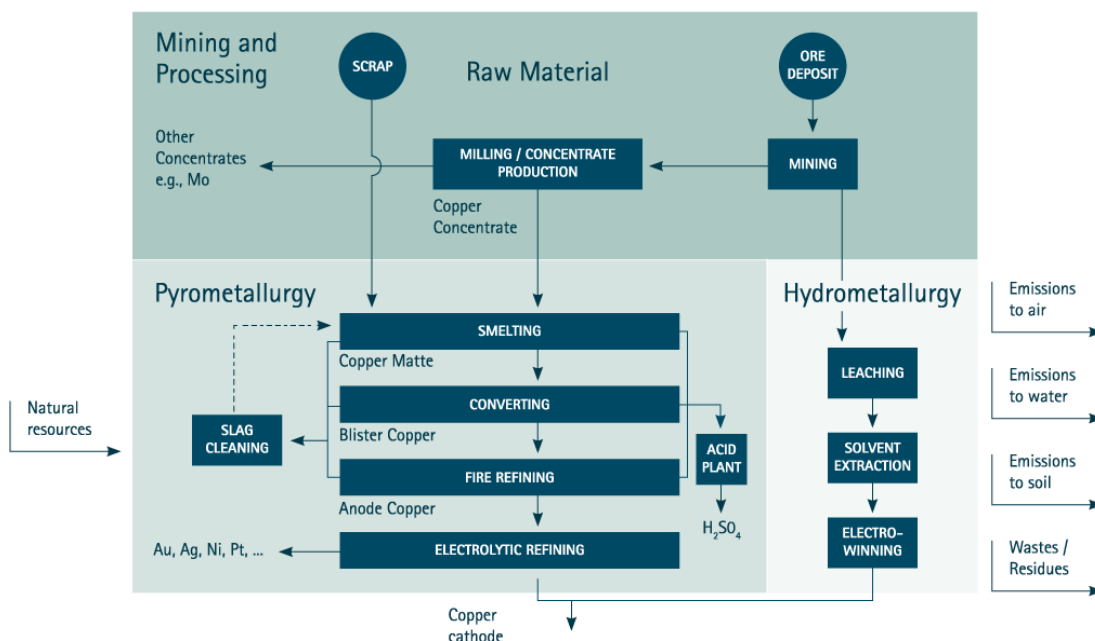
Kuparin elinkaari on mahdollista jakaa kuuteen päävaiheeseen: malmin hankintaan ja louhintaan, malmin jalostukseen, puolivalmisteiden valmistukseen, tuotteiden valmistukseen, käyttövaiheeseen ja kierrätykseen. (International Copper Alliance:n www-sivut 2022). Kaavio kuvaa miten nämä elinkaaren päävaiheet riippuvat toisistaan ja ovat toisiinsa kytköksissä (Kuva 2.).



Kuva 2. Kuparin elinkaaren päävaiheet (International Copper Alliance:n www-sivut 2022).

Primäärisen kuparin valmistuksessa on monta vaihetta ennen kuin malmista päästään lopputuotteeseen. Kuparia esiintyy maankuoressa eri muodoissa. Eniten kuparia on sulfidi- ja oksidimalmeissa, niissäkin kuparin pitoisuus on vähemmän kuin 1 %. Malmin käsittelyssä ensimmäinen vaihe on malmin murskaaminen ja jauhaminen vesilietteeksi. Seuraavassa vaiheessa vesilietteenä oleva malmi rikastetaan, yleensä rikastaminen tapahtuu vaahdottamalla. Rikasteessa kupari pitoisuus on jo huomattavasti korkeampi yleensä noin 30 %. Rikasteen käsittely jatkuu tästä pyrometallurgisesti tai hydrometallurgisesti (Kuva 3.), valittuun menetelmään vaikuttaa se onko kyseessä sulfidi- vai oksidimalmi. Sulfidimalmista rikastetun rikasteen käsittely jatkuu pyrometallurgisesti usein liekkisulatusmenetelmää hyödyntäen, jonka ytimessä on ajatus rikasteiden oman palamislämmön hyödyntämisessä sulatuksessa. Liekkisulatuksen tuloksena syntyvä kuparikivi siirretään konvertertiin jatkokäsittelyyn, jossa sulasta poistetaan rikkiä ja rautaa. Lopputuloksena syntyy raakakuparia, jota kutsutaan myös blister-kupariksi. Raakakuparissa kuparipitoisuus on noin 98 %. Seuraavaksi raakakupari menee anodiunikäsitteilyn läpi, jossa poistetaan vielä lisää rikkiä ja happea. Tuloksena syntyy noin 99 % kuparia sisältävä anodikupari, josta loput epäpuhtaudet voidaan poistaa lieskauunissa sulamenetelmällä tai elektrolyysissä. (Metallisteollisuuden keskusliitto 2001, 9 & ICSG 2021, 3 & 10.)

Elektrolyysissä anodikupari asetetaan kuparisulfaattiliuokseen, joka on hapan, sähkövirtaa hyödyntäen anodilevyssä oleva kupari liukenee ja tarttuu siemenlevyyn, joka on valmistettu puhtaasta kuparista. Prosessissa syntyvien katodikuparien kuparisältö on vähintään 99,99 %. Elektrolyysissä kuparin sisältämät jalometallit kuten kulta jäävät altaan pohjalle anodiliejuun ja myös ne saadaan talteen. Hydrometallurgista reittiä pitkin päästään myös samaan lopputulokseen eli katodikupariin. International Copper Study Groupin arvion mukaan 16 % katodikuparista tuotetaan hydrometallurgista reittiä pitkin. Hydrometallurgisia valmistus menetelmiä käytetään pääasiassa köyhälle oksidimalmille, mutta myös joillekin sulfidimalmeille. Tätä edellä kuvattua prosessia, jossa malmista valmistetaan katodikuparia, voidaan kutsua primäärikuparin valmistukseksi perustuen siihen, että se valmistetaan primäärisestä raaka-aineesta. Prosessissa syntyvä katodikupari on valmista raaka-ainetta laitoksille, jotka valmistavat erilaisia kuparituotteita. (Metallisteollisuuden keskusliitto 2001, 9 & ICSG 2021, 3 & 10.)



Kuva 3. Katodikuparin valmistus kaaviona (International Copper Alliance:n www-sivut 2022).

Katodikuparin ohella puhdistettu kupariromu muodostaa merkittävän osan raaka-aineesta, jota kuparituotteita valmistavat laitokset käyttävät. Tämän mahdollistaa edellä mainittu 100 % kierrätettävyys, se, että kupari on toistuvasti kierrätettävissä ilman, että sen ominaisuudet tai laatu heikkenee tarkoittaa, että puhdistettu kupariromu on täysin vastaavaa raaka-ainetta kuin primäärituotannossa syntyvä katodikupari. Kupariromua saadaan kuparituotteiden valmistusprosessien sivuvirroista ja lopputuotteista, jotka on poistettu käytöstä. Tätä raaka-aineen hankintatapaa kutsutaan sekundaariseksi kuparin tuotannoksi ja raaka-ainetta sekundaariraaka-aineeksi. Seuraavaksi kuparituotteen valmistuksessa katodikupari ja kupariromu sulatetaan ja valjetaan haluttuun muotoon, jotta siitä voidaan valmistaa erilaisia muotovalmisteita kuten valssattuja kuparituotteita. Tässä vaiheessa kupariseoksia valmistaessa kupari sulatetaan yhdessä seosaineiden kanssa. Osa näistä tuotteista voi olla valmiita lopputuotteita tai ne kulkevat vielä erilaisten teollisten prosessien läpi ennen kuin siirtyvät elinkaarensa käyttövaiheeseen. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 9 & ICSG 2021,1 & 10.)

Täysin puhdasta kuparia on mahdotonta valmistaa teollisesti. Kuparin valmistuksessa pyritään puhdistamaan kupari sen käyttötarkoituksen määrittämään puhtausasteeseen. Esimerkiksi sähkönjohtotarkoituksessa käytetyn kuparin tulee olla mahdollisimman

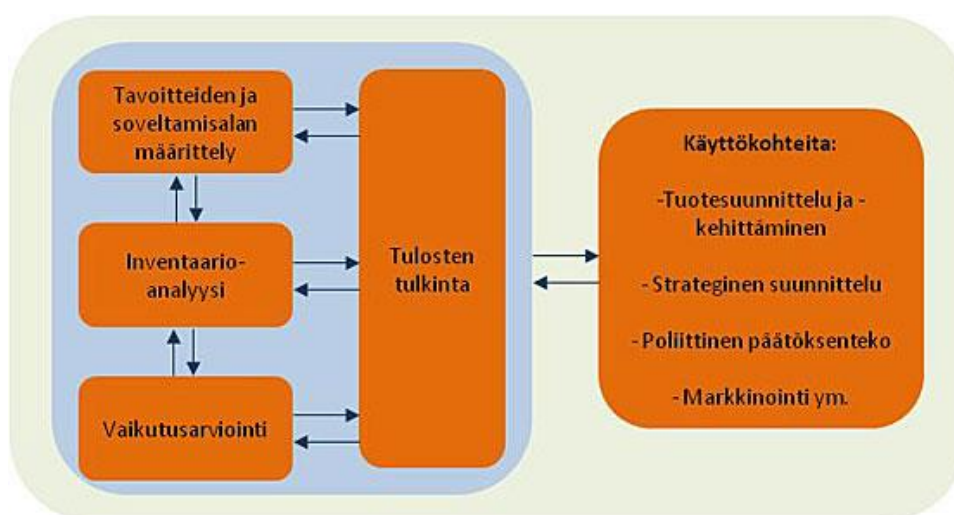
puhdasta. Muihin käyttötarkoituksiin valmistetun kuparin ei tarvitse olla puhtaudekseen samaa luokkaa kuin sähköjohtoon käytetyn. Puhdistettuja kupareita ovat mm. hapeton kupari Cu-OF (oxygen-free copper), happipitoinen kupari Cu-ETP (tough pitch copper), runsasfosforinen kupari Cu-DHP (phosphorus-deoxidized copper - high residual phosphorus). (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 20-21.) Happi aiheuttaa kuparissa vetysairautta. Kuparissa happi esiintyy kuparioksiduulin muodossa ja varsinkin kuparia hitsattaessa se on altis vedyn vaikutuksille, jolloin hitsi tulee hauraaksi. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 115.) Vastauksena tähän ongelmaan on kehitetty hapettomat kuparit, joista epäpuhtaudet pyritään poistamaan mahdollisimman hyvin. Hapettumista estetään myös suojakaasuilla ja hiilipeitteillä valu-prosessissa. Kestävyyttä vetysairautta vastaan voidaan kuparia käsitellä myös deoksidoimalla kuparia. Deoksidointi voidaan tehdä fosforin, boorin tai litiumin avulla, mutta kaupallisissa sovelluksissa fosforilla deoksidoitu kupari on merkittävin. Deoksidoituja kuparilaatuja on useita erilaisia ja niiden fosforipitoisuus vaihtelee 0,002-0,050 % välillä. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 21.)

Cu-OF:ssa kuparipitoisuus on vähintään 99,95 % ja happipitoisuus on enintään 10 ppm (parts per million), sen muokattavuus ominaisuudet ovat erinomaiset ja pieni happipitoisuus antaa sille erittäin hyvän sähköjohtavuuden ja parhaan mahdollisen lämmönjohtavuuden. Näiden ominaisuuksien ansiosta se onkin sähkölaiteteollisuudessa laajasti käytetty kuparilaatu. Cu-ETP:tä, jossa kuparipitoisuus on vähintään 99,90%, käytetään sähkötekniisiin tarkoituksiin ja sen sähkön johtavuus on vähintään 100 % IACS. Käyttökohteita ovat mm. käämit, kaapelit, virtakiskot ja myös arkkitehtuuriset käyttökohteet kuten katot ja julkisivut. Cu-DHP:n kuparipitoisuus on vähintään 99,90 % ja fosforipitoisuus 0,015-0,040 %. Deoksidoituja kupareita käytetään yleiskupareina käyttökohteita ovat esimerkiksi lämmönsiirtimet ja rakennusteollisuus. (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, 14 & 21-23.)

4 HIILIJALANJÄLKI

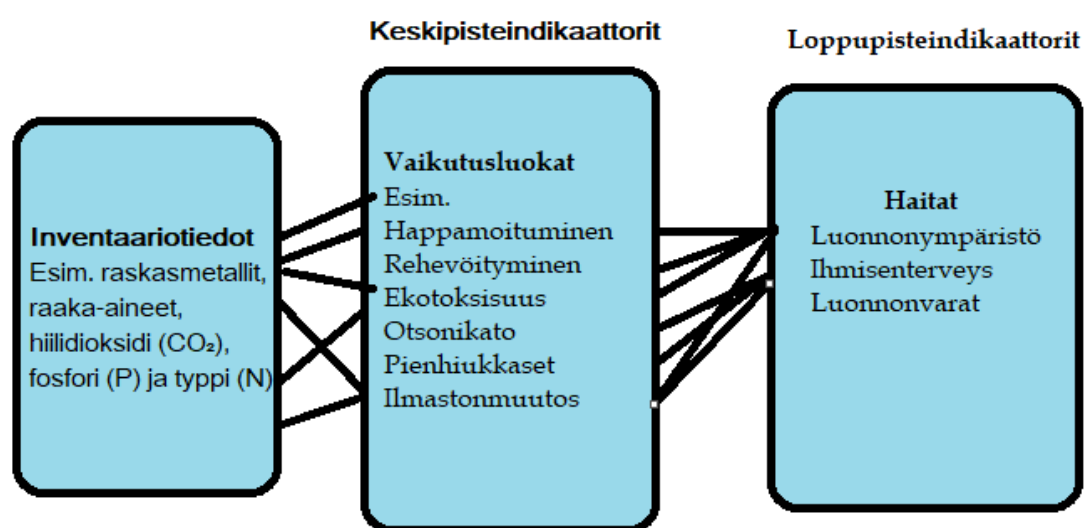
4.1 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi on menetelmä, jonka avulla on mahdollista selvittää ja arvioida tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset potentiaaliset vaikutukset ympäristöön. Kansainvälisen standardisointijärjestö ISO on julkaissut 14040 –standardisarjan, joiden tarkoitus on ohjata ja helpottaa elinkaariarvioinnin tekemistä. Elinkaariarvioinnissa keskeisiä piirteitä ovat elinkaarinäkökulma ja ympäristöpainotus. Elinkaarinäkökulmalla tarkoitetaan, että elinkaariarviointiin sisällytetään tuotteen koko elinkaari, johon kuuluu raaka-aineiden hankinta ja prosessointi, tuotteiden valmistus, tuotteiden jakelu, käyttö, uudelleenkäyttö, huolto, kierrätys ja käytöstä poisto. Lisäksi elinkaareen sisällytetään myös kaikki kuljetukset. Elinkaariarviointi keskittyy tuotejärjestelmän ympäristövaikutuksiin. Taloudelliset ja yhteiskunnalliset vaikutukset eivät ole elinkaariarvioinnin keskiössä ja yleensä ne rajataan pois siitä. Lisäksi elinkaariarvioinnin keskeinen piirre on sen rakentuminen toiminnallisen yksikön ympärille. Toiminnallinen yksikkö voi olla esimerkiksi kg jotain tuotetta. Elinkaariarvioinnissa keskeistä on myös kattavuus, arviointiin tulee sisällyttää kaikki ympäristön, ihmisten terveyden ja resurssien ominaisuudet. (SFS EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 14-15 & Ympäristö.fi [www-sivut](http://www.ymparisto.fi) 2022.)



Kuva 4. Elinkaariarvioinnin neljä vaihetta ISO 14040:2006 + A1:2020 mukaan (Ympäristö.fi [www-sivut](http://www.ymparisto.fi) 2022).

Elinkaariarviointi on iteratiivinen metodi, jossa yksittäiset vaiheet hyödyntävät muiden vaiheiden tuloksia. SFS EN ISO 14040:2006 + A1:2020 mukaan elinkaariarviointi sisältää neljä eri vaihetta: 1) Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, 2) inventaarioanalyysi, 3) vaikutusten arviointi ja 4) tulkinta (Kuva 4). Ensimmäisessä vaiheessa määritellään mm. syyt miksi arviointi tehdään ja sen tarkoitus, yksityiskohtaisuus, ajanjakso, josta arviointi tehdään ja arviointia rajoittavat tekijät. Toisessa vaiheessa kerätään kaikki tarvittavat tiedot käsiteltävästä tuotejärjestelmästä, tähän vaiheeseen vaikuttavat merkittävästi ensimmäisessä vaiheessa tehdyt määrittelyt, esimerkiksi rajaukset. Pohjan inventaarioanalyysiin luo toiminnallinen yksikkö, sillä siihen kaikki kerätty inventaariotieto suhteutetaan. Kolmannessa vaiheessa eli vaikutusten arvioinnissa tarkastellaan ympäristön, luonnonvarojen ja ihmisen terveyden kannalta potentiaalisia haittavaikutuksia, joita mm. päästöt tai yksikköprosessit voivat aiheuttaa. Nämä edellä mainitut muodostavat loppupisteindikaattorit eli haitat, potentiaaliset ympäristövaikutukset kuten happamoituminen ja ilmastonmuutos ovat keskipisteindikaattoreita ns. vaikutusluokkaindikaattoreita (Kuva 5). Viimeiseen vaiheeseen eli tulostentulkintaan kuuluvat johtopäätökset ja mahdollisten toimenpidesuosituksen tekeminen saatujen tulosten pohjalta. Viimeisessä vaiheessa on myös hyvä analysoida tuloksiin vaikuttavia tekijöitä kuten rajouksia. (SFS EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 15 & Suomen ympäristökeskus 2017, 2-3.) Luvussa 5.3 näitä vaiheita käydään läpi tarkemmin.



Kuva 5. Vaikutusindikaattorit elinkaariarvioinnissa havainnollistava kuva mukaillen (Suomen ympäristökeskus 2017, 4).

4.2 Hiilijalanjälki käsite ja tausta

Ekologisella jalanjäljellä tarkoitetaan sitä maa- ja vesipinta-alaa, joka tarvitaan, siihen, että saadaan tuotettua yhden tietyn yhteisön kuluttamat resurssit ja saadaan käsiteltyä syntyvät jätteet. Toisin sanoen ekologinen jalanjälki kuvaa yhteyttävää pinta-alaa. Aluksi ekologista jalanjälkeä laskettiin maille ja tietyille alueille, mutta sen käyttö on laajentunut myös osaksi yritysten työkaluja. Ekologisen jalanjäljen avulla on mahdollista arvioida toiminnan kestävyyttä, kun ekologinen jalanjälki suhteutetaan käytettävissä olevaan maa-alaan eli biokapasiteettiin. Esimerkiksi Suomella on enemmän biokapasiteettia kuin se kuluttaa. Osa maista taas vastaavasti kuluttaa enemmän kuin niiden maantieteellisten rajojen sisäpuolella oleva biokapasiteetti on. Ekologisen jalanjäljen yksikkönä on globaalihehtaari, joka on se keskimääräinen tuottava maa-ala, mikä on välttämätön resurssien tuottamisen ja jätteiden käsittelyn kannalta. Ekologisen jalanjälkeen sisältyvät ainoastaan resurssit, jotka ovat biomasapohjaisia ja jätteiden osalta käsitellään ainoastaan hiilidioksidi. Laskelmia on mahdollista tehdä kahdella eri lähestymistavalla. Ylätasolta lähdettäessä tarkastellaan kansallisia tilastoja, joista voidaan johtaa ekologinen jalanjälki esimerkiksi tietylle maalle. Toinen lähestymistapa on alatasolta lähtevä tarkastelu, joka menetelmänä muistuttaa elinkaariarviointia. (Suomen ympäristökeskus 2010, 64-65 & 69.)

Hiilijalanjälkitermi tuli esiin osana ekologista jalanjälkeä vuonna 1996 (Suomen ympäristökeskus 2010, 63). Hiilijalanjäljelle on löydettävissä monia erilaisia ja toisiaan mukailevia määritelmiä (Taulukko 1.), johtuen siitä, että elinkaariarviointi ja ekologinen jalanjälki vaikuttavat merkittävästi käsitteen takana. Kuitenkin hiilijalanjälki on oma indikaattorinsa. Hiilijalanjälki on myös termi, jonka käyttö on lisääntynyt valtavasti viime vuosina. Vuonna 2007 Wiedmann ja Minx julkaisivat kirjallisuusselvityksen, jossa heidän havaintonsa mukaan hiilijalanjälki -käsitteelle ei ollut aivan selvää määritelmää, vaikka sitä käytettiin laajasti. Tietty yhteinen perusta käsitteelle on olemassa: Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tiettyä ihmistoiminnan seurauksena syntyvää kaasupäästömäärää, joka on relevantti ilmastomuutoksen kannalta. Epäselvyydet liittyvät siihen huomioiko hiilijalanjälki vain hiilidioksidipäästöt vai sisältyvätkö

muutkin kasvihuonekaasupäästöt siihen. Lisäksi rajausten suhteen on eroavia näkemyksiä, huomioidaanko käsitteessä vain suorat päästöt vai tuleeko myös epäsuorat päästöt huomioida, eli mitkä elinkaaren vaiheet ovat mukana tarkastelussa. (Ympäristö.fi www-sivut 2022 & Wiedmann & Minx 2007, 2.) Suorilla päästöillä tarkoitetaan niitä päästöjä, jotka tulevat yrityksen omistamista ja kontrolloimista lähteistä, esimerkiksi ajoneuvoista, jotka yritys omistaa. Niitä päästöjä, jotka eivät synny suoraan yrityksen toiminnan seurauksena, mutta ovat seurausta siitä, taas kutsutaan epäsuoriksi päästöiksi. Epäsuoria päästöjä ovat esimerkiksi yrityksen käyttämien materiaalien tuottamisesta syntyvät päästöt (WRI & WBCSD 2015).

Taulukko 1. Hiilijalanjäljen määritelmiä

Määritelmä	Lähde
Tuotteen (käsittää tavarat ja palvelut) hiilijalanjälki on tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästöjen ja –poistumien summa. Tulos ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina ja se perustuu elinkaarivointiin, jossa on vain yksivaikutusluokka, joka on ilmastonmuutos, kun elinkaaresta valitaan tarkasteluun vain tietyt vaiheet ja prosessiset on kyse osittaisesta hiilijalanjäljestä. (SFS-EN ISO 14067:2018, 10 & 11.)	SFS-EN ISO 14067:2018 Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet -standardi
“Hiilijalanjälki kuvaa tietyn rajattavissa olevan kokonaisuuden aiheuttamaa ilmastokuormaa. Hiilijalanjälki voidaan laskea esimerkiksi yritykselle, kunnalle, investoinnille, tuotteelle tai palvelulle.” (OpenCO2.net:in www-sivut 2022.)	OpenCO2.net -hiilijalanjälkialusta

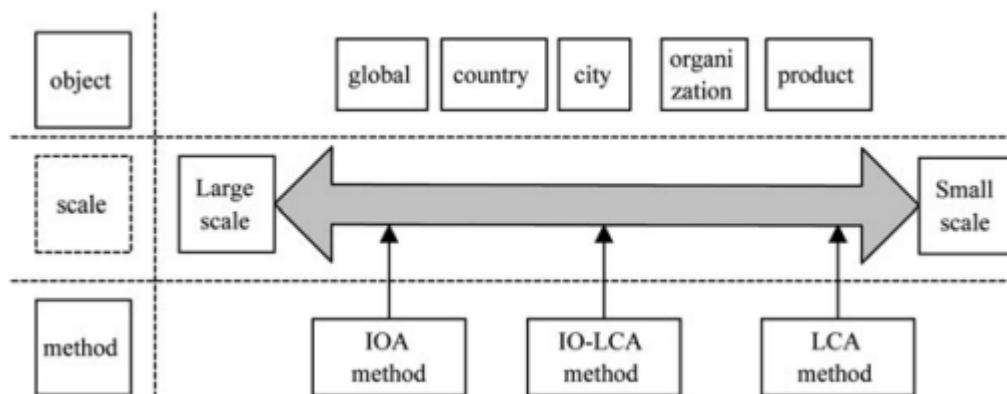
SFS-EN ISO 14067:2018 -standardin ja monien muidenkin määritelmien mukaan hiilijalanjälkeen siis sisältyvät myös muut kasvihuonekaasut kuin hiilidioksidi (CO_2). Kasvihuonekaasulla tarkoitetaan ilmakehässä luonnostaan esiintyvää tai ihmisen toiminnan seurauksena sinne päätynyttä kaasua, joka pidättää ja säteilee sitä infrapunasäteilyä, jota maapallon pinta, ilmakehä ja pilvet säteilevät tietyllä aallonpituudella. (SFS-EN ISO 14067:2018, 10, 11 & 12.) Ilmakehässä hiilidioksidin lisäksi ensisijaisesti esiintyviä kasvihuonekaasuja ovat mm. vesihöyry (H_2O), metaani (CH_4), otsoni (O_3) ja dityppioksidi (N_2O). Nämä edellä mainitut esiintyvät ilmakehässä myös luonnostaan. Ilmakehässä ihmisen toiminnan seurauksena esiintyviä kaasuja ovat mm. halogenoidut hiilivedyt. (Ilmatieteenlaitos n.d b.)

Kasvihuonekaasut mahdollistavat kasvihuoneilmiön, joka on elämän edellytys. Mikäli luontaista kasvihuoneilmiötä ei esiintyisi olisi maapallon pintalämpötila pakkasen puolella. Luonnollinen kasvihuoneilmiö pitää pintalämpötilan $+14$ celsiusasteessa. Maapallon kasvihuoneilmiötä voidaan verrata kasvihuoneessa tapahtuvaan kasvihuoneilmiöön. Ilmiössä auringon säteily läpäisee kasvihuoneen lasikaton ja lämmittelee kasvihuonetta, mutta lasikatto läpäisee huonosti kasvihuoneen sisältä tulevaa lämpösäteilyä. Lasikatto toimii valikoivana suodattimena, jolloin energia, joka kulkee lämpösäteilyn mukana jää kasvihuoneeseen. Tämän seurauksena kasvihuoneen sisällä korkeampilämpötila kuin ulkona, tämä korostuu erityisesti, kun aurinko paistaa. Maapallon tapauksessa ilmakehän toiminta muistuttaa lasikaton toimintaa: ilmakehä päästää auringon säteilyn maan pinnalle, mutta se estää samalla maapallon oman lämpösäteilyn karkaamisen avaruuteen. Ilmakehässä olevat kasvihuonekaasut siis vaikuttavat lasikaton tavoin ja pidättävät valtaosan siitä lämpösäteilystä, joka on lähtöisin maapallolta. Kasvihuonekaasujen molekyyli rakenne mahdollistaa sen, että ne kykenevät imemään tietyillä aallonpituuksilla esiintyvää lämpösäteilyä. Ne pystyvät myös muuttamaan niihin sitoutuneen energian uudelleen säteilyksi, josta seurauksena on, että osa tästä energiasta säteilee takaisin maan pinnalle samalla sitä lämmittäen. Ilmakehän koostumus siis vaikuttaa siihen kuinka voimakas edellä kuvattu ilmiö on, kasvihuonekaasujen määrän kasvaessa ilmakehässä, kasvihuoneilmiö voimistuu ja sen seurauksena ilmasto lämpenee. (Ilmatieteenlaitos n.d a & Ilmatieteenlaitos n.d b.)

Kaikilla kasvihuonekaasuilla on oma ilmastoa lämmittävä vaikutuksensa, päästöläskennassa nämä lämmitysvaikutukset muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂e) eli vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta. Muunnos tapahtuu käyttämällä GWP (global warming potential) -kertoimien avulla. Hiilidioksidin GWP –kerroin on 1. Tästä voidaan määrittää muiden kasvihuonekaasujen GWP –kertoimet, kun otetaan yksi päästökilogramma kutakin niistä ja verrataan niiden aiheuttamaan säteilypakotetta hiilidioksidin säteilypakotteeseen. Säteilypakote kuvaa energiaepätasapainoa, jonka päästetyt kasvihuonekaasut aiheuttavat ilmastossa. Säteilypakote voi olla positiivinen tai negatiivinen riippuen siitä onko kyse kasvihuonekaasun ilmastoa lämmittävstä vaikutuksesta vai esimerkiksi pienhiukkasten aiheuttamasta jäähdyttävästä vaikutuksesta. Säteilypakotteen yksikkönä käytetään W/m² (wattia/neliometri). Lopulliseen hiilidioksidiekvivalenttiarvoon päästään, kun hiilidioksidipäästöihin lisätään kaikki muut kasvihuonekaasupäästöt kerrottuina omilla GWP -kertoimillansa. (Suomen virallinen tilasto 2018 & Ilmatieteen laitos n.d c.) GWP -kertoimia voidaan määrittää eri ajanjaksoille, SFS-EN ISO 14067:2018 –standardi ohjeistaa käyttämään IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) ilmoittamia 100 vuoden kertoimia, jotka on ilmoitettu yksikössä CO₂e kg per päästökilogramma. (SFS-EN ISO 14067:2018, 39). Esimerkiksi metaanille GWP kerroin on 28, käytännössä tämä tarkoittaa, että 1 kg metaania vastaa ilmastovaikutukseltaan 28 kg hiilidioksidia sadan vuoden tarkastelu jaksolla (28 kg CO₂e/ kg CH₄). (Suomen virallinen tilasto 2018.)

4.3 Hiilijalanjäljen laskentaperiaate

Hiilijalanjälki voidaan laskea periaatteessa kaikelle: tuotteille, palveluille, organisaatioille ja esimerkiksi yhdelle autolla kuljettavalle matkalle. Hiilijalanjäljen laskennassa käytetään kolmea periaatteellista metodia: input-output (IO) -analyysia, elinkaariarviointia (LCA) ja näiden yhdistelmää IO-LCA:ta, jossa yhdistyy molempien metodien vahvuudet. Metodien valinta riippuu pitkälti toiminnallisesta yksiköstä ja selvityksen laajuudesta (Kuva 6.). IO-LCA -metodin tiimoilta tehdään aktiivisesti tutkimusta ja sen hyödyntäminen selvityksissä yleistyy. (Gao, Liu & Wang 2013, 238.)



Kuva 6. Metodien valintaan vaikuttavat tekijät (Gao, ym. 2013, 238).

Hiilijalanjäljen laskennan peruseriaate noudattaa kaavaa, jossa primääritiedolla kerrotaan sekundaaritieto ja tarvittaessa sekundaaritieto vielä kerrotaan GWP - kertoimella (1). Primääritiedolla tarkoitetaan prosessin tai toiminnon laskettua arvoa, joka saadaan mittauksella tai suoriin mittauksiin pohjautuvalla laskennalla. Yleensä primääritieto on kulutustieto, esimerkiksi kuinka paljon tuotteen valmistuksessa kulutetaan sähköä tai jokin muu kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttava asia tai toimi. Sekundaaritiedoiksi luokitellaan tiedot, jotka eivät täytä primääritiedon vaatimuksia. Sekundaaritietoja voivat olla esimerkiksi päästökertoimet ja tiedot erilaisista tietokannoista ja julkaisuista. Laskentakaavassa primääritieto on yleensä aina kulutustieto tai jokin muu määrällinen tieto ja sekundaaritieto taas päästökerroin (1). (Gao, ym. 2013, 241, British Standards Institution n.d, 29 & SFS-EN ISO 14067:2018, 18.)

$$\text{Primääritieto} \times \text{Päästökerroin} \times \text{GWP} - \text{kerroin} = \text{hiilijalanjälki} \quad (1)$$

(British Standards Institution n.d, 29)

Hiilijalanjäljen laskemisessa tarvitaan siis GWP -kertoimien lisäksi päästökertoimia. Päästökerroin kuvaa päästön määrä suhteessa tarkastelun kohteena olevaan asiaan tai ilmiöön. Toisin sanoen syntyvä päästö suhteutetaan tiettyyn toiminnalliseen yksikköön. Päästökertoimia voidaan ilmaista tietylle kasvihuonekaasulle tai sitten hiilidioksidiekvivalenteina. Päästökertoimia voidaan ilmaista monissa eri yksiköissä. (Taulukko 2. & Sanastokeskus 2022 a.)

Taulukko 2. Esimerkkejä päästökertoimista.

Tuote/Energia/Liikenne	Päästökerroin	Yksikkö	Lähde
Dieselkäyttöinen henkilö-auto, maantieajo ja kuormitus 1.9 henkilöä. (VTT Lipasto www-sivut 2017.)	0,00021	g CH ₄ /km	VTT Lipasto
Sähkö Suomessa, keskimääräinen kolmen vuoden liukuva keskiarvo. (Motivan www-sivut 2022)	131	kg CO ₂ /MWh	Motiva
Maito, alaraja (OpenCO2.net:in www-sivut 2022)	1	kg CO ₂ e/kg	OpenCO2.net - hiilijalanjälkialusta

Seuraavaksi esitetään kaksi esimerkkiä hiilijalanjäljen laskemisesta:

Organisaatio käyttää sähköä 10 000 kWh ja sähköntoimittajalta on saatu seuraava päästökerroin 0,2 kgCO₂e/kWh. Kertomalla nämä keskenään kaavan (1) mukaisesti:

$$10\,000\text{ kWh} \times 0,2\text{ kgCO}_2\text{e/kWh} = 2000\text{ kgCO}_2\text{e}$$

saadaan lopputulokseksi 2000 kgCO₂e. Tässä esimerkissä ei tarvita mukana GWP -kerrointa, koska päästökerroin on valmiiksi ilmoitettu hiilidioksidiekvivalentteina, joka on haluttu loppuyksikkö.

Tilanteissa, joissa päästökerrointa ei ole annettu suoraan hiilidioksidiekvivalentteina joudutaan huomioimaan jokainen laskentaan sisältyvä kasvihuonekaasu erikseen. Tällöin primääritieto kerrotaan kasvihuonekaasun päästökertoimella ja lopuksi vielä GWP -kertoimella, jolloin lopputulokseksi saadaan haluttu yksikkö CO₂e. Esimerkiksi dieselkäyttöisellä henkilöautolla ajetaan 100 km matka ja metaanille (CH₄) on annettu päästökerroin 0,00021 gCH₄/km (Taulukko 2.), metaanin GWP -kerroin on

luvussa 4.2 mainittu 28. Haluttu lopputulos saavutetaan, kun nämä kaikki kerrotaan seuraavasti keskenään:

$$100 \text{ km} \times 0,00021 \frac{\text{gCH}_4}{\text{km}} \times 28 \frac{\text{gCO}_2\text{e}}{\text{gCH}_4} = 0,588 \text{ gCO}_2\text{e}$$

Sadan kilometrin ajettu matka metaanin osalta tuottaa siis 0,588 gCO₂e päästön. Jotta saataisiin kokonaisvaltainen hiilijalanjälki tulisi kaikki muutkin kasvihuonekaasut laskea samalla tavalla omia kertoimiaan käyttäen ja lopuksi nämä tulokset summataisiin yhteen ja saataisiin lopullinen tulos.

5 TUOTTEEN HIILIJALANJÄLKISELVITYS

Ilmastonmuutosta pidetään yhtenä suurimmista globaaleista haasteista. Siitä seuraa vaikutuksia sekä ihmiseen että luontoon. Tähän haasteeseen on lähdetty vastaamaan yksityiseltä kuin julkiselta sektorilta. Eri tahot ovat käynnistäneet erilaisia hankkeita, joiden tarkoituksena on vähentää ilmakehän kasvihuonekaasujen määrää sekä edistää sopeutumista ilmastonmuutokseen. Kasvihuonekaasujen vähentämiseen liittyvät hankkeet ja toimet pohjautuvat kasvihuonekaasupäästöjen tai -poistumien laskentaan, arviointiin, seurantaan, raportointiin ja todentamiseen. (SFS-EN ISO 14067:2018, 5.)

Hiilijalanjälkiselvityksiä hyödynnetään, kun organisaatiot haluavat selvittää tuotteidensa tai organisaationsa hiilijalanjäljen ja ryhtyä toimenpiteisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Lisäksi selvitykset luovat mahdollisuuksia resurssitehokkuuden lisäämiseen ja tuottavuuden parantamiseen. Hiilijalanjälki on myös kaupallistettu ja selvitykset ovat myös yksi keino kohdata asiakkaiden vaatimuksia. (Gao, ym. 2013, 241-242.)

Hiilijalanjälkiselvitystä voidaan ajatella suppeampana elinkaariarviointina. Elinkaariarvioinnin keskittyessä moniin vaikutusluokkiin, hiilijalanjälkiselvityksessä keskitytään ainoastaan ilmastonmuutokseen. Hiilijalanjälkiselvitystä voidaankin mahdolli-

sesti myöhemmin täydentää kokonaiseksi elinkaariarvioinniksi ottamalla huomioon muutkin tuotteen elinkaaren kannalta olennaiset ympäristövaikutusluokat. Samoin kuin elinkaariarviointi niin tuotteen hiilijalanjälkiselvityskin rakentuu toiminnallisen- tai ilmoitetun yksikön ympärille. (Suomen ympäristökeskus 2010, 71 & SFS-EN ISO 14067:2018, 21 & 43.) Tutkittavaa tuotetta käsitellään tuotejärjestelmänä. Tuotejärjestelmä on sarja yksikköprosesseja, jotka kytkeytyvät toisiinsa materiaali- ja energiavirtojen kautta. Tuotejärjestelmä voi toteuttaa yhden tai useamman määritellyn toiminnon. Tuotejärjestelmään ja sen muodostaviin yksikköprosesseihin virtaa siis syötteitä ja sieltä virtaa ulos tuotoksia. Syötteiden ja tuotosten tunnistamista helpottaa, kun tuotejärjestelmä jaetaan yksikköprosesseihin. Toiminnallinen yksikkö antaa vertailuyksikön, johon näitä syötetietoja ja tuotostietoja suhteutetaan. Toiminnallinen yksikkö voi esimerkiksi olla kg jotain tuotetta, tai jokin muu selkeästi määritelty ja mitattavissa oleva yksikkö. Myös selvityksen tulokset lasketaan ja ilmoitetaan suhteessa tähän toiminnalliseen yksikköön. (SFS EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 17-20 & SFS-EN ISO 14067:2018, 14, 21 & 24.)

Tuotteen hiilijalanjälkiselvitys voidaan laatia koskemaan tuotteen koko elinkaarta, jolloin kyseessä on hiilijalanjälki tai selvitykseen voidaan ottaa tietty osa tuotteen elinkaarta, jolloin puhutaan osittaisesta hiilijalanjäljestä. (SFS-EN ISO 14067:2018, 11.) Koko elinkaaren hiilijalanjälki on mahdollista laskea myös osittaisista hiilijalanjäljistä, jos ne on laskettu samaa menetelmää noudattaen ja samana ajanjaksona. Lisäksi ne eivät saa sisältää päällekkäisyyksiä tai aukkoja. (SFS-EN ISO 14067:2018, 22.) Yleisesti ottaen hiilijalanjälkiselvityksen tulee kattaa kaikki tuotteen elinkaaren vaiheet, mutta hiilijalanjälkiselvityksen kattavuus tuotteen elinkaaren suhteen riippuu yleensä siitä mihin käyttötarkoitukseen selvitys tehdään. (British Standards Institution n.d, 13.) Selvitykset kattavat yleensä elinkaarenvaiheet kehdestä hautaan (cradle to grave) tai kehdestä portille (cradle to gate) (Kuva 7). Hiilijalanjäljen laskennassa käytettävistä rajauksista kerrotaan tarkemmin luvussa 5.3.

Figure 6 – Main types of product carbon footprint study boundaries



Kuva 7. Hiilijalanjälkiselvitysten yleisimmät tuotteen elinkaarta koskevat rajat. (British Standards Institution n.d, 13.)

5.1 Keskeisimmät ohjeistukset ja standardit

Tuotteiden hiilijalanjälkiselvityksiin ja laskentaan on olemassa erilaisia yleisiä ohjeistuksia ja standardeja. Ohjeistuksien ja standardien syntyyn on vaikuttanut tarve saada hiilijalanjäljenlaskentaa yhtenäisemmäksi, jotta tulokset olisivat keskenään vertailtavissa. (Gao, ym. 2013, 238.) Keskeisimpiä näistä ovat Publicly Available Specification 2050 (PAS 2050), jonka on julkaissut British Standards Institution (BSI), GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard, jonka ovat julkaisseet World Resources Institute (WRI) ja Business Council for Sustainable Development (WBCSD) sekä International Organization for Standardization (ISO) julkaisema ISO 14067:2018 Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification. (Wang S., Wang W. & Yang 2018, 1 & 2.)

Ohjeistuksien periaatteet ja metodit ovat hyvin pitkälti yhteneväisiä keskenään. Kaikki kolme edellä mainittua ohjeistusta perustuvat elinkaariarviointia koskeviin ISO 14040- ja ISO 14044 -standardeihin. Yksi niiden yhteinen piirre on myös yleisluonteisuus, jotta niitä olisi mahdollista soveltaa mahdollisimman laajasti kaikille tuotannonaloille. Tämä piirre luo haasteita käytännön laskennan kannalta, sillä ohjeistukset voivat olla turhankin yleisiä ja niiden soveltaminen vaatii asiantuntijaosaamista. (Pulkkinen, Hartikainen & Katajajuuri 2011, 10 & Wang, ym. 2018, 2.) Metodien ollessa enimmäkseen yhtenevät eri standardien ja ohjeistuksien välillä

myös eroja niiden välillä on olemassa. Suurimmat epävarmuutta tuottavat tekijät koskevat tuotejärjestelmän rajauksia, rajauskriteereitä ja allokatiomenetelmiä. (Li, Chen & Ding 2019, 2 & Wang, ym. 2018, 2.)

Ohjeistukset ja standardit viittaavat poikkeuksetta myös tuoteryhmäsääntöihin (PCR, Product Category Rules) yleisluonteisuutensa vuoksi. Tuoteryhmäsäännöt ovat tuoteryhmätasolle laadittuja laskentaohjeistuksia, joiden tarkoitus on tarkentaa ja täsmentää laskentaohjeita. Tuoteryhmäsäännötkin ovat valitettavan yleisluontoisia ja niissäkin on keskinäisiä eroavaisuuksia. (Pulkkinen, ym. 2011, 10). Esimerkiksi ISO 14067:2018 -standardi ohjaa suoraan käyttämään olemassa olevia ja asianmukaisia tuoteryhmäsääntöjä tai hiilijalanjäljen tuoteryhmäsääntöjä, kun ne on laadittu teknisen spesifikaatio ISO/TS 14027 mukaisesti, tai ISO 14044 esitettyjen vaatimusten mukaisesti laaditun asianmukaisen alakohittaisen standardin mukaisesti. (SFS-EN ISO 14067:2018, 22.) PAS2050 linjaa, että tuoteryhmäsääntöjä voidaan soveltaa tuotejärjestelmän rajojen määrittämiseen, jos ne eivät ole ristiriidassa PAS2050 kanssa (British Standards Institution 2008b, 12). Tuotejärjestelmäsääntöjen nähdään myös mahdollistavan samanlaisten tuotteiden tai tuoteryhmien välisen vertailun ja tuoteselosteiden laadinnan (WRI & WBCSD 2011, 23-24).

Ohjeistukset eivät siis ole täysin ongelmattomia ja niiden väliset eroavaisuudet voivat johtaa konkreettiseen eroihin hiilijalanjälkiselvitysten lopputuloksissa (Wang, ym. 2018, 11). Ohjeistukset vaativat vielä kehitystyötä, jotta ne olisivat yhtenäisempiä ja vastaisivat paremmin laskentaan liittyviin käytännön kysymyksiin. (Gao, ym. 2013, 242 & Pulkkinen ym. 2011, 10.)

5.2 Selvityksen periaatteet

Olemassa olevat ohjeistukset ja standardit esittelevät myös periaatteet joihin selvityksen tulisi perustua ja jotka vaikuttavat selvityksen taustalla. Kaikille kolmelle edellä mainitulle ohjeistukselle yhteisiä periaatteita ovat: täydellisyys, tarkkuus, läpinäkyvyys ja johdonmukaisuus. Täydellisyydellä ohjeistukset hakevat sitä, että selvitykseen tulee sisällyttää kaikki kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat, jotka vaikuttavat merkittävästi tutkittavan tuotejärjestelmän hiilijalanjälkeen tehtyjen rajojien

puitteissa. Mahdolliset rajaukset, jotka johtavat päästöjen tai poistumien hylkäämiseen, tulee perustella. Laskennan tulee myös olla tarkkaa ja todennettavissa olevaa. Harhaanjohtamista pitää välttää ja epävarmuuksien sisällyttämistä laskentaan tulee välttää mahdollisuuksien mukaan, niin pitkään, kuin se vain on käytännöllistä. Samat toimintatavat tiedon, menetelmien ja oletuksien soveltamisen suhteen tulee olla käytössä koko selvityksen ajan. Selvityksen tulee olla läpinäkyvä: laskennassa käytetyt tiedot, menettelyt, tietolähteet ja oletukset tuodaan esiin selkeästi ja avoimesti, näin menettelemällä selvityksen uskottavuus säilyy ja se edustaa sitä, mitä sen on tarkoituskin edustaa. (British Standards Institution 2008b, 6, SFS-EN ISO 14067:2018, 21-22 & WRI & WBCSD 2011, 19.)

ISO 14067:2018 -standardissa hiilijalanjälkilaskentaa ohjaavissa periaatteissa korostetaan lisäksi tieteellisen lähestymistavan ensisijaisuutta. Hiilijalanjälkiselvityksessä suurin painoarvo päätöksissä annetaan luonnontieteille, mikäli luonnontieteiden painottaminen päätöksenteossa ei ole mahdollista tulee käyttää muita tieteellisiä lähestymistapoja. Päätöksenteossa arvovalinnat ovat sallittuja vasta aivan viimesijaisena keinona. Elinkaarinäkökulma on myös keskeinen, hiilijalanjälkiselvityksessä tulee huomioida tuotteen koko elinkaari. Lisäksi on tärkeää välttää kaksinkertaista laskentaa. (SFS-EN ISO 14067:2018, 21-22.)

5.3 Selvitysprosessi

Ohjeistuksien kuvaama selvitysprosessin kulku noudattaa pääosin samaa kaavaa ohjeistuksesta riippumatta. Pääpiirteittäin selvitysprosessi etenee seuraavalla tavalla: Selvitysprosessin alussa määritellään selvitysprosessin tavoite, laajuus ja rajaukset. Tuotteen hiilijalanjälkiselvityksen yleinen tavoite on selvittää tuotteen hiilijalanjälki, eli potentiaalinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen hiilidioksidiekvivalenttiyksikössä (SFS-EN ISO 14067:2018, 23). Prosessi jatkuu tarvittavien tietojen keräämisellä, kun tarvittavat tiedot on kerätty, suoritetaan itse laskenta. Laskenta on mahdollista toteuttaa olemassa olevia laskentatyökaluja hyödyntäen tai esimerkiksi Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Tulosten ollessa selvillä arvioidaan tulosten epävarmuudet ja tehdään tarvittavaa tulkintaa. Tuloksia voidaan hyödyntää päästöjen vähentämisessä ja kaupallisesti. Tuloksista voidaan viestiä sisäisesti ja ulkoisesti. (Finnilä,

Kolvanki & Lehtinen 2021, 22-23.) Selvitysprosessi on luonteeltaan iteratiivinen prosessi, jossa jokainen selvityksen vaihe hyödyntää aiemmissa vaiheissa saavutettuja tuloksia ja tietoja. Tarvittaessa selvityksessä voidaan aina palata uudestaan aikaisempaan vaiheeseen, jos käsillä olevassa vaiheessa ilmenee sille tarvetta. (SFS-EN ISO 14067:2018, 21 & WRI & WBCSD 2011, 23.)

ISO 14067:2018 -standardin mukaiseen hiilijalanjälkiselvitykseen sisältyvät luvussa 4.1 mainittu neljä elinkaariarvioinnin vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, elinkaari-inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulostentulkinta. Määriteltäessä hiilijalanjälkiselvityksen tavoitteita tulee esittää selvityksen aiottu käyttötarkoitus, syyt selvityksen taustalla, suunniteltu kohdeyleisö ja hiilijalanjälkeä koskevien tietojen mahdollinen viestintä, joka noudattaa ISO 14026 -standardia. (SFS-EN ISO 14067:2018, 23.) Soveltamisalan määrittelyssä määritellään tutkittava järjestelmä ja sen toiminnot lisäksi määritellään tutkittavan järjestelmän toiminnallinen tai ilmoitettuyksikkö. Tässä vaiheessa määritetään myös järjestelmän rajat, tietoa ja sen laatua koskevat vaatimukset sekä tietoa koskeva ajallinen rajausta niitä koskevien ohjeistuksien ja vaatimuksien mukaisesti, jotka tulevat standardista. Näiden lisäksi soveltamisalanmäärittelyssä huomioidaan selvityksessä käytettävät oletukset ja allokointimenettelyt. (SFS-EN ISO 14067:2018, 23-24.) Tässä vaiheessa tulee myös määritellä rajauskriteerit, joiden puitteissa voidaan merkityksettä prosesseja rajata selvityksen ulkopuolelle. Soveltamisalan määrittely tulisi tehdä siten, että selvityksen laajuus, syvyys ja yksityiskohtaisuus vastaisivat määriteltyjä tavoitteita. Soveltamisalan tulee olla johdonmukainen selvityksen tavoitteiden kanssa. (SFS-EN ISO 14067:2018, 23, 25 & SFS EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 19.)

Hiilijalanjälkiselvityksessä rajauksia voidaan tehdä tuotteen elinkaaren suhteen, kuten luvussa 5. on kerrottu. Muitakin rajauksia on mahdollista tarvittaessa tehdä. Kun soveltamisalan määrittelyn mukainen tuotejärjestelmän ja sen toimintojen määrittely on tehty, voidaan määrittää järjestelmän rajat. Järjestelmän rajat luovat perustan sille, että mitkä yksikköprosessit sisältyvät selvitykseen. Määritetään mitkä yksikköprosessit sisältyvät selvitykseen ja millä tarkkuudella niitä tutkitaan. Yleisesti yksikköprosesseista otetaan mukaan kaikki, jotka on mahdollista yhdistää tutkittavaan järjestelmään. Elinkaarivaiheita, prosesseja, syötteitä ja tuotoksia voidaan rajata pois vain, mikäli rajaaminen ei vaikuta merkittävästi selvityksen johtopäätöksiin. Yksittäisiä

materiaali- ja energiavirtoja voidaan rajata selvityksen ulkopuolelle, jos ne havaitaan merkityksettömiksi. Rajauksien suhteen tulee noudattaa luvussa 5.2 kuvattuja periaatteita. (SFS-EN ISO 14067:2018, 25.)

Tavoitteen ja soveltamisalan määrittelyn jälkeen seuraa elinkaari-inventaarioanalyysi. Elinkaari-inventaarioanalyysissä tuotteen elinkaaren aikaiset syötteet ja tuotokset koostetaan sekä kuvataan määrällisesti. Hiilijalanjälkiselvityksessä tehtävä elinkaari-inventaarioanalyysi muodostuu seuraavista vaiheista: tietojen keräämisestä, tietojen varmentamisesta, tietojen suhteuttamisesta yksikköprosessiin ja toiminnalliseen yksikköön, järjestelmän rajojen tarkentamisesta ja allokoinnista. Nämä vaiheet ovat mukautettu standardista ISO 14044 ja vaiheet voidaan toteuttaa tarpeen mukaan. Tietoja kerätään kaikista tutkittavaan järjestelmään kuuluvista yksikköprosesseista, tiedot voivat olla laadullisia tai määrällisiä. Kerättäviä tietoja voidaan luokitella esimerkiksi seuraavien otsikoiden alle: energiasyötteet, raaka-ainesyötteet, apusyötteet, tuotteet, rinnakkaistuotteet ja jäte. Tietojen kerääminen voi olla hyvin työläs prosessi. Tietojen keräämisen aikana tulee myös varmistaa tietojen kelpoisuus, tietojen tulee täyttää standardin määrittelemät laatuvaatimukset. Näitä kriteereitä, joiden pohjalta tiedon laatua voidaan kuvata ovat mm. tiedon ajallinen kattavuus, lähteet, epävarmuus ja johdonmukaisuus. Tietoja voidaan myös varmistaa laatimalla yksikköprosesseista massa- ja energiataseita. Kerätyt tiedot suhteutetaan yksikköprosessiin ja toiminnalliseen yksikköön. (SFS-EN ISO 14067:2018, 26-29 & SFS EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 21.)

Järjestelmän rajojen tarkentaminen on vaihe, jossa voidaan tehdä esimerkiksi herkkyysanalyysin pohjalta päätöksiä siitä, että mitä mahdollisia tietoja, elinkaarivaiheita, yksikköprosesseja ja syötteitä sekä tuotoksia voidaan jättää pois selvityksestä, jos niiden merkitys osoittautuu vähäiseksi. Herkkyysanalyysin perusteella voidaan myös tehdä päätöksiä uusien yksikköprosessien, syötteiden ja tuotosten sisällyttämisestä selvitykseen, jos nämä osoittautuvat taas merkitykseltään suuriksi lopputuloksen kannalta. Tämä auttaa myös rajaamaan myöhemmin tapahtuvaa tiedonkäsittelyä niihin syötteisiin ja tuotoksiin, jotka ovat selvityksen tavoitteiden kannalta merkittäviä. (SFS-EN ISO 14067:2018, 30.)

Usein tuotejärjestelmissä, varsinkin niissä joiden yksikköprosessit sisältävät teollisia prosesseja, syntyy useita tuotteita. Monet teollisuuden prosessit myös käyttävät ja kierrättävät välivalmisteita ja hylättyjä tuotteita raaka-aineenaan. Tällöin joudutaan tilanteeseen, jossa syötteet ja tuotokset tulee kohdentaa eli allokoida eri tuotteille. Allokaatiokysymykset ovat yksi niistä asioista, joista ohjeistukset ovat epäharmonissa keskenään, kuten luvussa 5.1 kerrotaan. Allokointimenettelyt vaikuttavat merkittävästi selvityksen lopputulokseen. Menetelminä ne ovat laskennallisia ja teoreettisia. Allokointia tulisikin lähtökohtaisesti mahdollisuuksien mukaan välttää. Allokoinnin välttäminen voidaan toteuttaa jakamalla allokoitava yksikköprosessi tarvittavaksi määräksi alaproesseja, joihin kerätään niihin liittyvät syöte- ja tuotostiedot. Toisaalta voidaan allokointia yrittää välttää laajentamalla tutkittavaa tuotejärjestelmää. Tilanteissa, joissa allokointia ei voida välttää tulisi allokoinnin perustua syötteiden ja tuotosten fysikaalisiin suhteisiin. Mikäli fysikaalisten suhteiden käyttäminen allokoinnin perustana ei ole mahdollista, voidaan allokointia tehdä taloudellisen arvon perusteella. Allokointi tulee tehdä selkeästi ja perustellun menettelyn mukaisesti. (Hartikainen, Katajajuuri, Pulkkinen, Saarinen, Silvenius, Usva & Yrjänäinen 2012, 8, 18, 19 & 20 & SFS-EN ISO 14067:2018, 30-32.)

Kolmas vaihe selvityksessä on vaikutusarviointi. Vaikutusarviointivaiheessa inventaarioanalyysin tuloksien avulla arvioidaan potentiaalisten ympäristövaikutusten merkittävyyttä (SFS EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 21). Hiilijalanjälkiselvityksessä keskitytään ilmastonmuutosvaikutukseen ja vaikutusarvioinnissa tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt tai -poistumat, jotka elinkaariarviointivaiheessa on selvitetty, kerrotaan ilmaston sadan vuoden lämmityspotentiaalikertoimilla, jotka käytiin tarkemmin läpi luvussa 4.3. Näin saadaan selville ilmastonmuutosvaikutus. (SFS-EN ISO 14067:2018, 39.)

Hiilijalanjälkiselvityksen viimeinen vaihe on tulostentulkintavaihe. Tulostentulkintavaiheessa inventaarioanalyysissa ja vaikutustenarviointivaiheessa saavutettuja tuloksia arvioidaan ja analysoidaan. Tavoitteena on saada ymmärrys tulosten epävarmuudesta. Keskeistä on tunnistaa ja yksilöidä merkittävät seikat, jotka vaikuttavat lopputulokseen, näitä voivat olla esimerkiksi yksittäiset syötteet esimerkiksi energia, elinkaaren vaiheet ja yksikköprosessit. Tulostentulkinnan yhteydessä tulee myös arvioida valittujen menetelmien, kuten allokaatiomenetelmien ja oletusten vaikutusta lopputu-

lokseen. On myös hyvä tunnistaa lähtötietojen laadunarviointia koskevat rajoitukset. Tuloksia arvioitaessa tulee tarkastella tulosten täydellisyyttä, herkkyyttä ja johdonmukaisuutta. Täydellisyyden tarkistuksella tavoitellaan varmuutta siitä, että kaikki tulostentulkinnan kannalta olennainen tieto on käytettävissä ja se on riittävää. Herkkyystarkistuksessa pyritään arvioimaan lopputulosten ja johtopäätösten luotettavuutta selvittämällä, miten lähtötietoihin, laskentaan ja valittuihin menetelmiin vaikuttavat epävarmuudet näkyvät lopputuloksissa ja johtopäätöksissä. Johdonmukaisuutta arvioidessa pohditaan, että ovatko olettamukset, menetelmät ja lähtötiedot yhdenmukaisia tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa. Lopuksi pyritään tunnistamaan hiilijalanjälkiselvityksen rajoitukset ja tekemään arviointiin ja analyysiin perustuvia johtopäätöksiä sekä suosituksia. (SFS-EN ISO 14067:2018, 39-40 & SFS-EN ISO 14044:2006+A1:2018, 31-35.)

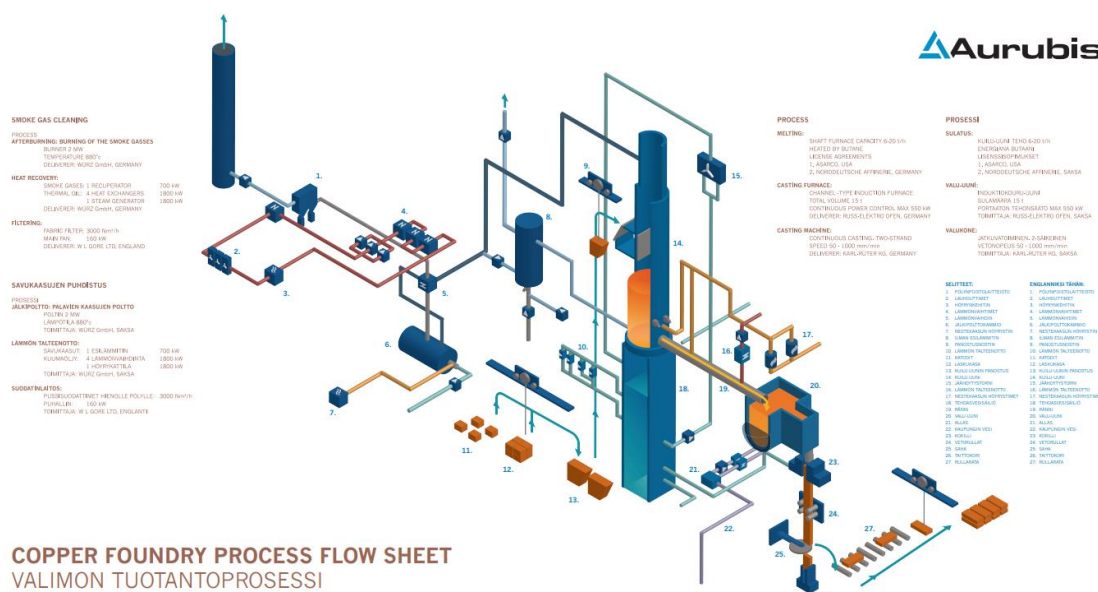
6 VALSSATUN KUPARITUOTTEEN HIILIJALANJÄLKI

Tässä luvussa kuvataan valssatun kuparituotteen hiilijalanjäljen selvitysprosessi. Luvussa avataan pääpiirteet toimeksiantajayrityksen tuotteen valmistusprosessista. Hiilijalanjälkiselvitys on kehdosta portille –selvitys, jossa on hyödynnetty seuraavia standardeja: ISO 14067:2018 Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification. sekä EN 15804:2012 + A2:2019 Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Varsinainen laskenta suoritettiin Excel – taulukkolaskenta ohjelmalla.

6.1 Selvityksen kohteena olevan tuotteen valmistus

Hiilijalanjälkiselvityksen kohteena olevan valssatun kuparituotteen valmistus alkaa valimosta. Kuparivalimossa on kuilu-uuni, jossa katodikuparista sekä kierrätyskuparista valetaan kuparilaattoja ja -pötkyjä. Pötkyt myydään asiakkaille jatkojalostukseen ja valetut laatat tulevat Aurubis Finland Oy:n omaan valssaamoon jatkojalostettaviksi. Kuparivalimon valu on jatkuvaa valua, valettavat kuparit panostetaan kuuppaan, joka nostetaan kuilu-uuniin. Varsinainen kuparin sulattaminen tapahtuu uunin

alaosassa sijaitsevilla nestekaasupolttimilla. Sula kupari laskee uunin pohjalle, josta se kulkee ränniä pitkin valu-uuniin. Valu-uunista sula kupari ohjataan kokillin läpi, jota jäähdytetään kaupunkivedellä. Kokillin läpi mennessä sula saa halutun muodon ja tuloksena syntyy kuparivalanne. Valimon prosessissa syntyvät poistettavat kaasut ohjataan savukaasujen jälkipoltto- ja suodatuslaitokseen, jossa hiukkaset suodatetaan pussisuodattimilla. (Aurubis Finland Oy:n ympäristölupa nro 228/2015/1, 21-22 & Kuva 8.)

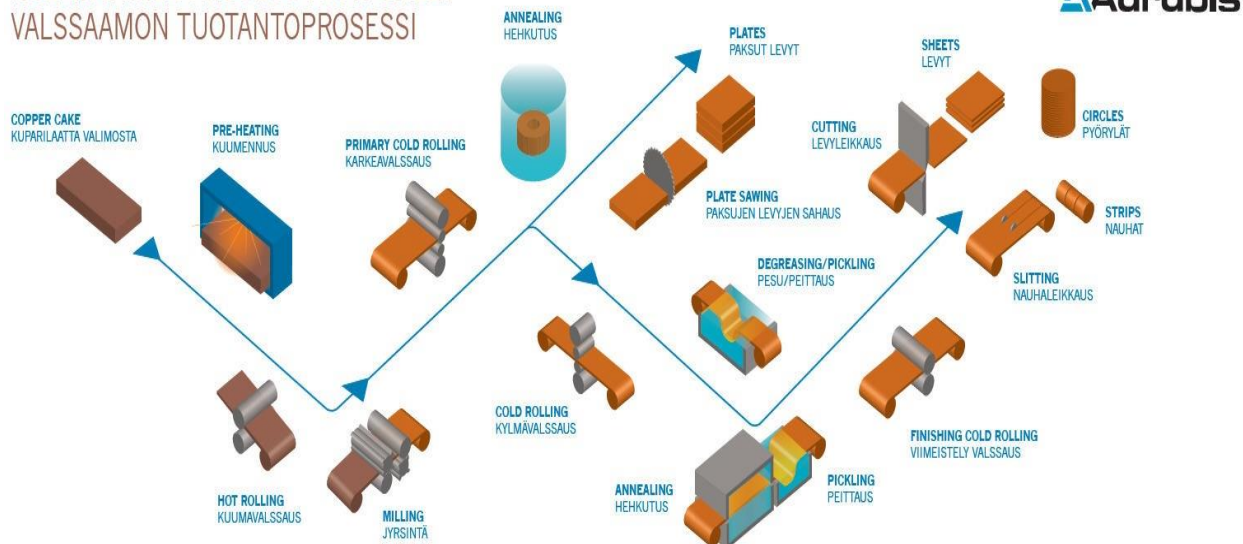


Kuva 8. Valimon tuotantoprosessi. (Aurubis Finland Oy:n sisäinen tietokanta.)

Valmiit valanteet kuljetetaan valssaamoon, jossa niiden jatkokäsittely alkaa hehkutuksella kuumavalssaustilanteeseen. Hehkutus tapahtuu nestekaasulla lämmitettävissä askelpalkkiuunissa. Kuumavalssaauksessa punahehkuisiksi lämmitetty laatta valssataan haluttuun vahvuuteen ja jäähdytetään. Laatta voidaan jättää suoraksi levyksi tai se voidaan kelata rullaksi. Kuumavalssaauksessa syntynyt oksidikerros jyrksitään pois rullista ja levyistä jyrsinkoneella. Jyrsinän jälkeen tuotetta muokataan kylmävalssaamalla, ensimmäisen valssaauksen jälkeen tuote voidaan sahata valmiiksi paksuksi levytuotteeksi tai sitä voidaan edelleen jalostaa. Prosessissa kulkua jatkavat tuotteet jatkovalssataan haluttuun vahvuuteen ja hehkutetaan haluttujen ominaisuuksien saamiseksi. Valssaauksien ja hehkutuksien jälkeen tuote pestään ja peitataan. Puhdas tuote siirtyy leikkureille, joissa se leikataan asiakkaan haluamaan leveyteen ja mittaan. Valmiit valssatut kuparituotteet pakataan ja kuljetetaan asiakkaille. Kaikki

prosessissa syntyvä kupariromu kerätään talteen ja se käytetään uudelleen kuparivalimossa. (Aurubis Finland Oy:n ympäristölupa nro 228/2015/1, 22-23 & Kuva 9.)

ROLLING MILL PROCESS FLOW SHEET VALSSAAMON TUOTANTOPROSESSI



Kuva 9. Valssaamon tuotantoprosessi. (Aurubis Finland Oy:n sisäinen tietokanta.)

6.2 Selvitysprosessin kuvaus

Hiilijalanjälkiselvityksen tavoitteena on selvittää valssatun kuparituotteen suuntaa antava hiilijalanjälki. Selvityksen teossa sekä selvitysprosessin kuvauksessa on pyritty noudattamaan luvussa 5.2 kuvattua hiilijalanjälkiselvityksen periaatteita. Työn alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää kolmen puhtaan kupari seoksen hiilijalanjälki tietyn levyisen ja tietyn vahvaisen nauhan tarkkuudella. Puhtaiksi kupariseoksiksi valikoituvat Cu-DHP, Cu-ETP ja Cu-Of. Selvityksen tavoitetta jouduttiin tarkentamaan ja muokkaamaan työn edetessä. Huomattiin, että alkuperäinen tavoite tarkkuuden suhteen, olisi tuottanut lukuisia allokointitilanteita, joiden vaikutus lopputulokseen olisi ollut hyvin merkittävä ja selvityksen luotettavuus olisi kärsinyt. Lisäksi Cu-OF:n kohdalla emme saaneet riittävästi lähtötietoja. Lähtötietojen puute olisi johtanut merkittävään määrään oletuksia lähtötiedoista, jotka olisivat vaikuttaneet kyseenalaisesti tuloksen luotettavuuteen. Cu-OF:n kohdalla lopputulos jäi odottamaan joidenkin lähtötietojen tarkentumista. Lopulliseksi tavoitteeksi muotoutui selvittää tyypillisen valssatun kuparituotteen hiilijalanjälki keskimääräiselle tuotteelle sekä Cu-DHP:lle ja Cu-ETP:lle.

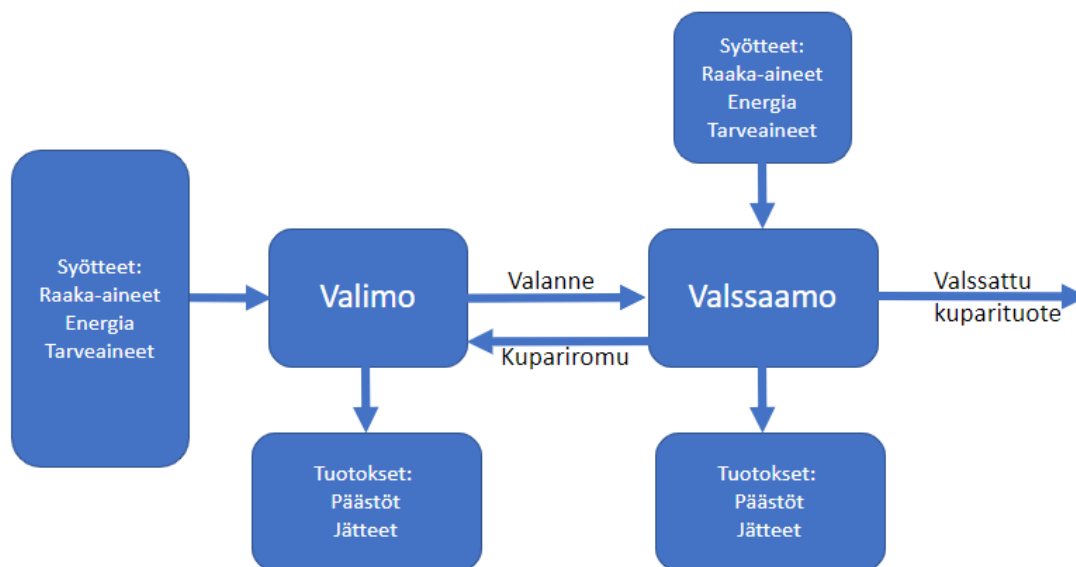
Selvityksen taustalla vaikutti myös Aurubis Finland Oy:n Nordic Copper -tuotesarjan ympäristötuoteselosteiden uusinta. Ajatuksena on, että mahdollisesti tämän opinnäytetyön yhteydessä kerättyjä ja selvitettyjä lähtötietoja voidaan soveltaa ja käyttää ympäristötuoteselosteiden laadinnassa. Selvityksessä Nordic Center, jossa arkkitehtuurituotteet viimeistellään, rajattiin pois tarkastelusta. Selvitys rajattiin tuotteen elinkaaren osalta kehdosta portille -selvitykseksi. Selvityksessä päädyttiin myös hyödyntämään EN 15804:2012 + A2:2019 Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt -standardia, koska ympäristötuoteselosteiden laadinta tulee hyvin suurella todennäköisyydellä perustamaan tähän standardiin. Tämä standardi on eurooppalainen standardi, jossa esitetään kaikkien rakennustuotteiden ja palveluiden ympäristöselosteiden laadinnan yleissäännöt (SFS-EN 15804:2012 + A2:2019, 6). Ympäristötuoteseloste, Environmental Product Declaration (EPD), on kolmannen osapuolen myöntämä tai todentama merkki, jossa tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksiin liittyviä ominaisuuksia on eritelty (Sanastokeskus 2022b). Ympäristötuoteselosteessa ilmastomuutos on yksi ympäristövaikutuksia kuvaava yleisindikaattori samoin kuin elinkaariarvioinnissa (SFS-EN 15804:2012 + A2:2019, 38).

Edellä mainittua standardista hyödynnettiin informaatiomodulaajattelua. Informaatiomoduli on tyypin III ympäristöselosteen perustana käytetty kokoelma eri ympäristötietoja. Nämä tiedot kattavat yksikköprosessin tai niiden yhdistelmän, joka on osa tuotteen elinkaarta (SFS-EN 15804:2012 + A2:2019, 9). Hiilijalanjälkiselvitykseen sisällytettiin standardin tuotevaiheen moduulit A1-A3, jolloin selvitys rajautuu kehdosta tehtaan portille -selvitykseksi. A1 -moduuliin sisältyy raaka-aineiden hankinta ja käsittely sekä kierrätysmateriaalien käsittely. A2 -moduuliin sisältyy kuljetus valmistukseen ja A3 -moduuliin valmistus. Kaikkiin moduuleihin sisältyy kaikkien materiaalien, tarveaineiden, tuotteiden ja energian hankinta sekä jätteiden käsittely. (SFS-EN 15804:2012 + A2:2019, 18 & Kuva 10). Selvityksessä on EN 15804:2012 + A2:2019 -standardin lisäksi hyödynnetty edellä esiteltyä SFS-EN ISO 14067:2018 -standardia.

A1-3	A4-5	B		C	D
TUOTEVAIHE	RAKENTAMINEN	KÄYTTÖVAIHE		PURKUVAIHE	LISÄTIEDOT
A1 Raaka-aineen hankinta A2 Kuljetus valmistukseen A3 Tuotteen valmistus	A4 Kuljetus työmaalle A5 Työmaa-toiminnot	B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa B2 Kunnossapito B3 Korjaus B4 Osien vaihto	B5 Laajamittaiset korjaukset B6 Energian käyttö B7 Veden käyttö	C1 Purkaminen C2 Kuljetukset C3 Purkujätteen käsittely C4 Purkujätteen loppusijoitus	Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat
Kehdosta portille					
Kehdosta portille					
Kehdosta hautaan					

Kuva 10. EN 15804 -standardin mukaiset informaatiomoduulit (Kuittinen & Linkosalmi 2015, 13).

Keskeisintä osaa selvityksen kohteena olevaa tuotejärjestelmästä voidaan hahmottaa kahden suuremman yksikköprosessin kautta, jotka ovat valimon prosessi ja valssaamon prosessi (Kuva 11).



Kuva 11. Tuotejärjestelmän keskeiset yksikköprosessit karkeasti kuvattuna.

Toiminnalliseksi yksiköksi valittiin yksi kilogramma (kg) valssattua kuparituotetta. Selvityksessä käytettävät paikkakohtaiset määrälliset syöte- ja tuotostiedot rajattiin

ajallisesti vuoden 2021 tietoihin, jotta laskennassa käytettävä prosessidata olisi mahdollisimman tuoretta. Tarveaineiden suhteen, jotkin määrälliset tiedot ovat vuoden 2020 ajalta. Tietojen keruussa on myös pyritty käyttämään mahdollisimman tuoreita lähteitä ja lähteiden luotettavuuteen on pyritty kaikissa vaiheissa kiinnittämään erityistä huomiota. Maantieteellisesti tietoja ei ole lähdetty rajaamaan, kuitenkin suurin osa käytettävistä tiedoista on peräisin Suomesta tai Euroopan unionin alueelta.

Tässä vaiheessa pohdittiin myös muita rajoituksia kuin tuotejärjestelmän elinkaaren rajojen asettamista. Selvityksen iteratiivisen luonteen mukaisesti tietyssä vaiheessa ilmenneen tiedon vaikuttaessa edeltäviin vaiheisiin, palattiin edellisiin vaiheeseen täsmentämään ja tarkentamaan asioita. Rajoituksia tehtiin esimerkiksi tarveaineiden sisällyttämisen osalta, jos havaittiin, että jokin prosessissa käytettävän tarveaineen merkitys on lähes mitätön lopputuloksen kannalta, rajattiin kyseinen tarveaine ulos selvityksestä. Osittain rajoituksia jouduttiin tekemään myös ajankäytön tähden, joidenkin merkitykseltään vähäisten tarveaineiden hiilijalanjäljen tai päästökertoimen selvittäminen olisi vaatinut ajallisesti niin suuria panostuksia suhteessa hyötyyn, että ne päädyttiin rajaamaan selvityksen ulkopuolelle. Osa tarveaineista jätettiin sen perusteella tarkastelusta pois, että niitä käytetään tuotettua tuotekilogrammaa kohti hyvin vähän. Tämän tyyppisiä tarveaineita ovat esimerkiksi erilaiset pesuaineet ja liuotimet, joita kuluu hyvin pieniä määriä. Tutkittavan tuotejärjestelmän ulkopuolelle rajattiin myös työmatkaliikenne, ihmistyövoima, työkalujen ja tuotantolaitteiden sekä muun tuotantoinfrastruktuurin ja rakennusten hankinta, valmistus, kunnossapito ja käytöstäpoisto. Kuljetusten osalta samalta tehdasalueelta tulevat raaka-aineet rajattiin myös pois tarkastelusta, koska etäisyydet ovat erittäin pienet. Kaikki ne yksikköprosessit, joiden arvioitiin merkittävästi vaikuttavan hiilijalanjälkeen, sisällytettiin tarkasteluun.

Tavoitteita ja soveltamisalaa määritellessä arvioitiin myös, millaisia oletuksia laskennassa voidaan joutua tekemään. Osaan tehdyistä oletuksista päädyttiin selvityksen edetessä. Laskennassa käytettyjä keskeisiä oletuksia olivat: raaka-aineena käytettävän romukuparin hiilijalanjäljen asettaminen nollassa, laskennan yksinkertaistamiseksi. Romukuparin kuljetusten osuus kuitenkin laskennassa on huomioitu. Toinen keskeinen oletus koskee kaukolämpöä. Toimeksiantajayritys käyttää kaukolämpöä, mutta myös tuottaa sitä kaukolämpöverkkoon. Laskennassa tuotettu kaukolämpö

hyvitettiin samalla päästökertoimella kuin kaukolämmöntoimittajalta ostettu kaukolämpö. Melkein kaikkien laskettavien kuljetuksien osalta oletettiin, että kuljetusajoneuvot palaavat takaisin täydellä kuormalla, tämä oletus tehtiin laskennan sujuvoittamiseksi. Prosesseissa kuluvien tarveaineiden määrät perustuvat yhden vuoden tilausmääriin, minkä johdosta tehtiin oletus, että kaikki vuoden aikana tilatut tarveaineet myös kuluvat sen vuoden tuotannon tekemiseen. Erilaisten tarveaineiden merkittävästä lukumäärästä johtuen päädyttiin tarveaineita niputtamaan yhteen, jotta selvitykseen käytettäviä resursseja saadaan kohdistettua niihin seikkoihin, joiden merkitys on selvityksen lopputuloksen kannalta huomattavasti suurempi. Esimerkiksi erilaiset voiteluöljyt ja –rasvat niputettiin yhteen ja niille käytettiin yhteistä tyypillistä voitelutarkoitukseen valmistetun öljyn päästökerrointa. Vastaavia niputuksia tehtiin pakkausmateriaaleina käytettäville puumateriaaleille, muoveille, teräsmateriaaleille, papereille ja pahveille.

Elinkaari-inventaariovaiheen alussa hahmoteltiin ja selvitettiin, mitä kaikkia lähtötietoja selvitystä varten tulee kerätä, tässä hyödynnettiin em. informaatiomoduuleita, jolloin tarvittavia tietoja voitiin kategorisoida moduulien perusteella. Lisäksi tuotejärjestelmän muodostaviin yksikköprosesseihin tulevia tarveainesyötteitä luokiteltiin ja ryhmiteltiin esimerkiksi pahveihin ja papereihin, öljyihin ja rasvoihin, muoveihin sekä puumateriaaleihin. Tämä työ pohjusti tietojenkeräämistä. Tietoja kerättiin eri menetelmillä. Kaikki määrälliset kulutus-, syöte- ja tuotostiedot, jotka oli mahdollista kerätä suoraan toimeksiantajayrityksen seurantajärjestelmistä, kerättiin niistä. Joitakin määrällisiä tietoja kerättiin myös yhteistyökumppaneilta tiedustelemalla. Laskennassa tarvittavia päästökertoimia kerättiin suoraan yhteistyökumppaneilta, erilaisista tietokannoista ja elinkaariarvioista. Käytettyjä kertoimia kerättiin taulukkoon, josta niiden lähde on myös nähtävissä (Kuva 12).

Energiat				
Käyttöpaikka	Energia	Kerroin	Yksikkö	Lähde
Molemmat	Sähkö	0,16878	kg CO ₂ e/kWh	Toimittaja
Molemmat	Kaukolämpö	0,07838	kg CO ₂ e/kWh	Toimittaja
Molemmat	Typpi	0,23	kg CO ₂ e/kg	Toimittaja
Valssaamo	Vety	0,113	kg CO ₂ e/MJ	JEC WELL-to tank Report V5 https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119036
Molemmat	Propani	0,094	kg CO ₂ e/MJ	Toimittaja
Molemmat	Diesel	3,384	kg CO ₂ e/l	Toimittaja
Valimo	Polttoöljy	3,384	kg CO ₂ e/l	Toimittaja

Kuva 12. Esimerkki päästökertoimien ja laskentatietojen keräämisestä taulukoihin.

Jo tiedon keräämisen aikana tietoja pyrittiin arvioimaan ja esimerkiksi osa löydettyistä päästökertoimista hylättiin, koska tiedon laadulliset vaatimukset jäivät kokonaan tai osittain täyttymättä. Kaikille tuotejärjestelmään tuleville tarveaineille ei ollut mahdollista saada tarkkaa juuri tietylle tuotteelle laskettua tai selvitettyä päästökerrointa. Näissä tapauksissa pyrittiin etsimään mahdollisimman hyvin tuotetta vastaava kerroin, joka kuitenkin täyttää tiedon laadulliset vaatimukset. Joidenkin kulutustietojen ja päästökertoimien kohdalla jouduttiin myös tekemään yksikkömuunnoksia. Esimerkiksi propaanin kulutus saatiin toimeksiantajan järjestelmästä megawattitunteina (MWh), mutta propaanille toimittajalta saatu koko elinkaarenaikainen päästökerroin saatiin yksikössä grammaa hiilidioksidiekvivalentteja/megajoule (gCO₂e/MJ), jolloin kulutustieto muunnettiin megajouleiksi kertomalla MWh-lukema 3600:lla. Kaikki päästökertoimet muunnettiin myös muotoon kilogrammaa hiilidioksidiekvivalentteja/soveltuvin yksikkö (kgCO₂e/soveltuvin yksikkö), esimerkiksi kgCO₂e/kg. Kuperivalanteen päästökerroin saatiin laskelmalla se valimon lähtötiedoista. Valimossa raaka-aineena käytettävää katodikuparia tulee usealta eri toimittajalta. Katodien päästökertoimien poiketessa toisistaan, jouduttiin katodille määrittämään massaosuuksien suhteisiin perustuva keskimääräinen päästökerroin. Prosessissa syntyvän jätteen hiilijalanjälki saatiin myös suoraan jätteen käsittelystä vastaavalta toimeksiantajayrityksen yhteistyökumppanilta.

Kuljetuksien laskennassa osa kuljetuksien hiilijalanjälkitiedoista saatiin suoraan kuljettajilta. Joitakin yksittäisiä kuljetuksia laskettiin erikseen. Esimerkiksi katodikuparin ja romukuparin kuljetukset kuparivalimoon. Kuljetusetäisyyksien selvittämisessä hyödynnettiin Google Maps – karttasovellusta. Kuljetuksessa käytettävät päästoker-

toimet ovat peräisin VTT Lipasto:n Liikennevälineiden yksikköpäästökerroin – tietokannasta.

Laskennassa tarvittavien tietojen ollessa selvillä tiedot suhteutettiin toiminnalliseen yksikköön. Käytännössä tämä suhteuttaminen tapahtui siten, että kaikki määrälliset syötteet ja päästötiedot jaettiin sen ajanjakson tuotantomäärällä, jolta tiedot oli kerätty. Varsinainen suhteuttaminen toteutettiin Excel -taulukkolaskentaohjelmalla, johon kaikki käsiteltävät tiedot oli kerätty. Lopputuloksena saatiin tieto, että kuinka paljon kutakin syötettä kuluu halutussa yksikkö, kun tuotetaan 1 kg lopputuotetta. Vaikutusarviointi toteutettiin myös samalla laskentaohjelmalla. Käytännön laskenta noudatti luvussa 4.3 kuvattuja laskentaperiaatteita. Kaikki suhteutetut tiedot kerrottiin omilla päästökertoimillaan ja nämä tulokset summattiin yhteen. Lopputuloksena saatiin valssatun kuparituotteen keskimääräinen hiilijalanjälki. Tarkemmin lopputuloksia käsitellään luvussa 7.

Selvityksessä kohdattiin myös joitakin allokaatiotilanteita. Esimerkiksi suoraan kuljettajilta saadut kuljetusten päästötiedot koskivat molempien sekä valimossa että valssaamossa käytettävien materiaalien kuljetuksia. Prosesseista kuitenkin tiedetään, että valssaamossa erilaisia materiaaleja ja tarveaineita kuluu merkittävästi enemmän kuin valimossa. Allokaatioperustetta arvioidessa tultiin siihen lopputulokseen, että realistisin lopputulos saavutetaan, kun suoraan kuljettajilta saadut kuljetukset allokoidaan seuraavasti: valimolle 20 % ja valssaamolle 80 %. Toimeksiantajayrityksen ajoneuvojen käyttämä diesel, jouduttiin myös allokoimaan, sillä dieselin kulutus raportoidaan kaikkien autojen kulutukset sisältäen, lisäksi autojen dieselin kulutusta on erittäin haastavaa kohdentaa tarkasti valimoon ja valssaamoon. Näistä syistä päädyttiin allokoimaan dieselin kulutuksesta puolet valimon prosessiin ja toinen puolikas valssaamon prosessiin.

7 LOPPUTULOKSET

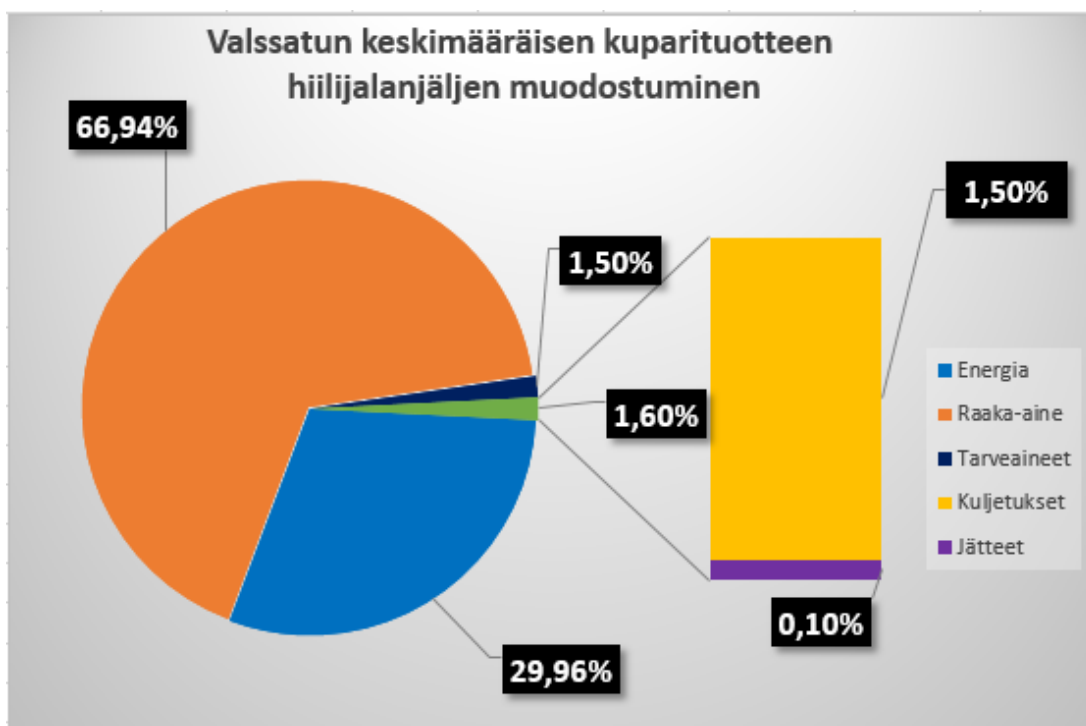
Tehdyn hiilijalanjälkiselvityksen lopputuloksena saatiin toimeksiantajayrityksen valmistaman valssatun kuparituotteen suuntaa antava kehdestä portille – hiilijalanjälki keskimääräiselle tuotteelle sekä kahdelle tyypilliselle puhtaalle kuparituotteelle. Lopputulos kuvastaa tuotteiden keskimääräistä hiilijalanjälkeä. Kupariromun sisältö vaihtelee tuotteittain ja keskimäärin se on 65 %, jolloin keskimääräinen valssatun kuparituotteen hiilijalanjäljeksi tulee 1,56 kgCO₂e/kg valssattua kuparituotetta. Lopputulokset ovat nähtävissä alla olevasta taulukosta. (Taulukko 3.)

Taulukko 3. Selvityksen lopputulokset

Kupari	Sekundaarisen raaka-aineen sisältö %	Hiilijalanjälki	Yksikkö
Keskimääräinen valssattu kuparituote	65	1,56	kgCO₂e/kg valssattua kuparituotetta
Tyypillinen valssattu DHP-kuparituote	98	0,57	kgCO₂e/kg valssattua kuparituotetta
Tyypillinen valssattu ETP-kuparituote	54	1,89	kgCO₂e/kg valssattua kuparituotetta

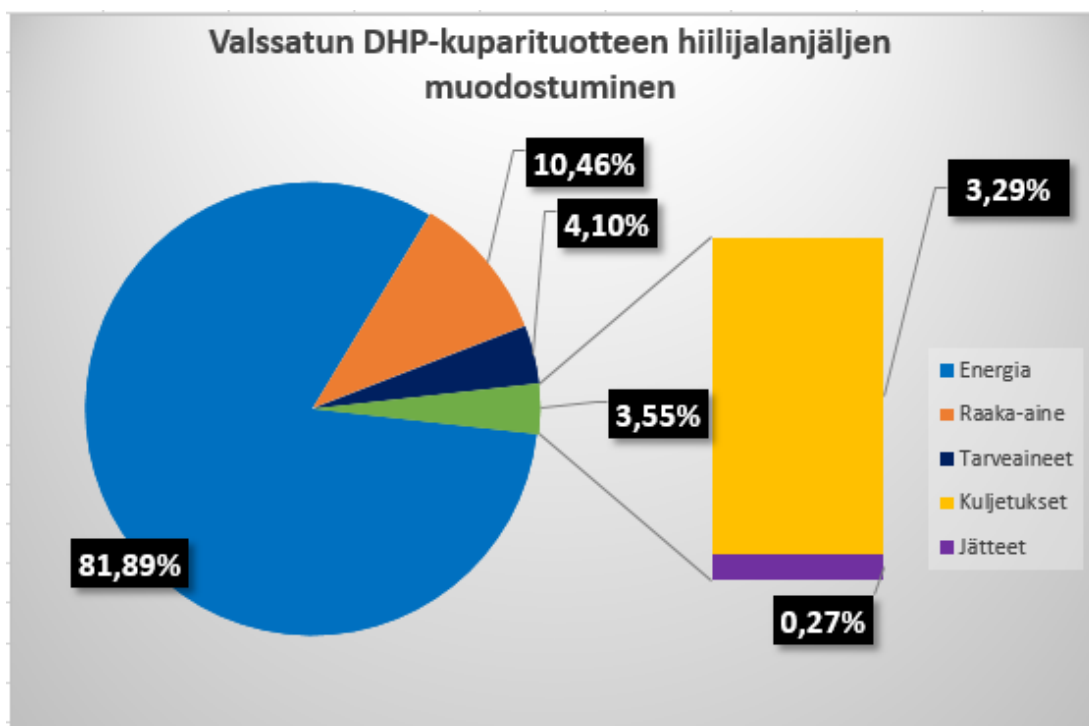
7.1 Merkittävät seikat ja tekijät

Selvityksessä saatuun lopputulokseen merkittävin vaikutus tulee käytetystä raaka-aineesta sekä energiasta. Raaka-aineen hiilijalanjälki muodostaa lopputuotteen hiilijalanjäljistä keskimääräisellä valssatulla kuparituotteella noin 67 %, jossa sekundaariraaka-aineen pitoisuus on 65 %. Raaka-aineen koostumuksella eli sekundaari- ja primaarikuparin suhdeluvulla on merkittävä vaikutus valssatun kuparituotteen hiilijalanjälkeen. (Taulukko 3. & Kuva 13.) Energian osuus valssatun kuparituotteen hiilijalanjäljistä on noin 30 %. Näiden kahden seikan muodostaessa yhteensä lähes 97 % tuotteen hiilijalanjäljistä voidaan ne katsoa merkittäviksi seikoiksi. (Kuva 13.)



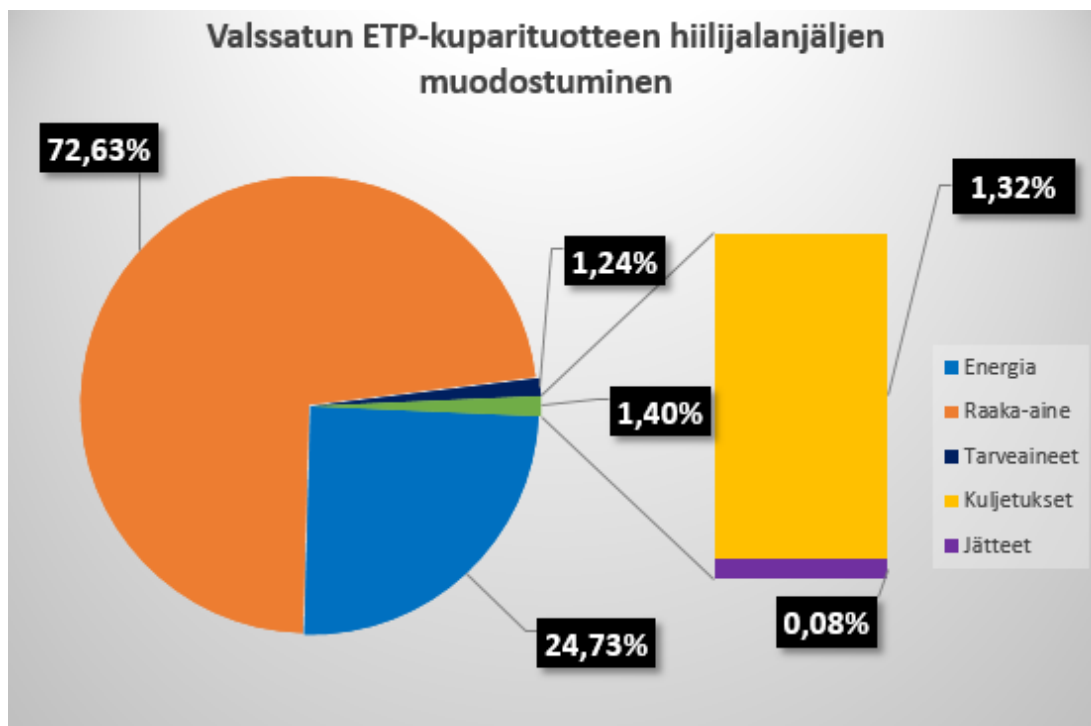
Kuva 13. Tyypillisen keskimääräisen valssatun kuparituotteen hiilijalanjäljen muodostuminen, jossa 65 % raaka-aineesta on kupariromua.

Tyypillisen valssatun DHP-kuparituotteen kohdalla hiilijalanjäljestä suurin osa, noin 82 %, muodostuu käytetystä energiasta ja käytetyn raaka-aineen suhteellinen osuus on noin 10 %. Tämä johtuu siitä, että kun raaka-aineesta yhä suurempi osa on sekundaarista raaka-ainetta, niin raaka-aineen kokonaishiilijalanjälki pienenee. Tämä taas nostaa muiden hiilijalanjälkeä muodostavien tekijöiden suhteellisia osuuksia. Tyypillisen valssatun DHP-kuparituotteenkin kohdalla voidaan merkittäviksi seikoiksi katsoa samat tekijät kuin keskiarvotuotteen kohdalla, yhdessä raaka-aine ja energia muodostavat DHP-kuparituotteen hiilijalanjäljestä hieman yli 92 %. (Kuva 14.)



Kuva 14. Tyypillisen valssatun DHP-kuparituotteen hiilijalanjäljen muodostuminen, jossa 98 % raaka-aineesta on kupariromua.

Tyypillisessä valssatussa ETP-kuparituotteen raaka-aineessa taas kupariromun suhteellinen osuus raaka-aineesta vähenee ja sen seurauksena raaka-aineen suhteellinen osuus tuotteen hiilijalanjäljestä kasvaa. Kuitenkin ETP-kuparinkin kohdalla voidaan merkittäviksi seikoiksi todeta raaka-aineen koostumus ja energia, niiden muodostaessa yhteensä noin 97 % tuotteen hiilijalanjäljestä. (Kuva 15.)



Kuva 15. Tyypillisen valssatun ETP-kuparituotteen hiilijalanjäljen muodostuminen, jossa 54 % raaka-aineesta on kupariromua.

7.2 Lopputulosten epävarmuudet ja niihin vaikuttavat tekijät

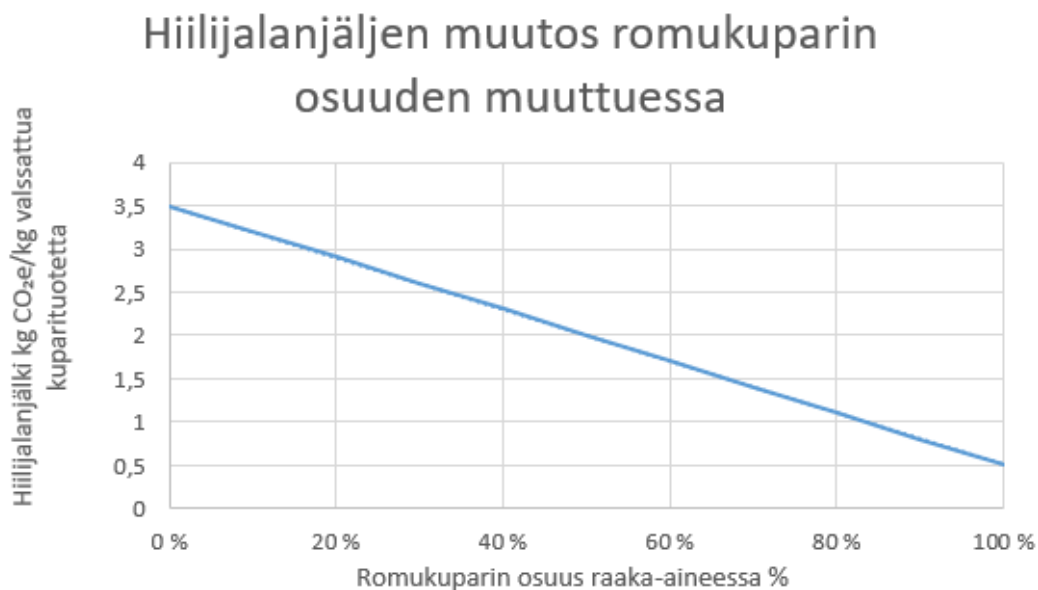
Hiilijalanjälkiselvityksen lopputuloksiin liittyy tiettyjä epävarmuuksia. Merkittävimmät tekijät epävarmuuksien taustalla ovat kaikki selvityksessä tehdyt oletukset, jotka on kuvattu luvussa 6.2. Merkittävin laskennassa käytetty oletus oli kupariromun hiilijalanjäljen olettaminen nollassa. Tämä voidaan luvussa 7.3 esitetyn herkkyyksianalyysin sekä hiilijalanjäljen muodostumisen perusteella todeta merkittävimmäksi epävarmuutta aiheuttavaksi tekijäksi (Kuva 13, Kuva 14 & Kuva 15). Oletuksen kohdalla epävarmuus voidaan kuitenkin kohdistaa omien prosessien ulkopuolelta tulevalle romulle, sillä prosessissa käytetyn kiertoromun kohdalla oletus on perusteltu. Omien prosessien ulkopuolelta tulevaan romuun liittyvä epävarmuus kohdistuu siihen, että kuinka paljon romua on jouduttu käsittelemään ennen kuin se voidaan uudelleen sulattaa. Epävarmuutta lopputulokseen tuo myös kuljetusten osalta niiden täydellisyys, koska kuljetussuoritteita on valtava määrä, niin on hyvin mahdollista, että aivan kaikki kuljetukset eivät ole mukana selvityksessä. Luvussa 6.2 kuvattujen allokatioiden voidaan myös olettaa tuottavan vähäisesti epävarmuutta lopputulokseen.

Vähäisenä epävarmuutta lisäävänä tekijänä on myös täydellisyys tarveaineiden kohdalla, sillä osa prosesseista kuluviista tarveaineista rajattiin pois selvityksestä. Selvityksestä rajattiin pois joitakin tarveaineita, myös sen perusteella, että niille ei ollut löydettävissä luotettavaa päästökerrointa. Lisäksi tarveaineiden kohdalla tehty kategorisoinnit ja niputtamiset, ovat yksi tekijä, joka lisää tuloksen epävarmuutta. Luvussa 6.2 kerrotaan, että kaikille tarveaineille ei löytynyt juuri aineelle ominaista päästökerrointa, jolloin asia pyrittiin ratkaisemaan etsimällä mahdollisimman hyvin ainetta kuvaava päästökerroin. Tämäkin osaltaan lisää epävarmuutta. Tarveaineiden vaikutukset tuloksien epävarmuuteen voidaan kuitenkin kokonaisuutena katsoa hyvin vähäisiksi, koska niiden määrällinen kulutus suhteessa vertailuvirtaan on hyvin vähäinen sekä ne muodostavat vain 1 % lopputuloksesta. Epävarmuutta lisäävät myös kaikki selvityksessä tehtyt rajaukset.

Selvityksessä sovelletut ja käytetyt menetelmät pohjautuvat työssä hyödynnettyihin standardeihin. Menetelmien itsessään voidaan katsoa olevan luotettavia ja tarkoituksenmukaisia, jolloin niiden aiheuttama tuloksen epävarmuus on hyvin vähäinen. Lisäksi pyrkimällä noudattamaan luvussa 5.2 kuvattuja hiilijalanjälkiselvityksen periaatteita on yritetty vähentää tuloksien epävarmuutta.

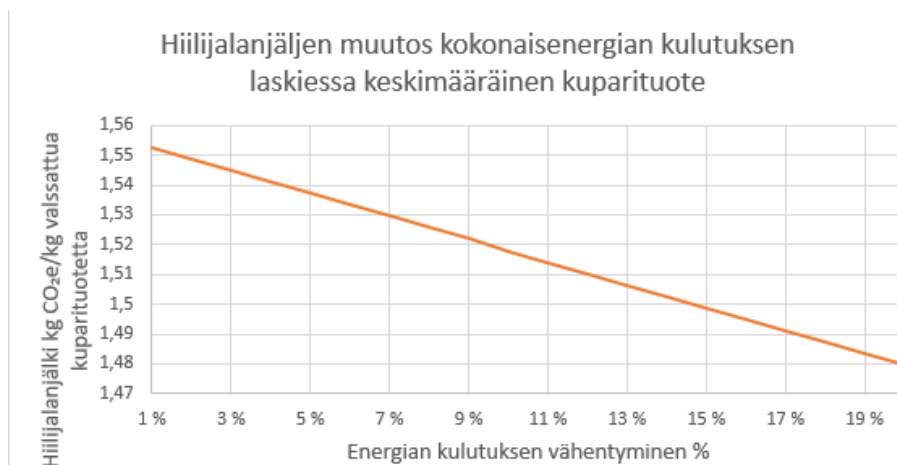
7.3 Tulosten herkkyyys

Tulosten herkkyyttä arvioitiin tuloksen kannalta merkittäviksi seikoiksi havaittujen tekijöiden suhteen. Herkkyysanalyysissä selvisi, että tulos on erittäin herkkä raaka-aineen koostumuksen suhteen: mitä suurempi osuus raaka-aineesta on sekundaarikuparia suhteessa primaariseen katodikupariin, sen pienempi on tuotteen hiilijalanjälki. (Kuva 16). Herkkyysanalyysi sisältää sen oletuksen, että sekundaarikuparia korvaavan primaarisen katodikuparin hiilijalanjälki on sama kuin laskennassa aiemmin käytetty. Tuloksen herkkyyttä raaka-aineen suhteen arvioitaessa on myös syytä huomioida romukuparin päästökertoimen kohdalla tehty oletus.

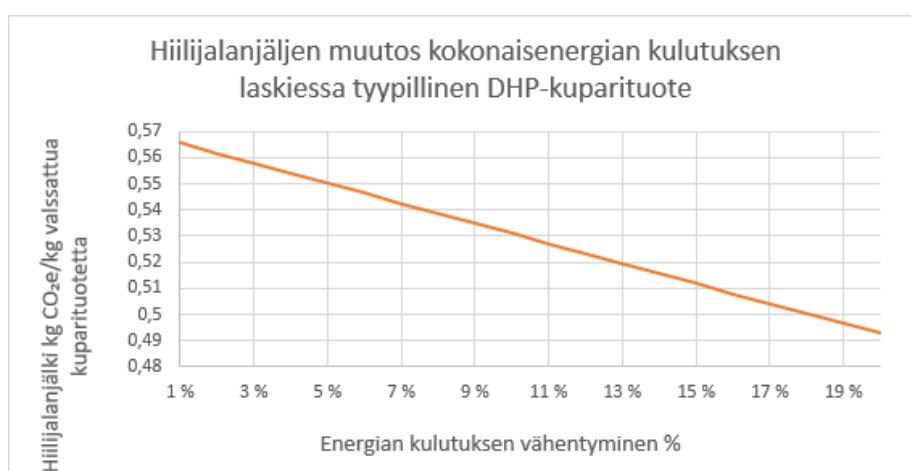


Kuva 16. Lopputuloksen herkkyyssanalyysi raaka-aineen koostumuksen suhteen.

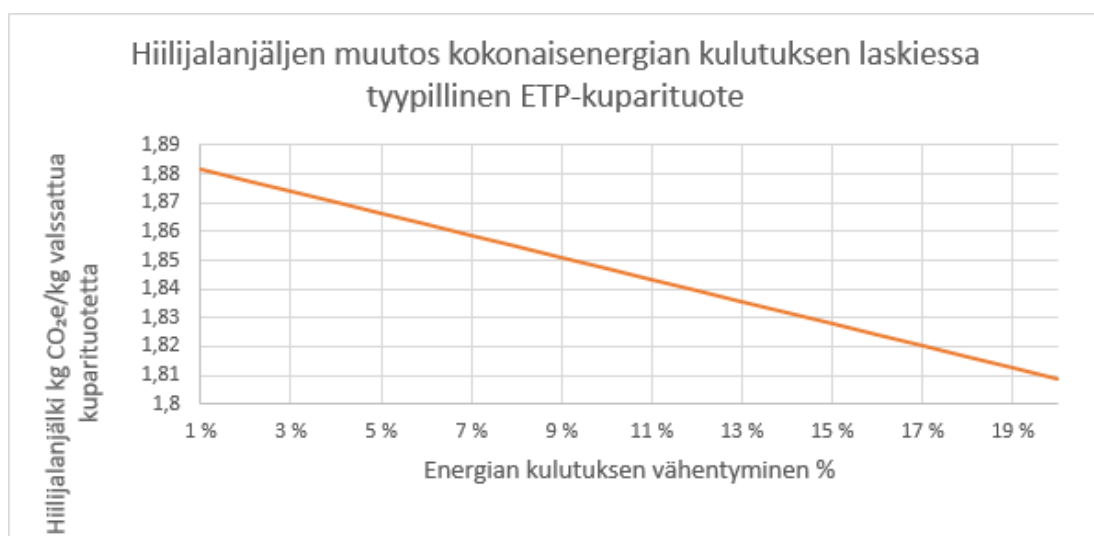
Energian suhteen herkkyyttä tarkasteltiin työssä määritetyn keskimääräisen lopputuloksen sekä DHP- ja ETP -kuparituotteen suhteen. Herkkyyttä tarkasteltiin energian kokonaiskulutuksen säästön suhteen, analyysissä kaikkia energiamuotoja säästettiin prosentuaalisesti samassa suhteessa. Herkkyyssanalyysi osoittaa, että lopputulokset ovat tiettyyn vaihteluväliin asti hieman herkkiä energian kulutuksen muutokselle. Keskimääräisen tuotteen hiilijalanjälki pienenee noin 1,5 %, kun kokonaisenergiankulutus vähenee alkuperäisestä tasosta 5 %. Samalla vähennyksellä vastaavasti DHP-kuparituotteen hiilijalanjälki pienenee noin 3,5 % ja ETP-kuparituotteen 1,3 %. Tehdyt herkkyyssanalyysit osoittavat myös, että lopputulosten herkkyyss energiankulutuksen suhteen vaihtelee tuotteittain. Tämä johtuu siitä, että eri tuotteiden kohdalla energia muodostaa eri osuuden tuotteen hiilijalanjäljestä. (Kuva 17., Kuva 18. & Kuva 19.)



Kuva 17. Lopputuloksen herkkyyssanalyysi energian kokonaiskulutuksen suhteen keskimääräiselle valssatulle kuparituotteelle.



Kuva 18. Lopputuloksen herkkyyssanalyysi energian kokonaiskulutuksen suhteen valssatulle DHP-kuparituotteelle.



Kuva 19. Lopputuloksen herkkyyssanalyysi energian kokonaiskulutuksen suhteen valssatulle ETP-kuparituotteelle.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

8.1 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä onnistuttiin selvittämään Aurubis Finland Oy:n valmistaman valssatun kuparituotteen suuntaa antava hiilijalanjälki. Selvityksessä saatuihin lopputuloksiin liittyy tiettyjä luvussa 7.2 esiteltyjä epävarmuustekijöitä, mutta tyypilliselle DHP-kuparille saatu lopputulos 0,57 kg CO₂e/kg on kuitenkin samansuuntainen Nordic Copper –tuoteryhmään kuuluvan Nordic Standard tuotteen hiilijalanjäljen kanssa. Aiemmin julkaistussa ympäristötuoteselosteessa Nordic Standardille määritettiin hiilijalanjäljeksi 0,49 kg CO₂e/kg moduuleille A1-A3. Nordic Standard on DHP-kuparia. Tulosten eroa mahdollisesti selittävät erilaiset rajauskriteerit, esimerkiksi tarveaineiden sisällyttämisessä saattaa olla joitakin eroja, lisäksi päästökertoimissa on todennäköisesti eroavaisuuksia.

Hiilijalanjälkiselvityksessä onnistuttiin löytämään myös merkittävimmät valssatun kuparituotteen hiilijalanjälkeen vaikuttavat tekijät, kaikkien kolmen tarkastellun tuotteen kohdalla, joita ovat raaka-aineen koostumus ja energia. Selvityksen tulosten pohjalta voidaan todeta, että valssatun kuparituotteen hiilijalanjäljen pienentämiseen liittyvät toimet kannattaa kohdentaa luvussa 7.2 merkittäviksi seikoiksi ja asioiksi todettuihin syötteisiin eli raaka-aineeseen sekä energiaan.

8.2 Pohdintaa

Toimijat, jotka tavoittelevat päästövähennyksiä tai haluavat saada merkittävää tietoa omasta toiminnastaan voivat hyötyä hiilijalanjälkiselvityksestä. Hiilijalanjälkiselvitys tuottaa juuri sellaista tietoa, jonka pohjalta voidaan tehdä päästöjen vähentämiseen tähtääviä toimia ja ratkaisuja perustellusti. Selvityksen tekeminen on kuitenkin haastava ja ajallisia resursseja kuluttava prosessi. Standardien ja ohjeistuksien soveltamista vaikeuttaa niiden yleisluontoisuus. Osittain tämä seikka myös nostaa kynnystä tehdä selvityksiä. Hiilijalanjälkiselvitysten tekemisen kynnystä voitaisiin alentaa tekemällä ohjeistuksista tarkempia ja lisäämällä niihin enemmän käytännön esimerkkejä menetelmien soveltamisesta selvityksissä.

Kokonaisuudessaan tässä opinnäytetyössä tehtyä hiilijalanjäljenselvitysprosessia voidaan pitää onnistuneena. Hiilijalanjälkiselvityksen tekemistä helpottaa, mitä enemmän erilaista kulutuksien seurantaan liittyvää tietoa on käytettävissä. Suurimmat opinnäytetyössä kohdatut haasteet liittyivät luotettavien ja sopivien päästökerrotoimien etsintään ja osa syötteistä jouduttiinkin rajaamaan ulos, koska todellisuutta kuvaavaa päästökerrointa ei löydetty. Tarvittavien tietojen selvittämistä voi helpottaa erilaisten kyselylomakkeiden hyödyntäminen, mutta tässä työssä päädyttiin kuitenkin tiedot keräämään itse eri lähteistä, koska syötetiedoista iso osa oli kerättävissä omista järjestelmistä ja tässä selvityksessä sen koettiin olevan luonteva tapa edetä. Lisäksi työkokemukseni toimeksiantajayrityksessä antoi valmiuksia ymmärtää prosessia ja siihen liittyviä keskeisiä syötteitä. Syöte ja tuotostietojen kerääminen tällä tavalla sitoo paljon aikaa. Työn tekemiseen vaikuttaa myös millaisessa muodossa tiedot saadaan. Joudutaanko saatuja tietoja muuntamaan tai käsittelemään jotenkin, että ne saadaan käytettävään muotoon. Haasteellisia tilanteita olivat myös ne, joissa jouduttiin tekemään oletuksia, sillä oletuksien vaikutusta lopputuloksiin oli joissain tapauksissa haastavaa arvioida. Luvussa 5.2 käsitellyt periaatteet voivat myös luoda haasteita selvityksen teossa, mutta toisaalta ne voivat myös auttaa siinä. Esimerkiksi läpinäkyvyys voi jossain tapauksissa aiheuttaa haasteita, koska ei ole mitenkään epätavallista, että jotkin asiat, joita selvityksessä käsitellään voivat olla yrityssalaisuuksia. Toisaalta taas ongelmatilanteissa voidaan osittain tukeutua periaatteisiin, kun tehdään ratkaisuja, periaatteet toimivat suuntaviivoina ja raamittavat selvityksen tekoa. Tässä selvityksessä periaatteiden tietoinen noudattaminen auttoi tavoittellessa mahdollisimman todenmukaista lopputulosta. Tuotteen hiilijalanjälkiselvityksen tekemiseen kaikkiaan vaikuttaa hyvin moni tekijä, mutta keskeisiä selvitystyön haastavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat tutkittavan tuotejärjestelmän monimutkaisuus, syötös- ja tuotostietojen saatavuus sekä luotettavien päästökertoimien saavutettavuus.

Tulevaisuudessa tämän selvityksen tuloksia on mahdollista tarkentaa korjaamalla syötös- ja tuotostietoja. Lisäksi tuloksien epävarmuuksia on mahdollista vähentää, jos tarveaineille saadaan enemmän tarkasti määritettyjä päästökertoimia. Kerran tehty hiilijalanjälkiselvitys edesauttaa mahdollisesti tulevaisuudessa toteuttavia selvityksiä. Lisäksi organisaatiossa voidaan pohtia menetelmiä, miten selvityksessä tarvitta-

via tietoja voidaan omasta toiminnasta kerätä tehokkaasti, kun on selvillä, mitä tietoja selvityksessä tarvitaan.

Mikäli valssatun kuparituotteen hiilijalanjälki halutaan tulevaisuudessa selvittää tarkemmin tai kohdistetummin esimerkiksi tietyn vahvuiselle ja levyiselle nauhalle tai levyille, tulee kehittää kaikkien hiilijalanjälkeen vaikuttavien syötteiden seuranta. Lisäksi tulee jokaista valssaamon konetta käsitellä omana yksikköprosessinaan, muuten selvityksessä joudutaan tekemään allokaatioita, jotka lisäävät huomattavasti lopputuloksen epävarmuutta. Syötteiden seurannan kehittäminen on keskeinen keino, jolla allokaatioita vaativia tilanteita saadaan vähennettyä ja näin selvityksen luotettavuutta parannettua sekä sen tekemistä helpotettua. Tämän tyyppinen selvitys on teoriassa mahdollista tehdä, mutta se vaatii resursseja.

Oppimisprosessina opinnäytetyön tekeminen on ollut merkittävä. Opinnäytetyötä tehdessä on myös päässyt hyödyntämään opintojen tuomaa osaamista. Koen, että ammatillinen osaamiseni on kehittynyt työtä tehdessä. Tietämys työn aihepiiristä on lisääntynyt sekä työssä käytettyjen standardien sisältö ja niiden soveltaminen käytäntöön on tullut tutuksi. Lisäksi koen, että työn tekeminen on opettanut itseohjautuvuutta ja tuonut uusia näkökulmia myös työelämästä.

LÄHTEET

Aurubis Finland Oy:n sisäinen tietokanta 2022. Viitattu 2.4.2022

Aurubis Finland Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 4.10.2021

<https://www.aurubis.fi/about-us/>

Aurubis –konsernin www-sivut 2021. Viitattu 4.10.2021.

https://www.aurubis.com/en/about-us/group/group_profile

British Standards Institution (BSI). n.d. Product Carbon Footprinting for Beginners. Guidance for smaller businesses on tackling the carbon footprinting challenge. Viitattu 6.2.2022. <https://www.bsigroup.com/LocalFiles/en-GB/standards/BSI-sustainability-guide-product-carbon-footprinting-for-beginners-UK-EN.pdf>

British Standards Institution (BSI). 2008a. Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services. Viitattu 17.2.2022. https://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/hall/publications/PAS2050_Guide.pdf

British Standards Institution (BSI). 2008b. Publicly Available Specification. PAS 2050:2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Viitattu 9.2.2022. http://www.carbonconstruct.com/pdf/pas_2050.pdf

Doebrich, Jeff, 2009, Copper—A Metal for the Ages: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2009-3031, 4 p. Viitattu 11.10.2021. <https://pubs.usgs.gov/fs/2009/3031/>.

Etelä-Suomen Aluehallintovirasto. 2015. Aurubis Finland Oy:n ympäristölupa. Nro 228/2015/1. Viitattu 31.3.2022.

Finnilä, J., Kolvanki, J. & Lehtinen, U. 2021. Kohti Hiiliviisautta. Opas yrityksille. Oulun yliopiston Kerttu Saalasti Instituutin julkaisuja 4/2021. Oulun yliopisto. Viitattu 17.2.2022. https://issuu.com/uoksi/docs/kohti_hiiliviisautta

Gao, T., Liu, Q. & Wang, J. 2013. A comparative study of carbon footprint and assessment standards. International Journal of Low-Carbon Technologies. 9. 237-243. Viitattu 8.2.2022 [10.1093/ijlct/ctt041](https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt041)

Hartikainen, H., Katajajuuri, J-M., Pulkkinen, H., Saarinen, M., Silvenius, F. Usva, K. & Yrjänäinen, H. 2012. Suositus elintarvikkeiden ilmastovaikutusten arvioimiseksi elinkaariarvioinnilla. Vastuullinen ruokaketju - hyvinvoiva kuluttaja. Helsinki. MTT. Viitattu 17.3.2022. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/foodprint/laskentasuositus/Suositus_071112_Final.pdf

Ilmatieteenlaitos n.d.a. Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. Viitattu 5.2.2022. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus.html>

Ilmatieteen laitos n.d.b. Kasvihuonekaasut lämmittävät. Viitattu 5.2.2022. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>

Ilmatieteen laitos n.d.c. Säteilypakote kuvaa ilmastojärjestelmän epätasapainoa. Viitattu 5.2.2022. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/eb06632fd946-4d47-8e17-16a7351c43ff/sateilypakote.html>

International Copper Alliance:n www-sivut 2021. Viitattu 4.10.2021 <https://copperalliance.org/sustainable-copper/about-copper/copper-life-cycle/>

International Copper Study Group. 2021. The World Copper Factbook 2021. ICSG. Viitattu 1.2.2022. <https://icsg.org/wp-content/uploads/2021/11/ICSG-Factbook-2021.pdf>

Kuittinen, M. & Linkosalmi, L. 2015. Puupohjaisten rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laatiminen. Ohjeet tiedonkeruuseen, elinkaariarviointiin ja dokumentaatioon. Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSOVER. Aalto-yliopisto. Viitattu 15.3.2022.

<https://puutuoteteollisuus.fi/images/pdf/ohje%20ymp%C3%A4rist%C3%B6selosteiden%20laatiminen.pdf>

Li, X. & Chen, L. & Ding, X. 2019. Allocation Methodology of Process-Level Carbon Footprint Calculation in Textile and Apparel Products. Sustainability. 11. 4471. Viitattu 9.2.2022. [10.3390/su11164471](https://doi.org/10.3390/su11164471).

Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. 2001. Raaka-ainekäsikirja 3, Kuparimetallit. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy. Viitattu 2.2.2022.

Motivan www-sivut. 2022. CO₂-päästökertoimet. Viitattu 6.2.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet

Nordic Copper:in www-sivut 2021. Viitattu 4.10.2021. <https://www.nordiccopper.com/copper-stories/ian-ritchies-royal-academy-of-music/>

OpenCO2.net:in www-sivut 2022. Viitattu 3.2.2022. <https://www.openco2.net/fi/taustaa>

Pulkkinen H., Hartikainen H. & Katajajuuri J-M. 2011. Elintarvikkeiden hiilijalanjälkien laskenta ja viestintä. Climate Communication I -hankkeen loppuraportti. Joensuu: MTT. Viitattu 7.2.2022 <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti22.pdf>

Reuter, M. & Kojo, I. 2014. Copper: A Key Enabler of Resource Efficiency. World of Metallurgy – ERZMETALL 1, 46-47. Viitattu 1.2.2022. https://www.researchgate.net/publication/270048725_Copper_A_Key_Enabler_of_Resource_Efficiency

Sanastokeskus. TEPA-termipankki. 2022. a. Viitattu 6.2.2022. <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6kerroin>

Sanastokeskus. TEPA-termipankki. 2022. b. Viitattu 16.3.2022. <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/ymp%C3%A4rist%C3%B6tuoteseloste>

Scandinavian Copper Development Association Suomen www-sivut 2021. Viitattu 11.10.2021. <https://copperalliance.fi/kupari-ja-kupariseokset/ominaisuudet/>

SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. 2019. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 8.4.2022.

SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 2020. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 31.3.2022.

SFS-EN ISO 14044:2006+A1:2018. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. 2018. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 31.3.2022.

SFS-EN ISO 14067:2018. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. 2018. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 8.4.2022.

Suomen ympäristökeskus 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 7 | 2010. Viitattu 2.2.2022. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Suomen ympäristökeskus 2017. Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinikka toimintamallista pk-yrityksille. ToimintaMALLI yritysten elinkaaristen Ympäristövaikutusten kehittämiseksi (MALLI-Y) -hanke. Viitattu 2.2.2022. <https://www.syke.fi/download/noname/%7B032490FA-19DF-4E5A-A40F-88E22B86DA20%7D/132057>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut. ISSN=1797-6049. 2018, Laatuseloste: Kasvihuonekaasut. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 4.2.2022 https://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_laa_001_fi.html

Ympäristö www-sivut. 2022. Viitattu 2.2.2022. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI>

VTT Lipasto www-sivut. 2017. Liikennevälineiden yksikköpäästökertoimet. Viitattu 6.2.2022. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/index.htm>

Wang S., Wang W. & Yang H. 2018. Comparison of Product Carbon Footprint Protocols: Case Study on Medium-Density Fiberboard in China. International Journal of Environmental Research and Public Health. 15. 2060. Viitattu 7.2.2022. <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/10/2060>

Wiedmann, T. and Minx, J. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. Viitattu 1.2.2022. https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999.

WRI & WBCSD. 2015. A Corporate Accounting and Reporting Standard Revised Edition. The Greenhouse Gas Protocol. Washington: WRI. Viitattu 5.2.2022. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

WRI & WBCSD. 2011. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Greenhouse Gas Protocol. Washington: WRI. Viitattu 9.2.2022. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf

LASKENTATAULUKKO OSA 1

Seosten laskenta

Valanteen hiilijalanjälki kg CO ₂ e/kg valannetta A1-A3	0,21
Valssatun tuotteen hiilijalanjälki A1-A3 kg CO ₂ e/kg valannetta	0,57

Romun hiilijalanjälki kg CO ₂ e/kg	0
Katodin keskimääräinen hiilijalanjälki kg CO ₂ e/kg	1,871087111
Syötetyn kuparin koostumus	
Romua	98 %
Katodia	2 %
Syötetyn kuparin hiilijalanjälki kg CO ₂ e/kg	0,037421742

Valimo

Tuotanto kg
51038280

Moduulit

Tuotevaihe

Valimo A1	Raaka-aine	Kulutus/vuosi	Yksikkö
Energia	Typpi kuljetus mukana	118 525,94	kg
Energia	Propani koko elinkaari	81 644 400,00	MJ
Trukit	Polttoöljy koko elinkaari	9 924,57	l
Autot	Diesel koko elinkaari	1 210,97	l
Kupari	Kaikki kupari sisään	51 038 280,00	kg
öljyt ja rasvat	Öljyt ja rasvat voiteluun	1 341,80	kg
Tarveaineet	Puuhiili	30 000,00	kg
Tarveaineet	Liekinokki	3 000,00	kg

Raaka-aineen hiilijalanjälki	Yksikkö	Kulutus/Valanne	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
0,23	kg CO ₂ e/kg	0,002322295	kg/kg	0,000534128	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,094	kg CO ₂ e/MJ	1,599669895	MJ/kg	0,15036897	kg CO ₂ e/kg valannetta
3,384	kg CO ₂ e/l	0,000194453	l/kg	0,00065803	kg CO ₂ e/kg valannetta
3,384	kg CO ₂ e/l	2,37267E-05	l/kg	8,02912E-05	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,037421742	kg CO ₂ e/kg	1	kg/kg	0,037421742	kg CO ₂ e/kg valannetta
1,07	kg CO ₂ e/kg	2,62901E-05	kg/kg	2,81304E-05	kg CO ₂ e/kg valannetta
2,2	kg CO ₂ e/kg	0,000587794	kg/kg	0,001293147	kg CO ₂ e/kg valannetta
2,62	kg CO ₂ e/kg	5,87794E-05	kg/kg	0,000154002	kg CO ₂ e/kg valannetta

Hiilijalanjälki yhteensä kg
CO₂e/kg valannetta

0,190538441

LIITE 2

LASKENTATAULUKKO OSA 2

Saadut kuljetukset

Valimo A2	Well to Wheel päästö	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
Kuljetus	96 452,60	Kg CO ₂ e	0,001889809	Kg CO ₂ e/kg valannetta
Kuljetus	11 059,00	Kg CO ₂ e	0,00021668	Kg CO ₂ e/kg valannetta
Kuljetus	41 521,61	Kg CO ₂ e	0,000813539	Kg CO ₂ e/kg valannetta

Hiilijalanjälki yhteensä kg CO₂e/kg valannetta	0,002920028
--	--------------------

Laskettavat kuljetukset

Valimo A2	Kuljetettava tavara	Syntävä päästö kg CO ₂ e/kg lopputuotetta
Kuljetus	Katodin kuljetuksen keskimääräinen hiilijalanjälki	0,000179312
Kuljetus	Kupariromun kuljetuksen keskimääräinen hiilijalanjälki	0,000151018

Hiilijalanjälki yhteensä kg CO₂e/kg valannetta	0,00033033
--	-------------------

Tuotanto

Valimo A3	Input	Määrä	Yksikkö	Päästö	Yksikkö
Energia	Sähkö	5 004 000,00	kWh	0,16878	kg CO ₂ e/kWh
Energia	Kaukolämpö	2 494 140,00	kWh	0,07838	kg CO ₂ e/kWh

Kulutus/Valanne	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
0,098044056	kwh/kg	0,016547876	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,048868026	kwh/kg	0,003830276	kg CO ₂ e/kg valannetta

Tuotanto

Valimo A3	Output	Määrä	Yksikkö	Päästö	Yksikkö
Energia	Kaukolämpö	2 280 100,00	kWh	-0,07438	kg CO ₂ e/kWh
Jätteet	jätteiden käsittely	110 314,00	kg	0,006671864	kg CO ₂ e/kg

Tuotto/Valanne	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
0,044674311	kwh/kg	-0,003322875	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,002161397	kg/kg	1,44205E-05	kg CO ₂ e/kg valannetta

Hiilijalanjälki yhteensä kg CO₂e/kg valannetta	0,017069697
--	--------------------

Valssaamo

Tuotanto kg

37611760

LIITE 3

LASKENTATAULUKKO OSA 3

Tuotevaihe

Valssaamo A1	Raaka-aine	Kulutus/vuosi	Yksikkö	Raaka-aineen hiilijalanjälki	Yksikkö
Energia	Typpi kuljetus mukana	1 277 910,64	kg	0,23	kg CO ₂ e/kg
Energia	Propaani koko elinkaari	39 270 240,00	MJ	0,094	kg CO ₂ e/MJ
Energia	Vety valmistus ja käyttö	320 725,44	MJ	0,113	kg CO ₂ /MJ
Autot	Diesel koko elinkaari	1 210,97	l	3,384	kg CO ₂ e/l
Kupari	Kaikki kuparivalanteet	35 152 000,00	kg	0,210858496	kg CO ₂ e/kg valannetta
öljyt/rasvat	öljyt ja rasvat voiteluun	18 097,68	kg	1,07	kg CO ₂ e/kg
pakkausmateriaalit	Puumateriaalit	1 252 799,46	kg	0,09	kg CO ₂ e/kg
pakkausmateriaalit	Teräsmateriaalit	87 552,00	kg	2	kg CO ₂ e/kg
pakkausmateriaalit	Muovimateriaalit	165 319,80	kg	2,3	kg CO ₂ e/kg
pakkausmateriaalit	Pahvit	89 851,60	kg	0,531	kg CO ₂ e/kg
pakkausmateriaalit	Voimapaperi	4 580,00	kg	0,455	kg CO ₂ e/kg
pakkausmateriaalit	Kartonki holkit	99 314,40	kg	0,531	kg CO ₂ e/kg

Kulutus/Valssattu kuparituote	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
0,033976358	kg/kg	0,007814562	kg CO ₂ e/kg valannetta
1,044094719	MJ/kg	0,098144904	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,008527265	MJ/kg	0,000963581	kg CO ₂ e/kg valannetta
3,21966E-05	l/kg	0,000108953	kg CO ₂ e/kg valannetta
1,590981602	kg/kg	0,335471988	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,000481171	kg/kg	0,000514853	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,033308717	kg/kg	0,002997785	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,002327783	kg/kg	0,004655565	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,004395428	kg/kg	0,010109485	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,002388923	kg/kg	0,001268518	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,00012177	kg/kg	5,54055E-05	kg CO ₂ e/kg valannetta
0,002640515	kg/kg	0,001402113	kg CO ₂ e/kg valannetta

Hiilijalanjälki yhteensä kg CO ₂ e/kg valssattua tuotetta	0,463507713
--	-------------

Saadut kuljetukset

Valssaamo A2	Well to Wheel päästö	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
Kuljetus	385 810,40	Kg Co ₂ e	0,010257707	Kg Co ₂ e/kg valannetta
Kuljetus	44 236,00	Kg Co ₂ e	0,001176122	Kg Co ₂ e/kg valannetta
Kuljetus	77 111,57	Kg Co ₂ e	0,002050198	Kg Co ₂ e/kg valannetta

Hiilijalanjälki yhteensä kg CO ₂ e/kg valssattua tuotetta	0,013484026
--	-------------

Laskettavat kuljetukset

Valssaamo A2	Kuljetettava tavara	kulutus kg/ kg lopputuotetta	kuljetusväline	Etäisyys (menomatka+paluumatka) km
Kuljetus	Holkki	0,002640515	Puoliperävaunulla varustettu yhdistelmä Kokonaismassa 40 t, kantavuus 25 t Maantieajo, täysi kuorma	342
Kuljetus	vety	7,10605E-05	Pieni jakelukuorma-auto Kokonaismassa 6 t, kantavuus 3.5 t Maantieajo	54,4

LIITE 4

LASKENTATAULUKKO OSA 4

Tonnikielometrit, tkm/kg lopputuotetta	Päästö CO ₂ e kg/tkm	Polttoaineen kulutus l/tkm	Polttoaineen valmistuksen päästö kg CO ₂ e/l	Syntyvä päästö kg CO ₂ e/kg lopputuotetta
0,000903056	0,049	0,021	0,683	5,72023E-05
3,86569E-06	0,09	0,037	0,683	4,45602E-07

Hiilijalanjälki yhteensä kg CO₂e/kg valssattua tuotetta	5,76479E-05
---	-------------

Tuotanto

Valssaamo A3	Input	Määrä	Yksikkö	Päästö	Yksikkö
Energia	Sähkö	19 295 000,00	kWh	0,16878	kg CO ₂ e/kWh
Energia	Kaukolämpö	2 044 000,00	kWh	0,07838	kg CO ₂ e/kWh

Kulutus/Valssattu kuparituote	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
0,513004443	kwh/kg	0,08658489	kg CO ₂ e/kg valssattua tuotetta
0,054344705	kwh/kg	0,004259538	kg CO ₂ e/kg valssattua tuotetta

Valssaamo A3	Output	Määrä	Yksikkö	Päästö	Yksikkö
Jätteet	Jätteiden käsittely	1 030 117,00	kg	0,054785039	kg CO ₂ e/kg

Tuotto/Valssattu kuparituote	Yksikkö	Hiilijalanjälki	Yksikkö
0,027388163	kg/kg	0,001500462	kg CO ₂ e/kg valssattua tuotetta

Hiilijalanjälki yhteensä kg CO₂e/kg valssattua tuotetta	0,092344889
---	-------------