

PUU- JA PUUALUMIINI-IKKUNOIDEN ELINKAARISELVITYS

Tiivistelmä

Tekijä(t) Hautamäki, Artturi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Syksy 2020
	Sivumäärä 28	
Työn nimi Puu- ja puualumiini-ikkunan elinkaariselvitys		
Tutkinto Prosessi- ja materiaalitekniikan insinööri (AMK)		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tehtiin vertaileva elinkaariselvitys Lammin Ikkuna Oy:lle. Tutkimuksessa vertailtiin alumiinirakenteisen MSE-ikkunan ja puurakenteisen MSE-ikkunan hiilijalanjälkeä. Selvitys toteutettiin GaBi-elinkaarimallinsohjelmalla ja Ecoinvent-tietokantaa hyödyntäen. Työ toteutettiin standardien mukaiselle malli-ikkunalle. Työssä tarkasteltiin tuotteen valmistuksessa syntynyttä hiilijalanjälkeä. Työssä laskettiin ainoastaan tuotteen valmistuksessa aiheutuneet päästöt. Selvityksen on tarkoitus tulla tulevien elinkaariselvitysten ja hiilijalanjälki tutkimusten pohjatiedoksi. Siinä keskityttiin saamaan näkyville erot alumiini- ja puurakenteisen ikkunan välillä.</p> <p>Opinnäytetyön teoreettinen osuus koostuu standardien muodostamista ohjeistuksista ja vaatimuksista. Työssä käytiin lyhyesti läpi standardien osuus elinkaariselvityksen tekemisessä. Standardin mukaan tehty elinkaariselvitys on vertailukelpoinen muiden tutkimusten kanssa.</p> <p>Tuloksista kävi ilmi, että alumiini on alumiinipohjaisessa ikkunassa lasin rinnalla suurimpia hiilijalanjäljen tuottajia. Puupohjaisessa ikkunassa päästömäärät olivat huomattavasti pienemmät johtuen alumiinin vähäisestä määrästä.</p>		
Asiasanat Elinkaariselvitys, hiilijalanjälki, MSE-ikkuna, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi, standardit		

Abstract

Author(s) Hautamäki, Artturi	Type of publication Bachelor's thesis	Published Autumn 2020
	Number of pages 28	
Title of publication Life Cycle Assessment of wooden sash window and aluminium sash window		
Name of Degree Degree Programme in Process and Materials Engineering		
<p>Abstract</p> <p>A comparative life cycle assessment was performed for Lammin Ikkuna Oy in this thesis. The study compared the carbon footprint of aluminum sash window and a wooden sash window. The study was done using the GaBi life cycle assessment program and the Ecoinvent database. The study was done for standard test window. The study examined the carbon footprint of the product. Only emissions from the manufacture of the product were calculated in the work. The study is intended to serve as a base for future life cycle assessments and carbon footprint research. The study focused on making visible the differences between an aluminum sash and a wooden sash window.</p> <p>The theoretical part of the thesis consists of guidelines and requirements needed by standards. The work briefly reviewed the role of standards in making a life cycle assessment. The LCA done according to the standard is comparable with other studies.</p> <p>In the results was shown that aluminum is one of the largest reasons for big carbon footprint in an aluminum-based window with glass. In the wooden sash window, emissions were significantly lower due to the smaller amount of aluminum</p>		
<p>Keywords</p> <p>Life cycle assessment, carbon footprint, MSE-window, inventory analysis, life cycle impact assessment, standards</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LAMMIN IKKUNA OY	2
3	TUTKITTAVAT TUOTTEET	3
3.1	Ikkunoiden historia ja rakenne	3
3.2	MSE-ikkuna	4
4	ELINKAARIMALLINNUS.....	7
4.1	Elinkaariarviointi	7
4.2	Elinkaariarvioinnin standardikehikko	8
4.3	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely.....	9
4.3.1	Järjestelmän rajat	9
4.3.2	Tietotyypit ja tiedonlähteet	9
4.4	Inventaarioanalyysi	10
4.4.1	Tiedon kerääminen	11
4.4.2	Tietojen suhteutus prosesseihin ja tietojen laskenta	12
4.4.3	Tietojen tarkistaminen ja järjestelmän rajojen tarkentaminen	12
4.5	Vaikutusarviointiaihe	13
4.5.1	Vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien valitseminen.....	13
4.5.2	Karakterisointi, eli indikaattoritulosten laskeminen vaikutusluokassa	14
4.6	Tulosten tulkintavaihe	14
4.6.1	Merkittävien asioiden tunnistaminen	15
4.6.2	Täydellisyyden ja herkkyyden tarkistus	15
5	MSE-IKKUNAN ELINKAARIMALLINNUS	16
5.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely.....	16
5.2	Inventaarioanalyysi	16
5.2.1	MSE-ikkuna alumiinirakenteisena	16
5.2.2	MSE-ikkuna puurakenteisena	19
5.3	Tulosten tulkintavaihe	20
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA EPÄVARMUUSANALYYSI	24
	LÄHTEET	26
	LIITTEET	28

1 JOHDANTO

Euroopan unionin jatkuvasti tiukentuneet päästömääräykset, ympäristöselosteen tulo pakollisiksi tuotteisiin ja kuluttajien lisääntynyt kiinnostus ekologisuutta kohtaan on aiheuttanut muutoksia nykyisten tuotteiden kysynnässä. Vähentynyt epäekologisten tuotteiden kysyntä on pakottanut yritykset miettimään tuotteidensa ja prossiensa ympäristöystävällisyyttä uudestaan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on saada elinkaariselvitys Lammin Ikkuna Oy:lle pohjaksi ympäristöselosteelle.

Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla puupohjaista ikkunaa alumiinipohjaiseen. Selvityksessä tutkitaan ikkunan tuottamaa hiilijalanjälkeä ja vertaillaan alumiini- ja puupuitteisen ikkunan eroja. Tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon ikkunoiden hiilijalanjäljet poikkeavat toisistaan.

Selvityksessä ei oteta huomioon tuotteen kuljetusta loppuasiakkaalle, koska ikkunoiden ulkomitoissa tai painoissa ei ole merkittävää eroa kuljetuksen kannalta. Selvityksessä keskityttiin massapohjaiseen vertailuun Lammin Ikkuna Oy:n kahden tuotteen välillä.

2 LAMMIN IKKUNA OY

Lammin Ikkuna Oy on noin 50-vuotias yritys Lammilla Kanta-Hämeen maakunnassa. Ikkunatehdas perustettiin Lammille vuonna 1972. Yritys työllistää noin 110 henkilöä ja valmistaa myös ovia Kangasniemen tehtaalla. (Lammin Ikkuna Oy 2020.)

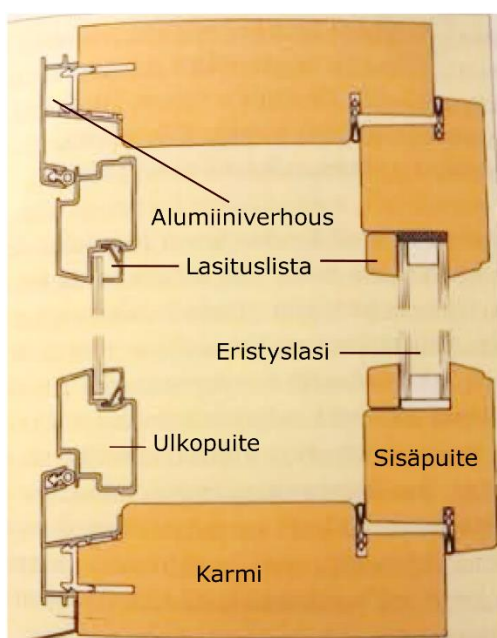
Lammin Ikkuna Oy:n lähtökohtana on tuottaa korkealaatuisia ikkunoita ja ovia, jotka kestävät aikaa ja vastaavat asiakkaan tarpeita. Lammin Ikkuna Oy sitoutuu toiminnassaan kestäväan laatuun ja käytännöllisiin tuotteisiin, mikä näkyykin alan pienimpänä reklamaatioprosenttina. (Lammin Ikkuna Oy 2020.)

Valittavissa olevia tuotteita on Lammin Ikkuna Oy:ssä paljon. Perusikkunoiden lisäksi tuotevalikoimaan kuuluu muuanmuassa EkoWatti energia-ikkunoita, palo-ikkunoita, ääneneristysikkunoita ja erikoistuotteet kuten kaari- ja vino-ikkunat. Myös ikkunan osien väri on valittavissa asiakkaan toimesta, kuten ikkunan heloitus ja lisävarusteet. (Lammin Ikkuna Oy 2016.)

3 TUTKITTAVAT TUOTTEET

3.1 Ikkunoiden historia ja rakenne

Tutkittavana tuotteena on Lammin Ikkuna Oy:n MSE-ikkuna sekä alumiini- että puu-rakenteisena. MSE-ikkunasta puhuttaessa tarkoitetaan sisäänpäin aukeavaa kaksipuitteista ikkunaa, jossa on eristyslasi sisäpuitteessa. Puitteet ovat ikkunan aukeavat osat, joissa lasitus on kiinni lasituslistalla. Puite on kiinni karmissa ja karmi kiinnitetään talon seinärakenteisiin joko kiilaamalla tai ruuveilla. (Sundell 2004, 20.) Opinnäytetyössä käytetään alumiinirakenteisesta ikkunasta nimitystä MSE-Alumiinirakenteinen tai MSE-A. Kuvassa 1 näkyy MSE-A ikkunan osat.



Kuva 1. Alumiinirakenteisen ikkunan poikkileikkaus (Sundell 2004)

Ikkunan perimmäinen käyttötarkoitus talossa on valon päästäminen sisätiloihin, mutta myös ulkopuolen katselu ja kodin tuulettaminen. Ennen lasisia ikkunoita oli hyvin yleisessä käytössä savuluukut ja nahasta valmistetut kuultavat rakenteet. Hiljalleen lasit alkoivat yleistyä. Ensimmäiset lyijykehyksiset lasit tulivat Suomeen 1500-luvulla, ensiksi lähinnä kirkkoihin ja linnoihin ja vasta 1800-luvulla myös tavallisen kansan pariin. Tällöin alkoivat yleistyä myös puupuitteet ja ne syrjäyttivät lyijyn käytön. Ikkunoiden teollinen valmistaminen käynnistyi vasta 1900-luvun alkupuolella teollisen vallankumouksen myötä. Seuraava läpimurto ikkuna-alalla tapahtui 1970-luvun energiakriisin myötä ja se toi ikkunoihin kolminkertaisen lasituksen. Samoihin aikoihin tulivat myös ensimmäiset

alumiiniverhotut ikkunat. Nykyisen tyyppiset kolmilasiset MSE-Ikkunat yleistyivät 1980-luvulla. (Sundell 2004, 9-12.)

Kuvassa 2 näkyy Lammin Ikkuna Oy:n alumiinirakenteisen MSE-ikkunan rakenne. Ulkopuite ja ulkoverhous ovat alumiinia ja karmi sekä sisäpuite mäntyä. Sisäpuitteessa on eristyslasi ja ulkopuitteessa tasolasi. (Sundell 2004, 54-57.)



Kuva 2. MSE-Ikkuna alumiinirakenteisena. (Lammin Ikkuna Oy 2020)

3.2 MSE-ikkuna

Lammin MSE-ikkuna on saatavilla sekä alumiini- että puurakenteisena. Puurakenteisessa ikkunassa ulkopuite ja karmen peitelaudat valmistetaan puusta, kun taas alumiinirakenteisessa ikkunassa nämä osat ovat alumiinia. Ainoastaan myrskylista on alumiinia molemmissa tuotteissa. Puurakenteinen ikkuna ei myöskään sisällä alumiinista vedenohjauslistaa. Ikkunoiden heloitukset ovat pääosin samanlaiset pieniä eroavaisuuksia lukuunottamatta. (Lammin Ikkuna Oy 2017.)

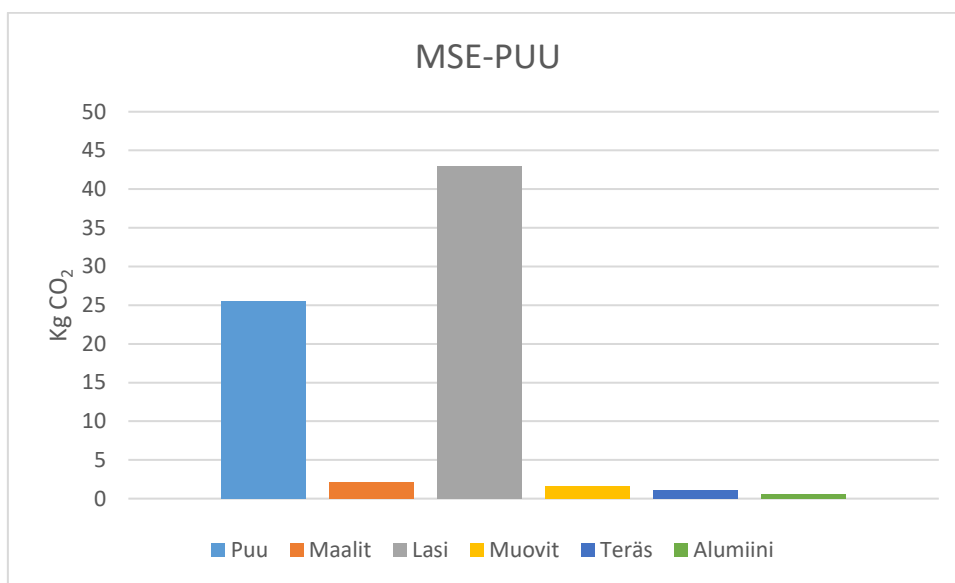
Lammin Ikkuna Oy käyttää ikkunoiden karmiosissaan sormijatkettua mäntyä lamelliliimattuna ja näkyviin jäävät pinnat ovat oksattomia. Sisäpuite ja puuikkunan peitelaudat sekä ulkopuite ovat sormijatkettua oksatonta mäntyä. Pintakäsittelynä karmissa on akryylipohjainen vesiohenteinen maali kahteen kertaan levitettynä ja

sisäpuitteessa, ulkopuitteessa ja puisissa karmin ulkoverhouslaudoissa 2-komponenttinen polyuretaanimaali, myös kahteen kertaan levitettynä.

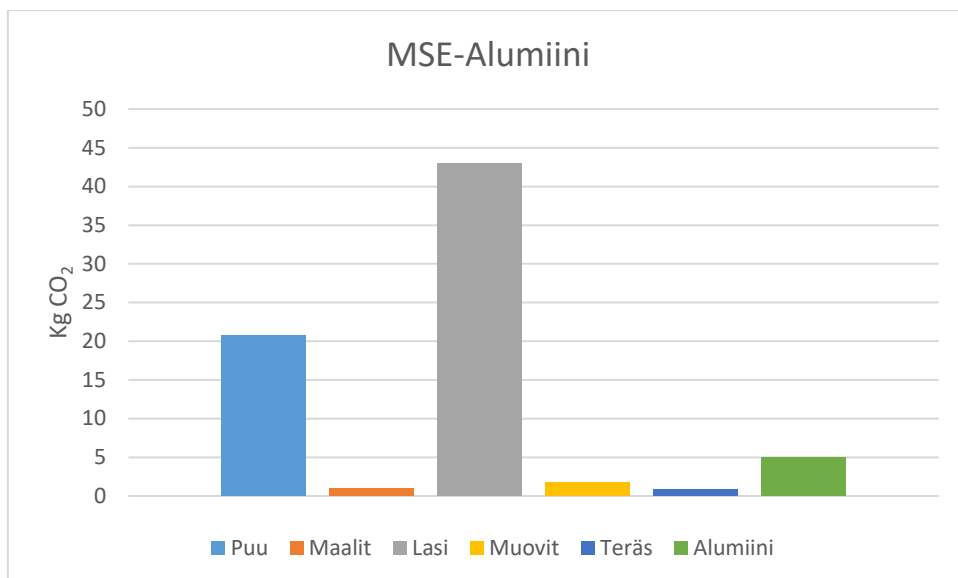
Alumiini on polttomaalattua pursotettua alumiiniprofiilia, jota käytetään alumiini-ikkunassa ulkopuitteessa, vedenohjauslistassa sekä karmin ulkoverhouksessa. Puuikkunassa alumiinia käytetään ainoastaan karmin ala- ja välivaakakappaleen verhouksessa.

Lasituslistat, tiivisteet, puiteliu'ut ja muut muoviosat on tehty neljästä eri muovilaadusta (TPE, HDPE, PA, PVC). Sisäpuitteessa on eristyslasi selektiivipinnoitteella ja argonkaasulla ja ulkopuitteessa tasolasi. Ikkunan U-arvo on enintään 1W/m²K.

Kuviosta 1 nähdään, että ikkunoiden painosta suurin osa koostuu lasista ja toiseksi suurin osa puusta. Puuta on karmissa noin 16kg (karmisyvyys 175mm) ja puitteessa noin 5kg. Alumiinin osuus on yllättävän vähäinen myös alumiinirakenteisessa ikkunassa (kuvio 2). Tämä johtuu alumiiniprofiilin raaka-ainetta säästävästä ontelorakenteesta, mikä myös vähentää kylmäsiltaa. Puurakenteisessa ikkunassa alumiini alkaa olla jo murto-osassa ikkunan painosta (kuvio 1).



Kuvio 1. Puurakenteisen ikkunan painojakauma.



Kuvio 2. Alumiinirakenteisen ikkunan painojakauma.

4 ELINKAARIMALLINNUS

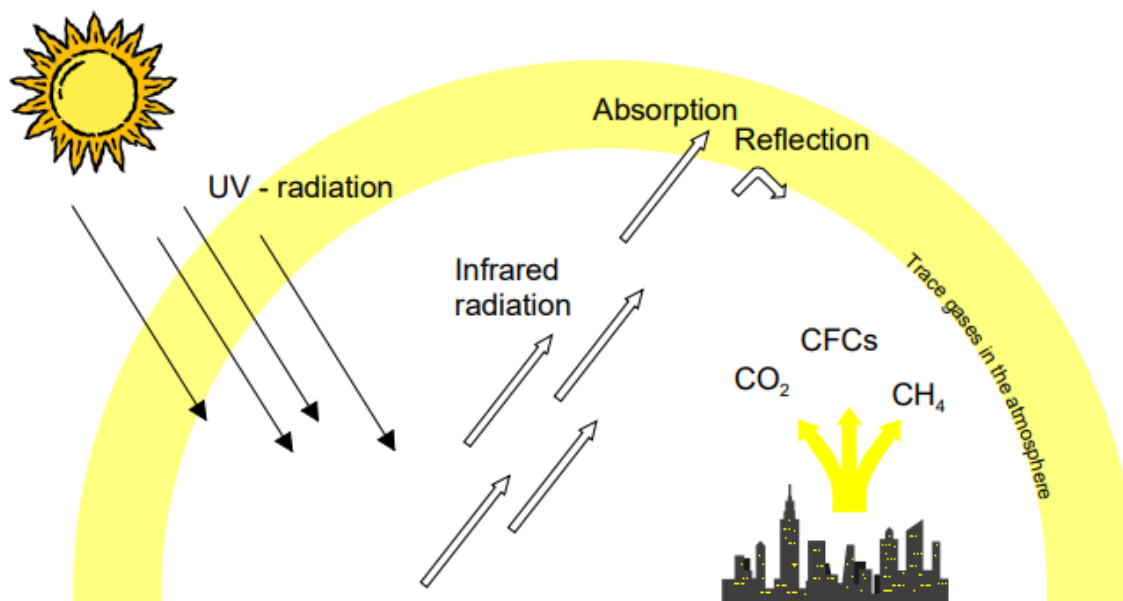
4.1 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointia käytetään selvittämään tuotteen arvioitu ympäristövaikutus.

Elinkaariarviointi kattaa kaikki tuotteen vaiheiden aiheuttamat ympäristövaikutukset. Tätä kutsutaan termillä cradle-to-grave, eli kehdosta hautaan -arvioinniksi. Tähän sisältyy tuotteeseen käytetty raakamateriaali, jalostus, tuotanto, jakelu, käyttö, korjaus, ja hävitys tai kierrättäminen. (Klöpffer & Grahl 2014, 1.)

Elinkaariarviointia käytetään avuksi parantamaan tuotteiden eri elinkaaren vaiheiden ympäristövaikutuksia sekä tietona teollisuudelle ja julkishallinnolle päätöksentekoon. Lisäksi elinkaariarviointia voidaan käyttää hyödyksi valittaessa ympäristösuorituskyvyn mittareita tuotteelle ja tuotteen markkinoinnissa. (SFS-EN ISO 14040, 2006, 10.)

Elinkaariarvioinnissa käytetään GWP-menetelmää (Global Warming Potential) eli infrapunasäteilypakotetta maapallolle. GWP:stä puhuttaessa tarkoitetaan globaalia maapallon lämpenemispotentiaalia. Tätä mitataan CO₂-ekvivalenttikiloina eli kaikki tuotteen tai palvelun aiheuttamat päästöt muunnetaan karakterisointikertoimien avulla hiilidioksidiksi. Ilmakehään päässeet kasvihuonekaasut kuitenkin vaativat tarkastelujakson, koska kasvihuonekaasut haihtuvat ilmakehästä. 100 vuoden tarkkailujakso on yleisesti maailmalla käytössä ja valittiin myös tähän selvitykseen. GWP perustuu maapallon kasvihuoneilmiöön, avaruudesta tuleva auringon säteily törmää maapallon pintaan ja kimpoaa takaisin avaruuteen, mutta troposfäärissä oleva kasvihuonekaasujen kerros heijastaa säteilyn takaisin maapallolle (kuva 3). Mitä voimakkaampia ja enemmän kasvihuonekaasuja troposfäärissä on, sitä voimakkaampaa on infrapunasäteilypakote. (Introduction to LCA and modelling using GaBi 2020, 86.)



Kuva 3. Kasvihuoneilmiö (GaBi, 2020)

4.2 Elinkaariarvioinnin standardikehikko

Elinkaariarviointi pohjautuu standardeille ja standardit antavat ohjeita arvioinnin eri osioita varten. Elinkaariarviontia koskevia ISO-standardeja on 14040-sarjassa viisi (14040, 14044, 14047, 14048, 14049). Standardissa ISO 14040 käydään läpi elinkaariarviointia pääpiirteittäin ja sen periaatteita. ISO 14044 keskittyy enemmän opastamaan tavoitteissa, inventaarioanalyysissä ja tuotteen vaikutusarvioinnissa. (Antikainen 2010, 16.)

Näiden standardien lisäksi on vielä erikseen standardi ISO/TS 14071:2014 kriittiselle arvioinnille, joka sisältää ohjeet sen läpikäymiseen. Lisäksi standardissa käydään läpi miten kriittisestä arvioinnista on mahdollista tehdä läpinäkyvämpi, tehokkaampi ja ekonomisempi. Standardi sisältää myös kriittiselle arvioijalle tarvittavat vaatimukset. (SFS ISO/TS 14071:2014, 2016, 1.)

Elinkaariarviointi voidaan jakaa neljään osaan; tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe, inventaariovaihe, vaikutusarviointiaihe ja tulkintavaihe. Nämä ovat standardin mukaiset minimivaatimukset elinkaariarvioinnille, ja jokainen vaiheista on iteratiivinen eli kaksisuuntainen prosessi. Tällöin on vielä mahdollista myöhemmissä vaiheissa palata alkuvaiheisiin ja täydentää niitä. (Antikainen 2010, 17.)

4.3 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Elinkaariselvityksen tavoitteissa otetaan huomioon seuraavat asiat (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 15):

- mihin käyttötarkoitukseen selvitys tulee
- selvityksen tekemisen syyt
- kenelle selvitys tehdään
- onko selvitystä tarkoitus käyttää julkisesti vertailussa

Soveltamisalan määrittelyn olennaisin osa on toiminnallinen yksikkö, jonka ympärille elinkaariselvitys rakentuu. Toiminnallinen yksikkö ratkaisee, mitä selvityksessä myöhemmin tarkastellaan. (SFS-EN ISO 14040, 2006, 22.)

Antikainen (2010, 34) toteaa, että toiminnallisen yksikön oikealla valinnalla on merkittävä vaikutus tutkimuksen onnistumiseen. Esimerkkinä tästä on juomapulloissa käytettävä materiaali, jota ei tulisi vertailla massapohjaisesti vaan sen tuottaman toiminnon pohjalta. Massapohjaisessa vertailussa on vastakkain 1kg lasia ja 1kg PET-muovia, kun taas toimintoon pohjautuvassa vertailussa tarkastellaan yhtä pulloa, joka on valmistettu joko lasista tai muovista.

4.3.1 Järjestelmän rajat

Järjestelmän rajoilla rajataan tutkimuksen yksikköprosesseja pois ja jätetään mukaan ainoastaan ne prosessit, joilla on merkitystä selvityksen tavoitteiden kanssa. Rajoja määriteltäessä voidaan myös päättää prosessien syötteiden ja tuotosten yksityiskohtaisuudesta. Kuitenkin mukaan täytyy ottaa kaikki prosessit, jotka merkittävästi vaikuttavat selvityksen lopputulemaan. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 16.)

Antikainen (2010, 14) rajaa oluttuotantoesimerkissään järjestelmän rajat 1000 litran oluen ulostuottoon. Tällöin järjestelmän sisään lasketaan kaikki prosessit ja syötteet, joita 1000 olutlitran tuottamiseen kuluu.

4.3.2 Tietotyypit ja tiedonlähteet

Tietojen käyttämisessä voidaan valita mitatun, lasketun, ja arvioidun tiedon välillä. Näitä voidaan yhdistellä arvioinnin lähtötiedoissa (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 17). Tiedon laajuus, tarkkuus ja määrä vaihtelevat sen mukaan, mihin arviointia on tarkoitus käyttää (Antikainen 2010, 11).

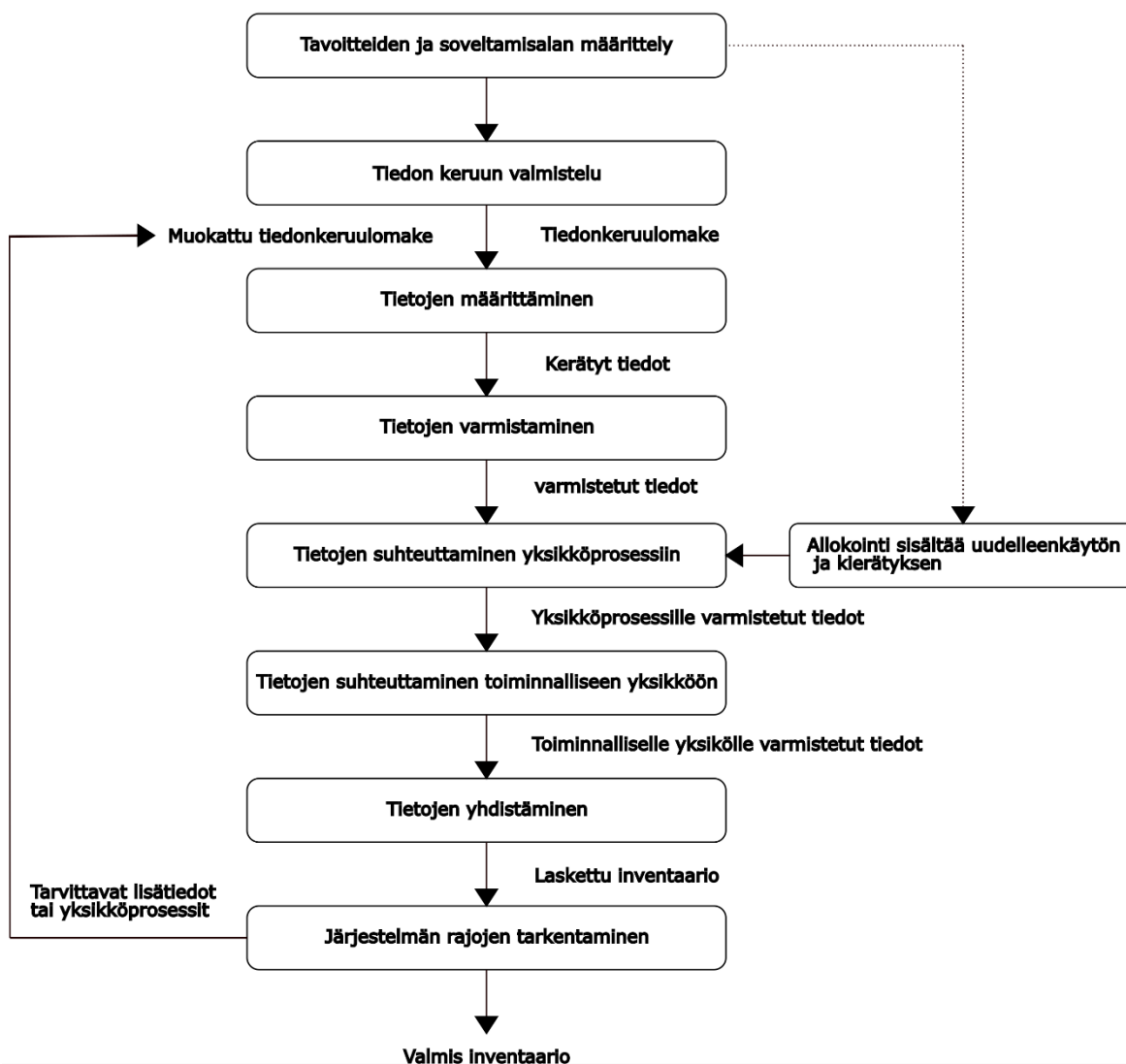
Tiedonlähteiden valinnassa täytyy ottaa huomioon jokaisen lähteen luotettavuus ja laatu. Tämä auttaa tulosten tulkinnassa ja koko arvioinnin paikkansapitävyyden ja luotettavuuden kanssa. (SFS-EN ISO 14040, 2006, 32.)

4.4 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysi on elinkaariarvioinnin toinen vaihe, joka koostuu seuraavista pääkohdista, tiedon kerääminen, tietojen suhteutus prosesseihin ja allokonti, tietojen tarkistaminen, laskenta ja järjestelmän rajojen tarkennus (European Environment Agency, 1998, 58). Koko inventaarioanalyysi on kuvattuna yksinkertaistettuna kuvassa 4.

Allokointi, eli hajauttaminen tarkoittaa virtojen ja päästöjen jakamista muun kuin tarkastelussa olevan järjestelmän ulkopuolelle. Allokointia käytetään, koska harvoissa tehtaissa tuotetaan yhtä ainoata tuotetta. Tällöin syntyy myös muita virtoja ja kierrätysväyliä. (SFS-EN ISO 14040, 2006, 34)

Kuvassa 4 allokonti on merkitty katkoviivalla, koska sitä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 23).



Kuva 4. Yksinkertaistettu inventaarioanalyysimenettely (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018)

4.4.1 Tiedon kerääminen

Tiedon kerääminen voidaan jakaa tärkeimpien luokkien alle, joita ovat syötteet (energia, raaka-aine, muut fysikaaliset syötteet), tuotokset (valmiit tuotteet, rinnakkaistuotteet, jäte) ja ympäristöhaitat (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 20). Tässä selvityksessä keskitytään syötteisiin ja tuotoksista ainoastaan valmiiseen tuotteeseen.

Tiedon kerääminen on yksi työläimmistä vaiheista elinkaariarvioinnissa, koska tieto ei useinkaan ole suoraan valmista käytettäväksi. Markkinoilla on kuitenkin olemassa tietokantoja, joihin on valmiiksi kerätty tietoja prosessien syötteistä ja tuotoksista. Tietokantoja on ilmaisia, maksullisia ja kansainvälisten teollisuusjärjestöjen kehittämiä. Monet tietokannoista sisältävät kokonaisia prosesseja alusta loppuun. Näissä yksittäisiä vaiheita on hankalaa erotella. (Antikainen 2010, 22.)

4.4.2 Tietojen suhteutus prosesseihin ja tietojen laskenta

Tietojen suhteuttamisella tarkoitetaan jokaisen järjestelmään syötettävän tiedon suhteuttamista yksilökohtaiseen prosessiin ja tämän prosessin materiaalivirta taas täytyy suhteuttaa toiminnalliseen yksikköön (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 20).

Esimerkkinä tästä voidaan ottaa tehdas jossa tiedetään, että kone käyttää tietyn määrän energiaa viikon aikana. Tästä ei kuitenkaan ole hyötyä, koska usein tehdas tuottaa muitakin tuotteita kuin vain elinkaariarvioinnissa tarkastelussa olevaa tuotetta.

Suhteuttamisella kuitenkin päästään lähemmäs todellista energian määrää, mitä kuluu yhden toiminnallisen yksikön tuottamiseen, kun kaikki järjestelmän energia ja materiaalivirrat normalisoidaan toiminnallisen yksikön mukaan. (European Environment Agency, 1998, 62.)

Tuotannon perusvirtoja määriteltäessä tulisi käyttää todellista tuotantojakaumaa eli huomioida energian jakauma, energian muunnon ja siirron tehokkuus sekä energian hävikki. Poltettaviin materiaaleihin liittyvät tuotokset ja syötteet (öljy, kaasu tai hiili) on mahdollista muuttaa energia syötteiksi tai -tuotoksiksi. Tällöin ne täytyy kertoa sopivalla palamislämmöllä ja kertoa käytetäänkö ylempää vai alempaa lämpöarvoa. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 21.)

4.4.3 Tietojen tarkistaminen ja järjestelmän rajojen tarkentaminen

Tietojen tarkistamista tulisi tehdä jo tiedonkeruuprosessin aikana. Hyvä keino tarkistaa tietojen oikeellisuus on laatia massa- ja energiataseanalyysijä. Järjestelmässä kierrossa oleva energia ja massa eivät häviä sieltä mihinkään, vaan pysyvät jollain tasolla järjestelmässä sisällä. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 22.) Tietojen laskennassa suositellaan käytettäväksi ohjelmistoa tiedon suuren määrän vuoksi (European Environment Agency, 1998, 61).

Kohdissa, joissa tiedot ovat puutteellisia ja niitä korjataan, tulisi tiedon korjauksen jälkeen olla hyväksytyllä tarkkuudella olevaa raportoitua tietoa tai laskettu arvo muista samankaltaisista prosesseista. Tietoa voi poistaa jos se on hyväksyttävää yleiskuvan kannalta. Laskettaessa arvoa muiden samankaltaisten prosessien tiedoista, täytyy ottaa huomioon, että tästä usein seuraa tiedon laadun heikkeneminen. (European Environment Agency, 1998, 61-62.)

Järjestelmän rajojen tarkentamisen tarkoitus on jättää pois merkityksettömiä prosesseja ja materiaalivirtoja tai lisätä järjestelmään uusi prosessi tai virta, joka on todettu tärkeäksi

lopputuloksen kannalta. Järjestelmän rajojen tarkentamisessa käydään uudestaan läpi järjestelmän rajojen asettamisen vaatimukset ja tavoitteet. Järjestelmän rajoja voidaan tarkentaa enemmän kuin kerran, millä saadaan karsittua turhia prosesseja ja virtoja pois. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 22.)

4.5 Vaikutusarviointiaihe

Kolmantena vaiheena elinkaariselvityksessä on vaikutusarviointi, jonka tehtävänä on inventaariotiedon laajentaminen ja syventäminen seuraavaa vaihetta eli tulosten tulkintaa varten. Vaikutusarvioinnilla arvioidaan tuotteen tai palvelun aiheuttamaa haittaa yleisille kohteille, joita ovat ihmisen terveys, luontoympäristö ja luonnonvarat.

Arviointimallinnuksessa voidaan käyttää kahta erilaista tapaa, keskipistemallinnusta ja loppupistemallinnusta. Keskipistemallinnuksessa vaikutusindikaattori valitaan alku- ja loppupisteen väliltä kuvaamaan ympäristövaikutusta, kun taas loppupistemallinnuksessa käytetään aina useaa suojeltavaa kohdetta, joiden perusteella tuotteen tai palvelun haitallisuutta arvioidaan. (Antikainen 2010, 24.)

Vaikutusarviointivaiheeseen kuuluu kolme pakollista osaa. Ensimmäisenä on vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien valitseminen. Sen jälkeen sijoitetaan inventaarioanalyysin tulokset vaikutusluokkiin. Tätä kutsutaan luokitteluksi. Lopuksi on karakterisointi eli luonnehdinta, missä lasketaan vaikutusluokan indikaattoritulokset. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 25.)

4.5.1 Vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien valitseminen.

Vaikutusluokka on se, mihin elinkaariarvioinnissa tutkittava toiminnallinen yksikkö vaikuttaa. Esimerkkinä voidaan tarkastella tuotteen vaikutuksia ilmastonmuutokseen. Tällöin vaikutusluokka on ilmastonmuutos ja karakterisointimallina on kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin 100 vuotta kattava vertailumalli. Karakterisointimalli kuvaa sitä, miten elinkaariarvioinnin tuloksia käsitellään ja miten ne vaikuttavat vaikutusluokkaan. Vaikutusluokkaindikaattori on se, miten toiminnallinen yksikkö vaikuttaa valitulla karakterisointimallilla vaikutusluokkaan. Tässä tapauksessa vaikutusluokkaindikaattori infrapunasäteilypakote (W/m^2).

Vaikutusluokkia, vaikutusluokkaindikaattoreita tai karakterisointimalleja valitessa tulee aina huomioida elinkaariarvioinnin tavoite ja soveltamisala. Useimmissa tapauksissa

nämä voidaan valita jo olemassa olevien joukosta. Vaikutusluokille ja vaikutusluokkaindikaattoreille tulee antaa tarkat nimet. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 25.) Näiden vaatimusten lisäksi valinnassa tulisi ottaa huomioon, että vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit ovat kansainvälisiä ja kansainvälisen tahon hyväksymiä, eikä niiden valinta perustu arvovalinnoille tai oletuksille. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 27.)

4.5.2 Karakterisointi, eli indikaattoritulosten laskeminen vaikutusluokassa

Karakteriosinnilla tarkoitetaan indikaattoritulosten yhtenäistämistä valitussa vaikutusluokassa. Esimerkkinä tästä on yleisesti käytetty CO₂-ekvivalentti, eli silloin muut kasvihuonepäästöt (CH₄, O₃, jne.) voidaan kaikki esittää CO₂ lukuna. Jotta tähän päästään, pitää muut päästöt kertoa karakterisointikertoimella. Karakterisointi on sinänsä tärkeää, koska se antaa mahdollisuuden vertailla eri tutkimuksia keskenään. (Antikainen 2010, 25.)

Karakterisointikerroin johdetaan valitusta karakterisointimallista, joka otetaan jo valmiina olevista malleista. Joissain tapauksissa voidaan myös käyttää omia karakterisointikertoimia, jos valmiit eivät ole tarkoituksenmukaisia tai eivät sovellu käyttökohteeseen. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 25.)

4.6 Tulosten tulkintavaihe

Tulosten tulkinnassa tutkitaan, mitkä tekijät ovat vaikuttaneet tuloksiin, arvioidaan kuinka täydellisiä tulokset ovat, suoritetaan herkkyysanalyysi sekä tutkitaan, ovatko tulokset johdonmukaisia. Näiden asioiden pohjalta tehdään johtopäätökset.

Arvioitaessa tuloksia tulee huomioida kaikki käytetyistä menetelmistä johtuvat rajoitukset ja seuraukset. Täydellisyys, herkkyys ja johdonmukaisuus on tarkistettava, ja epävarmuusanalyysi sekä lähtötiedon laadun analysointi viimeistelevät näitä tarkistuksia.

Arvioinnin jälkeen seuraa tulosten tulkinta, jossa tehdään johtopäätöksiä saaduista tiedoista sekä tunnistetaan mahdollisia rajoituksia (Antikainen 2010, 17). Tämän vaiheen jälkeen voidaan elinkaariselvitys aloittaa niin sanotusti alusta, koska prosessin iteratiivisuus vaatii tulosten tulkintaa ja siitä seuraavaa uutta tiedon keruuta sekä menetelmien rajausta (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 35).

4.6.1 Merkittävien asioiden tunnistaminen

Merkittäviä asioita tunnistettaessa järjestetään inventaarioanalyysin tulokset niin, että ne on helposti määriteltävissä tavoitteiden ja soveltamisalojen mukaan ja niitä voidaan käyttää vuorovaikutuksessa arviointivaiheen kanssa. Vuorovaikutuksella pystytään ottamaan huomioon edellisissä vaiheissa käytettyjen menetelmien, oletuksien ynnä muiden vaikutukset. (European Environment Agency, 1998, 70.)

Merkittäviksi asioksi luetaan inventaariotiedot kuten energia ja jätteet sekä vaikutusluokat, esimerkiksi ilmastonmuutos. Merkittävien asioiden tunnistamisessa edellytetään elinkaariselvityksen aiemmista vaiheista seuraavia tietoja: inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tulokset, arvovalinnat, sidosryhmien roolit ja vastuut tavoitteissa ja menetelmäteknisissä valinnoissa. (SFS-EN ISO 14044:2006, 2018, 33).

4.6.2 Täydellisyyden ja herkkyyden tarkistus

Täydellisyyden tarkistamisessa katsotaan, ettei tutkimuksen kannalta mitään oleellista tietoa jää puuttumaan ja päätetään tarvittaessa, jos tieto voidaan jättää pois. Tietoa voidaan myös kerätä lisää tai olemassa olevaa tietoa voidaan jalostaa paremmaksi. Myös tavoitteita ja soveltamisalaa voidaan määritellä uudestaan. (European Environment Agency, 1998, 71.)

Herkkyystarkistuksessa tarkastetaan tutkimuksen inventaarioanalyysivaiheessa kerätyn datan vaihteluvälin merkitys lopputulokseen. Tällä yritetään saavuttaa varmuus siitä, että tiedon vaihteluväli ei vaikuta merkittävästi lopputulokseen. Herkkyystarkistus voidaan toteuttaa syöttämällä inventaarioanalyysissä pienimmät ja isoimmat arvot, jotka ovat mahdollisia. (European Environment Agency, 1998, 71.)

5 MSE-IKKUNAN ELINKAARIMALLINNUS

5.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Elinkaariselvitys tehdään Lammin Ikkuna Oy:lle ja tutkittavina tuotteina ovat yrityksen MSE-ikkuna puu- ja alumiinirakenteisena. Tämä elinkaariselvitys kuvaa yhden MSE-ikkunan, joko puu- tai alumiinirakenteisen, tuotannosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Tähän sisältyy materiaalien kuljetukset ja tuottaminen sekä tuotteen kokoonpano. Ympäristövaikutusten tarkastelu päättyy siihen kun tuote on valmiina lähetettäväksi. Purkuvaihetta ja ulkopuolisia vaikutuksia ei tarkastella tässä selvityksessä.

Kuljetuksissa ja kokoonpanossa ei synny merkittäviä eroja näiden kahden eri ikkunatyypin välille, joten siksi selvityksessä keskityttiin tuotteiden raaka-aineiden aiheuttamiin päästöihin. Selvitys tehtiin GaBi 9.2 -ohjelmalla käyttäen hyväksi Ecoinvent-tietokantaa. Selvitys tulee julkiseen käyttöön, ja sitä aiotaan käyttää markkinoinnin tukena sekä pohjana tuleville elinkaariarviointiin ja hiilijalanjälkeen liittyville tutkimuksille.

Tutkimuksessa käytetään tietokantana yrityksen omaa tietojenkäsittelyohjelmistoa, joista saadaan ikkunan syötteiden määrä. Tämän lisäksi syötteitä punnitaan, minkä avulla saadaan mittatuja määriä. Osassa syötteitä määrät arvioitiin tiedon puutteellisuuden vuoksi.

Toiminnallisena yksikkönä selvityksessä on yksi MSE-ikkuna kossa 1230mmX1480mm. Koko on standardin SFS-EN ISO 10077-1 (2017, 43) mukainen. Selvityksen ulkopuolelle jäävät työstökoneet, laitteet ja tuotantotilat eli tuotantohyödykkeet, joita käytetään tuotannossa. Myöskään työntekijöiden työmatkoja ei lasketa selvitykseen mukaan.

5.2 Inventaarioanalyysi

5.2.1 MSE-ikkuna alumiinirakenteisena

Tutkittava tuote on Lammin Ikkuna Oy:n MSE-ikkuna alumiinirakenteisena testattavien ikkunoiden standardien mukainen 1230x1480 (SFS-EN ISO 10077-1 2017, 43). Materiaalien mitat saatiin yrityksen sisäisestä ohjelmistosta. Painot joko arvioitiin, mitattiin tai laskettiin aina tarkinta mahdollista keinoa käyttäen. Taulukossa 1 on eritelty luettelo ikkunan sisältämistä materiaaleista. Tähän sisällytettiin ikkunan pakkaukseen käytetyt materiaalit. Tutkimus tehdään ainoastaan materiaalien massapohjaisena vertailuna, joten inventaariotaulukossa on syötteiden massat ja materiaalit.

Taulukko 1. Lammin Ikkuna Oy:n alumiinirakenteisen ikkunan inventaario.

MSE ALU	Paino (g)	Materiaali
Ikkunalukko UP	181	teräs
Ikkunalukko SP	213	teräs
Saranat	131	teräs
Ikkunakilpi	113	teräs
Vastarauta	123	teräs
Kiinnitystarvikkeet	150	teräs
Alumiinikulmapala	89	alumiini
Vedenohjauspelti	158	alumiini
Alumiiniverhous sivut ja ylä	1625	alumiini
Alumiinimyrskypelti	582	alumiini
Ulkopuite	2474	alumiini
Lasit	43017	Lasi
Karmi	16124	Puu
Sisäpuite	4624	Puu
Alumiinipuitteen väännin	25	Polyamidi
Vedenestotulppa	27	TPE
Alumiinipellintiiviste	205	TPE
Karmitiiviste	163	TPE
Sisäpuitteen tiiviste	91	TPE
Lasituskiila leveä	30	PE
Lasituskiila kapea	2	PE
Kiristekalvo	179	PE
Pakkausmuovi	150	PE
Lasituslistat	869	PVC
Puiteliu'ut	10	PE
Karmimaali	300	Akryyli+vesi
Puitemaali	640	Polyuretaani+ksyleeni
Muovit	Teräs	Alumiini
1750	911	4929
Puu	Maalit	Lasi
20748	940	43017

Tuotteen puuosien valmistus alkaa Kangasniemen sormijatkoslinjalta, jossa ikkunoihin tarvittava puumateriaali sormijatketaan 1-4 sivun oksattomaksi aihiksi. Tämän jälkeen on 150km kuljetusmatka Kangasniemen tehtaalta Lammin tehtaalle. Lammilla aihiot työstetään karmi- ja puitepuutavaraksi. Tämän jälkeen ne koneistetaan ja maalataan. Alumiini tuotetaan Ruotsissa ja Norjassa, minkä jälkeen billettit tuodaan Suomeen ja pursotetaan profiileiksi. Nämä polttomaalataan ja kuljetetaan Lammin Ikkunat Oy:lle

työstettäväksi. Tasolasi valmistetaan Euroopassa NSG:n tehtailla ja leikataan Suomessa mittoihin. Osa tasolaseista menee eristyslasiksi ja osa tasolasiksi.

Maalina karmissa on akryylipohjainen vesimaali 47%:n kuiva-ainepitoisuudella ja levityspaksuus märkänä on noin $150\mu\text{m}/\text{m}^2$ (AkzoNobel 2013). Muissa puuosissa on 2-komponenttinen polyuretaanimaali, jonka kuiva-ainepitoisuus on 60% ja levityspaksuus märkänä noin $120\mu\text{m}/\text{m}^2$ (AkzoNobel 2015).

Opinnäytetyön liitteenä on GaBilla tehty prosessikaavio. Kaavio on suuntaa antava, eikä sisällä tarkkoja prosesseja tai tavaran kulkua tehtaassa. Materiaalivirrat kuitenkin ovat määrältään niin lähellä oikeaa kuin mahdollista. Energiavirrat on eritelty ostosähkönkulutukseen, öljyllä tuotettuun lämpöön ja purulla tuotettuun lämpöön. Öljyn ja purun palamislämpönä käytetään alempaa palamisarvoa (Engineering ToolBox, 2003).

Tarkastelussa ei otettu huomioon alumiinin polttomaalausta, johtuen GaBin tietokannan suppeudesta. Alumiinin kuljetuksien laskennassa käytettiin alumiinitoimittajalta saatuja kuljetustietoja. Maalien, muovien ja lasin kuljetuksessa käytettiin tilastokeskuksesta saatua keskimääräistä kuljetusmatkaa. Lasille kuljetusmatka ja täyttöaste on 52km ja 80%, maaleille 148km ja 63% sekä muoveille 123km ja 64%. Kuljetuksissa käytettiin 34-40 tonnin täysperävaunua Euro 4 -luokassa. GaBiin syötetyt prosessit ovat Euroopan keskimääräisiä, koska tarkkoja maakohtaisia prosesseja ei ole saatavilla GaBin tietokannoista. Ainoastaan sähkön ympäristövaikutukset ovat maakohtaisia, eli sähkönkulutuksen päästöt lasketaan keskimääräisellä suomalaisella sähköllä.

Puun hiilidioksidijäljen laskentaan käytettiin Puutuoteteollisuuden teettämää raporttia suomalaisen mänty- ja kuusisahatavaran hiilijalanjäljestä (Puutuoteteollisuus 2019).

Maalien hiilidioksidipäästöjä ei pystytty laskemaan kokonaan GaBin suppean tietokannan takia, joten Polyuretaanimailin päästöjen laskemisessa käytettiin maalin sisältämää xyleenin määrää, jonka Gabi pystyy laskemaan. Vesipohjaisen maalin hiilidioksidipäästöt jätettiin arvioinnin ulkopuolelle lähteiden puuttumisen vuoksi.

Kaikille muovilaaduille ei ollut olemassa täsmälleen oikeaa prosessia, joten selvityksessä käytettiin materiaali- ja energiasyötteiltään lähinnä olevinta prosessia. Tässä hyödynnettiin taulukkoa 2.

Kuljetuksissa käytetään 40 tonnin kuorma-autoa, mikä antaa ainoastaan suuntaa kuljetusten aiheuttamista liikennepäästöistä, koska muoviosien tuottajat hoitavat jakelun useimmiten pienemmillä autoilla ja vielä useammalle ikkunavalmistajalle kerralla. GaBi selvittää päästöt kuitenkin täyttöasteen ja kuljetuskilometrien perusteella, joten on oletettavaa ettei suurta heittoa ole.

Taulukko 2. Keskimääräisiä muoviprosessien energian käyttöasteita. (Maximpact 2020)

<i>Plastic Processing Type</i>	<i>Specific Energy Usage in kWh/kg</i>
<i>Injection Moulding</i>	<i>3.118</i>
<i>Pipe and Profile Extrusion</i>	<i>1.506</i>
<i>Film Extrusion</i>	<i>1.346</i>
<i>Thermoforming</i>	<i>6.179</i>
<i>Rotational Moulding</i>	<i>5.828</i>
<i>Compression Moulding</i>	<i>3.168</i>
<i>Film Extrusion</i>	<i>1.346</i>
<i>Fibre Extrusion</i>	<i>0.850</i>
<i>Compounding</i>	<i>0.631</i>
<i>Overall Average</i>	<i>2.811</i>

5.2.2 MSE-ikkuna puurakenteisena

Tutkittava tuote on Lammin Ikkuna Oy:n MSE-ikkuna puurakenteisena. Ikkunan koko on standardin mukainen 1230x1480 (SFS-EN ISO 10077-1 2017, 43). Materiaalien mitat saatiin yrityksen sisäisestä ohjelmistosta. Painot joko arvioitiin, mitattiin tai laskettiin aina tarkinta mahdollista keinoa käyttäen. Taulukossa 3 on eritelty luettelo ikkunan sisältämistä materiaaleista. Tähän sisällytettiin ikkunan pakkaukseen käytetyt materiaalit. Tutkimus tehdään ainoastaan materiaalien massapohjaisena vertailuna, joten inventaariotaulukossa on syötteiden massat ja materiaalit.

Puurakenteisen MSE-ikkunan inventaariotaulukossa isoimmat erot ovat puun ja alumiinin määrässä. Joitain pieniä eroavaisuuksia on myös teräs- ja muovimassan määrässä. Prosessit ovat samat kuin alumiini-ikkunassa. Vaikka ikkuna on puurakenteinen, on siinä kuitenkin alumiininen myrskypelti.

Taulukko 3. Lammin Ikkuna Oy:n puurakenteisen ikkunan inventaario.

MSE PUU	Paino (g)	Materiaali
Karmi	16123,5625	Puu
Sisäpuite	4624,398	Puu
Peitelauta puu	1412,4096	Puu
Ulkopuite puu	3391,971	Puu
Ikkunalukko UP	181	teräs
Ikkunalukko SP	213,25	teräs
Ikkunakilpi	226	teräs
Saranat	130,8	teräs
Vastaraudat	123,25	teräs
Kiinnitystarvikkeet	150	teräs
Alumiinimyrskypelti	582,35	alumiini
Lasit	43017	Lasi
Puupellintiiviste	54,395	TPE
Vedenestotulppa	26,52	TPE
Karmitiiviste	162,6	TPE
Sisäpuitteen-tiiviste	91,2864	TPE
Lasituskiila leveä	29,6	PE
Lasituskiila kapea	1,8	PE
Kiristekalvo	178,98	PE
Pakkausmuovi	150	PE
Lasituslistat	869	PVC
Puiteliu'ut	10	PE
akryylimaali	300	Akryyli+vesi
Polyuretaanimaali	1900	Polyuretaani+ksyleeni
Muovit	Teräs	Alumiini
1574	1024	582
Puu	Maalit	Lasi
25552	2200	43017

5.3 Tulosten tulkintavaihe

Vaikutusarviointimenetelmänä käytettiin CML2001 -karakterisointimallia vuodelta 2016. Tämä malli perustuu keskipistemallinnukseen ja on tunnetuin vaikutusarviointimenetelmä Euroopassa (Antikainen 2010, 28). Eritellyt tulokset on kuvattu prosesseittain liitteissä 3 ja 4. Elinkaarimallinnuksen tulokset ilman puuhun sitoutunutta hiiltä olivat MSE-A, 144kg CO₂ eqv. ja MSE, 102kg CO₂ eqv.

Tuloksista kävi ilmi, että alumiinirakenteisen ikkunan hiilijalanjälki on noin 41% suurempi kuin puisen. Ero tulee lähinnä alumiinin pursottamisesta ja alumiinin raaka-aineen

valmistuksesta. Jos oletetaan, että ikkunat sitoisivat hiilidioksidia puuraaka-aineeseen ja kestäisivät 100 vuoden tarkastelujakson, niin luvut olisivat silloin: MSE-A, 99kg CO₂ eqv. ja MSE, 46kg CO₂ eqv. Tällöin alumiinisen ikkunan hiilijalanjälki olisi noin 113% suurempi. MSE-A-ikkunassa hiilijalanjäljen jakauma on seuraava:

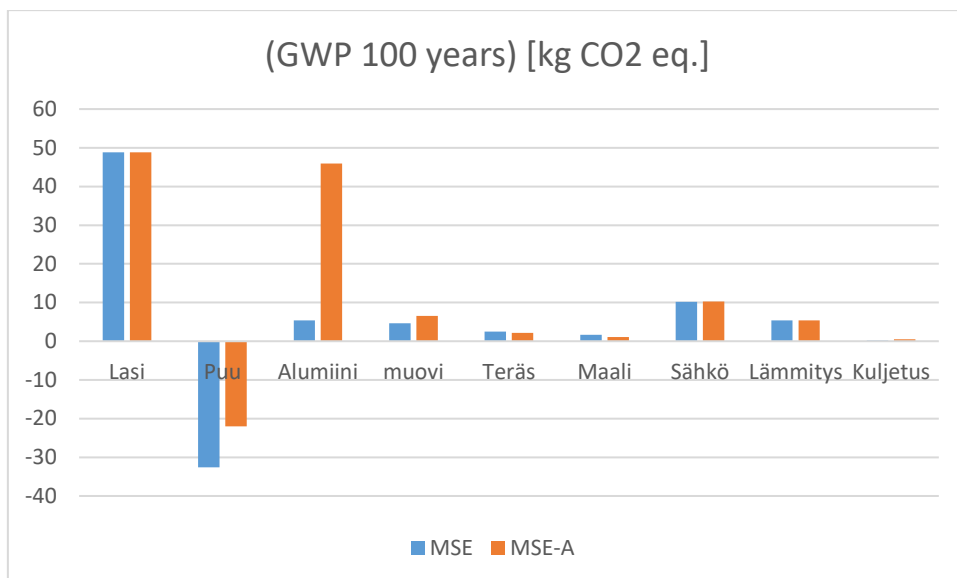
- Lasi 34%
- Alumiini 32%
- Tehtaan lämmitys (Öljy, puru) 27%
- Muovit 4,5%
- Teräs 1,5%
- Maalit 0,7%
- Materiaalien kuljetus 0,3%

MSE ikkunassa hiilijalanjäljen jakauma on seuraava:

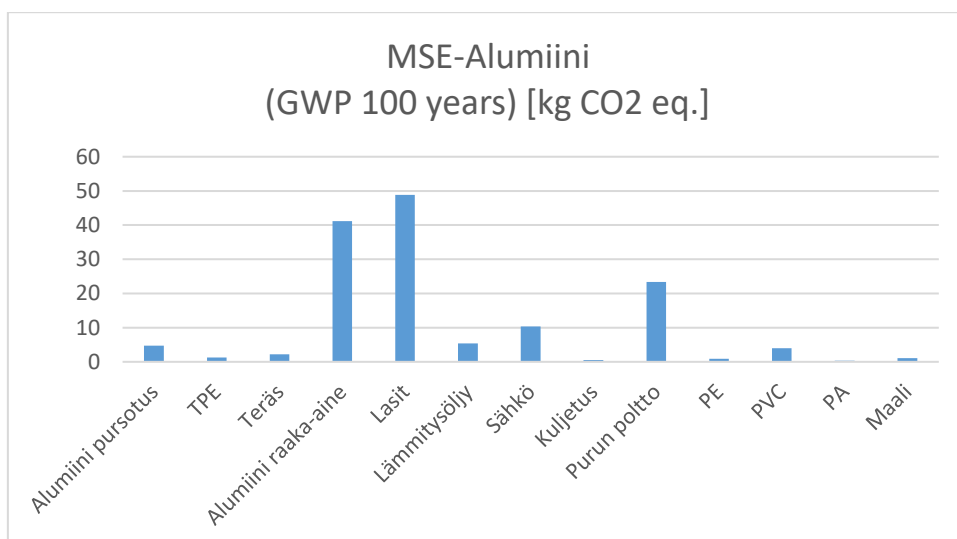
- Lasi 47%
- Alumiini 6%
- Tehtaan lämmitys (Öljy, puru) 38%
- Muovit 4,5%
- Teräs 2,5%
- Maalit 1,5%
- Materiaalien kuljetus 0,5%

Kuviossa 3 näemme selvän eron puun sitomasta hiilidioksidin määrästä ja lisäksi alumiinin ympäristöä rasittavasta vaikutuksesta. Suurin osa alumiinin ympäristövaikutuksista johtuu sen louhinnan aiheuttamista päästöistä (Recycle Nation, 2010).

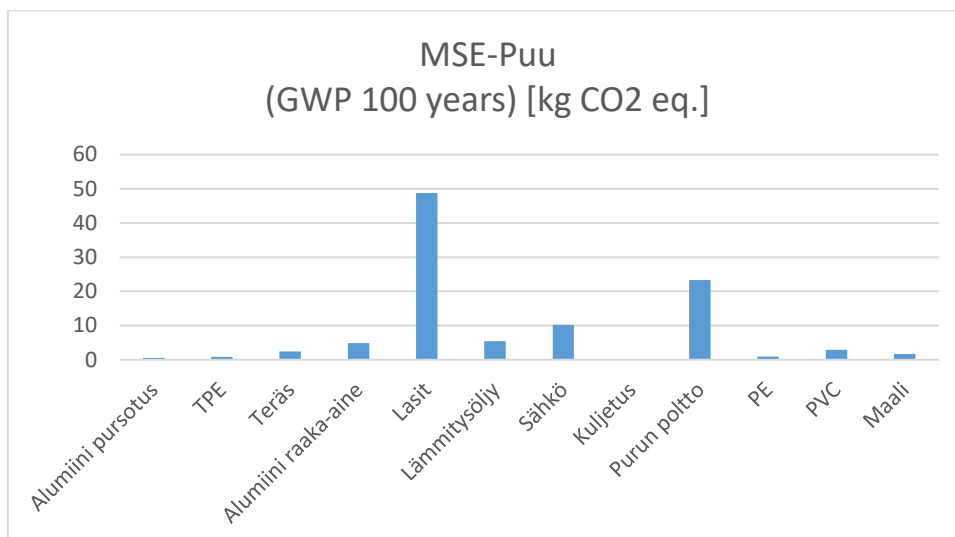
Kuvioissa 4 ja 5 on eritellympi tarkastelu ikkunan sisältämien materiaalien hiilijalanjäljestä. Muoveista PVC tuottaa eniten päästöjä. Taulukossa on myös näkyvissä purun polton tuottama päästö. Puru poltetaan lämmöksi ja onkin eritelty kuvioissa 4 ja 5. Kuviossa 3 purun polton tuottamat päästöt on lisätty puun sitomiin päästöihin. Kuviot 4 ja 5 kuvaavat ainoastaan tuotteen valmistuksesta aiheutuneita päästöjä. Puun sitomaa hiilen määrää ei tarkastella niissä ollenkaan, ja tästä johtuen purun polton hiilidioksidimäärä on suuri.



Kuvio 3. Puu- ja alumiinirakenteisten ikkunoiden hiilijalanjälki



Kuvio 4. Alumiinirakenteisen ikkunan hiilijalanjälki



Kuvio 5. Puurakenteisen ikkunan hiilijalanjälki

Tuloksissa oli yllättävää lasin suuri hiilijalanjälki. Kun lasin painoa saadaan pienemmäksi, pienenee myös hiilijalanjälki. Jos siirryttäisiin käyttämään 3 mm:n paksuisia laseja ikkunoissa, lasin hiilijalanjälki putoaisi neljänneksen. Tässäkin tosin on haittapuolensa, kun ikkunoiden jälkimarkkinoinnista johtuvat päästöt saattaisivat kasvaa rikkoutuneiden ikkunoiden myötä. Tällöin lasien ohentaminen voisi aiheuttaa jopa enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin paksummat lasit. Sama ilmiö tulee vastaan puisella ulkopuitteella varustetulla ikkunalla. Tuloksissa näkyy pienempi hiilijalanjälki, mutta lyhempi huoltoväli ja käyttöikä mahdollisesti nostaisivat hiilijalanjälkeä merkittävästi.

Puupuitteen saaminen huoltovapaammaksi ja yhtä pitkäikäiseksi kuin alumiinipuite olisi merkittävin keino pienentää hiilijalanjälkeä. Tässä voitaisiin harkita lämpökäsitellyn tai muuten modifioidun puun käyttämistä. Tällä hetkellä Puupuite kuitenkin vaatii enemmän huoltamista kuin alumiininen puite (Ikkunawiki 2020). Ikkunan kokonaisvaltainen elinkaaren pidennys vähentäisi hiilijalanjälkeä, kun hiilidioksidi olisi kauemmin sidottuna ikkunan puisiin osiin. Pidempi elinkaari vähentäisi myös ikkunan vaihtotarvetta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA EPÄVARMUUSANALYYSI

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin keskenään MSE-A ja MSE-ikkunan hiilidioksidipäästöjä. Molemmat ikkunat olivat samankokoisia. Erot tulivat ainoastaan materiaalmassojen välisistä eroista. Selvityksessä keskityttiin tuotteen materiaalmassojen aiheuttamaan hiilidioksidipäästöön, eikä niinkään tilavuuden tai valmiin tuotteen kuljettamiseen liittyviin hiilidioksidipäästöihin. Selvityksen pohjalta voidaan todeta puupohjaisen ikkunan tuottamisen olevan huomattavasti päästöttömämpi vaihtoehto kuin alumiinisen ikkunan. Tämä on etenkin nykyaikana hyvä myyntivaltti ikkunateollisuudessa, missä kilpailu on kovaa ja ihmisten yhä lisääntynyt ympäristötietoisuus auttaa vähähiilisten tuotteiden markkinoinnissa.

Tässä opinnäytetyössä epävarmuustekijöinä ovat Gabin tietokannan puutteellisuudesta johtuen maalien ja muoviprosessien laskeminen keskimääräisillä arvoilla. Puurakenteisessa ikkunassa maalia kuluu hieman enemmän, mutta kokonaiskuvan kannalta ero on vähäinen. Prosessien arvot jouduttiin laskemaan keskimääräisillä Euroopassa käytetyillä prosessiarvoilla, joten tämän tutkimuksen tuloksilla ei saada täysin tarkkaa tietoa Suomessa valmistetun osan hiilijalanjäljestä. Suomessa muoviosan valmistusprosessissa syntyvät päästöt voivat poiketa merkittävästikin Euroopan keskimääräisistä päästöistä. Tietojen vajallisuudesta johtuvat epävarmuustekijät koskevat muovi- ja teräsosien kuljetusmatkoja, joihin saatiin tilastokeskuksesta keskimääräiset arvot (Tilastokeskus 2017). Ei myöskään voida varmuudella sanoa missä päin maailmaa muoviosat valmistetaan, tai kuinka pitkän matkan teräsosat matkaavat ennenkuin tulevat Suomeen.

Opinnäytetyö ei sisällä tuotteen koko elinkaaren arviointia vaan ainoastaan siihen asti, kun tuote valmistuu. Tämän takia ei voida arvioida kuinka paljon eri materiaalien kierrätettävyys vaikuttaisi hiilijalanjälkeen. Kierrätyksestä olisi hyötyä etenkin alumiinin kannalta. Kierrätysalumiinin käytöstä koituu ainoastaan 5% päästöjä neitseellisen alumiiniin verrattuna (Recycle Nation, 2010).

Molempien tuotteiden kohdalla tuloksia vääristää yhteinen energian käyttö, eli ikkunoiden yksilöllisiä prosesseja ei laskettu erikseen, vaan ainoastaan tehtaan koko sähkönkäyttö tietyllä ajanjaksolla ja siitä laskettiin yhteen ikkunaan kuluva energia. Samoin toimittiin tehtaan lämmityksen kohdalla. Käytännössä puuikkunassa on enemmän puupuraa tuottavaa materiaalia, joka oikein hyödynnettynä vähentäisi lämmitystarvetta öljyllä.

Noin 64% ikkunan hiilijalanjäljestä tulee alumiinista ja lasista, kun puhutaan alumiinirakenteisesta ikkunasta, joka on yleisin ja jota myydään eniten. Tuotekehityksessä

olisi keskittyttävä yhä enemmän alumiinin ja lasin kierrätykseen, sekä mahdollisesti puuosien lisäämiseen ikkunoissa. Näillä kahdella isolla tekijällä saataisiin ikkunoista paljon ympäristöystävällisempiä.

LÄHTEET

Antikainen, R. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Raportti. Suomen ympäristökeskus. [Viitattu 10.9.2020]. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Engineering ToolBox, (2003). Fuels - Higher and Lower Calorific Values. [viitattu 1.11.2020]. Saatavissa:

https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html

European environment agency. 1998. Life cycle assessment. A guide to approaches, experiences, and information sources [viitattu 4.5.2020]. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/publication/299446257_Life_cycle_assessment_LCA_-_a_guide_to_approaches_experiences_and_information_sources

Ikkunawiki. 2020. Puu, alumiini, ja muovi ikkunarakenteissa. [viitattu 16.11.2020]. Saatavissa:

<https://www.ikkunawiki.fi/ikkunatyypit/puu-ja-alumiini-ikkunat/>

Lammin Ikkunat Oy. 2016. Esite. [viitattu 13.11.2020]. Saatavissa:

https://www.hirsikoti.fi/assets/images/Syysseminaarit/2016/09112016_HTT_Lammin_Ikkunat_ja_Ovet.pdf

Lammin Ikkunat Oy. 2017. Lammin Elegantti MSE-A -ikkunat. Esite. [viitattu 13.11.2020]. Saatavissa:

<https://www.ikkunastudio.fi/tuotekortit/Elegantti-MSE-A.pdf>

Lammin Ikkunat Oy. 2017. Lammin Elegantti MSE-ikkunat. Esite. [viitattu 13.11.2020]. Saatavissa:

<https://www.ikkunastudio.fi/tuotekortit/Elegantti-MSE.pdf>

Lammin Ikkuna Oy. 2020. Tietoa yrityksestämme. [viitattu 13.11.2020]. Saatavissa:

<https://www.lammin.fi/yritys/tietoa-yrityksestamme/>

Leigh E. 2010. What Aluminum Extraction Really Does to the Environment. Recycle Nation. [viitattu 13.11.2020]. Saatavissa:

<https://recyclenation.com/2010/11/aluminum-extraction-recycling-environment/>

Maximpact. 2020. Energy consumption in the plastic sector [viitattu 10.11.2020].

Saatavissa:

<https://www.maximpact.com/energy-efficiency-plastic/>

Puutuoteteollisuus. 2019. RTS EPD ympäristöseloste. nro. RTS_27_19 Suomalainen kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta [viitattu 10.11.2020] Saatavissa:

https://docplayer.fi/157133887-Rts-epd-ymparistoseloste-nro-rts_27_19-suomalainen-kuivattu-sahatavara-kuusi-tai-mantypuusta.html

SFS-EN ISO 14044, 2018. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14040, 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Sphera. 2020. GaBi Paper Clip Tutorial. Introduction to LCA and modelling using GaBi. [viitattu 10.11.2020]. Saatavissa:

http://www.gabi-software.com/fileadmin/GaBi_Manual/GaBi_Paperclip_tutorial_Part1.pdf

Sundell, K. 2004. Ikkunakäsikirja 2004. Loviisa: Painoyhtymä/Itä-Uudenmaan kirjapaino

Tilastokeskus. 2017. Keskimääräinen kuljetusmatka ja kuormausaste kotimaan liikenteessä tavaralajeittain vuonna 2017. [viitattu 13.11.2020]. Saatavissa:

http://www.stat.fi/til/kttav/2017/kttav_2017_2018-04-26_tau_010_fi.html

LIITTEET

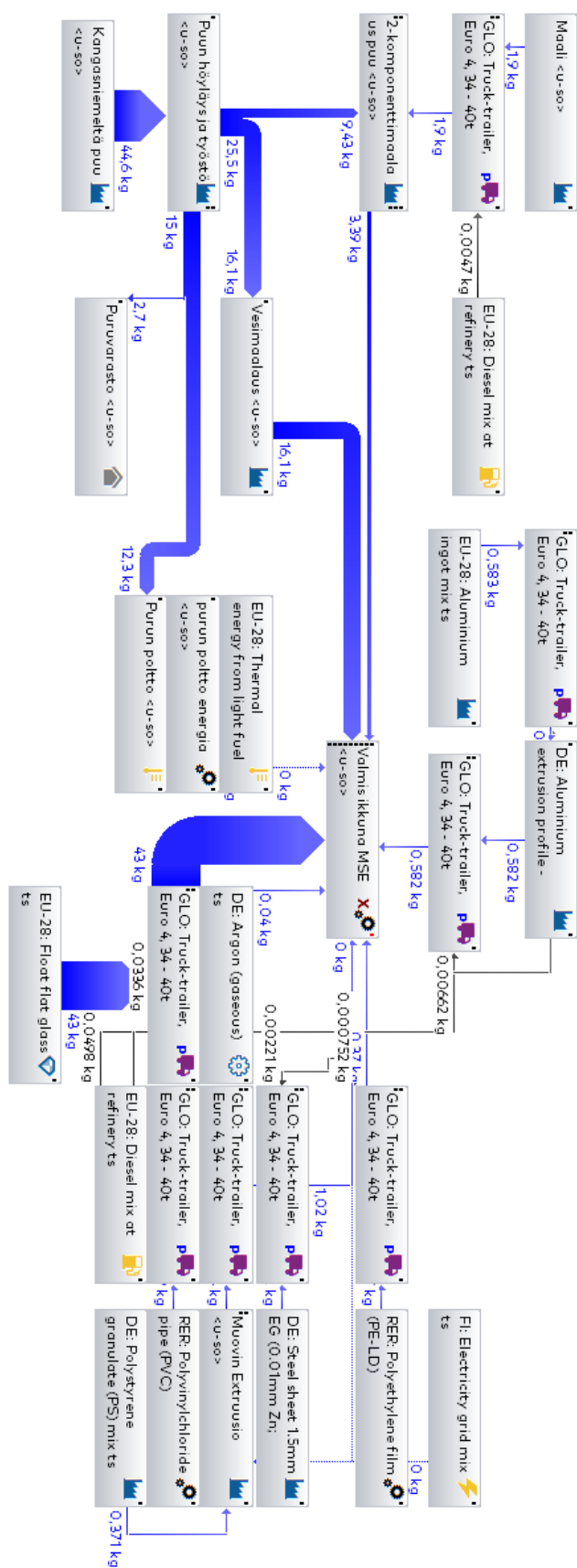
Liite 1. MSE-alumiinirakenteisen ikkunan vaikutusarvioinnin tulokset

CML2001 - Jan. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years)	
	kg Co2 eqv.
Yhteensä	97,967478
2-komponenttimaalaus <u-so>	0,32
DE: Aluminium extrusion profile <p-agg>	4,7017736
DE: Argon (gaseous) ts	0,0137838
DE: Polystyrene granulate (PS) mix ts	1,2835477
DE: Steel sheet 1.5mm EG (0.01mm Zn; 2sides) ts <p-agg>	2,1929948
EU-28: Aluminium ingot mix ts	41,204846
EU-28: Diesel mix at refinery ts	0,0653343
EU-28: Diesel mix at refinery ts	0,0007856
EU-28: Float flat glass ts	48,829708
EU-28: Polyamide 6.6 fibres (PA 6.6) ts	0,3673408
EU-28: Tap water from groundwater ts	1,51E-06
EU-28: Thermal energy from light fuel oil (LFO) ts	5,4073991
FI: Electricity grid mix ts	10,302412
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0024042
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,1074213
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,1791414
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0002274
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0062759
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0031515
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0077975
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0050596
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,1141708
Purun poltto <u-so>	23,356974
Puun höyläys ja työstö <u-so>	-45,388854
RER: Polyethylene film (PE-LD) PlasticsEurope	0,8993904
RER: Polyvinylchloride pipe (PVC) PlasticsEurope	3,98439

Liite 2. MSE-puurakenteisen ikkunan vaikutusarvioinnin tulokset

CML2001 - Jan. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years)	
kg CO2 eq.	
Yhteensä	45,543507
2-komponenttimaalaus puu <u-so>	0,9
DE: Aluminium extrusion profile - open input aluminium ingot ts <p-agg>	0,5550573
DE: Argon (gaseous) ts	0,0137838
DE: Polystyrene granulate (PS) mix ts	0,8839277
DE: Steel sheet 1.5mm EG (0.01mm Zn; 2sides) ts <p-agg>	2,4677216
EU-28: Aluminium ingot mix ts	4,8643449
EU-28: Diesel mix at refinery ts	0,0247493
EU-28: Diesel mix at refinery ts	0,0023324
EU-28: Float flat glass ts	48,829708
EU-28: Thermal energy from light fuel oil (LFO) ts	5,4073991
FI: Electricity grid mix ts	10,19688
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0024042
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,1074213
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0211481
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0070621
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0021703
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0056467
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0150206
GLO: Truck-trailer, Euro 4, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,0134782
Purun poltto <u-so>	23,356974
Puun höyläys ja työstö <u-so>	-55,918476
RER: Polyethylene film (PE-LD) PlasticsEurope	0,8993904
RER: Polyvinylchloride pipe (PVC) PlasticsEurope	2,8853624

Liite 3. MSE-puurakenteisen ikkunan prosessikaavio



Liite 4. MSE-alumiinirakenteisen ikkunan prosessikaavio

