



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

LCA-OHJELMISTOT

Pauli Pekuri

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Kandidaatintyö

Tammikuu 2018



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

LCA-OHJELMISTOT

Pauli Pekuri

Ohjaaja: Virpi Väisänen

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Kandidaatintyö

Tammikuu 2018

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma		Pääaineopinnojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Pekuri, Pauli		Työn ohjaaja yliopistolla Väisänen V.	
Työn nimi LCA-ohjelmistot			
Opintosuunta Ympäristötekniikka	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Tammikuu 2018	Sivumäärä 31 s.
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä työ käsittelee elinkaariarviointiohjelmistoja. Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment) on menetelmä, jolla arvioidaan tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta. Tutkimuksen pääasiallisena tavoitteena oli selvittää openLCA-ohjelman käytettävyyttä.</p> <p>Työn alussa on esitelty lyhyesti elinkaariarvioinnin historiaa. Tämän jälkeen työssä on paneuduttu elinkaariarvioinnin standardeihin ja tarkasteltu elinkaariarvioinnin suorittamisen vaiheita niiden kautta. Elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet on esitetty SFS-EN ISO 14040:2006 -standardissa. Elinkaariarvioinnin teoreettisen perustan jälkeen työssä on esitelty tunnetuimmat elinkaariarviointiohjelmistot, kuten SimaPro, Umberto NXT LCA, GaBi ja openLCA.</p> <p>Tutkimuksessa tehtiin koeluontoinen elinkaariarviointi teräspultille openLCA-ohjelmistoa käyttäen. OpenLCA on saksalaisen GreenDeltan pääasiassa kehittämä avoimen lähdekoodin elinkaariarviointiohjelmisto. Suoritetun elinkaariarvioinnin tavoitteena oli ainoastaan kerätä käyttäjäkokemusta openLCA-ohjelmistosta, minkä vuoksi arviointiprosessia yksinkertaistettiin, eikä saadut tulokset siten kuvaa todellista tilannetta. Elinkaariarviointia tehdessä havaittiin, että arvioinnin suorittaminen openLCA:lla onnistuu varsin vaivattomasti. Ohjelmiston käyttöönottoa oli helpotettu opastusvideoiden avulla. Ongelmatilanteissa käyttäjä voi kääntyä openLCA:n keskustelufoorumin puoleen, josta tätä työtä tehdessä saatiin vastaus kysymykseen varsin nopeasti. Toivomisen varaa openLCA:ssa oli tietokantojen tiedon esittämisessä sekä tulosten tallentamisessa.</p>			
Muita tietoja			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Environmental engineering		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Pekuri, Pauli		Thesis Supervisor Väisänen V.	
Title of Thesis LCA-software			
Major Subject Environmental engineering	Type of Thesis Bachelor's Thesis	Submission Date January 2018	Number of Pages 31 p.
Abstract <p>This thesis covers life cycle assessment software. Life cycle assessment (LCA) is a method for assessing the environmental impacts of a product or a service throughout its whole life cycle. The main goal of this study was to investigate the usability of openLCA software.</p> <p>At the beginning of the thesis a short history of LCA is provided. After this the standards of LCA are addressed, and the steps of an LCA study are presented through the standards. The principles and main features of LCA are presented in the SFS-EN ISO 14040:2006 standard. After the theoretical base of LCA the most well-known software is presented, such as SimaPro, Umberto NXT LCA, GaBi, and openLCA.</p> <p>In the research, a life cycle assessment for a steel bolt is carried out by using openLCA software. OpenLCA is an open source LCA software developed mainly by German GreenDelta. The aim of the LCA study in this thesis was solely to acquire user experience of the software. Thus, the assessment process was simplified and therefore the obtained results are of low validity. During the LCA study it was found out that performing an LCA by openLCA software is quite straightforward. The introduction of the software was made easy with video guides. When facing problems, the software user can seek help from the official discussion forum of openLCA. During this study, all questions sent to the discussion forum were answered quite fast by fellow software users. A few development ideas concerning technical features of the software were observed: presentation of the data in the databases and recording of the results could be improved.</p>			
Additional Information			

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	5
2 Elinkaariarvioinnin historiaa	7
3 Elinkaariarviointiin liittyvät standardit	9
3.1 SFS-EN ISO 14040:2006 -standardi	9
3.2 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	10
3.3 Inventaarioanalyysi	11
3.4 Vaikutusarviointi	11
3.5 Tulosten tulkinta	12
3.6 Kriittinen arviointi	13
3.7 Käyttökohteita	14
4 LCA-ohjelmistot	15
4.1 Ohjelmiston valinta	15
4.2 LCI-tietokannat	16
4.3 SimaPro	16
4.4 GaBi	17
4.5 openLCA	18
4.6 Umberto NXT LCA	18
5 OpenLCA -kokeilu	20
5.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe	20
5.2 Elinkaariarvioinnin suorittaminen	22
6 Pohdintaa openLCA-ohjelmiston käytöstä	26
7 Yhteenveto	28
Lähdeluettelo	29

1 JOHDANTO

Kestävyden arvioinnin tarkoitus on tarjota päätöksentekijöille arvio globaaleista ja paikallisista integroiduista luonto-yhteiskuntasysteemeistä lyhyt- ja pitkäaikaisnäkökulmalla. Se auttaa heitä päättämään, mitkä toimet tulisi tai ei tulisi tehdä, kun yritetään muokata yhteiskuntaa kestäväksi. Kestävän kehityksen indikaattoreita voidaan käyttää olosuhteiden ja trendien ennakoinnissa sekä arvioinnissa. Niitä voidaan käyttää myös ennakkovaroitusten luomisessa taloudellisten vahinkojen, yhteiskunnallisten vahinkojen sekä ympäristövahinkojen välttämiseksi. Indikaattorit auttavat myös strategioiden muodostamisessa ja ideoiden viestimisessä ja ovat päätöksenteon tukena. (Singh et al. 2008, s. 191-192)

Indikaattorit ja yhdistelmäindikaattorit tunnistetaan enenevässä määrin hyödylliseksi työkaluksi välittää tietoa maiden suorituskyvystä alueilla kuten ympäristö, talous, yhteiskunta tai tekninen kehitys. Indikaattorien pääpiirre on niiden kyky tehdä yhteenveto, keskittää ja tiivistää dynaamisen ympäristömme valtava kompleksisuus helposti käsiteltäväksi määräksi tarkoituksellista informaatiota. (Singh et al. 2008, s. 191)

Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment) on menetelmä, jolla arvioidaan tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta. Tuotteen elinkaari sisältää kaikki tuotteen valmistukseen, kuljetukseen, käyttöön ja hävittämiseen liittyvät toimet. (Jensen et al. 1997, s. 9)

Elinkaariarviointi eroaa monista muista ympäristövaikutusten arviointiin käytetyistä tekniikoista, kuten ympäristövaikutusarvioinnista, ympäristösuorituskyvyn arvioinnista ja riskinarvioinnista, koska se on toiminnalliseen yksikköön perustuva suhteellinen lähestymistapa (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 26). Toiminnallisella yksiköllä tarkoitetaan vertailuyksikköä, jonka suhteen prosessin panos- ja tuotostiedot normalisoidaan. Toiminnallinen yksikkö voi olla esimerkiksi yksittäinen toiminto tai 1 kg jotakin tuotetta. (Antikainen 2010, s. 17)

Elinkaariarviointi on runsaiden datamäärien käsittelyn vuoksi erittäin työläs prosessi, jonka suorittamista on helpotettu suunnittelemalla arviointiin erikoistuneita LCA-

ohjelmistoja (Jensen et al. 1997, s. 102). Itsenäiset LCA-ohjelmistot ovat kehittyneet useiden viime vuosien aikana suurista taulukkolaskentapohjaisista systeemeistä graafisesti orientoituihin systeemeihin käyttäen standardisia Windows-toimintoja ja ulkonäköä (Curran 1996).

Tässä työssä tarkastellaan yleisimpiä elinkaariarvointiin käytettyjä ohjelmistoja. Työn alussa on esitelty lyhyesti elinkaariarvioinnin historiaa. Kolmas kappale käsittelee elinkaariarvioinnin standardeja. Neljännessä kappaleessa on käsitelty ohjelmiston valintaa ja esitelty tunnetuimpia LCA-ohjelmistoja. Viidennessä kappaleessa on tehty lyhyt käyttökokeilu ilmaisella openLCA -ohjelmistolla ja kuudennessa kappaleessa on pohdintaa ohjelmiston käytöstä.

2 ELINKAARIARVIOINNIN HISTORIAA

Ensimmäiset tuotteiden ja materiaalien elinkaaria arvioivat tutkimukset suoritettiin 1960-luvulla ja 1970-luvun alussa. Tuolloin tarkastelun kohteena olivat teemat kuten energiatehokkuus, raaka-aineiden kulutus sekä jossain määrin jätteenkäsittely. Aluksi energiatehokkuutta pidettiin tuotevirtoja tärkeämpänä prioriteettina. (Jensen et al. 1997, s. 13) Harold Smith raportoi jo vuonna 1963 World Energy Conference:ssa laskelmiaan kemiallisten tuotteiden valmistukseen kuluneesta kumulatiivisesta energiasta. Myöhemmin 60-luvulla ennusteet väestönkasvun vaikutuksista raaka-aineiden riittävyyteen johtivat tarkempien laskelmien suorittamiseen. Tuolloin suoritettiin useita tutkimuksia vaihtoehtoisten energiamuotojen kustannuksista ja ympäristövaikutuksista. (SAIC 2006, s. 4)

Vuonna 1969 Coca Cola Company rahoitti tutkimuksen, jossa vertailtiin juomapakkaus-ten raaka-aineen kulutusta ja ympäristöpäästöjä (Jensen et al. 1997, s. 13). Tutkimus loi pohjan elinkaariarvioinnissa suoritettavalle inventaarioanalyysille (LCI, Life Cycle Inventory Analysis), jossa määritetään prosessin syöte- ja tuotosvirrat. Tutkimus määrittä jokaisen pakkauksen valmistusprosessin raaka-aineiden ja polttoaineiden kulutukset sekä ympäristökuormituksen. Muutkin yhtiöt suorittivat vastaavia tutkimuksia 70-luvun alussa Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. Tuolloin tutkimuksissa käytettiin julkisista tiedoista kuten valtion dokumenteista johdettuja lähteitä, koska spesifistä teollisuuden dataa ei ollut saatavilla. (SAIC 2006, s. 4)

Raaka-aineiden käytön ja ympäristöpäästöjen arviointiprosessi tuli tunnetuksi Yhdysvalloissa nimellä Resources and Environmental Profile Analysis (REPA). Euroopassa menetelmää kutsuttiin nimellä Ecobalance. Vuosien 1970 ja 1975 välillä suoritettiin noin 15 REPA-arviointia, joiden taustalla oli 70-luvun alun öljypula ja yhtiöitä tarkkojen ympäristötietojen varmistamiseen rohkaisevat ihmisryhmät. Näinä vuosina syntyi monivaiheinen protokolla tutkimusten suorittamiselle. Se sisälsi useita oletuksia, jotka kävivät läpi EPA:n sekä suurten teollisuuden edustajien arvioinnin. Öljykriisin vaikutuksen vähentyessä 1970-luvun lopulla ja 1980-luvun alussa kiinnostus kattavia elinkaaritutkimuksia kohtaan väheni ja uusiksi ympäristöuhkiksi muodostuivat vaaralliset jätteet sekä kotitalouksien jätehuolto. Inventaarioanalyysien suorittamista

jatkettiin noin kahden tutkimuksen vuositahdilla ja sen metodologiaa kehitettiin edelleen. (SAIC 2006, s. 4)

Vuonna 1985 Euroopan komission perustama Environment Directorate (DG XI) laati nestemäisten elintarvikkeiden pakkauksia koskevan direktiivin, joka velvoitti jäsenmaat monitoroimaan kyseisten pakkausten valmistuksen energian ja raaka-aineenkulutusta sekä kiinteän jätteen tuotantoa. Lisäksi direktoraatti työskenteli päästörajojen standardoimiseksi Euroopan alueella. Vuonna 1988 kiinteä jäte muodostui maailmanlaajuiseksi ongelmaksi, jolloin elinkaariarviointi nousi jälleen tarpeelliseksi työkaluksi. Nyt pelkkä inventaarioanalyysin suorittaminen ei enää riittänyt, vaan tarvittiin myös tietoa tutkittujen materiaalivirtojen vaikutuksista ympäristöön. Tästä alkoi vaikutusarvioinnin (LCIA, Life Cycle Impact Assessment) kehittyminen. (SAIC 2006, s. 4-5)

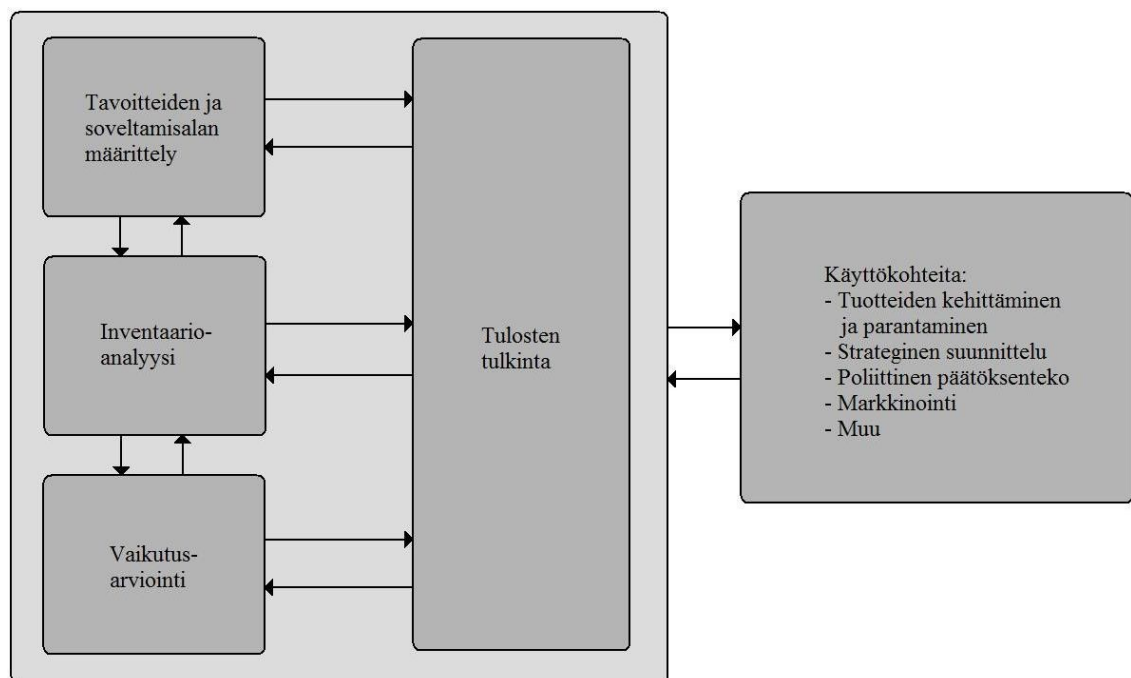
Tultaessa 90-luvulle tarve standardoida elinkaariarvioinnissa käytettyä metodologiaa kasvoi. Kansainvälinen standardoimisjärjestö ISO kehitti vuosina 1997–2002 elinkaariarviointia koskevia standardeja ISO 14000 -standardisarjaan. Vuonna 2002 UNEP (United Nations Environment Programme) ja SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) aloittivat kansainvälisen yhteistyön, jonka tarkoituksena on tuoda elinkaariajattelu käytäntöön ja kehittää saatavilla olevia työkaluja. (SAIC 2006, s. 5) Euroopan komissio tunnisti vuonna 2003 elinkaariarvioinnin parhaaksi työkaluksi tuotteiden ympäristövaikutusten arvioinnissa. Tämän seurauksena perustettiin elinkaarifoorumi European Platform on Life Cycle Assessment. (EC 2017)

3 ELINKAARIARVIOINTIIN LIITTYVÄT STANDARDIT

Elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet on esitetty Suomen standardisoimisliitto SFS:n vuonna 2006 hyväksymässä SFS-EN ISO 14040:2006 -standardissa. Standardi korvaa yhdessä standardin SFS-EN ISO 14044 kanssa SFS-EN ISO -standardit 14040:1997, 14041:1998, 14042:2000 ja 14043:2000. SFS-EN ISO 14044 -standardissa esitetään elinkaariarvioinnin tekemisen vaatimukset LCA-selvityksen tekijöitä varten. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 1-8)

3.1 SFS-EN ISO 14040:2006 -standardi

SFS-EN ISO 14040:2006 -standardin määritelmän mukaan elinkaariarviointiselvitys koostuu neljästä vaiheesta, joita on havainnollistettu kuvassa 1. Vaiheisiin kuuluu tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe, inventaarioanalyysivaihe (LCI-vaihe), vaikutusarviointivaihe (LCIA-vaihe) sekä tulkintavaihe. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 8) Elinkaariarviointi on iteratiivinen tekniikka, joten arvioinnin edetessä voi olla tarpeellista palata muokkaamaan jo suoritettuja vaiheita (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 30).



Kuva 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040:2006-standardia mukailten.

Tuotetta käsitellään elinkaariarvioinnissa omana tuotejärjestelmänään, joka suorittaa yhden tai useamman määritellyn toiminnon. Tuotejärjestelmät jaetaan yksikköprosesseihin, jotka yhdistetään toisiinsa väli valmistevirroilla, jätevirroilla tai molemmilla, toisiin tuotejärjestelmiin tuotevirroilla ja ympäristöön perusvirroilla. Jako yksikköprosesseihin helpottaa syötteiden ja tuotosten tunnistamista. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 26)

Vuosien varrella elinkaariarviointeihin on kehittynyt kaksi lähestymistapaa. Toinen lähestymistapa kohdistaa perusvirrat ja potentiaaliset ympäristövaikutukset tiettyyn tuotejärjestelmään tyypillisesti tuotteen historian selostuksena. Toinen tarkastelee mahdollisten tulevien muutosten seurauksia ympäristölle verraten kahta vaihtoehtoista tuotejärjestelmää. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 46)

Elinkaariarvioinnin sijasta voidaan joskus suorittaa suppeampi elinkaariinventaarioselvitys (LCI-selvitys), jossa vaikutusarviointivaihe jätetään pois. LCI-selvitystä ei tule sekoittaa LCA-selvityksen LCI-vaiheeseen. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 8)

3.2 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Elinkaariarvioinnin ensimmäisessä vaiheessa eli tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä päätetään suoritettavan elinkaariarvioinnin yksityiskohtaisuus ja tarkasteltava ajanjakso. Se on arvioinnin suorituksen kannalta tärkeä vaihe, koska se määrittelee pitkälti tutkimuksen laajuuden, rajauksen ja vaatimukset raportoinnille. (Antikainen 2010, s. 17) Elinkaariarvioinnin tarkkuus ja laajuus voi vaihdella suuresti riippuen selvityksen tavoitteista (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 8).

Soveltamisalaan sisältyy mm. tutkittava tuotejärjestelmä ja sen toiminnot, järjestelmän rajat, allokointimenettelyt, valitut vaikutusluokat, vaikutusarvioinnissa ja tulkinnassa käytettävät menetelmät, oletukset, rajoitukset ja selvityksestä vaadittavan raportin tyyppi ja muoto. Lisäksi määritellään lähtötiedon laatuvaatimukset ja käytettävä toiminnallinen yksikkö. Lähtötiedon laadun määrittäminen on tärkeää selvityksen tulosten luotettavuuden ja tulkinnan kannalta. Toiminnallisen yksikön määrittelyn myötä varmistutaan tulosten vertailukelpoisuudesta. Tulosten vertailtavuus on erityisen kriittistä eri järjestelmiä arvioitaessa, jolloin varmistutaan siitä, että vertailut tehdään yhteisillä pe-

rusteilla. Kullekin tuotejärjestelmälle on tärkeää määrittää vertailuvirta, joka tarvitaan tarkoitetun toiminnan suorittamiseen. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 30 - 32)

3.3 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysissä kootaan yhteen tuotteen, prosessin tai aktiviteetin kuluttamat raaka-aineet ja energia, päästöt ilmakehään ja vesistöihin, kiinteät jätteet sekä muut mahdolliset päästöt. Se luo pohjan vaikutusarvioinnin suorittamiselle ja potentiaalisten parannuskohteiden etsinnälle. Kerätyn LCI-datan tarkkuus vaikuttaa koko elinkaariarviointiprosessin suorittamiseen. (SAIC 2006, s. 19) Tietojen keruun jälkeen muodostetaan määritellyn järjestelmän jokaisen yksikköprosessin ja mallinnettavan tuotejärjestelmän toiminnallisen yksikön inventaariotulokset. Tässä käytetään apuna laskentamenettelyjä, kuten tiedon varmentamista, tietojen suhteuttamista yksikköprosesseihin ja tietojen suhteuttamista toiminnallisen yksikön vertailuvirtaan. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 34)

Inventaarioanalyysi on elinkaariarviointiprosessin eniten aikaa vievä osa. Sen suorittamista varten on olemassa lukuisia LCI-tietokantoja eri toimialoja varten. Tietokantoja on olemassa sekä ilmaisia että maksullisia. (Viinamäki 2014, s. 14)

3.4 Vaikutusarviointi

LCIA-vaiheen eli vaikutusarvioinnin tarkoituksena on arvioida inventaarioanalyysin tulosten avulla potentiaalisten ympäristövaikutusten merkittävyyttä (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 34). Vaikutusarviointiin kuuluu kansainvälisen ISO 14044 -standardin mukaan neljä vaihetta, joista kaksi on pakollista ja kaksi valinnaista. Pakollisia vaiheita ovat ympäristövaikutustyyppien valinta ja luokittelu sekä karakterisointi. Ympäristövaikutustyyppien valinnassa päätetään mitkä vaikutustyyppit ovat arvioinnin kannalta oleellisia. Tämän jälkeen LCI-vaiheen tuotevirrat luokitellaan vaikutustyyppien mukaan. Karakterisointivaiheessa jokainen päästö mallinnetaan ja tulos ilmoitetaan vaikutustyypeittäin yhtenäisessä yksikössä käyttäen apuna karakterisointikertoimia. Esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöt voidaan ilmoittaa CO₂-ekvivalenttikiloina. Valinnaisia vaiheita vaikutusarvioinnissa ovat normalisointi ja painotus. Normalisoinnissa karakterisoidut vaikutustulokset liitetään johonkin vertailukohteeseen, esimerkiksi yhden henkilön

päästöihin vuodessa. Painotuksessa vaikutustyyppit ja/tai loppupisteet asetetaan järjestykseen tärkeyden mukaan. (EC 2010, s. 2 - 3)

Vaikutusarvioinnin suorittamiseen on olemassa useita malleja. Mallien välillä on eroavaisuuksia ja eri malleilla saadut tulokset voivat poiketa toisistaan suuresti. Tämä johtuu siitä, että todellisten ympäristövaikutusten selvittämiseksi tulisi teoriassa tutkia lähes ääretön määrä prosesseja jo yksinkertaistenkin tuotteiden tapauksessa. Vaikutusarviointia tehdessä joudutaan siis aina tekemään rajaus, jolloin päätetään kuinka tarkasti tuotteen ympäristövaikutuksia tutkitaan ja mitkä vaikutukset jätetään arvioinnin ulkopuolelle. (Viinamäki 2014, s. 14 - 15) Vaikutusarvioinnin läpinäkyvyys on kriittinen tekijä, jotta olettamuksien selkeä kuvaus ja raportointi saadaan varmistettua (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 34).

LCIA-menetelmät jakaantuvat kahteen lähestymistapaan: keskipistemallinnukseen (midpoint) ja loppupistemallinnukseen (endpoint). Vaikutusarvioinnin loppupisteitä ovat yleisimmin ihmisen terveys, luontoympäristö ja luonnonvarat. Loppupistemallinnuksessa vaikutusarvioinnin tulokset esitetään aina kolmen tai neljän loppupisteen kautta, kun taas keskipistemallinnuksessa valitaan vaikutusindikaattorit alkutilanteen ja loppupisteen väliltä kuvaamaan potentiaalista ympäristövaikutusta. (Antikainen 2010, s. 24)

3.5 Tulosten tulkinta

Elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe on tulosten tulkinta, jossa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia tarkastellaan yhdessä. Tarkoituksena on esittää elinkaariarviointiselvityksen tulokset helposti ymmärrettävässä muodossa selvityksen tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti. Tulosten tulkinnan tulisi kuvastaa sitä, että vaikutusarvioinnin tulokset perustuvat suhteelliseen lähestymistapaan ja osoittavat potentiaalisia ympäristövaikutuksia, eivätkä ennusta todellisia vaikutuksia vaikutusluokan loppupisteisiin, turvamarginaalien tai kynnyksarvojen ylittymistä tai riskejä. Tulosten perusteella tulisi voida tehdä johtopäätöksiä, selvittää rajoituksia ja esittää suosituksia. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 38) Elinkaariarviointiselvityksen tekijöiden haasteena yrityksissä on esittää tulokset siten, että ne ovat täysin ylimmän johdon ymmärrettävissä, koska yritys-

ten johtajilla ei usein ole ympäristökysymyksiin liittyvää koulutusta (Jensen et al. 1997, s. 38).

Tulosten tulkintaan voidaan sisällyttää iteratiivinen prosessi, jossa katselmoidaan ja päivitetään elinkaariarvioinnin soveltamisala. Myös kerätyn tiedon laatu ja luonne voidaan arvioida uudelleen määritellyn tavoitteen kanssa johdonmukaisella tavalla. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 38) Jos havaitaan että inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tulokset eivät täytä tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä asetettuja tavoitteita, tulee inventaarioanalyysiä parannella esimerkiksi muuttamalla systeemin rajausta tai keräämällä lisää tietoa. Tämän jälkeen vaikutusarviointi tulee suorittaa uudelleen. Tätä iteratiivista prosessia tulee toistaa kunnes tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä asetetut vaatimukset täyttyvät. (Jensen et al. 1997, s. 70)

3.6 Kriittinen arviointi

Elinkaariarviointiselvitykselle voidaan suorittaa kriittinen arviointi, jossa todennetaan, että arviointi on täyttänyt metodologiaan, tietoihin, tulkintaan ja raportointiin liittyvät vaatimukset ja on johdonmukainen periaatteiden kanssa. Kriittisessä arvioinnissa tulisi varmistaa, että karakterisointi-, luokitus-, ryhmittely-, normalisointi- ja painotusosat ovat riittäviä ja että ne on dokumentoitu tulosten tulkintavaiheen suorittamisen mahdollistavalla tavalla. Kriittisen arvioinnin soveltamisalasta ja tyypistä päätetään elinkaariarvioinnin soveltamisalavaiheessa. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 40)

Kriittisen arvioinnin suorittajana voi olla sisäinen tai ulkoinen asiantuntija tai sidosryhmäpaneeli. Asiantuntijan tulisi tuntea standardin ISO 14040 vaatimukset sekä hänellä tulisi olla asianmukainen tieteellinen ja tekninen asiantuntemus. Sidoryhmäpaneelin puheenjohtajan tulisi olla selvityksen tilaajan valitsema riippumaton asiantuntija. Puheenjohtajan tulisi valita paneeliin muut riippumattomat jäsenet. Paneeliin voi myös kuulua muita sidosryhmiä joihin elinkaariarviointiselvityksestä tehtävät johtopäätökset vaikuttavat, kuten kansalaisryhmiä, viranomaisia, kilpailijoita ja teollisuudenaloja. (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 42)

3.7 Käyttökohteita

Elinkaariarvioinnista voi olla apua tarjottaessa tietoa päätöksenteon tueksi, tunnistettaessa tuotteiden ympäristösuorituskyvyn parantamismahdollisuuksia eri vaiheissa tuotteiden elinkaarta, valittaessa olennaisia ympäristösuorituskyvyn indikaattoreita ja niiden mittausmenetelmiä sekä markkinoinnissa (esim. tuotteen ympäristöselosteen laadinnassa) (SFS-EN ISO 14040:2006, s. 8). Ympäristömerkinnät ovat ehkä laajimmin tunnettu kenttä, jossa elinkaariarviointia on käytetty julkisen käytännön tukena (Curran 1996).

Elinkaariarviointia voidaan käyttää päätöksenteon tukena tuotteen tai valmistusprosessin valinnassa muiden tekijöiden, kuten kustannusten ja suorituskyvyn ohella (SAIC 2006, s. 3). Kun elinkaariarviointi sisällytetään tuotteen valmistusprosessin suunnitteluun, voidaan ennalta nähtävät ympäristövaikutukset välttää tai minimoida vaarantamatta tuotteen laatua (Jensen et al. 1997, s. 33).

Elinkaariarviointi tarjoaa systemaattisen keinon laajentaa yhtiön päätöksentekoprosessin näkökulmaa sisältämään tuotesysteemin energian ja materiaalin käytön, kuljetuksen, lopputuotteen käytön, hävittämisen ja ympäristöpäästöjen huomioimisen. Elinkaariarviointi tarjoaa viitekehyksen saavuttaa parempi ymmärrys eduista ja riskeistä liittyen spesifiseen muutokseen tuotteessa, pakkauksessa tai prosessissa. (Curran 1996)

4 LCA-OHJELMISTOT

Elinkaariarviointiin tarkoitettuja ohjelmistoja on runsaasti tarjolla. Ohjelmistotarjonta on alati kehittyvää: uusia ohjelmistoja syntyy ja vanhoja häviää koko ajan. (Viinamäki 2014, s. 16) Osa ohjelmistoista on kehitetty täyden elinkaariarvioinnin suorittamiseen, kun taas osa ohjelmistoista kykenee suorittamaan vain inventaarioselvityksen (Jensen et al. 1997, s. 102).

Ohjelmistojen hinnat vaihtelevat suuresti ja voivat korkeimmillaan liikkua useissa tuhansissa euroissa. Investoinnin suuruuden vuoksi ostajia neuvotaan hankkimaan runsaasti tietoa ohjelmistojen valmistajilta ja vertaamaan sitä omiin tarpeisiinsa. (Jensen et al. 1997, s. 102) Kaupallisten ohjelmistojen lisäksi on kehitetty myös ilmaisia ohjelmistoja, kuten saksalainen openLCA (Antikainen 2010, s. 23).

4.1 Ohjelmiston valinta

Tärkeimmät LCA-ohjelmiston valintaan vaikuttavat tekijät ovat ohjelman tukemat LCI-tietokannat sekä LCIA-menetelmät (Viinamäki 2014, s. 16). Tietokannan tulisi sisältää tietoa laajasti eri raaka-aineista, kemikaaleista, energiaskenaarioista ja kuljetusmuodoista. Lisäksi huomiota tulisi kiinnittää tietokannan tiedon laatuun: koostuuko data keskiarvoista vai tapauskohtaisista tarkoista arvoista ja kuinka vanhaa data on. Tietokannassa tulisi myös olla mahdollisuus tallentaa ja käyttää omaa dataa. (Jensen et al. 1997, s. 102)

Unger ym. (2004) ovat asettaneet yleisiä vaatimuksia LCA-ohjelmistoille. Ohjelmiston tulisi tukea sekä ulostuloon että sisääntuloon keskittyvää arviointia. Useiden prosessien elinkaariarviointia tehdessä pyritään tuottamaan tietty määrä tuotetta mahdollisimman pienillä päästöillä, jolloin arviointi on ulostuloon keskittyvää. Sisääntulovirtaan keskittyvää arviointi on esimerkiksi jätteiden käsittelyssä, jossa keskitytään siihen, kuinka mahdollisimman suuri sisääntulovirta saadaan käsiteltyä mahdollisimman pienillä päästöillä. Ohjelmiston tulisi myös tukea useiden ulostulovirtojen yhdistämistä omiksi prosessiketjuikseen, sillä se mahdollistaa laajempien prosessikokonaisuuksien mallintami-

sen. Ohjelmiston käyttöliittymän tulisi olla selkeä ja laskentamoduulista tulisi olla jäljitettävissä mahdolliset virheet.

4.2 LCI-tietokannat

Inventaarioanalyysin suorittamista varten luodut LCI-tietokannat voidaan jakaa kolmeen ryhmään: ilmaiset useita toimialoja kattavat, ilmaiset yhteen toimialaan keskittyvät sekä maksulliset useita toimialoja kattavat tietokannat. Ilmaiset useita toimialoja kattavat tietokannat ovat osittain julkisesti rahoitettuja ja ne sisältävät inventaariotietoa mm. raaka-aineista, sähköntuotannosta, kuljetuksista ja jätehuoltovaihtoehdoista. Ilmaiset yhteen toimialaan keskittyvät tietokannat ovat kansainvälisten teollisuusjärjestöjen omia alojaan varten kehittämiä. Osa niistä on saatavilla verkosta ja osa järjestöiltä erikseen pyytämällä. Tietosuojaan vuoksi teollisuusjärjestöjen kehittämien tietokantojen sisältö on yleensä vain kyseisen alan keskimääräistä tietoa. Nämä tietokannat toimivat siten hyvinä sekundääridatan lähteinä. (Antikainen 2010, s. 21 – 22) Sekundääridatalla tarkoitetaan muualla tehtyä elinkaariarviointia, jonka tulosta sovelletaan johonkin arvioidavan prosessin sisääntulovirtaan (Antikainen 2010, s. 14). Maksullisista useita aloja kattavista tietokannoista käytetyin on sveitsiläinen Ecoinvent. Siinä on tietoa tuhansista prosesseista ja useista vaikutusarviointimenetelmätuloksista ja se onkin liitetty useaan LCA-ohjelmistoon. (Antikainen 2010, s. 22)

Tietokannat ja LCA-ohjelmistot eivät ole riippuvaisia toisistaan. Tietokantoja voi käyttää ilman ohjelmistoa tai ohjelmiston kanssa. Kolmas vaihtoehto on käyttää useita tietokantoja sisältävää ohjelmistoa. (Antikainen 2010, s. 22–23)

4.3 SimaPro

Alankomaalaisen PRé:n julkaisema SimaPro -ohjelmisto on teollisuuden ja tutkijoiden käytössä yli 80 maassa. Se kykenee täyden elinkaariarvioinnin suorittamiseen, sekä mm. hiili- ja vesijalanjälkien laskemiseen. (PRé Consultants 2017) SimaPro sisältää useita tietokantoja ja antaa käyttäjän valita haluamansa vaikutusarviointimenetelmän (Kokko 2012, s. 35).

SimaPro kuuluu maksullisiin LCA-ohjelmistoihin, mutta ilmainen kokeiluversio on kaikille vapaasti ladattavissa. Kokeiluversio sisältää kolme versiota eri käyttäjien tarpeita ja elinkaariarvioinnin osaamista varten: Faculty and Classroom, Analyst and PhD ja Developer. Kokeiluversio sisältää opastetun kierroksen, jossa suoritetaan elinkaariarviointi kahvinkeittimelle, sekä LCA Wizard Demo -ominaisuuden, jossa opastetaan mallintamaan tuotteen elinkaarta SimaProssa. Tallentaminen on kokeiluversiossa rajoitettu 16 kertaan.

4.4 GaBi

Saksalaisen thinkstep-yrityksen (ent. PE International) GaBi-ohjelmisto tarjoaa ratkaisun elinkaariarviointiin, elinkaarikustannusten arviointiin (LCC, Life Cycle Costing), elinkaariarviointiin ja sosiaalisten näkökulmien huomiointiin (LCWE, Life Cycle Working Environment) (thinkstep 2017a). GaBi:n tukemiin LCI-tietokantoihin kuuluu Ecoinvent, U.S. LCI sekä kehittäjien oma GaBi Databases, johon on kerätty yli 10 000 LCI-profiilia yli 20 vuoden ajalta. Näiden lisäksi käyttäjän on mahdollista saada tarvitsemansa kustomoitu tietokanta valmistajan tarjoaman data-on-demand -palvelun avulla. (thinkstep 2017b) GaBi:n ohjelmistoversio 5 sisältää seuraavat LCIA-menetelmät: TRACI 2.0, CML (1996, 2001 ja 2007), Ecoindicator (95 ja 99), Ecological Scarcity Method, EDIP, USEtox ja ReCiPe. Näiden lisäksi käyttäjän on mahdollista lisätä itse haluamansa vaikutusarviointimenetelmä ohjelmaan. (Kokko 2012, s. 37)

Kokko (2012) on kirjoittanut opinnäytetyössään GaBi 4 -ohjelmiston käyttökokemuksesta. GaBi 4:ssä tietokantojen käyttö toimii jouhevasti. LCI-data asetetaan suurimmaksi osaksi hakutoiminnon avulla. Ongelmana tietojen haussa on Kokon mukaan se, että tiedoista käy niukasti ilmi se, mitä kukin tieto pitää sisällään. Tämä aiheuttaa laskelmiin epävarmuutta, sillä käyttäjä ei voi olla varma valitsemansa tiedon sisältämisestä välivaiheista, kuten valmistusmenetelmistä tai kuljetustavoista. Vaikutusarvioinnin suorittaminen on GaBi 4:ssä Kokon mukaan yksinkertaista ja nopeaa. Tuotejärjestelmän yksikköprosessit on suositeltavaa mallintaa omina alasuunnitelminaan, jolloin niille voidaan suorittaa yksittäisiä vaikutusarviointeja. Koko tuotejärjestelmän kattava vaikutusarviointi voidaan suorittaa keräämällä alasuunnitelmat samaan suunnitelmaikkunaan. Tulosten esityksessä GaBi 4:ssä on Kokon mukaan toivomisen varaa: tulokset esitetään vain

numeerisena arvona ilman visuaalisia taulukoita tai kuvaajia. Kokon mukaan GaBi vaatii käyttäjältään enemmän elinkaariarvioinnin teorian tuntemusta ja kokemusta laskelmien suorittamisesta kuin muut hänen opinnäytetyössään tarkastelemansa ohjelmistot, SimaPro ja Product Ecology. Lisäksi mallien laatiminen on GaBi:ssa työläämpää kuin edellä mainituissa ohjelmistoissa.

4.5 openLCA

Saksalaisen GreenDeltan pääasiassa kehittämä openLCA on ilmainen avoimen lähdekoodin elinkaariarviointiohjelmisto. Idea hankkeesta syntyi vuonna 2006. GreenDeltan toimiessa hankkeen toimittajana on openLCA herättänyt alusta asti suurta kiinnostusta yleisössä ja sillä on ollut myös laaja ulkoinen testikäyttäjyhteisö. Hanke on saanut rahoitusta erilaisilta teollisuuden ja tutkimuksen projekteilta. (GreenDelta 2017) Ohjelman avoimen lähdekoodin luonne mahdollistaa sen, että käyttäjät voivat maailmanlaajuisesti muokata ohjelmaa yksityiskohtaisia tarpeita varten. Tämä tarjoaa käyttäjille lisää itsenäisyyttä ja joustavuutta. Avoin lähdekoodi edellyttää myös projektilta selkeää dokumentointia sekä lähdekoodin jakamista. (Ciroth 2007)

OpenLCA:han voidaan sisällyttää niin ilmaisia kuin maksullisiakin tietokantoja. Ohjelman metodologinen lähestymistapa on vastaava kuin GaBi:ssa, SimaPro:ssa ja Umberto:ssa, ja samojen tietokantojen ohjelmaan sisällyttäminen on mahdollista. (Peter et al. 2017)

4.6 Umberto NXT LCA

Umberto NXT LCA on ifu Hamburg-yrityksen julkaisema elinkaariarvioinnin suorittamiseen tarkoitettu ohjelmisto. Se sisältääecoinvent ja GaBi Databases –LCI-tietokannat ja useita vaikutusarviointimenetelmiä, joista ohjelmiston kotisivuilla on listattu ReCiPe, Impact 2002+, Eco-Indicator 99, CML, TRACI ja IPCC. Umbertossa käyttäjällä on myös mahdollista luoda oma vaikutusarviointimenetelmänsä. Jos käyttäjällä on jo valmiiksi primääristä LCI-dataa, on se mahdollista tuoda ohjelmaan Excel-tiedostosta. Elinkaariarvioinnin tulokset voidaan tallentaa esimerkiksi Exceliin tai tulostusvalmiiseen kuvamuotoon. (ifu Hamburg 2017)

Umbertolla on mahdollista suorittaa materia- ja energiavirta-analyyseja (MEFA, Material and Energy Flow Analysis), elinkaariarviointeja sekä elinkaarikustannusten arviointeja (LCC, Life Cycle Costing). Tämän ansiosta on mahdollista laskea analysoitavan teknologian tai tuotteen ekotehokkuus. (Czaplicka-Kolarz1 et al. 2014)

Umbertossa materiaali- ja energiavirrat voidaan esittää joko input/output datan listana tai Sankey-diagrammina. Sankey-diagrammin käyttö mahdollistaa systeemin visuaalisen analysoinnin suorittamisen. Mitä paksumpi nuoli on, sitä suurempi on vastaava materiaali- tai energiavirta. (Czaplicka-Kolarz1 et al. 2014)

5 OPENLCA -KOKEILU

Tätä työtä tehdessä kokeiltiin openLCA:n versiota 1.6.3. Tavoitteena oli suorittaa koe-luontoinen elinkaariarviointi teräspultille. Tavoitteena ei ollut saada vertailukelpoisia tuloksia, vaan pääpainona oli ohjelman käyttöön perehtyminen. Ohjelman kotisivuilta ladattiin ilmaiset tietokannat exiobase ja ELCD, sekä openLCA LCIA methods -vaikutusarviointityökalupaketti.

5.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe

Suoritettiin elinkaariarviointi teräspultille. Elinkaariarvioinnin tavoitteena ei ollut saada vertailukelpoisia tuloksia, vaan pääpainona oli perehtyminen openLCA -ohjelmiston käyttöön. Saadut tulokset eivät kuvaa tehtyjen oletusten ja yksinkertaistusten vuoksi millään tavalla todellista tilannetta. Mallinnettavan tuotteen kuvaus on esitetty taulukossa 1. Kuva tuotteesta on esitetty kuvassa 2.

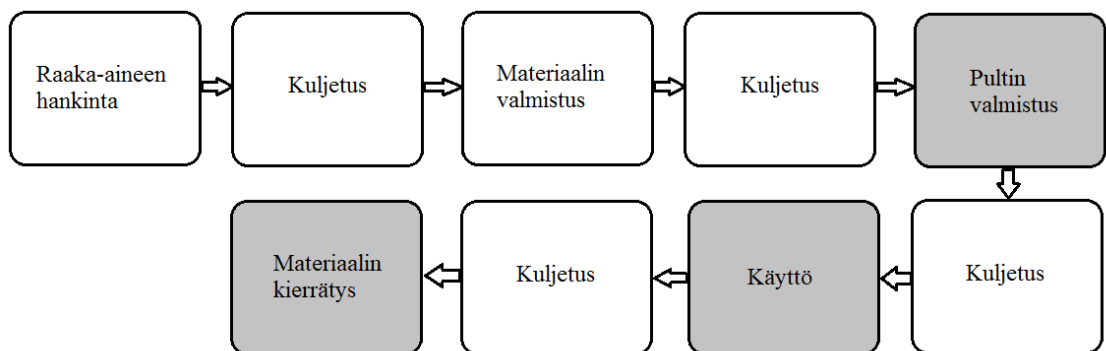
Taulukko 1. Mallinnettavan tuotteen kuvaus.

Tuote	Pultti
Massa	3g
Materiaali	Teräs
Valmistuspaikka	Oulu



Kuva 2. Mallinnettava pultti.

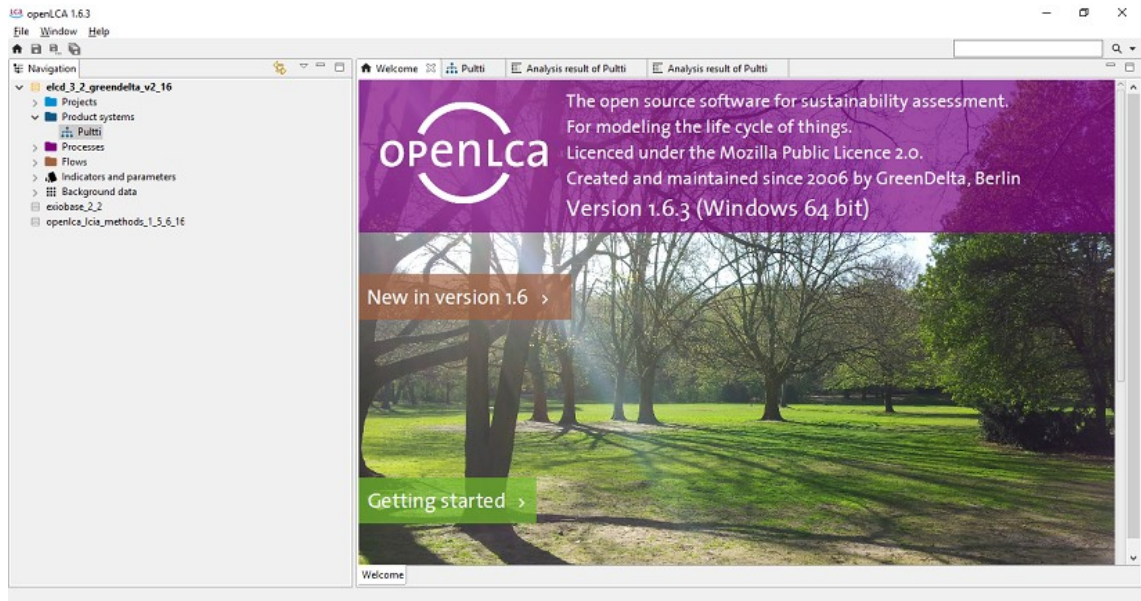
Pultin elinkaari on esitetty kuvassa 3. Oletetaan, että pultin valmistukseen käytettävä teräs valmistetaan SSAB:n Raahen tehtaalla. Oletetaan myös, että raaka-aine kuljetetaan tehtaalle rautateitse 2000 km päästä. Raahesta teräs kuljetetaan Ouluun, jossa pultti valmistetaan. Tämän jälkeen pultti kuljetetaan sen käyttöpaikalle. Huomioitavaa on, että käytön aikana pultti ei aiheuta ympäristövaikutuksia. Käytön jälkeen pultti kuljetetaan kierrätykseen ja oletetaan että pultin elinkaari päättyy tähän.



Kuva 3. Pultin pelkistetty elinkaari. Harmaalla merkityjä kohtia ei pystytty huomioimaan elinkaariarviointia tehdessä.

5.2 Elinkaariarvioinnin suorittaminen

Kuvakaappaus openLCA:n käyttöliittymästä on esitetty kuvassa 4. Seuraavassa on esitetty tekninen kuvaus niistä toimenpiteistä, jotka openLCA-ohjelmistolla tehtiin teräspultin elinkaarta arvioitaessa.



Kuva 4. OpenLCA:n käyttöliittymä.

Luotiin ELCD -tietokantaan uusi Flow ”Pultti”. Asetettiin ”Flow type” -kenttään ”Product” ja ”Reference flow property” -kenttään ”Mass”. Tämän jälkeen luotiin uusi prosessi ”Pultin valmistus” ja valittiin ”Quantitative reference” -kenttään äsken luotu Pultti.

Inputs/Outputs -välilehdellä asetettiin uusi input ”Steel sections”, massa 0,003 kg. Provider -kenttään valittiin ”Steel sections (ILCD), production mix, at plant, blast furnace route / electric arc furnace route, 1 kg – GLO”. Seuraavaksi asetettiin kuljetus: valittiin tietokannasta vaihtoehto ”transport in t*km”. Oletettiin kuljetuksia autolla kertyvän yhteensä 100 km, jolloin t*km -arvoksi saatiin $0,000003 \text{ t} * 100 \text{ km} = 0,0003 \text{ t*km}$. Provider -kenttään valittiin ”Lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 22 t total weight, 17,3t max payload – RER”. Seuraavaksi asetettiin raaka-aineen kuljetus (oletettiin että raaka-aine kuljetetaan junalla 2000 km päästä). Oletetaan, että 3 g terästä vastaa 3 g raaka-

ainetta, jolloin $t \cdot km$ -arvoksi saadaan $0,000003 t * 2000 km = 0,006 t \cdot km$. Asetettiin Provider -kenttään ”Rail transport, technology mix, electricity driven, cargo – RER”.

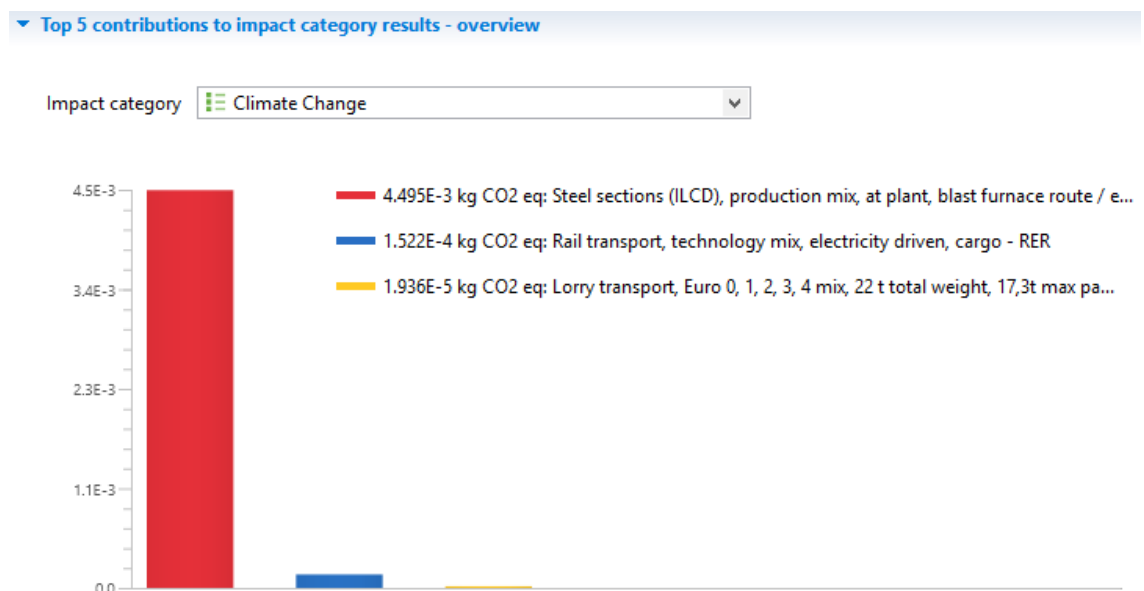
Seuraavaksi luotiin uusi Product System ja asetettiin ”Reference process” -kenttään äsken luotu prosessi Pultin valmistus. Sitten painettiin ”Calculate” -nappia vaikutusarvioinnin suorittamiseksi. ”Allocation” -kenttään valittiin ”None”, LCIA-metodiksi valittiin ReCiPe Midpoint (E) [v1.11, December 2014], ja ”Normalization and weighing set” -kenttä jätettiin tyhjäksi. ”Calculation type” -kentässä oli neljä vaihtoehtoa: ”Quick results”, ”Analysis”, ”Regionalized LCIA” ja ”Monte Carlo Simulation”. Näistä valittiin käyttöön ”Analysis”.

Vaikutusarvioinnin suorittamisen jälkeen avautui ”General information” -sivu, jossa oli esitetty yleiskatsaus elinkaariarvioinnin tuloksista. Sivulla pystyi tarkastelemaan top 5 vaikuttajia materiaalivirtoihin ja vaikutusluokkiin pylväsdiagrammina. Muita sivuja elinkaariarvioinnin tuloksissa oli ”Inventory results”, ”Impact analysis”, ”Process results”, ”Contribution tree”, ”Grouping”, ”Locations” ja ”Sankey diagram”. ”Inventory results” -sivulla oli esitetty kaikki tuotesysteemin syöte- ja tuotevirrat. ”Impact analysis” -sivulla oli esitetty vaikutusarvioinnin tulokset, jotka ovat nähtävillä kuvassa 5. ”Process results” -sivulla pystyi tarkastelemaan eri elinkaaren vaiheiden syöte- ja tuotevirtoja sekä vaikutusarvioinnin tuloksia. ”Contribution tree” -sivulla pystyi vertailemaan eri elinkaaren vaiheiden prosentuaalisia vaikutuksia materiaalivirtoihin ja vaikutuskategorioihin. ”Grouping” -sivulla pystyi ilmeisesti luomaan omia ryhmiä tulosten vertailua varten. ”Locations” -sivu näytti ympäristövaikutuksien sijainnit kartalla. ”Sankey diagram” -sivu oli tehdyissä elinkaariarvioinneissa tyhjä.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
> Particulate matter formation				7.21482E-6	kg PM10 eq
> Photochemical oxidant formation				1.16997E-5	kg NMVOC
> Marine eutrophication				6.15575E-7	kg N eq
> Marine ecotoxicity				0.00073	kg 1,4-DB eq
> Terrestrial ecotoxicity				8.52754E-7	kg 1,4-DB eq
> Natural land transformation				0.00000	m2
> Terrestrial acidification				1.41980E-5	kg SO2 eq
> Freshwater ecotoxicity				1.90038E-7	kg 1,4-DB eq
> Freshwater eutrophication				1.72081E-9	kg P eq
> Ozone depletion				1.45005E-10	kg CFC-11 eq
> Ionising radiation				0.00018	kg U235 eq
> Fossil depletion				0.00132	kg oil eq
> Climate Change				0.00467	kg CO2 eq
> Water depletion				3.25776E-6	m3
> Human toxicity				0.00239	kg 1,4-DB eq
> Agricultural land occupation				0.00000	m2*a
> Urban land occupation				0.00000	m2*a
> Metal depletion				0.00248	kg Fe eq

Kuva 5. ReCiPe Midpoint (E) -vaikutusarviointimenetelmällä saadut tulokset.

Kuvassa 6 on esitetty pultin elinkaaren eri vaiheiden vaikutukset ilmastonmuutokseen.



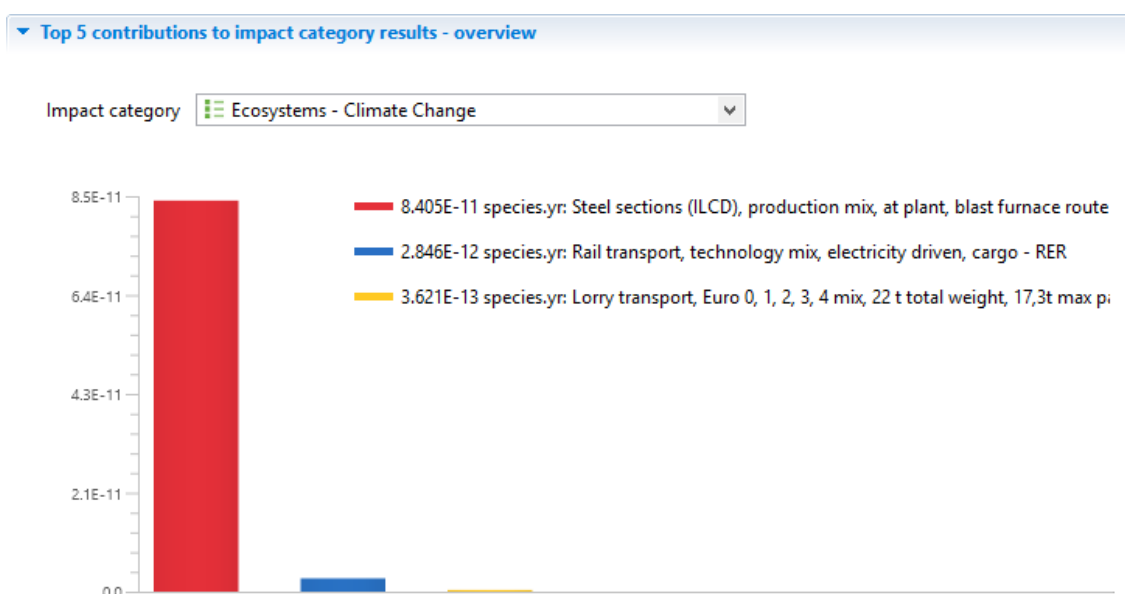
Kuva 6. Pultin elinkaaren eri osien vaikutukset ilmastonmuutokseen CO₂-ekvivalenttikiloina ReCiPe Midpoint (E) -vaikutusarviointimenetelmällä.

Seuraavaksi suoritettiin vaikutusarviointi valitsemalla menetelmäksi ”ReCiPe Endpoint (E) [v1.11, December 2014]”. Tällä kertaa ”Normalization and weighing set” -kenttään

valittiin ”Europe ReCiPe E/A [person/year]”. Vaikutusarvioinnin tulokset on esitetty kuvassa 7. Kuvassa 8 on esitetty vertailun vuoksi tällä LCIA-menetelmällä saadut tulokset vaikutuksista ilmastonmuutokseen.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
> Ecosystems - Natural land transformation				0.00000	species.yr
> Ecosystems - Urban land occupation				0.00000	species.yr
> Human Health - Photochemical oxidant formation				4.56338E-13	DALY
> Human Health - Climate Change				1.63788E-8	DALY
> Resources - Fossil depletion				0.00022	\$
> Resources - Metal depletion				0.00018	\$
> Human Health - Ionising radiation				2.93038E-12	DALY
> Ecosystems - Agricultural land occupation				0.00000	species.yr
> Human Health - Ozone depletion				2.56672E-13	DALY
> Human Health-total				1.99323E-8	DALY
> Ecosystems - Marine ecotoxicity				1.28789E-13	species.yr
> Human Health - Particulate matter formation				1.87585E-9	DALY
> Human Health - Human toxicity				1.67431E-9	DALY
> Resources-total				0.00039	\$
> Ecosystems - Terrestrial acidification				2.01753E-13	species.yr
> Ecosystems - Climate Change				8.72571E-11	species.yr
> Ecosystems-total				8.77165E-11	species.yr
> Ecosystems - Freshwater eutrophication				7.66541E-17	species.yr
> Ecosystems - Freshwater ecotoxicity				1.19947E-16	species.yr
> Ecosystems - Terrestrial ecotoxicity				1.28438E-13	species.yr

Kuva 7. Vaikutusarviointitulokset käyttäen ReCiPe Endpoint (E) -menetelmää.



Kuva 8. Pultin elinkaaren eri osien vaikutukset ilmastonmuutokseen ReCiPe Endpoint (E) -menetelmällä. Valittavissa olevia loppupisteitä oli kolme: ”Ecosystems”, ”Human health” ja ”Resources”.

6 POHDINTAA OPENLCA-OHJELMISTON KÄYTÖSTÄ

OpenLCA:n asennus onnistui vaivattomasti. Ohjelman käynnistyessä aloitusnäkyssä oli linkki openLCA Nexus -nettisivulle, josta sai ladattua tietokannat ohjelmaan. Aloitusnäkyssä oli myös linkki videoon, jossa opastettiin tietokantojen tuominen ohjelmaan. Tämän jälkeen käytön aloitus vaikeutui, sillä suurin osa toiminnoista vaikutti olevan hiiren toisen painikkeen takana, mikä vaikeutti asioiden hahmottamista. Tässä vaiheessa opastusvideot tulivat jälleen apuun ja elinkaariarvioinnin suorittamisessa päästiin alkuun.

Tietokantojen sisältämän LCI-datan esittämisessä olisi ohjelmassa parantamisen varaa: yksittäisistä inputeista ei esitetty nimen lisäksi mitään tietoa. Tämän vuoksi joutui usein arvailemaan, mitä kukin data pitää sisällään. Tästä johtuen mm. suoritettussa elinkaariarvioinnissa tehty valinta ”Steel sections” voidaan kyseenalaistaa, sillä ei voida sanoa varmasti kuvaako kyseinen valinta parhaiten pultin valmistuksessa käytettyä terästä.

LCIA-menetelmien tuomisessa ohjelmaan oli aluksi vaikeuksia. Ladattu LCIA-menetelmäpaketti näyttäytyi ohjelmassa kuten LCI-tietokannat, eikä sitä päästy hyödyntämään LCIA-vaiheen laskennassa. Asiasta kysyttiin apua openLCA:n virallisella keskustelufoorumilla (<https://forum.openlca.org/>). Foorumilla kysymykseen vastattiin varsin nopeasti ja apu ongelmaan löytyi. Vaikutusarviointimenetelmät piti sisällyttää LCI-tietokantaan, jolloin menetelmien käyttö LCIA-vaiheen laskennassa mahdollistui.

Elinkaariarvioinnin tulokset on esitetty openLCA:ssa varsin selkeästi. Tuloksia pääsee tarkastelemaan niin pylväsdiagrammeina kuin prosenttiosuuksinakin. Tulosten vieminen ohjelmasta puuttui sen sijaan kokonaan. Elinkaariarvioinnin tulosten ”General information” -sivulla oli ”Export to Excel” -vaihtoehto. Excelliin vietiin kuitenkin vain suoritettun elinkaariarvioinnin tiedot, kuten käytetty vaikutusarviointimenetelmä ja mallinnettu tuotesysteemi, muttei varsinaisia arvioinnin tuloksia. Vientimahdollisuuden puuttuessa tulokset tässä työssä tehdystä elinkaariarvioinnista tallennettiin ”Print screen” -funktiota käyttäen. Tulosten vienti Excelliin vaatii vielä jatkoselvitystyötä ohjelmiston käytössä.

Tehdyn elinkaariarvioinnin tavoitteena ei ollut saada vertailukelpoisia tuloksia, vaan tutustua openLCA:n käyttöön. Tämän vuoksi elinkaariarvioinnissa tehtiin oletuksia, jotka eivät todellisuudessa pidä paikkaansa. Esimerkiksi raaka-aineen kuljetusta asetettaessa oletettiin, että 3 g terästä valmistukseen kuluu 3 g raaka-ainetta, vaikka näin ei todellisuudessa ole. Lisäksi pultin valmistusta ei pystytty huomioimaan elinkaariarvioinnissa ollenkaan.

7 YHTEENVETO

Elinkaariarviointi on viime vuosikymmeninä vakiinnuttanut paikkansa yhtenä kestävyuden arvioinnin lukuisista työkaluista. Sen tärkeys tulee yhä korostumaan tulevaisuudessa, kun tuotteiden ympäristömerkinnät lisääntyvät ja valmistajat kiinnittävät yhä enemmän huomiota tuotteiden ja prosessien ympäristösuorituskyvyn parantamiseen.

Tietokoneiden kehittyminen on 1990-luvulta lähtien mahdollistanut elinkaariarviointiohjelmistojen kehittämisen. Ohjelmistot helpottavat ja nopeuttavat elinkaariarvioinnin suorittamista. Suurien datamäärien käsittely on ohjelmistoissa helpompaa ja arvioinnin sisältämää laskentaa ei tarvitse enää suorittaa käsin. Tämä mahdollistaa elinkaariarvioinnin suorittamisen ilman suurempaa asiantuntemusta ja kokemusta laskelmien suorittamisesta.

Ohjelmistotarjonta on alati kehittyvää ja ohjelmistoja syntyy ja häviää koko ajan. Valtaosa ohjelmistoista on maksullisia ja kykenee täyden elinkaariarvioinnin suorittamiseen. Ohjelmistoa valittaessa tärkeimpiä tarkasteltavia ominaisuuksia ovat ohjelmiston tukevat LCI-tietokannat sekä LCIA-menetelmät. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat käyttöliittymän selkeys, virheiden jäljitettävyyden laskentamoduulista sekä tietokantojen tiedon laatu.

Saksalaisen GreenDeltan kehittämä ilmainen elinkaariarviointiohjelmisto openLCA tarjoaa käyttäjälleen mahdollisuuden täyden elinkaariarvioinnin suorittamiseen. OpenLCA:ssa on mahdollista käyttää niin ilmaisia kuin maksullisiakin LCI-tietokantoja. Ohjelmiston käytön aloittamista on helpotettu opastusvideoiden avulla ja ongelmatilanteissa käyttäjä voi kääntyä ohjelmiston keskustelufoorumin puoleen. Tässä tutkimuksessa tehty kokeellinen elinkaariarviointi openLCA-ohjelmistolla osoitti, että openLCA kykenee hyvin täyden elinkaariarvioinnin suorittamiseen. OpenLCA:ssa havaittiin olevan parannettavaa tietokantojen tiedon esittämisessä sekä tulosten tallentamismahdollisuuksissa.

LÄHDELUETTELO

Antikainen, R. (toim.), 2010. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010: Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet [verkkodokumentti]. SYKE. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/39822> [viitattu 28.3.2017]. 83 s.

Ciroth, A., 2007. ICT for environment in life cycle applications openLCA — A new open source software for life cycle assessment [verkkodokumentti]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 12:209, S. 209-210. Saatavissa: <https://link-springer-com.pc124152.oulu.fi:9443/article/10.1065/lca2007.06.337> [viitattu 26.10.2017]

Curran, M. A., 1996. Environmental life cycle assessment. McGraw-Hill. ISBN 0-07-015063-X

Czaplicka-Kolarz1, K., Korol, J., Ludwik-Pardała, M. & Ponikiewska, K., 2014. MATERIAL AND ENERGY FLOW ANALYSIS (MEFA) OF THE UNCONVENTIONAL METHOD OF ELECTRICITY PRODUCTION BASED ON UNDERGROUND COAL GASIFICATION [verkkodokumentti]. Journal of Sustainable Mining, 13 (3), S. 41-47. Saatavissa: https://ac.els-cdn.com/S2300396015300240/1-s2.0-S2300396015300240-main.pdf?_tid=4274917a-b643-11e7-b680-00000aacb360&acdnat=1508578745_ddc703504007e6a0cd59bd37e626f95d [viitattu 21.10.2017]

EC, 2010. ILCD Handbook: Framework and requirements for Life Cycle Impact Assessment models and indicators [verkkodokumentti]. Luxemburg: Publications Office of the European Union. Saatavissa: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Framework-Requirements-ONLINE-March-2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf> [viitattu 29.3.2017]. 116 s.

EC, 2017. EPLCA, About us [verkkodokumentti]. Euroopan komissio. Saatavissa: http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=1058 [viitattu 6.4.2017].

GreenDelta, 2017. Why we started the development of openLCA [verkkodokumentti]. Berliini: GreenDelta GmbH. Saatavissa: <http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/software/gabi-software/gabi/> [viitattu 22.5.2017].

ifu Hamburg, 2017. Improve your environmental balance with our LCA software [verkkodokumentti]. Hampuri: ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH. Saatavissa: <https://www.ifu.com/en/umberto/environmental-management/umberto-nxt-lca/> [viitattu 23.5.2017].

Jensen, A. A., Hoffman, L., Møller, B. T., Schmidt, A., Christiansen, K., Elkington, J. & van Dijk, F., 1997. Environmental Issues Series, no. 6: Life Cycle Assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 112 s. ISBN 92-9167-079-0

Kokko, J., 2012. Hiilijalanjälkiselvitys ja siihen käytettävän ohjelmiston valinta [verkkodokumentti]. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://theseus32-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/42330/Kokko_Jussi.pdf?sequence=1 [viitattu 11.5.2017]. 84 s.

Peter, C., Helming, K. & Nendel, C., 2017. Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices? – A review of carbon footprint calculators [verkkodokumentti]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, S. 461-476. Saatavissa: https://ac.els-cdn.com/S1364032116305536/1-s2.0-S1364032116305536-main.pdf?_tid=fd86f1a2-b656-11e7-8a42-00000aacb35e&acdnat=1508587219_2970d66eb11d9c9c73515fcbf9b7251b [viitattu 21.10.2017]

PRé Consultants, 2017. Sustainability software for fact-based decision making [verkkodokumentti]. PRé Consultants BV. Saatavissa: <https://www.pre-sustainability.com/simapro> [viitattu 11.5.2017].

Scientific Applications International Corporation (SAIC), 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice [verkkodokumentti]. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency. Saatavissa: <https://19-659-fall-2011.wiki.uml.edu/file/view/Life+Cycle+Assessment+Principles+and+Practice.pdf/249656154/Life+Cycle+Assessment+Principles+and+Practice.pdf> [viitattu 3.4.2017]. 80 s.

SFS-EN ISO 14040, 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 2. painos. Suomen standardisoimisliitto SFS: 1 + 48 s.

Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K. & Dikshit, A. K., 2009. An overview of sustainability assessment methodologies [verkkodokumentti]. *Ecological indicators* 9 (2009), S. 189-212. Saatavissa: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X11000240 [viitattu 11.11.2017] 23 s.

thinkstep, 2017a. Software, GaBi [verkkodokumentti]. Leinfelden-Echterdingen: thinkstep. Saatavissa: <http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/software/gabi-software/gabi/> [viitattu 19.5.2017].

thinkstep, 2017b. Software, Databases [verkkodokumentti]. Leinfelden-Echterdingen: thinkstep. Saatavissa: <http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/databases/> [viitattu 19.5.2017].

Unger, N., Beigl, P., & Wassermann, G., 2004. General requirements for LCA software tools [verkkodokumentti]. Vienna: Institute of Waste Management, BOKU–University of Natural Resources and Applied Life Sciences. Saatavissa: www.iemss.org/iemss2004/pdf/infotech/ungegene.pdf [viitattu 27.3.2017]. 6 s.

Viinamäki, M., 2014. Elinkaariarviointiin tarkoitettun tietokoneohjelman hankintaan liittyvistä seikoista [verkkodokumentti]. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://theseus32-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/79669/final.pdf?sequence=1> [viitattu 22.3.2017]. 37 s.