

Opinnäytetyö (AMK)

Kestävän kehityksen koulutusohjelma

2014

Mikko Viinamäki

ELINKAARIARVIOINTIIN TARKOITETUN TIETOKONE- OHJELMAN HANKKIMISEEN LIITTYVISTÄ SEIKOISTA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Kestävä kehitys

2014 | 37+5 sivua

Ohjaajat: Sirpa Halonen ja Anna Kangas

Mikko Viinamäki

ELINKAARIARVIOINTIIN TARKOITETUN TIETOKONEOHJELMAN HANKKIMISEEN LIITTYVISTÄ SEIKOISTA

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tuottaa tietoa Turun ammattikorkeakoulun kestävä kehityksen koulutusohjelmalle elinkaariarviointiin tarkoitettua tietokoneohjelman valitsemiseksi.

Elinkaariarviointi voi osaltaan auttaa hillitsemään ilmastonmuutosta ja muita ympäristöuhkia, joita jouduttavat maapallon alati kasvava väkiluku ja energiankulutus. Se on menetelmä, joka pyrkii tuottamaan holistisesti tietoa jonkin tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksista. Elinkaariarviointi on ISO-standardoitu prosessi, jossa ensin päätetään tarkastelun rajaus, selvitetään tarkasteltavan asian sisältämät osavirratt ja lopuksi arvioidaan niiden ympäristövaikutuksia sekä arvotetaan tehdyt havainnot. Menetelmä on monivaiheinen ja siihen sisältyy suurien tietomäärien käsittelyä, minkä takia tietokoneohjelma helpottaa sen suorittamista.

Elinkaariarviointiin soveltuvia tietokoneohjelmia on lukuisia, uusia tulee koko ajan ja vanhoja katoaa. Nämä ohjelmat ovat nopeassa kehityksessä, osittain koska itse elinkaariarvioinnin teoriakin on vielä muutoksessa.

Työssä pyrittiin selvittämään mitkä ovat tällaisten ohjelmien avainominaisuudet sekä mitä ohjelmia muut toimijat Suomessa käyttävät ja perehtyä niihin hieman tarkemmin. Muiden toimijoiden käyttämiä ohjelmia etsittiin sähköpostikyselyllä useisiin opetusinstituutioihin, tutkimuslaitoksiin ja yksityisyrityksiin Suomessa. Koska tutkimus on kestävä kehityksen näkökulmasta tehty, tarkastellaan ohjelmistohankintoja teknisten ominaisuuksien lisäksi myös eettiseltä näkökannalta, tässä työssä lisensöinnin osalta.

Tutkimuksessa ohjelmien tärkeimmiksi ominaisuuksiksi nousivat elinkaariarvioinnin inventaariotietokantojen (LCI) sekä ohjelmien sisältämien arviointimenetelmien (LCIA) tuki. Nämä ovat missä tahansa elinkaariarvioinnissa tekijät, jotka määräävät lopputuloksen. Ohjelmalicensöinnin tarkastelu nosti esille vapaiden ohjelmien liikkeen, jonka merkitys nopeasti tietokoneistuvassa yhteiskunnassa kasvaa entisestään.

ASIASANAT:

elinkaarianalyysi, tietokoneohjelmat, kestävä kehitys, tuotantotalous

Sustainable development

2014 | 37+5 pages

Instructors: Sirpa Halonen and Anna Kangas

Mikko Viinamäki

A STUDY ON THE ASPECTS RELATED TO ACQUIRING A SOFTWARE APPLICATION FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT

The purpose of this study was to produce information the Degree Programme of Sustainable Development at Turku University of Applied Sciences for selecting a software application for life cycle assessment (LCA).

LCA can for its part help mitigate climate change and other threats to the environment which are aggravated by the constantly increasing global population and energy use. It is a method to holistically generate information about environmental impacts of the examined product or service. LCA is an ISO standardized process where first system boundaries are defined and compound flows are listed. Then their environmental impacts are estimated and all the findings are valuated. The process contains multiple stages and requires the handling of large amounts of data, which makes a software solution a good fit.

There are many software applications available; new ones appear and old ones disappear. These programs are in rapid development, partly because the LCA theory itself is still developing.

The aim of this was to determine the key features of the applications and which applications were used by other parties. Additionally the applications were studied in more detail. The applications used by other parties were studied by using a query by email to several teaching institutions, research facilities and private enterprises in Finland. As this study has the viewpoint of sustainable development, software procurement was examined from an ethical point of view in addition to technical abilities. More specifically this was related to licensing.

The results highlight the support for life cycle inventory (LCI) databases and impact assessment (LCIA) methods. These are the factors in any LCA that decide the outcome. As to licensing it seems probable that the importance of the free software movement will further increase as society becomes more computerized.

KEYWORDS:

life cycle assessment, life cycle analysis, software, sustainable development, industrial engineering

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	6
2 TARVE TEHDÄ VÄHEMMÄSTÄ ENEMMÄN	7
2.1 Väestönkasvu ja teollistuminen	7
2.2 Energiankulutuksen kasvu	8
2.3 Ilmastonmuutos	9
3 KESTÄVÄN KEHITYKSEN RATKAISUJA ETSIMÄSSÄ	11
3.1 Historiaa ja muita työkaluja	11
3.2 Elinkaariarviointi vastaa osaltaan haasteeseen	12
3.3 Tietokoneohjelmat elinkaariarvioinnin työkaluina	15
4 TIETOKONEOHJELMIEN EETTISET ULOTTUVUUDET	18
4.1 Tietokoneiden lyhyt historia	18
4.2 Tietokoneiden yhteiskunnallisesta merkityksestä	18
4.3 Tietokoneohjelmien laillinen säätely	19
4.4 Vapaat ohjelmat	23
5 TYÖN SUORITUS	26
5.1 Toimeksianto	26
5.2 Käytetyt menetelmät	26
6 TULOKSET	28
7 LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI	34
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
LÄHTEET	37

LIITTEET

Liite 1. Tahot joihin otin yhteyttä käytetyimpien ohjelmien selvittämiseksi
Liite 2. Luettelo elinkaariarviointiohjelmiä

Liite 3. Luettelo inventaarioanalyysitietokantoja (LCI)
Liite 4. Luettelo vaikutustenarviointimenetelmiä (LCIA)

TAULUKOT

TAULUKKO 1. KOLMEN OHJELMAN OMINAISUUKSIA.....30

KÄYTETYT LYHENTEET

DfE	Design for Environment, tuotesuunnittelua ympäristöystävällisistä lähtökohdista
EIO-LCA	Economic Input Output LCA, taloudellinen, ei-prosessipohjainen elinkaariarviointitapa
ELCD	European reference Life Cycle Database, eurooppalainen tietokanta inventaarioanalyysiin
EPD	Environmental Product Declarations, jäsenelty tapa esittää tuotteen ympäristövaikutuksia
IEA	International Energy Agency, kansainvälinen energiajärjestö
ILCD	International Reference Life Cycle Data System, eurooppalainen käsikirja ja tietokanta inventaarioanalyysiin
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, kansainvälinen ilmastomuutospaneeli
KPI	Key Performance Indicators, jonkin prosessin seuraamisessa käytettävät avainluvut
LCA	Life Cycle Assessment/Analysis, elinkaariarviointi
LCC	Life Cycle Costing, taloudellinen elinkaariarviointi
LCI	Life Cycle Inventory, inventaarioanalyysiosa elinkaariarvioinnissa
LCIA	Life Cycle Impact Analysis, vaikutusten arviointiosa elinkaariarvioinnissa
Tike	maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus
toe	öljyekvivalenttitonni, energiamäärä joka vapautuu kun poltetaan 1000 kiloa raakaöljyä
US EPA	United States Environmental Protection Agency, Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto
US LCI	U.S. Life Cycle Inventory Database, Yhdysvaltojen elinkaariarviointitietokanta
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
WBCSD	World Business Council on Sustainable Development, noin 200 kansainvälisen yrityksen toimitusjohtajien yhdistys
YK	Yhdistyneet kansakunnat

1 JOHDANTO

YK arvioi, että maailman väestö on tällä hetkellä 7.2 miljardia ja kasvaa skenaariosta riippuen 8.3-10.9 miljardiin vuonna 2050 (United Nations 2013, xv). Kansainvälinen energiajärjestö (IEA) arvioi maailman kokonaisenergiankulutuksen vuonna 2011 olevan noin 9 Gtoe (IEA 2013, 28). IAE arvioi kokonaisenergiankulutuksen kasvavan vuoteen 2035 mennessä skenaariosta riippuen lukuun 10-12 Gtoe (IEA 2013, 46). Ilmaston lämpeneminen on hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) mukaan yksiselitteistä ja 1950-luvulta asti monet havaituista muutoksista ovat suurimpia vuosikymmenistä vuosituhansiin (Stocker ym. 2013, 2).

Globaalit haasteet kovenevat ja tarvitaan uusia ratkaisuja vastaamaan niihin. Luonnonvaroja tulisi käyttää järkevämmiin ja säästeliäämmiin, tehokkaammin. Vähemmästä olisi saatava enemmän tai kulutusta olisi hillittävä. Jotta voi parantaa ensin täytyy mitata. Eräs ehdotettu ratkaisu on tuotteen tai palvelun kulutuksen ja tuotannon mahdollisimman kokonaisvaltainen tarkastelu, elinkaarianalyysi. Tässä työssä pyritään vertailemaan elinkaariarviointiin soveltuvien tietokoneohjelmien ominaisuuksia.

Yhteiskunta tietokoneistuu nopeasti. Nykyään jokainen meistä omistaa tietokoneen, monet useamman kuin yhden. Käytämme tietokonetta töissä elantomme ansaitsemiseen ja kotona se viihdyttää meitä. Kaikki tietokoneet koostuvat laitteistosta ja ohjelmistosta. Laitteisto määrittää tietokoneen kykyjen teoreettiset maksimirajat, joiden sisällä ohjelmisto operoi. Ohjelmiston hyödyllisyys riippuu sen teknisistä ominaisuuksista, jotka ovat monimutkaisia ja ala- ja ohjelmistokohtaisia ja siten hankalasti vertailtavissa, sekä ohjelmiston valmistajan käyttäjälle myöntämästä ohjelman käyttöoikeudesta eli lisenssistä, jotka suurilta linjoiltaan ovat yksinkertaisia ja kategorisoitavissa. Tässä työssä tarkastellaan ohjelmistojen lisensöintimalleja kestävän kehityksen näkökulmasta.

2 TARVE TEHDÄ VÄHEMMÄSTÄ ENEMMÄN

2.1 Väestönkasvu ja teollistuminen

Maailman väkiluku vuonna 1950 oli YK:n arviolta noin 2.5 miljardia. Määrä tuplaantui 5 miljardiin noin vuoteen 1988 mennessä. Nyt vuonna 2014 maailmassa on 7.2 miljardia ihmistä. Vaikka väestönkasvu on jo hidastumassa, optimistisimmankin skenaarion mukaan väestö tulee kasvamaan vielä vuoteen 2050 asti. (United Nations 2013, xv.)

Yhdysvaltain väestölaskentavirasto arvioi maailman 2013 väkiluvuksi noin 7.1 miljardia. Sen 2050 vuoteen ulottuvissa kasvuennusteissa ei näy loppua väestönkasvulle. (US Census Bureau 2012.)

Lähes kaikki väestönkasvu vuoteen 2100 mennessä sijoittuu kehitysmaihin (keskikasvuennusteen mukaan näiden populaatio kasvaa 40%), voimakkaita kasvu on näistä kaikkein vähiten kehittyneissä maissa (100%). Kehittyneiden maiden väestö toisaalta kasvaa vain aavistuksen (2%) ja laskisi ilman migraatiota kehitysmaista. (United Nations 2013, xvi.)

Vuonna 2013 maailman väestöstä 37% elää Kiinassa ja Intiassa (United Nations 2013, 3). Kiinalaisista 350 miljoonaa sai maan virallisen tilaston mukaan elantonsa maanviljelyksestä vuonna 2006 (National Bureau of Statistics of China 2013a). Maassa oli tuolloin noin 1.3 miljardia asukasta (National Bureau of Statistics of China 2013b). Näin ollen viljelijöiden osuus Kiinan väestöstä on noin 27%. Intiassa sama luku vuonna 2013 maan virallisten lähteiden mukaan on 52% (India Brand Equity Foundation, 2013). Maailman väestöstä todennäköisesti yli 80% työskenteli maataloudessa vuonna 1800. Luku oli 60% luokkaa vuonna 1950 ja putoaa nopeasti. (Cipolla 1978, 31.) Vertailun vuoksi Suomessa työskenteli maatalous- ja puutarha-alalla 125 000 henkeä vuonna 2010 (Tike 2011). Vuonna 2010 Suomen väkiluku oli noin 5,4 miljoonaa (Tilastokeskus 2011). Suomen maatalousväestön osuudeksi tulee siis noin 2%. OECD-maiden keskiarvo vuonna 2005 oli 5.6% (OECD 2010, 7).

Kun nämä kehittyvät maat teollistuvat, niiden materiaaliset tarpeet kasvavat huomattavasti, ehkä tärkeimpänä ja perustavaa laatua olevimpana niiden energiantarve. Kaikki toiminnot tarvitsevat energiaa, yksikään mylly ei pyöri ilman energiaa, myöskään yksikään ihminen, eläin tai kasvi ei voi toimia ilman energiaa, sillä fysiikan lait kieltävät ikiliikkujat.

Energia on yksi teollistumisen perusedellytyksistä. Euroopassa Iso-Britanniassa 1700-luvulla alkanut teollinen vallankumous muutti agraariyhteiskunnan teolliseksi järjestelmäksi. Energianlähteistä tuolloin käytössä olivat vesivoima ja tuulivoima sekä hiilen polttaminen, jonka merkitys kasvoi höyrykoneen keksimisen myötä. Hiilivoimalla toimiva höyrykone mahdollisti suuret ja tiiviit teolliset yksiköt eikä se ollut riippuvainen sään oikuista. (Landes 1970, 95-98.) Teollista vallankumousta voidaan pitää prosessina, jossa ihminen alkoi suuressa mittakaavassa käyttää uusia energianlähteitä (Cipolla 1978, 54).

Ihminen tyydyttää tarpeitaan mitä moninaisimmilla tavaroilla, eräs tapa pitää kirjaa näistä on laskea niiden energiasisältöjä (Cipolla 1978, 35-36).

2.2 Energiankulutuksen kasvu

Maailman kokonaisenergiankulutus on kansainvälisen energiajärjestön (IEA) mukaan kasvanut vuoden 1973 noin 5 Gtoe:sta vuoden 2011 noin 9 Gtoe:in (IEA 2013, 28). Energiankulutuksen on projisoitu jatkavan kasvuaan saavuttaen vuonna 2035 skenaariosta riippuen luvun 10-12 Gtoe (IEA 2013, 46).

IEA arvioi, että maailmassa olisi vuonna 2012 ollut 1.3 miljardia ihmistä ilman sähköä. Luku on väestönkasvusta huolimatta 50 miljoonaa pienempi kuin edellisenä vuonna. (IEA 2012, 529.) Jokainen ymmärtää sähkön merkityksen nyky-yhteiskunnalle.

Jokainen ihminen tarvitsee keskimäärin noin 2000 kaloria vuorokaudessa selviytyäkseen (Cottrell 1955, viii). On arvioitu että yhden kalorin ruokaa tuottamiseen kuluu yli 7 kaloria fossiilisia polttoaineita (Heller & Keoleian 2000, 46).

Maailman kaupallisen energian kulutus kuusinkertaistui 1860-1900 ja vielä kolminkertaistui 1900-1950 (Landes 1970, 98).

Merkittävin energianlähde on uusiutumattomat fossiiliset polttoaineet (lähinnä kivihilli, turve, öljy, kaasu). Näiden osuus maailman kokonaisenergiankulutuksesta vuonna 2011 oli peräti 66% (IEA 2013, 28). Fossiilisten polttoaineiden syntyminen kesti miljoonia vuosia. Vuonna 1978 ihmiskunta käytti yhdessä vuodessa enemmän hiiltä kuin sitä on syntynyt sadassa vuosisadassa. (Cipolla 1978, 62.)

Fossiilisten polttoaineiden riittävydestä on usein esitetty huolestuneitakin arvioita. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että ihmistoiminnan aiheuttamat päästöt uhkaavat meitä ilmastonmuutoksen muodossa ennen luonnonvarojen loppumista. Energiantuotanto aiheuttaa suuret määrät mm. hiilidioksidipäästöjä, jotka ovat IPCC:n mukaan suurin yksittäinen ilmastonmuutoksen aiheuttaja (Stocker ym. 2013, 11). Kansainvälinen energiajärjestö arvioi, että fossiilisten polttoaineiden polttamisesta johtuvat hiilidioksidipäästöt ovat tuplaantuneet vuoden 1973 noin 16 gigatonnista vuoteen 2011 mennessä 31 gigatonniin (IEA 2013, 44).

2.3 Ilmastonmuutos

Uusin kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) raportti toteaa, että ihmistoiminnan vaikutus on havaittu ilmaston ja merien lämpenemisessä, globaalien vesikierron muutoksissa, lumen ja jään vähenemisessä sekä joissain sään ääri-ilmiöissä. Tästä on löydetty uusia todisteita edellisen IPCC:n raportin jälkeen. Uusimman raportin mukaan ihmistoiminnan vaikutus on erittäin todennäköisesti ollut tärkein syy näihin muutoksiin. (Stocker ym. 2013, 15.)

Ilmastonmuutoksen aiheuttamia uhkia ovat IPCC:n mukaan eliölajien valtavan määrän lisääntynyt riski kuolla sukupuuttoon, satojen miljoonien ihmisten altistuminen väliaikaiselle vedenpuutteelle, pienviljelijöiden työn vaikeutuminen, lämpöaallot, tulvat, kuivuus, aliravitsemus ja taudit. Näiden riskien toteutuminen ja voimakkuus riippuu ilmastonmuutokseen sopeutumisen määrästä,

lämpötilojen muutoksen nopeudesta ja sosioekonomisista tekijöistä. (Parry ym. 2007.)

Vuonna 2006 julkaistu Sternin raportti ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista toteaa hyvin yksiselitteisesti, että taloudellisesti selvästi kannattavin vaihtoehto on nopea ja voimakas reagoiminen ilmastonmuutoksen estämiseksi. Sen mukaan ilmastonmuutoksen torjumiseen riittäisi vuosittain 1% globaalista bruttokansantuotteesta, kun taas reagoimatta jättäminen voisi johtaa 5-20% BKT:n menetykseen. (Stern 2006, vi.)

3 KESTÄVÄN KEHITYKSEN RATKAISUJA ETSIMÄSSÄ

3.1 Historiaa ja muita työkaluja

Osana ratkaisua edellä esitetyihin globaaleihin haasteisiin YK:n World Commission on Environment and Development (Bruntlandin komissio) julkaisi 1987 dokumentin *Our Common Future* (Bruntlandin raportti), joka sisälsi kestävän kehityksen määritelmän: kehitystä, joka tyydyttää tarpeemme tällä hetkellä, mutta joka ei vaaranna tulevien polvien mahdollisuuksia tyydyttää omat tarpeensa (WCED 1987, 43).

Kestävän kehityksen suuria suuntaviivoja seuraten on kehitetty lukuisia mittareita, työkaluja ja menetelmiä, joilla voidaan pyrkiä saamaan irti enemmän vähemmästä. Näitä ovat muun muassa *ekotehokkuuden* käsite, erilaiset *ekologisuuden arvioinnit*, *ympäristövaikutusten arviointimenettely*, *ecodesign* ja *design for the environment*, *ekologinen-*, *hiili-* ja *vesijalanjälki*. *Ekotehokkuus* on World Business Council for Sustainable Developmentin 1992 lanseeraama käsite, jossa mitataan taloudellisen ja ekologisen suorituskyvyn suhdetta. Se pyrkii tekemään kestävydestä liiketaloudellisen haasteen (WBCSD 2000, 9). Suomalainen *ympäristövaikutusten arviointimenettely* on taas ympäristöluvan osana lakisääteinen arviointi- ja kuulemiskäytäntö, joka kaikkien hankkeiden, jotka aiheuttavat ympäristön pilaantumisen vaaran, tulee läpikäydä (Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86). *Ecodesign* ja *design for environment* kuuluvat puolestaan tuotesuunnittelun ympäristöystävälliseen haaraan, termit ovat päällekkäisiä eikä niillä ole tarkkarajaisia määritelmiä (Niemelä 2010, 99-101). Euroopan Unionilla on vuodesta 2005 *ecodesign-direktiivi*, joka säätelee laitteiden virrankulutusta (Directive 2009/125/EC). Yhdysvalloissa on vuodesta 1992 *design for environment* -ohjelma, joka pyrkii ohjaamaan ympäristöystävällisten kemikaalien käyttöön (US EPA 2013). *Ekologinen jalanjälki* on 1992 esitetty käsite, joka mittaa kuinka suuren pinta-alan kaikki ihmisen toiminnot jollain alueella todella tarvitsevat. Siihen sisältyy

laskennallisesti muun muassa rakennettu ympäristö, raaka-aineiden hankinta ja jätteiden hävitys. (Global Footprint Network 2013.) Muita ympäristönsuojelun työkaluja ovat muun muassa EU-komission *Eco-Management and Audit Scheme* (EMAS), *Integrated Product Policy* (IPP) sekä erilaiset ympäristömerkit. Penttinen on väitöskirjassaan kuvannut *ekotehokkuutta*, *design for environmenttia*, *ecodesigniä*, *integrated product policyä* ja monia muita vastaavia menetelmiä (Penttinen 2010, 49-88).

Monien indikaattorien ongelma on se, että ne mittaavat vain yhtä tai muutamaa suuretta, joka ei anna kattavaa kuvaa tilanteesta. Tällaista suppeaa indikaattoria käyttämällä saattaa tuotteen tai palvelun parantaminen johtaa vain siihen, että se aiheuttaa erilaisia päästöjä, joita kyseinen indikaattori ei ota huomioon. Elinkaariarviointi puolestaan on holistinen menetelmä, joka osaltaan pyrkii välttämään tällaiset sudenkuopat. (Sokka 2011, 14, Antikainen & Seppälä 2012, 10 ja 56.)

Sveitsin valtion ympäristöviraston julkaisussa vertailtiin graafisesti muutamia elinkaariarvioinnin arviointimenetelmiä ja joitain muita menetelmiä. Esityksestä näkee helposti niiden suhteellisen kattavuuden. (Jungbluth ym. 2011, 45.) FINLCA-hanke julkaisi havainnollisen taulukon elinkaariarvioinnin ja vastaavien menetelmien soveltuvuudesta tuotesuunnittelun ja tuotantoprosessin eri vaiheisiin (Antikainen 2010, 75). Molemmista tuloksista näkyy, että elinkaariarvioinnin menetelmät ovat kattavimpia.

3.2 Elinkaariarviointi vastaa osaltaan haasteeseen

Elinkaariarviointi (life cycle assessment, LCA) on standardoitu laskenta- ja arvotusmenetelmä ISO 14 040 -sarjassa, joka ottaa huomioon tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikana tapahtuvan ympäristön kuormituksen, raaka-aineista lähtien aina kierrätykseen/hävitykseen asti, mukaan lukien käytön ja kuljetukset. ISO-standardi on julkinen, mutta maksullinen. Elinkaariarviointi jakautuu neljään vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään tehtävän arvioinnin tarkoitus ja tarkastelun rajaus sekä käytettävä funktionaalinen yksikkö. Toisessa vaiheessa, jota kutsutaan *inventaarioksi* (life cycle inventory,

LCI), jokaisen osaprosessin sisään- ja ulosvirrat määritellään. Nämä virrat ovat raaka-aineita ja energiaa sekä tuotteita, sivutuotteita ja päästöjä. Kolmas vaihe on *vaikutusten arviointi* (life cycle impact analysis, LCIA), jossa toisen vaiheen tulokset jaetaan kategorioihin ympäristövaikutustyyppin mukaan. Neljäs vaihe on tulkinta ja johtopäätökset. (Junkkari & Sirkka 2011, 5, Sokka 2011, 28.)

LCI-vaihe on periaatteessa objektiivinen ja yksiselitteinen, joskin siinäkin täytyy valita rajaukset. Jokainen voi itse kerätä inventaariotietoa, mutta olemassa on myös lukuisia inventaariotietokantoja. Kokko luettelee eräitä usein käytettyjä inventaariotietokantoja sekä niiden kattamia toimialoja (2012, 30). Nämä tietokannat vaihtelevat muun muassa tiedon tarkkuuden, katettujen teollisuudenalojen, maantieteellisen sijainnin ja käyttöehtojen suhteen. Osa tietokannoista on ilmaisia ja osa maksullisia. YK on tuottanut ohjeistusta tietokantojen yhteensopivuuden ja laadun parantamiseksi (UNEP 2011). Inventaariotietokantoja (LCI) on lueteltu liitteessä 3.

LCIA-vaihe on subjektiivinen ja eri menetelmillä voidaan saada sangen erilaisia tuloksia. LCIA-menetelmät koostuvat jossain määrin mielivaltaisista luokitteluista ja niputuksista, jotka ovat malliin sisältyviä tietoisia arvovalintoja. Näin ollen LCIA-menetelmä tulee elinkaariarviointia tehdessä valita siten, että sen tuottamat tulokset vastaavat esitettyihin kysymyksiin. Eri tietokoneohjelmat tukevat eri LCIA-malleja. LCIA-malleja on lueteltu liitteessä 4. Österlund suosittelee useamman LCIA-menetelmän käyttämistä juuri siksi, että näin huomataan tulosten suuri vaihtelu, joka johtuu menetelmien subjektiivisuudesta (1998, 60). Myös Sveitsin valtion ympäristövirasto suosittaa useamman LCIA-menetelmän käyttöä, koska mikään yksittäinen menetelmä ei kata kaikkia ympäristövaikutuksia (Frischknecht & Büsler 2013, 30).

LCIA-menetelmät jakautuvat yleisesti midpoint- ja endpoint-menetelmiin. Keskipisteen tuloksia voisi kuvata uhkiksi ja loppupisteen tuloksia vahingoiksi. Epävarmuus on suurempi loppupisteissä. FINLCA-hankkeen väliraportissa näitä kuvataan myös selventävällä kuvalla ja on listattu joitain menetelmien ominaisuuksia. (Antikainen 2010, 24-25, 31.) SimaPro-LCA-ohjelman

valmistajat kuvaavat selkeästi näiden menetelmien eroja dokumentaatioissaan ja esittävät niille käyttösuosituksia (SimaPro 2014).

Seppälä ja kumppanit ovat hyvin teoreettisessa julkaisussaan tutkineet systeemanalyysin multiple-attribute decision analysis (MADA) -menetelmien sopivuutta elinkaariarvioinnin vaikutusten arvioinnin tekemiseksi. Heidän mukaansa useat tutkijat ovat huomauttaneet, että LCIA:n ongelmat ovat tyypiltään juuri sellaisia, joita päätöksentekoaanalyysi ratkoo. Nämä työkalut saattavat auttaa asiantuntijoita kehittämään rationaalisempia LCIA-menetelmiä luotettavampien elinkaariarviointien suorittamiseksi. (Seppälä ym. 2002, 45 ja 64.)

Inventaarioanalyysi (LCI) on elinkaariarvioinnin aikaavievä osa, joka on perusta koko arvioinnille. Vaikutusten arviointi (LCIA) on kiistanalainen osa, käytetty menetelmä tulee valita huolella. (Österlund 1998, 75.)

Elinkaariarvioinnissa käytettävien tietojen ja oletusten tulee olla tarkistettavissa, jotta sen tulos olisi luotettava. Jotta tulos olisi mielekäs, on vertailtava kahta tai useampaa tuotetta keskenään. Subjektiiivinen vaikutusten arviointi tulisi tehdä erillään muusta analyysistä. (Vertanen 1993, 11-12.)

Eräs haaste perinteisessä prosessipohjaisessa elinkaarianalyysissä on rajauksen tekeminen. Yksinkertaisimmankin tuotteen tai palvelun analysoimiseksi on tutkittava teoriassa lähes ääretön määrä prosesseja. Käytännössä tehdään rajaus, joka johtaa ympäristövaikutusten aliarviointiin, koska osa vaikutuksista on rajattu pois. Toinen ongelma on se, että prosessiketjut ovat syklisiä, esimerkiksi teräksen tuottamiseen tarvitaan energiaa, jonka tuottamiseen tarvitaan terästä. Eräs ratkaisu näihin kahteen ongelmaan on Economic input-output life cycle analysis (EIO-LCA), joka summaa eri teollisuuden alojen taloudelliset kytkennät. (Green Design Institute 2014.) FINLCA-hankkeen väliraportissa on kuvaus ympäristölaajennetun panos-tuotosmallin käytöstä elinkaariarvioinnissa (Antikainen 2010, 39).

Perinteinen elinkaarianalyysi ei ota kestävän kehityksen osa-alueista huomioon sosiaalis-kulttuurillista ulottuvuutta. Sosiaaliset mittarit saattavat kuitenkin olla

tuloillaan elinkaariarviointiin, sillä YK:n ympäristöohjelma (UNEP) on julkaissut ohjeistusta aiheen tiimoilta (UNEP 2009) ja nyt olemassa on jo ainakin yksi LCI-tietokanta sosiaalisten riskien kartoittamiseen (SHDB 2014).

FINLCA-hanke 2009-2011 on tuottanut laajan tutkimuksen elinkaariarvioinnista ja siihen soveltuvista ohjelmista sekä muista samanlaisista menetelmistä. Hankkeeseen osallistui useampi yliopisto sekä VTT ja se on rahoitettu Tekesin ja suomalaisen teollisuuden varoilla. Hankkeeseen liittyen on julkaistu väli- ja loppuraportit, joissa molemmissa on elinkaariarvioinnin kuvausta. (Antikainen 2010, 16; Antikainen & Seppälä 2012, 16.)

Elinkaariarviointi on hyödyllinen työkalu, joka voi osoittaa virrat, joiden käyttäminen tuottaa suurimmat ympäristöhyödyt. Se on kuitenkin työläs ja subjektiivinen prosessi, jonka käyttö vaatii yleistysten tekemistä. Elinkaariarviointi ei ota huomioon ajallisia näkökulmia. (Sokka 2011, 61-62.) Inventaariovirrat ja niiden suuruus voivat muuttua ajan kuluessa. EU:n komissio on suositellut elinkaariarviointia (Antikainen & Seppälä 2012, 12).

Elinkaariarvioinnin tulosten käyttö markkinoinnissa voisi myös lisätä kuluttajien tietoisuutta ympäristöasioista. Tällaiselle asennemuutokselle olisi tarve, sillä kuluttajien valinnat näyttelevät suurta roolia kaupassa ja tuotekehityksessä. Toisaalta valinnan voi tehdä vain tarjottavien vaihtoehtojen puitteissa, joten kuluttajapuoli ei voi yksin koko ongelmaa ratkaista.

Elinkaariarviointi johtaa yritykset kestävänsä kehityksen suuntaan kuitenkin todennäköisesti vain tapauksissa, joissa tehty muutos lisää taloudellista kestävyttä tai taloudellista ja ympäristöllistä kestävyttä, koska yritykset ovat pääasiassa taloudellisesti optimoivia yksiköitä. Yritysten sisäisen suunnittelun pohjana käytettävän talouslaskennan tuloksia vääristää myös kvartaalitalouden sanelema likinäköisen lähelle asetettu tapahtumahorisontti.

3.3 Tietokoneohjelmat elinkaariarvioinnin työkaluina

Elinkaariarviointiin liittyviä tai soveltuvia ohjelmistotyökaluja on tarjolla runsaasti ja uusia ohjelmia tulee ja vanhoja häviää koko ajan. Eräs kokoelma ohjelmia

löytyy liitteestä 2. Hyvästä ohjelmasta on apua tietojen kokoamis- ja säilytyspaikkana ja se johdattaa käyttäjää seuraamaan elinkaariarvioinnin vaiheita. Toisaalta huono ohjelma voi olla monimutkainen, harhaanjohtava ja jopa tuottaa viheellisiä tuloksia. Tietokoneohjelman käytännön etuja ovat muun muassa yksikköjen hallinta, tuotejärjestelmän muokkaus ja mahdollisuus käsitellä suuria järjestelmiä (Österlund 1998, 69).

Tietokoneohjelman tärkeimmät ominaisuudet ovat mitä inventaariotietokantoja (LCI) se pystyy käyttämään ja mitä vaikutusarviointimenetelmiä (LCIA) se tukee. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat ohjelman selkeys ja loogisuus, käytettyjen tietojen helppo tarkistettavuus ja mahdollisuus viedä dataa ohjelmaan ja ohjelmasta. Lisenssiehdot asettavat omat rajansa ohjelmien käytettävyydelle.

Österlund valitsi diplomityössään ohjelmien tarkastelukriteerien lähtökohdaksi Menken ja kumppanien käyttämät kuusi ominaisuutta: laitteisto- ja ohjelmavaatimukset ja käyttöliittymä, järjestelmämallin käsittely, tiedonhallinta, ohjelman joustavuus, laskenta ja vertailu ja ohjelman ulosanti (Menke et al 1996, 5-9).

LCA-ohjelman avulla suoritettavan LCA:n vaiheita: (Österlund 1998, 41.).

- tuotejärjestelmämallin luonti
- inventaarioanalyysi
- inventaariotietojen luokittelu eri ympäristövaikutuksille
- normalisointi eli suhteutus johonkin päästötasoon
- ympäristövaikutusten arvottaminen
- epävarmuusanalyysi
- kahden tuotteen/prosessin vertailu
- raportit ja graafiset esitykset

SimaPro-ohjelman tekijät toteavat raportissaan, että elinkaarianalyysiä käsittelevät ISO-standardit ovat sangen epämääräisiä ja että ISO ei akkreditoi elinkaariarviointiin soveltuvia ohjelmia, joten mikään ohjelma ei voi väittää olevansa ISO-yhteensopiva (Goedkoop ym. 2013, 7). Mikään tarkastelluista ohjelmista ei esitä tällaista väitettä. Olisi käyttäjän kannalta parempi mikäli ISO myöntäisi ohjelmille sertifikaatteja. Voi olla että nykyiset standardit eivät ole tarpeeksi hyvin määritellyt että näin toimiminen olisi järkevää.

4 TIETOKONEOHJELMIEN EETTISET ULOTTUVUUDET

4.1 Tietokoneiden lyhyt historia

Tarkasteltaessa elinkaariarviointiin soveltuvan tietokoneohjelman hankintaa laajemmalla näkökannalla joudumme miettimään ohjelmahankintojen yleistä problematiikkaa. Kaikki ohjelmat vaativat välttämättä toimiakseen tietokoneen, joten on myös syytä tarkastella tätä laitetta hieman lähemmin. Tietokoneen historiaa ja yhteiskunnallista merkitystä valotetaan tässä ja seuraavassa luvussa.

Tietokone oli kehittynyt pitkälti nykyiseen muotoonsa 1970-luvulle mennessä. Sitä aikaisemmin laitteet olivat hyvin suuria ja kalliita ja niillä saattoi olla erityistarpeita virransyötön ja jäähdytyksen suhteen. Nämä varhaiset laitteet olivat hitaita ohjelmoida, epäluotettavia käyttää ja ne vaativat usein huoltotoimenpiteitä. Tällaisia laitteita käyttivät hallitukset sotilastarkoituksiin ja yliopistot tutkimukseen. Kuitenkin tietokoneiden tekninen kehitys ja niiden hyödylliset ominaisuudet johtivat ensin laitteiden kykyjen ja myöhemmin määrän nopeaan lisääntymiseen. 1980-luvulla koti-PC oli vielä harvinaisuus. Nykyään yhteiskunta on täysin tietokoneiden läpitunkema.

Koti lienee havainnollinen indikaattori joskin se on vain esimerkkitapaus. Koti-PC:t alkoivat hitaasti yleistyä Suomessa 1980-luvun lopulla. Tuolloin koneet olivat hitaita ja kalliita, eivätkä ne vielä olleet verkossa. 1990-luvun alussa saattoi tietokoneella soittaa toiselle tietokoneelle modeemilla puhelinverkon välityksellä ja vuosikymmenen puolivälissä internet alkoi orastaa. Vuonna 2000 tietokone oli jo arkipäiväinen työkalu ja pelikone. Nyt miltei jokainen omistaa ainakin yhden tietokoneen eikä moni osaa kuvitella elämää ilman tietokonetta.

4.2 Tietokoneiden yhteiskunnallisesta merkityksestä

Ehkä jossain määrin kuvaavaa on sanan computer (tietokone englanniksi) merkityksen muuttuminen ajan kuluessa. 1646 alkaen sana tarkoitti henkilöä,

joka suoritti laskutoimituksia. 1897 sanaa käytettiin myös tarkoittamaan mekaanista ja 1946 elektronista laskukonetta, jotka ovat nykyisten tietokoneiden suoria esi-isiä. (Barnhart & Steinmetz 1988, 200.)

Eräät maailman suurimmista pörssiyhtiöistä ovat tietotekniikka-alalla. 2013 kahden ensimmäisen neljänneksen aikana 10 suurimman pörssiyhtiön listalle on mahtunut 4 alan yritystä, Apple, Microsoft, Google ja IBM (Financial Times 2013, 1). Näiden yhtiöiden tekemät päätökset vaikuttavat kaikkiin maapallon ihmisiin. Teknologiayrittäjä Marc Andreessen on käyttänyt sanontaa ”software eats everything”, mikä mielestäni on sangen osuvaa, sillä tietokoneet ja niitä pyörittävät ohjelmat valtaavat jatkuvasti uutta alaa.

Taskussamme kulkee tietokone ('älypuhelin'). Valokuvamme ovat digitaalisia, samoin kirjoituksemme, sävellyksemme ja kirjeenvaihtomme. Rikosrekisterit ovat sähköisiä, samoin terveydentilaamme käsittelevät asiakirjat. Tietokoneet ohjaavat teollisuusrobotteja ja kertovat meille paljonko kello on. Lähes kaikki raha on sähköistä. Sotaa käydään kauko-ohjatuilla roboteilla ja jossain päin maailmaa äänestetään sähköisesti. Koko läntinen elämäntapamme on täysin sidottu tietokoneisiin. Olemme yhtä riippuvaisia tietoverkosta kuin sähköverkosta. Puhutaan tietoyhteiskunnasta. Yhdistyneet kansakunnat on määritellyt internet-yhteyden ihmisoikeudeksi. Eikä tämä trendi osoita ainakaan laantumisen merkkejä. Kaikissa näissä tietokoneissa pyörii ohjelmisto, jonka käyttöä määrittelee ja rajoittaa lisenssi. Todennäköisesti tämän tekstin lukija on sopijaosapuoli useammassa lisenssisopimuksessa.

4.3 Tietokoneohjelmien laillinen säätely

Tietokoneohjelmia on maailmalla kehitetty 1950-luvulta lähtien ja tekijänoikeuslain piiriin ne tulivat ensi kerran 1980-luvulla Yhdysvalloissa. EU sääti direktiivin ohjelmistojen sisällyttämisestä tekijänoikeuslakiin 1991 ja Suomessa ohjelmistot lisättiin tekijänoikeuslakiin samana vuonna. Tekijänoikeuslain valitseminen ei ollut mitenkään itsestään selvää ja muun muassa Suomi kannatti alun perin kokonaan uuden lainhaaran perustamista (*sui generis*). (Välimäki 2009, 9-11.)

Suomessa oli esimerkiksi valokuvausta erikseen säätelevä lakeja voimassa 1927-1961 (laki oikeudesta valokuviiin 3.6.1927/175) ja 1961-1995 (laki oikeudesta valokuvaan 8.7.1961/405). Sittemmin valokuvaus on liitetty osaksi tekijänoikeuslakia (Laki oikeudesta valokuvaan annetun lain kumoamisesta 447/1995).

Tekijänoikeuslain oikeutuksen historia on monimutkainen ja sekava. Kaksi suurta suuntausta lain perustelulle ovat angloamerikkalainen utilitarismia korostava näkökulma, jonka mukaan tekijänoikeuslain tarkoitus on tuottaa yhteiskunnalle lisää tiedettä ja taidetta. Toinen suuntaus on ranskalaismannermainen droit d'auteur -järjestelmä, joka korostaa "moraalisia oikeuksia", tekijän nimen ja maineen tahraamattomuutta ja hänen "pyhää omistusoikeutta" teokseensa ajatustensa tuotteena. (Boyle 2008, 27-35.) EU:n tietokoneohjelmien säätelyä ohjeistavan direktiivin perustelut seuraavat selvästi lähemmin utilitaristista mallia (Välimäki 2009, 11). Suomen tekijänoikeuslaissa on havaittavissa sekä moraalisia että utilitaristisia piirteitä.

Kansainväliset sopimukset, kuten Bernin sopimus sekä nykyään EU-jäsenyys velvoittavat Suomea noudattamaan vallitsevaa tekijänoikeuskäytäntöä. Tekijänoikeus kestää Suomessa nykyään 70 vuotta tekijän kuolemasta, eli siis vähintään 70 vuotta, mutta yleensä vielä kymmeniä vuosia kauemmin. Tietokoneohjelman käyttöikä on yleensä muutamia vuosia. Kun Maailman henkisen pääoman järjestö (WIPO) vuonna 1978 teki malliesityksen tietokoneohjelmien sääntelystä, se ehdotti yksityisoikeuden kestoksi 25 vuotta. (Välimäki 2009, 13-14.) Tekijänoikeuden pitkä kesto on saanut osakseen kritiikkiä, koska suurin osa 1900-luvun kulttuurista on ihmisten saavuttamattomissa, koska sitä ei voi enää ostaa. Puhutaan "orvoista teoksista". Yhdysvalloissa tekijänoikeuslain kesto oli vuosina 1909-1976 28 vuotta, ja se voitiin uusia yhden kerran tuon ajan jälkeen vielä toiseksi 28 vuodeksi. Kuitenkaan 85 prosenttia tekijänoikeuden omistajista eivät niin tehneet. (Boyle 2008, 9-10) On huomattava myös, että vielä tuolloin tietokoneohjelmat, joiden kaupallinen elinikä on erittäin paljon lyhyempi kuin vaikkapa kirjojen tai maalausten, eivät edes kuuluneet tekijänoikeuslain piiriin.

Niiden kannalta katsottuna nykyinen tekijänoikeuslain kesto on erittäin pitkä, käytännössä ikuinen. Boyle kritisoi alati laajenevaa tekijänoikeuslakia ja muita rajoituksia ja esittää mielenkiintoisesti mahdolliseksi ratkaisuksi ”kulttuurista ympäristönsuojeluliikettä”, jossa monipuolisemmat sidosryhmät osallistuisivat paremman lainsäädännön luomiseen (2008, 241-245).

Tekijänoikeuslainsäädäntö on tulkinnanvarainen ja ristiriitainen. Tekijänoikeuslaissa muun muassa todetaan ”Se, jolla on oikeus käyttää tietokoneohjelmaa, saa valmistaa ohjelmasta varmuuskappaleen, jos se on tarpeen ohjelman käytön kannalta.” Tämä on sangen merkillinen ehto, sillä teknisesti se ei siis koskaan anna valmistaa varmuuskappaletta, koska ohjelman käyttö ei mitenkään muutu oli ohjelmasta tehty kopio tai ei. Välimäki toteaa myös ehdon olevan hieman kummallinen ja tulkitsee asiaa puolestaan niin, että varmuuskappaleen saa tehdä aina, koska sen tarkoitus on ohjelman käyttämisen jatkamisen varmistaminen (2009, 51). Kulmala tarjoaa asiaan kolmannen näkemyksen eikä ole aivan yhtä ehdoton tulkinnassaan vaan on sitä mieltä, että varmuuskappaleen tekeminen lienee miltei poikkeuksetta perusteltua, vaikkei se ehkä välittömästi käytön kannalta olekaan tarpeellista (2003, 32). Tulkinnanvaraisuus ei ole poikkeus vaan sääntö, mikä aiheuttaa epävarmuutta.

Suomen tekijänoikeuslaissa sanotaan myös että ohjelmavirheitä saa korjata, paitsi jos lisenssisopimus kieltää sen. Lain pohjana toimiva direktiivi (Council Directive 91/250/EEC of 14 May 1991 on the legal protection of computer programs) on kuitenkin ristiriitainen, sillä siinä todetaan että lisenssisopimuksella sekä voi että ei voi kieltää virheiden korjauksen. (Välimäki 2009, 51-52.)

Tekijänoikeus syntyy automaattisesti kaikkiin teoksiin, eikä vaadi tekijältä tietyn sanamuodon käyttöä, tekijänoikeuden olemassaolon erikseen merkitsemistä tai teoksen rekisteröintiä. Se rajoittaa muun muassa teoksen kopioimista ja sen johdannaisten tekemistä. Jotta käyttäjä saa ohjelman, hänen täytyy hankkia tekijältä lisenssi, mikä yleensä tarkoittaa lisenssin ostamista ja lisenssisopimuksen ehtojen noudattamista. Tällöin valmisohjelman oikeudet

pysyvät sen tekijällä, mutta käyttäjä saa ohjelman kopion. Valmisohjelmistot ovat massatuotantona levitettäviä ohjelmistoja, joita ei muokata kunkin käyttäjän tarpeisiin, vaan kaikki ostavat saman bulkkiohjelman kopion. Toki usein valmisohjelmistojen myyjät tarjoavat muutamaa erilaista versiota ohjelmistaan. Valmisohjelman lisensoinnista on kyse kun kuluttaja "menee kauppaan ja ostaa ohjelman". Tosiasiassa ohjelman ostaminen olisi tapahtuma, jossa oikeudet vaihtaisivat omistajaa, tai ne ainakin lisensoitaisiin vain yhdelle taholle yksinoikeudella. Lisenssisopimukset sisältävät lähes poikkeuksetta tekijänoikeuslain ulkopuolisia ehtoja.

Tietokoneohjelman käyttöä voivat rajoittaa lisäksi patentit. Ohjelmistopatentit ovat vielä tekijänoikeuslakiakin epäselvempiä niin historialtaan, nykytilanteeltaan Suomessa ja EU:ssa kuin kattavuudeltaan. Yhdysvalloissa käydään jatkuvasti suuria oikeusjuttuja aiheeseen liittyen. En aio käsitellä patenteja niiden sotkuisuuden johdosta tässä työssä.

Monesti lisenssisopimukset sisältävät kymmeniä sivuja pitkän lakitekstin, joka käyttäjän odotetaan lukevan, ymmärtävän ja hyväksyvän ennen ohjelman käyttöä. Lisenssisopimukset sisältävät monesti suuren määrän mitä erilaisimpia käyttörajoituksia, kuten esimerkiksi sitomalla ohjelmisto tiettyyn laitteistoon, rajoittamalla käyttäjämäärää, ohjelman käyttöaikaa tai -paikkaa. Monesti rajoitetaan myös käyttötarkoitusta esimerkiksi opiskelija-, koti- tai yrityskäyttöön (Välimäki 2009, 182-183). Usein näissä sopimuksissa on ehtojen hyväksymisestä mainittu yksinkertaisesti "by using this software, you accept these terms" (Välimäki 2009, 156-157). Omisteisten ohjelmien (vastakohta vapaille ohjelmille, joista seuraavassa luvussa) käyttäjät joutuvat usein noudattamaan mitä moninaisempia rajoituksia. Lisenssien tulkintaa vaikeuttaa vielä se, että ne usein ovat ohjelmistokohtaisia, eli jokainen lisenssi on tutkittava erikseen. Jotkin ohjelmat kuitenkin käyttävät vakiolisenssejä, jolloin riittää kun lisenssiehtoihin tutustuu yhden kerran.

4.4 Vapaat ohjelmat

Vapaat ohjelmien filosofia on poikkeuksellinen tapa lisensoida tietokoneohjelmia. Se korostaa ohjelman käyttäjän oikeuksia. Vapaiden ohjelmien historia alkoi 1970- ja 1980-luvun vaihteessa, kun yhdysvaltalainen ohjelmoija Richard Stallman totesi, että oli sangen epäkätevää että hän ei voinut parantaa erästä printteriä ohjaavaa ohjelmaa, koska sen kehittäjä ei ollut antanut hänelle ohjelman lähdekoodia (Williams 2002, 1-6).

Lähdekoodi on se muoto, jossa ohjelmoija kirjoittaa tietokoneohjelman ennen kuin se käännetään tietokoneen ymmärtämäksi binääriksi. Suurin osa nykyään levitettävistä ohjelmista on vain binäärejä, joita ihminen ei ymmärrä.

Stallman sai kuulla, että eräällä henkilöllä oli se printteriohjelman lähdekoodi, josta hän oli kiinnostunut ja lähti tapaamaan häntä ja pyysi kopiota lähdekoodista, mikä oli tuolloin ollut aivan tavallista. Kuitenkin vastaus oli yllättävä, sillä henkilö kieltäytyi luovuttamasta lähdekoodia, koska hän oli allekirjoittanut salassapitosopimuksen, jossa hän oli luvannut olla luovuttamatta lähdekoodia. Tämä oli Stallmanille järkytys, sillä hän näki sen eettisenä ongelmana, että tämä henkilö kieltäytyi yhteystyöstä. Tämä sai Stallmanin alkamaan ajattelemaan tätä yhteiskunnallista muutosta, jossa lähdekoodia ei enää jaettu. Stallman näki tällaiset vain binääreinä jaettavat ohjelmat Troijan hevosina. (Williams 2002, 6-9.)

Syyskuussa 1983 Stallman kirjoitti Usenetin uutisryhmään postin, jossa hän ilmoitti kirjoittavansa uuden käyttöjärjestelmän, GNU:n. Hän perusteli työhön ryhtymistä sillä, että kultainen sääntö vaati häntä jakamaan ohjelmansa muiden kanssa jotka siitä pitävät ja että hän ei voisi hyvällä omalla tunnolla hyväksyä salassapito- tai lisenssisopimusta. (Stallman 1983.)

Myöhemmin Stallman perusti vapaiden ohjelmien säätiön kirjoittamaan GNU-käyttöjärjestelmää sekä esitti määritelmän tietokoneohjelman vapaudelle. Nykyinen määritelmä koostuu neljästä vapaudesta, jotka ovat (Williams 2002, 121-122)

- käyttää ohjelmaa mihin tahansa tarkoitukseen
- tutkia ja muokata ohjelman lähdekoodia
- jakaa kopioita ohjelmasta
- jakaa kopioita ohjelman muunnelmista

Stallman myös loi tärkeän copyleft-käsitteen, joka tarkoittaa että kuka tahansa saa käyttää ja muunnella vapaasti copyleftattua ohjelmaa, mutta kukaan ei saa tehdä siitä omisteista sekä ensimmäisen copyleft-lisenssin (GNU GPL). Copyleft on väännös englanninkielen sanasta tekijänoikeus (copyright) ja copyleft perustuu tekijänoikeuteen, mutta käyttää sitä päinvastaiseen suuntaan, eli pitääkseen tietokoneohjelman vapaana, eikä omisteisena.

Stallman on kuvannut omisteisia ohjelmistoja kolonialismiksi, joka käyttää hajota ja hallitse -taktiikkaa (2004). Hän on myös sanonut, että kouluilla on moraalinen velvoite opettaa yksinomaan vapaita ohjelmia, jotta oppilaista kasvaisi itsenäisiä kansalaisia (2003). Stallman esittää usein vahvoja, mutta perusteltuja näkemyksiä.

Minusta vapaiden ohjelmien idea on loistava ja uskon että vapaiden ohjelmien merkitys tulee kasvamaan kun yhteiskunta tietokoneistuu edelleen. Vapaita ohjelmia rajoittavat vain niiden tekniset ominaisuudet eivätkä keinotekoiset lisenssiehdot. Ihmiset voivat muokata ohjelmia omaan käyttöönsä sopiviksi tai palkata jonkun toisen muokkaamaan sitä heille. Vapaiden ohjelmien filosofiassa on ymmärretty, että tietokoneiden mahdollistama helppo ja nopea kopiointi on etu eikä haitta ja siihen kannustetaan sen sijaan että yritettäisiin sitä vastustaa. Tieteelliseltä kannalta on mielestäni kummallista että kukaan voi väittää tekevänsä vertaisarvioitua tiedettä, mikäli käyttää siihen omisteisia ohjelmia, joiden toiminta on salaisuus.

Sosiaalis-kulttuurisesta näkökulmasta vapaiden ohjelmien etu on muun muassa se, että mikäli yksikin ihminen haluaa, voidaan ohjelma kääntää omalle kielelle, käyttämään omia rahayksiköitä ja muita mittoja. Ihmiset ovat erilaisia ja heillä on erilaiset tarpeet, joihin kaikkiin omisteiset valmisohjelmat tuskin pystyvät

vastaamaan. Vapaat ohjelmat opettavat ihmisille tärkeitä kansalaistaitoja, kuten yhtäältä riippumattomuutta ja toisaalta yhteistyötä.

Taloudelliselta kannalta tarkasteluna voidaan ajatella lähiruoan tapaan lähiohjelmiä. Omisteinen ohjelmisto on kuin vuokralla asumista, jos vapaat ohjelmat ovat omistusasunto. Koska kuka tahansa saa muokata ja myydä vapaita ohjelmiä, syntyy aitoa kilpailua. Paras mahdollinen tekniikka on kaikkien ulottuvilla.

Ekologisesti nähtynä eräs etu on se, että valmistaja ei voi enää sanella milloin jonkin ohjelman tuki loppuu, sillä käyttäjä ei ole sidottu yhteen valmistajaan. Sen sijaan käyttäjät päättävät milloin on aika siirtyä eteenpäin, mikä vähentää tarvetta hankkia uusia laitteita ja vähentää syntyvää e-jätevuorta. Vapaat ohjelmat ovat suorassa evolutionäärisessä kilpailussa keskenään ja parhaat ideat voidaan poimia kaikista (yhteensopivasti lisensöidystä) ohjelmista.

Käytännön tasolla olemassa on erittäin monia vapaita ohjelmiä. Useimmat näistä toimivat monissa eri käyttöjärjestelmissä, sillä kuka tahansa voi kirjoittaa version, joka toimii jossain tietyssä käyttöjärjestelmässä ('porttaaminen'). Stallmanin 1984 aloittama hanke kirjoittaa kokonainen vapaa käyttöjärjestelmä valmistui 1992, kun muuten valmiiseen GNU-käyttöjärjestelmään liitettiin suomalaisen Linus Torvaldsin kirjoittama Linux-kerneli. Näin syntyneenä yhdistelmää kutsutaan nimellä GNU/Linux. Kansan suussa nimi tosin lyhenee usein muotoon Linux, mikä on valitettavaa, sillä se korostaa Torvaldsin osuutta hankkeessa kohtuuttomasti ja koska Torvaldsin ja Stallmanin filosofiat eroavat toisistaan huomattavasti. Nykyään kuka tahansa voi nauttia vapaista ohjelmista, joita on kirjoitettu mitä moninaisimpiin tarkoituksiin tarvitsematta suostua rajoittaviin salassapito- tai lisenssisopimuksiin.

Tiede ja yritykset ovatkin ottaneet vapaat ohjelmat käyttöön. Maailman 500 nopeimmasta supertietokoneesta 482 pyörii vapaalla käyttöjärjestelmällä (TOP500 2013) ja maailman miljoonasta aktiivisimmasta internetsivusta noin 715 000 pyörii vapaalla palvelinohjelmalla. (Netcraft 2014).

5 TYÖN SUORITUS

5.1 Toimeksianto

Turun AMK:n kestävän kehityksen koulutusohjelma halusi elinkaarilaskentaan sopivan tietokoneohjelman opetuskäyttöön ja pienimuotoiseen palvelutoimintaan. Koulutusohjelmalta oli kysely tällaisia palveluja muutaman teollisuuden ja kaupan alan yrityksen taholta. Opetuskäyttöön soveltuvia lisenssejä tulisi olla luokalliselle oppilaita eli noin 30 hengelle ja palvelutoimintaan riittäisi ehkä alkuun yksi lisenssi. Tässä työssä oli tarkoitus selvittää minkälaisia asioita tulisi ottaa huomioon näiden ohjelmien valinnassa. Opinnäytetyön tutkimusongelmiksi valittiin kaksi kysymystä, joista ensimmäinen on hieman käytännönläheisempi ja toinen tarkastelee asiaa laajemmasta perspektiivistä. Kysymykset ovat

- Minkälaisia kriteereitä tulisi ottaa huomioon tietokoneohjelman hankinnassa elinkaariarviointiin?
- Minkälaisia eettisiä kysymyksiä liittyy tietokoneohjelman lisensointiin?

5.2 Käytetyt menetelmät

Perehdyin ensin elinkaariarviointiohjelmiin liittyvään problematiikkaan tekemällä kirjallisuuskatsauksen aiheen teoreettiseen taustaan sekä tilaamalla näiden ohjelmien valmistajien uutiskirjeitä. Kirjallisuuskatsauksen laatimisessa käytin apuna muun muassa Turun yliopiston informaattikkoa tiedon löytämiseksi. Tämän lisäksi pohdiskelin ohjelmien ominaisuuksien soveltuvuutta niiden käyttötarkoitukseen ja kokeilin ohjelmien demo-versioita sekä vapaata ohjelmaa.

Erilaisia elinkaarilaskentaohjelmia on suuri määrä ja ne ovat sängen monimutkaisia. Tästä syystä minkäänlainen kattava esittely ei tulisi kyseeseen, vaan jonkinlainen valinta oli tehtävä. Päätin yrittää selvittää mitä näistä

ohjelmista eri toimijat Suomessa käyttävät ja sitten esitellä näistä yleisempiä hieman tarkemmin. Kyselyn suoritin lähettämällä sähköpostia opetusinstituutioille, yksityisille yrityksille ja tutkimuslaitoksille, ensimmäisellä kierroksella yhteensä 17 taholle. Näitä pyysin puolestaan suosittelemaan lisää henkilöitä, joilta kysyä ja niin edelleen, eli ns. lumipallomenetelmä. Alkuperäiseen kyselyyn vastasi kuitenkin vain 2 henkilöä, mutta nämä suosittelivat uusia kohteita. Lopulta kontakteja tuli ainakin 26, mutta hyödyllisiä vastauksia tuli vain 6 kappaletta. Luettelo eri tahoista, joille kysely lähetettiin on liitteessä 1. Kyselyn perusteella valitsin tarkempaan tarkasteluun kaksi suosituinta ohjelmaa, joita tarkasteltaisiin lähemmin. Laadin valituista kahdesta suosituimmasta ohjelmasta sekä kolmantena, ”mustana hevosena” mukaan ottamastani vapaasta ohjelmasta vertailutaulukon. Kolmannen ohjelman sisällyttämistä perustelen sen poikkeavalla lisensöinnillä, joka liittyy toiseen tutkimuskysymykseeni.

Toisen tutkimuskysymykseni puitteissa tutustuin vapaiden ohjelmien liikkeeseen. Vapaat ohjelmat tarjoavat käyttäjälleen laajan käyttöoikeuden tietokoneohjelmiin, joten tutustuin tietokoneohjelmien lailliseen säätelyyn sekä myös perinteisempiin lisensöintimalleihin. Lopuksi esitin näkemyksiäni miten vapaat ohjelmat mielestäni sopivat kestäväen kehityksen vaatimuksiin.

6 TULOKSET

Ohjelman tärkeimmät ominaisuudet ovat sen tuki eri LCI-tietokannoille sekä sen tukemat LCIA-metodit. Ohjelman valinta kannattaa nähdäkseni aloittaa sopivan LCIA-menetelmän tai -menetelmien valitsemisesta. Toki kun ohjelmaa paljon käyttää nousee tärkeäksi myös sen ergonomisuus ja käytön vaivattomuus, jotka ovat subjektiivisia.

Opetuskäytössä ohjelman tulisi olla ennen kaikkea *looginen* prosessiltaan ja *selkeä visuaalisesti* sekä tarpeeksi *yksinkertainen*, jotta sitä voisi hyödyntää tähän tarkoitukseen. Opetuskäyttöön soveltuva ohjelma valottaisi käyttäjälleen elinkaariarvioinnin prosessia. Palvelutoiminnassa taas suotavia ominaisuuksia olisi se, että ohjelma tuottaisi *käyttökelpoista tietoa* asiakkaalle ja että prosessi olisi *läpinäkyvä*, jotta voidaan tarkastella ja tarkistaa käytetyt arvot ja laskumenetelmät sekä tehdyt oletukset ja yksinkertaistukset. Palvelutoiminnan tuloksia voisi käyttää paitsi sisäiseen parantamiseen, mahdollisesti myös asiakasviestintään.

Tehdyn kyselyn perusteella suosituimmat käytössä olevat ohjelmat Suomessa tällä hetkellä ovat hollantilainen SimaPro ja suomalainen SULCA (entinen KCL-ECO). Kolmas ohjelma, jonka vielä itse otin vertailuun mukaan on saksalainen openLCA, joka on vapaata ohjelmistoa. Muita kyselyssä mainittuja ohjelmia olivat e!Sankey ja Umberto.

Österlund valitsi diplomityössään aikanaan 2 ohjelmaa vertailtavaksi, myös suosituimmuuden perusteella. Hän kirjoittaa, että SimaPro on suosittu Euroopassa ja KCL-ECO (nykyään nimeltään SULCA) Suomessa. (Österlund 1998, 43.) FINLCA-hanke mainitsee 2010 raportissaan että ”Suomessa tunnetuimpia ohjelmia” ovat SimaPro:n ja KCL-ECO:n (nykyinen nimi SULCA) lisäksi GaBi ja Umberto (Antikainen 2010, 23).

Kaiken kaikkiaan kirjallisuudessa on löydettävissä melko vähän näiden ohjelmien suoraa vertailua. Tutkimuksia, joissa näitä ohjelmia käytetään kyllä

löytyy, mutta niissä ohjelmaa kuvaileva osuus jää usein kursoriseksi. Etenkin SimaPro mainitaan hyvin monessa julkaisussa, SULCA lienee uudelleennimetty sen verran hiljattain ettei siitä vielä löydy tutkimuksia, mutta vanhalla KCL-ECO nimellä siitä löytyy jonkin verran osumia. OpenLCA on mainittu muutamassa tutkimuksessa.

SimaPro on ollut olemassa jo vuodesta 1990 ja sen kehitykseen on selvästi panostettu. Tällainen historia on tärkeää siinä mielessä, että näitä ohjelmia tulee ja menee. Ohjelman kehittäjät osallistuvat tutkimukseen ja muun muassa suositun ReCiPe-vaikutusarviointimenetelmän kehittämiseen, jota esimerkiksi kaikki kolme tarkasteltua ohjelmaa tukevat.

Honkimo sanoo pakkausmateriaaleja tarkastelevassa lopputyössään, että SimaPro:ssa ei kierrätyksen huomioon ottaminen onnistu, koska siinä kierrätys on tyhjä prosessi (2013, 30). Tyhjä prosessi varmaan tarkoittaa prosessia, joka ei tee mitään. Hän ei tosin kerro mistä ohjelman versiosta on kyse tai mikä lisenssivaihtoehto on valittu, mikä saattaa vaikuttaa.

Kokko toteaa opinnäytetyössään SimaPro:n soveltuvan hyvin hiilijalanjäljen laskemiseen (2012, 3). Hän piti ohjelmaa selkeänä ja johdonmukaisena ja parhaana kolmesta vertailemastaan ohjelmasta (2013, 56-58). Kokko myös kiitteli SimaPro:n inventaariotietojen jäljitettävyyttä sekä tulosten esittämistä (2013, 77-78).

SimaPro:n internetsivut ovat laajat ja sisältävät myös teoreettista tietoa elinkaariarvioinnista. Osaltaan niiden kattavuuden johdosta ne ovat hieman epäselvät. En osaa sanoa kuinka hyvin valmistaja vastaa sähköpostiin, sillä en ole vielä keksinyt kysymystä, johon ei vastausta löytyisi SimaPro:n nettisivuilta.

SULCA:a on kehitetty vuodesta 1992 ja se mainitaan melko monessa julkaisussa, tosin vanhalla KCL-ECO-nimellä. SULCA:n nettisivut ovat sanalla sanoen huonot, ne koostuvat yhdestä ainoasta sivusta, jolla tietoa on suppeasti. Lisätietoja voi kysellä sähköpostilla, johon vastataan joskus nopeasti, joskus hitaasti. Esimerkiksi ohjelman tukemat inventaariotietokannat jäävät osittain hämärän peittoon, samoin arviointimenetelmät, mikä tämän tutkimuksen

valossa on sangen kummallista, koska molemmat ovat keskeisiä elinkaariarvioinnissa. Ilmeisesti itse ohjelma on kuitenkin markkinointiaan ja tiedotustaan parempi.

Sokka teki väitöskirjansa teollisuuslaitosten yhteistyön vaikutusten arvioinnista elinkaariarvioinnilla ja käytti työssään elinkaari-inventaarion (LCI) laatimiseen KCL-ECO-ohjelmaa. Työssään hän mainitsee, että KCL-ECO kehitettiin alun perin sellu- ja paperiteollisuuden tarkoituksiin, mutta soveltuu siitä huolimatta kaikenlaisiin järjestelmiin. (2011, 30). Samaa mieltä yleispätevyydestä oli ohjelman valmistaja sitä sähköpostilla tiedustellessani.

Junnila vertaili neljän eurooppalaisen ja yhdysvaltalaisen palveluyrityksen ympäristövaikutuksia elinkaariarvioinnilla ja laski ympäristövaikutukset KCL-ECOlla (2009, 427).

OpenLCA on ollut olemassa vuodesta 2006 ja sen valmistajat vakuuttavat, että ohjelma sisältää kaikki ammattimaisen elinkaariarviointiin tarkoitettun työkalun mallinnusominaisuudet. OpenLCA vaikuttaa monipuoliselta ja pystyvältä. Ohjelman kiistaton valtti on sen ainutlaatuinen lisensöinti tarkasteltujen elinkaariohjelmien joukossa, ohjelma on vapaa ohjelma Mozilla Public License 1.1 ehdoin, jotka eivät rajoita ohjelman käyttöä millään tavoin ja sallivat jopa ohjelman muokkauksen, levityksen ja myynnin. Ohjelman internetsivut ovat melko kattavat, joskin hieman sekavat. Valmistaja vastaa sähköpostitse esitettyihin kysymyksiin nopeasti. Ohjelma on vertailuista myös ainut, joka toimii muissakin kuin Windows-ympäristöissä.

Davis ja kumppanit toteavat, että koska openLCA-ohjelma on vapaata ohjelmistoa, sitä voi vapaasti muunnella. Tämä on kätevää jos sen käyttäjä haluaa jonkin toiminnon mitä ohjelmasta ei löydy. Sama ei olisi mahdollista omisteisen ohjelman kohdalla. Käyttäjä myöskin päättää vapaan ohjelman tapauksessa milloin jokin ohjelma kannattaa hylätä, ei valmistaja. (2010, 723)

Kokeillessani ohjelmia tietokoneella huomasin, että ne ovat hyvin monimutkaisia. Ohjelmien toiminnan ymmärtämiseksi tarvitaan koulutusta ja/tai kattavaa dokumentaatiota. Tämä empiirinen osuus työstä jäi hyvin

pintapuoliseksi. Lähemmin tarkasteltujen kolmen ohjelman ominaisuuksia on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Kolmen ohjelman ominaisuuksia

Nimi	SimaPro	SULCA (KCL-ECO)	openLCA
Uusin versio	8	4.2	1.3.4
Valmistaja	PRé	VTT	GreenDelta
Kotimaa	Alankomaat	Suomi	Saksa
Kieli	Englanti, ym.	Englanti	Englanti, ym.
Nettisivu	http://www.pre-sustainability.com/simapro	http://www.vtt.fi/research/technology/sulca_software.jsp?lang=en	http://openlca.org/
Käyttö-tarkoitus	Carbon & Water footprint assessments, Product design and eco-design (DfE), Environmental Product Declarations (EPD), Environmental reporting (GRI), Key performance indicators (KPI)	LCA, hiili- ja vesijalanjälki	Muun muassa LCA, LLC, DfE, EPD, hiili- ja vesijalanjäljet
Mukana tulevat inventaario-tietokannat (LCI)	Ecoinvent 3 LCI, Franklin US LCI 98 library, European Life Cycle Data, US Input Output library, EU and Danish Input Output library, Swiss Input Output, LCA Food, Industry data v2.	Mukana ei tule tietokantaa	Mukana ei tule tietokantaa
Yhteen-sopivia inventaario-tietokantoja (LCI)	Social Hotspots Database. Valmistaja tarjoaa myös palvelua, joissa muita tietokantoja sovitetaan SimaProlle sopivaan formaattiin	Ecoinvent, VTT lipasto, ELCD/ILCD	Ecoinvent 3, GaBi 6, ELCD III, NEEDS, Bioenergiedat, ÖkobauDat, NEEDS, Social Hotspots Database, LC-Inventories.ch, EcoSpold- ja ILCD-formaateissa olevat
Vaikutusten-arviointi-metodit (LCIA)	ReCiPe, Eco-indicator 99, Impact 2002+, EPS 2000, USEtox, IPCC 2007, CML IA, Traci 2, BEES, EDIP 2003, Ecological scarcity 2006, Greenhouse Gas Protocol, sekä ekologinen jalanjälki ja useita vesijalanjälki-menetelmiä	Esim. ReCiPe, ILCD 2011, CML	Ecoinvent 2.2, CML 2001, Eco-indicator 99, Ecological Scarcity Method 2006, EDIP 2003, ILCD 2011, ReCiPe 8, TRACI 2.1, USEtox, US EPA-default LCIA methods, social LCIA

(jatkuu)

Taulukko 1. Kolmen ohjelman ominaisuuksia (jatkuu).

Nimi	SimaPro	SULCA (KCL-ECO)	openLCA
Käyttöehdot	Omisteinen ohjelmisto. Viimeisin ohjelmaversio edellyttää rekisteröintikoodia ja palvelusopimusta. Mukana tulevilla ecoinvent-tietokannalla on omat käyttöehtonsa.	Omisteinen ohjelmisto. Lisenssi on sidottu yhteen tietokoneeseen. Uudet versiot vaativat uuden lisenssin.	Vapaa ohjelmisto, Mozilla Public License 1.1. Ohjelmaa saa käyttää vapaasti ja myös muokata, yhdistellä muuhun koodiin ja myydä
Lisenssi-tyyppejä	3 business- ja 3 educational-tyyppistä, näistä kaikista on määräaikaista tai ikuisia sekä yhden tai useamman käyttäjän versioita	Business ja education	1
Ohjelman hinta	Hinta riippuu lisenssistä, mausteista ja kylkiäisistä, vaihteluväli noin 2000-30 000 € + ALV	Business-lisenssi yhdelle käyttäjälle 5100 € + ALV, education-lisenssi on halvempi	0 €
Palvelusopimuksen hinta	Riippuu lisenssistä sekä sopimuksen kestosta (2 tai 3 vuotta), vaihteluväli noin 700-7000 € + ALV	ks. käyttötuki alla	ks. käyttötuki alla
Data	Datan käyttöehdot ja hinta riippuvat täysin valituista tietokannoista, osa niistä on ilmaisia. Tietokannat eroavat myös muun muassa teollisuudenalan ja maantieteellisen sijainnin osalta. Tietysti myös itse voi tuottaa dataa.		
Koulutusmahdollisuudet	Koulutusta järjestää PRé syyskuussa Alankomaissa, verottomina hintoina kahden päivän kurssi on 1950 ja kolmen päivän kurssi 2450 €. PRé:n partnerit järjestävät koulutusta myös Yhdysvalloissa ja verkossa monta kertaa vuodessa.	6h koulutuspäivä 1240 € + ALV	Valmistaja tarjoaa koulutusta Berliinissä, netissä ja asiakkaan luona, ryhmässä ja yksityisesti. Päivähinnat vaihtelevat 500-2000 € välillä.
Käyttötuki	Aina mukana tulee 1 vuoden palvelusopimus, joka oikeuttaa help deskin käyttöön. 10 tunnin tuki virallisen koulutuksen yhteydessä maksaa 1500 € + ALV.	VTT tarjoaa konsultointia	Ostettava lisäpalvelu, puhelimitse ja sähköpostilla, vastaus määräajassa, 1-3 vuotta, pro tai edu, yhdelle tai useammalle käyttäjälle, hinnat vaihtelevat 700-7000 € välillä
Laitteistovaatimukset	Muistia 4 GB (32 bit), 8 GB (64 bit). Resoluutio 1280x1024. 10 GB levytilaa	100 MB levytilaa	Suositus: 2 GHz CPU, 1 GB muistia, 500 MB levytilaa
Käyttöjärjestelmävaatimukset	Windows XP, Vista, 7, 8; Windows server 2003, 2008	32/64 bit Windows 2000 SP4, XP, 7	Windows 32/64 bit. Mac OS 64 bit. Linux 32/64 bit.

(jatkuu)

Taulukko 1. Kolmen ohjelman ominaisuuksia (jatkuu).

Nimi	SimaPro	SULCA (KCL-ECO)	openLCA
Muut ohjelma-vaatimukset	Ei ole	Ei ole	Java, Mac OSissa ja Linuxissa myös MySQL
Tiedostomuoto ulospäin	.csv ja SimaPro format, jotkin versiot EcoSpold data	Ecoinvent	.olca, EcoSpold1 ja ICLD
Tiedostomuoto sisäänpäin	.xls ja .txt, jotkin versiot .csv, SimaPro format ja EcoSpold data	.xls	.csv, .olca, .xls, EcoSpold1, ICLD
Demo	On, rajoitettu tietokanta	On, ei voi tallentaa	Ei tarvitse, ilmainen ja vapaa ohjelma
Closed loop-toiminto eli kierrätys	?	Kyllä	?
Epävarmuus analyysi	Riippuu lisenssistä	Kyllä	Kyllä
Kehitys aloitettu	1990	1992	2006

Monet ohjelmat ilmoittavat tukevansa useita tietokantoja sekä arviointimenetelmiä. Se, kuinka hyvin ohjelmat näin tekevät jää hämärän peittoon, koska aiheesta ei löydy tutkimusta. On myös mahdollista, että ohjelmien suunnittelussa on kiusaus tukea myös vähemmän hyödyllisiä arviointimenetelmiä, jotta ohjelman kattama menetelmälista näyttäisi laajemmalta.

Österlund tuli kahden ohjelman vertailussaan tulokseen, että ohjelmia on vaikea laittaa paremmuusjärjestykseen (1998, tiivistelmä). Laaja FINLCA-hanke toteaa, että varsinaisia suosituksia tiettyjen ohjelmien tai tietokantojen käyttöön ei voida antaa (Antikainen 2010, 23). Minä en myöskään pysty tekemäni tutkimuksen perusteella laittamaan tarkastelemiani ohjelmia paremmuusjärjestykseen. Niillä on erilaisia ominaisuuksia, joiden hyödyllisyys riippuu tilanteesta ja ohjelman käyttäjän preferensseistä.

7 LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Nähdäkseni tämä tutkimus on validi, sillä se tuottaa havaintoihin ja tutkimukseen perustuvaa toivottavasti hyödyllistä tietoa ja tiedon lähteitä vastaukseksi esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Olen yrittänyt käyttää useita lähteitä ja poimia niistä oleelliset ja mielenkiintoiset seikat. Tämä oli kuitenkin jossain määrin haasteellista, sillä lähteitä ei ollut helppo löytää.

Tutkimuksen reliabiliteetin puolesta suosituimmuskyselyn osalta puhuu Österlundin diplomityö, jossa hän tuli hyvin samankaltaiseen tulokseen. Se tosin oli peräti 16 vuotta vanha. Toisaalta näitä ohjelmia on niin monia, että todennäköisyys samankaltaisten tulosten sattumanvaraisuudelle on hyvin pieni. Myöskin mitä enemmän jotain ohjelmaa käytetään, sitä enemmän se saa julkisuutta ja tuloja, mikä todennäköisesti vaikuttaa sen suosioon tulevaisuudessa. Myös FINLCA-hanke mainitsi samat ohjelmat. Kyselyn otoksen olisi kuitenkin tullut olla suurempi, mikä parantaisi sen edustavuutta.

Lähempään tarkasteluun valittujen kolmen ohjelman taulukoidut tiedot perustuvat valmistajan ilmoitukseen, joten tässä kohdassa voi joutua olemaan hieman varovainen. Objektiivisia lähteitä, joista tietoja olisi kattavasti voinut tarkistaa ei ollut saatavilla.

Jatkotutkimusehdotuksena voisin ehdottaa elinkaariarviointiohjelmien ja inventaariotietokantojen todellisen yhteensopivuuden selvittämistä. Näitä tietokantoja tulisi etsiä ja niiden sisältöjä ja käyttöehtoja taulukoida. Myös arviointimenetelmiä pitäisi tutkia, jotta relevanteimmat menetelmät selviäsivät. Nykytilanne molempien kohdalla on vielä hieman sekava.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuskysymyksen minkälaisia kriteereitä tulisi ottaa huomioon tietokoneohjelman hankinnassa elinkaariarviointiin vastaukseksi nousivat, että ohjelman avainominaisuudet ovat sen inventaariotietokantojen sekä vaikutusten arviointimenetelmien tuki. Myös lisenssin tai lisenssisopimuksen sanelemat käyttöehdot asettavat rajat ohjelman käyttömahdollisuuksille. Toissijaisia ominaisuuksia olivat muun muassa ohjelman ergonomia ja joustavuus.

Elinkaariarviointi on yhdistelmä tiedettä ja taidetta, yhtäältä matematiikkaa ja tosiasioita, toisaalta mielipiteitä ja arvoja. Inventaarioanalyysi (LCI) on elinkaariarvioinnin objektiivinen osa ja vaikutustenarviointi (LCIA) subjektiivinen osa. Elinkaariarvioinnin hyödyllisyys on verrannollisen siihen panostettuun aikaan ja prosessi luotettavien tulosten tuottamiseksi on toistaiseksi sangen työläs ainakin alkuun. Elinkaariarvioinnin tulosten laatu ja tarkkuus riippuvat täysin valitusta mallista ja siihen syötetystä datasta. Sekä teoria että työkalut ovat kiihkeässä kehityksessä ja elinkaariarvioinnilla menetelmänä on suuret odotukset.

Tietokoneohjelmia elinkaariarviointiin on saatavilla lukuisia, samoin tietokantoja sekä arviointimalleja. Oikean yhdistelmän löytäminen on haasteellista ja tapauskohtaista. Sopiva tietokoneohjelma helpottaa elinkaariarvioinnin tekemistä valtavasti. Uskoisin että kaikilla kolmella lähemmin tarkastelemallani ohjelmalla voi tehdä hyödyllistä tutkimusta, samoin varmasti myös monella muulla ohjelmalla.

Ennen hankintapäätöksen tekemistä kannattaa kokeilla useamman ohjelman demo-versioita tai kokonaista vapaata ohjelmaa, jotta saa käsityksen niiden toiminnasta. Tähän mennessä elinkaariarvioinnin teoriaa ja tietokoneohjelmia on ehditty hioa ja tietokantoja alkaa olla saatavilla, joten aika on otollinen ohjelman hankkimiseksi. Vaikka hyvä ohjelma varmasti auttaa käyttäjää hahmottamaan elinkaariarvioinnin vaiheita, niin tämän lienee edelleen syytä ymmärtää menetelmän teoria ja rajoitukset, muun muassa liittyen inventaarion

suorittamiseen ja vaikutustenarviointiin. Muuten on uhkana että tuloksista tehdään vääriä johtopäätöksiä.

Toisen tutkimuskysymyksen minkälaisia eettisiä kysymyksiä liittyy tietokoneohjelman lisensointiin tiimoilta vapaiden ohjelmien liike ja filosofia tarjoavat mielenkiintoisen ja tämänhetkisestä valtavirrasta poikkeavan näkökulman tietokoneohjelmien käyttäjien oikeuksiin. Henkilö joka käyttää vapaita ohjelmia on käyttäjä, subjekti, kun taas omisteisia ohjelmia käyttävä henkilö on pelkkä kuluttaja, objekti. Vapaat ohjelmat opettavat myös yhteistyötaitoja kun ohjelmia kehitetään hajautetusti. Mielestäni vapaat ohjelmat sopivat hyvin kestävän kehityksen ajatteluun. Näiden seikkojen valossa minusta koulujen tulisi opettaa vapaita ohjelmia, etenkin kestävän kehityksen opetuksessa. Jokainen ohjelma on työkalu, joka ilmoitetun käyttötarkoituksensa (esimerkiksi kuvankäsittelyohjelma muokkaa kuvaa) lisäksi muokkaa yhteiskuntaa. Ohjelmistohankinnoissa jokainen valinta ja valitsematta jättäminen on annettu ääni ohjelmistojen globaalissa demokratiassa. Kestävän kehityksen periaatteiden nojalla myös ohjelmistohankintojen seurauksia on tarkasteltava holistisesti.

LÄHTEET

- Antikainen, R. (toim.) 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. FINLCA-hankkeen väliraportti. Viitattu 21.5.2014 <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/39822>.
- Antikainen, R. & Seppälä, J. (toim.) 2012. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena. FINLCA-hankkeen loppuraportti. Viitattu 24.3.2014 <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38711>.
- Barnhart, R. K. & Steinmetz, S. 1988. The Barnhart dictionary of etymology. New York: The H.W. Wilson Company.
- Boyle, J. 2008. The Public Domain - Enclosing the Commons of the Mind. New Haven: Yale University Press. Viitattu 31.1.2014 http://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5385&context=faculty_scholarship.
- Cipolla, C. M. 1978. The Economic History of World Population. London: Penguin Books.
- Cottrell, F. 1955. Energy and Society - The relation between energy, social change and economic development. New York: McGraw-Hill.
- Council Directive 91/250/EEC of 14 May 1991 on the legal protection of computer programs.
- Davis, C.; Nikolic, I.; ja Dijkema, G. P. J. 2009. Industrial Ecology 2.0. Journal of Industrial Ecology, 14: 707–726. Viitattu 24.5.2014 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2010.00281.x/pdf>.
- Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products.
- Financial Times. 2013. FT Global 500 June 2013. Viitattu 2.12.2013 <http://media.ft.com/cms/9d06140c-3036-11e3-9eec-00144feab7de.pdf>.
- Frischknecht, R.; Büsler, K. S. 2013. Swiss Eco-Factors 2013 according to the Ecological Scarcity Method. Methodological fundamentals and their application in Switzerland. Federal Office for the Environment. Viitattu 22.5.2014 <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=en>.
- Global Footprint Network. 2013. Footprint Basics - Overview. Viitattu 18.12.2013 http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_basics_overview/.
- Goedkoop, M.; Oele, M.; Leijting, J.; Ponsioen, T. Meijer, E. 2013. Introduction to LCA with SimaPro. Viitattu 22.5.2014 <http://www.pre-sustainability.com/download/Introduction-to-LCA-with-SimaPro-oct2013.pdf>.
- Green Design Institute. 2014. Approaches to LCA-Economic Input-Output Life Cycle Assessment. Viitattu 14.5.2014 <http://www.eiolca.net/Method/LCAApproaches.html>.
- Heller, M. C.; Keoleian, G. A. 2000. Life Cycle-Based Sustainability Indicators for Assessment of the U.S. Food System. Viitattu 25.5.2014 <http://css.snre.umich.edu/publication/life-cycle-based-sustainability-indicators-assessment-us-food-system>.
- Honkimo, P. 2013. Assessment of packaging material life cycle. Master's thesis. Oulu University of Applied Sciences. Viitattu 22.5.2014 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201303203478>.
- IEA. 2013. Key World Energy Statistics. Viitattu 25.5.2014 <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>.

IEA. 2012. World Energy Outlook 2012. OECD Publishing. Viitattu 4.12.2013 http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/energydevelopment/2012updates/Measuringprogressstowardsenergyforall_WEO2012.pdf.

India Brand Equity Foundation. 2013. Agriculture and Food Industry In India. Viitattu 13.12.2013 <http://www.ibef.org/exports/agriculture-and-food-industry-india.aspx>.

Jungbluth N.; Nathani C.; Stucki M.; Leuenberger M. 2011. Environmental Impacts of Swiss Consumption and Production. A combination of input-output analysis with life cycle assessment. Federal Office for the Environment. Viitattu 22.5.2014 <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01611/index.html?lang=en>.

Junkkari, M. & Sirkka, A. 2011 Formal Definition of Traceability Graph. Viitattu 10.1.2014 <http://urn.fi/urn:isbn:978-951-44-8652-4>.

Junnila, S. 2009. Environmental Impact and Intensity of Processes in Selected Services Companies. Journal of Industrial Ecology, 13: 422–437.

Laki oikeudesta valokuvaan 8.7.1961/405.

Laki oikeudesta valokuvaan annetun lain kumoamisesta 447/1995.

Laki oikeudesta valokuvaan 3.6.1927/175.

Landes, D. S. 1970. The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present. Cambridge: Cambridge University Press.

Menke, D. M.; Davis, G. A.; Vigon, B. W. 1996. Evaluation of life cycle assessment tools. Julkaisematon raportti. Hazardous Waste Branch / Environment Canada. Viitattu 22.5.2014 http://www.ertc.deqp.go.th/ertc/images/stories/user/ct/ct1/cp/design_for_environment/Evaluation%20of%20LCA%20software%20tools.pdf.

National Bureau of Statistics of China. 2013a. Communiqué on Major Data of the Second National Agricultural Census of China (No.1). (kopio Internet Archivessa) Viitattu 13.12.2013 <http://wayback.archive.org/web/20131213092519/http://www.stats.gov.cn/was40/reldetail.jsp?docid=402464541>.

National Bureau of Statistics of China. 2013b. Population and Its Composition. Viitattu 13.12.2013 <http://www.stats.gov.cn/tjsj/nds/2012/html/D0301e.htm>.

Netcraft. 2014. May 2014 Web Server Survey. Viitattu 24.5.2014 <http://news.netcraft.com/archives/2014/05/07/may-2014-web-server-survey.html>.

Niemelä, M. 2010. Kestävää muotoilua mallintamassa. Helsinki: Aalto-yliopisto.

OECD. 2010. Agricultural Policies and Rural Development: A Synthesis of Recent OECD Work. Viitattu 13.12.2013 <http://www.oecd.org/agriculture/44561502.pdf>.

Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J.; Hanson, C. E. (toim.) 2007. Summary for Policymakers. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Viitattu 2.12.2013 http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/figure-spm-2.html.

Penttinen, I. 2010. Adoption of eco-efficiency in strategic and operational management of industrial small and medium size enterprises. Tampere: Tampereen yliopistopaino.

SHDB. 2014. Social Hotspots Database website. Viitattu 23.5.2014 <http://socialhotspot.org/>.

- SimaPro. 2014. Consider Your Audience When Doing Impact Assessment. Viitattu 25.5.2014 <http://www.pre-sustainability.com/consider-your-audience-when-doing-lca>.
- Seppälä, J.; Basson, L.; Norris, G. A. 2002. Decision Analysis Frameworks for Life-Cycle Impact Assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 5: 45–68.
- Sokka, L. 2011. Local systems, global impacts - Using life cycle assessment to analyse the potential and constraints of industrial symbioses. Espoo: VTT. Viitattu 24.3.2014 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2011/P768.pdf>.
- Stallman, R. 1983. GNU Initial Announcement. Viitattu 21.5.2014 <https://www.gnu.org/gnu/initial-announcement.html>.
- Stallman, R. 2003. Why Schools Should Exclusively Use Free Software. Viitattu 21.5.2014 <https://www.gnu.org/education/edu-schools.html>.
- Stallman, R. 2004. Puhe National Institute of Technologyssä Trichyssä Intiassa. Viitattu 21.5.2014 <https://www.gnu.org/philosophy/nit-india.en.html>.
- Stern, N. 2006. Executive summary (short). Stern Review Report on the Economics of Climate Change. Viitattu 2.12.2013 http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130129110402/http://www.hm-treasury.gov.uk/d/CLOSED_SHORT_executive_summary.pdf.
- Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (toim.) 2013. Summary for Policymakers. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. Viitattu 20.11.2013 http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf.
- Tike. 2011. Maatalouden rakennetutkimus / Maatalouslaskenta 2010 - Työvoima. Viitattu 13.12.2013 <http://www.maataloustilastot.fi/tilasto/3407>.
- Tilastokeskus. 2011. Suomen ennakkoväkiluku joulukuun lopussa 5 374 499. Viitattu 13.12.2013 http://www.tilastokeskus.fi/til/vamuu/2010/12/vamuu_2010_12_2011-01-20_tie_001_fi.html.
- TOP500. 2013. Top 500 [supercomputer] list. Viitattu 24.5.2014 http://s.top500.org/static/lists/2013/11/TOP500_201311.xls.
- UNEP. 2009. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Viitattu 23.5.2014 http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf.
- UNEP. 2011. Global Guidance Principles For Life Cycle Assessment Databases. A Basis For Greener Processes And Products. Viitattu 25.5.2014 <http://www.estis.net/includes/file.asp?site=lcinit&file=1A7F8184-EE6E-413B-BF32-FBE1C0E0DB5E7>.
- United Nations. 2013. World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables. Working paper No. ESA/P/WP.228. Viitattu 20.11.2013 http://esa.un.org/unpd/wpp/Documentation/pdf/WPP2012_HIGHLIGHTS.pdf.
- US EPA. 2013. Design for the Environment. Viitattu 11.12.2013 <http://epa.gov/dfe/pubs/about/>.
- US Census Bureau. International Data Base. 2012. Total Midyear Population for the World: 1950-2050. Viitattu 4.12.2013 http://www.census.gov/population/international/data/worldpop/table_population.php.
- Vertanen, S. 1993. Elinkaarianalyysi ja pakkaukset. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus.
- Välämäki, M. 2009. Oikeudet tietokoneohjelmistoihin. Helsinki: Talentum.

Williams, S. 2002. Free as in Freedom (2.0): Richard Stallman and the Free Software Revolution. Boston: Free Software Foundation. Viitattu 21.5.2014 <http://shop.fsf.org/product/free-as-in-freedom-2/>.

WBCSD. 2000. Eco-Efficiency, creating more value with less impact. Viitattu 9.12.2013 http://www.wbcSD.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value.pdf.

WCED. 1987. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.

Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86.

Österlund, H. 1998. Konepajatuotteiden elinkaariarviointi kaupallisia LCA-ohjelmistoja käyttäen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.

Tahot joihin otin yhteyttä käytetyimpien ohjelmien selvittämiseksi

Opetusinstituutioita

*Turun kauppakorkeakoulu / Markus Granlund, professori, kauppakorkeakoulun johtaja

*Turun yliopisto / Reijo Lahti, matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan dekaani ja professori

*Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu / Samuel Kaski, professori, Tietojenkäsittelytieteen laitoksen varajohtaja

*Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu / Risto Ilmoniemi, Lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitoksen professori ja laitoksen johtaja

*Hämeen ammattikorkeakoulu / Ilpo Pölönen, Koulutusohjelmajohtaja Kestävän kehityksen koulutusohjelmassa

*Hämeen ammattikorkeakoulu / Risto Seppä

*Turun ammattikorkeakoulu / Ilpo Penttinen, kouluttaja. Erityisala ympäristöjohtaminen

*Lahden ammattikorkeakoulu / Sakari Autio, luennoitsija, ympäristötekniikka

*Lappeenrannan teknillinen yliopisto / Risto Soukka, professori

Tutkimuslaitoksia

*Teknologian tutkimuskeskus VTT / Tuomas Mustonen, asiakasjohtaja. Vastuualueenaan Prosessit ja ympäristö -toimiala

*Teknologian tutkimuskeskus VTT / Seija Sihvonen, VP Business Solutions, ICT

*Teknologian tutkimuskeskus VTT / Kujanpää Marjukka

*Teknologian tutkimuskeskus VTT / Ovaskainen Mari

*Teknologian tutkimuskeskus VTT / Paju Marja

*Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT / Eija Pouta, professori.
Tutkimusaihe mm. Ympäristöhyötyjen taloudellinen arvottaminen

*Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT / Juha-Matti Katajajuuri,
vanhempi tutkija

*Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT / Markku Järvenpää, johtaja.
Alana teknologiatutkimus

*Suomen ympäristökeskus SYKE / Jyri Seppälä, Kulutuksen ja tuotannon
keskuksen johtaja, elinkaarianalyysin tutkija

*Motiva Oy / Henrik Österlund, Yksikönpäällikkö / Materiaalitehokkuus,
elinkaarianalyysin tutkija

*Wuppertal-instituutti / Michael Lettenmeier, konsultti luonnonvaratehokkuuden
alalla

*Varsinais-Suomen kestävän kehityksen ja energia-asioiden palvelukeskus
VALONIA / Riikka Leskinen, projektipäällikkö. Yritysten ympäristöasiat, vihreä
liiketoiminta

Yksityisyriityksiä

*Pöyry / Environmental Consulting

*Ramboll / Hannu Virkkunen, Yksikönpäällikkö, kestävä kehitys

*Insinööritoimisto ECOBIO Oy / Thomas Andersson, konsultti

Muita

*Turun kaupunki / Tiina Liira, ympäristötarkastaja

*Varsinais-Suomen ELY / Outi Engström, päällikkö / kehitysyksikkö

Luettelo elinkaariarviointiohjelmiä

SimaPro <http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software/>

SULCA (entinen nimi KCL-ECO)

http://www.vtt.fi/research/technology/sulca_software.jsp?lang=en

openLCA <http://www.openlca.org/>

Euroopan komission lista

<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ResourceDirectory/toolList.vm>

Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston lista

<http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/resources.html#Software>

GaBi <http://www.gabi-software.com>

Quantis <http://www.quantis-intl.com/>

Sustainable Minds <http://www.sustainableminds.com/software>

Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI) <http://www.epa.gov/nrmrl/std/traci/traci.html>

Umberto NXT LCA <http://www.umberto.de/en/versions/umberto-nxt-lca/>

Brightway2 <http://brightwaylca.org/>

GEMIS <http://www.iinas.org/gemis.html>

Luettelo inventaarioanalyysitietokantoja (LCI)

ELCD ja ILCD <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/>

European Platform on LCA List of databases

<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ResourceDirectory/databaseList.vm>

openLCA format converter <http://www.openlca.org/openlca-format-converter>

ecoinvent <http://www.ecoinvent.org/database/>

U.S. Life Cycle Inventory Database <http://www.nrel.gov/lci/>

US EPA LCA Resources

<http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/resources.html#Software>

LCA Digital Commons <https://www.lcacommons.gov/>

LCA Food Database <http://lcafood.dk/>

LIPASTO <http://lipasto.vtt.fi/>

ESU-services <http://www.esu-services.ch/data/>

Worldsteel <http://www.worldsteel.org/steel-by-topic/life-cycle-assessment/about-the-lci.html>

Luettelo vaikutustenarviointimenetelmiä (LCIA)

IMPACT2002+ ja muita IMPACT-menetelmiä <http://www.impactmodeling.net/>

ReCipE <https://sites.google.com/site/lciarecipe/>

eco indicator 99 <http://www.pre-sustainability.com/eco-indicator-99-manuals>

SimaPro:n valmistajan kuvaukset useista LCIA-menetelmistä <http://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods-oct2013.pdf>

Ecological scarcity

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=en>