



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SAVOLAISEN EKO-PIENTALON RAKENNUSMATERIAALIEN LCA- TARKASTELU

TEKIJÄ/T: Sauli Schroderus

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Sauli Schroderus	
Työn nimi Savolaisen eko-pientalon materiaalien LCA-tarkastelu	
Päiväys	9.12.2014
Sivumäärä/Liitteet	44
Ohjaaja(t) Yliopettaja Merja Tolvanen, lehtori Ville Kuusela ja projekti-insinööri Laura Malo	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia AMK / RIP-hanke	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin standardinmukainen LCA-tarkastelu eli elinkaariarviointi savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaaleille. Elinkaariarvioinnin tavoitteena oli selvittää rakennusmateriaalien raaka-aineiden hankinnasta, kuljetuksista tehtaalle ja materiaalin valmistuksesta syntyvät ympäristövaikutukset. Ympäristövaikutukset, joita tässä työssä selvitettiin, olivat ilmastonmuutos, happamoituminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Lisäksi selvitettiin energian kokonaiskäyttö, joka materiaalien valmistamiseen kuluu. Tietoja rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista kerättiin olemassa olevista ympäristöselosteista sekä elinkaarilaskentaohjelma OpenLCA:lla Ökobau-materiaalitietokannasta.</p> <p>Opinnäytetyö oli osana RIP-hankkeen savolainen eko-pientalo -projektia. Projekti jakautui kolmeen eri opinnäytetyöhön, joista tämä työ oli opinnäytetyöketjun ensimmäinen. Seuraava työ käsitteli tämän työn laskelmien pohjalta rakennusosien ekologisuutta sekä rakennusosien kustannuksia ja työmenekkiä. Kolmannessa työssä tutkittiin koko talon energiatehokkuutta. Tämän opinnäytetyön standardinmukainen elinkaariarviointi sisälsi neljä eri vaihetta, jotka olivat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusten arviointi ja tulosten tarkastelu. Inventaarioanalyysi eli tietojen keruu osoittautui työläimmäksi vaiheeksi, koska tietoja rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista ei ollut aina helposti saatavilla. Pitkäjänteisen työskentelyn tuloksena tiedot saatiin kerättyä kaikille rakennusmateriaaleille ja opinnäytetyön tavoite täyttyi.</p> <p>Tuloksiksi tässä opinnäytetyössä saatiin elinkaariarvioinnin avulla savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaalien valmistamisen kokonaisenergiankulutus sekä valmistamisesta syntyvät ympäristövaikutukset kolmelle eri ympäristövaikutusluokalle. Kaikille rakennusmateriaaleille tehtiin Excel-taulukot, joiden avulla pystytään laskemaan ympäristövaikutukset rakennusmateriaaleille, kun tiedetään rakennusmateriaalin määrä. Rakennusmateriaalien väliseen vertailuun ei tässä opinnäytetyössä keskitytty syvemmin, vaan vertailu on parempi suorittaa rakennusosien tasolla. Taulukoiden avulla seuraava opinnäytetyön tekijä pystyi jatkamaan omaa työtään, eli tutkimaan eri rakennusosien ekologisuutta. Lisäksi näitä taulukoita voidaan käyttää myös tulevaisuudessa rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten laskentaan, koska taulukoista löytyy yleisimmin käytetyt rakennusmateriaalit.</p>	
Avainsanat Ekologisuus, elinkaariarviointi, ilmastonmuutos	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Sauli Schroderus			
Title of Thesis LCA for Building Materials Used in Eco Detached House			
Date	9 December 2014	Pages/Appendices	44
Supervisor(s) Mrs. Merja Tolvanen, Principal Lecturer, Mr. Ville Kuusela, Lecturer and Mrs. Laura Malo, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences / RIP-project			
<p>Abstract</p> <p>The object of this thesis was to make a life cycle assessment to the building materials of a eco detached house. The purpose of this LCA was to investigate the environmental impacts caused by getting the raw materials, transports to the factory and the making of the material. The environmental impacts, which were under investigation in this thesis, were climate change, acidification and formation of ground-level ozone. The total energy consumption of making the building materials was also under investigation. Information from these environmental impacts was found in environmental profiles and using life cycle software OpenLCA to study the Ökobau-material database.</p> <p>This thesis was part of the "Innovative wood products in construction" project's (also known as RIP- Rakentamisen Innovatiiviset Puutuotteet) eco detached house project. The eco detached house project was divided into three different theses, and this thesis was the first in this thesis chain. The object of the second thesis was to study the ecology of the building parts and also the price of the building parts and labor input. The object of the third thesis was to study the energy efficiency of the eco detached house. The standard life cycle assessment of this thesis included four different stages, which were the goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment and interpretation. The inventory analysis, i.e. the collection of data turned out to be the most laborious stage because information on the environmental impacts of building materials was not always easy to get. After hard work, data was collected on all building materials and the objective of this thesis was fulfilled.</p> <p>With the help of the life cycle assessment the result was obtained, which was the total energy consumption of making the building materials and also the three different environmental impacts that the making of the building materials causes. Excel charts were made to every building material and with the help of the charts it is possible to calculate the environmental impacts of the building materials, when the amount of the building material is known. The comparison between building materials was not focused more deeply on this thesis, but the comparison is better to do at the level of building parts. With the help of the charts the second thesis maker was able to continue his own work, which was to study the ecology of building parts. In addition, these charts can also be used in the future to calculate the environmental impacts of the building materials because the most commonly used building materials can be found in the charts.</p>			
Keywords Ecology, life cycle assessment, climate change			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun toimeksiantona RIP-hankkeeseen liittyen vuoden 2014 aikana. Haluan kiittää Savonia-ammattikorkeakoulua tästä mielenkiintoisesta opinnäytetyöstä ja ohjaajiani Merja Tolvasta, Ville Kuusela sekä myöhemmin ohjaajaksi tullutta Laura Maloa opinnäytetyöni ohjaamisesta. Lisäksi haluan kiittää rakennustekniikan opiskelijaa Timo Lohelaa, jolta sain paljon tietoa rakennusmateriaaleista ja rakentamisesta.

Kuopiossa 25.11.2014

Sauli Schroderus

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
1.1	Tausta ja tavoitteet	8
1.2	RIP-hanke ja savolainen eko-pientalo	8
2	ELINKAARIARVIOINTI.....	10
2.1	Elinkaariarvioinnissa käytettävät standardit.....	10
2.2	Elinkaariarvioinnin vaiheet	11
2.2.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely.....	11
2.2.2	Inventaarioanalyysi	11
2.2.3	Vaikutusarviointi	12
2.2.4	Tulosten tulkinta	13
2.3	Rakennusmateriaalien elinkaari.....	13
2.4	Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten selvittämisessä käytettävät tietolähteet.....	14
2.4.1	Ympäristöselosteet	14
2.4.2	Tietokannat ja ohjelmistot	15
3	SAVOLAISEN EKO-PIENTALON RAKENNUSMATERIAALIEN ELINKAARIARVIOINTI	16
3.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	16
3.2	Inventaarioanalyysi	17
3.2.1	Tiedonkeruu ympäristöselosteiden avulla	18
3.2.2	Tiedonkeruu Ökobau-materiaalitietokannan avulla	18
3.2.3	Tiedonkeruu kirjallisuuden avulla	19
3.3	Vaikutusarviointi ja tutkitut vaikutusluokat.....	19
3.4	Tulosten tulkinta	22
3.5	Elinkaariarvioinnissa käytetyt rakennusosat ja niiden materiaalit	23
3.5.1	Rakennusosat	23
3.5.2	Rakennusmateriaalit eri rakennusosissa	24
3.5.3	Rakennusmateriaalien lähtötiedot.....	29
3.5.4	Rakennusmateriaalien elinkaaret	30
4	TULOSTEN TARKASTELU.....	37
4.1	Kerätyt ympäristövaikutukset rakennusmateriaaleille.....	37
4.2	Materiaalien välinen vertailu	38
4.2.1	Katemateriaalien hiilijalanjäljen vertailu	38

4.2.2	Liimapuun ja sahatavaran vertailu	39
4.2.3	Mineraalivillan ja polyuretaanin CO ₂ -ekvivalentin ja POCP:n vertailu.....	39
5	YHTEENVETO.....	40
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	41

SANASTO

CLT	cross laminated timber, ristiinlaminoitu puulevy
CH₄	metaani
CO	hiilimonoksidi
CO₂	hiilidioksidi
DAIA	decision analysis impact assessment, vaikutusarviontimenetelmä
ESR	Euroopan sosiaalirahasto
IPCC	Intergovernmental panel on climate change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
LCA	life cycle assessment, elinkaariarviointi
NMVOG	non-methane volatile organic compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet pl. metaani
NO_x	typen oksidit
N₂O	dityppioksidi (ilokaasu)
POCP	photochemical ozone creation potential, alailmakehän otsonin muodostuminen
RIP-hanke	Rakentamisen innovatiiviset puutuotteet -hanke
SO₂	rikkidioksidi

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Ekologisuus on nykypäivinä tullut yhä tärkeämmäksi asiaksi eri aloilla, ja päästörajoitusten kiristytessä ekologisuuteen on hyvä pyrkiä. Myös rakennusteollisuudessa on alettu ottamaan ekologisuus huomioon. Ekologinen rakentaminen vähentää syntyviä ympäristövaikutuksia sekä vähentää luonnonvarojen kuluttamista. Ekologisuus rakentamisessa alkaa jo rakennusmateriaalien hankinnasta, ja rakennusmateriaalien valintaan on alettu kiinnittämään enemmän huomiota. Puurakentamista on yleisesti ottaen pidetty ekologisena ratkaisuna, mutta pidemmällä aikavälillä puurakenteita joudutaan uusimaan enemmän kuin esimerkiksi betonirakenteita. Ekologisuus rakentamisessa ei ole niin yksiselitteinen asia ja savolainen eko-pientalo -projektissa, joka on osa RIP-hanketta, halutaan etsiä vastauksia rakentamisen ekologisuudesta nousseisiin kysymyksiin. Savolainen eko-pientalo -projekti on laaja kokonaisuus, joten se on jaettu useampaan eri opinnäytetyöhön, joissa keskitytään ekologisen rakentamisen eri alueisiin. Tämä opinnäytetyö keskittyy savolaiseen eko-pientalo -projektiin materiaalitasolla, eli tämä opinnäytetyö aloittaa savolaisen ekopientalo -projektin opinnäytetyöketjun.

Kokonaisuudessaan RIP-hankkeeseen kuuluva savolainen eko-pientalo -projekti jakautuu kolmeen eri tutkittavaan alueeseen ja siten kolmeen eri opinnäytetyöhön. Yhdessä opinnäytetyössä tutkitaan aluksi savolaisessa eko-pientalossa käytettävien rakennusmateriaalien elinkaarta ekologisesta näkökulmasta materiaalin raaka-aineiden hankinnasta tehtaalle saakka. Apuna elinkaaritarkastelussa käytetään valmiita rakennusmateriaalien ympäristöselosteita, kirjallisuutta sekä Ökobau-materiaalitietokantaa. Sen jälkeen seuraavassa opinnäytetyössä tutkitaan savolaisen eko-pientalon rakennusosien ekologisuutta tämän opinnäytetyön laskelmien pohjalta, lasketaan rakennusosien hinnat ja niiden kuljetuskustannukset ja kuljetuksen päästöt sekä rakennusosien työmenekit. Kolmannessa opinnäytetyössä tutkitaan koko talon energiatehokkuutta eli E-lukua. Tässä opinnäytetyössä keskitytään ensimmäiseen alueeseen, eli rakennusmateriaalien elinkaaritarkasteluihin.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä elinkaariarvio savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaaleille. Työssä selvitetään rakennusmateriaalien raaka-aineiden hankinnasta, kuljetuksista tehtaalle ja materiaalin tuottamisesta syntyvät ympäristövaikutukset eri lähteitä apuna käyttäen. Tärkein ja yleisimmin käytetty ympäristövaikutusluokka on ilmastonmuutos, ja tässä työssä sen lisäksi tarkasteltaviksi otetaan energian kokonaiskäyttö, happamoituminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Opinnäytetyön aikana tehdään laskentataulukkoja Excel-tilukkolaskentaohjelmaan, jonka avulla pystytään laskemaan eri rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset neljälle tässä työssä valitulle ympäristövaikutusluokalle. Näiden taulukoiden avulla seuraava opinnäytetyön tekijä pystyy jatkamaan omaa työtänsä eli muodostamaan rakennusmateriaaleista rakennusosia ja laskemaan rakennusosien valmistamisesta syntyvät ympäristövaikutukset.

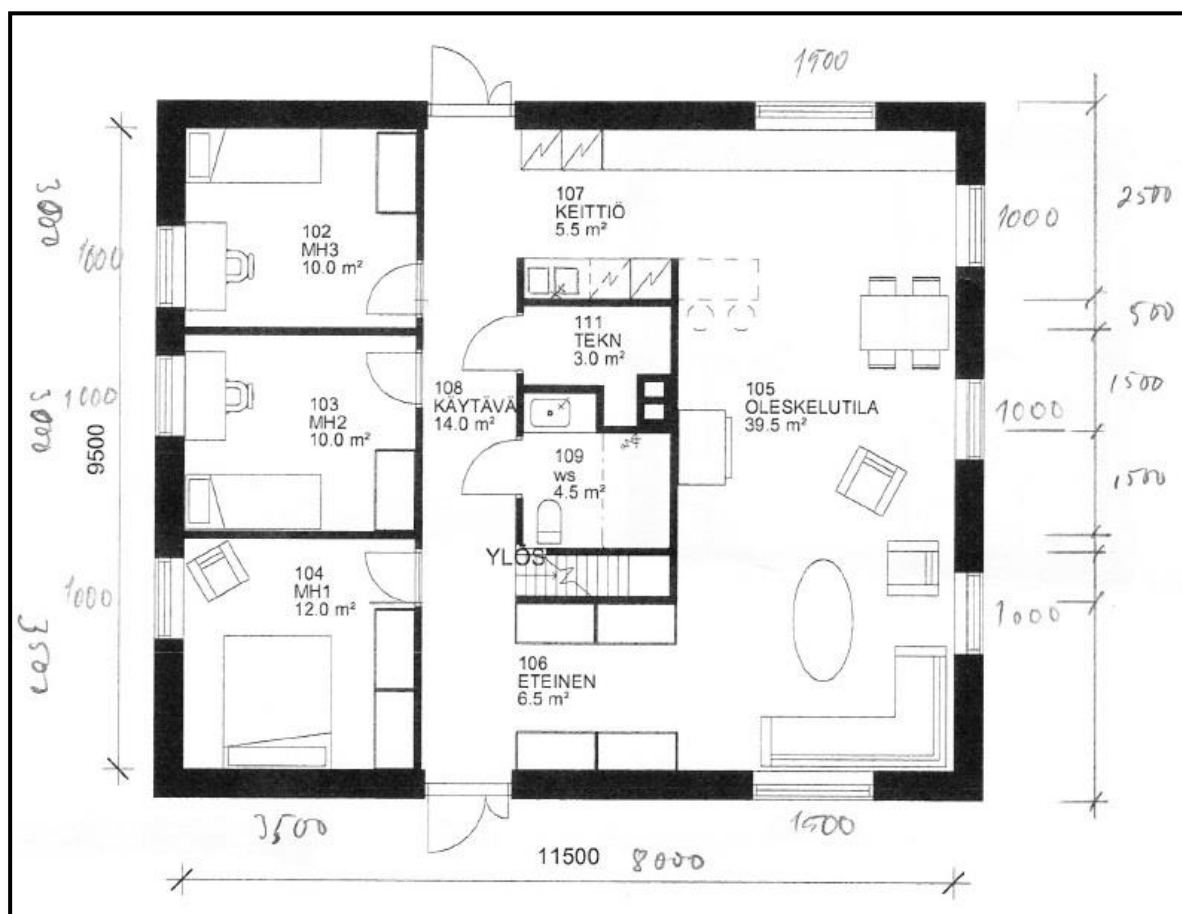
1.2 RIP-hanke ja savolainen eko-pientalo

RIP-hanke eli rakentamisen innovatiiviset puutuotteet -hanke on Euroopan sosiaalirahaston (ESR) rahoittama hanke, joka on kaksivuotinen. Hankkeen toteuttaja on Savonia-ammattikorkeakoulun

kuntayhtymä. Hallitusohjelman tavoitteisiin Pohjois-Savossa kuuluu puuteollisuuden kehittämistoimenpiteiden kohdentaminen rakentamisessa käytettävien uusien rakenteiden ja rakennustuoteosien soveltamista ja kehittämistä tukeviin koulutussisältöihin ja RIP-hanke tulee vastaamaan näihin tavoitteisiin. (Eura2007.fi.)

Savolainen eko-pientalo -projekti on osana RIP-hanke kokonaisuutta, jossa tavoitteena on tutkia että mitkä rakennusmateriaalit, -tavat ja rakenteet ovat ekologisia ja ekonomisia pitkällä aikavälillä. Tutkittavaksi aikaväliksi savolaiselle eko-pientalolle asetetaan 200 vuotta. Laskelmissa tarkasteltavana kohteena on Kuopiossa sijaitseva, paikallisella työvoimalla toteutettu savolainen eko-pientalo, jonka ekologisuutta tutkitaan.

Kokonaisuudessaan projektissa tutustutaan savolaisen eko-pientalokonseptiin, sen toimivuuteen ja tulevaisuuteen Suomessa. Projektissa perehdytään myös ekologisuutta parantaviin ratkaisuihin. Näin laajaa kokonaisuutta pyritään rajaamaan määrittelemällä rakennuspaikka, käytettävät materiaalit, kuljetustavat ja työvoima. Talon arkkitehtisuunnitelmat ovat tehty 3 vuoden projektina ja ne ovat käytettävissä tämän projektin pohjana (Kuva 1).



Kuva 1. Savolaisen eko-pientalon pohjapiirustus. (Lehtori Ville Kuuselalta saatu pohjapiirustus, 2014.)

2 ELINKAARIARVIOINTI

Elinkaariarviointi eli LCA (Life Cycle Assessment) on menetelmä, jonka avulla voidaan tutkia ja arvioida tuotteen, prosessin tai toiminnon aiheuttamat ympäristövaikutukset koko elinkaaren aikana. Täydellinen elinkaarianalyysi sisältää raaka-aineiden hankinnan luonnosta, niiden kuljetuksen ja prosessoinnin sekä tuotteen valmistuksen, jakelun, käytön, uudelleenkäytön, huollon, kierrätyksen ja hylkäämisen. (Ympäristö.fi.)

Nykyään elinkaarianalyysillä ja muilla elinkaariajatteluun perustuvilla menetelmillä on yhä tärkeämpi merkitys tuotteiden ja palveluiden suunnittelussa. Tuotteiden ja palveluiden tuotanto ja kulutus sekä infrastruktuurin rakentaminen vaikuttavat eri tavoin elinympäristöömme. Ne vähentävät olemassa olevia luonnonvaroja ja kuluttavat energiaa sekä muuttavat monien biologisten toimintojen perusteita päästämällä ympäristöön haitallisia aineita ja yhdisteitä. Pyrkinessä kestävään kehitykseen ja vähentämään taloudellisen toiminnan aiheuttamaa ympäristökuormitusta on tärkeää arvioida tuotteiden ympäristövaikutukset nimenomaan elinkaaren aikaiset kokonaisvaikutukset. (Antikainen 2010, 11.)

Elinkaarianalyysi on työväline tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksien arviointiin, ja se on alun perin kehittynyt yritysmaailmassa. Ensimmäiset elinkaarianalyysit tehtiin jo 1960-luvulla ja menetelmä on yleistynyt kaikkialla maailmassa. Sillä on nykypäivänä moninaiset sovelluskohteet ja sitä käytetään kaiken kokoisissa yrityksissä aina julkishallintoon asti. Elinkaarianalyysin tekeminen on tietyillä teollisuuden aloilla välttämättömyys, koska asiakkaat edellyttävät sitä käyttämistään tuotteista. Nykyään useilla kuluttajilla on yleisessä tiedossa, että jonkin tuotteen tai palvelun tuottaminen kuluttaa luonnonvaroja ja aiheuttavat ympäristövaikutuksia. Sen takia yhä useampi kuluttaja haluaa tietää tietyn tuotteen ympäristövaikutukset ja ne myös vaikuttavat kuluttajien ostopäätöksiin. Kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n piirissä tehty elinkaarianalyysiä koskevat ISO:n 14040 sarjan standardit, jotka ovat omalta osaltaan lisänneet elinkaarianalyysin käytön yleistymistä. Tässä standardisointityössä on kehitetty yhtenäiset pelisäännöt elinkaarianalyysin laadinnasta ja näin ollen helpottanut sen tekemistä. (Seppälä 2004, 5.)

2.1 Elinkaariarvioinnissa käytettävät standardit

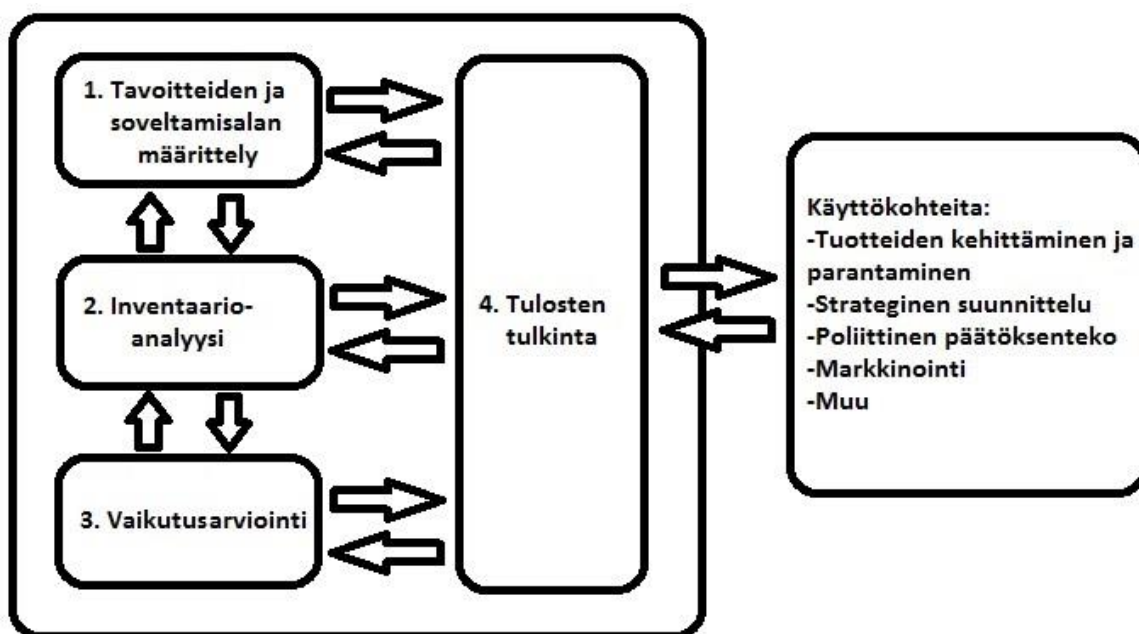
Elinkaariarviointia käsitteleviä standardeja on tällä hetkellä viisi, jotka kuuluvat ISO 14040-sarjaan. Nämä standardit ovat

1. ISO 14040:2006 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.
2. ISO 14044:2006 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.
3. ISO/TR 14047 Environmental management. Life cycle impact assessment.
4. ISO/TS 14048:2002 Environmental management. Life cycle assessment. Data documentation format.
5. ISO/TR 14049:2000 Environmental management. Life cycle assessment. Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis.

ISO 14040 sisältää elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja periaatteet. Se antaa yleiset ohjeet elinkaariarviointiin kuuluvista vaiheista ja mitä vaiheet sisältävät. ISO 14044 standardissa määritellään elinkaariarvioinnin vaatimuksia ja siinä opastetaan esimerkiksi tavoitteiden ja soveltamisalan määrittystä. Lisäksi ISO 14044 opastaa inventaarion tekemisessä ja vaikutusarvioinnissa. Jäljellä olevat kolme standardia (kohdat 3–5) ovat saatavilla vain englanninkielisinä. ISO/TR 14047 ja ISO/TR 14049 ovat teknisiä raportteja, joiden tehtävänä on selventää ISO 14040:n ja ISO 14044:n soveltamista esimerkkien avulla. (Antikainen 2010, 16.)

2.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet

Elinkaariarviointi sisältää neljä eri vaihetta, joita ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi sekä tulosten tulkinta. Kuviossa 1 on esitetty nämä vaiheet ja niiden väliset suhteet.



Kuvio 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040: 2006 mukaan (Antikainen 2010, 17.)

2.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Ensimmäinen vaihe eli tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely on elinkaariarvioinnissa tärkeä vaihe. Siinä määritellään esimerkiksi tutkimuksen tavoite, tuotejärjestelmä, toiminnallinen yksikkö ja elinkaariarvioinnin tarkastelu ajanjakso. Tutkimuksen rajaus, laajuus ja raportointivaatimukset määräytyvät pitkälti tämän vaiheen aikana. (Antikainen 2010, 17.)

2.2.2 Inventaarioanalyysi

Tuotteeseen tai palveluun liittyvät syötteet ja tuotokset arvioidaan inventaarioanalyysissä, joka on elinkaariarvioinnin perusta. Tuotejärjestelmä rajaa ja kuvaa inventaarioanalyysiin mukaan otettavien yksikköprosessien päästöt ympäristöön sekä materiaali- ja energiavirrat. (Seppälä 2001, 17.)

Kuormitustekijät muodostavat inventaarioanalyysin aineiston. Tarkasteltavan tuotejärjestelmän syötteet ja tuotokset selvitetään inventaarioanalyysissä haluttua toiminnallista yksikköä kohden. Toiminnallinen yksikkö voi olla esimerkiksi 1 kg rakennusmateriaalia, jolloin kaikki syötteet ja tuotokset suhteutetaan 1 kg:n. Tuotejärjestelmä koostuu materiaali- ja energiavirtojen yhdistämisestä yksikköprosessi sarjoista. Järjestelmään tulevat perusvirrat eli syötteet ovat energia ja raaka-aineet ja pois-lähteviä virtoja eli tuotoksia ovat esimerkiksi päästöt veteen, ilmaan ja maahan. (Seppälä 2001, 15–17.)

Elinkaariarvioinnissa inventaariotiedon kerääminen ja kokoaminen on hyvin työläs vaihe, sillä kaikki tiedot eivät ole helposti löydettävissä. Nykyään markkinoilla on erilaisia elinkaaritietokantoja, jotka helpottavat tiedonkeruuta. (Antikainen 2010, 21.)

2.2.3 Vaikutusarviointi

Tietojen keruun eli inventaariovaiheen jälkeen tehdään vaikutusarviointi. Siinä syvennetään ja laajennetaan inventaariotietojen tulkintaa esimerkiksi tulosten vertailua, päätöksentekoa ja ympäristötoimien seuranta varten. Vaikutusarvioinnin päämääränä on saada inventaarioanalyysin tulokset käyttökelpoisempaan muotoon ja tuottaa tuotteiden aiheuttamista ympäristövaikutuksista suhteellisia arvioita. (Seppälä 2004, 7.)

Vaikutusluokkien määrittäminen on ensimmäinen vaihe elinkaariarvioinnissa käytettävässä vaikutusarvioinnissa. Vaikutusluokka on vaikutuskokonaisuus, jossa on yhtenäiset syy-seuraussuhteet. Vaikutusluokkia on erilaisia, esimerkiksi ilmastonmuutos, happamoituminen, rehevöityminen jne., ja niiden määrittäminen on valintakysymys. Vaikutusluokkien valitsemisen jälkeen tehdään luokittelu, jossa eri ympäristökuormitustekijät jaetaan vaikutusluokkiin syyseuraussuhteen mukaisesti. Esimerkiksi ilmastonmuutosta aiheuttaviin tekijöihin luokitellaan hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O). (Seppälä 2004, 7–8.)

Vaikutusluokkien luokittelun jälkeen vuorossa on luonnehdinta eli karakterisointi. Luonnehdinnassa luokitelluille tiedoille annetaan ennalta määrätyt karakterisointikertoimet. Karakterisointikertoimien avulla saadaan laskettua vaikutusindikaattoritulos, kun kuormitustekijän karakterisointikerroin kerrotaan kunkin vastaavan vaikutusluokan kuormitustekijän määrä ja laskemalla tulot yhteen. Tällä tavalla eri tuotteiden päästöt saadaan tarkasteltavan ympäristövaikutuksen suhteen yhteismitallisiksi eli tuotteiden päästöt saadaan ekvivalenttilukuina. Matemaattisesti asian voi esittää seuraavalla yhtälöllä:

$$I_i = \sum_j C_{i,j} * E_j \quad (1)$$

missä I_i = vaikutusluokan i indikaattoritulos

$C_{i,j}$ = kuormitustekijän j karakterisointikerroin vaikutusluokassa i

E_j = kuormitustekijän j määräarvio

ISO:n 14042-standardin (ISO 1998) mukaan luonnehdinnan tulee perustua tieteelliseen tietoon. Karakterisointikertoimet, jotka ovat perusteltu tieteellisesti mahdollisimman hyvin, antavat uskottavuutta inventaariotietojen tulkintaan ja elinkaariarviointeja koskevalle päätöksenteolle se tarjoaa oikean lähtökohdan. (Seppälä 2004, 8.)

2.2.4 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkinnassa tuloksiin vaikuttavat merkittävät tekijät tunnistetaan, arvioidaan tulosten johdonmukaisuutta, täydellisyyttä ja herkkyyttä sekä tulosten pohjalta tehdään johtopäätökset. Elinkaariarvioinnin tuloksien luotettavuutta määritellään tulosten arviointiosassa. Johdonmukaisuuden, täydellisyyden ja herkkyyden tarkistukset tulisi huomioida arvioinnissa. Lopuksi tulosten tulkinnassa tehdään johtopäätöksiä, rajoitukset tunnistetaan ja annetaan suosituksia mahdolliselle kohderyhmälle. (Antikainen 2010, 17.)

2.3 Rakennusmateriaalien elinkaari

Keskustelussa rakentamisen ympäristövaikutuksista ja ilmastonmuutoksen lievittämistoimista entistä näkyvämpään rooliin ovat nousseet rakennusmateriaalit. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten merkitys tulee korostumaan, koska ollaan siirtymässä energiatehokkaampaan uudis- ja korjausrakentamiseen, jolloin käytön aikainen hiilijalanjälki eli ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien kasvihuonekaasujen syntyminen rakennuksessa pienenee. Rakennusmateriaaleilla on suuri merkitys vuonna 2011 julkaistussa EU:n komission tiekartassa kohti resurssitehokkaampaa Eurooppaa. Samana vuonna hallituksen ohjelmaan oli asetettu tavoite: ”Edistetään puurakentamista ja rakentamisen energiatehokkuuden laskennassa elinkaarilaskentaa, joka ottaa huomioon myös rakennusmateriaalien ja -tuotteiden valmistuksen.” (Ruuska, Häkkinen, Vares, Korhonen ja Myllymaa 2013, 3.)

Rakennusmateriaalien elinkaariarviointiin kuuluvat resurssien käyttö ja haitalliset päästöt ilmaan, veteen, ja maahan sekä jätteet valittua toiminnallista yksikköä kohden elinkaaren aikana. Tarkassa rakennustuotteen elinkaarianalyysissä selvitetään ympäristökuormat (Häkkinen, Vares, Vesikari, Saarela, Tattari ja Säteri 1997, 15.)

- raaka-aineiden hankinnassa
- energian tuotannossa
- osa-aineiden, tuotteiden ja apuaineiden, kuten pakkausmateriaalien, valmistusprosesseissa
- kaikissa kuljetuksissa
- asennuksessa ja rakentamisessa
- huollossa ja ylläpidossa sekä
- toisto- ja uusiokäytössä tai loppusijoituksessa.

Rakennusmateriaalien elinkaarianalyysiin liittyy erilaisia erityiskysymyksiä verrattuna muihin tuotteisiin. Käyttöikä on rakennusmateriaaleilla suhteellisen pitkä verrattuna moniin muihin tuotteisiin ja elinkaariarvioiden menettelytavat alun perin kehitettiin näitä silmällä pitäen. Tämän takia on tärkeää, että määritetään suunniteltu käyttöikä ja vastaavasti vertailtavien materiaalien käyttöiät, uusimisjak-

sot ja huoltotarpeet, jotta vertailun kohteena olisivat tasavertaiset toiminnalliset yksiköt. Uusiokäytömahdollisuuksien huomioonottamisessa rakennusmateriaalien pitkä käyttöikä aiheuttaa vaikeuksia, koska mahdollinen uusiokäyttö tapahtuu vasta pitkän ajan kuluessa. Pitkän käyttöiän takia huomattava osa pohjatietona käytettävistä materiaali- ja energiavirroista elinkaaritutkimuksessa eivät ole välittömästi tuotantoprosesseista mitattuja arvoja, vaan pelkästään arvioita. (Häkkinen, Vares, Vesikari, Saarela, Tattari ja Säteri 1997, 15.)

Elinkaaritutkimuksien tuloksia käytetään aina vertailuun. Toiminnallisen yksikön valinta rakennusmateriaalien kohdalla vaatii erityistä harkintaa, koska monet materiaalivalinnat ovat riippuvaisia toisistaan rakennussuunnittelussa. Lopullinen vertailu tapahtuu rakennusosien tai rakennusten tasolla. Tämän takia yhdessä toiminnallisessa yksikössä on useita rakennusmateriaaleja käsiteltäessä rakennusosia, joten on tärkeää, että yksittäisten rakennusmateriaalien tulokset ovat mahdollisimman oikein ja yhdenmukaisia. Esimerkiksi jos yksittäisten rakennusmateriaalien toiminnalliset yksiköt on laskettu eri tavoilla, ei saatuja arvoja pysty laskemaan yhteen ja saamaan vertailukelpoisia rakennusosien tuloksia. (Häkkinen, Vares, Vesikari, Saarela, Tattari ja Säteri 1997, 15.)

2.4 Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten selvittämisessä käytettävät tietolähteet

Rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia voidaan kerätä monesta eri lähteestä, mutta yleisimmät lähteet ovat ympäristöselosteet ja erilaiset materiaalitietokannat ja ohjelmistot elinkaaren tutkimiseen. Tiedon keruu eli inventaario on tärkeä, mutta työläs vaihe.

2.4.1 Ympäristöselosteet

Ympäristöselosteet muodostavat toisen ryhmän kolmesta ISO 14000- standardien pääluokasta (ISO 14025) joihin kuuluvat myös myönteiset ympäristömerkit (ISO 14024) sekä omaehtoiset ympäristöväittämät (ISO 14021). Ympäristöselosteiden laadinta on vapaaehtoista ja ne kuuluvat usein johonkin ympäristöselosteohjelmaan. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet ovat ehkä tunnetuimmat Suomessa, mutta valitettavasti niitä ei löydy kaikilta rakennustuotteilta johtuen ympäristöselosteiden vapaaehtoisuudesta. (Tuoreverkosto.fi.)

Ympäristöseloste kertoo sekä tuotteen laadun että ekologisuuden kannalta oleellisia asioita. Standardin ISO 14025 mukainen ympäristöseloste EPD (Environmental Product Declaration) perustuu elinkaariarviointiin ja tiedon, joka on ympäristöselosteessa, tulisi aina perustua elinkaariarvioinnin tuloksiin. Ympäristöselosteet tehdään standardien mukaisilla menetelmäohjeilla ja elinkaariarvioinneilla, ja näitä standardeja ovat ISO-14020, ISO-14040 ja EN-15804. (Tuoreverkosto.fi.)

Ympäristöselosteista kerätään tietoja materiaalien ympäristövaikutuksista, joiden avulla voidaan tehdä materiaaleille elinkaariarviointi. Ympäristöselosteista löytyy erilaisia ympäristövaikutuksia, esimerkiksi ilmastonmuutokseen vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöt, happamoitumiseen vaikuttavat päästöt sekä alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavat päästöt. Ympäristöselosteista löyty-

vät ympäristövaikutukset vaihtelevat laajuudeltaan, toisista ympäristöselosteista löytyy enemmän ympäristövaikutuksia ja toisista vähemmän.

2.4.2 Tietokannat ja ohjelmistot

Elinkaariarvioinnin tiedonkeruun helpottamiseksi on tehty erilaisia materiaalitietokantoja. Markkinoilla on lähes kolmekymmentä englanninkielistä tietokantaa ja lisäksi muutamia tietokantoja löytyy myös saksakielisinä. Tietokantoja löytyy ilmaisina sekä maksullisina, ja yleensä kattavat tietokannat ovat maksullisia. Materiaalitietokantoja voidaan tutkia erilaisten LCA -ohjelmistojen avulla, esimerkiksi OpenLCA elinkaariohjelmistolla. (Antikainen 2010, 21.)

Materiaalitietokannoissa on esitetty materiaalien ympäristövaikutuksia ja niiden määrä vaihtelee eri tietokantojen välillä. Voidaan olettaa, että maksullisissa tietokannoissa on enemmän materiaaleja ja myös enemmän ympäristövaikutuksia. Elinkaariarvioiden yleistyessä tulevaisuudessa myös erilaiset materiaalitietokannat tulevat yleistymään, ja näin ollen tiedonkeruu tulee helpottumaan entisestään.

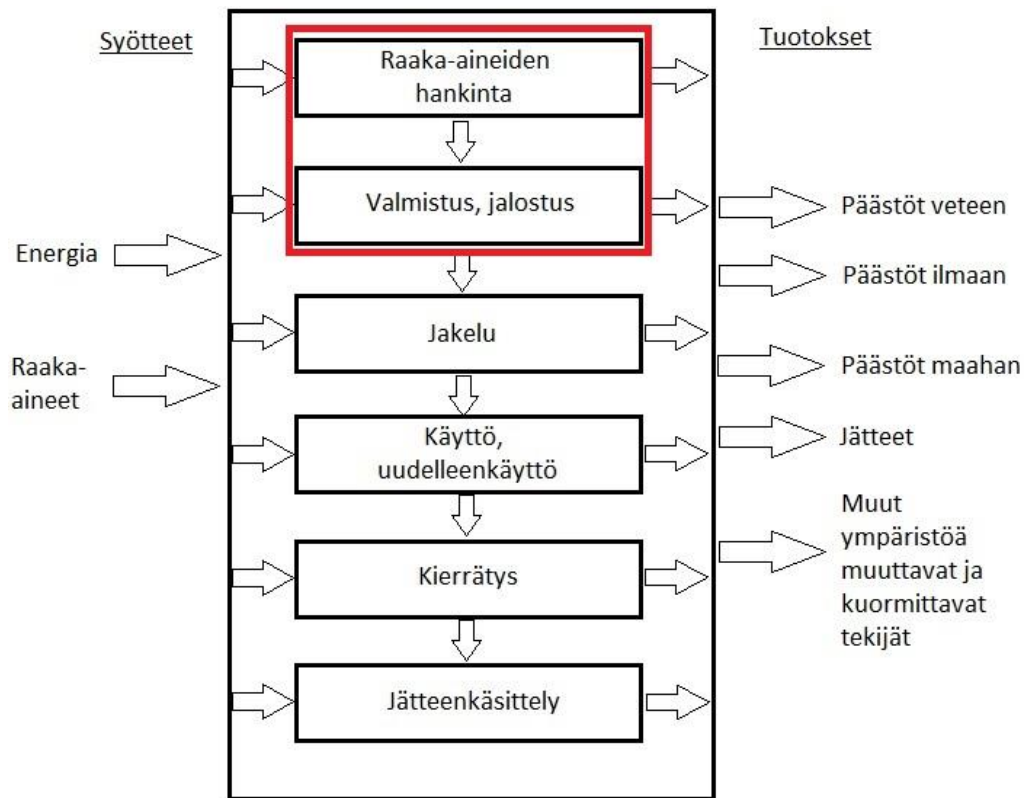
3 SAVOLAISEN EKO-PIENTALON RAKENNUSMATERIAALIEN ELINKAARIARVIOINTI

3.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Opinnäytetyössä tehtiin elinkaaritarkastelu savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaaleille, ja tavoitteena oli saada kaikille rakennusmateriaaleille tiedot valituista ympäristövaikutuksista elinkaaritarkastelun avulla. Aloituspalaverissa määritettiin tämä tavoite ja lisäksi määritettiin muiden savolaisen ekopientalo -projektiin kuuluvien opinnäytetöiden tavoitteet. Tämän opinnäytetyön tavoitteisiin kuului myös se, että seuraava opinnäytetyön tekijä saa tässä työssä selvitetty rakennusmateriaalien valmistamisen päästö määrät, joilla pystyy laskemaan rakennusmateriaalien kokonaisympäristövaikutuksia omaa työtänsä varten ja muodostamaan niistä rakennusosia.

Työtä rajattiin kaikkien opinnäytetöiden osalta alustavasti ja tämän työn rakennusmateriaalien elinkaariarvioinnin tarkastelu ajanjakso rajattiin. Tutkittava elinkaaren osa tässä työssä oli "kehdesta tehtaanportille" eli siihen kuuluu raaka-aineiden hankinta, kuljetukset tehtaalle ja materiaalin valmistus. Tehtaan portilta eteenpäin tarkastelua rakennusosien osalta jatkoi rakennustekniikan opiskelija. Aloituspalaverin jälkeen rajaukset jatkuivat opiskelijoiden kesken, ja rajaukseksi tuli väliseinien, ikkunoiden, ovien poisjättäminen laskelmista. Väliseinät, ikkunat ja ovet ovat kaikissa tutkittavissa rakennusmalleissa samanlaiset, joten niitä ei tarvinnut ottaa vertailuun mukaan. Tällä tavalla työstä ei myös tullut liian laajaa kokonaisuutta tehtäväksi.

Kuviossa 2 on esitetty esimerkki tuotejärjestelmästä, ja tämän opinnäytetyön laajuus on rajattu punaisella merkittyyn alueeseen. Tarkasteltavat syötteet ja tuotokset rajattiin tarkemmin inventaarioanalyysivaiheessa. Heti alussa selvää oli kuitenkin se, että hiilijalanjäljen eli ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen tutkiminen on mukana tässä työssä. Loput ympäristövaikutukset rajattiin myöhemmin inventaarioanalyysivaiheessa. Lisäksi tarkasteltava toiminnallinen yksikkö määriteltiin myös inventaarioanalyysissa.



Kuvio 2. Tuotejärjestelmä (Muokattu lähteestä tukimateriaali laskentasuositukselle (MTT.))

3.2 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysivaihe eli tiedon keruu oli tämän työn työläin ja pitkäkestoisin vaihe. Aluksi piti odottaa rakennustekniikanopiskelijoilta saatavia rakennusmateriaalilistoja, jonka jälkeen inventaarion pystyi kunnolla aloittamaan. Ennen materiaalilistojen saamista tutkittiin olemassa olevia elinkaaritutkimuksia ja millä tavalla niitä oli tehty. Alustavasti myös etsittiin eri lähteitä, joista on mahdollista saada eri rakennusmateriaalien ympäristövaikutustietoja. Tämän avulla oli jo perustietämystä elinkaariarvioinnin tekemisestä, ennen kuin materiaalilistoja oli käsiteltävänä. Rakennusmateriaalilistojen saapuaessa ympäristövaikutustietoja alettiin etsiä erilaisista lähteistä.

Inventaarioanalyysivaiheessa määritettiin loput tarkasteltavat ympäristövaikutukset. Tässä työssä haluttiin tutkia useampia ympäristövaikutusluokkia kuin pelkkää ilmastonmuutosta, joten lisäksi valikoitui muitakin ympäristövaikutusluokkia. Vaikutusluokkien valintaan vaikutti tietojen saatavuus ja niiden käytön yleisyys muissa elinkaaritarkasteluissa. Näistä ympäristövaikutusluokista kerrotaan enemmän kappaleessa 3.3. Lisäksi toiminnalliseksi yksiköksi inventaarioanalyysissä valittiin kilo, eli tuotoksia esiteltiin tuotettua materiaalikiloa kohti. Kilo valittiin sen takia, koska lähes kaikissa lähteissä, joista tiedot kerättiin, oli ympäristövaikutukset ilmoitettu tuotettua materiaali kilo kohti.

Inventaarioanalyysivaihetta pitkitti se, että alun perin tässä työssä oli tarkoituksena käyttää ECO-it elinkaarilaskentaohjelmaa, mutta se vaihdettiin OpenLCA ohjelmistoon ja Ökobau-materiaalitietokantaan. Lisäksi Ökobau-materiaalitietokannan lisenssin hankkiminen kesti melko pitkään, ja siihen asti tietoja rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista pystyi saamaan vain ympäristöselosteiden avulla.

3.2.1 Tiedonkeruu ympäristöselosteiden avulla

Tässä työssä ympäristövaikutustietoja alettiin aluksi kerätä olemassa olevista ympäristöselosteista. Ympäristöselosteita etsittiin valmistajien sivuilta, mutta kaikilta valmistajilta ei löytynyt ympäristöselostetta rakennusmateriaalilleen. Työssä käytetyt ympäristöselosteet vaihtelivat kattavuudeltaan, osassa ympäristöselosteissa oli esitetty materiaalin koko elinkaari eli ”kehdosta hautaan”, ja osassa elinkaari oli rajattu ”kehdosta tehtaaseen portille”. Tämän työn tarkastelut rajoittuivat ”kehdosta tehtaaseen portille”, joka sisältää raaka-aineen hankinnan, kuljetuksen tehtaalle sekä materiaalin valmistuksen.

Ympäristöselosteissa ei ole tarkemmin kerrottu, että mistä esimerkiksi energian kokonaiskulutus koostuu paria ympäristöselostetta lukuun ottamatta. Kaikissa ympäristöselosteissa oli kuitenkin energiankokonaiskulutus jaettu uusiutuvaan ja uusiutumattomaan energiankulutukseen, josta sai laskettua kokonaisenergiankulutuksen. Osassa ympäristöselosteissa ympäristövaikutukset oli esitetty ekvivalenttiluvuin ja osassa vaikutusluokkien päästöt oli eroteltu. Jos valmiita ekvivalenttiarvoja ei ollut esitetty, piti ekvivalenttiarvot laskea itse tässä työssä käytetyillä karakterisointikertoimilla.

3.2.2 Tiedonkeruu Ökobau-materiaalitietokannan avulla

Ensisijaisesti eri rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia etsittiin olemassa olevista suomalaisista ympäristöselosteista. Jos ympäristöselostetta ei löytynyt jonkin rakennusmateriaalin kohdalta, tiedot etsittiin elinkaarilaskentaohjelma OpenLCA:lla saksalaisesta Ökobau-materiaalitietokannasta. Oman haasteensa Ökobau-materiaalitietokanta loi siinä, että tietokannassa kaikki materiaalit ja niiden tiedot olivat saksan kielellä. Ensimmäinen asia tiedon hankinnassa oli siis se, että jos halusi tietystä rakennusmateriaalista etsiä tietoa, niin sen rakennusmateriaalin nimi piti kääntää saksaksi. Tämä onnistui erilaisia sanakirjoja apuna käyttäen, ja samalla oppi hieman saksankielistä sanastoa rakennusmateriaaleista.

Ökobau-materiaalitietokannassa on laaja valikoima erilaisia rakennusmateriaaleja, ja kullekin materiaalille löytyy 13 erilaista ympäristövaikutusta, esimerkiksi tässä työssä käytetyt kokonaisenergiankulutus, CO₂-ekvivalentti, SO₂-ekvivalentti ja POCP. Lisäksi kokonaisenergiankulutus oli jaettu uusiutumattomaan energiaan ja uusiutuvaan energiaan, kuten ympäristöselosteissakin. Energiankokonaiskulutuksen syntymisestä ei tietokannasta löytynyt tietoa, eli ei esitetty, että mistä vaiheista energiankulutus on syntynyt. Ökobau-materiaalitietokannasta ympäristövaikutukset löytyivät valmiiksi ekvivalenttiarvoina, joten arvoille ei tarvinnut tehdä erikseen luonnehdintaa. Ökobaussa olevat ympäristövaikutukset ovat saksalaisista materiaaleista, ja ympäristöselosteiden ympäristövaikutukset ovat suomalaisista materiaaleista. Tässä työssä on käytetty näitä molempia arvoja, koska kumminkin arvot ovat EU:n sisältä, joten ne ovat verrattavissa keskenään.

Flow	Category	Flow property	Unit	Resulting amount
Einsatz von Sekundärstoffen (SM)	Flows /...	Mass	kg	0.0
Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	Flows /...	Mass	kg	0.417513817746486
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	Flows /...	Energy	MJ	0.310340491862125
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	Flows /...	Energy	MJ	0.0
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF)	Flows /...	Energy	MJ	3.5205218312174E-4
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)	Flows /...	Energy	MJ	0.00365916575540906
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	Flows /...	Energy	MJ	12.8412109366035
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	Flows /...	Energy	MJ	26.4
Total erneuerbare Primärenergie (PERT)	Flows /...	Energy	MJ	0.310340491862125

Flow	Category	Flow property	Unit	Resulting amount
Bitumenbahn (G200)	Bauteil...	Mass	kg	1.0
Stoffe zum Recycling (MFR)	Flows /...	Mass	kg	0.0
Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	Flows /...	Mass	kg	2.3160170072852E-4
Stoffe für die Energierückgewinnung (MER)	Flows /...	Mass	kg	0.0
Bildungspotential für troposphärisches Ozon (POCP), Ethen-Äqv.	Flows /...	Mass	kg	4.4020555912594E-4
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP), SO2-Äqv.	Flows /...	Mass	kg	0.0023539102609976
Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	Flows /...	Mass	kg	0.0
Globales Erwärmungspotenzial (GWP), CO2-Äqv.	Flows /...	Mass	kg	0.576946290534139
Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	Flows /...	Mass	kg	1.51626345172989

Kuva 2. Kuvakaappaus Ökobau-materiaalitietokannasta

Kuvassa 2 on esimerkki Ökobau-materiaalitietokannan ympäristövaikutuslistasta rakennusmateriaalille, ja tässä tapauksessa esimerkki rakennusmateriaalina on bitumi.

3.2.3 Tiedonkeruu kirjallisuuden avulla

Lähes kaikille rakennusmateriaaleille löytyi ympäristövaikutukset joko olemassa olevista ympäristöselosteista tai Ökobau-materiaalitietokannasta. Vain kahdelle rakennusmateriaalille ei löytynyt näistä lähteistä arvoja ja jos löytyi, niin tiedot olivat puutteellisia, esimerkiksi esitettiin vain hiilijalanjälki, eikä muita ympäristövaikutusluokkia. Nämä kaksi rakennusmateriaalia olivat laasti ja RUH-380 harkko, ja näille ympäristövaikutukset löytyivät VTT:n julkaisemasta Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet kirjallisesta julkaisusta. Julkaisu on vuodelta 1997, joten siitä otetut arvot ovat melko vanhoja. Tämän työn laskelmissa oletetaan, etteivät arvot ole muuttuneet hyvin paljoa ajan saatossa.

3.3 Vaikutusarviointi ja tutkitut vaikutusluokat

Saaduista ympäristövaikutustiedoista tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan taulukoita, joihin tiedot laitettiin esille. Taulukkojen avulla pystytään laskemaan rakennusmateriaalien kokonaisympäristövaikutuksia. Tämän työn tarkasteltaviksi ympäristövaikutusluokiksi valikoitui energian kokonaiskäyttö, ilmastonmuutos, happamoituminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Seuraavaksi ilmastonmuutoksen, happamoitumisen ja alailmakehän otsonin muodostumisen päästömuuttujat piti luokitella vaikutusluokkiin ja karakterisoida. Taulukossa 1 on luokiteltu näiden vaikutusluokkien päästömuuttujat sekä ilmoitettu niiden karakterisointikertoimet.

Taulukko 1. Vaikutusluokkataulukko ja karakterisointikertoimet

Vaikutusluokka	Päästömuuttuja	Karakterisointikerroin
Ilmastonmuutos (CO ₂ -ekvivalentteina)	CO ₂	1
	CH ₄	25
	N ₂ O	298
Happamoituminen (SO ₂ -ekvivalentteina)	SO ₂	1
	No _x	0.7
Alailmakehän otsonin muodostuminen (POCP)	CH ₄	0.003
	No _x	0.727
	NMVOOC	0.209
	CO	0.064

Esimerkiksi taulukon 1 mukaan CO₂-ekvivalentti saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$CO_2 - ekv = (CO_2 * 1) + (CH_4 * 25) + (N_2O * 298) \quad (2)$$

Joissain lähteissä ympäristövaikutukset oli esitetty valmiina ekvivalenttisarvoina, kuten Ökobau-materiaalitietokannassa, joten niille arvoille ei tarvinnut tehdä erikseen luonnehdintaa.

Seuraavaksi esitellään tässä työssä tutkitut vaikutusluokat, jotka ovat energian kokonaiskulutus, ilmaston muutos, happamoituminen, alailmakehän otsonin muodostuminen. Lisäksi kerrotaan, että miten ympäristövaikutuksia on karakterisoitu.

Energian kokonaiskulutus

Energian kokonaiskulutus kertoo kuluneen energian määrän, mikä on mennyt materiaalin tuotantoprosesseissa. Energiaa on mennyt raaka-aineen hankintaan, kuljetuksiin tehtaalle ja itse materiaalin valmistukseen. Energian kokonaiskulutus on jaoteltu ympäristöselosteissa ja Ökobau-materiaalitietokannassa uusiutuvan energian käyttöön sekä uusiutumattoman energian käyttöön. Uusiutuvaa energiaa saadaan uusiutuvista energianlähteistä, kuten vesi- ja tuulivoimasta. Uusiutumaton energia saadaan uusiutumattomista energianlähteistä, kuten käyttämällä fossiilisia polttoaineita tai ydinvoimaa. Energian kokonaiskulutusta ilmoitetaan tässä työssä megajouleina (MJ).

Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos aiheutuu kasvihuonekaasuista, joita ihmiskunta tuottaa suuria määriä esimerkiksi tässä työssä käsiteltävän rakennusteollisuuden takia. Kasvihuonekaasut aiheuttavat kasvihuoneilmiön, koska kasvihuonekaasut päästävät auringon valon maan pinnalle, mutta osaa lämmöksi muuttuneesta säteilystä ne estävät karkaamasta takaisin avaruuteen. Tämän takia maapallon keskilämpötila kasvaa ja aiheuttaa ilmastonmuutoksen. Hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O) ovat tärkeimpiä ihmisen tuottamia kasvihuonekaasuja ja päästölähteistä merkittävin on fossiilisten polttoaineiden käyttö energiantuotannossa ja liikenteessä. (ilmasto.org.)

Tässä työssä ilmastonmuutoksen päästömuuttujien karakterisointikertoimina käytetään IPCC:n vuoden 2007 arviointiraportin GWP_{100} kertoimia. GWP eli Global Warming Potential on kerroin, joka kuvaa jonkin aineen vaikutuksen ilmastonmuutokseen. Muiden aineiden kertoimia verrataan aina hiilidioksidiin, jonka GWP -kerroin on 1. GWP_{100} -kertoimet puolestaan pyrkivät kuvaamaan kaasujen lämmittävää vaikutusta maapallolla 100 vuoden aikana. Nämä GWP_{100} -kertoimet ovat IPCC:n tuoreimmat ja niitä käytetään ensimmäisen kerran päästöraportoinnissa vuonna 2015, joten sen takia näitä kertoimia käytetään myös tässä työssä. Ilmastonmuutosarvot ilmoitetaan CO_2 -ekvivalenttisarvoina. (Lindroos, Ekholm ja Savolainen 2012, 14–16.)

Happamoituminen

Happamoituminen tarkoittaa pH:n pysyvää alenemista ympäristössä, esimerkiksi metsämailla. Typen oksidit ja rikkidioksidi aiheuttavat happamoitumista ja niitä syntyy ihmisen toiminnan seurauksena esimerkiksi liikenteestä ja teollisuudesta. Happamoituminen vaurioittaa vesistöjen ja maaperän ekosysteemejä, koska happamoituminen vaikuttaa niiden kemialliseen koostumukseen ja eliökantoihin. Lisäksi happamoituminen aiheuttaa haposateita, jotka vaurioittavat esimerkiksi rakennuksia ja patsaita. (Hiukkastieto.fi)

Tässä työssä happamoitumisen päästömuuttujien karakterisointikertoimina on käytetty Hollannissa kehitetyn Ekoindikaattori 95-vaikutusarviointimenetelmän kertoimia (Hara-Lindström 2001, 82.), ja kertoimet löytyvät taulukosta 1. Tämän työn SO_2 -ekvivalentin laskemiseen on käytetty rikkidioksidia (SO_2) ja typpioksideja (NO_x), koska ne löytyivät jokaisesta materiaalien päästöjen selvittämiseksi käytetystä lähteestä.

Alailmakehän otsoni

Otsoni suojaa yläilmakehässä maapalloa vaaralliselta UV-säteilyltä, mutta ollessa alailmakehässä otsoni on ilmansaaste. Alailmakehän otsonia muodostuu valokemiallisessa reaktiossa, esimerkiksi liikenteen pakokaasujen typen oksidien, hiilimonoksidin ja hiilivetyjen reagoiessa auringon valossa ilman hapen kanssa. Suurina määrinä otsoni on haitallista ihmisille, eläimille ja materiaaleille, koska se on kemialliselta luonteeltaan voimakkaasti hapettava. Lisäksi alailmakehän otsoni absorboi auringsäteilyn lämpösäteilyä, joten sillä on myös ilmastoa lämmittävä vaikutus. (Ilmanlaatu.fi.)

Tässä työssä alailmakehän otsonin muodostumisen päästömuuttujia on karakterisoitu DAIA-menetelmän (Decision Analysis Impact Assessment; vaikutusarviointimalli) karakterisointikertoimilla. DAIA -menetelmää voi käyttää vain Suomessa, koska se on kehitetty ottamaan huomioon karkeasti Suomen olosuhteet. DAIA -menetelmän teoreettiset ekvivalenttikertoimet on vielä kerrottu kulutus- ja vaikutuskertoimilla (Hara-Lindström 2001, 82.)

Alailmakehän otsonin päästöarvot ilmoitetaan POCP-arvoina (Photochemical Ozone Creation Potential), ja siihen kuuluvat päästömuuttujat ja niiden karakterisointikertoimet löytyvät taulukosta 1.

3.4 Tulosten tulkinta

Tietojen keräämisen ja karakterisointien jälkeen saatiin koottua Excel-taulukkoja, joiden avulla voidaan laskea rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia rakennusmateriaali määrää kohden. Kaikille materiaalille löytyy oma laskentataulukko, josta esimerkkinä taulukko 2, missä kuvataan liimapuun ympäristövaikutuksia. Taulukkoon voidaan syöttää materiaalin paino, jolloin taulukko laskee ympäristövaikutukset annettua painoa kohden. Taulukossa 2 on esimerkki painoksi asetettu tässä työssä tarkasteltava yksi kilo, jolloin taulukko on laskenut ympäristökuormituksen yhtä kiloa kohti.

Ympäristöselosteissa ja Ökobau-materiaalitietokannasta rakennusmateriaaleille on annettu tilavuuspaino, eli jos tietää laskettavan materiaalin tilavuuden, niin taulukko laskee materiaalin painon tilavuuden ja valmiiksi annetun tilavuuspainon avulla. Sama toimii myös toisinpäin, eli jos tietää materiaalin painon, taulukko laskee tilavuuspainon avulla myös materiaalin tilavuuden. Jos taulukossa on puumateriaali, on taulukon yhteyteen ilmoitettu varastoituneen hiilidioksidin määrä kiloa kohti.

Taulukko 2. Liimapuun ympäristövaikutustaulukko

Tilavuus (m ³)	Tilavuuspaino (kg/m ³)	Paino (kg)	Varastoituneen	
0.0022	450	1.00	hiilidioksidin määrä (kg/kg)	
				1.62

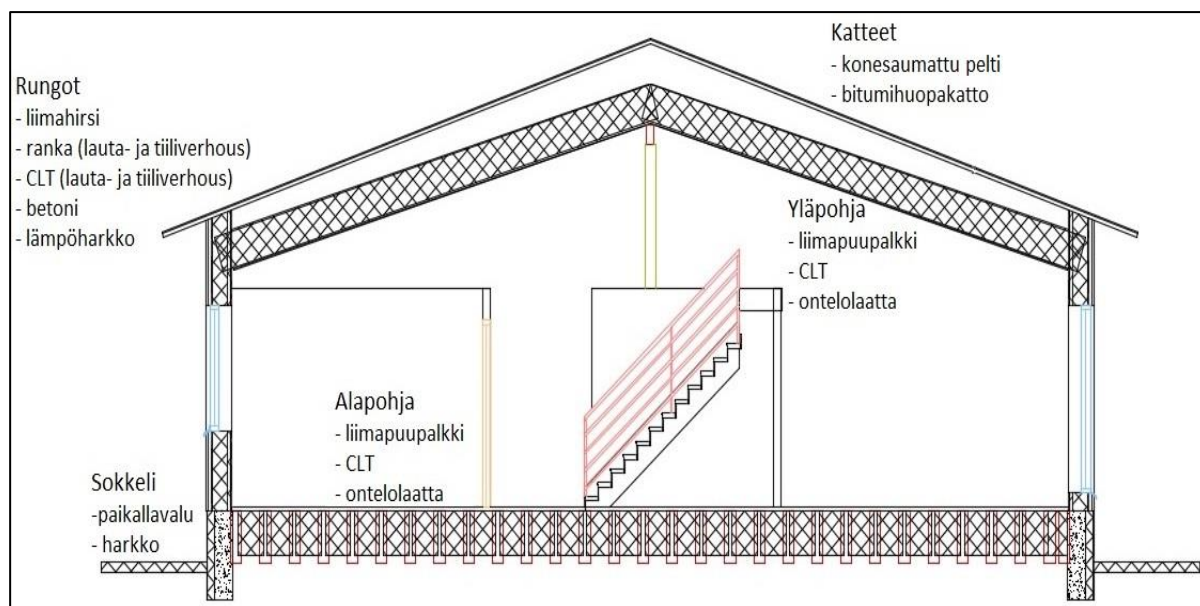
Energian käyttö	Päästökertoimet	Ympäristökuormitus
Uusiutumaton energia (MJ)	5.00 MJ/kg	
Uusiutuva energia (MJ)	3.00 MJ/kg	
Energian kokonaiskäyttö kuljetuksissa ja prosesseissa (MJ)	8.00 MJ/kg	8.00 MJ
Päästöt		
CO ₂	250.00 g/kg	
CH ₄	0.91 g/kg	
N ₂ O	0.18 g/kg	
CO₂-ekv	326.39 g/kg	326.39 g
SO ₂	0.45 g/kg	
Nox	1.50 g/kg	
SO₂-ekv	1.50 g/kg	1.50 g
NM VOC	0.012 g/kg	
CO	1.30 g/kg	
POCP	1.18 g/kg	1.18 g
Raskasmetallit	0.15*10 ⁻³ g/kg	

Tuloksien luotettavuus on tärkeä asia elinkaariarvioinnissa. Luotettavuuteen vaikuttaa käytetyt lähteet sekä karakterisointi. Tässä työssä käytetyt lähteet olivat suurimmilta osin melko uusia, joten niissä annetut arvot ovat luotettavia ja pitävät paikkansa ainakin aikana, jolloin työtä tehtiin. Karakterisointikertoimina käytettiin tieteellisiin julkaisuihin perustuvia kertoimia, joten tämän työn karakterisointia voidaan myös pitää luotettavana. Tuloksia käydään tarkemmin läpi kappaleessa 4, jonne on

koottu kaikki tässä työssä käytetyt rakennusmateriaalit ja niiden ympäristövaikutukset ja tehty muutamia vertailuja rakennusmateriaalien kesken.

3.5 Elinkaariarvioinnissa käytetyt rakennusosat ja niiden materiaalit

3.5.1 Rakennusosat



Kuva 3. Savolaisen eko-pientalon rakennusosat. (Muokattu Timo Lohelan Revit-kuvasta)

Tässä työssä käsitellään viittä eri runkorakenne ratkaisua, jotka ovat ranka-, liimahirsi-, betoni-, lämpöharkko- sekä CLT -runkorakenne. Käsiteltäviä kattoja on kaksi erilaista, jotka ovat konesaumattu pelti- ja bitumihuopakatto. Yläpohjia tarkasteltavana on kolme erilaista, liimapuu, ontelolaatta ja CLT yläpohja. Alapohjia on kolme erilaista, kaksi tuulettuvaa ja yksi maanvarainen alapohja. Tuulettuvia ovat liimapuupalkki ja ontelolaatta alapohjat ja maanvarainen on paikallavalulaatta. Sokkeleita on kaksi erilaista joista paikallavalusokkeli on kaikissa muissa runkorakenteissa, paitsi lämpöharkko rungossa, jossa sokkeli on tehty harkosta.

Kuvassa 5 on esitetty savolaisen pientalon rakennusosat, joiden materiaaleja tässä opinnäytetyössä tutkitaan. Rakennusosat ovat valinneet rakennustekniikan opiskelijat ja he olivat eritelleet jokaisen rakennusosan käytettävät materiaalit. Tämän jälkeen tässä opinnäytetyössä etsittiin eri rakennusmateriaaleille tiedot materiaalin valmistamiseen menevästä energiasta sekä valmistamisesta syntyvät ympäristövaikutukset. Rakennusosien valintakriteereinä olivat olleet savolaisuus sekä rakennustekniset ratkaisut. CLT:tä ei rakentamisessa käytetä nykyään vielä kovin paljoa koko Suomessakaan, mutta se valittiin tähän työhön tarkasteltavaksi sen uutuuden takia.

3.5.2 Rakennusmateriaalit eri rakennusosissa

Hirsirunko

Taulukko 3. Hirsirungon materiaalit

Tunnus	Materiaali
Kantava runko	Liimapuuhiirsi
Ylä- ja alaohjauspuu	Höylätavara
Sokkelikaista	Kumibitumimatto
Nurkkaeriste	Polyuretaani

Taulukossa 4 on esitetty tässä työssä tutkittavan hirsirunkoisen pientalon seinissä käytettävät materiaalit. Liimapuuhirren elinkaarilaskelmissa on käytetty liimapuun ympäristöselosteen arvoja.

Rankarunko

Taulukko 4. Rankarungon materiaalit

Tunnus	Materiaali
Ulkoverhous	Höylätavara
Ulkoverhous	Julkisivutiilet, poltettu tiili
Muuraus	Laasti
Ulkokoolaus	Sahatavara
Tuulensuojalevy	Kuitulevy
Kantava runko	Höylätavara, puurunko
Eristevilla	Mineraalivilla
Höyrynsulkumuovi	Polyeteeni
Eristevilla	Mineraalivilla
Sisäkoolaus	Sahatavara
Sisäverhouslevy	Kipsikartonkilevy
Nurkkaeriste	Polyuretaani

Taulukossa 5 on esitetty tässä työssä tutkitun rankarunkoisen pientalon seinissä käytetyt materiaalit. Kantava runko sisältää runkotolpat, yläpään tukipuun ja ylä- ja alaohjauspuut. Taulukossa on esitetty kummatkin ulkoverhous vaihtoehdot rankarunkoiselle pientalolle, jotka ovat lautaverhous ja tiiliverhous. Jos julkisivu tehdään tiiliverhouksella, niin muuraukseen tarvitaan laastia, joka on esitetty taulukossa. Sahatavaran ja höylätavaran elinkaarilaskelmissa on käytetty sahatavaran ympäristöselosteen arvoja, koska höylätavarakkeelle ei löytynyt omaa ympäristöselostetta.

CLT-runko

Taulukko 5. CLT-rungon materiaalit

Tunnus	Materiaali
Ulkoerohous	Höylätavara
Ulkoerohous	Julkisivutiilet, poltettu tiili
Muuraus	Laasti
Ulkokoolaus	Sahatavara
Tuulensuojalevy	Kuitulevy
Eristevilla	Mineraalivilla
Kantava runko	CLT-levy
Höyrynsulkumuovi	Polyeteeni
Teräsranka	Teräs
Sisäerohouslevy	Kipsikartonkilevy
Nurkkaeriste	Polyuretaani

Taulukossa 5 on esitetty tämän työn CLT-runkoisen pientalon seinissä käytetyt materiaalit. Kuten rankarunkoisen pientalon taulukossa, tässäkin on kummatkin julkisivuvalinnat esillä, jotka siis olivat lauta- ja tiiliverohous. Tiiliverhouksessa on myös mukana muuraukseen tarvittava laasti. CLT-levylle ei löytynyt omaa ympäristöselostetta, joten sen elinkaarilaskelmissa käytettiin liimapuun ympäristöselosteen arvoja, johtuen näiden kahden materiaalin samankaltaisuudesta.

Betonirunko

Taulukko 6. Betonirungon materiaalit

Tunnus	Materiaali
Ulkoerohous	Harjattubetonipinta
Eristevilla	Mineraalivilla
Kantava sisäkuori	Betoni
Rauditus	Betoniraudat
Nurkkaeriste	Polyuretaani

Taulukossa 6 on esitetty tässä työssä tutkitun betonirungon materiaalit. Seiniin tulevan betonin elinkaarilaskelmissa käytimme valmiista betonista annettuja arvoja. Betoni koostuu sementistä, vedestä ja kiviaineksesta, mutta koska betoni tulee työmaalle valmiina, niin käytämme seiniin tulevan betonin arvoina Ökobau-materiaalitietokannan antamia valmiin betonin arvoja. Sokkeliin tuleva betoni sekä lämpöharkon täyttöbetoni tehdään työmaalla, ja sen päästöarvojen laskemisesta kerrotaan tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Lämpöharkkorunko

Taulukko 7. Lämpöharkkorungon materiaalit

Tunnus	Materiaali
Kantava runko	EKO+400 energiakivi
Betonitäyttö	Paikallavalubetoni
Muuraus	Laasti

Taulukossa 7 on esitetty tämän työn lämpöharkkorunkoisen pientalon seinissä käytetyt materiaalit. EKO+400 energiakivelle ei löytynyt ympäristöselostetta, joten arvojen laskemisessa käytettiin Ökobau-materiaalitietokannasta otettua harkon arvoa sekä PUR-eristeen arvoa ja ne laskettiin yhteen. Harkkoon tuleva PUR-eristeen määrä sekä harkon paino löytyivät Lakan Betonin sivuilta. Betonitäyttö tehdään työmaalla itse, joten betonin arvot on laskettu suhteuttamalla. Suhteutuksella tarkoitetaan betonin osa-aineiden (sementti, runkoaine, vesi) yhdistämistä niin, että tuore betonimassa sekä kovettunut betoni saavuttavat vaaditut ominaisuudet. Suhteuttamalla saatiin betoniin tulevien osa-aineiden määrät selville ja näiden osa-aineiden ympäristövaikutukset löytyivät Ökobau-materiaalitietokannasta. Tämän jälkeen saatiin laskettua koko betonin ympäristövaikutukset laske-
malla osa-aineiden ympäristövaikutukset yhteen.

Konesaumattu pelti- ja bitumihuopakatto

Taulukko 8. Konesaumatus peltikaton materiaalit

Tunnus	Materiaali
Kate	Kuumasinkitty teräs
Aluskate	Polypropeeni
Ruodelaudoitus	Sahatavara
Tuuletusrima	Sahatavara

Taulukko 9. Bitumihuopakaton materiaalit.

Tunnus	Materiaali
Kate	Bitumi
Aluskate	Kumibitumi, polyesteri
Ponttilaudoitus	Sahatavara

Taulukossa 8 on esitetty konesaumatussa peltikatossa käytettävät materiaalit ja taulukossa 9 on esitetty bitumihuopakatossa käytettävät materiaalit. Bitumihuopakatossa ei tarvitse olla tuuletusrimaa, koska bitumihuopakatossa ei synny kondenssivettä, eikä näin ollen tarvitse tuuletusta.

Liimapuupalkki ja CLT-levy yläpohja

Taulukko 10. Liimapuupalkki ja CLT-levy yläpohjan materiaalit

Tunnus	Materiaali
Puupilari	Sahatavara
Kurkihirsi	Liimapuu
Yläpohjan runko	Liimapuu
Yläpohjan runko	CLT-levy
Eristevilla	Mineraalivilla
Muovieriste	Polyuretaani
Höyrynsulkumuovi	Polyeteeni
Kannatinjärjestelmä	Sahatavara
Sisäverhouslevy	Kipsikartonkilevyt

Liimapuupalkki ja CLT-levy yläpohjat koostuvat suurin piirtein samoista materiaaleista, joten ne ovat esitetty samassa taulukossa (Taulukko 10). Eroina näissä yläpohjissa on se, että yläpohjan runkona liimapuupalkki yläpohjassa on nimensä mukaisesti liimapuupalkki. CLT-levy yläpohjassa yläpohjan runkona on taas CLT-levy ja lisäksi liimapuupalkki tukemassa CLT-levyä. CLT-levy yläpohjassa eristeenä käytetään polyuretaania, toisin kuin liimapuupalkissa, jossa eristeenä käytetään mineraalivillaa.

Ontelolaatta yläpohja

Taulukko 11. Ontelolaatta yläpohjan materiaalit

Tunnus	Materiaali
Muovieriste	Polyuretaani
Yläpohjan runko	Ontelolaatta
Kannatinjärjestelmä	Teräs z-profiili
Sisäverhouslevy	Kipsikartonkilevyt

Taulukossa 11 on esitetty ontelolaatta yläpohjassa käytettävät materiaalit. Ontelolaatta yläpohjaa käytetään tässä työssä betonirunkoisessa sekä lämpöharkkorunkoisessa pientalossa.

Tuulettuva liimapuupalkki alapohja

Taulukko 12. Tuulettuvan liimapuupalkki alapohjan materiaalit

Tunnus	Materiaali
Ponttilauta	Sahatavara
Alapohjan runko	Liimapuu
Eristevilla	Mineraalivilla
Tuulensuojalevy	Kuitulevy
Kapillaarikatko	Pesty sepeli

Taulukossa 12 on esitetty tuulettuvan liimapuupalkki alapohjan materiaalit. Tässä työssä liimapuupalkki alapohjaa käytetään kaikissa puurungoissa, eli ranka- ja CLT-rungossa.

Paikallavalu- ja ontelolaatta alapohjat

Taulukko 13. Ontelo- ja paikallavalulaatta alapohjan materiaalit

Tunnus	Materiaali
Muovimatto	Polyvinyylidikloridi
Tasoite	Tasoite
Pintabetoni	Pintabetoni
Alapohjan runko	Ontelolaatta
Alapohjan runko	Paikallavalubetoni
Raudoitus	Betoniraudat
Veden eriste	Kumibitumimatto
Muovieriste	Polyuretaani
Kapillaarikatko	Pesty sepeli

Taulukossa 13 on esitetty tuulettuvassa ontelolaatta- ja maanvaraisessa paikallavalulaatta alapohjassa käytettävät materiaalit. Ne koostuvat pitkälti samoista materiaaleista, eroina ovat alapohjan runko, joka ontelolaatta-alapohjassa on ontelolaatta ja paikallavalulaatta-alapohjassa nimensä mukaisesti paikallavalulaatta. Koska paikallavalulaatta tehdään betonista, niin se tarvitsee lisäksi betoniraudoituksen. Vielä yhtenä erona näissä alapohjissa on se, että paikallavalulaatta alapohjassa on vedeneristeenä kumibitumimatto.

Paikallavalusokkeli ja lämpöharkkosokkeli

Taulukko 14. Paikallavalusokkelin materiaalit

Tunnus	Materiaali
Valettusokkeli	Paikallavalubetoni
Raudoitus	Betoniraudat
Vedeneriste	Perusmuurilevy, polyeteeni
Sokkelineriste	Polyuretaani
Routaeriste	Polyuretaani

Taulukko 15. Harkkosokkelin materiaalit

Tunnus	Materiaali
Harkkosokkeli	RUH-380, kevytsora
Muurauslaasti	Laasti
Vedeneriste	Perusmuurilevy, polyeteeni
Sokkelieriste	Polyuretaani
Routaeriste	Polyuretaani

Taulukoissa 14 ja 15 on esitetty tässä työssä tutkittavien sokkeleiden materiaalit. Paikallavalusokkeli tehdään paikallavalubetonista ja harkkosokkeli tehdään RUH-380 kevytsoraharkkoista. Paikallavalusokkeli tarvitsee betonin takia betonirauhoituksen ja harkkosokkelissa muuraukseen tarvitaan laastia. Loput materiaalit ovat kummassakin sokkelissa samat eli perusmuurilevy ja PUR -eristeet. Tässä työssä paikallavalusokkelia käytetään kaikissa runkoratkaisuissa paitsi lämpöharkkorungossa, jossa sokkeli tehdään kevytsoraharkkoista.

3.5.3 Rakennusmateriaalien lähtötiedot

Taulukko 5. Rakennusmateriaalit ja ympäristövaikutusten lähtötiedot

Materiaali	Käytetty lähde
Sahatavara	RT-ympäristöseloste, Sahatavara
Höylätavara	RT-ympäristöseloste, Sahatavara
Liimapuu	RT-ympäristöseloste, liimapuu
CLT	RT-ympäristöseloste, liimapuu
Kuitulevy	RT-ympäristöseloste, Leijona kuitulevy
Kipsikartonkilevy	Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n ympäristöseloste, Gyproc kipsilevy
Poltettu tiili	Wienerberger Oy Ab:n ympäristöseloste, poltettu tiili
Valmisbetoni	Ökobau.dat
Työmaalla valmistettu betoni	Ökobau.dat
EKO+400 energiakivi	Ökobau.dat
RUH-380 harkko	VTT:n tiedotteita 1836, Rakennusmateriaalien ja - tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet, Leca-harkko
Ontelolaatta	SAARI, Arto. Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet, ympäristöselosteet, ontelolaatta
Tasoite	Ökobau.dat
Laasti	VTT:n tiedotteita 1836, Rakennusmateriaalien ja - tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet, Leca-harkko
Pesty sepeli	Ökobau.dat
Teräs	Ruukin ympäristöseloste, kuumasinkitty teräs
Betoniteräs	Ökobau.dat
Bitumi	Ökobau.dat
Polypropeeni (PP)	Ökobau.dat
Polyvinyylikloridi (PVC)	Ökobau.dat
Polyeteeni (PE-HD)	Ökobau.dat
Polyeteeni (PE)	Ökobau.dat
Polyuretaani (PUR)	Ökobau.dat
Mineraalivilla	RT-ympäristöseloste, kivivilla

Taulukossa 3 on esitetty tässä työssä käytetyt rakennusmateriaalit ja mistä lähteestä niiden ympäristövaikutukset on otettu. Taulukosta huomataan, että puolet tiedoista on löydetty suomalaisista lähteistä, joko ympäristöselosteista tai kirjallisuudesta. Loput rakennusmateriaalien ympäristövaikutus arvoista on löydetty saksalaisesta Ökobau-materiaalitietokannasta. Saksassa rakennusmateriaalien

valmistuksessa voi olla eroja Suomeen verrattuna, joten ympäristövaikutukset voivat olla myös erilaisia. Tärkeintä on kuitenkin se, että molemmat maat ovat EU:n jäseniä ja niitä koskevat EU:n sisäiset standardit liittyen rakentamiseen ja elinkaariarviointiin. Tämän takia tässä työssä käytetyt arvot ovat vertailukelpoisia keskenään.

3.5.4 Rakennusmateriaalien elinkaaret

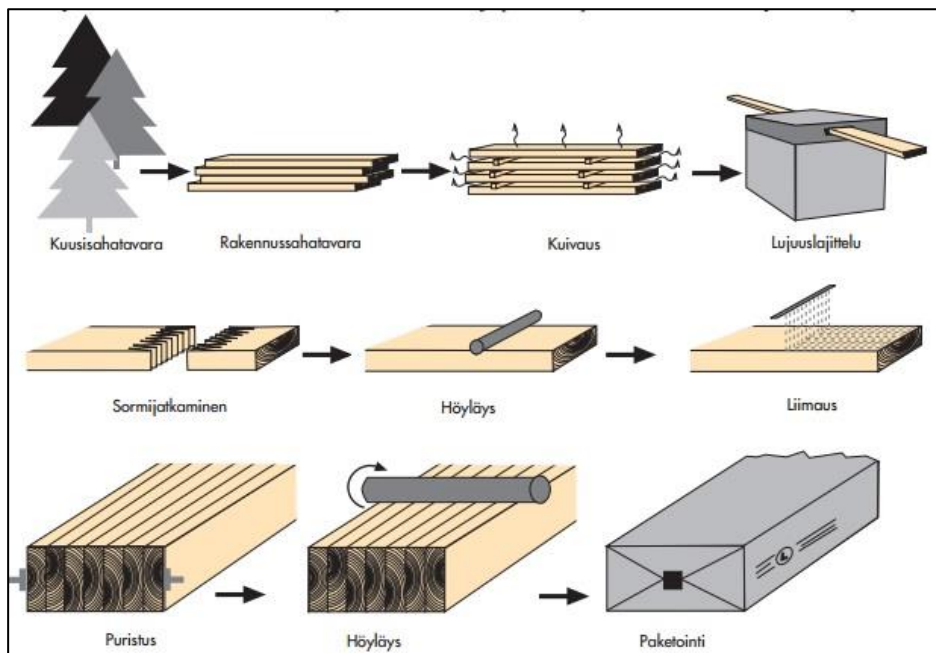
Seuraavaksi kerrotaan hieman rakennusmateriaalien tuotantoprosesseista, jolloin saa kuvan siitä, että mistä tuotantovaiheista eri rakennusosien ympäristövaikutukset ovat syntyneet. Kokonaisuudessaan kaikkien rakennusmateriaalien kehdesta tehtaantportille elinkaareen sisältyy kolme vaihetta, eli raaka-aineen hankinta, kuljetukset tehtaalle ja materiaalin valmistus.

Saha- ja höylätavara

Sahatavaran tuotantoprosessi alkaa puun hankinnalla metsästä. Tämä tapahtuu metsätyökoneilla ja tämän jälkeen kaadetut puut kuljetetaan sahalle. Sahalla puutavara kuoritaan ja kuorimisen jälkeen vuorossa on sahaukset. Sahauksien jälkeen sahatavara lajitellaan ja paketoidaan ja lopuksi sahatavara varastoidaan. Höylätavaralla on pitkälti samat tuotantovaiheet, paitsi mukana ovat myös höyläykset. Saha- ja höylätavaran tuotannossa ympäristöpäästöjä syntyy pääasiassa puun korjuusta jatkojalostukseen sekä kuorimisesta ja sahauksista. Tässä työssä höyläyksessä syntynyttä lisäenergiankulutusta ja ympäristövaikutuksia ei oteta huomioon vaan höylätavaran laskelmissa käytetään sahatavaran arvoja.

Liimapuu ja CLT

Liimapuun valmistuksen tuotantoprosessi on kuivaukseen asti samanlaista kuin sahatavaralla, mutta tämän jälkeen sitä jatkojalostetaan höyläyksillä ja liimauksilla. Kuvassa 3 on esitetty liimapuun valmistus kokonaisuudessaan.

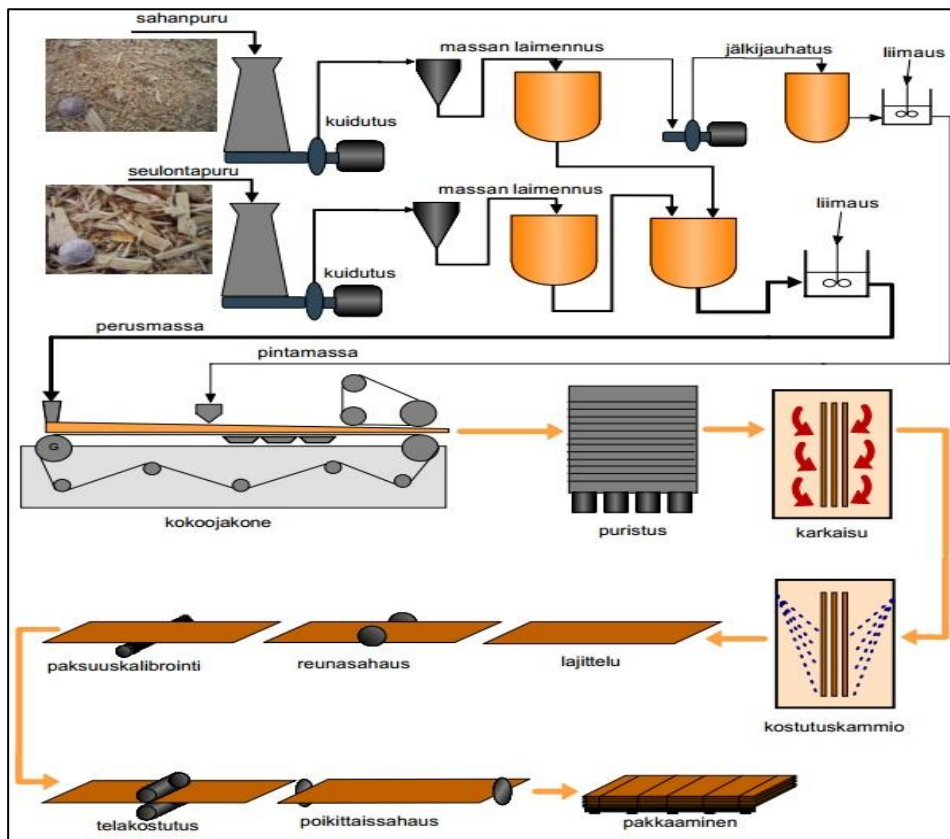


Kuva 4. Liimapuun valmistus. (Carling 2002, 11.)

CLT:n laskelmissa käytetään samoja ympäristöselosteen arvoja kuin liimapuun, koska molemmat ovat käytännössä liimapuita, paitsi CLT:n puulevykerrokset liimataan ristiin ja tuotantotavat voivat olla hieman erilaisia kuin liimapuulla. Liimapuuhirren valmistus on myös pitkälti samanlaista ja siinä käytetään myös liimapuun ympäristöselosteen ympäristövaikutusarvoja.

Kuitulevy

Kuitulevy valmistetaan puukuiduista, jotka lämmön ja paineen avulla liitetään toisiinsa. Raaka-aineina käytetään puuteollisuuden jättepuuta. Kuvassa 4 on esitetty kuitulevyn valmistusprosessi, jossa on suhteellisen monta työvaihetta verrattuna esimerkiksi sahatavaran tuotantoon. Ensimmäiseksi tehdään sahanpurua, joka kuidutetaan ja tehdään massaksi. Seuraavaksi massaan lisätään liima, jonka jälkeen massa kootaan levyksi ennen puristusta ja karkaisua. Kostutusammion kautta levy menee lajitteluun, reunasahaukseen ja paksuuskalibrointiin. Lopuksi levy kostutetaan telojen avulla ja levy sahataan määrämittaan, jonka jälkeen levy on valmis pakattavaksi. Suurin osa päästöistä syntyyneen massan levyksi teosta ja puristamisesta.



Kuva 5. Kuitulevyn valmistus. (Suomenkuitulevy.fi.)

Kipsikartonkilevy

Kipsilevyn tuotantoprosessi alkaa raaka-aine hankinnalla, joka sisältää myös polttoaineiden ja energian hankinnan. Lisäksi pakkausmateriaalin hankinta on huomioitu kipsikartonkilevyn raaka-aineen hankintavaiheessa. Tämän jälkeen raaka-aineet kuljetetaan tehtaalle ja tehtaalla kipsikartonkilevy valmistetaan. Valmistusvaihe pitää sisällään kipsiseoksen kalsinoinnin, massan valmistuksen, levyn valun, sahauksen sekä pakkaamisen ja varastoinnin. Suurin osa energian kokonaiskäytöstä syntyy raaka-aineen hankintavaiheessa. Happamoitumiseen vaikuttavat rikki- ja typpioksidipäästöt syntyvät kipsin merikuljetuksesta. Tehtaan ilmapäästöt valmistusvaiheessa sekä raaka-aineen hankintavaiheeseen sisältyvä energian tuotanto vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen. (Gyproc GEK 13 erikoiskova kipsilevyn ympäristöseloste 2014, 2.)

Poltettu tiili

Poltetun tiilen raaka-aine eli tiilisavi hankitaan lähialueen kesantopelloilta, joka lyhentää kuljetusmatkoja. Tehtaalla savesta tehdään tiilimassa, joka poltetaan yli tuhannen asteen lämpötilassa. Tämän jälkeen valmiit tiilet lajitellaan ja varastoidaan. Poltosta syntyvät luultavasti suurimmat ympäristövaikutukset varsinkin energian kokonaiskulutuksen osalta korkean lämpötilan takia. (Tiili.info.)

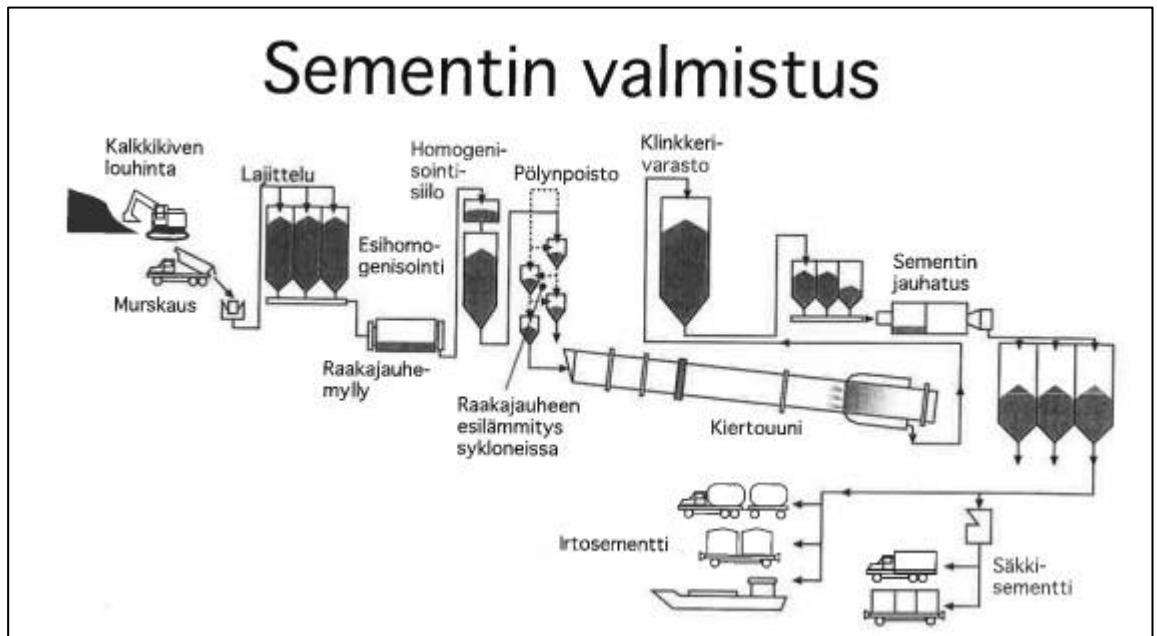
Betoni ja tasoite

Betoni valmistetaan sekoittamalla luonnonkiviainesta, sementtiä ja vettä keskenään. Tehtaalla valmistetun betonin valmistus sisältää betonin raaka-aineiden hankinnan ja varastoinnin, tarvittaessa kiviaineksen ja veden lämmityksen, betoniin tulevien osa-aineiden mittauksen, massan sekoituksen sekä notkeuden säädön. (Betoni.com.)

Pääasiassa betonin ympäristövaikutukset syntyvät mineraalisten luonnonraaka-aineiden käytöstä, fossiilisten polttoaineiden käytöstä, maankäytöstä ja erilaisista päästöistä kalkkikiven louhinnassa, sementtiklinkkerin valmistuksessa, kiviaineksen käsittelyssä, betonin valmistuksessa ja kuljetuksissa. (Rakennustuoteteollisuus RTT ry 1998, 6.)

Merkittävimmät ympäristövaikutukset ja energian kulutuksen eri betonituotteiden valmistuksessa aiheuttaa sementin valmistus. Kuvassa 5 on esitetty sementin valmistusprosessi, joka on monivaiheinen. Päävaiheita ovat raaka-aineen eli kalkkikiven murskaus ja jauhatus, homogeenointi, sementtiklinkkerin poltto ja sementin jauhatus. (prosessiteknikka.kpedu.fi). Sementtiklinkkerin poltto kuluttaa paljon energiaa, koska poltto tapahtuu suuressa kiertouunissa, jonka poltto lämpötila on noin 1400–1450 °C. Kalkkikivestä irtoaa polton yhteydessä myös huomattava määrä hiilidioksidia, joka vaikuttaa ilmaston lämpenemiseen. (betoni.com.)

Kuva 6. Sementin valmistus. (Rakennustuoteteollisuus RTT ry 1998, 26.)



Tasoitteella on pitkälti samanlainen tuotantoprosessi kuin betonilla, vain kiviaineksen raekoko on pienempi tasoitteella, joten tässä työssä betonilla ja tasoitteella on käytetty betonin valmistuksen ympäristövaikutusarvoja.

Laasti

Laastin tuotantoprosessi on hyvin samanlainen kuin betonilla ja tasoitteella, laastin tapauksessa kiviaineksen raekoko pienenee edelleen.

EKO+400 energiakivi

EKO+400 energiakiven tuotantoprosesseihin kuuluvat itse betoniharkon valmistus ja sen sisällä olevan PUR-eristeen valmistus. Betoniharkon valmistuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset koostuvat betoniharkon ja sen sisällä olevan eristeen valmistuksesta. Betoniharkko valmistetaan tekemällä seos luonnonkiviaineksesta, sementistä ja vedestä. Seos valetaan muottiin, aineosat sitoutuvat toisiinsa. Suurin osa betoniharkon valmistamisesta aiheutuvat ympäristövaikutukset syntyvät sementin valmistuksesta ja PUR-eristeen valmistamisesta. PUR-eristeen tuotantoprosessista kerrotaan sen omassa osiossaan. (Kivitaloinfo.fi.)

RUH-380

RUH-380 eli kevytsoraharkko valmistetaan kevytsorasta, sementistä ja vedestä. Kevytsoraa valmistetaan polttamalla pyörivässä uunissa savea yli 1100 asteen lämpötilassa. Tämän jälkeen kevytsorasta, sementistä ja vedestä tehdään kevytsorabetonia, josta varsinaiset harkot tehdään. (Kivitaloinfo.fi.) Kevytsoran valmistuksessa tapahtuva saven poltto synnyttää luultavasti suurimman osan ympäristövaikutuksista varsinkin energian kokonaiskulutuksen osalta korkean lämpötilan takia.

Ontelolaatta

Ontelolaatan tuotantoprosessi alkaa teräksien esijännityksellä valualustauralle. Tämän jälkeen alustat öljytään ja valukoneella valetaan betonia valualustalle. Valukone tiivistää samalla betonia valamisen aikana. Tämän jälkeen valun jälkeiseen tuoreeseen betoniin kaivetaan ontelolaatan aukot. Kun aukot on kaivettu, valettu alusta peitetään ja betonin annetaan kuivua. Kuivumisen jälkeen laatat sahataan oikeisiin mittoihin timanttiterillä. (Rakennustuoteteollisuus RTT ry 1998, 54.) Kuten useammalla muulla betonituotteella, ontelolaatan valmistuksessa sementin valmistus aiheuttaa suurimman osan ympäristövaikutuksista.

Pesty sepeli

Pesty sepeli louhitaan tai räjäytetään kalliosta, jonka jälkeen louhittu kiviaines murskataan murskaimella. Seuraavaksi sepeli seulotaan oikeaan raekokoon ja lopuksi sepelistä pestään hienoaines pois. Tällöin sepeli toimii kapillaarikatkona, kun kosteus ei nouse hienoainesta pitkin. (Kuljetusliikemikander.fi.) Sepelin murskaus aiheuttanee suurimmat ympäristövaikutukset pestyn sepelin tuotannossa, johtuen murskaimen energian tarpeesta ja päästöistä, mitä murskaimen polttoaineen käyttö synnyttää.

Teräs

Teräksen tuotantoprosessi alkaa rautamalmin louhinnalla tai kierrätysteräksen hankinnasta. Tässä työssä teräksen ympäristövaikutus laskelmat ovat tehty Ruukin ympäristöselosteen avulla, jossa sanotaan, että teräksen valmistamiseen on käytetty 22 % kierrätysterästä. Raaka-aineen hankinnan jälkeen rauta ja kierrätysteräs sulatetaan masuunissa ja käsitellään niin, että siitä tulee oikean laatuista terästä. Seuraavaksi valu menee valssaukseen ja siitä valmistetaan teräskeloja. Tämän jälkeen teräskelat toimitetaan Ruukin tehtaalle, jossa niistä tehdään esimerkiksi kattopeltiä. Tässä työssä teräs on kuumasinkittyä, eli sinkkipinnoittaminen vaikuttaa myös ympäristöselosteen arvoihin. (Kuumasinkityt rakennustuotteet-ympäristöseloste.)

Teräksen hiilidioksidipäästöt syntyvät suurimmaksi osin masuuneissa käytettävistä hiiliraaka-aineista, joita käytetään raaka-raudan valmistusprosessissa. Raaka-aineiden sisältämä rikki aiheuttaa teräksen tuotannosta syntyvät rikkidioksidipäästöt. Alailmakehän otsonin syntyyn ja happamoitumiseen vaikuttavia typen oksideja muodostuu suurimmaksi osaksi koksaaamalla ja valssaamoilla polttoprosesseissa. (Ruukki.fi.)

Betoniteräs

Vuodesta 1994 asti pohjoismaissa betoniteräs on valmistettu romuteräksestä, ja se kuluttaa vähemmän energiaa kuin malmipohjainen betoniteräksen tuotanto. Betoniteräksen tuotantoprosessi alkaa romuteräksen hankinnalla, jonka jälkeen romuteräs kuljetetaan tehtaalle. Tehtaalla vuorossa on betoniteräksen valmistusprosessit, joihin kuuluvat esimerkiksi terästankojen leikkaaminen ja taituttaminen. Tämän jälkeen valmiit betoniteräkset varastoidaan. (Rakennustuoteteollisuus RTT ry, 41.)

Betoniteräksen ympäristövaikutukset ovat huomattavasti pienemmät kuin tavanomaisen teräksen, koska betoniteräs valmistetaan kokonaan romuteräksestä. Malmin louhinnasta syntyvät ympäristövaikutukset jäävät betoniteräksen tuotantoprosessista kokonaan pois ja näin säästyy energiaa ja päästöjä syntyy vähemmän.

Bitumi

Bitumi valmistetaan raakaöljytislauksella, jossa on jäänyt jäljelle raskain jae jäljelle. Kevyemmät jakeet eli kaasut, bensiini ja polttoöljyt ovat tislattu jo pois ja jäljelle jäänyttä raskainta jaetta tislataan edelleen tyhjiötislauksella, josta syntyy bitumi. Raakaöljyn tislauksella vaatii korkeaa lämpötilaa, jolloin kevyimmät jakeet höyrystyvät raakaöljystä. Korkea lämpötila vaatii paljon energiaa, jonka vaikutuksesta syntyvät bitumin valmistukset suurimmat ympäristövaikutukset. (Nesteoil.fi.)

Muovit

Muovien raaka-aineita saadaan öljynjalostuksesta, esimerkiksi eteeniä ja propeenit. Muovitehtailla eteeniä jalostetaan polyeteeniksi (PE) tai polyvinyylikloridiksi (PVC) ja propeenit polypropeeniksi (PP). Jalostuksessa raaka-aineiden molekyylit polymeroidaan isoiksi polymeerimolekyyleiksi. Edellä mainitut muovit ovat polymeerityypeistä kolme yleisintä. (Prosessiteknikka.kpedu.fi.)

Muoveilla on rakennusmateriaaleista tässä työssä suurimmat ympäristövaikutukset verrattuna muihin materiaaleihin. Monivaiheinen materiaalien valmistaminen ja kemialliset reaktiot tarvitsevat paljon energiaa, josta syntyy muovien suuret ympäristövaikutukset.

PUR-eriste

Isosyanaatti, polyoli ja punneaine ovat polyuretaanin pääraaka-aineet. Niitä sekoittamalla alkaa kemiallinen reaktio, jossa vapautuu lämpöä ja lämmön vaikutuksesta punneaine kaasuntuu ja seos laajenee moninkertaiseksi. Polyuretaani levyt tehdään muottivaluteknikalla, jossa reagoiva seos levitetään muovikelmun tai suojapaperin päälle, joka on neliömäisen valutunnelin pohjalla. Reaktioseos, joka on levitetty muottiin, muodostaa polyuretaania täyttäen muotin. Muotti poistetaan lopuksi kovettuneen polyuretaaniaihion ympäriltä ja aihio varastoidaan myöhempää sahausta varten. (Punordic.fi)

Polyuretaanin suuret ympäristövaikutukset syntyvät korkeasta energiankulutuksesta, koska energiaa menee raaka-aineiden hankkimiseen ja valmistamiseen sekä polyuretaanin valamisen kuluttamiseen myös energiaa. Polyuretaanin valmistus on monivaiheinen kemiallinen prosessi, jossa isosyanaattia ja polyolia polymeroidaan keskenään. Tämä vaihe tarvitsee luultavasti paljon energiaa ja kun siihen laskee lisäksi polyuretaanilevyjen valamisen energiankulutuksen, niin näistä vaiheista syntyvät polyuretaanin suuret ympäristövaikutukset.

Mineraalivilla

Mineraalivillan tuotantoprosessi alkaa raaka-aineiden hankinnalla, josta 95 % on kiveä ja loput kovettua hartsia ja öljyä. Tämän jälkeen kiviainekset sekoitetaan ja sekoitetut kiviainekset sulatetaan sähkön tai koksen avulla uunissa. Uunista kivisula ohjataan linkokehille, jotka pyörivät nopeasti ja keksipakoisvoiman avulla kivisulasta muotoutuu eristekuituja. Sideainetta ja öljyä lisätään linkouksen yhteydessä, ja tämän jälkeen kuiduista muodostettu villamatto ohjataan karkaisu-uuniin, jossa lämpö aktivoi hartsin ja sitoo eristekuidut jämsästi yhteen. Lopuksi valmis villamatto sahataan ja pakataan levypaketeiksi, lavapakkauksiksi tai mattorulliksi ja varastoidaan. (Paroc.) Suurimmat ympäristövaikutukset aiheuttaneet kiviaineksen sulattaminen ja linkoaminen eristekuiduiksi. Kiven sulattaminen vaatii korkean lämpötilan ja näin ollen energiaa kuluu paljon.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Kerätyt ympäristövaikutukset rakennusmateriaaleille

Taulukko 17. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset kiloa kohti

Materiaali	Energian kokonaiskäyttö [MJ/kg]	CO₂-ekv [g/kg]	SO₂-ekv [g/kg]	POCP [g/kg]
Sahatavara	4.30	70.25	1.65	0.69
Höylätavara	4.30	70.25	1.65	0.69
Liimapuu	8.00	326.39	1.50	1.18
CLT	8.00	326.39	1.50	1.18
Kuitulevy	13.00	424.76	2.71	2.03
Kipsikartonkilevy	5.00	280.00	1.40	0.06
Poltettu tiili	4.50	235.00	0.73	0.03
EKO+400 energiakivi	6.41	438.76	0.69	0.12
RUH-380 harkko	3.47	290.00	1.80	0.05
Valmisbetoni	0.56	120.81	0.16	0.004
Työmaalla valmistettu betoni	5.48	245.47	0.31	0.03
Ontelolaatta	1.20	120.00	0.44	0.02
Tasoite	0.56	120.81	0.16	0.004
Laasti	1.24	130.00	0.46	0.026
Pesty sepeli	0.69	43.22	0.07	-0.000003
Betonirauta (teräs)	12.43	763.92	1.80	0.18
Teräs	18.60	1039.82	4.24	4.62
Bitumi	13.15	576.95	2.35	0.44
Polypropeeni (PP)	55.00	2980.83	7.52	1.60
Polyvinyylikloridi (PVC)	46.41	2538.31	4.40	1.22
Polyeteeni (PE-HD)	51.65	2699.06	5.14	1.16
Polyeteeni (PE)	40.97	2346.59	8.09	1.20
Polyuretaani (PUR)	127.30	7272.96	11.07	2.68
Mineraalivilla	14.40	992.86	5.87	5.02

Taulukossa 17 on esitetty kaikki tässä työssä tarkastellut rakennusmateriaalit sekä niiden ympäristövaikutukset kiloa rakennusmateriaalia kohti. Listan alkupäässä ovat kaikki puumateriaalit ja tämän jälkeen tulevat kivipohjaiset rakennusmateriaalit. Taulukon lopusta löytyvät teräs, bitumi sekä muovit ja eristeet.

Puumateriaaleihin sitoutunutta hiilidioksidia ei oteta tämän työn laskelmissa huomioon, koska hiilivarasto on väliaikainen varasto, ja rakennuksen elinkaaren lopussa hiili vapautuu. Vaikka päästölaskennassa ei voida vähentää hiilivaraston vaikutusta, voidaan se ilmoittaa ylimääräisenä lisätietona standardin EN 16485 eli puumateriaalien tuoteryhmäkohtaisten laskentasääntöjen mukaan. (figbc.fi.)

Tässä työssä ei perehdytä syvemmin rakennusmateriaalien väliseen vertailuun, vaan tärkein tavoite oli löytää ympäristövaikutukset rakennusmateriaaleille. Lopullinen vertailu tehdään rakennusosien

välillä, joka on rakennustekniikan opiskelijan tehtävä. Taulukosta 17 nähdään kuitenkin eri materiaalien arvot ja niitä voi halutessaan vertailla keskenään. Esimerkiksi nähdään, että muovit ovat ympäristövaikutuksiltaan vähiten ekologisia rakennusmateriaaleista. Tämä johtuu siitä, koska muovien raaka-aineiden valmistaminen on monivaiheinen kemiallinen prosessi, jolloin tarvitaan paljon energiaa. Suuri energian tarve nostaa muovien ympäristövaikutuksia. Betonin ympäristövaikutukset ovat melko pienet. Betonin valmistuksen päästöihin ja energian kulutukseen vaikuttaa betonissa käytetyn sementin määrä. Tästä voidaan päätellä, että tässä työssä tutkitun valmisbetonin sementtimäärä on vähäinen. Tehtaalla betonin valmistus on myös nopeaa ja optimoitua, joka pienentää energian tarvetta ja päästöjen syntymistä. Muutamia rakennusmateriaalien vertailuja ja huomioita löytyy lisää kappaleesta 4.2.

Eniten ihmetystä taulukossa saattaa herättää pesty sepelin POCP-arvo, joka on negatiivinen. Tämä johtuu siitä, että sepelin murskauksessa käytettävä sepelinmurskaaja toimii dieselillä. Dieselin poltossa syntyy typpioksidia, joka reagoidessaan otsonin kanssa tuhoaa sitä. Tämän takia pestyn sepelin POCP-arvo on negatiivinen.

4.2 Materiaalien välinen vertailu

Muutamien rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia verrattiin keskenään. Tarkoituksena oli selvittää, miksi rakennusmateriaalien ekologisuuden vertailu on parempi suorittaa vasta rakennusosien tasolla. Rakennusosien käyttöiät on myös tärkeää ottaa huomioon, koska se ne vaikuttavat myös ekologisuuteen. Jotkin rakennusosat voivat kestää paljon pidempään kuin toiset, joten rakennusosia vertaillessa käyttöikäkin pitää ottaa huomioon. Käyttöiän vaikutusta ei voida ottaa huomioon tämän työn kehdestä tehtaanportille elinkaaritarkasteluissa, vaan se otetaan huomioon vasta rakennusosien ekologisuuden vertailussa.

Esimerkin avulla selvitettiin kahden puumateriaalin ympäristövaikutusten eroja, jossa toisen puumateriaalin tuotantoprosessi on pidempi ja laajempi. Lopuksi vielä vertailtiin kahden eristemateriaalin eroja hiilidioksidiekvivalentin ja alailmakehän otsonin muodostumisen osalta. Tarkoituksena oli näyttää, mitä haasteita syntyy, kun vertailtavana on useampi kuin yksi ympäristövaikutusluokka.

4.2.1 Katemateriaalien hiilijalanjäljen vertailu

Taulukosta 17 löytyvät tässä työssä käytettyjen katemateriaalien eli konesaumattun kattopellin ja bitumikatto huovan CO₂-ekvivalentti tuotettua materiaalikiloa kohden. Taulukosta 17 huomataan, että konesaumattun kattopellin hiilijalanjälki on melkein kaksi kertaa suurempi kuin bitumikattohuovalla. Tästä voitaisiin tehdä johtopäätös, että pelti on paljon ekologisempaa kuin bitumihuopakatto. Tilanne voi muuttua, kun kattoja tarkastellaan rakennusosina eli ne sisältävän katemateriaalin lisäksi muut katossa tarvittavat rakennusmateriaalit. Lisäksi rakennusosien vertailuysiköksi pitää valita neliö, jolloin kilomäärällisesti materiaalien tarve on erilainen. Siksi lopullinen vertailu on parempi tehdä vasta rakennusosien kohdalla, jolloin kaikki rakennusosassa käytettävät materiaalit on otettu laskennassa huomioon ja materiaalien määrä on laskettu neliötä kohti. Lisäksi rakennusosia vertaillessa

pystytään ottamaan huomioon materiaalien käyttöikä, joka vaikuttaa merkittävästi rakennusosien ekologisuuteen. Esimerkiksi bitumihuopakattoa pitäisi huoltaa ja uusia enemmän kuin peltikattoa 200 vuoden aikana, koska peltikatto on pitkäikäisemmästä materiaalista valmistettu kuin bitumihuopakatto.

4.2.2 Liimapuun ja sahatavaran vertailu

Taulukosta 17 löytyvät sahatavaran ja liimapuun ympäristövaikutusarvot. Vertailtaessa esimerkiksi näiden kahden puumateriaalin energian kokonaiskäyttöä ja hiilidioksidiekvivalenttia huomataan, että liimapuun energian kokonaiskäyttö on melkein kaksi kertaa suurempi ja hiilidioksidiekvivalentti on yli neljä ja puoli kertaa suurempi kuin sahatavaralla. Liimapuulla on monivaiheisempi tuotantoprosessi kuin sahatavaralle, jonka takia liimapuun ympäristövaikutus arvot ovat suuremmat. Mitä pidemmälle puumateriaalia jalostetaan, sitä suuremmat ovat sen ympäristövaikutukset.

4.2.3 Mineraalivillan ja polyuretaanin CO₂-ekvivalentin ja POCP:n vertailu

Seuraavaksi vertaillaan kahta tässä työssä käytetyn eristemateriaalin eli mineraalivillan ja PUR-eristeen CO₂-ekvivalenttia ja POCP-arvoa, jotka löytyvät taulukosta 17. Hiilidioksidiekvivalenttia vertaillessa huomataan, että polyuretaanilla on yli seitsemän kertaa suurempi arvo kuin mineraalivillalla. Vertaillessa alailmakehän otsonin muodostumista huomataan, että tilanne onkin päinvastainen. Mineraalivillan POCP-arvo on melkein kaksi kertaa suurempi kuin polyuretaanilla. Tässä tulee esille useamman kuin yhden ympäristövaikutuksen vertailun hankaluus, eli kumpi oikeastaan onkaan ekologisempi materiaali. Tämän takia vertailu on parempi suorittaa vain yhden ympäristövaikutuksen osalta, eli yleisimmin käytetyn ilmaston lämpenemisen vaikuttavien kasvihuonekaasujen osalta. Ympäristövaikutukset pitäisi yhdistää yhdeksi indeksiluvuksi, esimerkiksi Eco-indicator 99 menetelmällä, joka helpottaisi rakennusmateriaalien ekologisuuden vertailua ottaen huomioon kaikki neljä ympäristövaikutusta. Työn laajuudesta johtuen ympäristövaikutusten yhdistäminen yhdeksi indeksiluvuksi rajattiin tämän työn ulkopuolelle.

Opinnäytetyön tavoite saavutettiin eli saatiin koottua savolaisessa eko-pientalossa käytetyille rakennusmateriaaleille ympäristövaikutukset neljästä eri ympäristövaikutusluokasta. Onnistuttiin myös tekemään toimivat Excel-taulukot ympäristövaikutusten laskentaan, joiden avulla seuraavan opinnäytetyön tekijä pystyi jatkamaan omaa työtään. Opinnäytetöiden tekijöiden välinen viestintä oli toimivaa, joka auttoi haluttujen materiaalien löytämistä ja valintaa.

Opinnäytetyössä opittiin tekemään standardin mukainen elinkaariarviointi, ja mitä vaiheita se pitää sisällään. Tietojen kerääminen inventaarioanalyysissä osoittautui tämän työn työläimmäksi vaiheeksi. Kaikkia tietoja ei ollut helposti saatavilla ja tämän työn tietojen keräämistä vaikeutti se, että tutkittiin neljää eri ympäristövaikutusluokkaa. Ilmastonmuutosta aiheuttavien kasvihuonekaasujen löytäminen eri rakennusmateriaaleille oli suhteellisen helppoa, koska se on yleisin käytetty ja ilmoitettu ympäristövaikutusluokka eri lähteissä. Lopuksi kuitenkin kaikkiin ympäristövaikutusluokkiin löytyivät arvot. Neljän eri ympäristövaikutusluokan vertailu rakennusmateriaalien välillä on myös hankalaa, koska esimerkiksi joillakin rakennusmateriaaleilla voi olla pieni hiilijalanjälki toiseen rakennusmateriaaliin verrattuna, mutta esimerkiksi happamoitumisen osalta tilanne voi olla päinvastoin. Ratkaisuna tähän olisi löytää yhtenäinen indeksiarvo, johon pystyisi yhtenäistämään kaikki neljä ympäristövaikutusluokkaa. Toinen vaihtoehto olisi se, että vertaillaan vaan yhdellä ympäristövaikutusluokalla rakennusmateriaalien ekologisuutta, esimerkiksi yleisimmin käytetyllä hiilijalanjäljellä.

Parannettavaa tässä työssä olisi elinkaariarvioinnissa käytettyjen ympäristövaikutusten lähtötietojen yhtenäistäminen. Tässä työssä oli sekaisin suomalaisista ja saksalaisista lähteistä otettuja arvoja, mutta pääasia oli se, että tiedot ovat otettu EU:n sisällä tuotetuista rakennusmateriaaleista. Esimerkiksi Kiinassa valmistetun teräksen ympäristövaikutusarvoja ei voisi käyttää tässä työssä käytetylle suomalaiselle teräkselle, koska valmistus tavat eroavat liian paljon toisistaan, joten ympäristövaikutuksetkin olisivat eriarvoisia. Lähtötietojen yhtenäistäminen on kuitenkin vaikeaa, koska suomalaisille tuotteille ei kaikille löydy valmista ympäristöselostetta ja joitain suomalaisia tuotteita ei löydy saksalaisesta Ökobau-materiaalitietokannasta.

Elinkaariarviointi on jatkuvasti kehittyvä menetelmä, joka pitää ottaa huomioon tässä työssä. Tämän työn laskelmat ovat tehty niillä ympäristövaikutusarvoilla, mitkä olivat sillä hetkellä tarjolla. Tulevaisuudessa tuotantotavat muuttuvat ja myös rakennusmateriaalit voivat muuttua. Eli tämän työn tiedoilla tehdyt laskemat ovat päteviä vain jonkin aikaa, ja esimerkiksi yli kymmenen vuoden päästä tämän työn arvot ovat jo vanhentuneet. Sen takia on tärkeää tulevaisuudessa tehdä uusia elinkaariarvioita sen hetkisillä arvoilla, että pysytään kehityksessä mukana. Tulevaisuudessa pyritään toivottavasti kehittämään yhä ekologisempia tapoja tuottaa rakennusmateriaaleja sekä kehittää uusia ja ekologisempia rakennusmateriaaleja.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ANTIKAINEN, Riina 2010. Suomen ympäristökeskuksen raportteja. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-11] Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1

Betoni.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-15] Saatavissa: <http://betoni.com>

Polku: Betoni.com. Tietoa betonista. Betoni ja kestävä kehitys. Betonin valmistus.

Betoni.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-28] Saatavissa: <http://betoni.com>

Polku: Betoni.com. Tietoa betonista. Betoni ja kestävä kehitys. Sementti.

CARLING, Olle. 2002. Liimapuu käsikirja. [verkkoaineisto]. Puuinfo [viitattu 15.11.2014]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/liimapuukasikirja/liimapuukasikirja.pdf>

Eura2007.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-05-25]. Saatavissa: <https://www.eura2007.fi>

Polku: Eura2007.fi. RR-tietopalvelu. Itä-Suomen suuralueosio. Työmarkkinoiden toimintaa edistävien osaamis-, innovaatio- ja palvelujärjestelmien kehittäminen. Rakentamisen innovatiiviset puutuotteet (RIP).

Figbc.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-11] Saatavissa <http://figbc.fi>

Polku: Figbc.fi. Elinkaarimittarit. Laskentaohjeet. Elinkaaren hiilijalanjälki.

Gyproc. Gyproc GEK 13 erikoiskova kipsilevyn ympäristöseloste [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-15]. Saatavissa: <http://www.gyproc.fi/tilaa-ja-lataa/hyvaksynnat/gyproc-ymparistoseloste>

HARA-LINDSTRÖM, Eeva. 2001. Talotekniikan elinkaaritarkastelut; Talotekniikan Käsikirja 1. Osa 5.: Elinkaariarviointi – LCA. Forssa: Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy.

Hiukkastieto.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-04] Saatavissa: <http://hiukkastieto.fi>

Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Happamoituminen.

HÄKKINEN, Tarja, VARES, Sirje, VESIKARI, Erkki, SAARELA, Kristina, TATTARI, Kai ja SÄTERI, Jorma. 1997. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet. Espoo: VTT Offsetpaino

Ilmanlaatu.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-04] Saatavissa: <http://ilmanlaatu.fi>

Polku: Ilmanlaatu.fi. Ilmansaasteet. Tietosivut. Otsoni ilmansaasteena.

Kivitaloinfo.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-15] Saatavissa: <http://kivitaloinfo.fi>

Polku: Kivitaloinfo.fi. Materiaalit. Harkot. Kevytsoraharkot.

Kivitaloinfo.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-15] Saatavissa: <http://kivitaloinfo.fi>

Polku: Kivitaloinfo.fi. Materiaalit. Harkot. Betoniharkot.

Kuljetusliikemikander.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-17] Saatavissa:

<http://kuljetusliikemikander.fi>

Polku: Kuljetusliikemikander.fi. Tuotteet. Sepeli ja kalliomurske.

LINDROOS, Tomi J, EKHOLM, Tommi ja SAVOLAINEN, Ilkka. 2012. VTT. Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen suhteellinen painotus ilmastopolitiikassa [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-04]

Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T57.pdf>

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Tukimateriaali laskentasuositukselle [verkkoaineisto].

[viitattu 2014-10-31] Saatavissa:

https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/foodprint/laskentasuositus/LIITE%203%20Tukimateriaali%20suositukselle_7.11.2012.pdf

Nesteoil.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-17] Saatavissa: <http://nesteoil.fi>

Polku: Yritysinfo. Öljynjalostuksen perusteet

Paroc. Paroc vuorivilla. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-17]

Saatavissa:

http://www.paroc.com/SPPS/Finland/BI_attachments/BIFI%20esitteet/Paroc_Vuorivilla.pdf

Prosessiteknikka.kpedu.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-17] Saatavissa:

<http://prosessiteknikka.kpedu.fi>

Polku: Prosessiteknikka.kpedu.fi. Kokonaisprosessit. Petrokemiallinen teollisuus.

Prosessiteknikka.kpedu.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-17] Saatavissa:

<http://prosessiteknikka.kpedu.fi>

Polku: Prosessiteknikka.kpedu.fi. Kokonaisprosessit. Sementin valmistus.

Pu-Nordic.fi. Polyuretaanista valmistetut lämmöneristeet [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-17]

Saatavissa: [http://www.pu-nordic.fi/files/pu-](http://www.pu-nordic.fi/files/pu-nordic/pdf/81228_PU_Nordic_lammoneriste_esite_spread_LR.pdf)

[nordic/pdf/81228_PU_Nordic_lammoneriste_esite_spread_LR.pdf](http://www.pu-nordic.fi/files/pu-nordic/pdf/81228_PU_Nordic_lammoneriste_esite_spread_LR.pdf)

Puukeskus. RT-Ympäristöseloste-yleiset ohjeet [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-05-2014]. Saatavissa:

http://www.puukeskus.fi/img/dyn/Puinfo/yleiset_ohjeet.pdf

Puuinfo.fi. Liimapuun RT-ympäristöseloste. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-28] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/ymparistoselosteet/liimapuu.pdf>

Puuinfo.fi. Sahatavaran RT-ympäristöseloste. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-28]

Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/ymparistoselosteet/sahatavara.pdf>

RAKENNUSTUOTETEOLLISUUS RTT RY. 1998. Betonirakenteiden ympäristövaikutukset. Jyväskylä

Ruukki.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-28] Saatavissa: <http://ruukki.fi>

Polku: Ruukki.fi. Sijoittajat. Vastuuraporttiarkisto. Ympäristövastuuraportti. Ympäristövastuu. Ympäristövaikutukset. Päästöt ilmaan.

Ruukki.fi. Kuumasinkityt rakennustuotteet. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-17]

Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Ymparistoselosteet/Ruukki-Kuumasinkityt-ter%C3%A4ksiset-rakennustuotteet.pdf>

RUUSKA, Antti, HÄKKINEN, Tarja, VARES, Sirje, KORHONEN, Marja-Riitta ja MYLLYMAA, Tuuli. Ympäristöministeriön raportteja. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-10]

Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Raportteja_RA/YMra_82013_Rakennusmateriaalien_ymparist(9056))

[FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Raportteja_RA/YMra_82013_Rakennusmateriaalien_ymparist\(9056\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Raportteja_RA/YMra_82013_Rakennusmateriaalien_ymparist(9056))

SEPPÄLÄ, Jyri. 2001. Geologian tutkimuskeskus. Elinkaariarviointi ja luonnonvarat. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-10-31] Saatavissa: http://arkisto.gtk.fi/tr/tr153/tr153_pages_14_19.pdf

Ilmastonmuutos.org. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-03] Saatavissa: <http://ilmasto.org>

Polku: Ilmasto.org. Ilmastonmuutos. Lyhyesti.

SEPPÄLÄ, Jyri 2004. Suomen ympäristökeskus. Ympäristövaikutusten arviointi elinkaariarvioinnissa – alailmakehän otsonin muodostuminen, happamoituminen, pienhiukkaset ja ekotoksisuus [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-11] Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40658/SY_673.pdf?sequence=1

Suomen kuitulevy. Kuitulevyn valmistus [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-15]. Saatavissa:

http://www.suomenkuitulevy.fi/files/download/hfk_kuitu.pdf

Tiili.info. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-11-15] Saatavissa : <http://tiili-info.fi>

Polku: Tiili.info. Tiili materiaalina. Tiilen valmistus.

Tuoreverkosto. [verkkoaineisto] [viitattu 2014-05-23] Saatavissa: <http://www.tuoreverkosto.fi>

Polku: Tuoreverkosto.fi. Ympäristöselosteet (ISO 14025 -STANDARDI).

Ympäristö.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-09-11] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi>

Polku: Ympäristö.fi. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Tuotesuunnittelu ja tuotteet. Elin-
kaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli.