

Pyry Paavola

RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Maaliskuu 2020

TIIVISTELMÄ

Pyry Paavola: Rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Maaliskuu 2020

Tässä työssä tutkitaan, kuinka rakennuksen hiilijalanjälki määritetään ja mitkä muuttujat siihen vaikuttavat. Tämän jälkeen suoritetaan esimerkkitarkasteluja erilaisiin rakenteisiin ja tutkitaan, kuinka materiaalin vaihto tai materiaalin ominaisuuksien muuttaminen vaikuttaa rakennusosan hiilijalanjälkeen. Aluksi selvitettiin hiilijalanjäljen laskennan määrittäviä standardeja ja tutkittiin näiden ohjeistusta. Standardit ovat pohja rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa. Standardit EN 14044 *Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.* ja EN 14040 *Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.* olivat ensimmäiset rakennuksen ympäristövaikutuksien tutkintaa ohjeistavat standardit. Myöhemmin julkaistut EN 15978 *Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.* ja EN 15804 *Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt.* ohjeistavat rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaa yksityiskohtaisemalla tasolla. Seuraavaksi käytiin läpi hiilijalanjäljen laskennassa käytettyjä erilaisia järjestelmiä ja ohjeita, joiden perusteella voidaan laskentaa suorittaa. Järjestelmät ja ohjeet ohjeistavat rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaa samojen standardien pohjalta, mutta mikään ei täysin standardin mukaisesti. Työn loppupuolella selvitettiin, miten erilainen materiaali muuttaa rakennusosan hiilijalanjäljen suuruutta. Tämä tapahtui vaihtamalla esimerkiksi mineraalivilla EPS-eristeeseen ja osalle laskettiin molemmilla materiaaleilla hiilijalanjälki.

Työ suoritettiin saatavilla olevien tietojen avulla. Näitä olivat standardit, eri verkkosivuilla saatavilla olleet tiedostot hiilijalanjäljen laskemiseksi ja tietokannat.

Avainsanat: Hiilijalanjälki, rakennus, materiaali, laskenta, määrittäminen.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA	2
2.1 Hiilidioksidipäästöjen kohdistaminen	2
2.1.1 EN 14044 ja EN 14040	3
2.1.2 EN 15978 ja EN 15804	4
2.1.3 Järjestelmät ja ohjeet	6
2.2 Hiilijalanjalan laskennan apuvälineet	8
2.2.1 Laskurit	8
2.2.2 Tietokannat	9
3. LASKENTA	10
3.1 Rakenneosat	11
3.2 Materiaalin vaihto	17
3.3 Tulokset	18
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	20
LÄHTEET	22

1. JOHDANTO

Nyky-yhteiskunnalla on monia haasteita, joilla on vaikutusta ihmisten tulevaisuuteen maapallolla. Tällä hetkellä suomalaiset pitävät ilmastonmuutosta ja luonnonvarojen ylikulutusta suurimpana tulevaisuuden uhkana (Dufva et al. 2019). Ilmastonmuutoksessa maapallon keskilämpötila nousee mikä aiheuttaa erilaisia muutoksia ilmastoon. Jäät ja jäätiköt vähenevät, mikä nostaa valtamerien vedenpintaa ja samalla valtamerien veden lämpötila nousee. Toisaalla sademäärät lisääntyvät ja toisaalla sademäärät vähentyvät, mikä aiheuttaa yhtäälle tulvia ja toisaalle kuivuutta. (Ilmasto-opas 2017) Ilmastonmuutos aiheutuu, kun ilmakehässä olevien kasvihuonekaasujen määrä lisääntyy. Kasvihuonekaasut aiheuttavat kasvihuoneilmaston. Kasvihuoneilmastossa auringon säteily pääsee ilmakehän läpi maan pinnalle, mutta ilmakehä estää lämpösäteilyn karkaamisen avaruuteen takaisin. (Ilmasto-opas 2019a) Kasvihuonekaasuista merkittävin ihmisen tuottama on hiilidioksidi (Ilmasto-opas 2019b). Tästä syystä erilaisten hiilijalanjäljen päästövähennysten tutkiminen on tärkeää.

Hiilidioksidin ollessa merkittävin ihmisen aiheuttama kasvihuonekaasu on edullista tutkia erilaisia päästövähennysmahdollisuuksia eri ammattialoilla. Rakennusalalla näitä ovat muun muassa materiaaleista aiheutuva hukkan pienentäminen, uusio- ja uudelleenkäyttö. Yksi päästövähennysmahdollisuus on myös rakennuksen rakentamisesta aiheutuva hiilijalanjälki. Rakennusosien hiilijalanjäljestä ja hiilijalanjäljen laskentamenetelmistä on tällä hetkellä Suomessa vähän julkista tietoa tarjolla. Tällä kandidaatintyöllä pyritään siihen, että asiaan liittyen saataisiin suuntaa-antavaa tietoa, ja informaatiota muuttujista, jotka vaikuttavat eniten rakennuksen hiilijalanjälkeen. Lisäksi tutkitaan, onko hiilijalanjäljen pienentäminen mahdollista vaihtamalla rakennusosassa materiaali ekologisempaan.

Tutkimus rajataan asuinkerrostalon eri rakennusosiin ja näistä eniten käytettyihin eli niihin, mitkä aiheuttavat ison osan rakennuksen hiilijalanjäljestä. Näitä ovat esimerkiksi välipohja-, alapohja-, ulkoseinä-, ja yläpohjarakenteet. Tarkoituksena on määrittää näille rakennusosille neliökohtainen hiilijalanjälki. Työssä pyritään suorittamaan laskenta standardien ja yleisten käytäntöjen mukaisesti, jolloin on mahdollista vertailla hiilijalanjäljen suuruutta rakennusosille, kun materiaali vaihtuu tai sen ominaisuuksia muutetaan.

2. HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

Hiilijalanjälki tarkoittaa hiilidioksidipäästöjä, jotka aiheutuvat ihmisen omasta toiminnasta (Sjöstedt 2018). Eli esimerkiksi tuotteen jalostuksesta, energiankäytöstä voi aiheutua hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Hiilijalanjäljen määrittämiseen liittyy haasteita, joihin voidaan hakea ratkaisua standardien ja erilaisten järjestelmien avulla. Näitä hyödyntämällä sekä käyttämällä erilaisia tietokantoja tai laskureita voidaan hiilijalanjälki laskea rakennusosalle. (Bionova 2017)

2.1 Hiilidioksidipäästöjen kohdistaminen

Jotta materiaalille ja sitä kautta rakennukselle voitaisiin määrittää hiilijalanjälki, täytyy materiaalille osata kohdistaa materiaalin tuotannossa tapahtuvat hiilidioksidipäästöt oikein. Toiseksi rakennuksen elinkaaren aikana syntyvät päästöt pitäisi osata kohdistaa oikein. Kolmantena rakennuksen elinkaaren lopussa rakennuksen purkamisesta ja jätteiden käsittelystä aiheutuvat päästöt pitäisi osata kohdistaa oikein. Viimeisenä materiaalien käytöstä syntynyt positiivinen tai negatiivinen hiilijalanjälki pitäisi osata määrittää oikein. (Green Building Council Finland 2019)

Hiilijalanjäljen laskennan helpottamiseksi ja laskemisen yhdenmukaistamiseksi on luotu standardeja. Näiden avulla voidaan päätöksenteossa ottaa ilmastoasiat huomioon ja vertailla erilaisten ratkaisujen ilmastoystävällisyyttä, sillä standardit määrittävät samankaltaisen laskentaprosessin eri tuotteille.

Rakennusten ympäristövaikutuksia on aloitettu tutkimaan standardien pohjalta 2000-luvulla ja tarkemmin 2010-luvulla. Ensimmäisenä julkaistiin vuonna 2006 standardit EN 14044 *Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.* ja EN 14040 *Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.* Nämä alkoivat ohjata ympäristöpäästöjen laskentaa kohti koko elinkaaren aikana syntyviä päästöjä. Näissä olevat ohjeet ovat kuitenkin melko yleisellä tasolla. Tämän takia vuonna 2011 julkaistiin EN 15978 *Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.* Tämä sisältää laskentatavan rakennuksen päästöjen laskemiselle. Vuotta myöhemmin julkaistiin EN 15804 *Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt.* Standardeissa käsitellään rakennustuotteen elinkaaren aikaisia päästöjä. Standardeista EN 15978 ja EN 15804 on myöhemmin julkaistu päivitettyjä versioita. (EN 14044 2006; EN 14040 2006; EN 15978 2012; EN 15804 2014)

2.1.1 EN 14044 ja EN 14040

Standardit EN 14040 ja EN 14044 ovat LCA-laskennan pohja. Standardeista löytyviä käsitteitä LCA, LCIA ja LCI on avattu alla. Life Cycle Assessment (LCA) on menetelmä, jolla kuvataan tuotejärjestelmän elinkaaren aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia (Ympäristö.fi 2013). Elinkaariarviointia voidaan käyttää, kun halutaan tietää esimerkiksi tuotteen ympäristövaikutuksien pienentämismahdollisuuksia koko tuotteen elinkaaren aikana.

Esimerkiksi, jos tuotteen kestävyyttä saataisiin parannettua, ei tuotetta tarvitsisi korvata yhtä nopeasti. Miten tämä vaikuttaisi tuotteen valmistamisessa käytettyyn hiilijalanjälkeen? Kasvaisiko hiilijalanjälki kuitenkin? Tästä syystä LCA on avuksi myös silloin, kun määritetään tuotteelle asetettavat prioriteetit. Prioriteetteina voidaan pitää esimerkiksi tuotteen valmistamisessa aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä, jolloin on järkevää valmistaa tuote mahdollisimman pienellä hiilijalanjäljellä. Tällöin voidaan suorittaa arviointi annettujen prioriteettien mukaan ja tuotteelle voidaan saada halutun kaltainen ympäristövaikutus.

LCA-menetelmä sisältää neljä eri vaihetta. Ensimmäisenä on tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe, toisena vaiheena on inventaarioanalyysivaihe, kolmantena vaikutusarviointivaihe ja viimeisenä tulosten tulkintavaihe. Tätä kaavaa toistetaan niin kauan, kunnes voidaan todeta tulosten olevan halutulla tasolla. (EN 14040 2006, s. 8)

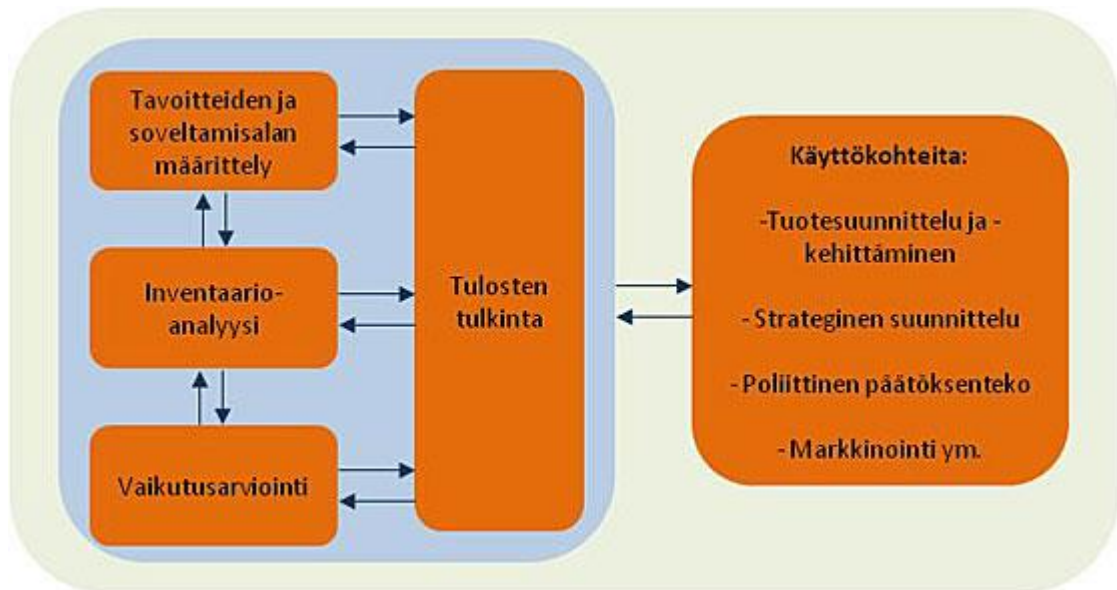
Ensimmäisessä vaiheessa tutkitaan elinkaariarvioinnin tavoitteet ja soveltamisala. Tavoitteiden kanssa tulee olla selkeitä, ja niistä tulee käydä ilmi elinkaariarvioinnin käyttötarkoitus, selvityksen tekemisen syyt, kohdeyleisö ja se käytetäänkö tuloksia julkisesti. Soveltamisalaa määrittäessä on huomioitava tarkasti tutkittava tuotejärjestelmä, sen toiminnot ja rajat, toiminnallinen yksikkö, allokointimenettelyt, vaikutusarviointimenetelmät ja vaikutustyyppit sekä tulkintatapa. Myös tiedoille asetetut vaatimukset, oletukset, arvovalinnat, rajoitukset ja lähtötietojen laatuvaatimukset tulee ottaa huomioon. (EN 14040 2006, s. 15)

Toisena vaiheena on inventaarioanalyysivaihe (LCI), tähän vaiheeseen sisältyy tiedonkeruu tuotejärjestelmän aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä ja laskennan menettelytavoista. Vaiheen tarkoituksena on määrittää tuotejärjestelmään kuuluvat syötteet ja tuotokset määrälliseen muotoon, jotta näistä voidaan tehdä päätelmiä. Tiedonkeruu on pitkä prosessi ja se vaatii suorittajaltaan runsaasti osaamista ja ammattitaitoa. (EN 14040 2006, s. 32)

Life Cycle Impact Assessment (LCIA) on LCA-menetelmän vaikutusarviointivaihe. Vaiheessa tutkitaan tuotteen inventaarioanalyysistä saatuja tietoja ja niiden merkittävyyttä

ympäristön kannalta. Tutkimus tapahtuu jakamalla inventaarioanalyysin tiedot vaikutusluokkiin. Eli mitkä päästöt vaikuttavat ympäristön kannalta merkittävimmin ja mitkä vähiten merkittävästi. (EN 14040 2006, s. 34)

Alla olevasta kuvasta 1. näkyy, että LCA-menetelmä on iteratiivinen prosessi. Iteratiivinen prosessi saattaa vaatia jokaiseen vaiheeseen palaamista useasti, jotta halutun kaltaiset tulokset voidaan saavuttaa. Tulosten tulkintaa on tämän takia suoritettava jatkuvasti jokaisen vaiheen jälkeen.



Kuva 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet EN 14040:2006 mukaan (Ympäristö.fi 2013)

2.1.2 EN 15978 ja EN 15804

Standardit EN 15978 ja EN 15804 ovat nykyään helpottamassa rakennuksen ja rakennustuotteen hiilijalanjäljen laskemista. Standardit jakavat elinkaaren helpommin käsiteltäviin vaiheisiin ja näiden avulla pystytään määrittämään hiilijalanjälki vaivattomammin rakennukselle tai rakennustuotteelle.

Elinkaaren vaihe A sisältää rakennustuotteen saattamisen valmiiksi käyttöä varten. A on jaoteltu useampaan alaryhmään. Alaryhmiä on yhtä paljon kuin materiaalin käyttövalmiiksi saattamiseen vaadittavia vaiheita. Rakennustuotteen A1 vaihe kertoo sen raaka-aineiden hankinnasta aiheutuvan hiilijalanjäljen suuruuden. Tämän jälkeen vaiheessa A2 määritetään, kuinka suuri hiilijalanjälki aiheutuu, kun raaka-aine kuljetetaan tehtaalle jatkojalostettavaksi. Vaiheessa A3 määritetään, kuinka suuri hiilijalanjälki aiheutuu, kun tuote valmistetaan mahdollisesti useista raaka-aineista, jatkokäsiteltäväksi rakennustyömaalle. Vaiheet A1–A3 määritetään standardin EN 15804 mukaisesti. Neljäntenä vaiheena A4 on tuotteen kuljetus rakennustyömaalle käyttöä varten. Vaiheessa lasketaan

tavarankuljetuksesta aiheutuvan päästön suuruus. Viimeisenä osan A vaiheena on A5, jossa lasketaan työmaatoiminnoista aiheutuva hiilijalanjälki. Toiminto voi olla esimerkiksi sahatavaran katkominen oikeaan mittaan ja asentaminen lopulliseen paikkaan. (EN 15978 2012, s. 20–21; Green Building Council Finland 2012)

Elinkaaren vaihe B kuvaa rakennustuotteen käytön aikana syntyvää hiilijalanjälkeä. Kaikissa B moduulin vaiheissa, pois lukien B1, tutkitaan hiilijalanjälki samanlaisin askelin kuin A moduulissakin. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkitaan paljonko jokaisessa vaiheessa raaka-aineesta asennetuksi, syntyy hiilijalanjälkeä. (EN 15978 2012, s. 22; Green Building Council Finland 2012)

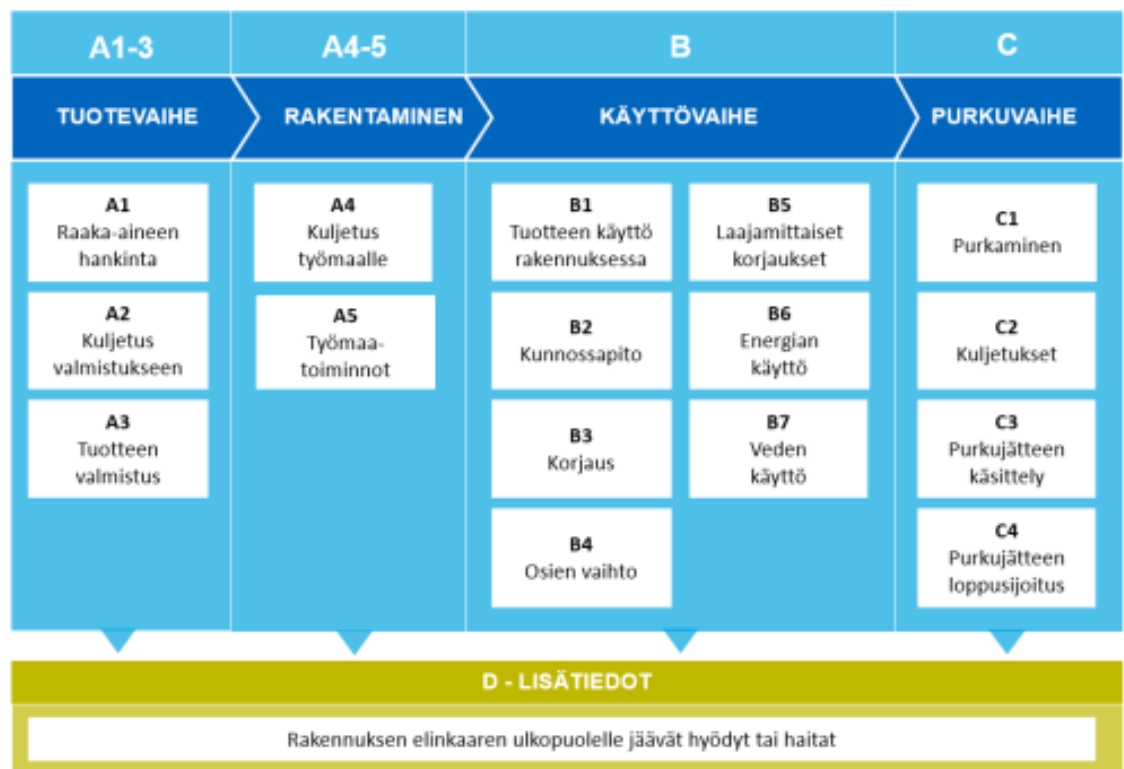
Vaiheessa B1 lasketaan, paljonko hiilijalanjälkeä syntyy tuotteen käytöstä rakennuksessa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi kylmälaitteesta syntyviä vuotoja ilmakehään. Seuraavassa eli B2-vaiheessa lasketaan kunnossapidosta syntyvät päästöt. Tämä voi sisältää esimerkiksi siivouksista, ulkoalueiden hoidosta ja muista pienehköistä huoltotoimenpiteistä syntyvän hiilijalanjäljen. Kolmannessa käyttövaiheeseen liittyvässä vaiheessa B3 tutkitaan, kuinka suuri hiilijalanjälki aiheutuu korjauksista. Korjauksia ovat muun muassa rakennuksen maalaus huoltotoimenpiteenä tai rikkoontumisista aiheutuvat korjaukset. Vaihe B4 kuvaa puolestaan osien vaihdosta aiheutuvan hiilijalanjäljen määrää eli esimerkiksi ikkunoiden vaihdosta syntyviä päästöjä tai ilmanvaihtokoneen vaihdosta syntyviä päästöjä. B5 on laajamittaisista korjauksista aiheutuvien päästöjen tutkintavaihe. Laajamittaisiksi korjauksiksi käsitetään rakenteisiin kohdistuvat korjaukset, kuten tilan käyttötarkoituksen muuttaminen. Tällöin B5-vaihe koostuu A moduulin kaikista vaiheista. (EN 15978 2012, s. 22–24; Green Building Council Finland 2012)

Kahdessa viimeisessä B-moduulin vaiheessa tutkitaan rakennuksen resurssien käytöstä syntyvää hiilijalanjälkeä eli rakennuksen energiankäyttöä ja vedenkulutusta. Vaiheessa B6 lasketaan rakennuksen energiankäyttö ja tästä syntyvä hiilijalanjälki. Vaiheessa B7 tutkitaan rakennuksen puhtaan veden käytöstä ja jäteveden käsittelystä syntyviä päästöjä. (EN 15978 2012, s. 24–27; Green Building Council Finland 2012)

Elinkaaren vaiheessa C tutkitaan, minkälaisia päästöjä syntyy rakennuksen elinkaaren loppuvaiheessa, kun rakennus puretaan ja rakennusosat kierrätetään tai loppusijoitetaan. Vaiheessa C1 lasketaan purkamisesta aiheutuvia päästöjä, joita syntyy esimerkiksi purkukoneista. Seuraavassa vaiheessa C2 lasketaan jätteiden kuljettamisesta kierrätyspaikalle syntyvät päästöt. Kolmannessa vaiheessa C3 tutkitaan, minkälaiset päästöt syntyvät purkujätteen käsittelystä, jossa purkujäte lajitellaan uudelleenkäytettäviin, uudel-

leenjalostusta vaativiin ja loppusijoitettaviin lajitteisiin. Viimeisessä vaiheessa C4 tutkitaan, minkälaiset ympäristövaikutukset syntyvät kierrätyskelvottomien purkujätteiden loppukäsittelystä. (EN 15978 2012, s. 27–29; Green Building Council Finland 2012)

Elinkaaren vaihe D kuvaa sitä minkälaiset hiilijalanjälkeä pienentävät vaikutukset kierrätyksellä ja uudelleenkäyttämällä saadaan. Esimerkiksi käyttämällä rakennuksen purkamisesta tulleen betonin murskauksen kautta tien pohjaksi voidaan pienentää betonista aiheutunutta hiilijalanjälkeä rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä. (EN 15978 2012, s. 29; Green Building Council Finland 2012) Alla olevassa kuvassa 2. on esitetty, kuinka rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta suoritetaan standardin EN 15978 mukaan.



Kuva 2. Elinkaarimalli EN 15978 mukaan (Bionova Oy 2017, 13)

2.1.3 Järjestelmät ja ohjeet

Näiden standardien pohjalta on luotu erilaisia järjestelmiä, jotta voidaan luokitella rakennuksia ympäristöystävällisyyden kannalta. Yleisesti tällä hetkellä Suomessa on käytössä LEED- ja BREEAM -järjestelmät kansainvälisistä luokitusjärjestelmistä. Suomalainen järjestelmä on RTS-luokitus. GBC Finland on luonut ohjeen rakennuksen hiilijalanjäljen laskemiseksi. (Bionova Oy 2017, s. 19–20)

LEED eli Leadership in Energy and Environmental Design -järjestelmässä rakennuksen elinkaaren päästöt lasketaan ISO 14040 ja EN 15804 standardeilla. LEED-järjestelmä sisältää laskennan elinkaaren vaiheille A1–A4, B1–B5 ja C1–C4. (Bionova Oy 2017, s.

19–20) LEED-järjestelmä on laajimmin käytetty ympäristöluokitusjärjestelmä rakennuksille. (U.S. Green Building Council 2019)

BREEAM eli Building Research Establishment Environmental Assessment Method -järjestelmässä rakennuksen päästöt lasketaan kokonaisuudessaan EN 15978-standardiin perustuen. Järjestelmässä on mukana laskenta elinkaaren vaiheille A1–A5, B1–B7 ja C1–C4. (Bionova Oy 2017, s. 19–20) BREEAM-järjestelmä on maailman johtava ympäristöluokitusjärjestelmä. BREEAM-järjestelmässä on kymmenen eri kategoriaa, minkä pohjalta rakennuksen kestävyyttä tarkastellaan. (BREEAM 2019)

RTS-luokitus käyttää hyödyksi EN 15978 standardia ja Green Building Council Finlandin luomaa ohjetta rakennustuotteen hiilijalanjäljen laskemiseksi. Tässä luokituksessa lasketaan päästöt elinkaaren vaiheille: A1–A5, B1–B4, B6 ja C1–C4 (Bionova Oy 2017, s. 19–20) RTS-luokitus on Rakennustietosäätiön tuottama ympäristöluokitusjärjestelmä rakennushankkeiden tilaajille, joiden intresseissä on rakentaa ympäristövastuullisesti. RTS-luokituksessa on viisi eri luokituskriteeriä, jotka ovat prosessi, talous, ympäristö ja energia, sisäilma ja terveellisyys, ja innovaatiot. (Rakennustietosäätiö 2019)

Green Building Council Finlandin ohje perustuu täysin EN 15978-standardiin, ja ohjeistaa päästöjen laskentaa standardin pohjalta, mutta hieman standardia helpommin luettavalla kielellä. Green Building Council Finlandin ohje sisältää laskennan elinkaaren vaiheille A1–A5, B1–B7, C1–C4. (Bionova Oy 2017, s. 19–20)

EeBGuide on Euroopan komission tutkimus- ja innovaatioympäristön rahoittama projektissä luotiin ohjeistus LCA-laskentaan rakennustuotteille ja rakennuksille. EeBGuide on luotu EN 15804 ja EN 15978 pohjalle. EeBGuide ohjeistaa kolme erilaista laskentatapaa. EeBGuiden mukaan täysimääräisenä laskentaa kutsutaan Complete LCA -laskennaksi. Tässä laskennassa otetaan huomioon EN 15978 -standardin kaikki vaiheet. Toinen tapa on Screening LCA, jossa huomioidaan vain elinkaaren vaiheet A1–A3, B6 ja B7. Kolmantena tapana on Simplified LCA, jossa lisätään edelliseen tapaan B4, C3, C4 ja D. Parhaiten tämän työn suorittamiseen soveltuu Screening LCA työn suorittajan kokemuksen huomioon ottaen. Complete LCA:n suorittaminen on erittäin työlästä ja vaatii sen tekijältä huomattavan paljon osaamista alaan liittyen. Complete LCA kannattaa suorittaa silloin, kun rakennuksen elinkaaren päästöistä tarvitaan todella tarkkaa tietoa. Screening LCA on hyvä tapa laskea hiilijalanjälki rakennukselle, rakennushankkeen alkuvaiheessa, sillä todennäköisesti tämän laskentatavan sisältämät elinkaaren vaiheet ovat suurimmat päästöjen aiheuttajat. (EeBGuide 2012; Soust-Verdaguer et al. 2016)

Myös ympäristöministeriö on julkaissut hiilijalanjäljen laskentaan arviointimenetelmän. Menetelmä on julkaistu testausjaksolle ja menetelmää tullaan päivittämään testausjaksoson jälkeen. (Ympäristöministeriö 2019) Tämän menetelmän luomiseen on käytetty eurooppalaisia kestävään rakentamiseen ohjaavia standardeja: EN 15804-, EN 15978- ja EN 15643 -sarjaa, sekä EU:n uusia rakennusten resurssitehokkuuden indikaattoreita Level(s)ia. (Ympäristöministeriö 2018a) Level(s)-mittariluokkia ovat elinkaaren hiilijalanjälki, resurssitehokas materiaalien käyttö, veden kulutus, terveelliset tilat ja sisäilman laatu, sopeutuminen ilmastonmuutokseen ja elinkaarikustannukset (Ympäristöministeriö 2018b). Menetelmä sisältää nykyisessä versiossaan ohjeet hiilijalanjäljen laskemiseksi elinkaaren vaiheille: A1-A5, B3-B4, B6, C1-C4 ja D. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019)

2.2 Hiilijalanjäljen laskennan apuvälineet

Hiilijalanjäljen laskemiseksi on olemassa valmiita sovelluksia ja tietokantoja, joista löytyy materiaalien hiilijalanjälkiä. Sovelluksia ovat muun muassa GaBi, Synergia ja Ilmari. Tietokantoja on muun muassa Ökobaudat.de verkkosivulla ja EPD-Norge.no verkkosivulla. Tässä kandidaatintyössä on tarkoitus suorittaa laskenta rakennusosille tietokantoja hyödyntämällä. Laskurit vaativat lisenssiä, joten näiden käyttö ei tässä työssä ole mahdollista.

2.2.1 Laskurit

GaBi on LCA-menetelmään perustuva laskentaohjelma. Ohjelmaan on syötetty tuhansien materiaalien LCA-menetelmällä lasketut hiilijalanjälkitiedot. Täten sovellus pystyy määrittämään tuotteen hiilijalanjäljen hyvin standardinmukaisesti. Sovelluksella saadaan tärkeitä tietoja hiilijalanjäljestä ja näiden avulla voidaan tehdä päätöksiä, minkälaiseen tuotteeseen tai rakennukseen kannattaa hiilijalanjäljen perusteella päätyä. (GaBi-software 2019)

SYNERGIA on Suomen ympäristökeskuksen luoma työkalu, jolla voidaan laskea rakennuksen pääraakenneosien hiilijalanjälkiä. (Suomen ympäristökeskus 2013)

ILMARI on VTT:n ja Pöyryn yhteistyössä kehittämä laskuri rakennusosan hiilijalanjäljen määrittämiseen. Laskuri määrittää rakennuksen kasvihuonekaasujen nettosumman. ILMARI laskee rakennuksen merkittävimpien kasvihuonekaasupäästöjen tuottajien, kuten perustuksien, rakennusrungon ja julkisivujen hiilijalanjäljen huomioimalla materiaalin valmistuksen, materiaalin kuljetuksen ja materiaalihukan. (VTT 2013)

One Click LCA on Bionova Oy:n tuottama LCA-laskenta ohjelma. Ohjelmaan syötetään rakennuksen tiedot ja ohjelma laskee annettujen arvojen avulla rakennukselle hiilijalanjäljen ja muita tietoja, mitkä vaikuttavat ympäristöön. One Click LCA tukee erilaisia järjestelmiä, kuten BREEAM ja LEED. (One Click LCA 2019)

Nykyään on olemassa myös BIM (Building Information Model) yhdistettyjä LCA-laskenta sovelluksia muun muassa Autodeskin Revit ohjelmaan. Tutkimuksen mukaan pitäisi luoda ohjeistuksia BIM:in ja LCA:n välille, jotta laskennoista saataisiin yhtenäisiä ja vertailtavia. (Soust-Verdaguer et. al. 2017)

2.2.2 Tietokannat

Rakennusmateriaaleille on muutamia internetissä vapaasti käytettävissä olevia tietokantoja. Näitä ovat edellä mainitut ökobaudat.de, EPD-Norge.no. Lisenssiä vaativia tietokantoja ovat muun muassa GaBi-sovelluksen tietokanta, ecoinventin tietokanta. Muita lähteitä, joista voi löytää tietoa rakennusmateriaalien hiilijalanjäljistä on esimerkiksi bregroup.com, oneclicklca.com (Bionova Oy 2017, s. 57)

Saksalainen ökobaudat.de koostaa rakennustuotteista keskiarvotietoja ja siksi tässä työssä päädytään käyttämään tietokannasta löytyviä rakennustuotteiden hiilijalanjälkitietoja. Kyseisellä sivustolla on yli 1200 rakennustuotteelle tietokanta, jossa hiilijalanjäljet on määritetty EN 15804 mukaisesti, joten tiedot ovat varsin käyttökelpoisia hiilijalanjäljen laskennan suorittamisessa. (Ökobaudat 2019)

Norjalaiselta EPD-Norge.no sivustolta löytyy rakennustuotteiden ympäristöselosteita. Ympäristöselosteet ovat tehty EN 15804 standardin mukaisesti, joten tältä sivustolta voidaan käyttää materiaalien hiilijalanjälkitietoja laskennassa. (EPD-Norge 2019)

Ecoinventin tietokantaa käyttää muun muassa GaBi sovellus. Tietokannassa on tuhansille tuotteille tieto niiden ympäristövaikutuksista. (Ecoinvent 2019)

3. LASKENTA

Standardien pohjalta on olemassa useita laskentatapoja, joissakin on kaikki elinkaaren vaiheet huomioitu, joissain vain osa. Kuten aiemmin todettu täysimääräisenä LCA –laskenta vaatii työn suorittajalta huomattavaa kokemusta, joten tätä tapaa ei voida soveltaa.

Tässä työssä lasketaan esimerkki rakennusosan hiilijalanjäljen laskennasta soveltamalla EeBGuiden mallintamaa Screening LCA –laskentaa. Tällä laskentatavalla voidaan saada tarpeeksi informaatiota esimerkiksi vertailtaessa erilaisia rakennetyyppejä. Tämä edellyttää kuitenkin huolellisuutta laskennan suorittajalta, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia. Screening LCA -tyyppiset laskennan tulokset eivät ole julkaisukelpoisia, mutta sisäisesti esimerkiksi yrityksessä näistä voidaan saada jonkinlaista informaatiota. Esimerkiksi valittaessa rakennusosiin materiaaleja. (EeBGuide 2012)

Laskentaesimerkki tullaan suorittamaan asuinkerrostalon yleisimmille rakennusosille. Yleisimmin asuinkerrostalot tehdään betonista. Täten laskennan kohteena on betonisen asuinkerrostalon rakenneosat. Laskennassa käytetään rakenneosille vain elinkaaren vaiheita A1–A3, sillä nämä vaiheet ovat katettuna tietokannoissa parhaiten ja tämän kaltaisen laskenta on järkevin suorittaa silloin, kun rakennushankkeen alkuvaiheessa tutkitaan rakennuksen hiilijalanjälkeä. Materiaalien päästöjä laskiessa keskitytään myös vain A1–A3 vaiheiden aiheuttamiin GWP eli Global Warming Potential mukaisiin päästöihin. Nämä päästöt ilmoitetaan kgCO₂ ekvivalentteina. Rakenneosat aiheuttavat myös muunlaisia päästöjä, mutta näihin ei tässä työssä keskitytä. Alla kaava, minkä mukaan laskentaa suoritetaan.

$$\frac{\text{Materiaalin hiilijalanjälki vaiheissa A1–A3} \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^3} \right) * \text{Materiaalin tilavuus rakenteessa} (\text{m}^3)}{\text{Materiaalin ala rakenneleikkauksessa} (\text{m}^2)} =$$

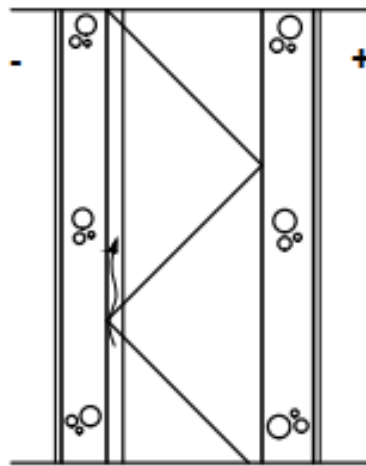
$$\text{Materiaalin hiilijalanjälki} (\text{kgCO}_2/\text{m}^2) \quad (1)$$

Laskennassa toiminnallisena yksikkönä pidetään yhtä m². Rakennusosien tilavuudet lasketaan rakenneleikkauksesta, jolloin voidaan laskea leikkauksessa olevan rakennustuotteen hiilijalanjäljen suuruus, mikäli tämän hiilijalanjälki on ilmoitettu esimerkiksi yhdelle kuutiolle tuotetta. Mikäli rakennustuotteelle annettu hiilijalanjälki on ilmoitettu esimerkiksi neliömetrille tuotetta, käytetään tätä oletusta. Tämän jälkeen summataan rakenneleikkauksessa olevien rakennustuotteiden aiheuttamat hiilijalanjäljet yhteen, jotta saadaan rakenneleikkaukselle hiilijalanjälki neliötä kohden. Seuraavaksi suoritetaan laskenta uudelleen täsmälleen samalla tavalla, mutta vaihdetaan betoni ekologisempaan vastaa-

vaan. Tämän takia laskentatulokset todennäköisesti muuttuu, ja hiilijalanjälki pienenee. Tämän jälkeen tutkitaan, minkälainen vaikutus aiheutuu, jos rakenteisiin missä on käytetty mineraalivillaa, vaihdetaan tilalle EPS-eriste. Materiaalien hiilijalanjälkitiedot ovat Ökobaudat tietokannasta, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta.

3.1 Rakenneosat

Lasketaan hiilijalanjälki betonisandwichelementtiseinäille, joka on tyypillinen asuinkerrostaloissa käytetty rakenneosat.



Rakennekerrokset:

≥ 70 mm
240 mm
≥ 80 mm

Pintakäsittely rakennusselostuksen mukaan

Ulkokuori rakennesuunnitelman mukaan, teräsbetoni, pinta by 40 mukaan

Lämmöneriste, mineraalivilla, $\lambda_{D,avg} = 0,035$ W/mK, ristiin uritettu, urasuojattu

Sisäkuori rakennesuunnitelman mukaan, teräsbetoni, pinta by 40 mukaan

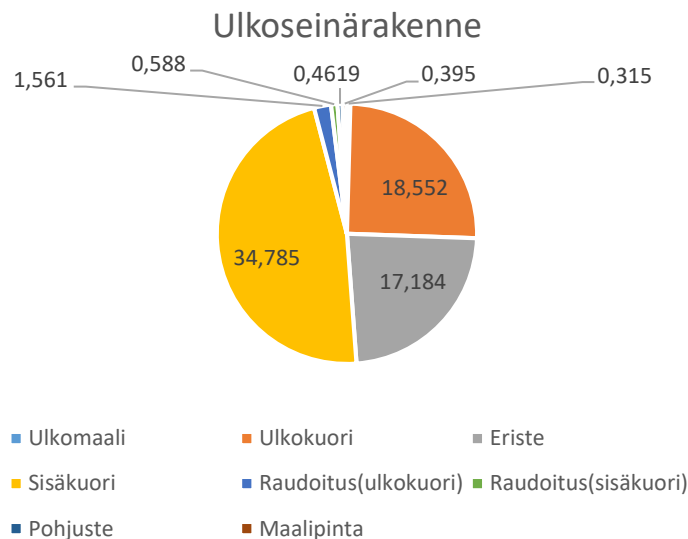
Seinäpinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Kuva 3. Betonisandwichelementtiseinä. (Rakennustieto 2019a)

Betonisandwichelementtiseinässä on rakennekerroksina ulkoa sisälle päin: pintakäsittely (ulkomaali), betonielementin ulkokuori 80 mm, mineraalivillaeriste (uritettu) 240 mm, betonielementin sisäkuori 150 mm, sisäpuolen seinäpinta ja pintakäsittely. Oletuksena tässä kohtaa on, että kerrostalon kantavat rakenteet toteutetaan myös betonisandwichelementtien kautta, jolloin sisäkuoren paksuuden vähimmäismitta on 150 mm ja ulkokuoren 80 mm. (Nykyri 2013, s. 4) Raudoituksena oletetaan olevan 2x8mm rengasraudoitus sisäkuoressa ja 5#150 ulkokuoressa. Ulkokuoressa on pintana silikaattimaali ja sisäkuoressa pohjuste ja tämän päällä maalipinta. Lasketaan seuraavaksi kuinka suuren tilavuuden kukin osa rakenteesta muodostaa neliömetrin alueella. Tämän jälkeen voidaan määrittää kunkin osan tuottama hiilijalanjälki neliötä kohden hakemalla ökobaudat.de sivustolta rakennusmateriaalien hiilijalanjälki materiaalista tuotetulle kuutiolle ja kertomalla tätä arvoa lasketulla tilavuudella. Käytetään elinkaaren vaiheista A1–

A3 tietoja, koska nämä ovat saatavilla kaikista materiaaleista ja näitä vaiheita käytetään Screening LCA laskennassa, kun määritetään rakennuksen rakentamisesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä.

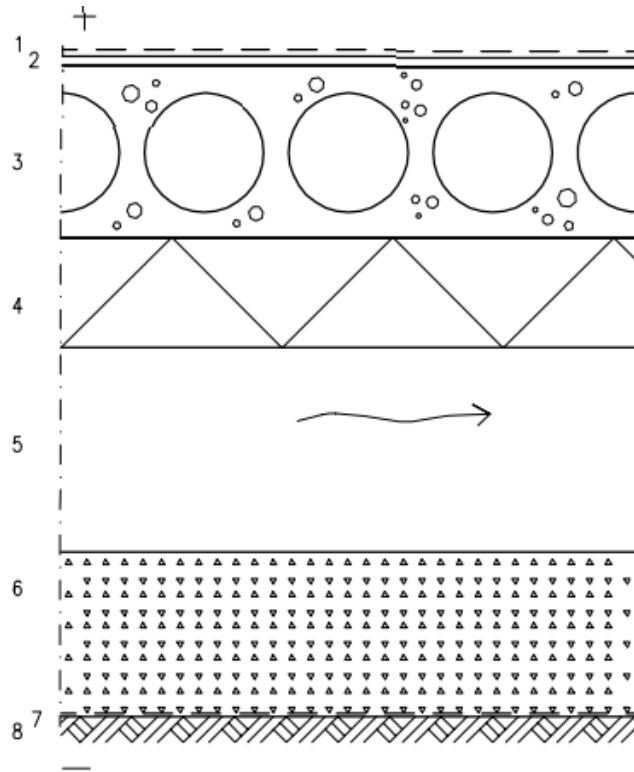
Kuvasta 4. voidaan nähdä, kuinka suuren osuuden tietty materiaali rakenneosan hiilijalanjäljestä aiheuttaa. Huomataan, että betoni tuottaa hiilijalanjäljestä suurimman osuuden.



Kuva 4. *Betonisandwichelementtiseinän materiaalien hiilijalanjälki (kgCO₂/m²).*

Toisena rakenneleikkauksena otetaan tarkasteluun alla olevan kuvan mukainen tuuletettu ontelolaatta-alapohja. Ontelolaatta-alapohjassa rakennekerroksina ensimmäisenä on lattiapäällyste. Päällysteeksi on valittu laminaattilattiapäällyste. Tämän jälkeen taasoite, 20 mm nimellispaksuutenaan. Seuraava rakennekerros on ontelolaatta O37, tämä on yleinen asuinkerrostalon alapohjissa käytetty ontelolaatta (Elementtisuunnittelu 2019a). Salaojasoran osalta kuutiopainona käytetään 1,45 tonnia. Tehdään laskenta kuten edellisessä kohdassa eli elinkaaren vaiheilla A1–A3.

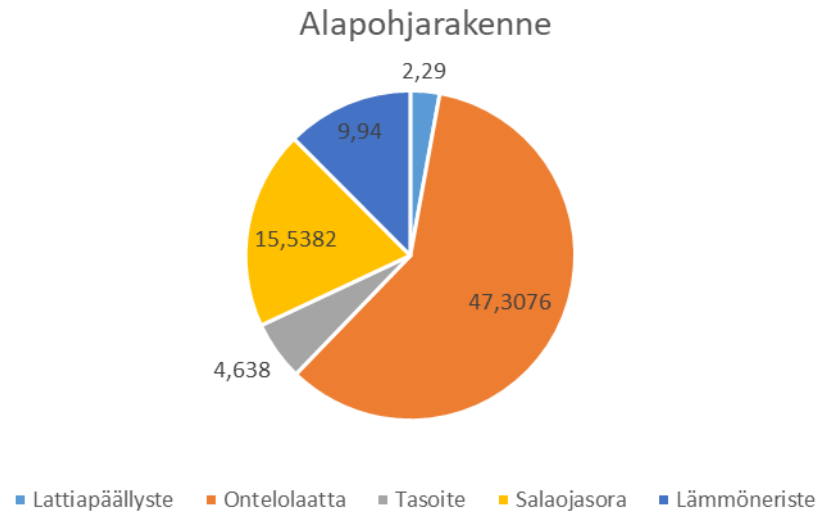
mittakaava 1:10



- | | | |
|---------------|---|--|
| | 1 | Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan |
| 3 . . . 20 mm | 2 | Tasoite rakennusselityksen mukaan (nimellispaksuus 20 mm) |
| | 3 | Ontelolaatta, rakennepiirustusten mukaan |
| 170 mm | 4 | Solupolystyreenilevy EPS, kiinnitetty ontelolaattaan, $\lambda_{d} = 0,031$, paloluokka E |
| ≥ 800 mm | 5 | Tuuletettu alustatila (SRMK D1) |
| ≥ 300 mm | 6 | Salaojituskerros, sepeli $\varnothing 6...32$ mm; kapillaarikatko |
| | 7 | Suodatinkangas ≥ 120 g/m ² (KL II), kun pohjamaa on savea tai silttiä |
| | 8 | Perusmaa tai kitkamaatäyttö, kallistus salaojiin 1:50 |

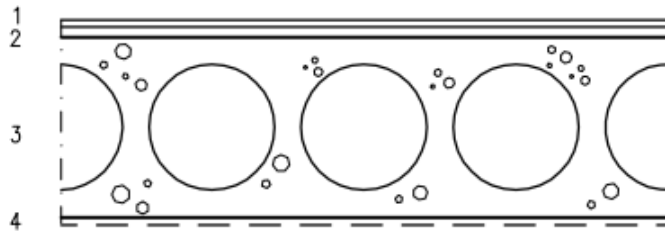
Kuva 5. Ontelolaatta-alapohja, tuuletettu. (Elementtisuunnittelu 2019b)

Alla olevassa kuvassa on jaoteltu materiaaleista aiheutuvat hiilijalanjäljet rakennelikkauksessa. Kuvasta nähdään, kuinka betonista aiheutuu rakenteessa suurin hiilijalanjälki.



Kuva 6. Alapohjarakenteen materiaalien hiilijalanjälki (kgCO₂/m²).

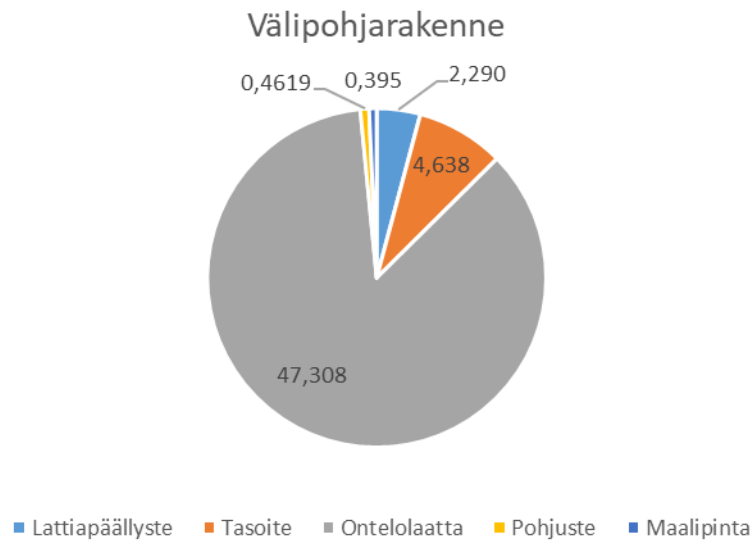
Kolmantena tarkastellaan välipohjarakennetta. Välipohjarakenteessa rakennekerroksina on lattiapäällyste. Tähän on valittu laminaattipäällyste. Laminaattipäällysteen alle joustava alusmateriaali. Seuraavana rakennekerroksena on tasoite 20 mm paksu. Kantavana rakenteena on ontelolaatta O37. Tämäntyyppisellä rakenteella ontelolaatta täyttää välipohjan ääneneristysvaatimukset. (Elementtisuunnittelu 2019a) Ontelolaatan alapinta käsitellään pohjusteella ja maalataan tämän jälkeen. Laskenta suoritetaan kuten edellä kerrottu.



- 3 . . . 20 mm
- 1 Pintamateriaali ja -käsittely huoneselityksen mukaan
 - 2 Tasoite, rakennuselityksen mukaan (nimellispaksuus 20 mm)
 - 3 Ontelolaatta, rakennepiirustusten mukaan
 - 4 Pintakäsittely, huoneselityksen mukaan

Kuva 7. Välipohjarakenne. (Elementtisuunnittelu 2019c)

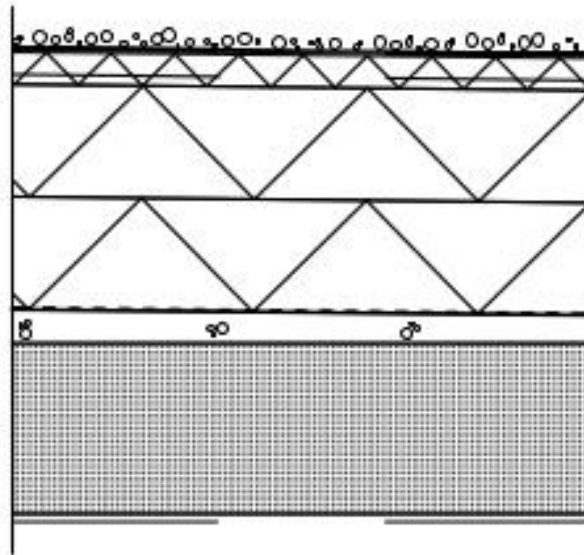
Alla olevassa kuvassa on jaoteltu eri materiaaleista aiheutuvat hiilijalanjäljet. Kuvasta voidaan nähdä, kuinka laskennasta saatiin tulokseksi, että betoni aiheuttaa suurimman hiilijalanjäljen rakenneleikkauksessa.



Kuva 8. Välipohjarakenteen materiaalien hiilijalanjälki (kgCO₂/m²).

Neljäntenä tarkastellaan yläpohjarakennetta. Yläpohjarakenteen ylimpänä rakenneosana käytetään paisutettua savea. Tämä toimii suojakerroksena bitumikermikatteelle, joka eristää veden. Seuraavaksi on uritettu mineraalivilla, joka toimii laakerikerroksena.

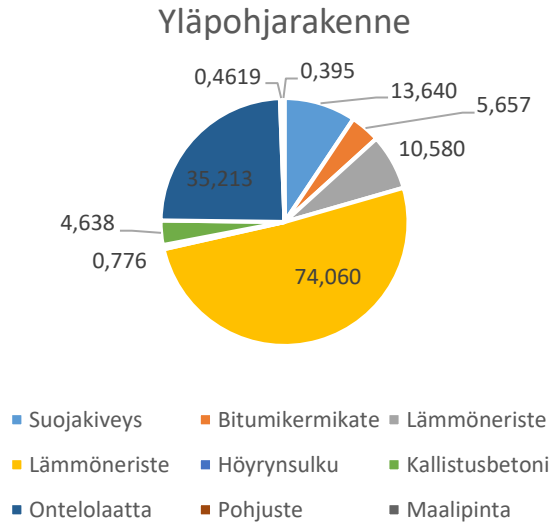
Tämän jälkeen kovaa mineraalivillaa 350 mm kerros lämmöneristeenä. Tämän jälkeen on höyrynsulku ja sen alla kallistusbetoni. Kallistuksen pitää olla vähintään 1:10. Kantavana rakenteena käytetään ontelolaattaa O27. Tämä on yleisesti käytetty asuinkerrosta-
lojen yläpohjissa. (Elementtisuunnittelu 2019a) Ontelolaatan alapinta pohjustetaan ja maalataan päälle. Tässä tapauksessa suoritetaan laskenta edelleen elinkaaren vaiheilla A1–A3.



Rakennekerrokset:	≥ 30 mm	Suojakiveys, ø 8...20 mm, vähintään 35 kg/m ²
	50 mm	Bitumikerrokate rakennesuunnitelman mukaan, käyttöluokka vähintään VE 40
	350 mm	Lämmöneriste, uritettu mineraalivilla, $\lambda_{Design} = 0,039$ W/mK, toimii laakerikerroksena
		Lämmöneriste, mineraalivilla, $\lambda_{Design} = 0,037$ W/mK
		Höyrynsulku rakennesuunnitelman mukaan, saumat höyrytiivit
	≥ 20 mm	Kallistusbetoni, kallistus vähintään 1:40, puchierto
		Kantava betonirakenne rakennesuunnitelman mukaan
		Kattopinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan, vesihöyryä läpäisevä

Kuva 9. Yläpohjarakenne. (Rakennustieto 2019b)

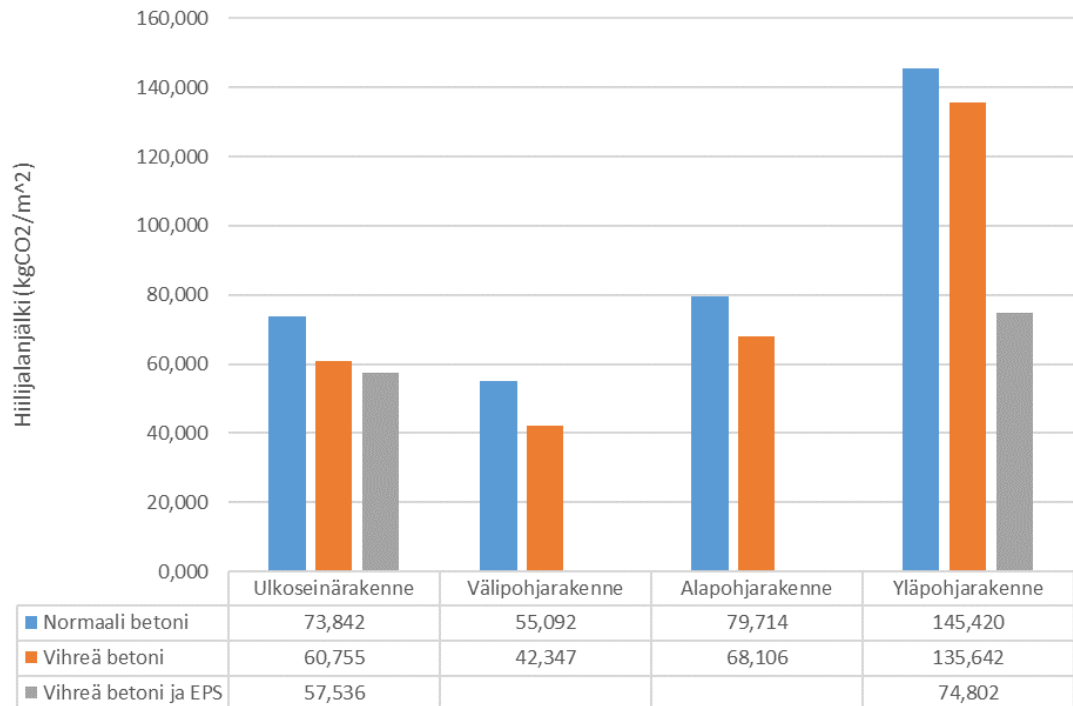
Kuvasta huomataan, että lämmöneriste suurena yläpohjassa käytettävänä rakennusmateriaalina aiheuttaa suurimman hiilijalanjäljen.



Kuva 10. Yläpohjarakenteen materiaalien hiilijalanjälki (kgCO₂/m²)

3.2 Materiaalin vaihto

Tutkitaan seuraavaksi, minkälainen vaikutus aiheutuu, kun vaihdetaan suurimman hiilipäästön aiheuttajan materiaali vastaavaan, mutta elinkaaren vaiheissa A1–A3 ympäristöystävällisempään materiaaliin. Kuten huomattiin, että osassa rakenteista betoni aiheuttaa suurimman hiilijalanjäljen, joten vaihdetaan tämä vihreään betoniin. Storstockholmin vihreästä betonista on laadittu EN 15804 mukainen ympäristöseloste, jonka tiedoilla voidaan suorittaa laskenta uudelleen rakenneosille. (EPD-Norge 2019) Betonista saadaan ympäristöystävällisempää muun muassa käyttämällä sementin valmistuksessa kalkkikiven poltossa polttoaineena fossiilisten sijaan esimerkiksi autonrengasmursketta, pakkausjätettä tai lihaluujauhoa. Myös seosaineilla voidaan lisätä betonin ympäristöystävällisyyttä. Seosaineina on yleensä muussa teollisuudessa syntyviä sivutuotteita kuten lentotuhkaa, jota syntyy, kun kivihiiltä poltetaan voimalaitoksissa, tai masuunikuonaa, jota syntyy, kun valmistetaan rautaa. (Betoniteollisuus ry 2019) Lisäksi tutkitaan, minkälainen vaikutus aiheutuu, jos vaihdetaan yläpohjarakenteeseen ja betonisandwichelementtiin mineraalivillan tilalle EPS-eriste.



Kuva 11. Hiilijalanjäljet rakenneleikkauksissa normaalilla betonilla, vihreällä betonilla ja vihreällä betonilla ja EPS-eristeellä.

Kuvasta huomataan, että vihreän betonin ja EPS-eristeen käyttö on kannattavaa ympäristön kannalta.

3.3 Tulokset

Laskennasta saadaan tulos hiilijalanjäljen suuruudesta rakennusosille bruttoneliötä kohden. Tuloksista saadaan suuntaa antava tieto, minkälainen rakennuksen kokonaishiilijalanjälki on elinkaarensa aikana. Tietoa voidaan käyttää päätöksenteossa hyväksi ja tiedon perusteella voidaan tehdä muutoksia rakennuksen hiilijalanjälkeen.

Screening LCA laskennan jälkimmäisessä vaiheessa tutkittaisiin kyseisen rakennuksen energian-, sekä vedenkäyttöä. Energiankäyttö tutkittaisiin lämmitysenergian ja sähkönkulutuksen osalta eli esimerkiksi kaukolämmöstä aiheutuva hiilijalanjälki ja käytetystä sähköstä aiheutuva hiilijalanjälki. Tässä vaiheessa muuttujana on energiantuotantovälit. Mikäli energiankäytössä käytetään esimerkiksi vihreää sähköä, on tällä huomattavat vaikutukset rakennuksen käytön hiilijalanjälkeen. Tästä syystä vertailtavuuden vuoksi energiankäyttö tulisi laskea myös sähkön ja kaukolämmön keskiarvotiedoilla. Vedenkulutus taas kohdekohtaisesti. Tuloksiksi muodostetaan tästä vaiheesta myös kgCO₂ neliometriä kohden. (REM-Pilottihanke Loppuraportti 2014)

Kuten esimerkkitarkasteluista huomataan, betoni oli suurimman hiilijalanjäljen aiheuttaja muissa paitsi yläpohjarakenteessa. Betonin suuren hiilijalanjäljen aiheuttaa sementin

valmistus. Sementin valmistus vaatii huomattavasti energiaa, koska sementtiklinkkeri valmistetaan noin 1450°C: n lämpötilassa polttamalla kalkkikiveä ja muita mineraalisia raaka-aineita. Täten polttoaineen käytöstä aiheutuu hiilipäästöjä, ja myös kalkkikivestä vapautuu poltossa huomattavasti hiilidioksidia. (Betoniteollisuus ry 2019)

Mineraalivillan hiilijalanjäljen suuruus EPS-eristeeseen verrattuna selittyy myös tuotantoprosessista. Mineraalivillan ainesosat sulatetaan uunissa noin 1400°C: n lämpötilassa, uunin lämmitykseen kuluu taas energiaa ja tämä aiheuttaa mineraalivillan suuren hiilijalanjäljen EPS-eristeeseen verrattaessa. (Eurima 2019) EPS-eriste tarvitsee huomattavasti matalamman noin 90°C: n lämpötilan tuotantoprosessissaan, tästä syystä tuotantoprosessi vaatii vähemmän energiaa kuin mineraalivillan vastaava (Expanded Polystyrene Group 2019).

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Määrittäessä hiilidioksidipäästöjä esimerkiksi rakennustuotteelle tämän tuotantovaiheessa hiilidioksidipäästöjä syntyy materiaalin jalostamisesta tuotteeksi. Jalostamisessa käytetään energiaa, mutta kaikki kulutettu energia ei välttämättä kohdistu samalle tuotteelle. Tuotteen kanssa voi samoilla linjastoilla olla samankaltainen tuote, joka kuluttaa suhteessa huomattavasti enemmän energiaa. Tällöin tuotteelle saattaa kohdistua enemmän energiankäytöstä syntyviä hiilidioksidipäästöjä kuin toiselle. Näistä syistä hiilijalanjäljen laskeminen on välillä hankalaa eikä päästöjä voida koskaan eksaktisti kohdistaa tuotteille. Tämän huomasi työtä suorittaessa, sillä joillakin materiaaleilla hiilijalanjäljen määrä muuttui tietokannassa työtä suorittaessa. Täten määrittäessä hiilijalanjälkeä rakennukselle, ei voida koskaan saada tarkkaa tulosta. Kuitenkin suuntaa antavilla tuloksilla voidaan vaikuttaa rakennuksen hiilijalanjälkeen päätöksenteon kautta. Suuntaa antavat tulokset voivat vakuuttaa päätöksentekijät valitsemaan jonkin materiaalin sijaan toisen ja tämän avulla hiilijalanjälki todennäköisesti pienenee.

Hiilijalanjäljen laskennan ohjeistus on tällä hetkellä hyvin moninaista, vaikka ohjeistukset ovatkin laadittu pääosin samojen standardien pohjalta. Tämä näkyy siinä, että osassa ohjeistuksista eräät elinkaaren vaiheet lasketaan taulukkoarvoilla ja osassa lasketaan jokainen kohta tarkasti. Joissain ohjeistuksissa jätetään osa elinkaaren vaiheista tarkoituksella pois kokonaan.

Tämän takia olisi hyvä luoda edes Euroopan alueelle yhdenmukainen laskentaohje, jolloin hiilijalanjäljen laskentatutkimukset olisivat paremmin vertailukelpoisia. Ohjeen tulisi sisältää rakennushankkeen alkuvaiheeseen soveltuva päästöjen tutkimusmenetelmä, mikä ei kuluttaisi resursseja liikaa, jolloin tutkimuksella voitaisiin vielä helposti vaikuttaa rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen.

Rakennustuotteiden hiilijalanjäljen laskenta käytännössä on taas tietokantojen avulla hieman kankeaa. Laskentaohjelmistojen osalta tietoa ei ole, näissä laskenta tulisi olla mahdollisimman läpinäkyvää, jotta tuloksia pystyisi konkreettisesti vertailemaan ja näkemään, missä kohtaa olisi hyvä vaihtaa materiaali ekologisempaan ja missä vaiheessa kannattaisi ekologisemman materiaalin sijaan keskittyä materiaalin soveltuvuuteen ympäristöönsä. Esimerkkinä Finlandia-talon julkisivumateriaali marmori. Tämä voi olla hyvinkin ekologisempi materiaali kuin joku muu, mutta kyseisen marmorin kestävyys suomalaisissa olosuhteissa on osoittautunut hyvin heikoksi, jolloin materiaalista pitkässä

juoksussa aiheutuu suurempi hiilijalanjälki, kuin vastaavasta rakennuksen elinkaaren alkuvaiheessa suuremman päästön aiheuttavasta materiaalista.

LÄHTEET

- Betoniteollisuus ry. (2019) Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 13.4.2019) <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>
- Bionova Oy. (2017) Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa [PDF]. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019). <https://www.ym.fi/download/no-name/%7B4B3172BC-4F20-43AB-AA62-A09DA890AE6D%7D/129197>
- BREEAM. (2019) Rakennuksen ympäristöluokitusjärjestelmä. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 27.3.2019) <https://www.breeam.com/>
- Ecoinvent. (2019) Ecoinvent materiaalien ympäristövaikutusten tietokanta. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <https://www.ecoinvent.org/home.html>
- EeBGuide. (2012) Ohjeistusdokumentti LCA-laskentaan rakennuksille. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 25.3.2019) https://www.eebguide.eu/?page_id=704
- Elementtisuunnittelu. (2019a) Ontelolaatat. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>
- Elementtisuunnittelu. (2019b) Alapohjat. [PDF]. Saatavissa: (Viitattu 13.5.2019) <http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/24015/Alapohjat.pdf>
- Elementtisuunnittelu (2019c) Välipohjat. [PDF]. Saatavissa: (Viitattu 13.5.2019) <http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/24018/V%c3%84LIPOHJAT.pdf>
- EN 14040 (2006) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. SFS. pp. 48.
- EN 14044 (2006) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. SFS. pp. 109
- EN 15978 (2012) Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. SFS. pp.60.
- EN 15804 (2014) Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. SFS. pp. 95
- EPD-Norge. (2019) Norjalainen rakennustuotteiden ympäristöselosteiden tietokanta. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <https://www.epd-norge.no/>
- Eurima. (2019) European Insulation Manufacture Association. Mineraalivillan tuotantoprosessi. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 16.5.2019) <https://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html>
- Expanded Polystyrene Group. (2019) Expanded Polystyrene (EPS) and the Environment. [PDF]. Saatavissa: (Viitattu 16.5.2019) http://www.eps.co.uk/pdfs/eps_and_the_environment.pdf
- Gabi-software. (2019) GaBi, rakennuksen LCA-laskuri. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <http://www.gabi-software.com/overview/product-sustainability-performance/>
- Green Building Council Finland. (2012) Elinkaaren hiilijalanjälki. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <http://figbc.fi/elinkaarimittarit/laskentaohjeet/elinkaaren-hiilijalanjalki/>

Ilmasto-opas. (2017) Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 11.5.2019) <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/60d35ca2-9874-406e-bb9f-608e5b60746d/mittaukset-kertovat-ilmaston-muuttuvan.html>

Ilmasto-opas (2019a) Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 11.5.2019) <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus.html>

Ilmasto-opas (2019b) Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 11.5.2019) <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>

Nykyri, P (2013) Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 1 by 211. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

One Click LCA. (2019) Rakennuksen LCA-laskuri. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <https://www.oneclicklca.com/>

Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. (2019) Julkaisu. Saatavissa: (Viitattu 28.12.2019) <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161761>

Rakennustieto (2019a) Ulkoseinän rakenneleikkaus. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) https://www-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/index/tuotteet/kirjastot/kirjasto/204/Kirjasto_tuotteet/5974.html

Rakennustieto (2019b) Yläpohjan rakenneleikkaus. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) https://www-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/index/tuotteet/kirjastot/kirjasto/205/Kirjasto_tuotteet/6007.html

Rakennustietosäätiö. (2019) RTS-ympäristöluokitus. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <http://glt.rts.fi/etusivu/rts-ymparistoluokitus/>

REM-Pilottihanke Loppuraportti. (2014) Rakennuksen elinkaarimittarit pilottihanke loppuraportti. [PDF]. Saatavissa: (Viitattu 2.4.2019) <figbc.fi/wp-content/uploads/2014/01/REM-pilotoinnin-loppuraportti.pdf>

Dufva, M., Laine, P., Lähdemäki-Pekkinen, J., Parkkonen, P. ja Vataja, K. (2019) Sitran selvityksia 147. Tulevaisuusbarometri 2019. Millaisena suomalaiset näkevät tulevaisuuden? Saatavissa: (Viitattu 11.5.2019) <https://www.sttinfo.fi/data/attachments/00554/c75db261-44d2-40bf-a13b-8bd62508b913.pdf>

Sjöstedt, T. (2018) Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Saatavissa: (Viitattu 11.5.2019) <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. and García-Martínez, A. (2016) Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. *Building and Environment*, 103, pp. 215–227.

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. and Garcia-Martinez, A. (2017) Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy & Buildings*, 136, pp. 110–120.

Suomen ympäristökeskus. (2013) SYNERGIA hiilijalanjälki -työkalu. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/Synergia

U.S. Green Building Council. (2019) LEED-ympäristöluokitus. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <https://new.usgbc.org/leed>

VTT. (2013) Laskuri rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen arvioimiseen. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/laskuri-rakennusmateriaalien-hiilijalanj%C3%A4ljen-arvioimiseen>

Ympäristöministeriö. (2018a) Rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmä lausuntokierrokselletavoitteena tuottaa tietoa rakennusten ilmastovaikutuksista. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) [http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ ja_ rakentaminen/Rakentamisen_ ohjaus/Vahahiillinen_ rakentaminen/Rakennusten_ hiilijalanjaljen_ arviointime\(48507\)](http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ ja_ rakentaminen/Rakentamisen_ ohjaus/Vahahiillinen_ rakentaminen/Rakennusten_ hiilijalanjaljen_ arviointime(48507))

Ympäristöministeriö. (2018b) Level(s) Rakennusten resurssitehokkuuden yhteiset EU-mittarit. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ ja_ rakentaminen/Kansainvalinen_ yhteistyö/Levels_ Rakennusten_ resurssitehokkuuden_ yhteiset_ EUmittarit

Ympäristöministeriö. (2019) Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 28.12.2019) https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ ja_ rakentaminen/Rakentamisen_ ohjaus/Vahahiillinen_ rakentaminen/Rakennuksen_ vahahiilisyden_ arviointimenetelma

Ympäristö.fi. (2013) Elinkaariarviointi, jalanjaljet ja panos-tuotosmalli. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 25.3.2019) [https://www.ymparisto.fi/FI/Kulutus_ ja_ tuotanto/Tuotesuunnitelu_ ja_ tuotteet/Elinkaariarviointi_ jalanjaljet_ ja_ panostuotosmalli/Elinkaariarviointi_ jalanjaljet_ ja_ panost\(25449\)#1](https://www.ymparisto.fi/FI/Kulutus_ ja_ tuotanto/Tuotesuunnitelu_ ja_ tuotteet/Elinkaariarviointi_ jalanjaljet_ ja_ panostuotosmalli/Elinkaariarviointi_ jalanjaljet_ ja_ panost(25449)#1)

Ökobaudat. (2019) Rakennustuotteiden ympäristöselosteiden tietokanta. Verkkosivu. Saatavissa: (Viitattu 23.3.2019) <https://www.oekobaudat.de/>