

A vertical decorative bar on the left side of the page, featuring a variety of black geometric shapes including circles, squares, rectangles, and lines of different lengths and orientations, scattered vertically.

**LAMK**

Lahden ammattikorkeakoulu  
Lahti University of Applied Sciences

# BETONITUOTTEEN ELINKAARIVARVIOINTI

Case: Puukivi, Destaclean Oy

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Ympäristö- ja energiatekniikka  
Ympäristötekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Saku Kaikkonen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Kaikkonen Saku	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 39	Valmistumisaika Kevät 2018
Työn nimi <b>Betonituotteen elinkaariarviointi</b> Case: Puukivi, Destaclean Oy		
Tutkinto Ympäristö- ja energiatekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa vertaileva elinkaariarviointi Destaclean Oy:n pihakivituotteille. Arviointi suoritettiin vertailemalla kierrätysmateriaaleja hyödyntävän Puukiven elinkaaren aikaisia päästöjä vastaavan normaalin pihakiven päästöihin. Elinkaariarviointi suoritettiin standardin ISO SFS-EN 14040 –ohjeistuksen mukaisesti, ja apuna työn tekemisessä oli GaBi LCA Software –elinkaarimallinnusohjelma. Arvioinnin on tarkoitus toimia apuna yrityksen markkinoinnissa ja tulevaisuuden tuotekehityksessä.</p> <p>Opinnäytetyössä keskityttiin elinkaariarviointia käsittelevien standardien (SFS-EN 15804 ja ISO SFS-EN 14040) vaatimuksiin, ja tiedonkeruu sekä laskenta suoritettiin niiden mukaisesti. Lähtötiedot arviointiin saatiin yrityksen omasta tuotannon seurannasta. Arviointi rajattiin käsittelemään pihakivien tuotevaihe (kehdestä tehtaan portille), sekä sen sisällä muutamia prosesseja ja materiaalivirtoja rajattiin pois standardien sen salliessa.</p> <p>Työn tuloksena syntyi asetettujen tavoitteiden mukaisesti tietoa yrityksen markkinoinnin avuksi ja suuntaviivoja tuotekehitykseen. Lisäksi työssä on pohdittu jatkotutkimusaiheita toteutetun arvioinnin osalta ja mahdollisia tuotekehityksen seuraavia askelia.</p>		
Avainsanat Elinkaariarviointi, betonituote, kierrätysmateriaali		

## Abstract

Author(s) Kaikkonen Saku	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2018
	Number of pages 39	
Title of publication <b>Life cycle assessment for concrete product</b> Case: Puukivi, Destaclean Oy		
Name of Degree Environmental and energy engineering		
Abstract <p>The goal of this Bachelor's thesis was to create comparative Life Cycle Assessment (LCA) for Destaclean Ltd.'s concrete stone product. Assessment was done by comparing emissions of Puukivi (Woodstone), which includes recycled wood, to normal concrete stones equivalent emissions. LCA was executed by the standards of ISO SFS-EN 14040 and by the help of GaBi LCA Software. Goal for the assessment was to create data for Destaclean's marketing and product development.</p> <p>Thesis's focus was in the demands of the standards (ISO SFS-EN 14040 and SFS-EN 15804) and inventory data collection and calculation was done by the standards. Initial data for the assessment was received from company's normal control. The system boundaries for the concrete stone assessment were selected to cover the product stage, called "cradle to gate". Some of the material flows and processes were not included in the LCA because the standards allowed it.</p> <p>As a result of this thesis, data for marketing and guidelines for product development were created. In addition, the thesis focused on future steps of product development and follow-up research of this assessment.</p>		
Keywords LCA, concrete product, recycled material		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	DESTACLEAN.....	2
2.1	Yritys .....	2
2.2	Puukivi.....	3
3	BETONITEOLLISUUS .....	4
3.1	Betoniteollisuuden nousu.....	4
3.2	Betoni hiilinieluna.....	5
4	ELINKAARIARVIOINTI .....	7
4.1	Yleistä .....	7
4.2	Indikaattorit elinkaariarvioinnissa .....	9
4.2.1	Hiilijalanjälki .....	9
4.2.2	Luonnonvarojen käyttö.....	10
4.3	Elinkaariarviointiin liittyvät standardit .....	11
4.4	Elinkaariarvioinnin vaiheet.....	12
4.4.1	Tavoitteiden ja sovellusalan määrittely .....	13
4.4.2	Inventaarioanalyysi.....	13
4.4.3	Vaikutusten arviointi .....	13
4.4.4	Tulkinta.....	15
4.4.5	Käyttökohteet .....	15
4.5	Tuotejärjestelmän havainnointi.....	15
4.6	Esimerkki arvioinnista .....	16
5	GABI ELINKAARIMALLINNUSOHJELMA .....	18
5.1	Yleistä .....	18
5.2	GaBi LCA Software.....	18
6	BETONITUOTTEEN ELINKAARIARVIOINTI.....	19
6.1	Tavoitteiden ja sovellusalan määrittely .....	19
6.2	Inventaarioanalyysi .....	21
6.3	Vaikutusten arviointi.....	23
7	ELINKAARIARVIOINNIN TULOKSET .....	24
7.1	Laskelmat ja vertailu.....	24
7.2	Tulkinta ja johtopäätökset.....	30

8	YHTEENVETO .....	33
9	JATKOTUTKIMUSAIHEET .....	34
	LÄHTEET .....	35
	LIITTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Ympäristötiedon lisääntyminen kuluttajilla on yhtenä tärkeänä tekijänä nostanut yritysten halua keskittyä yhä vahvemmin ympäristön ajatteluun ja sen siirtämiseen omiin tuotteisiinsa tai palveluihinsa. Jopa neljä viidestä EU:n kansalaisesta piti tuotteen ympäristövaikutuksia tärkeänä ostopäätöstä tehdessä. (Antikainen 2010, 11.)

Rakennusten elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt aiheutuvat pääasiallisesti rakennusmateriaalien valmistuksesta, kuljetuksesta, työmaa-, käyttö- ja purkuvaiheesta sekä materiaalien hyödyntämisestä. Energiatehokkuuden parantuessa ja käyttövaiheen osuuden päästöistä pienentyessä, tulee yhä tarkemmin keskittyä rakennusmateriaalien valmistusvaiheen päästöihin. (Hakaste 2017.) Betonin ollessa maailman käytetyimpiä rakennusmateriaaleja ja samalla huomattavia hiilidioksidipäästöjä aiheuttava tuote on sen valmistukseen alettu kiinnittämään huomiota, ja vaihtoehtoisia menetelmiä kehitetty päästöjen alentamiseksi. (Pulkkinen 2013; Miller, Horvath & Monteiro 2016, 1-3.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Destaclean Oy:n valmistamalle betonituotteelle elinkaariarviointi ISO SFS-EN 14040 –standardiin pohjautuen. Elinkaariarviointi suoritetaan GaBi LCA Software –elinkaarimallinnusohjelman tietokantojen ja laskennan avulla. Arvioinnissa keskitytään jätepuukuitua sisältävän Puukiven ja yrityksen valmistaman vastaavan pihakiven ympäristövaikutuksiin sekä niiden vertailuun. Vertailussa selvitetään tuotteiden suurimmat erot ja niiden vaikutukset kokonaiskuvaan. Arvioinnin keskeisenä kysymyksenä on jätepuukuidun ja sen valmistuksen vaikutus kokonaispäästöihin. Myös tuotteiden raaka-aine koostumusten erilaisuus nousee vahvasti esiin vaikutuksia tarkastellessa.

Arvioinnin osalta tarkastelu on rajattu käsittämään pihakivien tuotevaiheen eli ”kehdestä tehtaan portille”. Rajaus pitää sisällään raaka-aineen hankinnan, tuotteen valmistuksen ja kaikki prosessien väliset kuljetukset. Tarkastelussa on jouduttu rajaamaan muutamia prosesseja ja materiaalivirtoja pois. Rajauksen on katsottu olevan hyväksyttyä, koska standardin asettamissa rajoituksissa on pysytty.

Opinnäytetyön kirjalliseen osioon on selvitetty betoniteollisuuden ja elinkaariarvioinnin yleisiä teoreettisia piirteitä. Käytännön osiossa on keskitytty kuvaamaan elinkaariarvioinnin suorittamista standardin pohjalta ja esitelty ohjelman avulla saatuja tuloksia päästöjen ja kulutuksen mukaan. Lopuksi on käsitelty saatuja tuloksia ja niiden laajempaa merkitystä.

## 2 DESTACLEAN

### 2.1 Yritys

Destaclean Oy on eteläsuomalainen materiaalien kierrätysalan yritys, joka on perustettu 1998. Yrityksen tavoitteena on viedä eteenpäin materiaalien kierrätystä tekemällä kehitystyötä kierrätysmateriaalien ja –tuotteiden parissa. Yrityksen toiminta keskittyy vahvasti rakennusjätteisiin, ja se toimii koko kierrätysketjussa aina jätteen vastaanotosta kierrätysmateriaalien valmistukseen sekä uusiokäyttöön. (Destaclean Oy 2018a.)

Yrityksen pääasiallisena tuotteena on ekologiset kierrätystuotteet ympäristö- ja piharakentamiseen. Tuoteperheeseen kuuluu muun muassa pihakiviä, laattoja ja pihakalusteita sekä erilaisia elementtejä rakentamiseen. (Destaclean Oy 2018c.)

Destacleanin toimipaikat sijaitsevat Helsingissä, Tuusulassa ja Hyvinkäällä. Yrityksen liikevaihto oli noin 10 miljoonaa euroa vuonna 2017. Omaa henkilökuntaa yrityksellä on noin 20 ja urakoitsijoiden puolelta noin 30. (Destaclean Oy 2018a.) Kuvassa 1 on esitetty yrityksen toimintaketju.



Kuva 1. Tuotantoketju. (Destaclean 2018a)

## 2.2 Puukivi

Destaclean® Puukivi on innovatiivinen piha- ja ympäristörakentamiseen tarkoitettu uusiokomposiitti. Tuotteen innovatiivisuus perustuu yksinkertaisuudessaan ympäristölle raskaan kiviaineksen korvaamisen ekologisella rakennustyömaiden jätepuulla. Puhtaasta jätetuusta valmistettava jätetuukuitu korvaa jopa 50% tuotteen tilavuudesta. Kyseisten tuotteiden suurimmiksi eduiksi katsotaan niiden keveys ja ekologisuus. (Destaclean Oy 2018b.) Puukuidun lisääminen myös helpottaa huomattavasti pihakivituotteen työstämistä lisäten elastisuutta ja näin vähentää ei haluttuja lohkeamisia. (Lappi 2018.)

Puukivi-innovaatio on voittanut muutamia palkintoja, kuten Keskuskauppakamarin valtakunnallisen Tuottava Idea –kilpailun yhteiskunnallisen sarjan voitto sekä Ympäristöministeriön nimeämän Vihervuoden mitalin. (Lappi 2018.)



### 3 BETONITEOLLISUUS

#### 3.1 Betoniteollisuuden nousu

Betoni on yksi maailman käytetyimmistä materiaaleista, ainoastaan vettä käytetään maailmassa enemmän. Modernisoitumisen ja rakennusteknisten syiden takia betonin käyttö on kokenut viimeisen 50 vuoden aikana huimaa kasvua. Vuonna 2012 betonia tuotettiin yhteensä noin 10 miljardia kuutiota. Betonin valmistaminen aiheuttaa huomattavat hiilidioksidipäästöt koko elinkaarensa ajalta. Päästöt johtuvat tiettyjen prosessin vaiheiden valtavasta energiantarpeesta. Lähes yhdeksän prosenttia koko maailman hiilidioksidipäästöistä on lähtöisin betonin valmistusprosessista. (Pulkinen 2013, 12-16; Miller ym. 2016, 1.)

Väestönkasvu ja maailman talouden muuttuminen on saanut viimeisen 65 vuoden aikana aikaan muutoksen, jossa urbaanin asutuksen osuus on noussut merkittävästi. Seuraavien 35 vuoden aikana urbaanin asutuksen on ennustettu nousevan edelleen, ja jopa 66% maailman väestöstä asuu tulevaisuudessa urbaaneilla alueilla. Muutoksen myötä myös rakennusmateriaalien käyttö on kasvanut huimaa vauhtia. Kansainvälisesti materiaalien käytön kasvu ja tarve ovat muutaman seikan takana. Osalla maista on tarve uudistaa rakennuskantaa toimimattomuuden syystä ja osalla taas laajentaa sekä suurentaa sitä väestönkasvun ja urbanisoitumisen takia. Yleisimpänä ja toimivimpana rakennusmateriaalina betonin käyttö on ollut viimeisen puolivuosisadan aikana suuressa nousussa. Muun muassa betonin ominaisuuksien kehittyminen ja tietoon tulo, betonin käyttö muihinkin kuin vain rakennuksiin ja elementtitekniikan syntyminen olivat isona osana betoniteollisuuden nousua (Betoniteollisuus ry 2018a). Teräkseen verrattuna käytön kasvu on ollut kaksinkertaista ja puuhun verrattuna jopa kuusinkertaista. Betonin käyttö perustuu sen valmistuksen helppouteen ja halpaan hintaan. (Miller ym. 2016, 1.)

Betonin pääraaka-aineina ovat sementti, vesi ja eri kiviainekset. Lisäksi erilaiset lisä- ja väriaineet kuuluvat betonin valmistukseen. Betoniin käytettävä kiviaines koostuu eri raekoisista kivistä tai hiekasta. Yleisimmin käytetään raekooltaan vaihtelevaa soraa ja hienompaa luonnonhiekkaa. Betonissa käytettävä sementti koostuu pääasiassa kalkkikivestä, ja sen klinkkerimineraalit toimivat sidosaineena veden kanssa reagoidessaan. (Betoniteollisuus ry 2018b; Pulkinen 2013, 14.)

Sementti valmistetaan kalkkikivestä, joka myöhemmin valmistuksessa muuttuu klinkkeriksi, kipsistä ja erilaisista seosaineista (supplementary cementitious material, SCM). Seosaineita ovat muun muassa lentotuhka ja masuunikuona. Seosaineiden tarkoituksena on korvata osa sementistä ja siten vähentää sementin tuotannon aiheuttamia ympäristövaikutuksia ja vaikuttaa sementin ominaisuuksiin halutulla tavalla. Globaalisti sementin

massasta on 65-85 % valmistuksessa syntyvää klinkkerimineraalia, ja klinkkereiden synnyttämien päästöjen osuus on jopa 90-98% sementin tuotannon kasvihuonekaasupäästöistä. Sementin tuotannon päästöt koostuvat kahdesta osasta: pasutuksesta ja kalsiumsilikaattien muodostumisesta. Pasutuksessa kalsiumkarbonaatti ( $\text{CaCO}_3$ ) reagoi ja tuottaa kalsiumoksidia ( $\text{CaO}$ ) sekä vapauttaa hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ). Kalsiumsilikaattien muodostumiseen tarvitaan äärimmäisen korkea lämpötila, jopa 1400 °C. Korkean lämpötilan saamiseksi vaaditaan prosessiin valtavasti energiaa, mikä johtaa suuriin kasvihuonekaasupäästöihin. (Miller ym. 2016, 1-2; Finnsementti Oy 2018.)

Betonin tuotannon päästöt riippuvat tuottajan käyttämistä raaka-aineista ja menetelmistä. Esimerkiksi käytetty teknologia ja seosaineet, energialähteiden valinta sekä betonin vahvuuden vaatimukset aiheuttavat hajontaa hiilidioksidipäästöihin. Siitä huolimatta kansainvälisten keskiarvojen perusteella tuotantojen päästöt sijoittuvat 240 ja 320 kg:n välille tuotettua betonikuutiota kohden hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä tarkasteltaessa. (Miller ym. 2016, 2.)

### 3.2 Betoni hiilinieluna

Betoniteollisuuden aiheuttamien suurien päästöjen takia on kehitetty lukuisia menetelmiä päästöjen hillitsemiseksi (Miller ym. 2016, 2). Päästöjen hillinnässä betoniteollisuus on näyttänyt esimerkkiä muulle teollisuudelle. Annetut tavoitteet päästöjen suhteen ovat alituneet helposti ja etuajassa, kun muulla teollisuudella tekee tiukkaa päästä tavoitteisiin. Esimerkiksi kotimaisen Finnsementin hiilidioksidipäästöt alenivat yli 26 prosenttia sideainetonna kohden vuodesta 1990 vuoteen 2012 mennessä. (Pulkkinen 2013, 16.)

Käytetyimpien menetelmien joukosta löytyy muun muassa sementin raaka-aineiden korvaus ympäristöystävällisemmällä, valmistuksen energialähteiden valinta, valmistusuunien tehokkuuden parantaminen sekä energian käyttö ja hiilinielujen ja -varastojen kehittäminen. Menetelmien käyttö riippuu paikallisista olosuhteista. Toisinaan on tehtävä investointeja, polttoaineiden on muiden toimijoiden osalta kehityttävä, ja toisinaan on kyse sideainneiden saatavuudesta sekä valmistajan osakkeenomistajien päätännästä. (Miller ym. 2016, 2-3.)

Betonin valmistuksen aiheuttamat suuret hiilidioksidipäästöt ovat vieneet kokonaan huomion pois siitä faktasta, että betonirakenteet toimivat huomattavana hiilinieluna elinkaarensa aikana. Valmistuksen aikana syntyvistä hiilidioksidipäästöistä suurin osa kompensoituu betonin käyttö- ja kierrätysvaiheen aikana. Kompensoituminen johtuu karbonatisoitumisesta, jossa valmistuksessa syntynyt hiilidioksidi sitoutuu takaisin betonirakenteeseen

sementin reagoidessa ilman hiilidioksidin kanssa. Karbonatisoituminen on hyvin hidas prosessi, joka tapahtuukin vasta betonirakenteen elinkaaren loppupuolella ja erityisesti kierrätysvaiheen aikana. (Xi, Davis, Ciais, Crawford-Brown, Guan, Pade, Shi, Syddall, Lv, Ji, Bing, Wang, Wei, Yang, Lagerblad, Galan, Andrade, Zhang & Liu 2016, 880.)

## 4 ELINKAARIARVIOINTI

### 4.1 Yleistä

Elinkaariarviointi, eli Life Cycle Assessment (LCA), on tuotteiden tai palveluiden ympäristövaikutusten arviointia varten kehitetty menetelmä. Nimensä mukaisesti menetelmällä on tarkoitus pureutua koko elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin, aina materiaalien hankinnasta, valmistetun tuotteen hylkäämiseen tai uudelleenhyödyntämiseen asti. Elinkaariarvioinnin perimmäisenä lähtökohtana on havaita suurimmat parannuskohteet sekä arvioida prosessissa tapahtuvan muutoksen vaikutuksia. (Nissinen 2013; Antikainen 2010, 11.)

*Elinkaariarviointi käsittelee tuotteen ympäristönäkökohtia ja potentiaalisia ympäristövaikutuksia (esimerkiksi luonnonvarojen käyttöä ja päästöjen vaikutuksia ympäristössä) koko sen elinkaaren ajanraaka-aineen hankinnasta tuotantoon, käyttöön, käytöstä poistoon, kierrätykseen ja jätteiden loppusijoitukseen (niin sanottuun kehdosta hautaan). (SFS-EN ISO 14040 2006, 8.)*

Elinkaariarvioinnin avulla siis seurataan materiaalien hankinnasta, tuotteen valmistuksesta, sen käytöstä ja loppusijoituksesta tai kierrätyksestä aiheutuvia päästöjä ympäristöön ja luonnonvarojen käyttöä (Simonen 2014, 2-3). Koko elinkaaran kattavaa arviointia kutsutaan niin sanotuksi ”kehdosta hautaan” –rajaukseksi. On mahdollista myös rajata tarkastelu vain raaka-aineen hankintaan ja tuotteen valmistukseen, jota kutsutaan esimerkiksi nimellä ”kehdosta tehtaan portille”. (SFS-EN 15804 2012, 22.) Kaikista laajimpana tarkastelualueena on ”kehdosta kehtoon”, jossa otetaan huomioon uudelleenkäyttöön siirtyvän materiaalin synnyttämä uusi elinkaari (Simonen 2014, 2). Kuvioon 1 on havainnollistettu elinkaari ja sen aikaiset vaikutukset.



Kuvio 1. Elinkaaren aikaiset päästöt ja materiaalien hankinta. (Simonen 2014, 3)

Elinkaariarviointi pitää sisällään neljä eri vaihetta:

- tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe
- inventaarioanalyysivaihe
- vaikutusarviointivaihe
- tutkintavaihe. (SFS-EN ISO 14040 2006, 8,)

Elinkaariarvioinnin vaiheet on esitelty tarkemmin luvussa 4.4.

Elinkaariarviointiin kuuluvat myös vahvasti erilaiset havainnollistavat ympäristöjalanjäljet ja mittarit eli indikaattorit, joiden avulla saadaan yksityiskohtaisempaa tietoa ympäristövaikutuksista. Esimerkkejä kyseisistä indikaattoreista ovat muun muassa ekologinen jalanjälki, hiilijalanjälki, panos-tuotosmalli sekä ympäristöriskianalyysit (RA). Näitä mittareita voidaan käyttää sellaisenaan tai varioiden käyttää vielä yksityiskohtaisempaa tarkastelua tiettyä

päästöä tai prosessin osaa kohden. Esimerkkinä hiilijalanjäljen sijasta käytetään usein ilmastonlämpenemispotentiaalia (Global Warming Potential), kuten tässä työssä tehdään. (Nissinen 2013.) Indikaattoreita on käsitelty luvussa 4.2.

Elinkaariarvioinnissa käsitellään vain potentiaalisia vaikutuksia ympäristöön. Arviointi ei ota kantaa todellisten tai ennustettujen ympäristövaikutusten toteutumisesta muutamana epävarmuustekijän takia. Epävarmuus johtuu ympäristötietojen yhdistelemisestä, ympäristövaikutusten luontaisista epävarmuuksista, vaikutusten ilmaisusta vertailuyksikön suhteen ja osan ympäristövaikutuksista keskittymisestä vain tulevaisuuden vaikutuksiin. (ISO SFS-EN 14040 2006, 26.)

Kriittinen ja harkitsevainen ajattelu koskien elinkaariarvioinnin vahvuuksia ja heikkouksia on tärkeää, kun siirrytään tulosten tarkastelua kohden (Simonen 2014, 34). Jotta elinkaariarvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää, on kiinnitettävä tarkkaa huomiota mahdollisiin epävarmuuksiin ja tulosten tarkkuuteen. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon käytetyn tiedon, valittujen prosessien ja muiden muuttujien sopivuutta tehtävään arviointiin. Esimerkiksi ohjelmistoja käytettäessä tiedot ovat usein keskiarvollisia, eivätkä suoraan verrannollisia tietyn prosessin todellisiin arvoihin. (Guinée 2002, 105-106.)

## 4.2 Indikaattorit elinkaariarvioinnissa

Elinkaariarvioinnin keskeisimpiä tehtäviä on mallintaa arvioinnin kohteen ympäristövaikutuksia. Sitä varten on määritelty joukko kategorioita ja indikaattoreita, joilla tulokset saadaan tilastolliseen muotoon. (Guinée 2002, 68.)

Seuraavaksi on esitelty muutama tämän työn kannalta merkittäviä indikaattoreita. Indikaattorit valikoituivat työhön arvioinnin myöhemmissä vaiheissa.

### 4.2.1 Hiilijalanjälki

Yksi tunnetuimmista ilmastomuutosta kuvaavista mittareista on nimeltään hiilijalanjälki. Usein termistä käytetään myös muita nimityksiä, kuten kasvihuonekaasupäästöt, ilmastovaikutukset tai ilmastomuutosvaikutukset. Sanatarkkaan termi ”jalanjälki” kuvaa maapinta-alaa, mutta tässä tarkoituksessa, sillä ilmaistaan hiilidioksidipäästöihin perustuvaa vaikutuspotentiaalia. (Nissinen & Seppälä 2008, 14.)

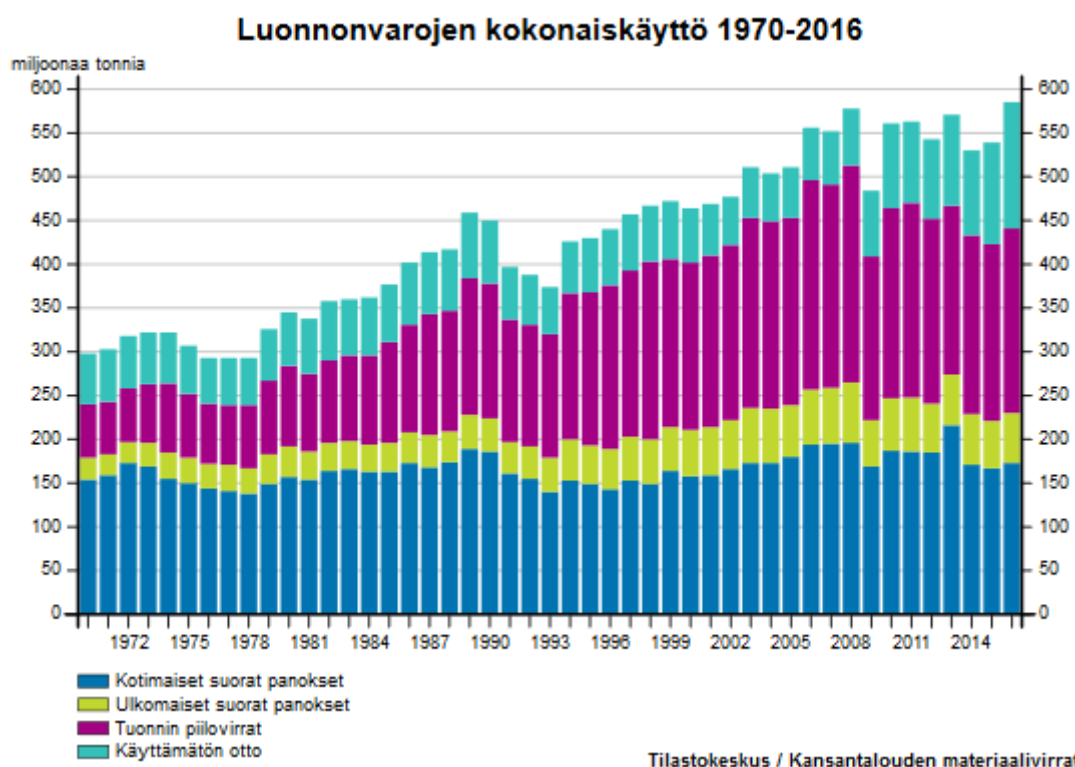
Perusajatuksen mukaan hiilijalanjäljellä kuvataan ihmisten kulutukseen ja tuotantoon liittyvien ilmastomuutokseen vaikuttavien kaasujen tai päästöjen hiilidioksidiekvivalentteja määriä koko elinkaarensa ajalta (Wiedmann & Minx 2008, 2). Tarkasteltavan toiminnon tai

kokonaisuuden päästöistä käytetään yhteistä yksikköä, kilogrammaa hiilidioksidiekvivalentteja (kg CO<sub>2</sub>-eq). Ekvivalenttimäärä saadaan, kun aiheutetut kasvihuonekaasupäästöt lasketaan yhteen hiilidioksidiekvivalentteina. Eri kasvihuonekaasujen päästöt saadaan ekvivalenteiksi kertomalla ne niin sanotulla GWP-kertoimella. Kerroin ilmaisee tietyn kasvihuonekaasun suhteellisen vaikutuksen ilmastonmuutokseen, ja peruskertoimena siinä on hiilidioksidin 1,0. Merkittävimpiä kasvihuonekaasuja ilmastonmuutoksen ja hiilijalanjäljen kannalta ovat muun muassa hiilidioksidi CO<sub>2</sub>, metaani CH<sub>4</sub>, typpioksiduuli N<sub>2</sub>O ja eri halogeenit. (Nissinen ym. 2008, 14) Esimerkkeinä GWP-kertoimista on metaanin 21 ja typpioksiduulin 310 (Guinée 2002, 185).

#### 4.2.2 Luonnonvarojen käyttö

Elinkaariarvioinnissa luonnonvarojen käytössä keskitytään raaka-aineiden hankintaan ja prosessien kuluttamiin varoihin eli perusvirtojen sisältämään käyttöön (ISO SFS-EN 14040 2006, 8). Elinkaariarviointi antaa parhaassa tapauksessa kattavia näkökulmia luonnonvarakysymyksiin, ja suoraa dataa kulutetuista kilomääristä (ISO SFS-EN 14040 2006, 26). Tässä työssä on keskitytty uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön.

Olennaisena osana luonnonvarojen vähentämistä on ekotehokkuuden lisääminen ja tuotteiden sekä palveluiden valmistaminen vähemmällä määrällä käytettyjä luonnonvaroja ja syntyviä päästöjä (Suomen Ympäristökeskus 2014). Luonnonvaroihin ollaan alettu keskittymään entistä enemmän, josta osoituksena jo syksyllä 2007 käynnistetty kansainvälinen luonnonvarapaneeli (Rannikko & Määttä 2010, 7). Luonnonvarojen ehtymiseen ollaan siis herätty reilusti yli vuosikymmen sitten, mutta jatkuva maailmantalouden kasvu, ja etenkin suurimpien talousvaltioiden (Kiina ja Yhdysvallat) kilpailu uusiutumattomien luonnonvarojen kustannuksella ajaa tilannetta yhä huonompaan suuntaan (Donner-Amnell, Miina, Pykäläinen & Tuuva-Hongisto 2011, 88; Rannikko ym. 2010, 7-8). Suomi on näyttänyt muulle maailmalle esimerkkiä luonnonvarojen käytössä, sillä sen bruttokansantuote on kasvanut suhteellisesti enemmän kuin energiankäyttö ja materiaalin tuottavuus (Suomen ympäristökeskus 2014; Tilastokeskus 2017). Monien uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyessä, paine kasvaa entisestään etsittäessä vaihtoehtoisia ratkaisuja uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämiseksi raaka-aineina tai energiana. (Donner-Amnell ym. 2011, 12.) Kuviossa 2 on esitetty Suomen kasvavaa luonnonvarojen käyttöä.



Kuvio 2. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa vuosina 1970-2016. (Tilastokeskus 2017)

#### 4.3 Elinkaariarviointiin liittyvät standardit

*ISO (the International Organization for Standardization) on maailmanlaajuinen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liitto. (SFS-EN ISO 14040 2006.)*

ISO on maailman suurin standardisointi organisaatio, joka sisältää 161 kansallista jäsenjärjestöä. Jokainen järjestö edustaa oman maansa ISO-systeemiä, ja maittain voi olla vain yksi järjestö. Kyseiset standardit käsittelevät uusimpia ohjeistuksia teollisuudelle sisältäen palvelut, tuotteet ja järjestelmät. Standardit pyrkivät takaamaan laadun, turvallisuuden ja tehokkuuden kaikessa teollisuudessa. (International Organization for Standardization 2018.)

Ympäristöasioihin keskittyvät ISO 14000 –sarjan standardit pitävät sisällään ympäristöjärjestelmiä, niiden auditointia ja tarkastuksia, ympäristönsuojelua, ympäristömerkintöjä, hiili- ja vesijalanjäljet, sekä muita ympäristönäkökulmia. Sarjan standardeja voidaan soveltaa hyvin laajalla säteellä, koosta tai toimialasta riippumatta. Standardeja hyödyntämällä voi-

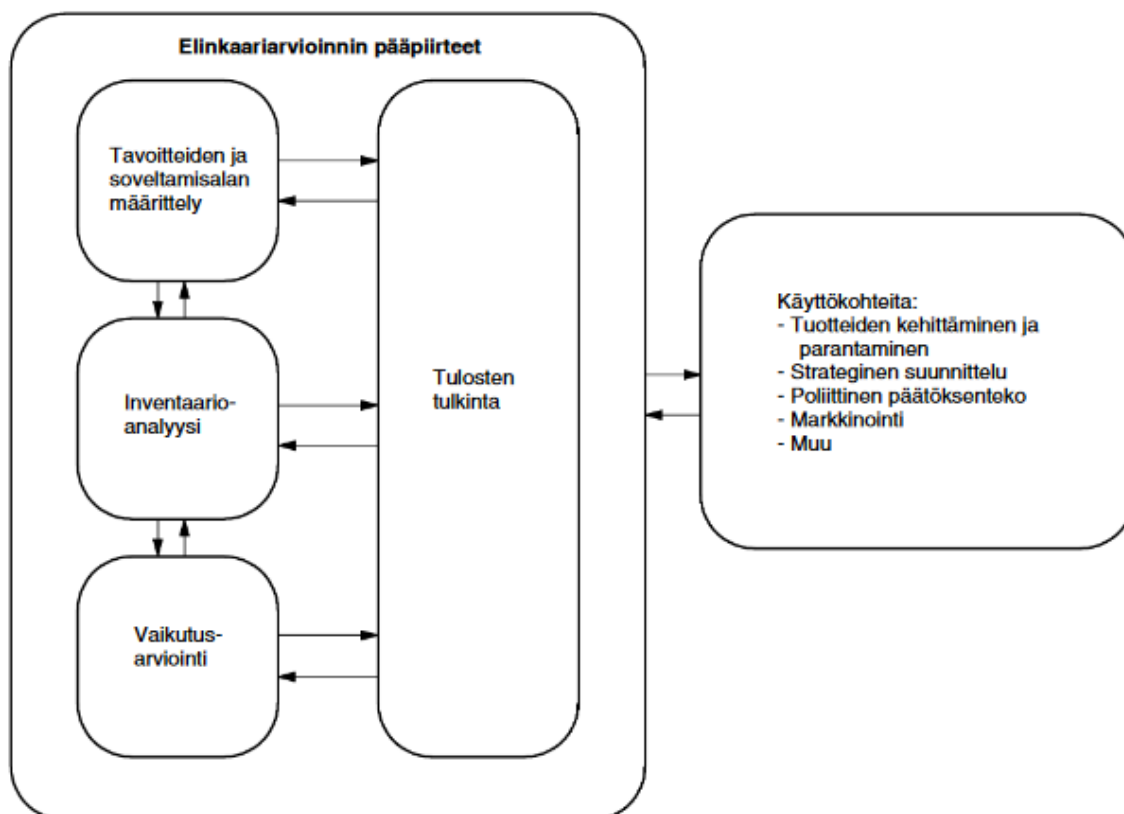


daan saada huomattavia taloudellisia ja ympäristöllisiä etuja. Yhtenäistämällä ympäristöasioiden käsittelyä standardeilla, saadaan koko toiminta-alan työskentelystä sujuvampaa ja tasapuolisempaa. (Suomen Standardoimisliitto 2018.)

Elinkaariarvioinnin kannalta merkittävin standardi on SFS-EN ISO 14040, joka esittelee elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet. Samaan sarjaan kuuluu myös SFS-EN ISO 14044, joka käsittelee elinkaariarvioinnin tekemisen vaatimuksia. Rakennuksien ja rakennusmateriaalien kestävä käyttö käsittelee standardi SFS-EN 15804.

#### 4.4 Elinkaariarvioinnin vaiheet

ISO SFS-EN 14040 standardi ohjaa yleisesti elinkaariarvioinnin raameja. Elinkaariarvioinnin tuleekin standardin mukaan sisältää kuvioon 3 havainnollistetut vaiheet. Parhaassa tapauksessa kukin vaihe on kaksisuuntainen prosessi, jolloin on mahdollisuus tarkastella aiempien vaiheiden perustietoja riippumatta arvioinnin etenemisestä. (Antikainen 2010, 16.) Yksittäisten vaiheiden on tarkoitus hyödyntää muiden vaiheiden tuloksia, ja tästä on erityisesti hyötyä soveltamisalaa tarkasteltaessa (ISO SFS-EN 14040 2006, 22).



Kuvio 3. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet. (SFS-EN ISO 14040 2006, 24)

#### 4.4.1 Tavoitteiden ja sovellusalan määrittely

Ensimmäisessä vaiheessa, jossa tavoitteet ja sovellusala määritellään, pyritään työlle antamaan rajat, joiden sisällä arviointi tehdään sekä määrittämään yksityiskohtaiset seikat työhön liittyen. Työn tavoitteissa tulee kuvailla arvioinnin käyttötarkoitus, syyt tekemiselle, tuloksien viestinnän kohde ja arvioinnin tuloksien julkisuus. Soveltamisalan määrittelyssä keskitytään selvittämään tuotejärjestelmä ja sen toiminnot, sekä lisäksi toiminnallinen yksikkö, järjestelmän rajat, vaikutusluokka ja sen menetelmät, vaatimukset, olettamukset, rajoitukset ja muut elinkaariarviointiin vaikuttavat tekijät. (SFS-EN ISO 14040 2006, 30.)

Toiminnallisella yksiköllä on iso roolin koko arvioinnin kannalta. Koko työn vertailuyksikkönä se on järjestelmän tuotosten suorituskyvyn mittayksikkö. Toiminnallinen yksikkö voi olla esimerkiksi 1 kg jotain tuotetta, 1 toiminto tai tämän työn yksikkönä oleva 1 m<sup>2</sup> tuotetta. (Antikainen 2010, 34.)

#### 4.4.2 Inventaarioanalyysi

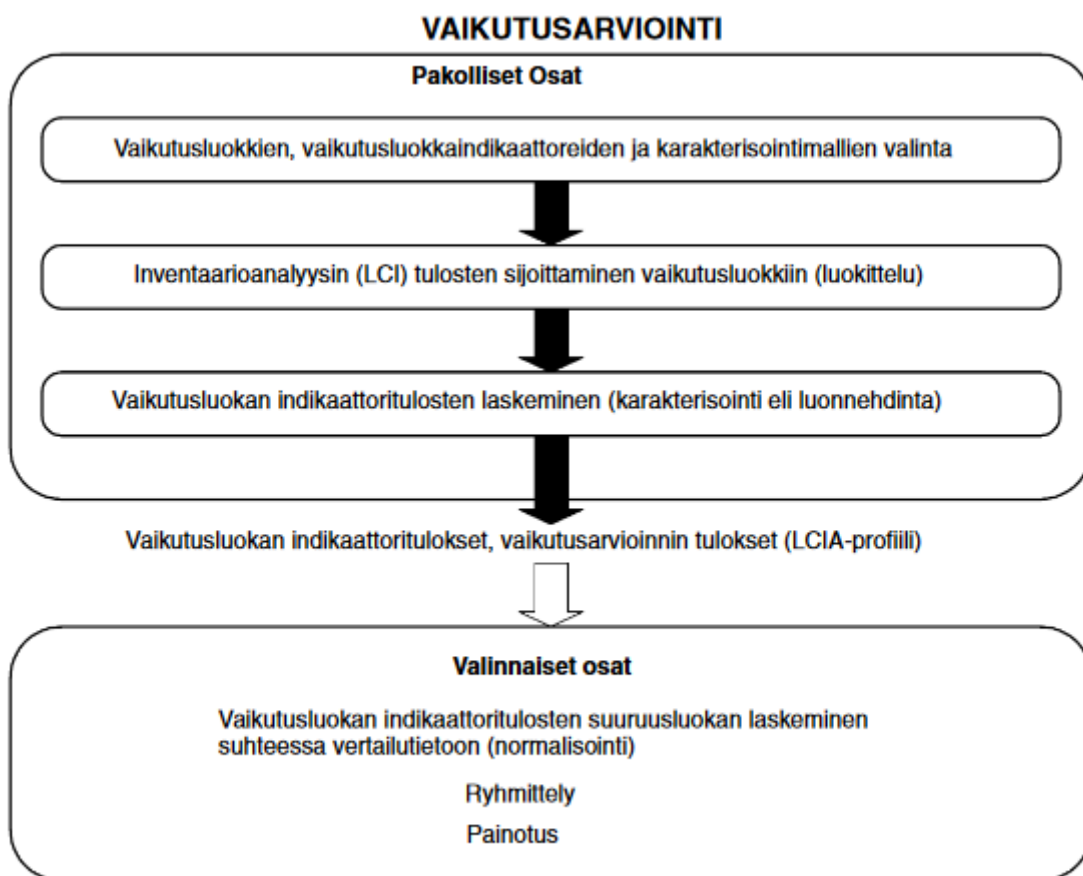
Inventaarioanalyysissä keskitytään tuotejärjestelmästä saataviin tietoihin. Tiedon kerääminen ja laskennan menettelytapojen määrittäminen ovat analyysin pääasiallinen tehtävä. Tuotejärjestelmän rajauksen mukaisesta tarkastelualueesta ja sen yksikköprosesseista kerätään tuote-, materiaali- ja energiavirtojen määriä (SFS-EN 15408 2012, 44). Tietojen kerääminen on usein hyvin työlästä, sillä ne eivät ole helposti saatavilla ja näin ollen tiedonkeruu vaatii huomattavasti resursseja. Tiedonkeruun helpottamiseksi on laadittu useita erilaisia elinkaariarvioinnin tietokantoja ja ohjelmia. (SFS-EN ISO 14040 2006, 34; Antikainen 2010, 21.) Tämänkaltaisia ohjelmia, ja tässä työssä käytettyä ohjelmaa on käsitelty luvussa 5.

Tuote-, materiaali- ja energiavirtojen puuttuessa tai niiden tietojen ollessa puutteellisia, voidaan rajauskriteerien mukaisesti jättää arvioinnista pois ehtojen täyttäviä virtoja. Rajauskriteerit ovat energiavirroille 1 % primäärienergian käytöstä sekä tuote- ja materiaalivirroille 1 % yksikköprosessin kokonaismassasta. Kokonaismäärä rajattavissa tuote-, materiaali- ja energiavirroissa on enintään 5 % yksittäisessä informaatiomodulissa. (SFS-EN 15804 2012, 44.)

#### 4.4.3 Vaikutusten arviointi

Elinkaariselvityksen kolmannessa vaiheessa syvennyttään mahdollisiin ympäristövaikutuksiin, ja niiden merkittävyyteen inventaarioanalyysin tulosten perusteella. Tässä prosessin

vaiheessa inventaariotiedot liitetään valittuihin ympäristövaikutuskategorioihin ja vaikutusindikaattoreihin, ja näin pyritään käsittämään aiheutettuja ympäristövaikutuksia. Arvioinnin perusteella on mahdollista tarkastella asetettujen tavoitteiden ja soveltamisalan soveltuvuutta. Näin ollen on mahdollista muuttaa soveltamisalaa ja tavoitteita oikeaan suuntaan. (SFS-EN ISO 14040 2006, 34-36.) Vaikutusarvioinnin osia on kuvattu tarkemmin kuviossa 4.



Kuvio 4. Vaikutusarvioinnin osat. (SFS-EN ISO 14040 2006, 36)

#### 4.4.4 Tulkinta

Elinkaariarvioinnin viimeisessä vaiheessa keskitytään tulosten tulkitsemiseen ja analysointiin. Vaiheen tarkoituksena on tuottaa tuloksia, jotka vastaavat tavoitteita ja soveltamisalaa, ja näin voidaan tehdä tarvittavat johtopäätökset. Tulosten tulkinta toimii perusteena erilaisille lainmukaisille rajoituksille ja suosituksille. Tulkinnassa on tarkoituksena myös esittää tulokset yksinkertaisessa, mutta asianmukaisessa ja helposti ymmärrettävässä muodossa. (SFS-EN ISO 14040 2006, 38.) Tulkintavaiheeseen kuuluu tarkkuus- ja epävarmuusanalyysin suorittaminen. Analyysien mukaan tulee huomioida täydellisyys, herkkyys ja johdonmukaisuus tulkinnassa ja käytetyissä menetelmissä. (Antikainen 2010, 38.)

#### 4.4.5 Käyttökohteet

Käyttökohteiden kirjo on laaja, kun puhutaan elinkaariarvioinnin mahdollisista eduista. Kuten kuviossa 3 on esitetty, niin suurimpina hyötyinä arvioinnilla saadaan apua tuotesuunnitteluun ja –kehitykseen, markkinointiin, poliittiseen päätöksentekoon tai strategiseen suunnitteluun.

Esimerkkinä rakennusalalle tarkoitettu ympäristöseloste EPD (Environmental Product Declaration), joka on elinkaariarviointiin perustuva tapa esittää tuotteen ympäristövaikutukset. Seloste voidaan tehdä yrityksen omaan käyttöön, muita yrityksiä varten tai suoraan kuluttajan tietoisuuteen. (Rakennustietosäätiö 2018.)

### 4.5 Tuotejärjestelmän havainnointi

Tuotejärjestelmän rajausta tehdään informaatiomoduliryhmien avulla ja se on mahdollista tehdä neljän eri ryhmän mukaan. Moduulit sekä ryhmät liittyvät tuotteille ja rakennuksille saatavaan ympäristöselosteeseen, jota käsittelee standardi SFS-EN 15804. Ryhmät on nimetty niiden sisältämien moduulien mukaan: kehdestä hautaan (cradle to grave), kehdestä tehtaan portille (cradle to gate), kehdestä tehtaan portille optioin (cradle to gate with options) ja kehdestä kehtoon (cradle to cradle). (SFS-EN 15804 2012 22; Simonen 2014, 2.)

Informaatiomoduulit koostuvat seuraavista kuudesta vaiheesta:

- A1...A3. Tuotevaihe, sisältää raaka-aineiden hankinnan, kuljetuksen valmistukseen ja valmistuksen.
- A4...A5. Rakentamisvaihe, sisältää kuljetuksen työmaalle ja työmaatoiminnot.

- B1...B5. Käyttövaihe, sisältää käytön, kunnossapidon, korjauksen, osien vaihdon ja laajamittaiset korjaukset.
- B6...B7. Käyttövaihe (toiminta), sisältää energian ja vedenkäytön.
- C1...C4. Purkuvaihe, sisältää purkamisen, kuljetukset, purkujätteen asianmukainen käsittely ja loppusijoitus.
- D. Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, sisältää mahdolliset positiiviset vaikutukset uudelleenkäytöstä, hyödyntämisestä ja kierrätyksestä. (SFS-EN 15804 2012, 28-30.)

Kehdosta hautaan –alue sisältää koko elinkaaren aikaiset vaikutukset, alkaen raaka-aineiden hankinnasta ja loppuen tuotteen kierrättämiseen tai poistamiseen käytöstä. Moduuleista tarkastellaan vaiheita A1...C4, ja lisäksi tarpeen vaatiessa moduulia D. Tarkasteltaessa moduulia D voidaan huomata kierrätyksen ja uudelleenkäytön luovan uuden elinkaaren jollekin toiselle tuotteelle. Uudelleenkäytön jälkeen materiaalista syntyy toisen tuotteen materiaalia. Tätä tarkastelualueita, jossa otetaan huomioon uudelleen käytetyn materiaalin synnyttämän uuden tuotteen elinkaari, kutsutaan nimellä ”kehdestä kehtoon”. (SFS-EN 15804, 22; Simonen 2014, 2.)

Kehdestä tehtaan portille –alue sisältää ainoastaan informaatiomodulien ensimmäisen vaiheen eli tuotevaiheen (A1...A3). Vaiheessa siis keskitytään raaka-aineen hankintaan, kuljetukseen tehtaalle ja tuotteen valmistukseen. Tarkastelu päättyy tuotteen valmistuksen jälkeen tehtaan porteille tai jälleenmyyjälle toimitukseen. (SFS-EN 15804 2012, 22; Simonen 2014, 2.)

Kehdestä tehtaan portille optioin –alue sisältää tuotevaiheen sekä valikoituja myöhempiä moduulin vaiheita. Valmistusvaiheen ulkopuoliset valitut moduulit ovat tuotteelle tarkoin valittuja, jotka ovat relevantteja elinkaariarvioinnin tekemiselle. (SFS-EN 15804 2012, 22.)

#### 4.6 Esimerkki arvioinnista

Ympäristöministeriön teettämässä elinkaariarvioinnissa tarkasteltiin puujätteiden ja puupakkausjätteiden vaihtoehtoisten käyttömuotojen ympäristövaikutuksia. Arviointi tehtiin yleisellä tasolla antamaan neuvoa yrityksille jotka toimivat alalla, eikä suoraan tietyn yrityksen hyödynnettäväksi. Sen taustalla on vahvasti EU:n asettama jätedirektiivi, jonka mukaan vuoteen 2020 mennessä rakennus- ja purkujätteestä tulisi kierrättää tai käyttää hyödyksi 70 %. Tarkasteluun on otettu mukaan kolme erilaista käsittelyvaihtoehtoa: puukomposiitin valmistus jätteestä, puujätteen käyttäminen lastulevyn valmistuksessa ja puun hyödyntäminen energiana. Tarkastelu tapahtuu vertailemalla puujätteen oletetun käytön

eli energiana hyödyntämisen ja uusiotuotteiden välillä. Saaduissa tuloksissa keskitytään vaihtoehtojen ilmastovaikutuksiin, happamoittaviin ja rehevöittäviin päästöihin. (Manninen, Judl & Myllymaa 2015, 7-23.)

## 5 GABI ELINKAARIMALLINNUSOHJELMA

### 5.1 Yleistä

Elinkaariarvioinnin tueksi on kehitetty lukuisia LCA-ohjelmistoja (Life Cycle Assessment), kaavioiden piirtämisestä aina laskennan avuksi. Euroopan komission mukaan tämänkaltaisia ohjelmistoja on tarjolla yli 40 kappaletta, joista esimerkkeinä SimaPro ja GaBi LCA Software. (Antikainen 2010, 22.)

Ohjelmat sisältävät tietokantoja, joista inventaarioanalyysin tueksi voidaan kerätä yksityiskohtaista tietoa prosessin tai tuotteen raaka-aineen vaikuttavista ominaisuuksista. On myös mahdollista käyttäjän itse lisätä edellä mainittuja tietoja ja luoda prosesseja. (Antikainen 2010, 22.)

### 5.2 GaBi LCA Software

GaBi LCA Software on yksi maailman johtavista elinkaariarviointiohjelmista yli 10000 käyttäjällään. Ohjelman takana on saksalainen yritys nimeltään thinkstep. GaBi LCA Software tarjoaa työkaluja, tietokantoja ja laskelmia käyttäjälleen. Käyttömahdollisuudet edellä mainittujen ominaisuuksien avulla ovat lähes loputtomat. Ohjelman avulla pystytään suunnittelemaan tuotteita pienillä ympäristövaikutuksilla, parantamaan tehokkuutta sekä muodostamaan erilaisia ympäristön kannata tärkeitä jalanjälkiä. (thinkstep 2017.)

Ohjelman tarjoa työkaluja, joiden avulla voidaan analysoida ja vertailla halutun tuotteen tai prosessin koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Se vastaa ISO 14040-standardin vaatimuksia, ja se on yritykselle suureksi avuksi niin markkinoinnissa kuin tulevaisuuden hankkeissa ja kehityksessä. (Perälä 2012, 32.)

Ohjelma pitää sisällään muutamia eri tietokantoja, joista lyhyesti otetaan esittelyyn ILCD ja CML. ILCD eli International Life Cycle Data System on Euroopan komission alaisen Joint Research Centerin (JRC) kehittämä elinkaariarviointien ohjaustyökalu. ILCD pitää sisällään elinkaariarviointien yleistä ohjausta, mutta sen tärkeimpänä tehtävänä tarjota laaja valikoima tietoa elinkaariarviointiin prosessien ja tuotteiden päästöistä, ja niiden materiaaleista. ILCD:n suurimpana tavoitteena on tuottaa johdonmukaista ja hyvälaatuista inventaariotietoa elinkaariarviointiin. (Joint Research Centre 2018.) CML on perustettu vuonna 1993 ja se on Leidenin yliopiston ylläpitämä tietokanta. Sitä pidetäänkin läpimurtona vaikutusarvioinnin kehittymiselle. Se pitää sisällään karakterisointikertoimia ja –menetelmiä elinkaariarvioinnin tueksi. (Antikainen 2010, 28; Universiteit Leiden 2016.)

## 6 BETONITUOTTEEN ELINKAARIARVIOINTI

### 6.1 Tavoitteiden ja sovellusalan määrittely

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Destaclean Oy:n piharakennustuotteelle ja innovatiiviselle menetelmälle elinkaariarviointi. Suurimpana tavoitteena työssä on selvittää miten rakennustyömailta syntyvän jätteen lisääminen pihakivituotteeseen muuttaa sen ympäristövaikutuksia. Elinkaariarvioinnin tekemisellä on tarkoitus tuottaa materiaalia tuotteen markkinoinnin hyväksi, ja auttaa tuotekehityksen parissa. Tulokset itsessään ovat tarkoitettu suunnattavaksi kuluttajille ja mahdollisille asiakkaille markkinoinnin osalta erilaisten vertailujen avulla.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Destaclean Oy:n Hyvinkään ja Tuusulan tehtailla valmistettavaa piharakentamiseen tarkoitettua Puukiveä. Puukivi on havainnollistettu kuvassa 2. Yrityksen Puukivestä valmistetuista tuotteista tarkasteluun valikoitui heidän valmistetuin ja myydyin tuote eli Sauvakivi. Elinkaariarviointi tapahtuu vertailuna, jossa Puukiven valmistuksen päästöjä vertaillaan normaalin betonista valmistetun samanlaisen pihakiven vastaaviin valmistuksen päästöihin. Normaalina kiven tietoina käytetään yrityksen viimeksi vuonna 2015 valmistettua erää kivistä, joka ei sisällä jätettä.

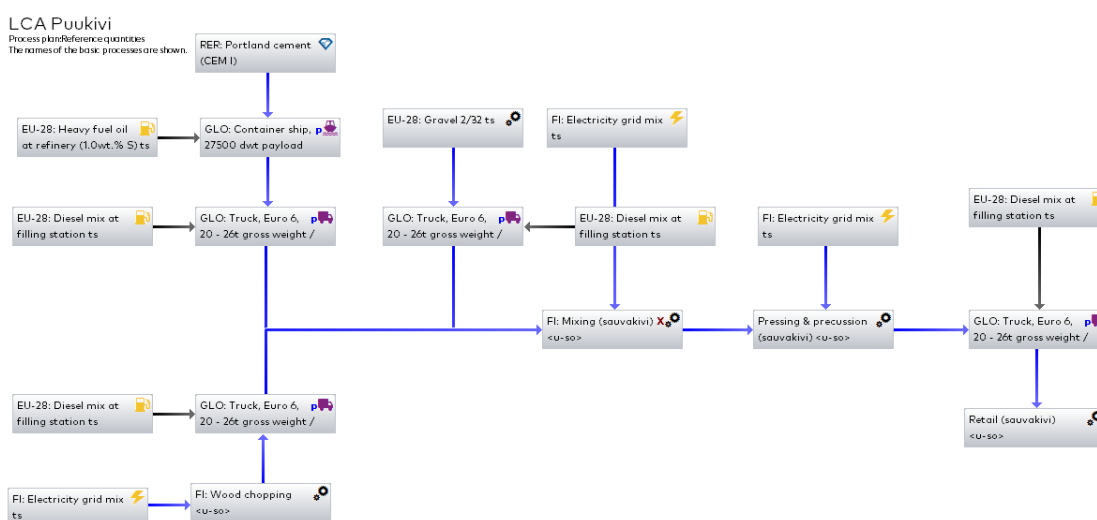


Kuva 2. Puukivi. (Destaclean 2018d)



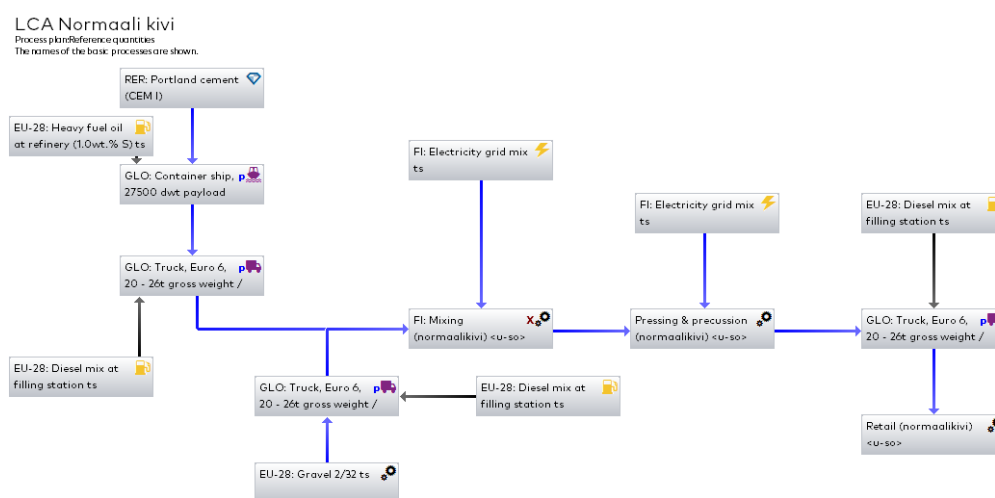
Elinkaariarviointi suoritetaan GaBi LCA Software –elinkaarimallinnusohjelmalla, ja sen tietokantoja sekä laskentaa hyödyntäen. Lisenssi ohjelman käyttöön saatiin Lahden Ammatikorkeakoulun puolesta ja sen suhteen investointeja ei arvioinnin tekemiseksi tarvittu tehdä. Ohjelman avulla saatiin ajankohtaisinta tietoa inventaariotietoihin ja sen tuote-, materiaali- ja energiavirtoihin sekä laskenta suoritettiin sen avulla.

Toiminnalliseksi yksiköksi päätettiin valita yksi neliometri valmistettua Puukiveä. Tarkastelussa myös tutkitaan keskimääräisen piha-alueen tekemiseen vaadittavien neliömetrien (100 m<sup>2</sup>) sekä koko vuoden tuotannon määrään (3050 m<sup>2</sup>) aiheuttamia päästöjä. Elinkaariarvioinnin tarkastelualueeksi rajattiin tuotevaiheen sisältämä ”kehdosta tehtaan portille” eli tarkastelu tapahtuu raaka-aineiden hankinnasta tehtaanportille ja jälleenmyyntiin asti. Rajaus vain tuotevaiheeseen johtuu muutamasta ongelmasta käyttövaiheen ja purkuvaiheen seuraamiseen liittyen. Työn tekemiselle varattu aika ei riitä käyttövaiheen seuraamiseen, joka parhaimmillaan liikkuu monissa kymmenissä vuosissa. Myöskään jo olemassa olevaa tietoa käyttövaiheesta ei ole, koska tuote on kohtalaisen uusi. Näin ollen purkuvaihe on myös rajattava pois. Rajatun tuotejärjestelmän vaiheet A1...A3 käsitellään erikseen, jotta päästöjen alkuperän havainnointi olisi helpompaa. Tuotokseksi tulee siis kaksi eri tuotejärjestelmän rajausta, puukiven ja normaalin kiven tuotejärjestelmät. Valmistusprosesseissa ei muodostu poistuvia sivutuotteita, joten muita järjestelmiä ei tule ottaa huomioon. Tehdyssä elinkaariarvioinnissa on seurattu SFS-EN ISO 14040 –standardin ohjeistusta. Kuvassa 3 ja liitteessä 2 on havainnollistettu Puukiven tuotejärjestelmä.



Kuva 3. Puukiven tuotejärjestelmä, kehdosta tehtaan portille.

Molempien tuotejärjestelmien kaaviot koostuvat saman perustan ympärille. Perusta koostuu raaka-aineiden hankinnasta, tuotteen valmistuksesta tehtaalla sekä kuljetuksesta näiden välillä ja tehtaaseen porteille asti. Ainoa poikkeavuus syntyy raaka-aineiden hankintaan, jossa Puukiven kaavioon tulee lisänä jätetuun hankinta, sen muokkaus käytettävään muotoon ja kuljetus tuotteen valmistukseen. Normaalin kiven tuotejärjestelmä on havainnollistettu kuvassa 4 ja liitteessä 3.



Kuva 4. Normaalin kiven tuotejärjestelmä.

## 6.2 Inventaarioanalyysi

Lähes kaikki lähtötiedot inventaarioanalyysiä varten saatiin Destaclean Oy:n teettämästä normaalista tuotannon seurannasta, mittauksista ja resepteistä vuosilta 2015-2017 (Lappi 2018). Arvioinnin tekemistä varten ei suoritettu tehtaalla yksittäisiä mittauksia, vaan kaikki tarvittavat tiedot olivat saatavilla. Inventaarioanalyysin vaatimat määrälliset tiedot käsittävät tuotteen valmistukseen vaadittavat raaka-aineet, energian kulutuksen ja kuljetuksien etäisyydet molempien tuotejärjestelmien puolesta. Saadut inventaariotiedot syötettiin elinkaarimallinnusohjelmaan tuotteiden raaka-aine koostumusten ja tehdyn seurannan mukai-

sesti. Elinkaariarvioinnissa otettiin huomioon myös kaikki valmistusta edeltävät toimenpiteet raaka-aineen hankinnassa. Elinkaarimallinnusohjelmassa löytyy valmiina omat prosessinsa tietyille raaka-aineille.

Tietyille prosessin osille tarkempaa tietoa täytyi hakea muista lähteistä, ja käyttää sieltä saatuja keskiarvoja. Kuljetuksen tarkkoja reittejä ei ollut saatavilla, joten ne oli määriteltävä Googlen karttapalveluiden avulla (Google 2018). Jätepuun sitomalle hiilidioksidille jouduttiin selvittämään yksikköprosessille arvo Bioenergianeuvojan avulla (Bioenergianeuvoja.fi 2018).

Tarkastelun keskittyessä valmistetun jätepuukuidun lisäämisen aiheuttamiin hyötyihin, voidaan osa yksikköprosesseista yhdistää ja osa jättää pois kokonaan, niiden vaikutusten yksikköprosesseihin ollessa lähes mitättömät. Valmistukseen tarvittavat eri raekokoiset sorat on yhdistetty, eikä niitä ole käsitelty erikseen. Tehtaalla tapahtuvaan pakkaamiseen käytetty energia on yhdistetty sitä edeltävään ”pressing and precussion” –yksikköprosessiin. Myös tehtaalla tapahtuvien kuljetusten ollessa minimaaliset muihin kuljetuksiin verrattuna, on ne voitu rajata tarkastelun ulkopuolelle. Elinkaarimallinnusohjelmasta puuttui muutamia spesifisiä tietoja tuotteessa käytettyjen väri- ja lisäaineiden ominaisuuksista tai niiden päästöistä, joten ne oli rajattava tarkastelun ulkopuolelle. Selvitystä tehtäessä näiden raaka-aineiden ominaisuuksista ja mahdollisista päästöistä, koettiin niiden pienen määrän yksikköprosessissa ja reseptien samankaltaisuuden näiden raaka-aineiden osalta sallivan rajauksen tekemisen. Myös standardissa SFS-EN 15804 ilmoitetun rajauskriteerin mukaan on perusteltua jättää väri- ja lisäaineiden tarkastelu arvioinnista pois. Tuotannon väriaineiden osuus molempien kivien valmistuksessa on alle 0,001 % ja lisäaineiden osuus puolestaan on alle 0,002 % raaka-aineiden kokonaismassasta. Tässä arvioinnissa ei ole otettu huomioon jätevesien osuutta.

Elinkaariarvioinnin tekemiseen liittyy aina epävarmuustekijöitä. Inventaarioanalyysin kohdalla tulee huomioida GaBi-elinkaarimallinnusohjelmasta valmiiksi löytyvien tuote-, materiaali- ja energiavirtojen olevan vain keskimääräisiä oletuksia niiden ympäristövaikutuksista. Muun muassa laskennassa käytetyn sementin valmistuksen, polttoaineiden ja sähköntuotannon vaikutukset ovat keskiarvöllisiä oletuksia, eivätkä suoraan korreloi yrityksen tuotannossa tapahtuvia päästöjä. Tuloksia analysoidessa on kiinnitetty huomiota niiden mahdolliseen epävarmuuteen.

### 6.3 Vaikutusten arviointi

Elinkaariarvioinnin vaikutusten arvioinnin tulokset saatiin inventaarioanalyysiin perustuen ja elinkaarimallinnusohjelmalla tehtyjen laskelmien pohjalta. Vaikutuksiin arviointiin käytettävät indikaattorit valikoituivat tulosten merkittävyyden perusteella. Arviointi jaettiin muutama eri kategoriaan. Kategorioita ovat ympäristövaikutusluokat ja luonnonvarojen käyttö.

Ympäristövaikutusluokat sisältävät yleisimpiä ympäristön tilaan vaikuttavia indikaattoreita, joille ohjelma eri tietokantojen avulla laskee ja määrittää prosessin aiheuttamat päästöt ympäristöön. Ohjelma määrittää valitun tietokannan avulla ekvivalenttiarvot jokaiselle indikaattorille. Valittuna elinkaarimallinnusohjelman tietokantana tarkastelussa toimii ILCD, koska sen katsottiin EU:n ylläpitämänä sisältävän ajankohtaisempaa tietoa. Tietokannan sisältämät indikaattorit on esitelty liitteessä 1. Indikaattoreista valikoitui tarkempaan tarkasteluun ilmaston lämpeneminen (GWP). Muiden indikaattorien katsottiin olevan tuloksien tarkasteluun vähemmän tärkeitä. Indikaattorin valintaan vaikutti suuresti yrityksen halu keskittyä hiilijalanjäljen määrittämiseen. Muiden indikaattorien antamat tulokset vertailtujen tuotteiden välillä erosivat hyvin vähän toisistaan, joten valinta kohdistui vain GWP-arvon tarkasteluun.

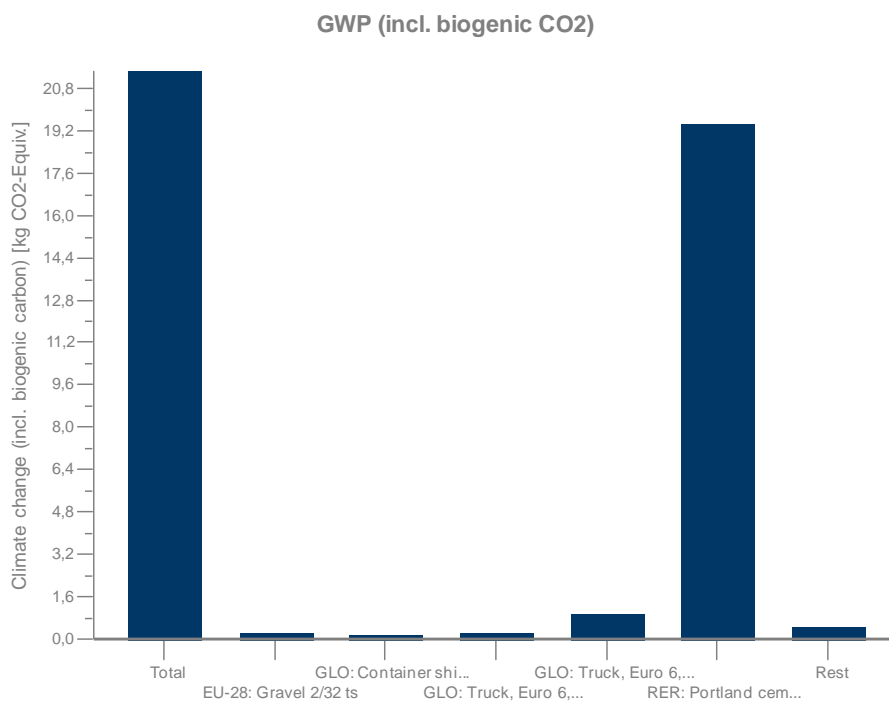
Luonnonvarojen käytön kohdalla puhutaan uusiutuvien ja uusiutumattomien materiaalien ja energian käytöstä. Tarkemmin pureudutaan kierrätysmateriaalien käyttöön, polttoainesten käyttöön ja kokonaisuudessaan luonnonvarojen kulutukseen valmistuksessa. Laskennassa on käytetty Suomen keskimääräistä sähköntuotannon jakaumaa. Myös polttoainesten kohdalla on käytetty Euroopan polttoainejakelun keskiarvoja. Kierrätysmateriaalin, tässä tapauksessa rakennusteollisuuden jätepuun, sitoman hiilidioksidin kohdalla ollaan käytetty Bioenergianeuvojan avulla laskettua kerrointa 1,85 kg CO<sub>2</sub>/kg (Bioenergianeuvoja.fi 2018).

## 7 ELINKAARIARVIOINNIN TULOKSET

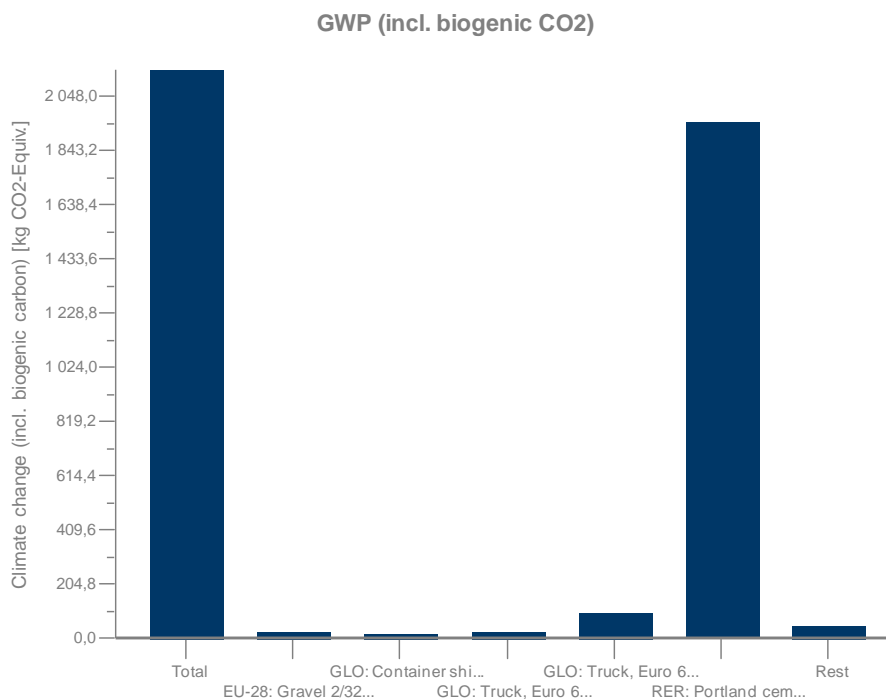
### 7.1 Laskelmat ja vertailu

Elinkaariarvioinnin vaikutusarviointivaiheessa saadut laskennalliset tulokset on ilmoitettu diagrammeihin, taulukoihin ja vertailuihin tässä luvussa. Kunkin tuloksista ilmoittavan kohdan yhteydessä on käsitelty pääpiirteittäin niiden merkitystä. Tuloksia tulkittaessa on suoritettu tarkkuus- ja epävarmuusanalyysejä, jossa keskitytään tietojen ja valintojen tarkkuuteen, ja niiden suurempaan vaikutukseen koskien lopputuloksia. Tulosten lopuksi on käyty läpi johtopäätökset tuloksista.

Seuraavaksi on esitelty tuotteiden päästöistä koostetut diagrammit ja taulukot sekä pohdittu niiden suurempaa merkitystä. Laskelmat on tehty suurimmaksi osin tuotettua 1 m<sup>2</sup> ja 100 m<sup>2</sup> kohden. Muutaman tuloksen kohdalla on myös tarkasteltu koko vuoden tuotannon aiheuttamia päästöjä. Diagrammeissa on esitetty kokonaispäästöjen määrä sekä eritelty päästöjen lähteet. Eritellyt lähteet on esitelty viiden merkittävimmän päästön osalta, ja loput päästöt koottu ”Rest”-palkin alle. Taulukoiden kohdalla on keskitytty tuloksien vertailuun tuotteiden ja tuotannon määrien välillä.

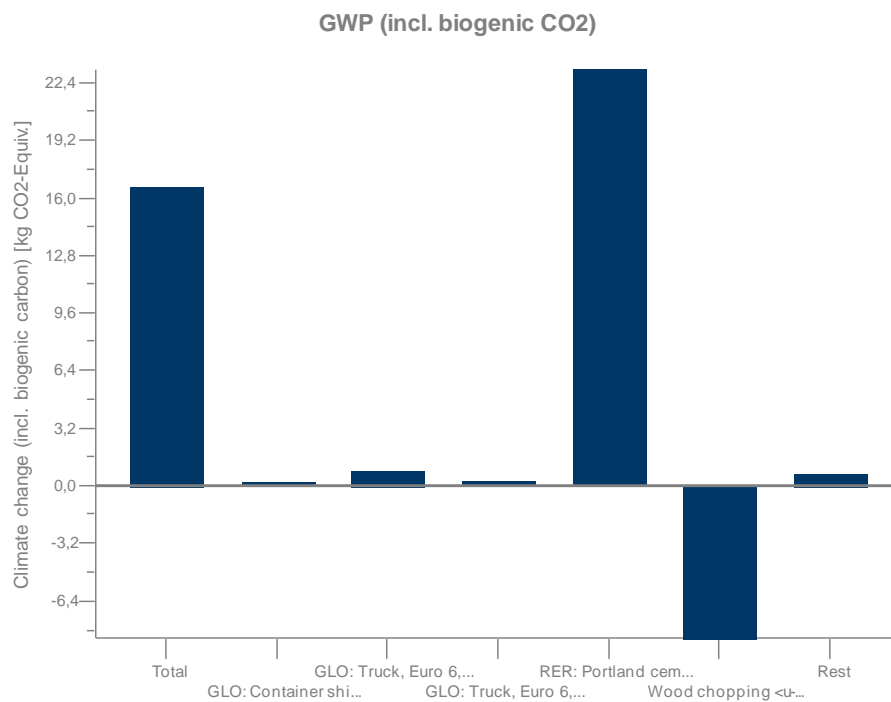


Kuvio 5. Normaalin kiven hiilidioksidiekvivalenttipäästöt tuotettua 1 m<sup>2</sup> kohden.

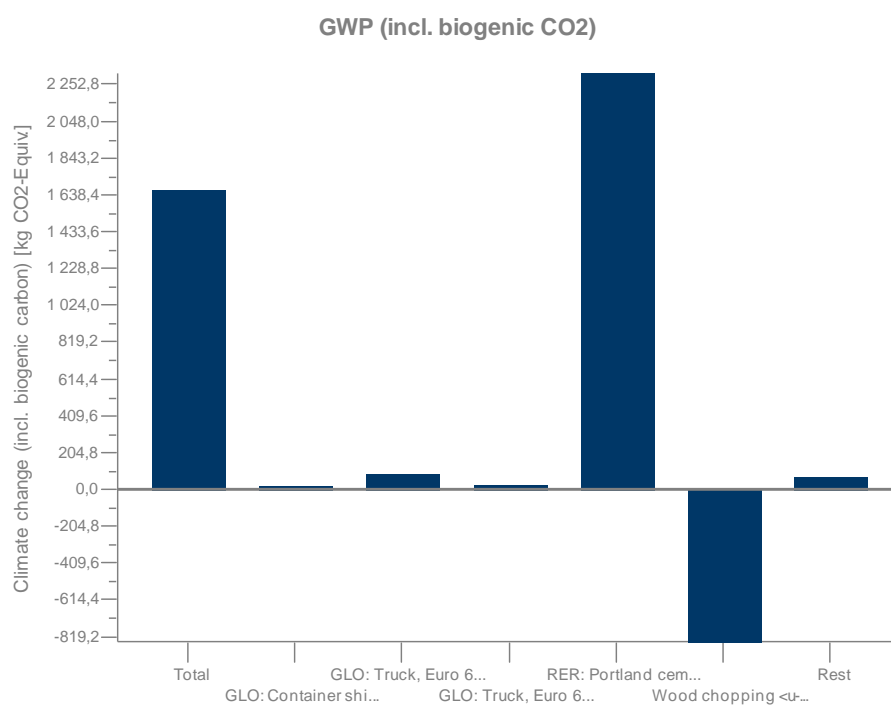


Kuvio 6. Normaalin kiven hiilidioksidiekvivalenttipäästöt tuotettua 100 m<sup>2</sup> kohden.

Kuviosta 5 ja 6 voidaan tehdä havaintoja, jonka perusteella ylivoimaisesti suurin osuus normaalin kiven aiheuttamista hiilidioksidiekvivalenttipäästöistä on lähtöisin sementin valmistuksen prosessista. Tuotetulla normaalin kiven määrällä ei ole kuvioiden mukaan suurempaa merkitystä syntyvien päästöjen suhteita tarkasteltaessa. Vaikka normaalin kiven raaka-aine koostumuksen mukaan soraa vaaditaan huomattava määrä tuotteen valmistukseen, jää sen aiheuttamat päästöt hyvin minimaalisiksi kokonaiskuvaan verrattuna. Myöskään sähkön käyttö ei laskelmien perusteella aiheuta juurikaan päästöjä kokonaisku-  
vassa, vaan se on kategorioitu "Rest"-palkin alle, johon on laskettu yhteen sähkön käytön lisäksi polttoaineiden hankinnan tuottamat päästöt. Kuljetusten suhteen mielenkiinto las-  
kelmissa liittyy valmiin tuotteen kuljetukseen, koska vertailun tuotteet ovat tilavuudeltaan täysin saman kokoisia, mutta niiden välinen painoero on suhteellisen merkittävä.



Kuvio 7. Puukiven hiilekvivalenttipäästöt tuotettua 1 m<sup>2</sup> kohden.



Kuvio 8. Puukiven hiilidioksidiekvivalenttipäästöt tuotettua 100 m<sup>2</sup> kohden.

Kuviota 7 ja 8 tarkastellessa ja vertailtaessa, voidaan todeta Puukiven kokonaiskuvan seuraavan myös normaalin kiven kokonaiskuvaa. Puukiven valmistuserän suuruudella ei kuvioiden perusteella ole juurikaan vaikutusta päästöjen suhteeseen. Päästöjen suhteet normaaliin kiveen verrattuna ovat lähestulkoon samat, kun katsotaan sementin valmistusprosessia, kuljetuksia ja muista vaiheista aiheutuvia päästöjä. Erona laskelmissa on Puukivestä löytyvä jätepuukuitu ja sen valmistusprosessi. Jätepuukuitu sitookin huomattavan määrän hiilidioksidiä, ja näin olleen näkykin kuviossa hyvin positiivisena päästöjen suhteen. Sementin valmistuksen päästöt ylittävät kokonaispäästöt, joka johtuukin juurikin jätepuukuidun miinusmerkkisestä hiilidioksidiekvivalentti-arvosta.

Taulukko 1. Tuotteiden CO<sub>2</sub>-eq päästölähteiden vertailu tuotettua 1 m<sup>2</sup> kohden.

Tuote	Sementti	Jätepuu	Sora	Sähkö	Polttoaineet	Kuljetukset	Yhteensä
Puukivi, (kg CO <sub>2</sub> -eq.)	23,1 (139,4 %)	-8,47 (-51,1 %)	0,16 (1,0 %)	0,25 (1,5 %)	0,17 (1,0 %)	1,36 (8,2 %)	16,57
Normaali kivi, (kg CO <sub>2</sub> -eq.)	19,5 (90,3 %)	0 (0 %)	0,23 (1,1 %)	0,17 (0,8 %)	0,17 (0,8 %)	1,53 (7,1 %)	21,60

Taulukkoon 1 on eritelty tarkat arvot jokaisen päästölähteen aiheuttamista päästöistä. Arvoista voidaan havaita soran, sähkön, polttoaineiden ja kuljetuksien olevan prosentuaalisesti ja myös määrällisesti lähes samalla tasolla molempien kiven tuotannossa. Sementin tuotannon päästöt ovat prosentuaalisesti ja määrällisesti hyvin korkeat molemmissa tuotannoissa. Huomionarvoisena yksityiskohtana nousee esille Puukiven huomattavan paljon korkeammat sementin tuotannon päästöt kuin normaalin kiven vastaavat. Yksinkertaisuudessaan Puukiven tuottamiseen siis käytetään enemmän sementtiä, mutta jätepuukuidun sitoma hiilidioksidi tekee siitä ympäristöystävällisemmän ilmastovaikutusten osalta.

Molempien kiven raaka-aine koostumuksien mukaan valmistukseen tarvitaan kilomäärällisesti eniten soraa. Raaka-aineena soran hankkiminen ei kuitenkaan aiheuta lähes min-



käänlaisia hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä, riippumatta määrästä joka tuotteeseen tarvitaan. Soran vaikutukset näkyvät laajemmin käytetyissä uusiutumattomissa luonnonvaroissa.

Kuljetuksien aiheuttamissa päästöissä on keskittyttävä niiden määrällisiin arvoihin, kokonaispäästöjen ollessa hyvin eri tasoiset. Vaikka Puukiven valmistuksen aikana on yksi kuljetusreitti enemmän, sen päästöt ovat silti pienemmät kuljetuksissa. Ero johtuu hyvin pitkälle valmiiden tuotteiden välisestä painoerosta, ja sen vaikutuksesta viimeiseen kuljetukseen. Normaalin kiven ollessa painavampi, tarvitsee sen kuljettamiseen suurissa määrissä enemmän kuljetuskalustoa, koska kaluston hyötykuorma on rajallinen. Epävarmuutta tuloksiin aiheuttaa tarkasteluun valitun kuljetuskaluston todenmukaisuus, ja niiden todellinen täyttöaste. Kuljetuskalustona käytettiin ohjelmassa saatavilla ollutta keskiarvollista kuljetusmuotoa kuorma-autosta.

Taulukko 2. Tuotteiden aiheuttamat päästöt ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö tuotettua 1 m<sup>2</sup> ja 100 m<sup>2</sup> kohden.

<b>Indikaattori</b>	<b>Normaali kivi</b>	<b>Puukivi</b>	<b>Erotus</b>	<b>Prosentuaalinen erotus</b>
GWP (kg CO <sub>2</sub> -eq.)	21,60/ 2 160	16,57/ 1 657	5,03/ 503	- 23,29 %
Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö (kg)	185,60/ 18 560	158,41/ 15 841	27,19/ 2 719	- 14,65 %
Paino (kg)	140/ 14 000	120/ 12 000	20/ 2 000	- 14,29 %

Taulukossa 2 on vertailtu Puukiven ja normaalin kiven ominaisuuksia sekä laskennallisia päästöjä. Siihen on koottu myös määrälliset ja prosentuaaliset erotukset tuotteiden välillä. Taulukosta voidaan helposti huomata mihin Puukiven suurin hyöty liittyy. Suurin prosentuaalinen hyöty liittyy hiilidioksidiekvivalenttipäästöihin. Toisaalta puhutaan myös hyvin suurista säästetyistä kilomääristä painon ja käytettyjen luonnonvarojen kohdalla.

Hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä vertailtaessa ero on hyvin huomattava. Puukiven valmistus tuottaa lähes neljänneksen vähemmän päästöjä, joka on merkittävä sekä prosentuaalisesti sekä määrällisesti. Keskiarvollisen omakotitalon pihan päällystämiseen vaadittavan kivimäärän (100 m<sup>2</sup>) valmistamisesta aiheutuvien päästöjen erotusta voidaan verrata edestakaiseen lentomatkaan Euroopan sisällä tai ajettuihin henkilöautokilometreihin. Yhden henkilön edestakainen lentomatkasta Helsingistä Malagaan aiheuttaa noin 470 kilon hiilidioksidipäästöt (Finnair 2018). Valitsemalla Puukiven normaalin kiven sijasta säästää yhden henkilön lentomatkasta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Vastaavasti 2940 ajettua henkilöautokilometriä aiheuttaa Puukiven ja normaalin kiven välisen erotuksen verran päästöjä (Helsingin seudun liikenne 2018). Valitut vertailun kohteet ovat keskiarvollisia arvoja.

Yhden pihan valmistamiseen kuluviin uusiutumattomien luonnonvarojen erotus Puukiven ja normaalin kiven välillä vastaa noin 1888 matkustajakilometrin ajamista henkilöautolla (Suomen luonnonsuojeluliitto 2018). Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä on tarkasteltu tarkemmin taulukossa 4, johon on koottu koko tuotannon määrät.

Valmiiden tuotteiden painoero on hyvinkin merkittävä ja se näkyykin päästöissä vasta viimeisen kuljetuksen kohdalla. 2000 kilon ero tuotteiden kuljetuksessa vaikuttaa suuresti tarvittun polttoaineen määrään, ja mahdollisesti kuorma-autojen täyttöasteeseen riippuen sen kestävästä painolastista. Pidemmällä kuljetusmatkoilla ero näkyy huomattavina päästöinä. Kuljetusten eroihin on keskitytty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kuljetusten päästöt 100 m<sup>2</sup> kohden.

<b>Kuljetusten päästöt</b>	<b>Puukivi</b>	<b>Normaali kivi</b>
Kaikki (kg CO <sub>2</sub> -eq.)	136	153
Tehtaalta jälleenmyyntiin (kg CO <sub>2</sub> -eq.)	79,8	103
Osuus kaikista kuljetuksista (%)	58,7	67,3

Taulukosta 3 voidaan havaita Puukiven olevan sekä kaikkien kuljetusten, että jälleenmyyntiin kuljetuksen osalta vähempipäästöinen. Taulukkoon on lisäksi nostettu esille jälleenmyyntiin kuljetuksen aiheuttamien päästöjen osuus kaikkien kuljetusten päästöistä.

Lähes 9 prosenttiyksikön laskua voidaan pitää merkittävänä, kun puhutaan vain painolastin aiheuttamasta muutoksesta.

Taulukko 4. Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö.

<b>Määrä</b>	<b>Puukivi</b>	<b>Normaali kivi</b>	<b>Ero (kg)</b>
1 m <sup>2</sup> , kg	158,41	185,60	27,19
100 m <sup>2</sup> , kg	15 841	18 560	2 719
3050 m <sup>2</sup> , kg	483 150	566 080	82 930

Taulukkoon 4 on koottu tuotannosta aiheutuvaa uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä. Siihen on nostettu mukaan toiminnallisen yksikkö, keskiarvollisen piha ja koko vuoden tuotanto. Kuten voidaan havaita, niin koko vuoden tuotannon kohdalla puhutaan hyvin suurista määristä. Uusiutumattomien luonnonvarojen käytössä on keskitytty niiden kokonaiskäyttöön, eikä niitä ole eroteltu energioiden, materiaalien ja resurssien muoto

## 7.2 Tulkinta ja johtopäätökset

Vertailua tarkasteltaessa voidaan tehdä huomioita, että merkittävimpinä ympäristövaikutuksiin vaikuttavina tekijöinä ovat käytetyn sementin määrä ja jätepuukuidun käyttö. Lähestulkoon kaikki kummankin tuotteen valmistuksen aiheuttamista päästöistä ovat lähtöisin sementin valmistuksesta.

Elinkaariarviointia tehdessä jouduttiin tarkastelun ulkopuolelle rajaamaan useita yksikköprosesseja sekä niiden materiaali- ja energiavirtoja. Rajauksen syynä on lähtökohtaisesti tarkan tiedon puuttuminen prosesseista, joko itse ohjelmasta tai materiaalin tuotetiedoista. Osa prosesseista pystyttiin yhdistämään kokoamalla energiavirrat, ja näin niiden rajausta ei ollut tarpeellista. Esimerkiksi lisäaineiden inventaariotietoja ei ollut laajoista tiedusteluista huolimatta saatavilla tai ne olivat tuotesalaisuuksia. Hyvin suurta epävarmuutta rajausta ei sinänsä aiheuta, koska niillä oli hyvin pieni osuus kokonaisuudesta, ja niiden ominaisuudet eivät olleet lopputuloksen kannalta merkittäviä. Standardin SFS-EN 15804 ohjeistuksen mukaisissa rajauskriteereissä pysyttiin, ja näin rajauksien katsottiin olleen hyvin perusteltuja.

Puukivessä käytettävän jätepuun katsotaan sitovan hiilidioksidia tuotteeseen, kun sitä verataan tapaukseen, jossa sama jätepuu päätyisi polttoon ja näin vapauttaisi hiilidioksidin ilmakehään. Näin ollen on mahdollisuus tutkia myös muiden kierrätysmateriaalien toimivuutta korvaavana materiaalina. Käytettyyn arvoon sitoutuvasta hiilidioksidista liittyy muutamia epävarmuuksia, koska arvo on laskettu keskiarvollisen puun sisältämän hiilen mukaan eivätkä valmistetun jätepuukuidun tarkat ominaisuudet olleet määriteltävissä. Tapauksessa, jossa puuta poltettaessa syntyy energiaa, oli hyvin vaikea ottaa huomioon laskelmia tehdessä. Voidaan kuitenkin olettaa kerättyjen tietojen perusteella, että puun sitoutuva hiilidioksidi voidaan määrittää kyseisellä tavalla.

Puukuidun lisäämisen, sementin valmistuksen ja kuljetusten ollessa suurimmat tekijät ympäristövaikutusten ja etenkin hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen osalta, on huomio keskitettävä niihin. Sementin ollessa suurin hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen aiheuttaja, tuleekin tuotekehityksessä pyrkiä tilanteeseen, jossa sementin osuutta pienennetään kokonaisuudesta. Myös sementin valmistajan valinnalla voidaan vaikuttaa päästöjen määrään. Suosimalla lähellä tuotettua sementtiä vältytään pitkiltä kuljetusmatkoilta ja valitsemalla tuottaja, joka käyttää ympäristöystävällisiä tekniikoita ja materiaaleja valmistukseen saadaan päästöjä huomattavasti tiputettua. Puukuidun lisääminen tuotteeseen ja kuljetusten päästöjen vähentäminen liittyvät vahvasti toisiinsa. Puukiven ollessa huomattavasti kevyempi tuote, johtuen lisäystä puukuidusta, näkyy se myös kuljetuksissa sekä polttoaineen kulutuksessa, että kuljetusten määrässä siirryttäessä suurempiin tuotannon määriin. Suurimmin ero näkyy valmiin tuotteen kuljetuksessa.

Käytettyjen uusiutumattomien luonnonvarojen kohdalla suurin ero tulee myös tuotteiden välisestä painoerosta. Tuotteiden raaka-aine koostumusten mukaan painoero johtuu suurimaksi osin käytetyn soran määrästä, joka lukeutuu uusiutumattomiin luonnonvaroihin. Mitä vähemmän neitseellisiä kiviaineksia käytetään ja korvataan ne esimerkiksi kierrätysmateriaaleilla, sen parempi tuotteesta tulee ympäristölle.

Tarkastelussa ei keskitytty lainkaan jätevesiin, koska tuotteiden hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen ja luonnonvarojen käytön vertailun katsottiin olevan tarkastelun tärkein osa. Myös tuotteiden välisen syntyvän jäteveden määrän katsottiin pysyvän vakiona ja niiden päätyvän normaalisti jätevedenpuhdistukseen, joten jätevesi pystyttiin rajaamaan tarkastelun ulkopuolelle.

Elinkaariarviointeja tehdessä hyödynnetään aina nykyhetken vallitsevia mielipiteitä, käsitteitä sekä normeja ympäristövaikutuksista ja niiden mallintamisesta. Eri tietokantojen ja mielipiteiden välisien erojen huomioiminen onkin hyvin tärkeää arviointia tehdessä. Epävarmuuksia ja erimielisyyksiä esiintyy aina haettaessa tarkkoja karakterisointikertoimia ja

päästöjen määriä. Työssä onkin pyritty pysymään yhtenäisessä laskentamallissa. Pysymällä yhden tietokannan tuloksissa ja minimoimalla tietokannan ulkopuolisten arvojen käyttöä, on päästy mahdollisimman yhtenäiseen tarkasteluun.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia elinkaariarviointi Destaclean Oy:n pihakivituotteelle standardin ISO SFS-EN 14040 mukaisesti. Elinkaariarviointi tapahtui vertailuna yrityksen Puukiven ja vastaavan normaalin pihakiven välillä. Elinkaariarvioinnilla pyrittiin tuottamaan työkaluja ja tietoa yrityksen markkinoinnin ja tuotekehityksen avuksi. Tämän kirjallisen työn tarkoitus on käsitellä elinkaariarviointia teoriassa ja käytännössä toteuttaa siihen liittyvät laskelmat elinkaarimallinnusohjelman avulla.

Työssä toteutettiin yrityksen molemmille pihakivituotteille ISO SFS-EN 14040 mukainen elinkaaritarkastelu, jossa keskityttiin hiilidioksidiekvivalenttipäästöihin ja kulutettuihin uusiutumattomiin luonnonvaroihin. Tarkastelu rajattiin käsittelemään pelkästään elinkaaren tuotevaiheen eli ”kehdestä tehtaaseen”, joka pitää sisällään raaka-aineiden hankinnan, tuotteen valmistuksen ja näiden väliset kuljetukset. Tarkasteluun käytettiin yrityksen vuoden 2015 tietoja normaalin pihakiven osalta ja vuoden 2017 tietoja Puukiven osalta. Arviointi suoritettiin GaBi LCA Software –elinkaarimallinnusohjelmalla ja sen tietokantoja sekä laskelmia hyödyntäen.

Elinkaaritarkastelun tuloksen vastasivat suuremmilta osin oletettuja päästöjen suhteita. Suurimpana hiiliekvivalenttipäästöjen aiheuttajana toimii molemmissa pihakivissä sementin valmistus. Merkittävänä erona pihakivien välillä on Puukivestä löytyvä puukuitu, joka sitookin suuren määrän hiilidioksidia tuotteeseen. Itse tuotteen valmistuksessa ei merkittäviä eroja löytynyt, vaan tarkastelu keskittyi sementin valmistukseen ja puukuidun tuomiin hyötyihin. Kuten oletettiin, niin saatujen tulosten perusteella Puukiveä voidaan pitää ympäristöystävällisempänä.

Elinkaariarvioinnin luonteen mukaisesti tulokset peilaavat vain suhteellisia ja suuntaa antavia tuloksia, eikä niiden voida olettaa esittävän todellisuudessa tuotannossa syntyviä päästöjä. Epävarmuustekijöihin tulee kiinnittää suurta huomiota tuloksia tulkittaessa.

Opinnäytetyö tehtiin talven 2017 ja kevään 2018 aikana. Lahden Ammattikorkeakoululta käyttöön saatu GaBi-elinkaarimallinnusohjelman lisenssi oli huomattavana apuna työtä tehdessä. Ohjelman sisältämät tietokannat sekä sen teettämät laskelmat nopeuttivat ja helpottivat huomattavasti työn tekemistä verrattuna tilanteeseen, jossa laskemat olisi tehty käsin.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet voidaan katsoa täytetyiksi. Markkinoinnin avuksi saadaan työn avulla tietoa ja tuotekehitykseen laajempaa näkökulmaa tulevaisuuden haasteista.

## 9 JATKOTUTKIMUSAIHEET

Seuraavaksi olen esittänyt jatkotutkimusaiheeksi muutaman eri näkökulman liittyen työssä kohdattuihin haasteisiin. Tämän työn raameissa kyseisten tutkimusaiheiden selvitys ei ollut mahdollista.

Puukiveen lisättävän puukuidun aiheuttamat hyödyt tiedetään valmistusvaiheessa, mutta ajankäytöllisistä syistä käyttö- ja purkuvaiheen tutkiminen oli rajattava arvioinnista pois. Pihakivien käyttövaiheen kestäessä kymmeniä vuosia, kysymykseksi nousee puukuidun käyttäytyminen pihakiven sisällä. Mahdollisten hapettomien olosuhteiden syntyessä mätänemisprosessi synnyttää metaania, joka GWP-kertoimellaan 21 on päästöjen suhteen huomattavasti huonompi ilmastomuutoksen kannalta kuin puukuidun itsessään sitoma hiilidioksidi (Energialous 2018; Guinée 2002, 185). Myös tuotteen kestävyyttä tulee tutkia käyttövaiheen loppupuolella, mahdollisten reaktioiden tapahtuessa kiven sisällä.

Kehitystyössä suuntaviivan on ositettava kiviaineksen vähentämiseen, käyttämällä korvaavia materiaaleja ja seosaineita. Teollisuuden sivutuotteiden ja kierrätysmateriaalien käyttö, esimerkiksi lentotuhkan ja masuunikuonan, hyödyntäminen tulee tutkia. Puu on vain yksi materiaali, jolla ympäristölle raskas kiviaines voidaan korvata. Muun muassa uusiutumattomasta luonnonvarasta, öljystä, valmistetun kierrätetyn muovin käyttäminen korvaavana materiaalina voisi olla ympäristölle entistäkin parempi ratkaisu. Oletus perustuu muovin mätänemättömyyteen, ja mahdollisesti parempaan reagointiin käyttövaiheessa. Muovin ollessa ympäri maailmaa ja meriä yksi suurimmista ympäristöongelmista, sen uudelleenkäytölle löytyy suurta kannatusta (Frilander 2016).

## LÄHTEET

- Guinée, J. 2002. Handbook of Life Cycle Assessment. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Rannikko, P., Määttä, T. 2010. Luonnonvarojen hallinnan legitimitteetti. Tampere: Vastapaino.
- Simonen, K. 2014. Life Cycle Assessment. New York: Routledge.
- SFS-EN 15804. 2012. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Antikainen, R (toim.). 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskus. Raportti [viitattu 19.3.2018]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra\\_7\\_2010.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1)
- Bioenergianeuvoja.fi. 2018. Puun koostumus [viitattu 9.4.2018]. Saatavissa: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-lampoarvo/>
- Betoniteollisuus ry. 2018a. Betonin historia [viitattu 5.4.2018]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-historia/>
- Betoniteollisuus ry. 2018b. Tietoa betonista [viitattu 3.4.2018]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>
- Destaclean Oy. 2018a. Destaclean Oy [viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <http://www.destaclean.fi/destaclean/>
- Destaclean Oy. 2018b. Palvelut ja tuotteet [viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <http://www.destaclean.fi/palvelut-ja-tuotteet/>
- Destaclean Oy. 2018c. Puukivi [viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <http://www.puukivi.fi/>
- Destaclean Oy. 2018d. Tuotteiden valmistus ja myynti [viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <http://188.64.4.14/tuotteiden-valmistus-ja-myynti-2/>
- Donner-Amnell, J., Miina, S., Pykäläinen, J., Tuuva-Hongisto, S. 2011. Maailma haastaa – metsä tulevaisuuden ratkaisuisissa. Itä-Suomen Yliopisto [viitattu 6.4.2018]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/profile/Sari\\_Tuuva-Hongisto/publication/309412170\\_Kulut-](https://www.researchgate.net/profile/Sari_Tuuva-Hongisto/publication/309412170_Kulut-)



tajien\_arvot\_ja\_unelmat\_ekologisten\_faktojen\_suodatta-  
jina/links/580f33ed08ae009606bb5fab/Kuluttajien-arvot-ja-unelmat-ekologisten-faktojen-  
suodattajina.pdf

Energiatalous. 2018. Bioenergia – muutakin kuin puun polttamista? [viitattu 24.4.2018].  
Saatavissa: <http://www.energiatalous.fi/?p=492>

Finnair. 2018. Finnairin päästölaskuri [viitattu 17.4.2018]. Saatavissa: <https://www.finnair.com/fi/fi/emissions-calculator>

Finnsementti Oy. 2018. Seosaineet sementissä [viitattu 4.4.2018]. Saatavissa:  
<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/seosaineet-sementissa>

Frilander, J. 2016. Maailman merissä pyörii miljoonia tonneja muovijätettä – keksijät tais-  
televat jättiläisongelmaa vastaan. Yle [viitattu 24.4.2018]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8610827>

Google. 2018. Google Maps [viitattu 8.4.2018]. Saatavissa: <https://www.google.fi/maps/>

Hakaste, H. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi raken-  
tamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö [viitattu 18.4.2018]. Saatavissa:  
[http://www.ymparisto.fi/FI-Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Vahahiilinen\\_rakentaminen/Tiekartta\\_rakennuksen\\_elinkaaren\\_hiilijalanjaljen\\_huomioimiseksi](http://www.ymparisto.fi/FI-Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi)

Helsingin seudun liikenne. 2018. Arkiliikenteen hiilidioksidilaskuri [viitattu 17.4.2018]. Saa-  
tavissa: <http://www.hsljalki.fi/fi/menu/info>

International Organization for Standardization. 2018. About ISO [viitattu 20.3.2018]. Saa-  
tavissa: <https://www.iso.org/about-us.html>

Joint Research Centre. 2018. ILCD Handbook [viitattu 21.4.2018]. Saatavissa:  
[http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page\\_id=86](http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=86)

Manninen, K., Judl, J., Myllymaa, T. 2015. Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjät-  
teiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriö  
[viitattu 5.4.2018]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159224/YMra\\_29\\_2015.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159224/YMra_29_2015.pdf?sequence=1)

Miller, S., Horvath, A., Monteiro, P. 2016. Readily implementable techniques can cut an-  
nual CO2 emissions from the production of concrete by over 20%. IOP Publishing Ltd [vii-  
tattu 3.4.2018]. Saatavissa: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/7/074029/pdf>

- Nissinen, A. 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. Suomen ympäristökeskus [viitattu 7.3.2018]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Tuotesuunnittelu\\_ja\\_tuotteet/Elinkaariarviointi\\_jalanjaljet\\_ja\\_panostuotosmalli](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/Elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli)
- Nissinen, A., Seppälä, J. 2008. Tuotteiden ilmastovaikutuksista kertovat merkit. Valtioneuvoston kanslia [viitattu 6.4.2018]. Saatavissa: [http://vnk.fi/documents/10616/622954/J1108\\_Tuotteiden+ilmastovaikutuksista+kertovat+merkit.pdf/957e7027-9032-4601-81a9-a48863a0aba8](http://vnk.fi/documents/10616/622954/J1108_Tuotteiden+ilmastovaikutuksista+kertovat+merkit.pdf/957e7027-9032-4601-81a9-a48863a0aba8)
- Perälä, E. 2012. Toimintaohjeiston laatiminen HSY:n jätehuollon elinkaarimallinnuspalveluiden hankkimiseksi. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Diplomityö [viitattu 23.3.2018]. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/77551/diplomityo%c3%b6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pulkinen, K. 2013. Betonin pimeä puoli. Kemia-lehti [viitattu 3.4.2018]. Saatavissa: [http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/11/Betonin\\_pimea\\_puoli\\_Kemia-lehti\\_11\\_11\\_2013.pdf](http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/11/Betonin_pimea_puoli_Kemia-lehti_11_11_2013.pdf)
- Rakennustietosäätiö RTS. 2018. Ympäristöseloste EDP [viitattu 23.3.2018]. Saatavissa: <http://epd.rts.fi/fi>
- Suomen luonnonsuojeluliitto. 2018. Ekotehokkuus [viitattu 17.4.2018]. Saatavissa: <https://www.sll.fi/mita-me-teemme/kohtuutalous/ekotehokkuus>
- Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2018. Ympäristöjohtamisen standardisarja ISO 14000 [viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: [https://www.sfs.fi/files/8091/14001-sarja\\_web.pdf](https://www.sfs.fi/files/8091/14001-sarja_web.pdf)
- Suomen ympäristökeskus. 2014. Luonnonvarat [viitattu 9.4.2018]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Ympariston\\_tilan\\_indikaattorit/Luonnonvarat](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Luonnonvarat)
- thinkstep. 2017. GaBi ts [viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: <https://www.thinkstep.com/software/gabi-lca/gabi-professional>
- Tilastokeskus. 2017. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö [viitattu 9.4.2018]. Saatavissa: [http://www.findikaattori.fi/fi/88#\\_ga=2.17415545.1955124547.1523261093-1622673152.1523004444](http://www.findikaattori.fi/fi/88#_ga=2.17415545.1955124547.1523261093-1622673152.1523004444)
- Universiteit Leiden. 2016. CML-IA Characterisation Factors [viitattu 21.4.2018]. Saatavissa: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>































Wiedmann, T., Minx, J. 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. ISA<sup>UK</sup> Research & Consulting [viitattu 6.4.2018]. Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.467.6821&rep=rep1&type=pdf>

Xi, F., Davis, S., Ciais, P., Crawford-Brown, D., Guan, D., Pade, C., Shi, T., Syddall, M., Lv, J., Ji, L., Bing, L., Wang, J., Wei, W., Yang, K., Lagerblad, B., Galan, I., Andrade, C., Zhang, J., Liu, Z. 2016. Substantial global carbon uptake by cement carbonation. *Nature Geoscience* [viitattu 20.4.2018]. Saatavissa: [https://www.nature.com/articles/ngeo2840.epdf?referrer\\_access\\_token=CPSm7iIU88b66MT1IB3WENRgN0jAjWei9jnR3ZoTv0OPbxp8ZbuaR6ygiAdUG55Oj-4M36G5ntszgsObV3pjfBEEGbIN\\_BHd7EU7IT1augmrT0cUNpAd7w\\_86MM8QBgMOC-TuQCzCn0rXmk60aIKXo38Qz1H5Inp\\_6H7HwKFACXA5f4hQY7q0MAK-Fykhl86Yj77Rx50OoVvT1J4hNm1UDYUjHGnNqU9iETZYoywNZwjAM00IXxtw7PKjLkCx0IK-V&tracking\\_referrer=www.abc.net.au](https://www.nature.com/articles/ngeo2840.epdf?referrer_access_token=CPSm7iIU88b66MT1IB3WENRgN0jAjWei9jnR3ZoTv0OPbxp8ZbuaR6ygiAdUG55Oj-4M36G5ntszgsObV3pjfBEEGbIN_BHd7EU7IT1augmrT0cUNpAd7w_86MM8QBgMOC-TuQCzCn0rXmk60aIKXo38Qz1H5Inp_6H7HwKFACXA5f4hQY7q0MAK-Fykhl86Yj77Rx50OoVvT1J4hNm1UDYUjHGnNqU9iETZYoywNZwjAM00IXxtw7PKjLkCx0IK-V&tracking_referrer=www.abc.net.au)

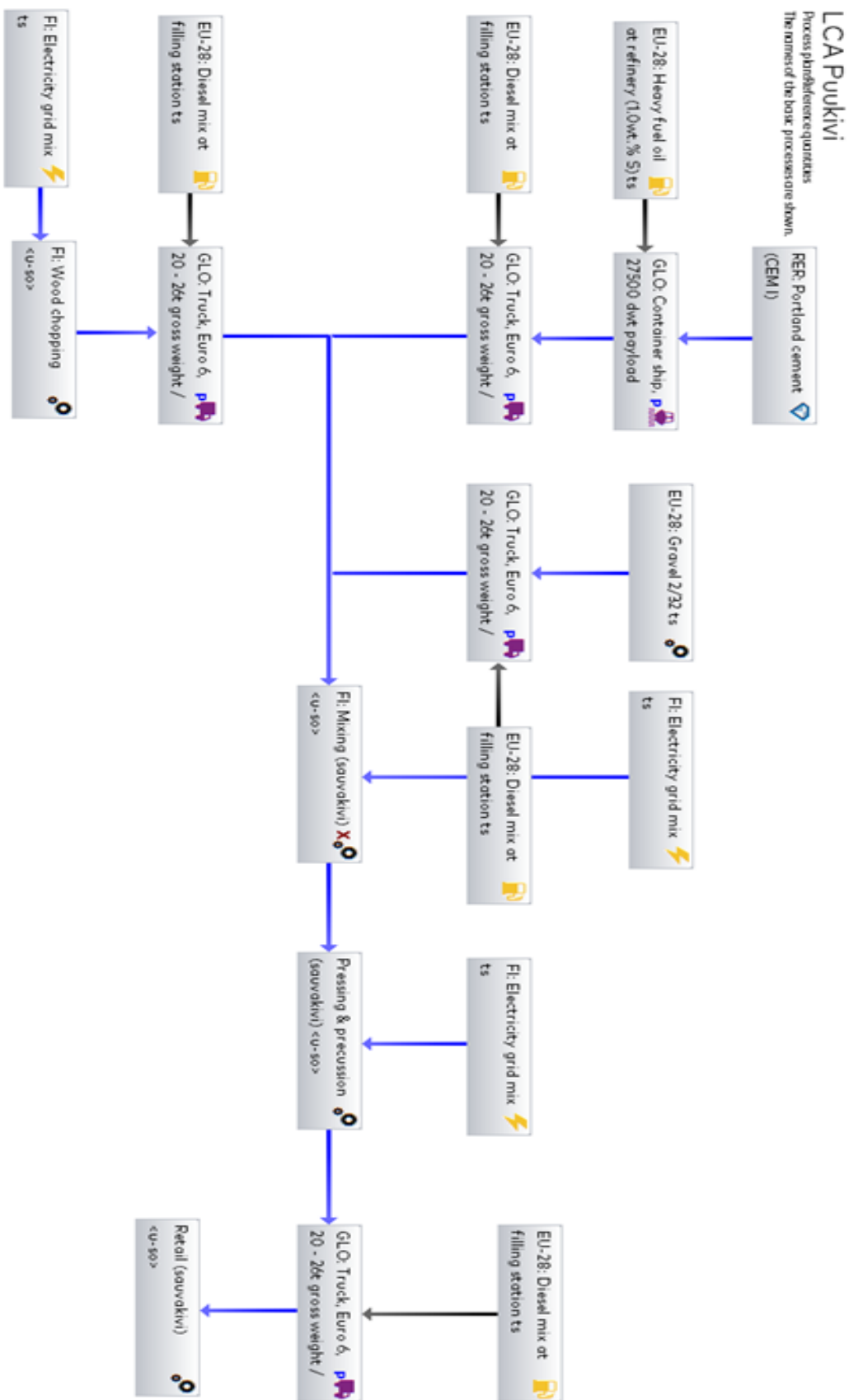
Lappi, J. 2018. Ympäristö- ja laatupäällikkö. Destaclean Oy. Haastattelu 3.4.2018.

## LIITTEET

## Liite 1. Elinkaaritarkastelun indikaattorit ohjelmassa.

-  Climate change (incl. biogenic carbon) [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Climate change (excl. biogenic carbon) [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Ozone Depletion [kg R11-Equiv.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Human Toxicity, cancer effects [CTUh]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Human toxicity, non-cancer effects [CTUh]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Particulate matter/Respiratory inorganics [PM<sub>2.5</sub> eq]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Ionising radiation, human health [U235 eq]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Photochemical Ozone Formation [kg NMVOC Equiv.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Acidification [Mole of H<sup>+</sup> eq.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Eutrophication, terrestrial [Mole of N eq.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Eutrophication, aquatic, freshwater [kg P eq.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Eutrophication, aquatic, marine [kg N eq.]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Ecotoxicity (freshwater) [CTUe]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Resource depletion, water [kg]  
  LCA Puukivi <LC>
-  Resource depletion, mineral, fossil and renewable [kg Sb-Equiv.]  
  LCA Puukivi <LC>

Liite 2. Puukiven tuotejärjestelmä, kehdesta tehtaan portille



Liite 3. Normaalin kiven tuotejärjestelmä, kehdesta tehtaan portille.

