



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikael Vuorenmaa

SOLULASISEINÄELEMENTIN HIILIJALANJÄLKI

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mikael Vuorenmaa
Opinnäytetyön nimi	Solulasiseinäelementin hiilijalanjälki
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	48 + 2 liitettä
Ohjaaja	Asseri Laitinen

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää solulasiseinäelementin hiilijalanjälki. Opinnäytetyö on tehty ECO2WALL-yrityksen toimeksiannosta ja työssä keskitytään solulasista valmistettavan seinäelementin hiilijalanjäljen laskentaan. Opinnäytetyössä käytetään kolmea eri standardia, joiden pohjalta tuotteen hiilijalanjälki on laskettu. Työssä myös vertaillaan solulasista valmistetun seinäelementin hiilijalanjälkeä muiden yritysten puusta ja betonista valmistettuihin elementteihin sekä itse solulasia muihin eristemateriaaleihin.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin tilaajan käyttöön Excel-laskentatyökalu, jolla voidaan laskea jokaiselle asiakkaalle oma asiakaskohtainen hiilijalanjälki. Laskentatyökalu on helposti muokattavissa ja muuttujien vaihtuessa on helppo vaihtaa arvoja ja näin ollen laskentatyökalu on aina ajantasainen.

ECO2WALL Oy:n solulasiseinäelementin hiilijalanjälki oli 45,1 kgCO₂-ekv/m². Seinäelementin hiilijalanjäljestä 91 % koostuu raaka-aineista, 3 % kuljetuksista ja 6 % energiankulutuksista. Tulokseksi voidaan todeta, että oikeilla materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa parhaiten tuotteen hiilijalanjälkeen.

Avainsanat	Tuotteen hiilijalanjälki, hiilidioksidipäästöt, hiilidioksidipäästöjen vertailu, PAS2050, ISO 14067
------------	---

ABSTRACT

Author	Mikael Vuorenmaa
Title	Carbon footprint of the cellular glass wall element
Year	2021
Language	Finnish
Pages	48 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Asseri Laitinen

The aim of this thesis was to find out the carbon footprint of a cellular glass wall element. The thesis has been commissioned by the ECO2WALL company and the work focuses on the calculation of the carbon footprint of a wall element made of cellular glass. The thesis uses three different standards, based on which the carbon footprint of the product has been calculated. The work also compares the carbon footprint of a wall element made of cellular glass with elements made of wood and concrete from other companies, as well as the cellular glass itself with other insulating materials.

As a result of the thesis, an Excel calculation tool was created for the company, which can be used to calculate each customer's own customer-specific carbon footprint. The calculation tool is easy to edit and when changing variables, it is easy to change values and thus the calculation tool is always up to date.

The carbon footprint of ECO2WALL Oy's cellular glass wall element was 45,1 kgCO₂-eq/m². 91 % of the wall element's carbon footprint consisted of raw materials, 3 % transportation and 6 % energy consumption. As a result, the right material choices can best influence the product's carbon footprint.

Keywords	Product carbon footprint, CO ₂ emissions, CO ₂ emission comparison, PAS 2050, ISO 14067
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Taustaa.....	8
2	TUOTTEEN HIILIJALANJÄLKI	10
2.1	Hiilineutraalius	11
3	STANDARDIT	12
3.1	PAS 2050	12
3.2	ISO 14067:2018.....	13
3.3	Elinkaariarvioinnin standardit ISO 14040 ja ISO14044	14
4	HIILIJALANJÄLKISELVITYKSEN RAJAT	15
4.1	Hiilijalanjäljen tuoteryhmäsääntöjen käyttäminen	16
4.2	Hiilijalanjälkiselvityksen tavoite ja rajauskriteerit	16
4.3	Hiilijalanjäljen elinkaari-inventaariovaihe	17
4.4	Vaikutusarviointi	18
4.5	Tulkinnat tuloksista	18
4.6	Raportointi	19
5	SOLULASISEINÄELEMENTTI	20
6	SEINÄELEMENTIN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN.....	24
6.1	Laskennan rajaus.....	24
6.2	Prosessikaavion vaiheet.....	24
6.3	Hiilijalanjälkilaskuri, päästökertoimet ja laskennan kulku.....	25
6.3.1	Laskennan kulku	26
6.4	Sähkö- ja lämpöenergiankulutus	26
6.5	Kuljetukset	28
6.5.1	Ukraina	28
6.5.2	Kiina.....	29

6.5.3	Kuljetukset seinäelementtitehtaalta asiakkaalle	30
6.6	Materiaalien päästöt.....	31
7	TULOSTEN VALIDOINTI JA VERTAILU	34
7.1	Materiaalien päästöjakauma ja vertailu VA1 ja VA2 vaihtoehtoisissa	34
7.2	Elementin hiilijalanjälki	35
7.2.1	Kiinasta tilattu solulasi	35
7.2.2	Ukrainasta tilattu solulasi.....	37
7.2.3	Vertailu tilattavien solulasien päästöissä.....	38
7.3	Vertailu ECO2WALL-seinäelementin päästöistä muihin materiaaleihin	39
7.4	Vertailu eri eristysmateriaalien päästöistä	41
8	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	46
	LIITEET	48

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet	18
Kuvio 2. ECO2WALL solulasiseinäelementti	22
Kuvio 3. Seinäelementin pohjapiirustus	23
Kuvio 4. ECO2WALL prosessikaavio	25
Kuvio 5. Kuljetus asiakkaille	31
Kuvio 6. Materiaalien/raaka-aineiden päästöjakauma VA1	35
Kuvio 7. Materiaalien/raaka-aineiden päästöjakauma VA2	35
Kuvio 8. Elementin hiilijalanjälki (Kiina)	37
Kuvio 9. Elementin hiilijalanjälki (Ukraina)	38
Kuvio 10. Vertailu tilattavien solulasien päästöissä	39
Kuvio 11. Elementtien hiilijalanjälkivertailu	40
Taulukko 1. Materiaalit	21
Taulukko 2. Seinäelementtitehtaan energiankulutus	27
Taulukko 3. Kuljetuksen päästöt Ukrainasta	29
Taulukko 4. Kuljetuksen päästöt Kiinasta	30
Taulukko 5. Materiaalien päästöt	33
Taulukko 6. Elementin hiilijalanjälki 1	36
Taulukko 7. Elementin hiilijalanjälki 2	37

LIITELUETTELO

LIITE 1. Laskurin ohjeet

LIITE 2. Laskuri

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on laittanut yritykset miettimään vähäpäästöisempiä ja energia-
tehokkaampia ratkaisuja. Myös kuluttajan valinnat vähentävät hiilijalanjälkeä huo-
mattavasti ja vähäpäästöisemmät ratkaisut ovat tulevaisuuden kannalta merkittä-
viä menestyksen kulmakiviä.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda laskentamalli, jolla pystytään laskemaan
tuotteen hiilijalanjälki synnystä mahdolliseen kierrätykseen asti. Tämä opinnäyte-
työ on tehty ECO2WALL-yrityksen toimeksiannosta ja tässä keskitytään solulasista
valmistettavan seinäelementin hiilijalanjäljen laskentaan. Opinnäytetyössä käyte-
tään kolmea eri standardia, joiden pohjalta tuotteen hiilijalanjälki saadaan lasket-
tua.

Työssä myös vertaillaan solulasista valmistetun seinäelementin hiilijalanjälkeä
muiden yritysten puusta ja betonista rakennettuihin elementteihin sekä eristema-
teriaaleihin.

1.1 Taustaa

Ihmiskunnan suurin uhka on ilmastonmuutos, ja sen ehkäisemiseksi tarvitaan
edelläkävijöitä. Tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiiline-
gatiivinen nopeasti sen jälkeen.¹

Yhteiskunnan kestävyyskriisin ratkaiseminen vaatii ripeää ja systemaattista muu-
tosta. Suomella mahdollisuudet ovat hyvät, sillä Suomessa on koulutettua väes-
töä, korkea teknologiaosaaminen sekä vakaa ja kestävä yhteiskuntarakenne.²

¹ Valtioneuvosto. 2020.

² Valtioneuvosto ja ministeriöt

IPCC: n eli hallitusten välisen ilmastopaneelin mukaan, kun ilmaston lämpeneminen nousee 1,5 asteen yli, niin se tulee kiihdyttämään lajien sukupuuttoa, muuttaa alueita elinkelvottomiksi, heikentää veden saatavuutta sekä laskee ekosysteemin ja ruuantuotannon toimivuutta.³

Suomi on sitoutunut Pariisin ilmastosopimukseen osana Euroopan unionia. Tavoitteena on edellyttää pitkän aikavälin ilmastotoimien rakentamista siten, että ennen vuotta 2050 EU saavuttaa hiilineutraaliuuden. Tämän hiilineutraaliuuden saavuttamiseksi on monia keinoja. Tässä opinnäytetyössä keskitytään asumisen ja rakentamisen sekä kiertotalouden hiilijalanjälkeen, joten esille tulevat keinot liittyvät enimmäkseen niihin.⁴

Keinoina hiilineutraaliuuden saavuttamiseksi rakennusosalalla täytyy luoda yhdessä alan toimijoiden kanssa hiilineutraaliuteen ohjaava toimenpidesuunnitelma, rakennuksen koko elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen pohjautuvaa säädösohjausta tulee kehittää ja jatkaa vähähiilisen rakentamisen tiekartan toteuttamista. Lisäksi materiaalien kierrätystä tehostetaan rakennusosalalla ja korvataan neitseelliset raaka-aineet kierrätysraaka-aineilla.⁵

Rakennusosalalla hiilineutraaliuuden saavuttamisen keinoja ovat esimerkiksi alan toimijoiden kanssa yhteistyössä luotava/tehtävä toimenpidesuunnitelma, rakennuksen koko elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen pohjautuvan säädösohjauksen kehittäminen sekä vähähiilisen rakentamisen tiekartan toteuttamisen jatkaminen. Lisäksi rakennusosalalla pitäisi tehostaa materiaalien kierrätystä ja neitseelliset raaka-aineet korvata kierrätysraaka-aineilla.⁶

³ Valtioneuvosto ja ministeriöt

⁴ Valtioneuvosto ja ministeriöt

⁵ Valtioneuvosto ja ministeriöt

⁶ Valtioneuvosto ja ministeriöt

2 TUOTTEEN HIILIJALANJÄLKI

Ympäristötietoisuus ja ympäristövaikutusten huomioiminen tuotteiden suunnittelussa on lisääntynyt yrityksissä. Tuoteryhmäkohtaiset asetukset ja ekotuotesuunnittelulle määrätty laki ohjaa energiaan liittyvissä tuotteissa.⁷

Elinkaariarvioinnissa (LCA) käytetään perusmenetelmänä palvelun tai tuotteen ympäristövaikutusten selvittämistä sen synnystä mahdolliseen kierrätykseen asti.⁸

Hiilijalanjälki perustuu ekologiseen jalanjälkeen sekä elinkaariarvointiin, mutta on itsessään silti erillinen mittari. Tämän takia hiilijalanjäljellä on useita erilaisia määritelmiä ja rajoituksia. Menetelmät eroavat siinä, mihin tarkastelu rajataan (tuote, prosessi, alue, valtio vai ihminen) ja mitkä kasvihuonekaasut otetaan huomioon. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmaistaan yhdellä luvulla ja se kertoo tarkasteltavat kasvihuonekaasut hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilijalanjäljen laskennassa on useita erilaisia laskureita, jotka antavat erilaisia tuloksia. Tämän takia Iso-Britannian standardiviranomainen (BSI) sekä Carbon Trust julkaisivat vuonna 2008 ja 2011 ohjeistuksen hiilijalanjäljen laskentaan (PAS 2050: 2011), minkä tavoitteena on vähentää laskureiden eroavaisuutta. Kesällä 2013 kansainvälinen standardisointijärjestö ISO julkaisi tuotteen hiilijalanjälkeä tarkastelevan tieteellisen spesifikaation ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases- Carbon footprint of product – Requirements and guidelines for quantification and communication, jonka tarkoituksena on vahvistaa hiilijalanjäljen laskentaa kaikille palveluille ja tuotteille.⁹

⁷ Antikainen, R., Mattila, T. 2010 S.11.

⁸ Ympäristö.fi. 2013

⁹ Ympäristö.fi. 2013

2.1 Hiilineutraalius

Hiilijalanjälki on termi, jota käytetään kuvaamaan kasvihuonekaasujen (GHG) määrää tietynlaisen toiminnan tai seurauksen kautta. Hiilijalanjäljen avulla yksilöt ja yritykset voivat arvioida oman vaikutuksensa ilmastonmuutokseen. Päästöjen ymmärtäminen sekä niiden lähteen tunnistaminen ovat välttämättömiä päästöjen vähentämiseksi. Aiemmin yritykset ovat keskittyneet omiin päästöihinsä, mutta nyt ne ovat yhä enemmän huolissaan koko toimitusketjun päästöistä.¹⁰

Toimitusketjun kasvihuonepäästöt, eli päästöt, joita yritys ei itse valvo, voidaan mitata joko yrityksen tasolla tai yksittäisen tuotteen tasolla. Sekä yrityksen että tuotetason toimitusketjun päästöjen arvioinnista on hyötyä.¹¹

Tuotteiden hiilijalanjäljen laskenta on tehokas tapa yritykselle kerätä tarvitsemansa tiedot. Näitä tietoja ovat esimerkiksi, kasvihuonekaasujen vähentäminen, kustannussäästömahdollisuuksien tunnistaminen, päästövaikutusten sisällytys päätöksentekoon, ympäristövastuullisuuden kantaminen ja tuotteiden hiilijalanjäljen vastaaminen asiakkaiden vaatimuksiin.¹²

¹⁰ PAS2050Guide.2008

¹¹ PAS2050Guide.2008

¹² PAS2050Guide.2008

3 STANDARDIT

3.1 PAS 2050

PAS 2050 on julkisesti saatavilla oleva määritelmä tuotteen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen arviointia varten. Sen on valmistanut BSI British Standards yhteistyössä Carbon Trustin ja ympäristöministeriön kanssa (Defra). PAS 2050 on itsenäinen standardi, joka on kehitetty kansainvälisten sidosryhmien, asiantuntijoiden, korkeakoulujen, liiketoimintojen, hallitusten ja kansalaisjärjestöjen merkittävällä panostuksella. Arviointimenetelmiä on testattu eri puolilla maailmaa toimivien yritysten ja heidän erilaisten tuotetyyppien kanssa, joka kattaa laajan tuotevalikoiman, mukaan lukien:¹³

- Tuotteet ja palvelut
- Valmistajat, jälleenmyyjät ja kauppiat
- Yritysten välinen (B2B) ja yritysten ja kuluttajan välinen (B2C)
- Ison-Britannian ja kansainväliset toimitusketjut.

PAS 2050 tarjoaa seuraavat hyödyt:

- Yritykselle se voi tarjota:
 - Sisäisen arvioinnin tuotteen elinkaaren kasvihuonekaasuista.
 - Vaihtoehtoisten tuotekokoonpanojen arvioinnin, vaihtoehtoiset toiminnot ja hankintavaihtoehdot sekä niiden vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin.
 - Tukea tuotteiden kasvihuonekaasujen vertailussa käyttämällä yhteistä, tunnustettua ja standardoitua lähestymistapaa.
 - Tukea yritysraportoinnissa.¹⁴

¹³ PAS2050Guide. 2008

¹⁴ PAS2050Guide. 2008

- Asiakkaille (jos yritykset haluavat tuotteen hiilijalanjäljet) se tarjoaa:
 - Luottamusta elinkaaren aikana tapahtuviin kasvihuonekaasupäästöihin, jotka perustuvat standardoituun ja vankkaan menetelmään.
 - Parempi käsitys tuotteiden ostoista ja miten ne vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöihin.¹⁵

3.2 ISO 14067:2018

ISO 14060 -standardisarja mahdollistaa täsmennystä ja yhtenäisyyttä kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien raportointiin, todentamiseen, seurantaan ja laskentaan. Tämä tarjoaa kestäväen kehityksen kannustamisen vähähiilisen järjestelmän kautta. Organisaatiot, projektien vetäjät ja sidosryhmät hyötyvät tästä ympäri maailmaa, koska se mahdollistaa täsmennystä ja johdonmukaisuutta kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien raportointiin, todentamiseen, seurantaan ja laskentaan.¹⁶

Standardisaraa ISO 14060 hyödyntämällä:

- Yhtenäistetään kasvihuonekaasujen laskentaa ympäristötavoitteiden kannalta.
- Kasvatetaan ja parannetaan kasvihuonekaasuihin liittyviä seurantoja, laskennoissa, raportoinneissa, varmenteissa ja todentamisten uskottavuudessa sekä johdonmukaisuudessa ja läpinäkyvyydessä.
- Toteutetaan kasvihuonekaasujen käsittelyä koskevissa suunnitelmien ja strategioiden laatimisessa ja toteuttamisessa.

¹⁵ PAS2050Guide. 2008

¹⁶ ISO14067. 2018

- Toteutetaan päästöjen vähentämiseen tai poistumien kasvattamiseen perustuvien vähentämistoimenpiteiden laatimisen ja toteuttamisen.
- Toteutetaan kasvihuonekaasupäästöjen leikkauksia tai niiden poistumien lisäämistä sekä suorituskyvyn ja etenemisen seuranta.¹⁷

3.3 Elinkaariarvioinnin standardit ISO 14040 ja ISO14044

ISO 14040 on kansainvälinen standardi, mikä kattaa elinkaariarviointiselvitykset (LCA-selvitykset) sekä elinkaari-inventaarioselvitykset (LCI-selvitykset). Standardissa ei käsitellä laajasti elinkaariarviointimenetelmää eikä tarkenneta elinkaariarvioinnin erillisten vaiheiden menetelmätekniikkoja. Lisäksi elinkaariarvioinnin tai inventaarioanalyysin lopputuloksissa otetaan huomioon tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, mutta itse soveltaminen ei tarkoituksen mukaisesti kuulu tähän standardin soveltamisalaan.¹⁸

ISO 14044 määrittelee vaatimukset ja antaa ohjeita elinkaariarvioinnille, mukaan lukien elinkaariarvioinnin tavoitteet, laajuuden määrittelyn, inventaarioanalyysin, elinkaarivaikutusten arviointi vaiheen, elinkaariarvio syklin tulkintavaiheen, raportoinnin, kriittisen tarkastelun, rajoitukset, elinkaarivaiheiden suhteen sekä arvovaihtojen valinnaisten alkutekijöiden käyttöehdot.¹⁹

¹⁷ ISO14067.2008

¹⁸ ISO14040.2006

¹⁹ ISO14044.2006

4 HIILIJALANJÄLKISELVITYKSEN RAJAT

Laskettaessa hiilijalanjälkeä voidaan laskenta suorittaa siten, että lähdetään kertomaan yhteen esimerkiksi materiaalin (1), energian kulutus (2) tai kuljetuksen matka (3) niiden omilla päästökertoimilla.

$$\begin{aligned}
 &\text{materiaalin päästöt (kgCO}_2\text{ekv.)} \\
 &= \text{materiaalin massa (kg)} \\
 &\quad * \text{materiaalin päästökerroin (kgCO}_2\text{ekv./ kg – materiaali)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{energian päästöt (kgCO}_2\text{ekv.)} \\
 &= \text{energian kulutus (MWh)} \\
 &\quad * \text{energian päästökerroin (kgCO}_2\text{ekv./MWh)}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{kuljetuksen päästöt (kgCO}_2\text{ekv.)} \\
 &= \text{kuljetuksen matka (km)} \\
 &\quad * \text{kuljetuksen päästökerroin (kgCO}_2\text{ekv./kg ajon km)}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Hiilijalanjätkilaskennan tai osittaisen hiilijalanjätkilaskennan täytyy sisältää elinkaariarvioinnin neljä eri vaihetta. Näitä ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, elinkaari-inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. Yksiköprosessien tuotejärjestelmät täytyy ryhmitellä eri elinkaarivaiheisiin, joita ovat esimerkiksi raaka-aineen hankinta, suunnittelu, valmistus, kuljettaminen, jakelu, käyttö ja käytöstä poistaminen. Kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat, mitkä koskevat tuotteen elinkaarta on suunnattava siten, että ne osoittavat siihen elinkaa-

ren vaiheeseen, missä tiedossa olevat kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat tapahtuvat. Hiilijalanjälki pystytään myös laskea osittaisesta hiilijalanjäljestä, mutta niiden täytyy olla laskettu samoja menetelmiä käyttäen ja samana ajanjaksona sekä niihin ei saa sisältyä aukkoja tai päällekkäisyyksiä. Edellä mainittuun tapaan osittaisen hiilijalanjäljen voi laskea esimerkiksi rakennusalalla, missä osittainen hiilijalanjälki aineelle tai valmistamiselle lasketaan.²⁰

4.1 Hiilijalanjäljen tuoteryhmäsääntöjen käyttäminen

Hiilijalanjäljen tuoteryhmäsääntöjen käyttämisessä täytyy hyödyntää jo nykyisiä ja päteviä tuoteryhmäsääntöjä ja hiilijalanjäljen tuoteryhmäsääntöjä. Nämä tuoteryhmäsäännöt ovat silloin päteviä, kun ne on laadittu joko teknisen spesifikaation ISO/TS 14027 mukaisesti tai pätevän alakohtaisen ja standardissa ISO 14044 esitettyjen vaatimuksien mukaisesti.

4.2 Hiilijalanjälkiselvityksen tavoite ja rajauskriteerit

Hiilijalanjälkiselvityksen tavoite on, että sillä lasketaan valitun tuotteen todennäköinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂e), johon on laskettu kaikki keskeiset kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat koko tuotteen elinkaaren ajalta tai valituista prosesseista käyttämällä rajauskriteereitä. Laskentaan tarvitaan kaikki sellaiset prosessit ja virrat, mitkä on mahdollista yhdistää tutkittavaan järjestelmään. Kuitenkin, jos joidenkin yksittäisten materiaali- tai energiavirtojen todetaan olevan tarpeettomia jonkin tietyn yksikköprosessin hiilijalanjäljen laskennan kannalta, on ne mahdollista rajata pois käytännön syistä. Tällöin ne täytyy raportoida tietorajauksina.²¹

²⁰ ISO14067.2008

²¹ ISO14067.2008

Tavoitteista hiilijalanjälkiselvityksen määrittelemiseen täytyy löytyä seuraavat asiat selkeästi: Aiottu käyttötarkoitus, syyt hiilijalanjälkiselvitykseen, suunniteltu kohdeyleisö sekä hiilijalanjäljen tai osittaisen hiilijalanjäljen tietojen viestintä käytäen standardia ISO 14026.²²

Hiilijalanjälkiselvityksessä täytyy olla tarkat rajat, mitkä kaikki yksikköprosessit sisällytetään sekä millä tarkkuudella näitä tutkitaan.²³

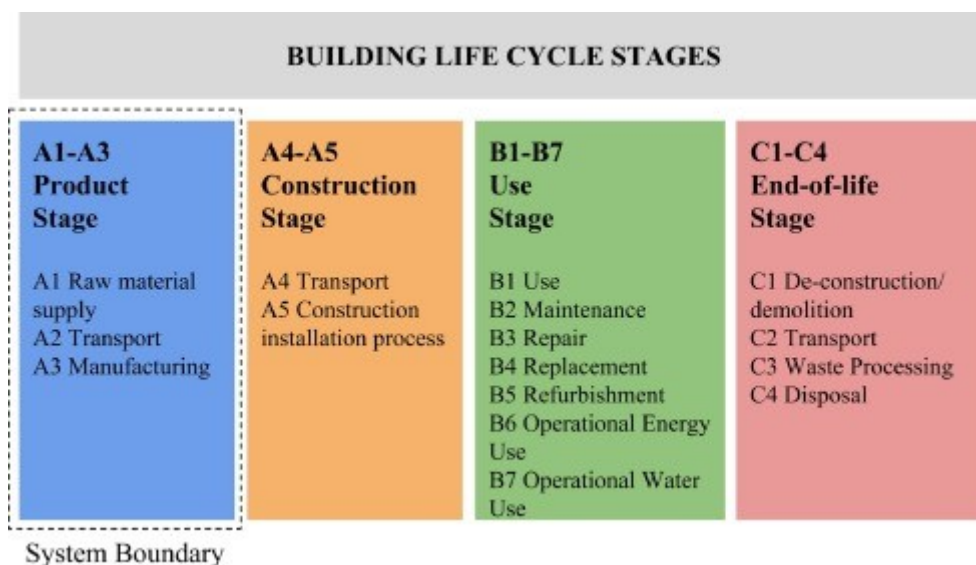
4.3 Hiilijalanjäljen elinkaari-inventaariovaihe

Elinkaari-inventaario vaihe tarkoittaa sitä, että tuotteen elinkaaren aikaiset tuotokset ja syötteet kuvataan ja koostetaan kvantitatiivisesti. Elinkaari-inventaarioon sisältyviä laadullisia ja määrällisiä informaatioita on koottava kaikista yksikköprosesseista (kuvio 1), jotka kuuluvat tutkittavaan järjestelmään. Lähtötiedot, jotka on kerätty, mitattu, laskettu tai arvioitu, käytetään yksikköprosessien tuotosten ja syötteiden kokonaismäärien ilmaisemiseen. Olennaiset yksikköprosessit dokumentoidaan selvitysraporttiin hiilijalanjäljestä.²⁴

²² ISO14067.2008

²³ ISO14067.2008

²⁴ ISO14067.2008



Kuvio 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet.²⁵

4.4 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointivaiheessa hiilijalanjälkiselvityksessä täytyy jokaisen tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästön ja -poistuman mahdollinen ilmastomuutosvaikutus laskea siten, että kerrotaan vapautunut tai poistunut kasvihuonekaasun massa ilmaston sadan vuoden lämmityspotentiaalilla (GWP_{100}), mikä yksikkönä ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina ($kgCO_2$ -ekv.). Lämmityspotentiaaliarvot muuttuvat IPCC: n määritelmien mukaan, joten laskennassa on aina käytettävä tuoreimpia arvoja.²⁶

4.5 Tulkinnat tuloksista

Hiilijalanjäljen tai osittaisen hiilijalanjäljen tulosten tulkintavaiheen on käsitettävä tietyt ehdot. Näitä ehtoja ovat muun muassa keskeisten seikkojen yksilöinti, joka pohjautuu hiilijalanjäljen ja osittaisen hiilijalanjäljen laskemisen vaikutusarviointi-

²⁵ S.Eleftheriadis, P.Duffour, D. Mumovic. 2018.

²⁶ ISO14067.2008.

ja elinkaari-inventaarioanalyysivaiheissa laskettuihin lopputuloksiin. Merkittäviä ehtoja voivat myös olla esimerkiksi elinkaaren vaiheet, yksikköprosessit ja virrat.²⁷

4.6 Raportointi

Hiilijalanjäljen selvitysraportin tarkoituksena on se, että se kuvailee hiilijalanjälkiselvityksen sisältäen hiilijalanjäljen tai osittaisen hiilijalanjäljen. Tulokset ja johtopäätökset hiilijalanjälkiselvityksestä täytyy esittää raportissa puolueettomasti. Lisäksi tulosten, tietojen, menetelmien, olettamusten ja tulosten tulkinnan täytyy olla selkeitä ja avoimia, jotta lukija pystyy ymmärtämään vaikeudet ja valinnat, mitkä sisältyvät hiilijalanjälkiselvitykseen. Tyyppi ja muoto hiilijalanjälkiselvitysraportissa täytyy määrittää tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaiheessa, mitkä on valittu hiilijalanjälkiselvitykseen. Tulosten ja tulkinnan käyttö on myös mahdollistettava hiilijalanjäljen selvitysraportissa sen tavoitteiden mukaisesti.²⁸

²⁷ ISO14067.2008.

²⁸ ISO14067.2008.

5 SOLULASISEINÄELEMENTTI

Tässä työssä lasketaan solulasiseinäelementin hiilijalanjälki. Valmis solulasiseinäelementti on esitetty kuviossa 2.

Tuotteen pääraaka-aineena käytetään solulasia (cellular glass), joka toimii eristeenä ja kantavana rakenteena. Solulasi tulee ukrainalaiselta tai kiinalaiselta toimittajalta ja siinä on käytetty ainoastaan kierrätettyä piidioksidilasia ja vaahdotusaineita.²⁹

Seinäelementin pituus on 2 500 mm ja leveys 1 320 mm, joten kokonaispinta-ala yhdelle elementille on 3,3 m². Sen rakenne on seuraavanlainen (kuvio 3): sisäpinta on vaneria tai kipsilevyä ja solulasi on seinäelementin välissä kantavana ja eristävänä rakenteena. Solulasit on kiinnitetty toisiinsa palouretaanivaahdolla ja niiden tueksi on liitetty kolme lautaa yhtä elementtiä kohden. Nämä laudat on sijoitettu siten, että ne ovat 400 mm välein. Kiinnikkeet ja levyruuvit on asetettu siten, että ne kiinnittyvät 100 mm välein leveyssuunnassa ja 500 mm välein pituussuunnassa. Seinäelementin ulkopinnalle jää lautaseinä, jota ei kuviosta 2 pysty näkemään.³⁰

Materiaalit ja kiinnitysvälineet, joita yhden seinäelementin rakentamiseen tarvitaan ovat kuvattu taulukossa 1.

²⁹ Virtanen. J. ECO2WALL.2020.

³⁰ Virtanen. J. ECO2WALL.2020.

Taulukko 1. Seinäelementissä käytettävät materiaalit.

Lauta 22x100
Solulasi 120
Viilulevy, koivu – 21 mm (paksuus)
Kiinnike; Vilpe Croco B-110–200
Levyruuvi 7981 C Ph Zn 4,8 x 70
Palouretaanivaaho
Puuruuvi 4,2 x 45

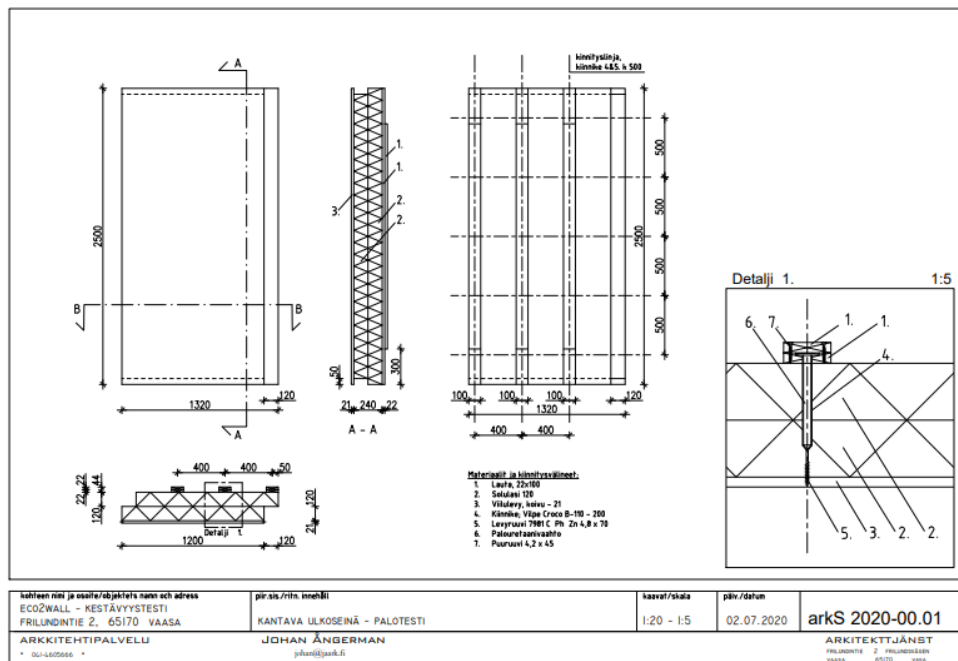


Kuvio 2. ECO2WALL solulasiseinäelementti.³¹

Solulasin hyvänä ominaisuutena on kierrätysmateriaalista valmistettu eriste, joka sitoo hiilidioksidia ja pienentää hiilijalanjälkeä. Sen lämmöneristys on erittäin hyvä ja vesi- ja höyrytiivis rakenne ei ime kosteutta toimien samalla höyrynsulkuna. Puristuskestävyytensä ansiosta sillä on myös hyvät lujuusominaisuudet ja sitä voidaan käyttää kantavana rakenteena. Lisäksi rakentamisessa se tuo säästöä kevyensä ansiosta.³²

³¹ Virtanen. J. 2020. ECO2WALL

³² Virtanen. J. 2020. ECO2WALL



Kuvio 3. Seinäelementin pohjapiirustus.³³

³³ Virtanen. J. 2020. ECO2WALL

6 SEINÄELEMENTIN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN

Nyt, kun edellä mainitut laskentaperiaatteet on selvitetty, aloitetaan opinnäytetyön tarkastelu seinäelementin hiilijalanjäljen laskentaa varten.

Tässä kappaleessa keskitytään laskentaprosessiin ja edellä mainittuihin standardeihin, joiden vaatimuksia käyttäen laskenta on tehty ja toteutettu. Työssä on hyödynnetty saatavilla olevaa dataa, joita ECO2WALL ja sen toimittajat ovat antaneet.

6.1 Laskennan rajaus

Tämä laskenta rajataan siten, että se ei tule käsittelemään solulasiseinäelementistä tulevaa jätettä, uudelleenkäyttöä, korjausta ja kierrätyspotentiaalia. Muiden kuin solulasin materiaalienkuljetuksista aiheutuvia päästöjä ei myöskään huomioida, johtuen haastavasta tiedonsaannista, ajankäytöllisistä syistä ja niiden osuus kuljetuksen päästöistä on kuitenkin todennäköisesti paljon solulasin kuljetuksesta johtuvia päästöjä pienempi. Lisäksi laskennassa ei huomioida logistiikan tuomien materiaalien takaisin menomatkaa. Myös ruuvien ja kiinnikkeiden kohdalla on tehty poikkeus eikä niiden päästöjä ole laskettu itse, vaan päästökerroin ja materiaalien määrät (kg) yhdessä rakenne neliössä m^2 on otettu Mika Liljeqvistin opinnäytetyöstä.³⁴

6.2 Prosessikaavion vaiheet

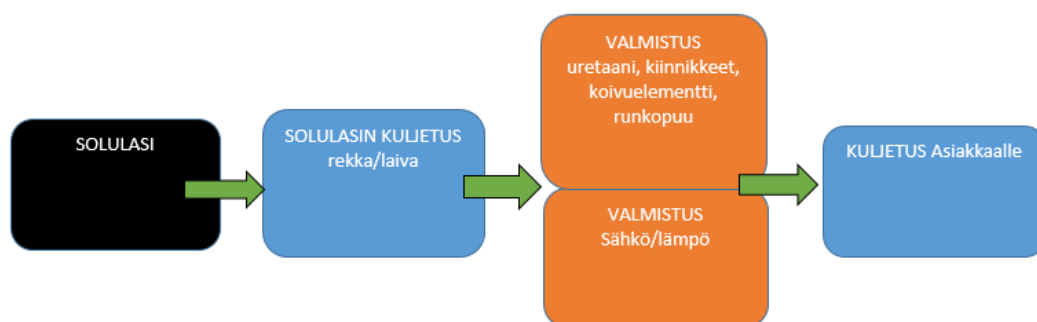
Prosessikaavion vaiheiden tavoitteena on tunnistaa kaikki materiaalit, toiminnot ja prosessit, jotka edistävät valitun tuotteen elinkaarta. Prosessikaavio auttaa ra-

³⁴ Liljeqvist, M. 2018. S. 21–22

kentamaan ja tarkentamaan tutkimusta ja toimitusketjua. Prosessikaavio on arvokas työkalu, joka tarjoaa hyvän lähtökohdan tietojen keräämiselle ja hiilijalanjäljen laskemiselle.³⁵

Prosessikaavio on aloitettu siten, että siinä on rikottu tuoteprosessin toiminnalliset yksiköt. Näitä ovat kaikki tuotteessa käytettävät komponentit (esim. raaka-aineet, pakkaukset, energia ja kuljetukset).³⁶

ECO2WALL:n solulasielementin laskuprosessia varten on selvitetty laskemisen prosessikaavio. Prosessikaavio on esitetty alla olevassa kuviossa 4. Prosessikaavio on rakennettu siten, että se seuraa PAS2050- ja ISO 14067 -standardeja.



Kuvio 4. ECO2WALL -prosessikaavio.

6.3 Hiilijalanjälkilaskuri, päästökertoimet ja laskennan kulku

Tämä hiilijalanjälkilaskuri on tehty käyttäen edellä mainittuja standardeja ja valmiitten tuotekohtaisten laskurien puuttuessa on laskenta tehty itse. Mallia on kuitenkin otettu yrityksille suunnatusta Y-Hiilari-laskentatyökalusta³⁷, josta on sovel-

³⁵ PAS2050Guide.2008

³⁶ PAS2050Guide.2008

³⁷ Y-hiilari.2013

lettu kuljetuksista aiheutuvat päästöt. Lisäksi mallia on otettu rakennusten hiilijalanjälki Synergia-laskurista³⁸, jota soveltaen on laskettu materiaaleista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt.

6.3.1 Laskennan kulku

ECO2WALLin seinäelementistä saadut tiedot, joihin sisältyi raakamateriaalit, kuljetukset, valmistustuotteet ja energiat kerättiin Excel-taulukkoon. Tiedot ovat vuodelta 2019–2020 ja ne lisättiin Excel-taulukoihin. Jotta yritys voisi käyttää laskuria asiakkaan toiveiden, kuljetusmatkan ja päästökertoimien muuttuessa, on tiedot helppo muuttaa ja näin sen jatkokäyttö on sujuvaa. Hiilijalanjäljen päästökertoimet on valittu siten, että se kuvailisi seinäelementin hiilijalanjälkeä parhaalla mahdollisella tavalla. Päästökertoimet on valittu monista eri lähteistä ja kaikki lähteet on merkitty laskuriin.

6.4 Sähkö- ja lämpöenergiankulutus

Sähkönkulutus yrityksellä oli vuoden 2019–2020 aikana 5,10 MWh/a, jolloin yleissähkön päästökertoimella 141 kgCO₂-ekv /MWh laskettuna kokonaispäästöt sähkön osalta ovat kaavan (2) mukaan olivat

$$5,10 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} * 141 \text{ kgCO}_2\text{e./MWh} = 718,7 \text{ kgCO}_2\text{e.}$$

(Taulukko 2). Kuitenkin, kun lasketaan sähkön- ja lämpöenergiankulutusta tuotteeseen sisältyvään hiilijalanjälkeen, on elementtien rakentamisen määrä suunniteltu tähän laskelmaan mukaan.

³⁸ Synergia.2013

$$\frac{5,10 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} * 141 \text{ kgCO}_2\text{e./MWh}}{110 \frac{\text{elementti}}{\text{a}}} = 6,5 \text{ kgCO}_2\text{e./elementti}$$

$$\frac{6,5 \text{ kgCO}_2\text{e./elementti}}{3,3 \text{ m}^2} = 2,0 \text{ kgCO}_2\text{e./m}^2$$

ECO2WALL rakentaa noin 4 taloa vuodessa ja yhteen taloon tarvitsee noin 25–30 elementtiä (laskennassa on käytetty keskiarvoa 27,5 elementtiä per talo). Näin ollen vuodessa ECO2WALL rakentaa 110 elementtiä ja kun yhden elementin koko on 3,3 m² niin yhdelle elementille saadaan päästöksi 6,5 kgCO₂-ekv /elementti. Kun laskenta viedään haluttuun yhden neliömetrin tarkkuuteen, niin tulokseksi saadaan 2,0 kgCO₂-ekv /m².

ECO2WALL rakentaa elementtejä hallissa, jossa on käytössä kaukolämpö. Lämpöenergian kulutukset olivat vuoden 2019–2020 aikana 4,20 MWh (taulukko 2) ja sen päästökertoimenä on käytetty Vaasan sähkön vuoden 2019 kaukolämmöntuotannon kerrointa 62 kgCO₂-ekv. Lämpöenergian kokonaispäästöt kaavan (2) avulla laskettuna ovat 260,5 kgCO₂-ekv. Samalla tavalla kuin sähkönkulutuksessa on tässäkin käytetty elementtien rakennusmääriä 110 kpl /vuosi, joten päästöt ovat yhtä elementtiä kohti 2,4 kgCO₂-ekv / elementti. Kun tämäkin halutaan haluttuun mitayksikköön, on tulos yhdelle neliömetrille 0,7 kgCO₂-ekv/m².

Yhteensä energiankulutuksesta johtuvat päästöt ovat siis yhdelle elementille 8,9 kgCO₂-ekv/elementti ja yhdelle neliömetrille 2,7 kgCO₂-ekv/m².

Taulukko 2. Seinäelementtitehtaan energiankulutus.

Energia	MWh/a	Päästökerroin kgCO ₂ -ekv /MWh	kgCO ₂ -ekv/elementti	kgCO ₂ -ekv/m ²
Sähkö	5,10	141	6,5	2,0
Lämpö	4,20	62	2,4	0,7
Yhteensä				2,7

6.5 Kuljetukset

6.5.1 Ukraina

Kuljetukset tulevat osittain Ukrainasta ja silloin käytössä on puoliperävaunuyhdistelmä (40 t/25 t), jonka päästökerroin täydellä kuormalla on 0,0385 kgCO₂-ekv/tkm (tonnikilometri)³⁹(kaava 3).

$$0,0385 \text{ kgCO}_2 \frac{\text{ekv}}{\text{tkm}} * 2160 \text{ km} = 83 \text{ kgCO}_2 - \text{ekv/t}$$

$$0,0385 \text{ kgCO}_2 \frac{\text{ekv}}{\text{tkm}} * 2160 \text{ km} * 0,018 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} = 1,5 \text{ kgCO}_2 \frac{\text{ekv}}{\text{m}^2}$$

Tämä päästökerroin kerrotaan matkan määrällä ja tulokseksi saadaan 83 kgCO₂-ekv. Tarkkaa tietoa ei Ukrainasta tulevasta reitistä ja kilometrimäärästä ole, mutta arvioitu matka on noin 2160 km. Kun kuljetettavaan tuotteeseen halutaan päästöt yhtä neliometriä kohti, on laskentaan tällöin suhteutettava solulasin paino, joka on 0,018 t/m². Tällä painomäärällä kerrotaan päästökerroin ja kokonaismatka ja tulokseksi saadaan 1,5 kgCO₂-ekv/m² (taulukko 3).

³⁹ L VTT.2017

Taulukko 3. Kuljetuksen päästöt Ukrainasta.

Kuljetustapa	Ajosta aiheutuva suora päästö yhteensä kgCO ₂ -ekv	Solulasin painoon suhteutettu kgCO ₂ -ekv/m ²
Puoli-perävaunun yhdistelmä	83	1,5

6.5.2 Kiina

Kiinasta tulevat kuljetukset tulevat merikonteissa Helsingin satamaan ja käytössä on silloin konttialukset 1000 TEU tai 2000 TEU, joiden päästökertoimet ovat 0,042 kgCO₂ekv/tkm (tonnikilometri) ja 0,028 kgCO₂ekv/tkm (tonnikilometri)⁴⁰. Konttialukseksi laskennassa on valittu 1000 TEU. Selvää reittiä ei ole tiedossa, joten arvioitu matka on noin 14 000 km. Kun tavara lähtee Helsingin päästä Vaasaan, niin tulee se puoliperävaunun yhdistelmällä (40 t / 25 t), jonka päästökerroin on täydellä kuormalla 0,0385 kgCO₂-ekv/tkm (tonnikilometri)⁴¹ ja jonka kuljetusmatka on 423 kilometriä.

Laskenta on tehty samalla tavalla kuin edellisessäkin kuljetuslaskelmassa (kaava 3). Laskennassa on siis huomioitu kilometrit ja kerrottu ne niiden omilla päästökertoimilla, jonka jälkeen kerrottu solulasin painolla 0,018 t/m², jolloin kaavalla (3) saadaan tulokseksi laivamatkalle ja maantiekuljetukselle, jotka tekevät yhteensä 11 kgCO₂-ekv/m² (taulukko 4).

⁴⁰ L VTT.2017

⁴¹ L VTT.2017

Taulukko 4. Kuljetuksen päästöt Kiinasta.

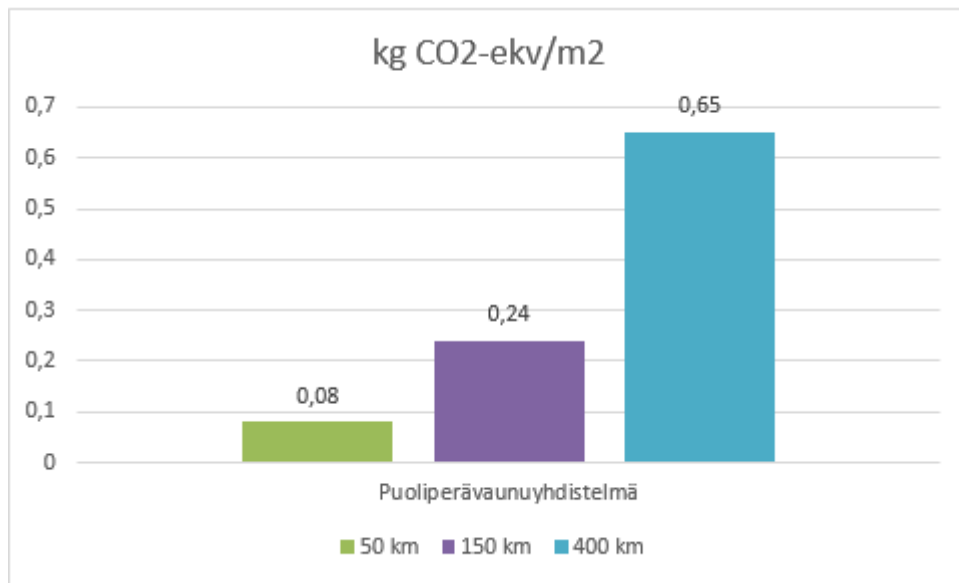
Kuljetustapa	Ajosta aiheutuva suora päästö yhteensä kgCO ₂ -ekv	Solulasin painoon suhteutettu kgCO ₂ -ekv/m ²
Konttialus	588,0	10,7
Puoliperävaunuyhdistelmä	16,3	0,29
Yhteensä	604	11

6.5.3 Kuljetukset seinäelementtitehtaalta asiakkaalle

Valmiit seinäelementit kuljetetaan asiakkaille yli 50 kilometrin matkalle perävaunullisella yhdistelmällä (60 t /40 t) ja alle 50 kilometrin matkalle jakelukuorma-autolla (15 t /9 t).

Laskurissa tämä on huomioitu siten (kaava 3), että materiaalien määrät yhtä rakennenelementtiä kohti on muutettu tonneiksi ja laskettu yhteen. Etuna tässä on, että jokaiselle asiakkaalle on helppo laskea hiilijalanjälki syöttämällä vain matkan pituus valmiiksi merkittyyn soluun. Näin jokaiselle asiakkaalle saadaan asiakaskohmainen hiilijalanjälki.

Kuviossa (5) on esimerkkituloksia asiakkaalle kuljetettavan seinäelementin hiilijalanjäljestä kgCO₂-ekv/m². Esimerkissä on käytetty vain puoliperävaunuyhdistelmää, koska jakelukuorma-autolla kuljetettavat matkat ovat niin lyhyitä, että niistä saadut tulokset ovat mitättömän pieniä.



Kuvio 5. Kuljetus asiakkaille.

6.6 Materiaalien päästöt

Materiaalien päästöissä tulee selvittää, kuinka paljon eri materiaalit tuottavat päästöjä. Siksi jokainen materiaali lasketaan erikseen ja saadaan selville, paljonko materiaalia yksi neliometri sisältää. Kun jokaisen materiaalin tuotekohtaiset päästöt on laskettu, niin ne yhteenlasketaan ja lopputulokseksi saadaan hiilidioksidipäästöt yhtä neliometriä kohti (kaava 1):

$$\begin{aligned}
 \text{Solulasi} &= 1 \text{ m} * 1 \text{ m} * 0,15 \text{ m} = 0,15 \text{ m}^3 \\
 &= 0,15 \text{ m}^3 * 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 18 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 1,64 \text{ kgCO}_2\text{ekv./kg} = 29,52 \text{ kgCO}_2\text{ekv/m}^2
 \end{aligned}$$

Jokaisen materiaalin kohdalla tulee ilmoittaa materiaalin rakennepaksuus, jotta saadaan selville materiaalin määrät yhdessä rakenneleneliössä. Osa laskennan ominaispainoista on otettu suoraan SYNERGIA-laskurista⁴² ja osa laskettu itse.⁴³

Laskennassa on huomioitu vaihtoehdot VA1 ja VA2 (Taulukko 5.), jossa ensimmäisessä on käytetty asiakkaalle tarjottavaa koivuvaneria (VA1) ja toisessa vaihtoehdossa kipsilevyä (VA2).

Materiaalien päästöjen selvitys aloitetaan laskemalla (kaava 1) materiaalien määrät (kg) yhdessä rakenneleneliössä. Kun materiaalien määrä yhdelle rakenneleneliölle on tiedossa, niin kerrotaan se päästökertoimella, joka solulasin tapauksessa on 1,64 kgCO₂-ekv/kg. Yhteensä päästöjä solulasista tulee siis 29,52 kgCO₂-ekv/m². Kun tämä laskenta on tehty jokaiselle materiaalille ja ne on laskettu yhteen, niin tulokseksi saadaan paljonko päästöjä yksi neliömetri tuottaa kilogrammoina.⁴⁴

Hiilivarastot on laskettu siten, että SYNERGIA-laskurista on otettu eri materiaalien hiilidioksidivarastot kgCO₂-ekv/kg ja kerrottu ne materiaalin ominaispainolla kg/m³ sekä materiaalipaksuudella m ja tulos on jaettu tuhannella. Esimerkkinä koivuvanerin hiilivarastot, jossa laskelmat tehty kertomalla materiaalin ominaispaino 660 kg/m³ hiilidioksidivarastoinnilla 1,6 kgCO₂-ekv/kg sekä materiaalipaksuudella 0,02 m. Näin tulokseksi on saatu 21,12 kgCO₂ekv hiilivarastoja yhdelle neliömetrille koivuvaneria.

$$\text{Hiilivarastot, koivuvaneri} = 660 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,6 \text{ kgCO}_2\text{ekv} * 0,02 = 21,12 \text{ kgCO}_2\text{ekv}$$

⁴² Synergia.2013

⁴³ Liljeqvist, M.2018. S. 21–22

⁴⁴ Liljeqvist, M.2018. S. 21–22

Taulukko 5. Materiaalien päästöt.

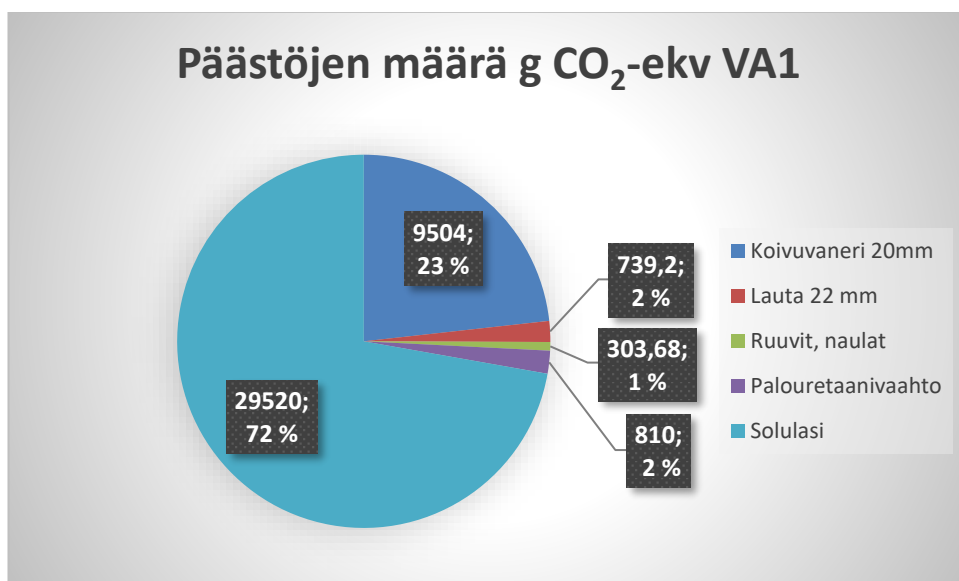
	Päästöjen määrä kgCO₂-ekv/m²	kgCO₂-ekv/m²	Hiilivarastot kgCO₂-ekv/m²
VA1	40,8	40,9	38,0
VA2	35,9	36,0	16,9

7 TULOSTEN VALIDOINTI JA VERTAILU

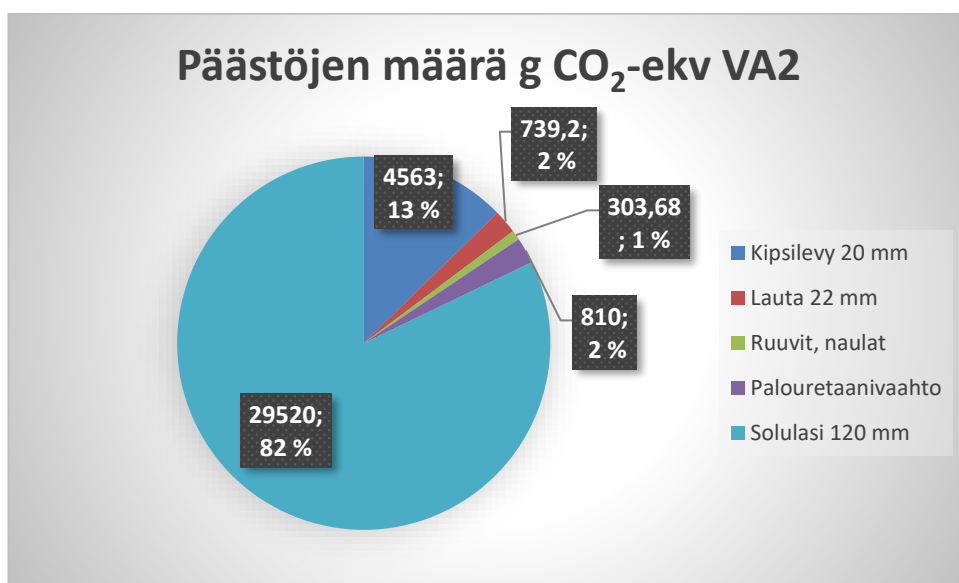
7.1 Materiaalien päästöjakauma ja vertailu VA1- ja VA2 -vaihtoehtoisissa

Kuten aikaisemmassa kappaleessa mainittiin, on VA1- seinäelementti laskettu käyttäen koivuvaneria ja VA2 -kipsilevyä. Kuten kuvioista 6 ja 7 voidaan todeta, että muutos yhden neliömetrin hiilidioksidipäästöihin ei ole suuri, mutta koivuvanerin hiilidioksidipäästöt ovat silti noin kaksinkertaiset verrattuna kipsilevyn päästöihin. Kokonaispäästöt VA1:n tapauksessa ovat 40,9 kgCO₂-ekv/m² ja VA2 tapauksessa 36,0 kgCO₂-ekv/m² (taulukko 5.). Kuitenkin tässä täytyy huomioida se, että kipsilevyn käyttö ei tuota minkäänlaista hiilivarastoa elementille vaan ainoa VA2:n hiilivarasto syntyy 22x100 mm tukilautoista. Kokonaisuudessaan VA1:n hiilivarasto on 38,0 kgCO₂-ekv/m² (taulukko 5.) ja VA2:n vain 16,9 kgCO₂-ekv/m² (taulukko 5.), joka on yli puolet pienempi kuin VA1 hiilivarasto.

Päätökseksi voidaan todeta, että VA1 -koivuvanerin käyttäminen on ympäristöystävällisempi vaihtoehto, joten lopuissa vertailuissa ja laskelmissa käytetään tätä tulosta.



Kuvio 6. Materiaalien/raaka-aineiden päästöjakauma VA1.



Kuvio 7. Materiaalien/raaka-aineiden päästöjakauma VA2.

7.2 Elementin hiilijalanjälki

7.2.1 Kiinasta tilattu solulasi

Solulasielementin hiilijalanjälki rakentuu eri edellä mainituista päästöistä ja ne on kirjattu alle (taulukko 6). Ensimmäinen kuvaaja on rakennettu siten, että siinä käytetään Kiinasta tilattua solulasia ja näin ollen sen kuljetus on tapahtunut meriteitse

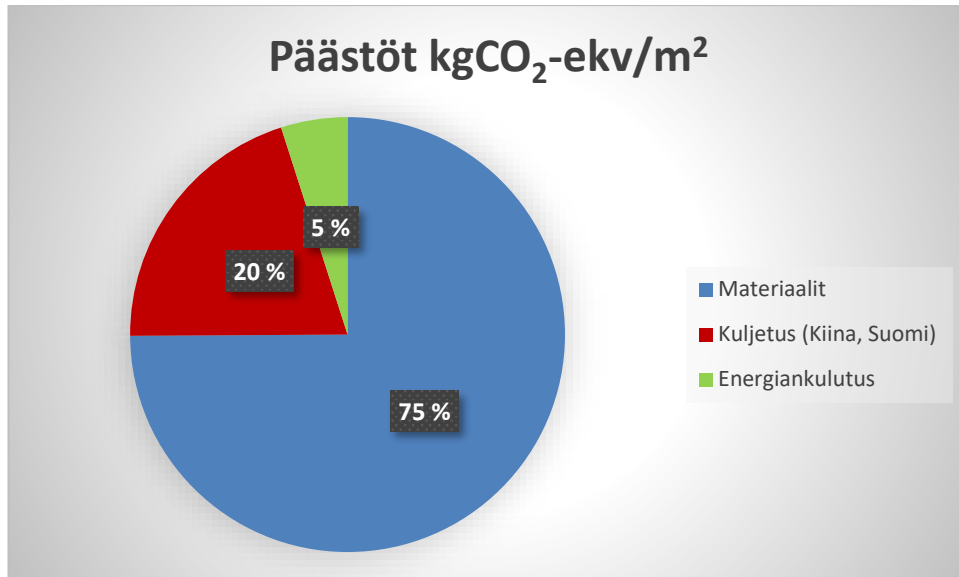
konttialus 1000 TEU:lla, jonka matkan pituus on 14 000 km ja Helsingistä se tulee Vaasaan puoliperävaunuyhdistelmällä (40 t/25 t) ja sen matka on 423 km.

Taulukko 6. Elementin hiilijalanjälki 1.

	Päästöt (kgCO ₂ -ekv/m ²)
Raaka-aineet	40,9
Energia	2,7
Kuljetus laiva + rekka (Kiina, Suomi)	11
Yhteensä	54,6

Alla olevasta kuviosta 8 voidaan todeta, miten päästöt jakautuvat solulasielementille. Päästöt raaka-aineille ovat 40,9 kgCO₂-ekv/m² ja prosentuaalisesti se kattaa 75 % päästöjen määrästä. Kuljetuksista aiheutuvat päästöt ovat toiseksi suurimmat ja niistä aiheutuvat päästöt ovat 11 kgCO₂-ekv/m² ja prosentuaalisesti se kattaa 20 % kokonaispäästöistä. Kolmantena on energiankulutus, johon sisältyy

sähkö- ja lämpöenergia. Niiden kokonaismäärä on 2,7 kgCO₂-ekv/m² ja se kattaa 5 % päästöistä.



Kuvio 8. Elementin hiilijalanjälki (Kiina).

7.2.2 Ukrainasta tilattu solulasi

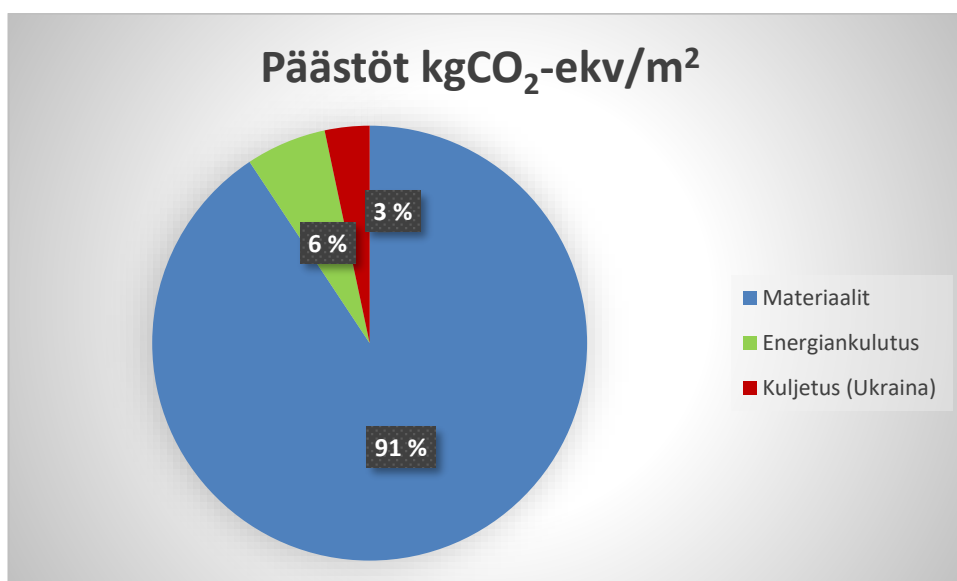
Toisessa laskennassa on tarkasteltu Ukrainasta tilattua solulasia ja näin ollen kuljetustapa on puoliperävaunuyhdistelmä (40 t/25 t) ja sen kokonaismatka on 2160 km.

Alla olevasta taulukosta 7 ja kuviosta 9 voidaan todeta, miten päästöt jakautuvat solulasielementille. Suurin päästö on tässäkin tapauksessa raaka-aineet, jotka kattavat 40,9 kgCO₂-ekv/m², mikä tarkoittaa 91 % päästöistä. Toisena tässä variaatiossa on energiankulutus, joka kattaa sähkö- ja lämpöenergian ja päästöjä syntyy 2,7 kgCO₂-ekv/m², joka on prosentuaalisesti 6 % kokonaispäästöistä. Kolmantena on kuljetus, jonka päästöt ovat 1,5 kgCO₂-ekv/m², ja se kattaa prosentuaalisesti 3 % kokonaispäästöistä.

Taulukko 7. Elementin hiilijalanjälki 2.

	Päästöt (kgCO ₂ -ekv/m ²)
--	--

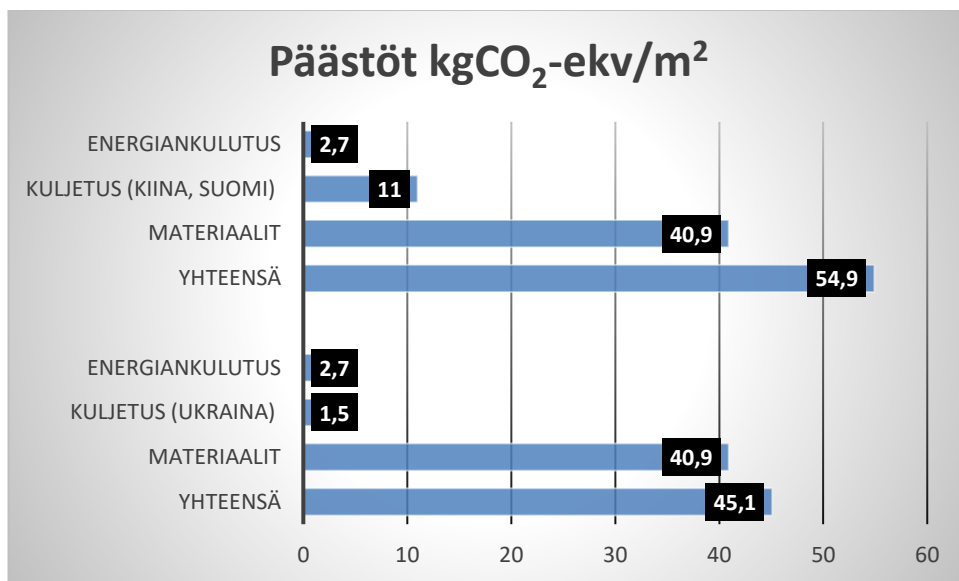
Raaka-aineet	40,9
Energia	2,7
Kuljetus rekka (Ukraina)	1,5
Yhteensä	45,1



Kuvio 9. Elementin hiilijalanjälki (Ukraina).

7.2.3 Vertailu tilattavien solulasien päästöissä

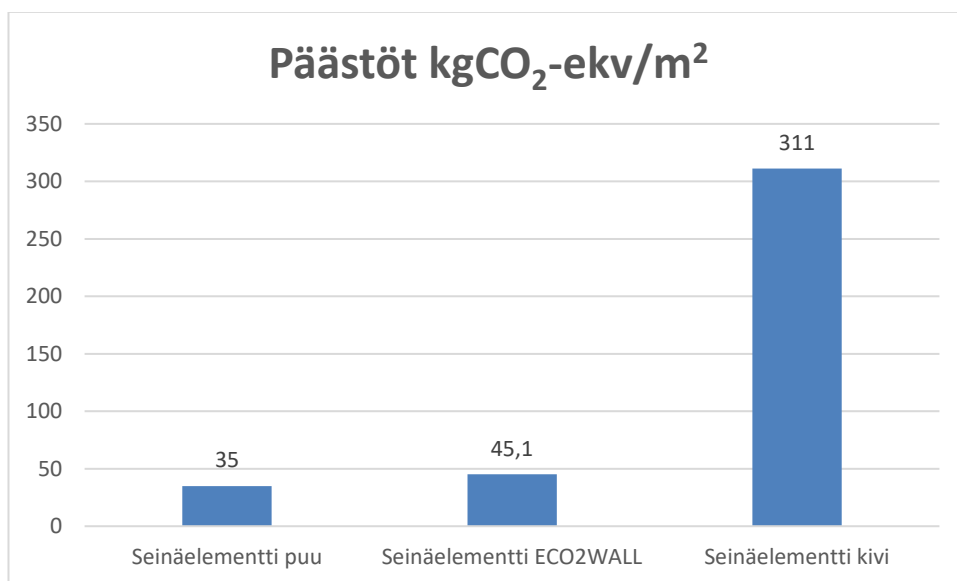
Kuviosta 10 voidaan todeta, että kuljetuksen päästöt kasvavat huomattavasti, kun solulasia tilataan Kiinasta. Kuljetuksen aiheuttamat päästöt Kiinasta merilaivakonteilla ja Helsingistä rekalla Vaasaan ovat 11 kgCO₂-ekv/m². Kun taas Ukrainasta tilattavan materiaalin kuljetuksen päästöt ovat vain 1,5 kgCO₂-ekv/m². Kuljetusten päästökertoimet ovat molemmissa melkein samat. Laivakuljetuksessa päästökertoimen on 0,042 kgCO₂-ekv/tkm (tonnikilometri) ja puoliperävaunuyhdistelmässä 0,0385 kgCO₂-ekv/tkm (tonnikilometri), joten voidaan todeta, että Kiinasta tilattavan solulasin suurimpana ongelmana on pitkä kuljetusmatka.



Kuvio 10. Vertailu tilattavien solulasien päästöissä.

7.3 Vertailu ECO2WALL-seinäelementin päästöistä muihin materiaaleihin

Tässä kappaleessa vertaillaan muiden materiaalien seinäelementtien hiilijalanjälkeä (kuvio 11). Vertailussa on käytetty ECO2WALL -solulasiseinäelementtiä muihin yleisessä käytössä oleviin rakennusmateriaaleihin, joita ovat puu ja kivi. Vertailussa on käytetty ECO2WALL-solulasielementin parempaa tulosta, jolloin solulasi on Ukrainasta tilattua ja sisältää koivuvaneria (VA1).



Kuvio 11. Elementtien hiilijalanjälkivertailu.⁴⁵

Vertailussa (kuvio 11) voidaan huomata, että puinen seinäelementti on näistä kolmesta vertailun kohteesta päästöttömin ja kivinen kaikista runsaspäästöisin. Puisen elementin etuna on myös se, että se sitoo hiilidioksidia koko elinkaarensa ajan ja toimii näin ollen hiilivarastona. ECO2WALL -solulasiseinäelementin päästöt ovat hieman suuremmat kuin puisessa seinäelementissä, mutta puurakentamisen etuna on juuri edellä mainittu hiilidioksidin varastointi, jota siinä on huomattavasti enemmän kuin ECO2WALL -seinäelementissä. Johtopäätökseksi voidaan todeta, että puinen rakentaminen on hiilineutraaliuden kannalta paras vaihtoehto. Kuitenkin ECO2WALL -solulasiseinäelementin etuna on, että se on erittäin kestävä, kevyt ja helposti asennettava. Se myös vaatii vähemmän huoltoa ja on myös vastustuskykyisempi ulkoisille vaikutuksille, kun vertaa esimerkiksi puurakenteisiin. Pitkällä aikavälillä solulasiseinäelementti voi olla verrattavissa muihin materiaaleihin pienen lämmönjohtavuuden ja kestävyytensä ansiosta.⁴⁶

⁴⁵ Claudelin, A. 2015. S.28

⁴⁶ Kunic, R. 2017. S.15

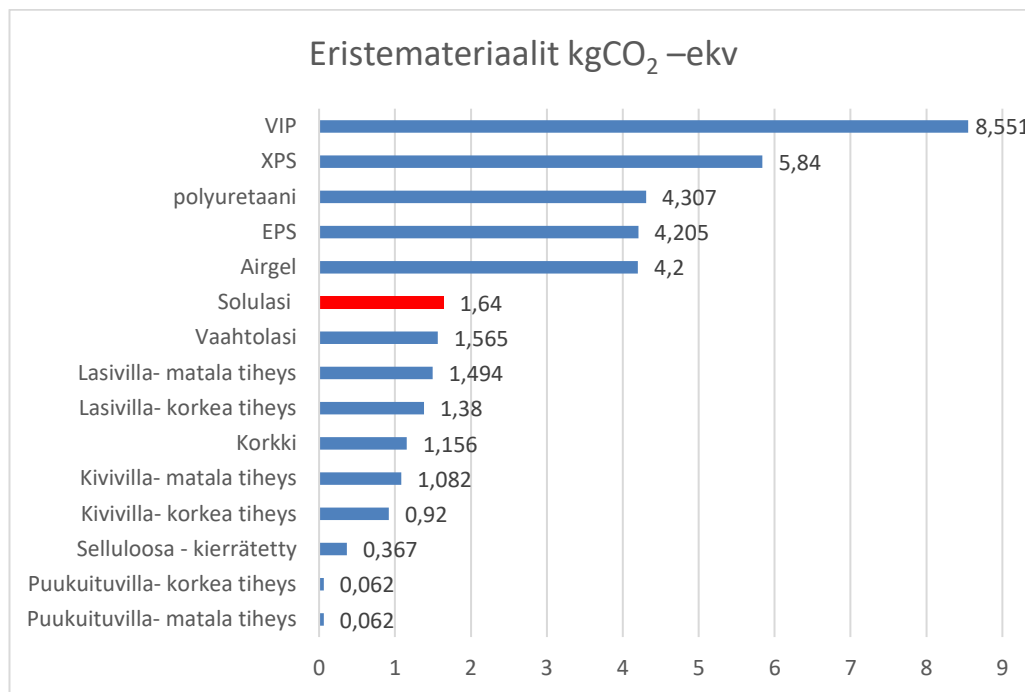
7.4 Vertailu eri eristysmateriaalien päästöistä

Vertaillen eri eristysmateriaalien hiilidioksidipäästöjä on huomattava se, että synteettisillä tai muovisilla materiaalivalinnoilla on paljon suurempi ympäristövaikutus kuin luonnonmateriaaleilla. Kuten kuviosta 12 voidaan todeta, puupohjasilla eristysmateriaaleilla on vain vähän negatiivisia ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi kierrätetty selluloosa on yleensä valmistettu sanomalehtipaperista, jolloin sen päästöt ovat vain 0,367 kgCO₂-ekv/kg. Puupohjaisissa tuotteissa merkittävä osuus hiilijalanjäljestä johtuu lisäaineista, jotka estävät mädäntymistä, hajoamista ja palamista.⁴⁷

Kun tarkastellaan lasipohjaisen solulasin hiilijalanjälkeä kuviosta 12, on sen päästöt 1,64 kgCO₂-ekv, joka on paljon suurempi kuin luonnollisten eristysmateriaalien hiilijalanjälki, jotka taas vaihtelevat keskimäärin 0,062–1,156 kgCO₂-ekv välillä. Kuitenkin synteettiset- ja muovimateriaalit ovat erittäin kestäviä, pienkokoisia, va-

⁴⁷ Kunic, R. 2017. S.15

kaita, helpommin asennettavia, vaativat vähemmän huoltoa, kestävät yleensä paremmin ulkoisia vaikutuksia ja omaavat usein matalamman lämmönjohtavuuden huolimatta niiden erittäin pienistä tiheyksistä.⁴⁸



Kuvio 12.Eristemateriaalit⁴⁹

Eristemateriaalien hiilijalanjälkilaskelmat ovat osoittaneet, että niiden arviointi ja huomioon ottaminen tavalla, jossa ympäristövaikutukset huomioidaan painoyksikköä kohden eivät ole sopivia ja voivat johtaa harhaanjohtaviin päätöksiin. Tämä johtuu siitä, että analyysissä täytyy ottaa huomioon tiheyden ja lämmönjohtavuuden ero kutakin lämmöneristysmateriaalia kohti. Lisäksi tehokkain toimenpide ympäristövaikutusten vähentämiseksi on rakennusten oikea lämmöneristysmateriaalien valinta. Synteettisten tai muovimateriaalien suorituskyky on huonompi verrattuna luonnonmateriaaleihin koko ympäristövaikutusten arvioinnissa. Ajan

⁴⁸ Kunic, R. 2017. S.15

⁴⁹ Kunic, R. 2017. S.15

myötä nämä materiaalit ovat kuitenkin erittäin kestäviä, pienkokoisia, vakaita ja helposti asennettavia. Ne vaativat myös vähemmän huoltoa, ovat yleensä vastustuskykyisempiä ulkoisille vaikutuksille ja usein omaavat myös pienemmän lämmönjohtavuuden, huolimatta niiden erittäin alhaisesta tiheydestä. Keinotekoisilla materiaaleilla voi kuitenkin olla toivottuja hiilijalanjälkeen pienentäviä vaikutuksia pitkällä aikavälillä verrattavissa muihin lämpöeristemateriaaleihin, joilla on sama lämpöeristetehon.⁵⁰

Rakennusalalla on kasvava suosio matala-, nolla- tai jopa plusenergiarakennusten toteuttamisella, joten käyttämällä kevyitä materiaaleja painavien sijaan sanelee se rakennusteollisuuden jatkotutkimuksen ja niiden vaikutuksen ympäristöön.⁵¹

⁵⁰ Kunic, R. 2017. S.12

⁵¹ Kunic, R. 2017. S.12

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää solulasiseinäelementin hiilijalanjälki ja luoda yrityksen käyttöön yksinkertainen Excel-laskentatyökalu. Työkalun tarkoituksena on, että jokaiselle asiakkaalle voitaisiin laskea oma asiakaskohtainen hiilijalanjälki. Laskentatyökalun etuna on myös se, että se on helposti muokattavissa ja muuttujien vaihtuessa on helppo vain vaihtaa arvoja ja näin ollen laskentatyökalu on aina ajantasainen.

Laskurin avulla saatiin laskettua datojen puitteissa mahdollisimman tarkka ja asianmukainen tulos. Kuitenkin rajoituksia jouduttiin tekemään jätteen ja pakkausmateriaalien osalta, koska niistä ei saanut tietoa ja arviointipohjaisen laskemisen kannalta se ei ollut tämän opinnäytetyön kannalta kannattavaa. Lisäksi niiden prosentuaalinen osuus koko tuotteen hiilijalanjäljestä on todella pieni.

Työssä myös vertailtiin solulasiseinäelementin hiilijalanjälkeä puu- ja kivirakentamisen elementteihin sekä tarkasteltiin eri eristysmateriaalien päästöjä. Näissä vertailuissa solulasiseinäelementti ja itse solulasi pärjäsivät hyvin. Kuitenkin hiilidioksidipäästöjen osalta solulasin vaikutus oli keskimääräisesti suurempi muihin eristemateriaaleihin verratessa, mutta kuten aikaisemmin on mainittu, niin synteettiset materiaalit ovat yleensä vastustuskykyisempiä ulkoisille vaikutuksille ja omaavat myös pienemmän lämmönjohtavuuden kuin luonnonmateriaalit.

Laskennan tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa antavia, koska kaikille materiaaleille ei ole kunnollisia päästökertoimia ja tästä johtuen laskentaa on jouduttu soveltamaan. Kuitenkin laskennan tulokset ovat riittävän tarkkoja, jotta päästöjen suhde on oikea. Jatkotutkimuksen kannalta materiaalien valmistajien on tuotettava mahdollisimman täsmällisiä tuotetietoja ja päästökertoimia, jotta laskennassa saadaan mahdollisimman tarkkoja tuloksia.

ECO2WALL voisi myös jatkotutkimuksissa keksittyä siihen, että materiaalit saataisiin hankittua lähempää, mikäli se vain on mahdollista. Näin solulasiseinäelementin hiilijalanjälki saataisiin pienemmäksi, erityisesti kun käytössä on nyt helppo-käyttöinen laskuri, jolla saa nopeasti vertailtua eri päästölähteiden määrää.

Ongelmana hiilijalanjäljenselvityksessä on, että ei ole tarkkaa ja validia laskentatapaa, jolla saisi selvät tulokset eri osa-alueiden päästöistä. Tulokset ovat siis suuntaa antavia, kuten aikaisemmin on todettu. Tuotteen hiilijalanjäljen laskemiseksi tarvittaisiin yksi tarkka standardi ja tapa, jotta laskenta olisi yksinkertaista.

LÄHTEET

Antikainen, R., Mattila, P. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. S.11. Viitattu 25.01.2021. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010. <http://hdl.handle.net/10138/39822>

Claudelin, A. 2015. Hirsirakenteisen omakotitalon hiilijalanjälki. S.28. Viitattu 31.3.2021. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/103769/claude-lin_anna_kandi.pdf?sequence=2

Eleftheriadis, S., Duffour, P., Mumovic, P. 2018. BIM-embedded life cycle carbon assessment of RC buildings using optimised structural design alternatives. Viitattu 26.04.2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818305954>

ISO 14044.2006. Environmental management, life cycle assessment, requirements, and guidelines. Viitattu 5.3.2021. <https://www.iso.org/standard/38498.html>

ISO14040.2006. ISOSFS online iso 14040. Viitattu 10.3.2021

ISO14067.2008. ISOSFS-EN ISO 14067:2018 Viitattu. 10.2.2021

Kunič, R. 2017. Carbon Footprint of thermal insulation materials in building envelopes. S. 12–15. Viitattu 15.03.2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-017-9536-1>

Liljeqvist, M. 2018. Teollisen puurakentamisen CO₂-päästöt ja niiden laskenta. S. 21–22. Viitattu 25.3.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/158482/mika_liljeqvist.pdf?sequence=1&isAllowed=y

L VTT.2017. LIPASTO yksikköpäästötietokanta. Viitattu 26.04.2021. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/>

PAS2050Guide.2008. How to assess the carbon footprint of goods and services. Viitattu 2.2.2021. https://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/hall/publications/PAS2050_Guide.pdf

Synergia.2013. Synergia hiilijalanjälkityökalu. SYKE. Viitattu 26.04.2021. [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/Synergia/SYNERGIA_Hiilijalanjalki__tyokalun_ohje_\(26142\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/Synergia/SYNERGIA_Hiilijalanjalki__tyokalun_ohje_(26142))

Valtioneuvosto ja ministeriöt. Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Viitattu 13.2.2021 <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>

Valtioneuvosto.2020. Hiilineutraaliuden tiekartta. Viitattu 13.2.2021. <https://valtioneuvosto.fi/documents/10616/20764082/hiilineutraaliuden%2Btiekartta%2B03022020.pdf/1f1dfbea-f623-9197-5352-23a7f1b83703/hiilineutraaliuden%2Btiekartta%2B03022020.pdf>

Virtanen, J. 2020. ECO2WALL. Email jyrki.virtanen@eco2wall.fi 23.9.2020.

Y-hiilari.2013. Y-HIILARI hiilijalanjälkityökalu. SYKE. Viitattu 26.04.2021 https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari

Ympäristö.fi. 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. Viitattu 25.2.2021. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli

LIITEET

LIITE 1. Laskurin ohjeet

1 OHJEET LASKURILLE

1.1 Materiaalit

1. Kirjoita "*Materiaalit*" kohtaan uuden materiaalin nimi.
2. Lisää materiaalin paksuus/paino kohtaan "*Materiaalin paksuus/paino*" metreinä tai kilogrammoina.
3. Etsi liitteestä Materiaalien ominaisuudet materiaalien ominaispaino ja lisää se sarakkeeseen "*Materiaalien ominaispaino*".
4. Tämän jälkeen laskuri laskee automaattisesti materiaalin määrät kiloina yhtä rakenne neliötä kohti.
5. Sen jälkeen etsi samasta liitteestä hiilidioksidivarastointi, (kaikissa materiaaleissa tätä ei ole) ja lisää se kohtaan "*hiilidioksidivarastointi*".
6. Tämän jälkeen etsi samasta liitteestä päästökerroin ja lisää se kohtaan "*Päästökerroin*".
7. Laskuri laskee automaattisesti päästöjen määrän ja varastoinnin muodossa kg CO₂-ekv/m².

HUOM!

Materiaalien laskennassa ruuvien ja naulojen paino on vakio ja sitä lukua ei tule muuttaa. Lisäksi jos uretaanin määrä kasvaa/laskee yhtä neliömetriä kohti, niin sen arvoa täytyy muuttaa vain sen solun sisässä, mikä on merkitty sinisellä. Tässä laskurin sarakkeessa on myös muistiinpano mistä saa suoraan tiedon.

1.2 Energian kulutus

1. Lisää kohtiin sähkö ja lämmitysenergia vuotuinen kulutus megawattitunneissa (MWh).
2. Arvioi kuinka monta elementtiä rakentuu vuodessa ja lisää se kohtaan "*elementtejä vuodessa*". Laita tämä arvo molempiin sarakkeisiin (sähkö ja lämmitysenergia).
3. Halutessasi voit tarkastaa päästökertoimet https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet ja muuttaa ne kohtaan "*Päästökerroin*".
4. Tämän jälkeen laskuri laskee automaattisesti energiankulutuksesta tulevat päästöt muodossa kg CO₂-ekv/m².

1.3 Logistiikka ja logistiikka asiakkaalle

1. Valitse ensin oikea ajoneuvo ja lisää matkan määrä kilometreinä kohtaan "*matka, km*".
2. Halutessasi voit tarkastaa päästökertoimet <http://lipasto.vtt.fi/yksikko-paastot/index.htm> ja muuttaa ne kohtaan "*Päästökerroin*".
3. Laskuri laskee ajosta aiheutuvat suorat päästöt kg CO₂-ekv ja sen jälkeen laskee sen suhteutettuna solulasin painoon.
4. Kohdassa *logistiikka asiakkaalle*, on tulos laskettu siten, että materiaalien

1.4 Laivakuljetus

1. Valitse kohdasta "*laivakuljetus*", konttialus 1000 TEU tai 2000 TEU.
2. Lisää matkan määrä kilometreinä kohtaan "*Matka, km*".
3. Halutessasi voit tarkastaa päästökertoimet <http://lipasto.vtt.fi/yksikko-paastot/index.htm> ja muuttaa ne kohtaan "*Päästökerroin*".

1.5 Päästöt Yhteensä

Laskurin lopusta löytyy päästöjen määrät yhteensä kg CO₂-ekv/m² ja kuvaajasta pääsee tarkastelemaan eri osa-alueiden prosentuaalisia kulutuksia.

LIITE 2. Laskuri

ECO2WALL									
Solulasin paino t/m2									
0,018									
Keltaisiin laatikoihin lisää arvo									
Materiaalit	Materiaalin paksuus/paino	Materiaalin määrät (kg) yhdessä rakennellessä m2	Materiaalien ominaispaino kg per m3	Hilidioksidivarastointi g CO2-ekv/kg	Päästökerroin g CO2-ekv/kg	Päästöjen määrä g CO2-ekv	Hilijalanjälki varastot kg CO2 ekv/m2		
Koivuvaneri	0,02	13,2	660	1600	720	9504	21,12		
lauta	0,022	10,56	480	1600	70	739,2	16,896		
ruuvit, naulat	0,232	0,232	7850		1040	303,68	0		
palouretaanivaahdot	0,2	0,2	45		4050	810	0		
solulasi	0,15	18	120		1640	29520	0		
kipsilevy	0,02	0				0	0		
materiaali		0				0	0		
materiaali		0				0	0		
materiaali		0				0	0		
Materiaalien määrät t/m2		0,042252		CO2 päästöt yhteensä materiaali m2:ssa (g) kg CO2-ekv / m2		40876,88	Varastot yhteensä kg CO2-ekv/m2		
						40,87688	38,016		
Energiankulutus:									
MWh	Elementtejä vuode	Päästökerroin	Kokonais päästöt per elementti	Elementin koko m2	Yhden elementin päästöt. Kg CO2-ekv/m2				
Sähkö	5,1	110	141	6,537272727	3,3	1,980931736			
Lämmitysenergia	4,2254	110	62	2,381589091	3,3	0,721633664			
						Päästöt kg CO2-ekv/m2			
						Yhteensä			
						2,702685399			
Logistiikka									
Maantiekuljetus	Matka, km	Kuorma, t.	Päästökerroin	CO2-ekv. (g/ ajon km)	Ajosta aiheutuva suora päästö, Yht. kg CO2-ekv.				
Pakettiauto (kokonaismassa 2,7 t) ajaa	0	1,2	1,55E-01	186,4	-0				
Jakelekuorma-auto (6 t/3,5 t) **	0	3,5	8,51E-02	297,8	-0				
Jakelekuorma-auto (15 t/9 t) *	0	9	5,52E-02	497,0	-0				
Puoliperävaunughdistelmä (40 t/25 t) *	2160	23,5	3,85E-02	904,3	1953,24				
Perävaunullinen ghdistelmä (80 t /40 t) *	0	40	3,01E-02	1205,0	-0				
Perävaunullinen ghdistelmä (76 t /51 t) *	0	51	2,81E-02	1432,0	-0				
				Summa yhteensä	1953,24				
						Solulasin painoon suhteutettu kg CO2-ekv/m2			
						1,50			
Logistiikka asiakkaille									
Maantiekuljetus	Matka, km	Kuorma, t.	Päästökerroin	CO2-ekv. (g/ ajon km)	Ajosta aiheutuva suora päästö, Yht. kg CO2-ekv.				
Pakettiauto (kokonaismassa 2,7 t) ajaa	0	1,2	1,55E-01	186,4	-0				
Jakelekuorma-auto (6 t/3,5 t) **	0	3,5	8,51E-02	297,8	-0				
Jakelekuorma-auto (15 t/9 t) *	0	9	5,52E-02	497,0	-0				
Puoliperävaunughdistelmä (40 t/25 t) *	0	23,5	3,85E-02	904,3	-0				
Perävaunullinen ghdistelmä (80 t /40 t) *	0	40	3,01E-02	1205,0	-0				
Perävaunullinen ghdistelmä (76 t /51 t) *	0	51	2,81E-02	1432,0	-0				
				Summa yhteensä	-0				
						Materiaalien painoon suhteutettu kg CO2-ekv/m2			
						0,00			

Laivakuljetus	Matka, km	Kuorma, t.	Päästökerroin CO2-ekv. (kg/tkm)	Yhteensä kg CO2-ekv					
Konttialus, 1000 TEU		0,018	4,20E-02	0,00					
Konttialus, 2000 TEU		0,018	2,80E-02	0,00					
					Päästöt kg CO2-ekv/m2				
					Laiva				
					0,00				

Päästöt yhteensä

	kg CO2-ekv/m2	Hilivarastot
Materiaalit	40,9	38,0
Energiankulutus	2,7	
Logistiikka yhteensä	1,5	
Yhteensä	45,1	38,0

