



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

RAKENNUSTEN HIILIJALANJÄLKIVERTAILU

TEKIJÄ: Aksu Talja

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Aksu Talja			
Työn nimi Rakennusten hiilijalanjälkivertailu			
Päiväys	2.6.2020	Sivumäärä/Liitteet	22
Ohjaajat Jarmo Taavitsainen, pt.tuntiopettaja; Hannu Haaranen, lehtori			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Hirsitaloteollisuus ry, Matti Stenroos, hallituksen puheenjohtaja			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyössä käsiteltiin erilaisten runkomateriaalien ja lämmöneristeiden vaikutuksia rakennuksen hiilijalanjälkeen. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Hirsitaloteollisuus ry. Työn tavoitteena oli vertailla runko- ja eristämateriaalien ympäristökuormia ja -hyötyjä sekä nähdä niiden vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen. Vertailu toteutettiin Bionova Oy:n One Click LCA -ohjelmalla, joka hyödyntää Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää.</p> <p>Työssä vertailtiin yhden 190 m² suuruisen pientalon neljää mahdollista runkorakennetta. Rakennuksen rakentamiseen tarvittavat materiaalit syötettiin One Click LCA -ohjelmaan, joka laskee rakennuksen hiilijalan- ja hiilikädenjäljen. Teoriaosuudessa hyödynnettiin muun muassa verkkoaineistoja ja RT-kortistoa tiedon hankintaan. Teoriaosuudessa käsiteltiin hirsi-, ranka- ja betonirunkorakentamista sekä erilaisia lämmöneristevaihtoehtoja.</p> <p>Työn tuotoksena saatiin One Click LCA -ohjelmistossa olevia erilaisia kaavioita runkomateriaaleista ja lämmöneristeistä, joilla on mahdollista vertailla niiden ympäristövaikutuksia toisiinsa nähden. Tuotosta voidaan käyttää vertaillessa rakennuksen päästövaikutuksia ennen käyttöä ja käytön jälkeen sekä rakennuksen positiivisia ympäristövaikutuksia eli hiilikädenjälkeä.</p>			
Avainsanat hiilijalanjälki, One Click LCA, vertailu, runkomateriaali, lämmöneriste			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author Aksu Talja			
Title of Thesis Comparison of the Carbon Footprint of Buildings			
Date	2nd June 2020	Pages/Appendices	21
Supervisor(s) Mr Jarmo Taavitsainen, Lecturer, Savonia University of Applied Sciences Mr Hannu Haaranen, Senior Lecturer, Savonia University of Applied Sciences			
Client Organisation /Partners Hirsitaloteollisuus ry, Mr Matti Stenroos, Chairman of The Board			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to compare different framework and heat insulation materials and their environmental effects. The thesis was commissioned by Hirsitaloteollisuus ry. The comparison of the materials and effects was made by using One Click LCA-software which is developed by Bionova Ltd.</p> <p>Four possible frameworks of detached house were compared in this thesis. The materials used in building were fed into the One Click LCA-software which calculated the carbon footprint and carbon handprint of the building. In the theoretical part different sources were utilized in order to collect information. Different frameworks and heat insulation materials were discussed as well.</p> <p>As a result of the thesis there were different diagrams of frameworks and heat insulation materials in the One Click LCA-software. These diagrams can be used to compare environmental effects of the building before and after it has been built as well as to compare positive environmental effects of the building which is called carbon handprint.</p>			
<p>Keywords carbon footprint, One Click LCA, comparasion, framework, heat insulation material</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	RAKENTAMISEN PÄÄSTÖT	6
2.1	Hiilijalanjälki	6
2.2	Hiilikädenjälki.....	6
2.3	Elinkaariarviointi.....	6
3	ONE CLICK LCA	8
4	RUNKORAKENTEET JA ERISTEMATERIAALIT	10
4.1	Runkomateriaalit.....	10
4.1.1	Hirsirakentaminen.....	10
4.1.2	Rankarunkorakentaminen	12
4.1.3	Betoniharkkorakentaminen.....	13
4.2	Eristemateriaalit	13
4.2.1	Puukuitueriste	13
4.2.2	Polystyreenieristeet.....	14
4.2.3	Mineraalivillaeristeet.....	14
5	HIILIJALANJÄLKIVERTAILU	15
5.1	Runkomateriaalivertailu.....	15
5.2	Eristemateriaalivertailu.....	17
5.3	Käyttöikä.....	18
6	POHDINTA.....	20
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	21

LIITE 1. Materiaaliluettelot

LIITE 2. Vertailu

LIITTEET ON JÄTETTY JULKAISEMATTA

1 JOHDANTO

Suomen kasvihuonepäästöistä rakentaminen ja rakennukset tuottavat noin kolmanneksen. Kansallisten ja kansainvälisten ilmastotavoitteiden toteutumiseen pyrkiessä myös rakentamisen päästöjä on vähennettävä. Nykyinen rakentamisen ympäristöohjaus perustuu parantamaan rakennuskannan energiatehokkuutta ja vähentämään käytönaikaisia päästöjä. Uudisrakentamisen uusien vuoden 2018 energiamääräysten jälkeen on siirrytty lähes nollaenergiarakentamiseen, jolla rakennusten energiatehokkuuden saa maksimoitua.

Energiatehokkuus on tärkeää, mutta ei yksin riitä ja siksi Ympäristöministeriön tavoitteena on ohjata rakennuksen elinkaarenaikaista hiilijalanjälkeä lainsäädännöllä 2025. Rakennuksen elinkaaren aikaisen päästöjen vähentäminen tarkoittaa käytännössä rakennustuotteiden valmistuksesta syntyvien päästöjen vähentämistä kuin myös rakennuksen elinkaaren loppuvaiheessa materiaalien kierrätysmahdollisuutta.

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena on vertailla yleisiä pientalon runkorakenteita ja eristevaihtoehtoja hiilijalanjäljen perusteella. Vertailu toteutetaan Bionova Oy:n One Click LCA -ohjelmistolla, joka käyttää Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää perustuen eurooppalaiseen kestäväen rakentamisen standardeihin. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää rakennusten runko- ja eristemateriaalien vaikutus rakentamisen hiilijalanjälkeen, sekä vertailla näiden ympäristökuormia ja -hyötyjä.

Opinnäytetyön tilaaja on Hirsitaloteollisuus ry, joka on suomalaisten hirsitalotehtaiden järjestö. Hirsitaloteollisuus ry edustaa merkittävää teollisuushaaraa, jonka jäsenyritykset tuottavat Suomessa rakennettavista hirsirakennuksista 80 % ja tuotannosta yli 20 % menee ulkomaille yli 40 maahan.

2 RAKENTAMISEN PÄÄSTÖT

2.1 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki-käsite on kehitetty mittariksi, jonka tavoitteena on hillitä ilmaston lämpenemistä sekä negatiivisia ympäristövaikutuksia. Sillä tarkoitetaan tekemisen, tuotteen tai palvelun ilmastokuormaa koko sen elinkaaren aikana ja se ilmoitetaan massana, joko tonneina kilogrammoina tai grammoina. Ilmastokuormitus muodostuu kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄) ja typioksiduulin (N₂O) pääsemisestä ilmakehään. Hiilijalanjälki ilmoitetaan tyyppillisesti hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂-ekv. tai CO₂e), joka ottaa huomioon eri kasvihuonekaasujen erilaiset ilmastoa lämmittävät vaikutukset. (OpenCO2.net 2018)

Rakennuksen käyttöikä ja siitä saatava hyöty tulee suhteuttaa rakennuksen hiilijalanjälkeen. Sitä arvioidaan esimerkiksi työntekijä- tai asukasmääränä. Rakentamisvaiheessa syntyy niin kutsuttu hiilipiikki, joka tarkoittaa runsaita kertaluontoisia hiilidioksidipäästöjä. Vanhan rakennuskannan käyttöäin jatkaminen on usein ympäristöystävällisempää sillä sen rakennusvaiheen hiilidioksidipäästöt ovat jo vapautuneet ilmakehään eikä täten kuormita ilmastoa enempää. Uudisrakentamisen aiheuttama hiilipiikki saattaa olla niin merkittävä, että myös energiatehokkaalta rakennukselta voi kuluu useita vuosikymmeniä hyvittää rakentamisen aikaiset päästöt verrattuna vanhan rakennuksen kunnostamiseen. (Ilmastonmuutos. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. RT 103170, 12.)

2.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki on käsitteenä uusi, jolla tarkoitetaan päästövähennysvaikutuksia, jotka edesauttavat ilmastomuutoksen torjumista. Hiilikädenjäljellä kuvataan positiivisia ympäristövaikutuksia tuotteen elinkaaren ajalta, hiilijalanjäljen kuvatessa negatiivisia. Hiilikädenjäljellä olevilla positiivisilla ympäristövaikutuksilla ei ole samanlaista rajoitetta, kuin hiilijalanjäljellä, joka on pienimmillään nollassa. Rakentamisessa hiilikädenjälki on mitattavissa puurakenteisiin sitoutuneena hiilenä, rakennusmateriaalien kierrätettävyydessä ja jo olemassa olevan kasvillisuuden hyödyntäminen viherrakentamisessa. Parhaimmassa tapauksessa ympäristöystävällisessä rakentamisessa ja asumisessa voidaan pienentää hiilijalanjälkeä samalla kasvattaen hiilikädenjälkeä. (Mangrove.fi 2019; Carbon Handprint Guide 2018.)

2.3 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA) on tuotteen tai palvelun elinkaarenaikaisten ympäristövaikutusten arviointimenetelmä, jossa useimmiten tarkastellaan hiilijalanjälkeä. Rakennusten elinkaariarviointi sisältää raaka-aineiden hankinnan, rakennustuotteiden valmistuksen, kuljetukset, rakentamisen, käytön ylläpidon ja korjaukset, purkamisen sekä materiaalien kierrättämisen tai loppusijoituksen. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin 2019.)

Rakennuksen elinkaari koostuu viidestä eri vaiheesta:

1. Tuotevaihe (moduuli A1-3)

Raaka-aineiden hankinta, rakennustuotteiden valmistus kuljetuksineen.

2. Rakennusvaihe (moduuli A4-5)

Kuljetukset työmaalle ja työmaalla tapahtuvat rakentamistoimet

3. Käyttövaihe (moduuli B)

Huolto ja korjaustoimenpiteet, käytönaikainen veden ja energian kulutus.

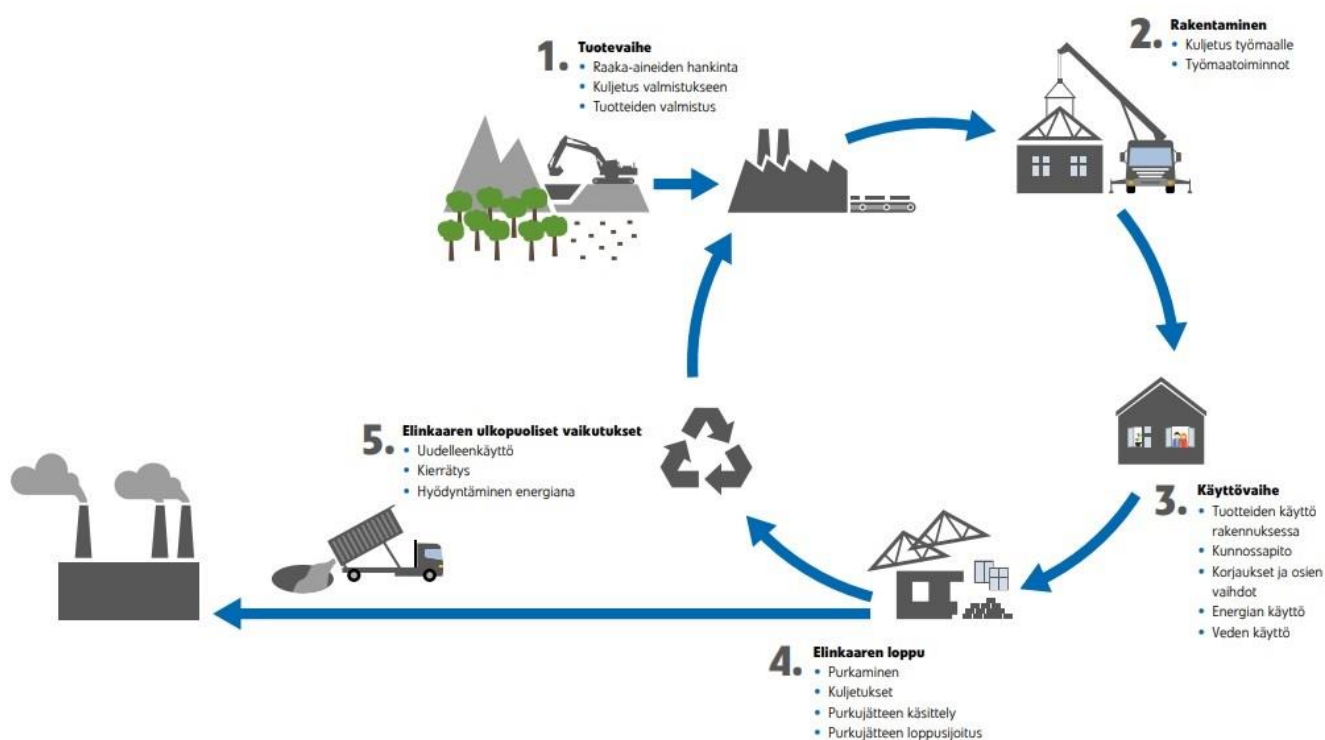
4. Elinkaaren loppuvaihe (moduuli C)

Purku, rakennustuotteiden kierrätys tai loppusijoitus.

5. Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (moduuli D)

Rakennustuotteiden kierrätys ja sitä kautta vaikuttaminen seuraavan rakennuksen ympäristövaikutuksiin

Tuote- ja rakennusvaiheen aikaiset ympäristövaikutukset ovat helpoimmat arvioida, koska ne perustuvat lähitulevaisuuteen. Käyttövaihe, elinkaaren loppuvaihe sekä elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset ovat vaikeampia arvioida niiden perustuessa tulevaisuuteen. Tämän takia näiden vaiheiden arviointi perustuu oletuksiin rakennuksen käytöstä, ylläpidosta ja purkamisesta. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin 2019.)



KUVA 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin)

3 ONE CLICK LCA

Tässä opinnäytetyössä käytän Bionova Oy:n One Click LCA -linkkaariarviointiohjelmaa rakennusten hiilijalanjäljen laskemiseen. Sain Bionovalta opiskelijalisenssin ohjelman käyttöön tätä opinnäytetyötä varten.

Ohjelma käyttää Ympäristöministeriön laatimaa Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää ja laskee rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset hiilidioksidiekvivalenttina neliometriä ja vuotta kohden ($\text{CO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$). Vähähiilisyyden arviointimenetelmä pohjautuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään, joka perustuu eurooppalaisiin kestävästä rakentamisesta koskeviin standardeihin (muun muassa EN-15643 -sarja ja EN 15804). Vähähiilisyyden arviointimenetelmää voidaan soveltaa kaikkiin rakennuksiin niin korjaus- kuin uudisrakentamisessa. Arviointi tulisi tehdä rakennuksen suunnitteluvaiheessa energiatehokkuuden arvioinnin lomassa. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019)

Bionovan kehittämä One Click LCA on elinkaarilaskentaan perustuva ohjelma, joka hyödyntää internetissä avoimesti ja yksityisesti julkaistua materiaalidataa. One Click LCA -tietokanta kattaa Euroopassa lähes 20 maan EPD (Environmental Product Declaration) tietokannan. EPD perustuu elinkaari-analyysiin ja on standardoitu tapa ilmaista luotettavasti vertailukelpoiset tiedot valmistetun tuotteen ympäristövaikutuksista. Ohjelmaan syötetään rakennuksessa käytettävät rakennusmateriaalit kuu-teen eri kategoriaan, jotka ovat




1. perustukset ja maanalaiset rakenteet
2. pystyrakenteet ja julkisivu
3. vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit
4. muut rakenteet ja materiaalit
5. alue ja piharakentaminen (jota ei tässä opinnäytetyössä huomioitu)
6. rakennuksen talotekniikka.

Rakennusmateriaalit valitaan ohjelman sisällä olevasta tietokannasta, johon uusia materiaaleja lisätään jatkuvasti. Kun materiaali on valittu, määritetään määrä, joko massana (kg) tai pinta-alana (m^2) sekä rakennusmateriaalin paksuus (mm). Kaikille materiaaleille, jotka löytyvät tietokannasta, on määritetty ympäristöön vaikuttavat kokonaisvaikutukset kaikista elinkaarivaiheista (CO_2e). (One Click LCA; Cer.rts.fi)

Full name: Insulation, EPS 100, 0.035 W/mK, 18-22 kg/m³ (100 kPa), without flame retardant (EUMEPS) [kopioi nimi](#)

Add to input

Name (FI):  Eriste, EPS 100 - Technical Specification: 0.035 W/mK, 18-22 kg/m³ (100 kPa), without flame retardant, Manufacturer: EUMEPS [kopioi nimi](#)

Maa: Suomi  Ruotsi  Tanska 

Tiheys: 20 kg / m³

Vuosi: 2013

Ympäristödatan lähde: Expanded Polystyrene (EPS) Foam Insulation (without flame retardant, density 20 kg/m³), EPS 100, EUMEPS (region Scandinavia)

Standardi: EN15804


EPD:n numero: EPD-EPS-20130077-CBG1-EN

EPD-ohjelma: IBU

Valmistaja: EUMEPS

Tuoteryhmäsäännöt (PCR): PCR Insulating materials made of foam plastics, 10/2012

Huomiot PCR:stä: Only with EN15804

Q Metadata:  +/- 34.64% variaatio tietojoukossa

Tekniset ominaisuudet: 0.035 W/mK, 18-22 kg/m³ (100 kPa), without flame retardant

Verifiointi: Verified

Ilmasto lämmittävä vaikutus (ennen paikallista korvausta):

2.5 kg CO₂e / kg


50.0 kg CO₂e / m³

1.75 kg CO₂e / m²

Tehokkuusluokitus: [Katso tarkempi sijoitus](#) 

Käytettävissä olevat yksiköt: m³, kg, ton, m²

Kuvaus:

This EPD describes Expanded Polystyrene foam (EPS) in accordance with EN 13163. The closed cell structure is filled with air (98% air; only 2% polystyrene) and results in a light weight, tough, strong and rigid thermoplastic insulation foam. The products are mainly used for thermal and acoustical insulation of buildings. The foam is available in various dimensions and shapes. Boards can be supplied with different edge treatments such as butt edge, ship lap, tongue and groove. Density range is fr 

[Lataa EPD](#)

 Näytä tyhjät parametrit

KUVA 2. EPS-eristeen EPD-ympäristöseloste One Click LCA -tietokannassa. (One Click LCA)

4 RUNKORAKENTEET JA ERISTEMATERIAALIT

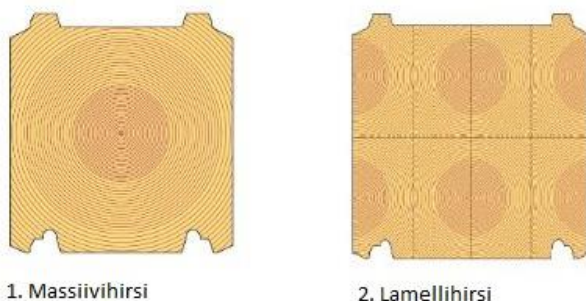
4.1 Runkomateriaalit

Opinnäytetyössä vertailen pientalon hiilijalanjälkeä neljällä eri runkorakenteella rakennettuna yhden mallirakennuksen avulla. Rakennus on 190 m² pientalo. Rakennuksessa on maanvarainen alapohja, harjakatto ja peltikate muuttumattomina rakenteina. Lisäksi kaikissa rakennuksissa on laskettuna vesijohtojärjestelmä, viemäriputkisto, sähkökaapeloinnit ja 10kW maalämpöpumppu. Erilaisia runkorakenteita vertailussa on ranka-, pystyhirsi/CLT-, betoniharkko- sekä lamellihirsirunko.

Rakenteet ovat energiatehokkuudeltaan hieman erilaisia, lamellihirsirungon U-arvon ollessa 0,39 W/m²K, Pystyhirsi/CLT ja rankarunko 0,17 W/m²K ja betoniharkkorungon 0,14 W/m²K.

4.1.1 Hirsirakentaminen

Hirsi on puinen rakennusmateriaali, jota hyödynnetään yleensä seinärakenteena sorvattuna, höylätynä tai veistettynä. Käytetyin puulaji hirren valmistuksessa on vähäoksainen ja suorarunkoinen mänty. Hirsi voidaan valmistaa edullisimmin ja yksinkertaisimmin massiivipuusta, mutta silloin hirren kokovalikoima on rajallinen ja kosteuseläminen suurinta. Toinen vaihtoehto on liimata hirsi puusoirosta, jolloin hirttä kutsutaan lamellihirreksi. Lamellihirren etuina ovat mittatarkkuus ja pienempi kosteuseläminen. Lisäksi kestävä sydänpuu saadaan hirren ulkopintaan, joka pienentää pintahalkeilua. (Tiainen, Pihlajaniemi ja Lakkala 2017, 18; Hirsitalon suunnitteluperusteet, RT 82-11168, 1)



KUVA 3. Hirsityyppejä (Puuinfo)

Hirsirakenteen kosteuspitoisuus vaihtelee ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Puun kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta tekee siitä hengittävän, hygroskooppisen rakennusmateriaalin, joka on kosteustekniseltä toimivuudeltaan turvallinen ratkaisu. Hygroskooppisuudella on suuri vaikutus sisäilman laatuun. Kosteusrasitustilanteessa hygroskooppinen materiaali sitoo vesihöyryä ja vastaavasti huoneilman kuivussa luovuttaa sidottua kosteutta takaisin huoneilmaan, poistaen epäterveelliset kosteat ja kuivat ääritilanteet. Tämän ansiosta hirsirakenne kuuluukin pintamateriaalien päästöluokkaan M1, joka on kolmesta päästöluokasta paras. Luokitusmerkki M1 kertoo tuotteen olevan hajuton ja vähäpäästöinen. (Tiainen, Pihlajaniemi ja Lakkala 2017, 20; RT 82-11168 Hirsitalon suunnittelupe-
rusteet, 4; Sisäilmastoluokitus 2018. RT 07-11299, 20)

Tutkittavat ominaisuudet	M1 [mg/m ² h]	M2 [mg/m ² h]
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaisemissio. Yhdisteistä tunnistettava vähintään 70 %.	< 0,2	< 0,4
Yksittäinen VOC µg/m ³	≤ EU-LCI	≤ EU-LCI
Formaldehydin (HCOH) emissio	< 0,05	< 0,125
Ammoniakin (NH ₃) emissio	< 0,03	< 0,06
(EC) No 1272/2008 -luokittelun mukaisten luokkaan 1A ja 1B kuuluvien CMR-yhdisteiden emissio ¹⁾	< 0,005	< 0,005
Hajun hyväksyttävyyys	+0,0	+0,0

¹⁾ ei koske formaldehydiä
Laastit, tasoitteet ja silotteet eivät saa sisältää kaseiinia.

KUVA 4. M1- ja M2- luokkien vaatimukset rakennusmateriaaleille. (Sisäilmastoluokitus 2018. RT 07-11299, 20 © Rakennustietosäätiö RTS 2020)

Hirsirakenne on huokoinen ja siten johtaa huonosti lämpöä. Hirsinen seinärakenne ei siis tarvitse erillistä lämmöneristettä päästäkseen massiivipuorakennuksille määriteltyihin energiatehokkuuden raja-arvoihin. Parempiin energiatehokkuus lukemiin päästään lisälämmöneristämällä hirsirakenne ulkopuolelta. Lisälämmöneristäminen ei vaikuta hirsirakenteen kosteusteknisiin ominaisuuksiin tai positiivisiin sisäilmavaikutuksiin hirren ollessa rakenteen lämpimällä ja kuivalla puolella. (Tiainen, Pihlajaniemi ja Lakkala 2017, 36)

(Hirsi $\lambda_n=0,12$ WmK, villa $\lambda_D=0,037$). HH=höylähirsi ja Ø=pyöröhirsi.

Hirsi mm	Eristys (mm)					
	0	50	75	100	125	150
HH70	1,33	0,48	0,39	0,31	0,26	0,23
HH95	1,04	0,43	0,36	0,29	0,25	0,22
HH110	0,92	0,41	0,35	0,28	0,24	0,21
HH120	0,85	0,4	0,34	0,27	0,23	0,2
HH135	0,77	0,38	0,32	0,26	0,22	0,19
HH180	0,6	0,34	0,27	0,23	0,2	0,18
HH205	0,53	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17
HH270	0,41	0,27	0,24	0,2	0,18	0,16
Ø130	0,89	0,4	0,32	0,26	0,22	0,19
Ø150	0,79	0,38	0,3	0,25	0,22	0,19
Ø170	0,72	0,36	0,29	0,24	0,21	0,18
Ø190	0,64	0,34	0,28	0,23	0,2	0,18
Ø210	0,58	0,33	0,27	0,23	0,2	0,17
Ø230	0,53	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17

KUVA 5. Seinärakenteiden ohjeelliset u-arvot W/m²K. (Hirsirakennuksen suunnitteluperusteet RT 82-11168, 9 © Rakennustietosäätiö RTS 2020)

Bionovan One Click LCA -ohjelman tietokannassa ei ole pystyhirttä, joten hiilijalanjäljen laskennassa käytän CLT:tä. CLT ja pystyhirsi ovat ominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia, vaan ei kuitenkaan identtisiä. Runkorakenteena molemmat käyttäytyvät samankaltaisesti, ja ovat usein vaakahirsirakentamisesta poiketen lisälämmöneristettyjä ja ulkoverhoiltuja. (Puuinfo.fi)

Vaakahirsirakentamisen kaksi yleistä ongelmaa, rungon painuminen puun kuivuessa sekä nurkkarakenteiden tiiveys, eivät konkretisoidu pystyhirttä käyttäessä. Pystyhirsirakenne on täysin painumaton, sillä puu ei painu pystysuunnassa ja nurkkarakenne on mahdollista toteuttaa yhdellä kiinteällä nurkkahirrellä, jolloin vältetään vaakahirsirakenteen nurkkasaumoilta. (Pystyhirsi.fi)

Cross Laminated Timber eli CLT, on ristiin liimattua laminoitua lautalevyä, jota käytetään kantavina ja jäykistävinä rakenteina seinissä sekä lattiarakenteissa. CLT-runkoa käytettäessä ulkoseinän kokonaispaksuus on pieni, ja täten lisää sisäpinta-alaa. Esimerkiksi U-arvoon 0,14 W/m²K päästään rakenteella 100 mm CLT (0,11 W/m²K) + 240 mm eriste (0,040 W/m²K). (U-VALUE - COMPARATIVE EXAMPLES. 2012.)

4.1.2 Rankarunkorakentaminen

Rankarunkorakentaminen yleistyi sotien jälkeen rintamamiestalojen rakennustapana. Sen etuna on ulkovaipan lämmöneristeiden valinta, joka voidaan tehdä mineraalivillaeristeiden ja puukuitueristeen välillä. Mineraalivillaeristettä käytettäessä on asennettava höyrynsulkumuovi lämmöneristeen lämpimälle puolelle. Puukuitueristettä käytettäessä höyrynsulkumuovi voidaan korvata ilmansulkupaperilla lämmöneristemateriaalin hygroskooppisuuden vuoksi, joten rakenteesta saadaan muoviton. Nykyisin rankarunkoisia taloja tekevät talotehtaat, jotka toimittavat talopaketteja eri valmiusastein. Rankarunkoisen talon voi tehdä myös paikalla rakennettuna, mutta talopaketit ovat yleisempiä. Talopaketien etuna on nopeat rakennusajat työmaalla, sekä rakennus saadaan käytännössä rakennettua sääsuojaan sisätiloissa, talotehtaassa. (Talja 2020-05-06)

Rankarunkoinen pientalo on mahdollista rakentaa paikalla pre-cut -tyyppisesti, jolloin rakentamiseen tarvittava puutavara on määrämittaan sahattua saapuessaan työmaalle. Tämä nopeuttaa rungon pystytystä ja säältä suojaan saamista. Nopea pystytys ja säältä suojaan saaminen suosii omatoimista rakentajaa, jolloin rakentaja pystyy jatkamaan rakentamista turvallisesti oman aikataulun mukaan kriittisten rakenteiden ollessa turvassa vedeltä. (Talja 2020-05-06)

Talopakettitoimittajia on Suomessa paljon, ja niin on myös erilaisia toimitettavia talomalleja. Lähes kaikki toimittajat tarjoavat kolme yleistä toimitusvaihtoehtoa, runkovalmis, sisustusvalmis sekä muuttovalmis. Talotehdas toimittaa yleensä kaikki rakennusmateriaalit ja asiakas saa valita kuinka pitkälle toimittaja rakentaa taloa ja mistä vaiheesta asiakas jatkaa talon valmiiksi. (Talja 2020-05-06)

4.1.3 Betoniharkkorakentaminen

Betoniharkkorakentaminen on yleistynyt Suomessa varsinkin omatoimisten rakentajien keskuudessa. Siten on mahdollista rakentaa betonirakenteita ilman erillisiä muottirakenteita. Harkkoja on helppo käsitellä työmaalla ja ne ovat säänkestäviä, kosteudenkestäviä ja rakenteellisesti lujia. Harkkorakenteilla voidaan toteuttaa erilaisia muoto- ja tilaratkaisuja ja on siten joustava eri käyttötarkoituksiin. Valmistajia on monia, ja niin on myös erilaisia harkkojakin. Kevytsoraharkot ja betoniharkot jaetaan vielä työmenetelmän mukaan muurattaviin ja ladottaviin harkkoihin. Muurattavat harkot ohutsauma-muurataan tai muurataan tavallisella muurauslaastilla. Muurauslaasti suojaa rakenteessa olevia teräksisiä ja tekee harkot kuivuessaan yhtenäiseksi rakenteeksi. Ladottavien harkkojen ontelot puolestaan täytetään betonimassalla, joka lujittaa rakenteen. Ulkoseinää rakentaessa ensimmäinen valu suoritetaan seinän ollessa 1 - 1,5 metrin korkuinen. Betoni pumpataan harkkojen onteloihin ja tiivistetään sauvatäryttimellä. Sen jälkeen ladotaan taas uusi 1 - 1,5 metrin korkuinen kerros harkkoja, valetaan, tiivistetään, kunnes päästään haluttuun seinäkorkeuteen. Jos koko seinän korkuinen harkkorakenne valettaisiin kerralla, rakenne ei välttämättä tavoittaisi haluttua tiiveyttä ja lujuutta.

(Harkkokäsikirja 2016)

Asuinrakennuksen ulkoseinissä käytetään eristeharkkoja, jossa lämmöneristeenä käytetään polyuretaania (PU) tai polystyreeniä (EPS) harkon betonisen sisä- ja ulkokuoren välissä. Polyuretaanieristeellä saavutetaan hieman parempi lämmöneristyskyky samalla eristepaksuudella kuin polystyreenillä. Energiamääräyksissä asetettuun lämmönlämpöisyykertoimen vertailuarvoon $U=0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ päästään käytettäessä kokonaisleveydeltä yli 350 mm harkkoa. U-arvo saadaan tippumaan $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ jos rakenne on tiivistetty tasoitteella tai rappauksella sisä- ja ulkopuolelta sekä muurattavan harkon vaakasaumassa käytetään polyuretaanivaahtoa sauman tiivistämiseksi. Tällä periaatteella voidaan toteuttaa passiivienergiataloja. (Harkkokäsikirja 2016)

Passiivienergiatalo on talo, joka kuluttaa hyvin vähän lämmitysenergiaa. Teknologian tutkimuskeskuksen mukaan passiivitalon huonetilat tarvitsevat Etelä-Suomessa lämmitysenergiaa noin 20 kWh/brt2 vuodessa ja Pohjois-Suomessa noin 30 kWh/brt2. Passiivitalon rakentamiskustannukset ovat 5 - 10 % suuremmat tavanomaisen energiatason rakennukseen. (Harkkokäsikirja 2016)

4.2 Eistemateriaalit

4.2.1 Puukuitueriste

Ruiskutettava selluvilla on kierrätyspaperista valmistettu puukuitueriste. Selluvilla on luontaisesti hygroskooppinen eli sillä on kyky sitoa kosteutta itseensä vaikuttamatta lämmöneristyskykyyn. Puukuitueristeisiin lisätään erilaisia lahonestoaineita, joten ne eivät ole alttiita lahottajasienien aiheuttamille vahingoille. Eristeen valmistuksesta aiheutuva hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät kuin eristeen kyky varastoida hiiltä, eli eristeen hiilitase on negatiivinen. Seinärakenteita eristäessä selluvillalla pitää se ruiskuttaa kostutettuna paikalleen runkorakenteiden ja seinäpinnan rajaamaan eristetilaan. Selluvilla liimautuu rakenteeseen täyttäen pienetkin kolot ja raot tiiviisti ja saumattomasti, joka parantaa myös

ääneneristysominaisuuksia eristeen ollessa ilma-eristys. (Selluvilla.net; RT 36-11090 Puukuitueristeet. Lämmöneristystarvikkeet 2012)

4.2.2 Polystyreenieristeet

EPS- ja XPS-eristeet ovat polystyreenistä eri valmistusmenetelmillä tehtyjä solumuovieristeitä, joiden raaka-aineena on öljy, joka on uusiutumaton luonnonvara. Nämä eristeet eivät lahoa tai mätäne ja raaka-aineet eivät sisällä homesienten tarvitsemia ravintoaineita, eikä sienirihmastot pääse tunkeutumaan levyn suljettuun solurakenteeseen. EPS tulee sanoista expanded polystyrene eli paisutettu polystyreeni, joka on kevyt ja edullinen eristysmateriaali. Polystyreenihelmiä lämmitetään höyryllä, jolloin ne laajenevat nopeasti ja muodostavat matalatiheyksisen materiaalin. XPS puolestaan tarkoittaa suulakepuristettua polystyreeniä (extruded polystyrene). Sen koostumus on sama kuin paisutetulla polystyreenillä, mutta valmistusmenetelmä on erilainen. Materiaali koostuu vaahdosta, jossa ilmataskut ovat pienempiä ja vahto tasaisempaa kuin paisutetulla polystyreenillä. Tiheä solurakenne tekee materiaalista myös lähes vettä läpäisemättömän ja antaa sille suuren puristuslujuuden. (Hotwiresystems.com; RT 36-11102 XPS-eristeet, lämmöneristystarvikkeet 2012; RT 36-11113 EPS-eristeet. Lämmöneristystarvikkeet 2013)

4.2.3 Mineraalivillaeristeet

Lasi- sekä kivivillaeristelevyt ovat mineraalivillaeristeitä ja niitä käytetään laajasti rakentamisessa lämmöneristeenä. Ne eivät mätäne tai lahoa, mutta epäsuotuisissa olosuhteissa eristeessä voidaan tavata sieni- tai homekasvustoa. Lasivilla valmistetaan kierrätyslasista, kvartsihiekasta, kalkkikivistä ja soodasta. Kivivilla emäksisistä kotimaisista kivilajeista. Raaka-aineet sulatetaan ja lingotaan kuiduiksi, jonka keskipaksuus on 3 - 12 µm. Kivivillakuidun keskipituus on 2 - 4mm ja lasivillakuidun 5 - 10mm. Kuituihin sekoitetaan öljyä ja fenolihartsia sideaineeksi, josta muodostetaan villamatto. Villamatto karkaistaan uunissa, jolloin kuidut kiinnittyvät toisiinsa sideaineen kovettuessa. Kivivillaeristeiden tiheys on jopa 30 - 50 % suurempi kuin vastaavan lasivillaeristeen tiheys. Mineraalivillan valmistuksessa käytettävät materiaalit ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. (RT 36-10689 Mineraalivillaeristeet. Lämmöneristystarvikkeet 1999)

5 HIILIJALANJÄLKIVERTAILU

5.1 Runkomateriaalivertailu

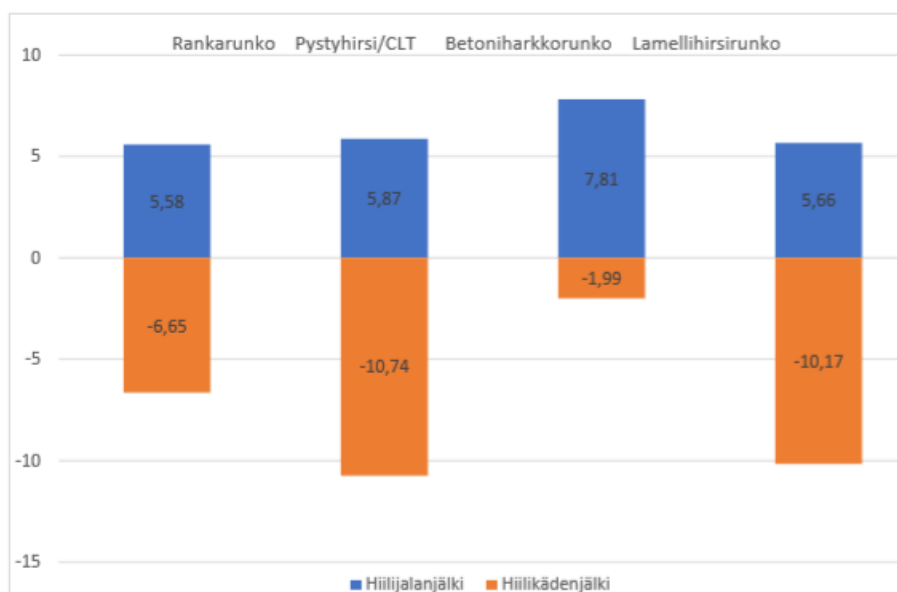
Rakennuksen hiilijalan- ja hiilikädenjäljen suhde määrittää rakennuksen hiilitaseen. Mikäli hiilijalanjälki on suurempi kuin hiilikädenjälki, on rakennus hiilipositivinen. Puolestaan hiilikädenjäljen ollessa hiilijalanjälkeä suurempi, on rakennus hiilinegatiivinen. Jos hiilijalan- ja hiilikädenjälki ovat yhtä suuret kutsutaan rakennusta hiilitasapainoiseksi. (STENROOS 19-05-2020)

Tässä vertailussa ympäristövaikutuksien arviointijakso on 50 vuotta, ja eri runkomateriaalivaihtoehtojen hiilitase on:

- Pystyhirsi/CLT -runko -4,87
- Lamellihirsirunko -4,51
- Rankarunko -1,07
- Betoniharkkorunko +5,82.






	1. Rankarunko	2. Pystyhirsi/CLT	3. Betoniharkkorunko	4. Lamellihirsirunko
Hiilijalanjälki (moduulien A-C summa)	5,58	5,87	7,81	5,66
Hiilikädenjälki (moduulien A-D summa)	-6,65	-10,74	-1,99	-10,17

Arvot yksikössä kg CO₂e/m²/a








KUVA 6. Runkomateriaalien hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. (One Click LCA)

Rakennuksen hiilijalanjälki toteutettuna rankarungolla on 5,58 kg/CO₂e/m²/a. Suurin yksittäinen hiilijalanjälkeen vaikuttava materiaali on perustuksissa ja alapohjassa käytettävä valmisbetoni, joka on 19,4 % koko rakennuksen hiilijalanjäljestä. Toiseksi suurin vaikuttava materiaali on ulkovaipan ja välipohjan eristämiseen käytetty kivivillaeristelevy, joka kattaa 10,5 % rakennuksen päästöistä. Rakennuksen ikkunat tuottavat päästöistä 7 % ollen kolmanneksi suurin yksittäinen päästönlähde. Rakennuksen rungon rakentamisessa käytetty kertoviilupu ja yläpohjaan puhallettava mineraalivillaeriste tuottavat molemmat 6,4 % koko rakennuksen hiilijalanjäljestä. Hiilikädenjälki -6,65 kg/CO₂e/m²/a muodostuu biogeenisestä hiilivarastosta, eli rakenteisiin sitoutuneesta hiilestä sekä materiaalien uudelleenkäytöstä saatavista hyödyistä.

No.	Resurssi	Vaikutukset kehdestä portille (A1-A3)	Kehdestä portille (A1-A3)
1.	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen  ?	6,1 tonnia CO ₂ e	19.4 %
2.	Kivivillaeristelevy, yleiset  ?	3,3 tonnia CO ₂ e	10.5 %
3.	Ikkuna, kolminkertainen lasi, puu-alumiinikehys, U-arvo 1  ?	2,2 tonnia CO ₂ e	7.0 %
4.	Kerto viilupuu (LVL),  ?	2 tonnia CO ₂ e	6.4 %
5.	Eriste, kivivilla/mineraalivilla, puhallettava  ?	2 tonnia CO ₂ e	6.4 %






KUVA 7. Rankarunkorakenteen hiilijalanjälkeen eniten vaikuttavat materiaalit. (One Click LCA)

Runko toteutettuna pystyhirrestä tai CLT:stä on rakennuksen hiilijalanjälki 5,87 kg/CO₂e/m²/a ja hiilikädenjälki -10,74 kg/CO₂e/m²/a. Hiilijalanjälki koostuu 25,5 % Runko- ja välipohjarakenteena käytetystä ristiin liimatusta massiivipuusta, 16,4 % alapohjan ja perustusten valmisbetonista, 8,2 % lämmöneristeinä käytetystä kivivillaeristelevystä, 5,9 % ikkunoista ja 5,5 % yläpohjan puhallettavasta mineraalivillasta. Rakenne on massiivipuinen, joten hiilikädenjälki on suuri puisiin runkorakenteisiin sitoutuneen hiilen ansioista.

No.	Resurssi	Vaikutukset kehdestä portille (A1-A3)	Kehdestä portille (A1-A3)
1.	Cross-laminated timber (CLT)  ?	9,5 tonnia CO ₂ e	25.5 %
2.	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen  ?	6,1 tonnia CO ₂ e	16.4 %
3.	Kivivillaeristelevy, yleiset  ?	3 tonnia CO ₂ e	8.2 %
4.	Ikkuna, kolminkertainen lasi, puu-alumiinikehys, U-arvo 1  ?	2,2 tonnia CO ₂ e	5.9 %
5.	Eriste, kivivilla/mineraalivilla, puhallettava  ?	2 tonnia CO ₂ e	5.5 %




KUVA 8. Pystyhirsi/CLT runkorakenteen hiilijalanjälkeen eniten vaikuttavat materiaalit. (One Click LCA)

Betoniharkkorungolla on vaihtoehtoista suurin hiilijalanjälki, ja pienin hiilikädenjälki. Hiilijalanjälki rakennuksella on 7,81 kg/CO₂e/m²/a ja hiilikädenjälki -1,99 kg/CO₂e/m²/a. Hiilijalanjälki koostuu 34,1 % niin perustuksissa ja alapohjassa kuin myös kantavissa seinäharkoissa käytetystä valmisbetonista, 11,2 % välipohjan ontelolaatasta, 7,6 % valueristeharkoissa olevasta EPS-eristeestä, 6,5 % väliseinien kevytsorareikäharkoista ja 4,2 % ikkunoista. Hiilikädenjälki muodostuu lähinnä materiaalien uudelleenkäyttömahdollisuudesta ja kierrätyksestä saatavista hyödyistä.

No.	Resurssi	Vaikutukset kehdestä portille (A1-A3)	Kehdestä portille (A1-A3)
1.	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen  ?	18 tonnia CO ₂ e	34.1 %
2.	Ontelolaatta, yleinen  ?	5,9 tonnia CO ₂ e	11.2 %
3.	Eriste, EPS 100  ?	4 tonnia CO ₂ e	7.6 %
4.	Kevytsorareikäharkko, 200 mm (Leca Universalblokk)  ?	3,4 tonnia CO ₂ e	6.5 %
5.	Ikkuna, kolminkertainen lasi, puu-alumiinikehys, U-arvo 1  ?	2,2 tonnia CO ₂ e	4.2 %

KUVA 9. Betoniharkkorunkorakenteen hiilijalanjälkeen eniten vaikuttavat materiaalit. (One Click LCA)

Lamellihirsirungon hiilijalanjälki on 5,66 kg/CO₂e/m²/a ja hiilikädenjälki -10,17 kg/CO₂e/m²/a. Hiilijalanjälki koostuu 28,8 % hirsiseinärakenteesta, 18,3 % perustuksissa ja alapohjassa käytetystä valmisbetonista, 6,6 % ikkunoista, 6,1 % yläpohjaan puhallettavasta mineraalivillaeristeestä ja 5,3 % maanvaraisen lattian eristykseen käytetystä EPS-eristeestä.

No.	Resurssi	Vaikutukset kehdestä portille (A1-A3)	Kehdestä portille (A1-A3)
1.	Hirsiseinärakenne, mänty tai kuusi  ?	9,6 tonnia CO ₂ e	28,8 %
2.	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen  ?	6,1 tonnia CO ₂ e	18,3 %
3.	Ikkuna, kolminkertainen lasi, puu-alumiinikehys, U-arvo 1  ?	2,2 tonnia CO ₂ e	6,6 %
4.	Eriste, kivivilla/mineraalivilla, puhallettava  ?	2 tonnia CO ₂ e	6,1 %
5.	Eriste, EPS 100  ?	1,8 tonnia CO ₂ e	5,3 %






KUVA 10. Lamellihirsirunkorakenteen hiilijalanjälkeen eniten vaikuttavat materiaalit. (One Click LCA)

5.2 Eristemateriaalivertailu

Yksi merkittävimmistä hiilijalanjälkeen vaikuttavista materiaaleista rakentamisessa on lämmöneriste. Lämmöneristeitä on rakennuksissa alapohjassa, ulkovaipassa kuin myös yläpohjassa. Lämmöneristeellä ja eristepaksuudella on suuri vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen ja asumisviihtyvyyteen. Lämmöneristeitä on monenlaisia, ja niillä on erilainen kyky eristää lämpöä. Lämmöneristyskykyä mitataan lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla. Se tarkoittaa lämpövirran tiheyttä läpäistessään rakennusosan, kun eri puolilla rakennusosaa olevat ilmatilat ovat eri lämpöisiä. Lämmönläpäisykertoimen yksikkönä käytetään W/m²K.

Vertailussa on viisi eri eristemateriaalia rakennuksen ulkovaipan eristämiseen. Eristettävä pinta-ala vaipassa on 207 m². Kaikki eristepaksuudet ovat 200 mm, mutta energiatehokkuus vaihtelee hie-

- ruiskutettava selluvilla (0,039 W/mK)
- EPS-eriste (0,035 W/mK)
- kivivillaeristelevy (0,0346 W/mK)
- lasivillaeristelevy (0,032 W/mK)
- XPS-eriste (0,031 W/mK).

1.	Eriste, XPS  ?	3,7 tonnia CO ₂ e
2.	Kivivillaeristelevy, yleiset  ?	2,3 tonnia CO ₂ e
3.	Eriste, EPS 100  ?	2,1 tonnia CO ₂ e
4.	Lasivillaeristelevy, yleinen  ?	1,5 tonnia CO ₂ e
5.	Selluvilla, ruiskutettava (liiman kanssa)  ?	0,3 tonnia CO ₂ e

KUVA 11. Eristemateriaalien valmistuksen ympäristövaikutukset. (One Click LCA)

Näiden eristemateriaalien valmistuksesta huomattavasti suurimman ilmastokuorman aiheuttaa suula-kepuristettu XPS-eriste, 3,7 tonnia CO₂e. Polystyreenieristeistä EPS on ympäristöystävällisempää valmistaa, hiilidioksidiekvivalenttiarvon ollessa 2,1 tonnia. Mineraalivillaeristeistä pienemmän ilmastokuorman aiheuttaa lasivillaeristelevy, 1,5 tonnia CO₂e, kivivillaeristelevyn aiheuttaessa 2,3 tonnia CO₂e. Ylivoimaisesti pienin ilmastokuormitus saadaan käyttämällä ruiskutettavaa selluvillaa, jolloin kasvihuonepäästöt jäävät vain 300kg CO₂e.

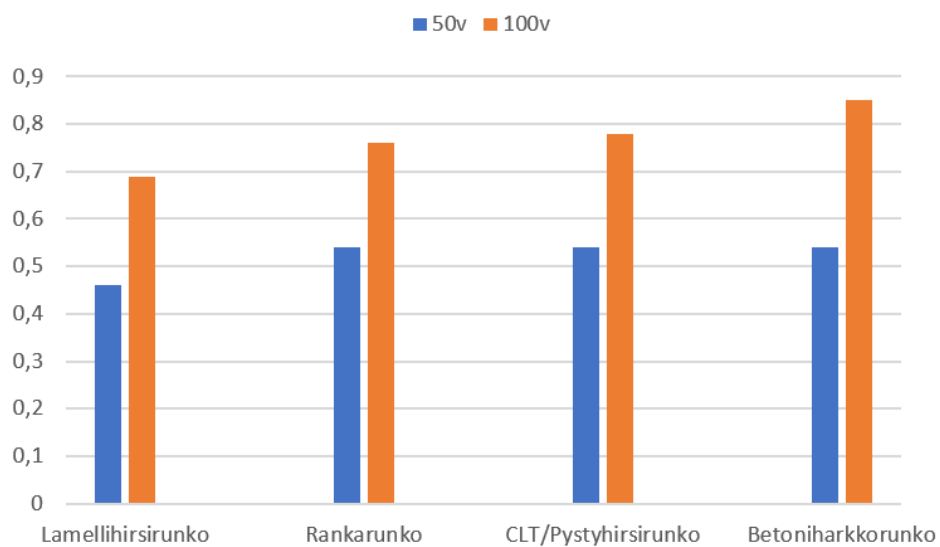
Rankarunkoisen pientalon hiilijalanjälki näitä eristeitä käytettäessä olisi pienimmillään 51,6 tonnia CO₂e ja suurimmillaan 55 tonnia CO₂e. Mikäli näitä eristeitä käytettäisiin rankarunkorakenteisen pientalon ulkovaipan eristämiseen, olisi eri eristeiden osuus koko rakennuksen hiilijalanjäljestä:

- XPS-eriste 6,7 %
- kivivillaeristelevy 4,3 %
- EPS-eriste 3,9 %
- lasivillaeristelevy 2,8 %
- selluvilla 0,6 %.

5.3 Käyttöikä

Vertailussa käytetty arviointijakso on 50 vuotta. 50-vuoden suunnitteluikä koskee muita rakennusosia kuin kantavia rakenteita, esimerkiksi kantavaa runkoa ja perustuksia, joiden suunnitteluikä on usein 100 vuotta. Elinkaariarvioinnin kolmannessa vaiheessa (moduuli B4) hiilijalanjälkilaskentaan otetaan huomioon rakennuksen huolto- ja korjaustoimenpiteisiin liittyvät materiaalivaihdot. 50 vuoden arviointijaksolla materiaalivaihdosta muodostuva hiilijalanjälki pysyi eri runkorakenteiden välillä hyvin samanlaisina, lamellihirsirukorakenteen saadessa pienimmän arvon 0,46 kg/CO₂e/m²/a sisäseinien pienemmän maalaustarpeen vuoksi. CLT/pystyhirsi-, betoniharkko- ja rankarunkorakenteiden arvo 0,54 kg/CO₂e/m²/a, joista suurimmat yksittäiset ympäristövaikutuksia aiheuttavat materiaalit ovat märkätilojen laatoitusten uusiminen sekä laminaattilattian uusiminen.

Sadan vuoden arviointijaksolla eri runkorakenteiden materiaalivaihdossa aletaan huomaamaan eroavaisuuksia. Viidenkymmenen vuoden arviointijaksosta poiketen materiaalivaihtoihin lisätään vesijohdotjärjestelmän ja viemäriputkiston uusiminen. Pienimmän arvon saa yhä lamellihirsirunko 0,69 kg/CO₂e/m²/a. Rankarunkorakenteen hiilijalanjälki nousee 0,76 kg/CO₂e/m²/a ja CLT/pystyhirsirakenteen 0,78 kg/CO₂e/m²/a pääosin julkisivuverhoilun vaihtamisen vuoksi. Betoniharkkorunkorakenteen hiilijalanjälki kasvaa arvoon 0,85 kg/CO₂e/m²/a. Suuremman nousun muihin runkorakenteisiin verrattuna aiheuttaa julkisivun ohutrappauksen uusiminen.



KUVA 12. Arviointijakson pituuden vaikutus materiaalivaihtoihin. (One Click LCA)

6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tavoitteeni oli vertailla yleisiä pientalon runkorakenteita, jotta näemme konkreettisesti eri vaihtoehtojen positiiviset ja negatiiviset ympäristövaikutukset. Vertailua oli mielenkiintoista tehdä, ja tuloksissa yllätti eristemateriaalin suuri vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen. Ympäristöystävällisyys ja ekologisuus ovat nykypäivänä tärkeässä asemassa, vaikuttaen ihmisten suurempiin hankintoihin kuin myös jokapäiväisiin valintoihin. Tämä näkyy myös nykyrakentamisessa ja tulee näyttämään hyvin suurta osaa tulevaisuuden rakennusmarkkinoilla.

Opinnäytetyön tavoitteet täyttyivät, sillä vertailulla voidaan havaita selkeästi eri materiaalien vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen. Tämän lisäksi opin paljon hiilijalanjälkilaskennasta ja siitä tulee olemaan minulle hyvin paljon hyötyä tulevaisuudessa.

Valmisbetoni aiheuttaa suuren osan pientalon päästöistä. Sitä käytetään perustusten anturoissa ja perusmuurissa sekä maanvaraisessa alapohjassa. Betonin määrä on huomattavasti suurempi rakennettaessa pientalo betoniharkkorungolla verrattuna puurunkoiseen taloon. Betoniharkkorunkoisessa talossa betonia on itse harkoissa ja sitä käytetään valettaessa harkot seinäksi, sekä välipohjassa. Betoniharkkorunkoisen talon biogeeninen hiilivarasto on hyvin pieni sekä moduuli D (uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt) ovat vähäisiä. Hiilinegatiivisuuteen ei siis päästä rakennusvaiheessa, muista rakenteista poiketen.

Massiivipuista runkorakennetta käyttäessä puurakenteet aiheuttavat suurimman osan ympäristövaikutuksista. Massiivipuun biogeeninen hiilivarasto on kuitenkin lähes yhtä suuri kuin koko rakentamisesta aiheutuvat päästöt, joten moduuli D laskettaessa mukaan jää rakennus reilusti hiilinegatiiviseksi. Rankarunkorakentamisessa biogeeninen hiilivarasto ei ole aivan yhtä suuri, ja rakennus jää vain vähän hiilinegatiiviseksi.

Suuri kokonaisuus betonin ja runkomateriaalien jälkeen hiilijalanjälkeen vaikuttavista materiaaleista on lämmöneriste. Rakennuksissa käytetään paljon lämmöneristeitä eri paikoissa. Perustukset, lattia, seinät ja yläpohja on kaikki lämmöneristettävä, jotta rakennuksesta saadaan energiatehokas. Yläpohjan eristämiseksi käytetty puhallettu mineraalivilla on ulkovaipan lämmöneristämisen ohella merkittävä hiilijalanjäljen lähde.

Bionova Oy:n One Click LCA -elinkaarilaskentaohjelmalla hiilijalanjäljen laskenta Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän mukaisesti on nopeaa ja suhteellisen helppoa. Ohjelmasta löytyy kattavasti tietoa niin ohjelman käytöstä kuin myös laskentaperiaatteista. Laskenta onnistuu ohjelman avulla hyvin, kunhan on perehtynyt ohjelman käyttöön ja Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmään. Mielestäni Bionova on toteuttanut todella hyvän ja toimivan ohjelman elinkaariarviointia varten.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Carbon Handprint Guide. [verkkoaineisto]. VTT [viitattu 2020-04-22] Saatavissa:

https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22508565/Carbon_Handprint_Guide.pdf

Cer.rts.fi. RTS EPD -ympäristöseloste. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-05-05] Saatavissa:

<https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/>

EPS-eristeet. Lämmöneristystarvikkeet. RT 36-11113. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu

2020-04-27] Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11113>

Harkkokäsikirja 2016. [verkkoaineisto] Betoniteollisuus ry [viitattu 2020-05-22] Saatavissa:

https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/harkkokasikirja_2016-sisallysluettelolla.pdf

Hirsitalon suunnitteluperusteet. RT 82-11168. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-04-

27] Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2082-11168>

Hotwiresystems.com. [verkkoaineisto]. MITÄ POLYSTYREENI (EPS) ON? [viitattu 2020-05-02]. Saa-

tavissa: <https://hotwiresystems.com/fi/mita-polystyreeni-eps-xps-on-styrox-eri-kayttomuotojen/>

Ilmastonmuutos. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. RT 103170. [online]. Helsinki:

Rakennustieto [viitattu 2020-04-27] Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103170>

Johdatus rakennuksen elinkaariarviointiin. [verkkoaineisto]. Ympäristöministeriö [viitattu 2020-04-

22] Saatavissa: [https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennus-](https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf)

[ten_elinkaariarviointiin.pdf](https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf)

Mangrove.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-04-22] Saatavissa: <https://www.mangrove.fi/ajankoh->

[taista/mita-tarchoittavat-rakentamisen-hiilijalanjalki-ja-hiilikadenjalki-miten-ne-nakyvat-mangroven-](https://www.mangrove.fi/ajankoh-)

[tekemisessa/](https://www.mangrove.fi/ajankoh-)

Mineraalivillaeristeet. Lämmöneristystarvikkeet. RT 36-10689. [online]. Helsinki: Rakennustieto [vii-

tattu 2020-04-27] Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-10689>

OpenCO2.net. [verkkoaineisto]. Taustaa. [viitattu 2020-04-22] Saatavissa:

<https://www.openco2.net/fi/taustaa>

Puinfo.fi. [verkkoaineisto]. Hirsirakenteet. [viitattu 2020-04-22] Saatavissa: <https://www.puu->

[info.fi/puutieto/puurakenteet/hirsitalon-suunnittelu/hirsirakenteet](https://www.puu-)

Puukitueristeet. Lämmöneristystarvikkeet. RT 36-11090. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-04-27] Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11090>

Pystyhirsi.fi. [verkkoaineisto]. Miksi pystyhirsi? [viitattu 2020-04-22] Saatavissa: <http://www.pystyhirsi.fi/index.php?sivu=miksipystyhirsi>

Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. [verkkoaineisto]. Ympäristöministeriö [viitattu 2020-04-22] Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyysden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Selluvilla.net. [verkkoaineisto]. Esite. [viitattu 2020-05-02] Saatavissa: https://www.selluvilla.net/images/Sellu_2013_Webb.pdf

Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-04-27] Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299>

STENROOS, Matti 2020-05-19. Rakennusinsinööri. [haastattelu]. Hämeenlinna: Timberframe Oy.

TALJA, Arto 2020-05-06. Rakennusmestari. [haastattelu]. Hämeenlinna: Kodinto Oy.

Tiainen, Anna-Riikka, Pihlajaniemi, Janne, Lakkala, Matti. [verkkoaineisto]. Arkkitehdin hirsioapas. [viitattu 2020-04-22] Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526217956.pdf>

U-VALUE - COMPARATIVE EXAMPLES. 2012. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-04-22] Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/U-Value-Comarative-examples-EN.pdf>

XPS-eristeet. Lämmöneristystarvikkeet. RT 36-11102. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-04-27] Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11102>

LIITE 1. Materiaaliluettelot

LIITE 2. Vertailu