OAMK OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Meeri Niskakangas

PIENTALON RUNKOMATERIAALIN VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN

PIENTALON RUNKOMATERIAALIN VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN

Meeri Niskakangas
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä: Meeri Niskakangas
Opinnäytetyön nimi: Pientalon runkomateriaalin vaikutus hiilijalanjälkeen
Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Effect of Frame material of One-family House on Carbon Footprint
Työn ohjaaja: Risto Halonen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2023 Sivumäärä: 48

Vähähiilisyyden tavoittelemisen myötä hiilijalanjälkeä on alettu arvioida yhä enemmän ja enemmän myös rakentamisessa. Pientalon rakennuttajat ovat alkaneet tulla tietoisemmiksi valinnoistaan, ja esimerkiksi rakennusmateriaalien hiilijalanjäljellä on merkitystä valintaa tehdessä.

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin osaltaan vastaamaan tähän pohdintaan. Työssä verrattiin pientalon kolmen erilaisen runkomateriaalin hiilijalanjälkeä. Runkomateriaaleina olivat CLT, kivirakenne ja puurankarakenne. Työtä varten suunniteltiin pientalo, jonka hiilijalanjälki arvioitiin näillä kolmella runkomateriaalilla. Hiilijalanjäljen arvioinnissa käytettiin One Click LCA -ohjelmistoa. Hiilijalanjäljen arviointi oli osa elinkaariarviota, joten samalla saatiin tulokset koko elinkaariarviosta. Hiilijalanjäljen lisäksi elinkaariarviointiin kuului biogeenisen eli eloperäisen hiilen määrä, rehevöitymiseen ja happamoitumiseen vaikuttavien päästöjen määrä sekä alailmakehän otsonin lisääntymiseen ja otsonikatoon vaikuttavien päästöjen määrä.

Elinkaariarviosta selvisi, että pientalon runkomateriaalilla ei ole kovin suurta vaikutusta rakennuksen koko elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen. Elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä CLT-runkoisella pientalolla 5,33 %, tuli rungosta. Puurankarunkoisella pientalolla 6,57 % hiilijalanjäljestä aiheutti runkomateriaalit ja harkkorunkoisen pientalon hiilijalanjäljestä 10,34 %. Kaikilla kolmella eri runkomateriaalista suunnitellulla pientalolla suurimman osan hiilijalanjäljestä aiheutti lämmitykseen käytetty energia.

Asiasanat: hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, elinkaariarviointi, CLT, kivirunko, puurankarunko, pientalo

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Architecture

Author: Meeri Niskakangas
Title of thesis: Effect of Frame material of One-family House on Carbon Footprint
Supervisor: Risto Halonen
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023
Number of pages: 48

Since low carbon footprint is worth of reaching for, it has also been the top topic in construction. The developers of one-family houses are aware of their choices and building materials footprints matter.

This thesis aims to answer to this discussion for its part. In the thesis there is comparison between three different frameworks of a one-family house: CLT, bricks of lightweight aggregate concrete and timber framework. For the thesis a one-family house was designed. Carbon footprint was valued with these three different framework materials. One Click LCA -program was used to make the estimation.

The carbon footprint was a part of life cycle assessment, so at the same time the results of other environmental impacts was received. The emissions, which affect to the eutrophication and acidification of water systems, ozone depletion and low atmospheric ozone were valued. In addition to this the amount of biogenic carbon was valued.

The framework material of one-family house didn't have very high effect to the carbon footprint of the one-family house's whole life. The carbon footprint of the framework was 5,32 % from the whole footprint of the house which was built with CLT-material. The blocks of lightweight aggregate concrete caused 10,34 % about the whole footprint of the stone house. The framework caused 6,57 % about the footprint of the house with timber frame. Heating energy caused the biggest effect to the footprint in every house.

---

carbon footprint, carbon handprint, life cycle assessment, CLT, stone house, timber house, framework material

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ... 6
2 YMPÄRISTÖVAIKUTUSKÄSITTEET ... 7
2.1 Hiilijalanjälki ... 7
2.2 Hiilikädenjälki ... 7
2.3 Elinkaariarviointi ... 8
3 RUNKORAKENTEET ... 10
3.1 CLT-rakenteinen pientalo ... 10
3.2 Kivirunkoinen pientalo ... 12
3.3 Puurankarunkoinen pientalo ... 14
4 HIILIJALANJÄLJEN VERTAILUA VARTEN SUUNNITELTU PIENTALO ... 16
4.1 Luonnostasoiset piirustukset ... 16
4.2 Rakennuksen talotekninen suunnittelu ... 18
4.3 Hiilijalanjäljen arvioinnin rajaus ... 18
5 LÄMPÖHÄVIÖIDEN TASAUSLASKENTA SUUNNITELLULLE RAKENNUKSELLE ... 19
6 HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTI ... 22
6.1 Puurankarunkoisen pientalon hiilijalanjälki ... 22
6.2 Kivirunkoisen pientalon hiilijalanjälki ... 25
6.3 CLT-runkoisen pientalon hiilijalanjälki ... 28
6.4 Tulosten vertaus ... 32
7 HIILIKÄDENJÄLKI ... 34
8 MUUT ELINKAARIARVIOINNIN TULOKSET ... 38
8.1 Rehevöityminen ... 38
8.2 Happamoituminen ... 39
8.3 Alailmakehän otsoni ... 40
8.4 Otsonikato ... 41
9 YHTEENVETO ... 43
LÄHTEET ... 45

1 JOHDANTO

Hiilijalanjälkeä käytetään koko ajan enenevissä määrin ihmisen toiminnan aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen määrän arviointiin. Koska Suomen hiilidioksidipäästöistä noin kolmannes syntyy rakennuksista ja rakentamisesta, ei ole ihme, että hiilijalanjäljen laskeminen yleistyy myös rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Vuoteen 2025 mennessä rakennusten hiilijalanjäljen laskemista onkin tarkoitus ohjata lainsäädännöllä (1).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on vertailla pientalon erilaisten runkoratkaisujen hiilijalanjälkeä ja vaikutusta koko rakennuksen hiilijalanjälkeen. Runkovaihtoehdoiksi on valittu massiivipuinen CLT-rakenne, kivirunkoinen rakenne eli tässä tapauksessa kevytsoraharkkorakenne sekä perinteinen puurankarunkoinen rakenne. Vaihtoehdot valikoituivat sen vuoksi, että ne ovat täysin erilaisia keskenään ja suosittuja vaihtoehtoja pientalon runkomateriaaliksi.

Työtä varten suunnitellaan pientalo, joka vastaa kooltaan ja tyyliltään tyypillistä Oulun pientaloasuinalueelle rakennettua taloa. Talo on harjakattoinen, kolme makuuhuonetta ja yleiset tilat sisältävä pientalo. Pientalon suunnitelmista saadaan laskettua tarvittavat materiaalimäärät rungolle ja muut hiilijalanjäljen arviointia varten tarvittavat tiedot. Rakennuksen laajuustietojen avulla pientalolle tehdään lämpöhäviöiden tasauslaskenta, jotta elinkaaren aikainen energiankulutus saadaan selville.

Pientalolle tehdään elinkaariarviointi One Click LCA -ohjelmistolla käyttäen arvioinnissa kolmea erilaista runkoratkaisua. Elinkaariarvioinnilla tarkoitetaan rakennuksen koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten huomiointia aina rakennusvaiheesta purkuun ja jätteen kierrätykseen. Elinkaariarviointi sisältää arvion hiilijalanjäljestä sekä hiilikädenjäljestä. Näiden lisäksi One Click LCA:lla laskettuna standardin EN 15978 mukaiseen elinkaariarviointiin sisältyy rehevöitymiseen, happamoitumiseen, otsonikatoon ja alailmakehän otsoniin vaikuttavien päästöjen määrän arviointi.

2 YMPÄRISTÖVAIKUTUSKÄSITTEET

Seuraavissa luvuissa 2.1–2.3 kerrotaan tarkemmin tässä työssä tarvittavista käsitteistä, jotka liittyvät pientalon runkomateriaalien ympäristövaikutusten arviointiin.

2.1 Hiilijalanjälki

Käsitteellä hiilijalanjälki tarkoitetaan jonkin asian tuottamaa ilmastokuormaa. Yleisimmin käytetty yksikkö hiilijalanjäljelle on hiilidioksidiekvivalentti (CO_2e). Hiilidioksidiekvivalenttiin on laskettu hiilidioksidin lisäksi kuusi muutakin kasvihuonekaasua, kuten esimerkiksi dityppioksidi ja metaani. Nämä kaasut on määritelty Kioton protokollassa. Eri kasvihuonekaasut vaikuttavat eri tavoilla ilmaston lämpenemiseen (GWP, Global Warming Potential). Hiilidioksidin ilmastoa lämmittävälle vaikutukselle on annettu arvoksi 1. Muiden kasvihuonekaasujen GWP on suhteutettu tähän hiilidioksidin lukuun. (2.)

Päästöt ilmoitetaan massana. Yksikkönä on suuruusluokan mukaan joko tonnit, kilogrammat tai grammat. Kaikki elinkaaren aikaiset välittömät ja välilliset päästöt huomioidaan hiilijalanjälkeä määritettäessä. (3.) Hiilijalanjäljessä ei oteta huomioon mahdollisia kompensaatioita.

2.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki on vastakohta hiilijalanjäljelle. Hiilikädenjäljellä kerrotaan jonkin asian tuottaman ilmastohyödyn määrä. Siinä missä hiilijalanjälki ilmaisee heti syntyvien päästöjen määrän, hiilikädenjälki korostaa tulevia hyviä ympäristövaikutuksia. (4.) Vaikka nämä käsitteet ovatkin päinvastaiset ja hiilikädenjäljellä voidaan kompensoida aiheutettuja päästöjä, nämä luvut pitää ilmoittaa erikseen, eikä vähentää toisistaan.

Hiilikädenjälkeä kasvattavat esimerkiksi materiaalin hyvä kierrätettävyys, ulosmyyty rakennuksessa tuotettu ylijäävä uusiutuva energia, biogeeninen eli eloperäinen hiilivarasto sekä sementin karbonatisoituminen. (5.) Karbonatisoitumisella tarkoitetaan kemiallista reaktiota, jossa ilmassa

oleva hiilidioksidi CO_2 reagoi betonin kalsiumhydroksidin $Ca(OH)_2$ kanssa. Syntyvä yhdiste on kalsiumkarbonaatti $CaCO_3$. (6.) Betoni siis sitoo karbonatisoitumisessa hiilidioksidia itseensä.

Rakennusmateriaaleja vertailtaessa puulla on suurin hiilikädenjälki. Esimerkiksi CLT:n hiilikädenjälki on -1,6 CO_2e/kg ja sen hiilijalanjälki on 0,2 CO_2e/kg. (7.) Tämä tarkoittaa, että materiaali on sitonut itseensä hiilidioksidia kahdeksan kertaa enemmän kuin tuottaa sitä. Puun kohdalla hiilikädenjälki tuleekin ainoastaan biogeenisen hiilivaraston määrästä. Puun ekologisuus onkin se syy, miksi ympäristöministeriö haluaa tukea massiivipuurakentamista Suomessa. (8.)

2.3 Elinkaariarviointi

KUVA 1. Elinkaariarviointimenetelmä (9)

Tässä työssä hiilijalanjäljen arviointiin on käytetty One Click LCA -ohjelmaa, joka on elinkaariarviointiohjelmisto. LCA tulee sanoista Life Cycle Assessment eli elinkaariarviointi. Pientalon suunniteltu käyttöikä on yleensä 50 vuotta, joten tätä käytettiin myös rakennuksen elinkaaren pituutena (10).

Elinkaariarvioinnin avulla käydään läpi jonkin tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset alkaen valmistuksesta ja päättyen käyttövaiheen jälkeen purkamiseen. Siinä otetaan samanaikaisesti huomioon useita erilaisia ympäristövaikutuksia. Hiilijalanjälki sisältyy elinkaariarviointiin, mutta se voi olla myös erillinen indikaattori. (11.) Muita elinkaariarvioinnissa käytettyjä mittareita ovat esimerkiksi kuvan 1 mukaisesti rehevöityminen, happamoituminen, otsonikato, toksisuus, pienhiukkaset, luonnonvarojen käyttö ja maankäyttö. (9.) One Click LCA -ohjelmalla standardin EN 15978 mukaisesti pystyttiin arvioimaan näistä rehevöityminen, happamoituminen ja otsonikato.

Elinkaariarviointi jaetaan neljään eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely. Toinen vaihe on inventaarioanalyysi. Tässä vaiheessa kerätään lähtötiedot eli kootaan järjestelmän panokset ja tuotokset. Kolmas vaihe on vaikutusten arviointi ja neljäs tulosten tulkinta. (9, s.3.)

3 RUNKORAKENTEET

Seuraavissa luvuissa 2.1–2.3 esitellään hiilijalanjäljen laskemiseen ja vertailuun käytettäviä runkorakenteita. Rakenneratkaisut ovat tyypillisiä pientaloissa käytettyjä rakenteita. Vertailtavissa taloissa ulko- ja väliseinät sekä yläpohja on suunniteltu eri rakenteisiksi, mutta alapohja ja vesikatto ovat samanlaiset kaikissa kolmessa talossa.

3.1 CLT-rakenteinen pientalo

CLT eli Cross Laminated Timber tarkoittaa suoraan suomennettuna ristiin liimattua puuta. CLT on tyypillisesti kuusesta tai männystä valmistettu massiivipuuelementti, joka koostuu yleensä kolmesta tai viidestä kerroksesta ristiin liimattua lautaa (kuva 2). Kerroksia voi olla useampiakin. Näin saatu rakenne on suhteellisen kevyt, mutta erittäin luja ja jäykkä. Lisäksi levy kestää hyvin paloa. (12.) Rakenteensa ansiosta CLT-elementit ovat painumattomia (13).

KUVA 2. CLT-elementin rakenne (12)

CLT-elementtien koot vaihtelevat hieman riippuen valmistajasta. Levyn leveys on korkeintaan 2,95–4,8 m, pituus 12–20 m ja paksuus 60–400 mm. (12.)

Vaikka elementit valmistetaan yleensä kuusesta tai männystä, voidaan levyjen ulkonäköön vaikuttaa monella tapaa. Näkyvä seinäpinta voidaan esimerkiksi urittaa tai pinnoittaa. Uloin CLT-kerros voidaan myös tehdä eri puulajista. (12.) Puupintaa ei ole pakko jättää näkyville, vaan se voidaan maalata tai tapetoida. Pintakäsittely on suotavaa tehdä jollain tavalla, koska käsittelemätön puupinta kellastuu sisätiloissa ja harmaantuu ulkona. Kellastumisen estämiseksi pinta voidaan esimerkiksi käsitellä lipeällä (14).

Elementtien jäykkyys ja kestävyys mahdollistavat sen, että ikkunat ja ovet voidaan sijoittaa vapaasti. Lisäksi elementeistä voidaan työstää mittatarkasti erilaisia rakenteita. (12.) Koska CLT-levyt ovat kantavia elementtejä, se on myös huoleton rakenne sisustamisen kannalta: tauluja ja hyllyjä voi kiinnittää, mihin kohti seinää haluaa.

Elementtien valmistuksessa käytetään polyuretaaniliimaa. Samaa liimaa käytetään esimerkiksi lamellihirsissä. (15.) Liimaustyylejä on kaksi, ja valittu tapa vaikuttaa levyn ominaisuuksiin. Osassa tehtaita laudat liimataan syrjistään ennen ristiin latomista, jotta saadaan yhtenäinen levy. Tämän jälkeen levyt ladotaan ristiin ja liimaa levitetään myös levykerrosten väliin, lappeelle. Toisella tavalla tehtynä syrjäliimaus jätetään pois ja liimasaumat tulevat vain lappeiden väliin. (12.)

Massiivipuun lämmöneristävyyskyky on heikompi kuin ranka- ja kivirunkoisella talolla (16).Tässä työssä massiivipuisen ulkoseinän paksuudeksi suunniteltiin 240 millimetriä. Tämän paksuisen CLT-seinän U-arvo on 0,4 W/m^2K. Kun CLT-elementtiä käytetään ulkoseinänä, voidaan ulkopuolelle lisätä eriste, koolaukset ja ulkoverhous. Tällä tavoin seinärakenteen U-arvo saadaan samoihin lukemiin kuin esimerkiksi puurankarakenteisella ulkoseinällä. (17.) Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin seinärakenteena ainoastaan CLT:tä, jotta vertailtavista rakenteista saadaan riittävän erilaiset.

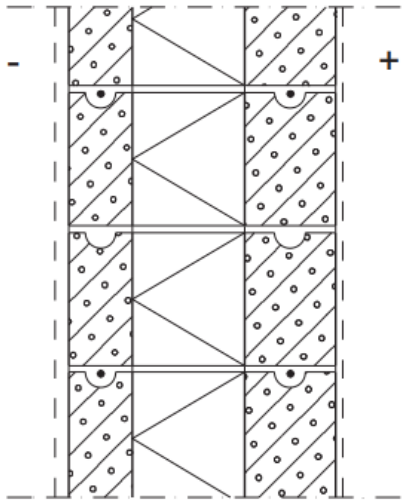
CLT-elementtejä voidaan niin halutessa käyttää ulkoseinien lisäksi ylä-, ala- ja välipohjissa sekä väliseinissä. Välipohjissa käytettynä elementtejä voidaan käyttää liittorakenteena betonivalun ja/tai puupalkiston kanssa, tai sellaisenaan, jos välipohjalla ei ole ääneneristysvaatimuksia. (12.) Jotta

hiilijalanjälkien erot laskelmissa korostuisivat, suunnitellussa pientalossa käytettiin myös yläpohjassa ja väliseinissä CLT-rakennetta. Alapohjana toimi maanvarainen alapohja betonirakenteisena. Väliseinät suunniteltiin 90 millimetriä paksuista CLT-elementeistä.

3.2 Kivirunkoinen pientalo

Käsitteellä kivitalo tarkoitetaan monenlaista rakennetta. Kivitalo voi olla tehty betonista, tiilestä tai harkoista. Harkkojakin on lukuisia erilaisia betoniharkoista kevytsoraharkkoihin. Osaan valetaan betoni sisään, osa muurataan. (18, s.8) Tässä yhteydessä kivirunkoisella pientalolla tarkoitetaan lämpöharkoista muuraamalla rakennettua taloa.

Rakennuksen ulkoseinä koostuu 380 mm leveistä, 498 mm pitkistä ja 195 mm korkeista kevytsoraharkoista, joiden keskellä on 160 mm polystyreenieristettä. (Kuva 2.) Tällä seinärakenteella U-arvo on 0,16 W/m^{2}K. (19.) Harkkojen lisäksi ulkoseinään ei tarvita muuta kuin pintakäsittely molemmin puolin. Pintakäsittely on suotavaa, koska harkot ovat huokoista materiaalia ja läpäisevät käsittelemättöminä helposti vesihöyryä ja radonia. (18, s.22.) Pintakäsittely toimii myös ilman- ja höyrynsulkukerroksena, eikä erillistä muovikerrosta tarvita.



KUVA 2. Eristetty kevytsoraharkkorakenteinen ulkoseinä (20, s.17.)

Harkot on valmistettu huokoisista sorarakeista, joiden ansiosta rakenne on kevyt ja helposti työstettävä, mutta kuitenkin kestävä ja luja. Sorarakeet ovat savea, jota on polttamalla paisutettu. Lisäksi kevytsoraharkoissa on vettä, kiviainesta, rakennussementtiä ja täyteaineita.

Kevytsoraharkot muurataan vaakasaumoistaan kiinni joko 10 mm:n saumalla tai 5 mm:n ohutsaumamuurauksella. Jos käytetään 10 mm:n saumaa, myös pystysaumoihin muurataan yhtä paksu sauma. Ohutsaumamuurauksessa pystysaumoja ei tarvitse muurata, ellei rakennesuunnitelma niin vaadi. (18, s. 15) Laasti on helpoin levittää harkkojen päälle muurauskelkalla. (18, s.96) Eristeen kohdalta ei muurata. Jos vaakasaumaan laitetaan eristeen kohdalle polyuretaanivaahtoa tai mineraalivillakaista, seinärakenteen U-arvo saadaan hieman pienemmäksi. (18, s.96; 21, s.15)

Seinärakenteen vahvistamiseksi harkkorakenteessa käytetään rakennesuunnitelman mukaisesti raudoituksia, jotka ottavat leikkaus-, taivutus- ja vetojännityksiä vastaan. Näin vähennetään halkeilua, joka johtuu lämpö- ja kosteusliikkeestä sekä rakenteen kutistumisesta. (18, s.19.) Yleensä joka toisen harkkokerroksen molempiin harkkokuoriin laitetaan ennen laastin levitystä 8 mm harjaterästangot kutistumaraudoitukseksi. Raudoitukset laitetaan myös aina aukkojen ylä- ja alapuolelle. (18, s.97)

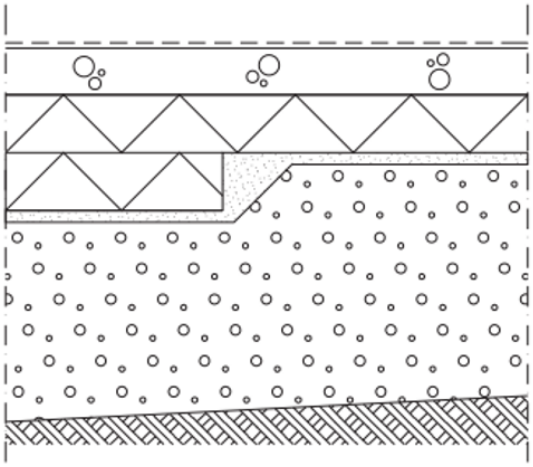
Yleensä harkoilla rakennettaessa käytetään suunnittelussa moduulimitoitusta. Kevytsoraharkoilla moduulimitoitus ei ole pakollista, koska harkkoja saa leikattua niin helposti. Moduulimitoitus kuitenkin helpottaa rakentamista ja säästää ylimääräiseltä työltä. (21, s. 23)

Tavallisten harkkojen lisäksi on saatavilla myös rakennustyötä helpottavia erikoisharkkoja. Esimerkiksi molemmin kätisiä nurkkaharkkoja, aukonylitysharkkoja sekä antura-, pilari- ja hormiharkkoja. (18, s. 16)

Jotta kivirunko jatkuisi myös yläpohjassa, yläpohjaan suunniteltiin ontelolaattarakenne. Ontelolaattojen paksuudeksi riitti 200 millimetriä, jolloin ohjeellinen enimmäisjänneväli oli kahdeksan metriä (22, s. 5). Laattojen leveys oli 1200 millimetriä. Ontelolaatan päälle tuli lämmöneriste, tuulettuva välitila ja vesikatto.

Väliseinät suunniteltiin kevytsoraharkoista. Käytettävien harkkojen leveys oli 88 millimetriä, korkeus 300 millimetriä ja pituus 498 millimetriä (23.). Kivirakenteisen väliseinän etuja ovat hyvä ääneneristävyys sekä kosteuden- ja palonkestävyys (22, s.5).

Alapohjaksi suunniteltiin maanvarainen paikallavalettu betonialapohja. Tämän rakenteen U-arvo on 0,16 W/m^{2}K. Lattian pintamateriaalin alle tulee 80 mm paksu teräsbetonilaatta, jonka alle asennetaan suodatinkangas. Seuraava rakennekerros on 100 mm EPS-eristettä. Reuna-alueella metrin levyisellä kaistaleella eristettä tulee 200 mm. Eristeiden alle tulee 20 mm tasaushiekkaa, hiekan alle toinen kerros suodatinkangasta ja alimmaiseksi vähintään 300 mm salaojituskerros. (Kuva 3.) (24, s.20)

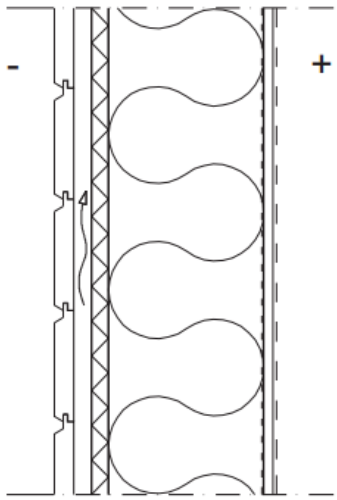


KUVA 3. Maanvaraisen alapohjan rakenne (25)

3.3 Puurankarunkoinen pientalo

Puurankarunko on yleisimmin valittu runkoratkaisu pientaloon. Rankarunkoisessa seinässä on useita erilaisia rakennekerroksia, joista jokaisella on oma tehtävänsä. Rakennekerrokset voivat hieman vaihdella, mutta periaate on kaikissa sama (26). Oheisessa kuvassa on esiteltynä rakenne,

jota tässä työssä on käytetty (kuva 4). Kuvasta poiketen pientalon suunnitelmissa on ulkoverhouksena pystyverhous, joten kuvasta puuttuu vaakakoolaus ulkoverhouksen takaa. Ulkoverhous suojaa seinää säältä.



KUVA 4. Esimerkki puurankarunkoisen seinän rakennekerroksista (20, s. 24)

Ulkoverhouksen takana on tuuletusrako, jonka on säilyttävä yhtenäisenä. Raon jälkeen on tuulensuojalevy, joka osaltaan jäykistää seinää ja vaikuttaa ääni- ja paloteknisiin ominaisuuksiin. Seuraavana kerroksena on runko ja eristys. Runkotolpat asennetaan 600 mm:n jaolla, ja eristeet laitetaan tolppien väliin. Jos eristeeltä vaaditaan paloturvallisuutta, sen pitää olla palossa sulamatonta eli tavallisesti kivivillaa. Rungon jälkeen tuleva kerros on ilman- ja höyrynsulku, eli muovikalvo tai kangas, joka on tähän tarkoitukseen suunniteltu. Ilman- ja höyrynsulun jälkeen laitetaan vielä rakennuslevy, joka voi olla vaneri, lastulevy tai kartonkipintainen kipsilevy. Rakennuslevylläkin on roolinsa palo- ja ääniteknisessä toiminnassa. (27.) Rakennuslevy voidaan tasoittaa ja päällystää halutulla tavalla, esimerkiksi maalaamalla tai tapetoimalla.

Työhön valitulla rakenteella U-arvo on 0,16 W/m^{2}K. (28, s.24) Rankarunkoisella seinällä voi saada paremmankin U-arvon lisäämällä eristekerroksen, mutta valittu rakenneratkaisu on tavallisimmin käytetty rakenne rankarunkoisissa pientaloissa, joten se valittiin tähänkin työhön.

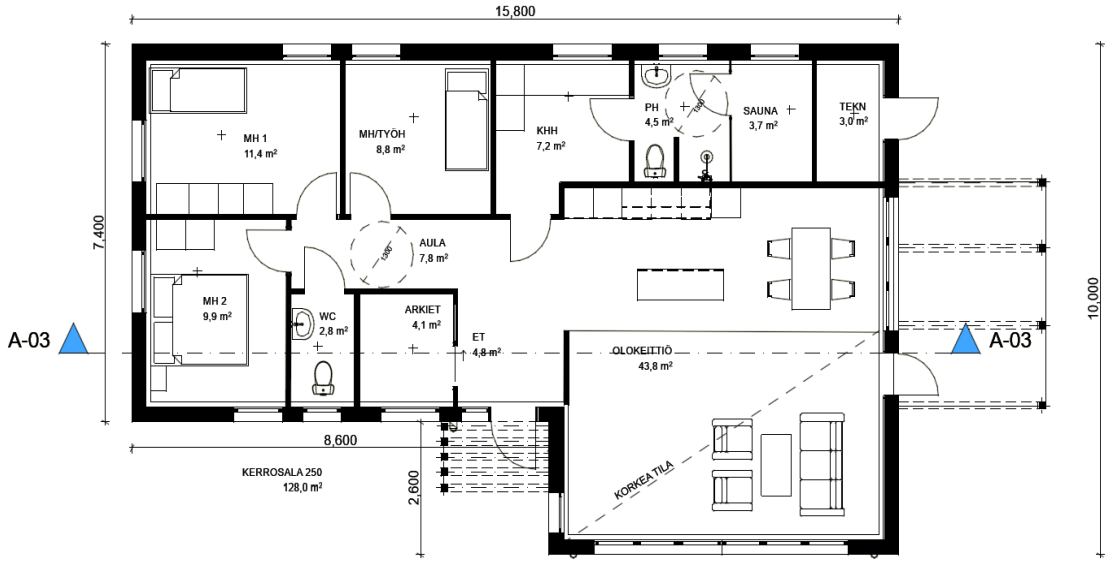
4 HIILIJALANJÄLJEN VERTAILUA VARTEN SUUNNITELTU PIENTALO

Hiilijalanjäljen laskemista varten suunniteltiin pientalo. Jotta luvuista saataisiin mahdollisimman vertailukelpoisia ja ymmärrettäviä, talosta pyrittiin tekemään tyypillinen Oulun alueen pientalo kokonsa ja ulkonäkönsä puolesta. Monet Oulun alueen pientalot ovat noin 120 m^2 huoneistoalaltaan ja niistä löytyy kolme makuuhuonetta. Taloissa on monesti harjakatto ja puuverhous.

Suunnitellun talon huoneistoala on 119 m^2. Suunnittelussa ei ollut käytössä mitään yksittäistä tonttia. Hiilijalanjäljen laskemiseen tarvittiin kuitenkin rakennuksen sijainti kaupungin tarkkuudella, joten talon ajateltiin tulevan Ouluun.

4.1 Luonnostasoiset piirustukset

Laskemista varten tarvittiin tarkat määrät rakenteille. Nämä saatiin Archicad-ohjelmasta hyvin laskettua, joten työhön riitti luonnostasoiset piirustukset. Pientalon huoneistoala oli 120 m^2, ja siinä oli yleisten tilojen lisäksi kolme makuuhuonetta, kodinhoitohuone, pesutilat ja arkieteinen. (Kuva 5.) Huonekorkeus oli märkätiloja lukuun ottamatta 2700 mm. Lisäksi olohuoneeseen suunniteltiin harjan mukainen sisäkatto, joka toi avaruutta ja tilan tuntua oleskelutiloihin. Talossa on hieman perinteisestä suorakaiteen mallisesta talosta poiketen l-mallinen pohjaratkaisu.



KUVA 5. Pientalon pohjapiirros

Ulkoverhousmateriaali vaihteli talossa sen mukaan, mikä oli runkomateriaalina. CLT-talossa ulkoverhousta ei välttämättä erikseen tarvita, koska CLT kestää säätä. Kivitalossa ulkoseinät ovat valkoiseksi rapatut, ja rankarunkoiseen taloon suunniteltiin pystyverhous lehtikuusesta. (Kuva 6.)

Rakennukseen valikoitui tummanharmaa bitumikermipäällysteinen harjakatto. Lisäksi yhdelle seinustalle suunniteltiin pergolamallinen katettu terassi. Pergolan tyyliä jatkettiin myös pääsisäänkäynnin katokseen. Makuuhuoneisiin ja oleskelutiloihin saatiin avaruutta ja luonnonvaloa korkeilla ikkunoilla. Ikkunat olivat U-arvoltaan 0,8 W/m^{2}K ja ovet 1,0 W/m^{2}K.

KUVA 6. Rankarunkoisen talon julkisivukuvat

4.2 Rakennuksen talotekninen suunnittelu

Vaikka rakennusta ei sijoitettukaan millekään tietylle tontille, ajateltiin pientalon tulevan kaava-alueella olevalle pientaloasutusalueelle. Näin ollen pientalo oli kaukolämpöverkoston alueella ja tämä oli luonteva valinta lämmitysmuodoksi. Kaukolämpö on Suomen suosituin lämmitysmuoto, vaikkakin omakotitaloista vain 7 % käyttää sitä (29).

Lämmönjakomuotona talossa käytettiin lattialämmitystä. Rakennukseen suunniteltiin myös koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Ilmalämpöpumppua tai muuta viilennystä ei tullut. Käyttöveden lämmitykseen käytettiin kaukolämpöä.

4.3 Hiilijalanjäljen arvioinnin rajaus

Hiilijalanjäljen arvioinnista jätettiin ulkopuolelle kiintokalusteet ja LVIS-tuotteet, eli vesi- ja sähköjohdot, ilmastointi- ja viemäriputket sekä lattialämmitysverkosto. Näiden merkitys koko rakennuksen hiilijalanjälkeen on pieni. Lisäksi nämä ovat kaikissa kolmessa talossa samat, joten ne eivät vaikuta runkomateriaalin hiilijalanjäljen eroihin.

Piha-alue maatöineen rajattiin myös laskelmien ulkopuolelle. Terassi katoksineen ja pääsisäänkäynnin portaat jätettiin laskuista pois.

Laskelmiin otettiin ulko- ja väliseinät, vesikatto ja yläpohja, alapohja, ikkunat ja ovet. Lisäksi huomioitiin seinien pintamateriaalit eli maalit, tasoitteet ja rappaukset, lattiamateriaali, sisäkaton materiaali ja märkätilojen lattia- ja seinälaatoitus. Lattiamateriaalina oli kivi- ja rankarunkoisessa talossa parketti, CLT-talossa betoni. Märkätilojen laatat olivat samanlaiset joka talossa. Rankarunkoiseen taloon suunniteltiin MDF-paneeli kattoon. Kivitalossa yläpohjassa oli ontelolaatta, joka päällystettiin. CLT-talossa puupinta jäi näkyville myös katossa. Väliovet ja saunan lasiseinä otettiin laskelmiin mukaan.

5 LÄMPÖHÄVIÖIDEN TASAUSLASKENTA SUUNNITELLULLE RAKENNUKSELLE

Laskentapalvelut on D.O.F. tech Oy:n ja Saint-Gobain Finland Oy:n tarjoama sivusto, jossa on lukuisia erilaisia laskentasovelluksia rakentamiseen liittyen. Esimerkiksi energiatodistukset ja -selvitykset voidaan tehdä tällä sivustolla. (30.)

Laskentapalvelujen laskentaohjelmia käytettiin energiaselvitysten ja lämpöhäviöiden tasauslaskentojen tekemiseen. Näistä tuloksista saatiin selville työtä varten suunniteltujen kolmen eri runkorakenteisen pientalon vuosittaiset energiankulutukset. Koska hiilijalanjäljen arviointi koskee koko rakennuksen elinkaarta, lämmitykseen ja sähkölaitteisiin kuluva energiamäärä tarvitaan arviointia tehdessä.

TAULUKKO 1. Puurankarunkoisen pientalon energiankulutus

Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

	Ostoenergia kWh/(m² a)	E-luku kWh/(m² a)
Tilojen lämmitys (2)	82.55	60.88
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	2.00	3.39
Lämmin käyttövesi	40.47	28.33
Sähkölaitteet	28.03	47.65
Jäähdytys	0.00	0.00
Yhteensä	**153.05**	**140.26**

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.
(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.

E-luku	141	kWh/(m² a)
E-luvun raja-arvo	204	kWh/(m² a)

Todellinen ostoenergia

	kWh/a	kWh/(m² a)
Tilojen lämmitys	12090	101.26
Ilmanvaihdon lämmitys	374	3.13
Lämmin käyttövesi	4832	40.47
Sähkölaitteet	3350	28.06
Jäähdytys	0	0.00
Yhteensä	**20647**	**172.92**

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.
(E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

Energiaselvityksen mukaan rankarunkoisen ja kivirunkoisen pientalon lämmitykseen kuluva energiamäärä oli miltei sama. Puurankarunkoisen talon lämmitykseen meni vuodessa 12 090 kilowattituntia (taulukko 1). Kivirunkoisella talolla vastaava luku oli 11 831 kWh (taulukko 2). Ihan omaa luokkaansa oli CLT-rakenteinen talo, jonka lämmitykseen kuluva energia oli 16 083 kWh vuodessa (taulukko 3). CLT-talossa lämmitykseen meni siis noin 4000 kWh enemmän energiaa vuodessa, kuin kivi- ja rankarunkoisessa talossa. Koska ylä- ja alapohjan, ikkunoiden ja ovien U-arvot ovat samat näillä kolmella suunnitellulla rakennuksella, energiankulutuksen ero selittyy seinärakenteella.

TAULUKKO 2. Kivirakenteisen pientalon energiankulutus

Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

	Ostoenergia kWh/(m² a)	E-luku kWh/(m² a)
Tilojen lämmitys (2)	80.71	59.60
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	2.00	3.39
Lämmin käyttövesi	40.47	28.33
Sähkölaitteet	28.03	47.65
Jäähdytys	0.00	0.00
Yhteensä	**151.21**	**138.97**

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.
(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.

E-luku	139	kWh/(m² a)
E-luvun raja-arvo	204	kWh/(m² a)

Todellinen ostoenergia

	kWh/a	kWh/(m² a)
Tilojen lämmitys	11831	99.09
Ilmanvaihdon lämmitys	374	3.13
Lämmin käyttövesi	4832	40.47
Sähkölaitteet	3350	28.06
Jäähdytys	0	0.00
Yhteensä	**20389**	**170.76**

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.
(E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

Massiivipuurakenteinen pientalo ei täytä energiaselvityksen vaatimuksia ilman lisäeristystä tai muuta kompensointia. Tämän takia massiivipuurakentamiseen on tehty helpotuksia Suomessa. Massiivipuurakenteeksi lasketaan vähintään 180 mm paksu, täyttä puuta oleva seinärakenne. Kun kyseessä on pientalo, jonka lämmitetty nettoala on 50–150 m^2, voidaan E-luvun raja-arvot ylittää 20 prosentilla. Lisäksi lämpöhäviön tasauslaskennassa massiivipuun vertailuarvona voidaan käyttää U-arvoa 0,4 W/m^{2}K. (31.)

CLT-rakenteisen talon E-luku oli 161 kWh_E/m^2vuosi, harkkorakenteisella talolla luku oli 139 kWh_E/m^2vuosi ja rankarunkoisella 141 kWh_E/m^2vuosi. Vaikka E-lukuun onkin annettu helpotusta massiivipuurakenteilla, lämmityksestä menee silti paljon energiaa hukkaan. Lämmityksen hiilijalanjälki on suurempi CLT-talolla kuin kivi- tai rankarunkoisella talolla.

TAULUKKO 3. CLT-rakenteisen pientalon energiankulutus

Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

	Ostoenergia kWh/(m² a)	E-luku kWh/(m² a)
Tilojen lämmitys (2)	111.01	80.81
Ilmanvaihdon lämmitys (3)	2.00	3.39
Lämmin käyttövesi	40.47	28.33
Sähkölaitteet	28.03	47.65
Jäähdytys	0.00	0.00
Yhteensä	**181.51**	**160.19**

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.
(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.

E-luku	161	kWh/(m² a)
E-luvun raja-arvo	204	kWh/(m² a)

Todellinen ostoenergia

	kWh/a	kWh/(m² a)
Tilojen lämmitys	16083	134.70
Ilmanvaihdon lämmitys	374	3.13
Lämmin käyttövesi	4832	40.47
Sähkölaitteet	3350	28.06
Jäähdytys	0	0.00
Yhteensä	**24639**	**206.36**

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.
(E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

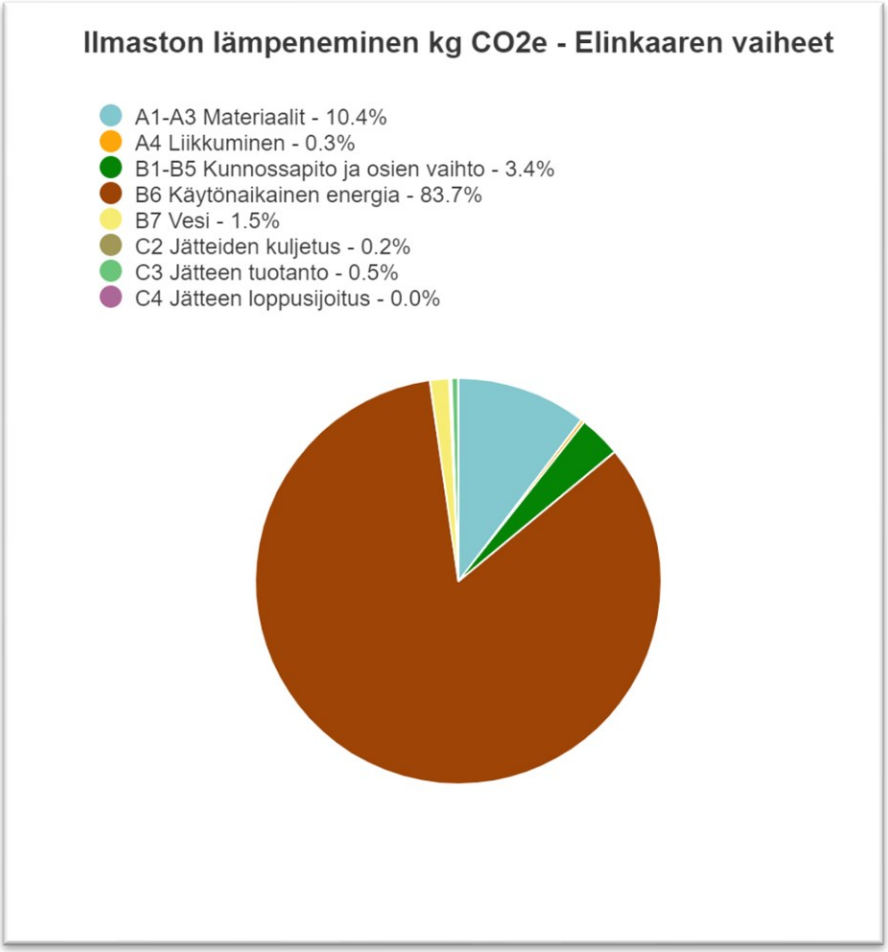
6 HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTI

Hiilijalanjäljen arviointiin käytettiin One Click LCA -ohjelmaa. Rakennuksen vaiheet arvioitiin standardin EN-15978 mukaisesti. Ohjelmaan luotiin kolme eri laskelmaa: jokaiselle runkorakenteelle omansa. Arviointia varten ohjelmaa syötettiin tiedot käytetyistä materiaaleista ja niiden määristä. Valitut materiaalit pyrittiin löytämään suomalaisina, koska ohjelma laski hiilijalanjälkeen myös kuljetuksesta syntyvät päästöt. Rakennuksille määritettiin käyttöikä, joka oli tässä tapauksessa standardikäyttöikä eli 50 vuotta.

Lisäksi vaadittiin rakennusten laajuustiedot sekä sijainti. Rakennusten käytönaikaisen hiilijalanjäljen arviointiin tarvittiin Laskentapalvelut-ohjelmalla lasketut määrät lämmitykseen ja sähköön kuluvasta energiasta. Seuraavissa luvuissa 6.1–6.3 puretaan runkorakenne kerrallaan auki hiilijalanjälkiarvioita.

6.1 Puurankarunkoisen pientalon hiilijalanjälki

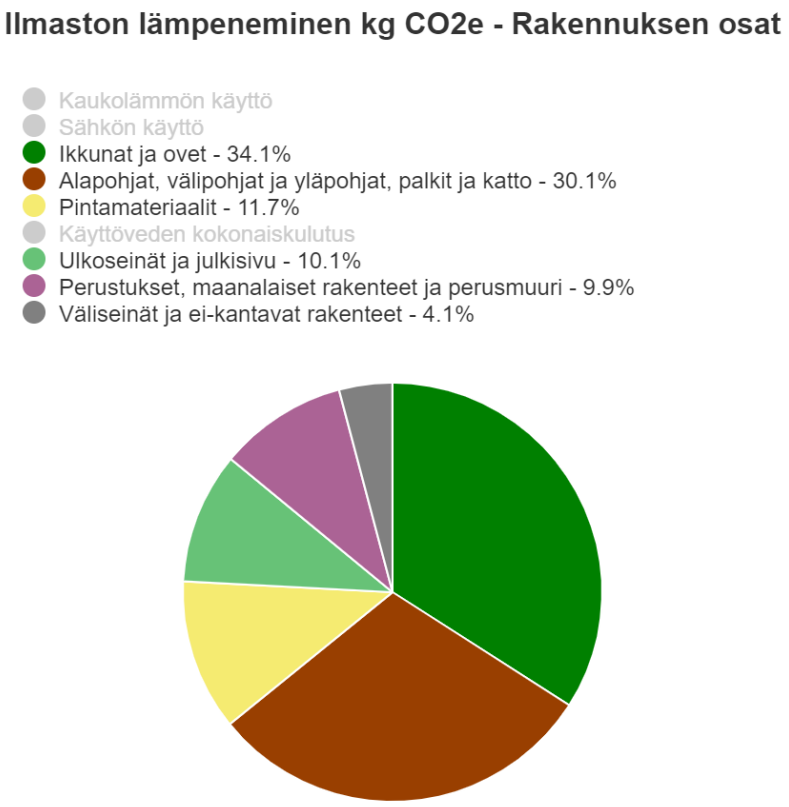
Puurankarunkoisen pientalon koko elinkaaren aikainen hiilijalanjälki oli 227 t CO_2e. Tämä tarkoittaa 37,97 kg CO_2e neliömetrille vuodessa. Rankarunkoisessa rakennuksessa hiilijalanjäljestä suuri osa eli 83,7 % tuli käytönaikaisesta energiasta (kuvio 1). Energiankäyttö synnytti elinkaaren aikana 189 836 kg CO_2e. Tästä määrästä 160 864 kg CO_2e tuli kaukolämmön käytöstä. Kymmenesosa hiilijalanjäljestä oli materiaalien aiheuttamaa. Materiaaleista hiilidioksidipäästöjä tuli 23 561,71 kg CO_2e.



KUVIO 1. Puurankarunkoisen pientalon hiilijalanjäljen jakautuminen

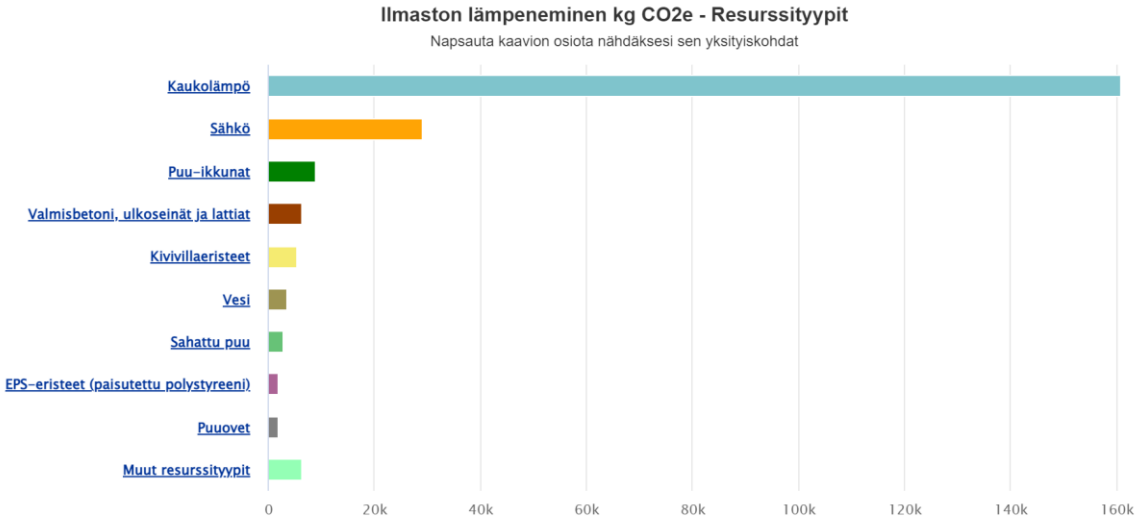
Seuraavassa kuviossa esitetään hiilijalanjäljen koostuminen eri materiaaleista (kuvio 2). Taulukosta poistettiin energian- ja vedenkulutus selkeyden vuoksi. Kolmasosa materiaalien päästöistä syntyi ikkunoista ja ovista. Näiden hiilijalanjälki oli 11 373 kg CO_2e. Rakennukseen suunniteltiin monta isoa ikkunaa, kolme ulko-ovea ja seitsemän väliovea, joten materiaalia tarvittiinkin paljon. Eniten vaikuttivat puu-alumiini-ikkunat, joiden hiilijalanjälki oli 9020 kg CO_2e. (Kuvio 3.)

Vesikaton, ala- ja yläpohjan hiilijalanjälki oli 10 041 kg CO_2e ja oli neljä prosenttiyksikköä vähemmän kuin ikkunoiden ja ovien päästöt. Ulkoseinät ja julkisivu -osio, joka on työn aiheen kannalta merkityksellisin, oli 3384 kg CO_2e. Tämä oli väliseinien ja perustusten jälkeen kolmanneksi pienipäästöisin rakenneosa. Rankarunkoisten väliseinien hiilidioksidipäästöt olivat 1372 kg CO_2e. Perustukset olivat samanlaiset kaikissa kolmessa rakennuksessa. Niistä tuli rankarunkoisessa talossa 3309 kg CO_2e päästöjä.



KUVIO 2. Puurankarunkoisen pientalon materiaaleista aiheutuvan hiilijalanjäljen jakautuminen

Resurssityypeistä betonilla oli neljänneksi suurin hiilijalanjälki: 6243 kg CO_2e (kuvio 3). Rankarunkoisen talon rakenteissa betonia oli perustuksissa ja alapohjassa. Seuraavana kuviossa on kivivillaeristeet, joista tuli 5360 kg CO_2e päästöjä. Eristeet vaikuttivat eniten runkomateriaalin hiilijalanjälkeen. Puutavaran päästöt olivat 2820 kg CO_2e. Puuta oli ulko- ja väliseinissä sekä vesikatto- ja yläpohjarakenteissa. EPS-eristeitä oli vain alapohjassa, ja niistä hiilijalanjälkeen tuli 1903 kg CO_2e-päästöjä.

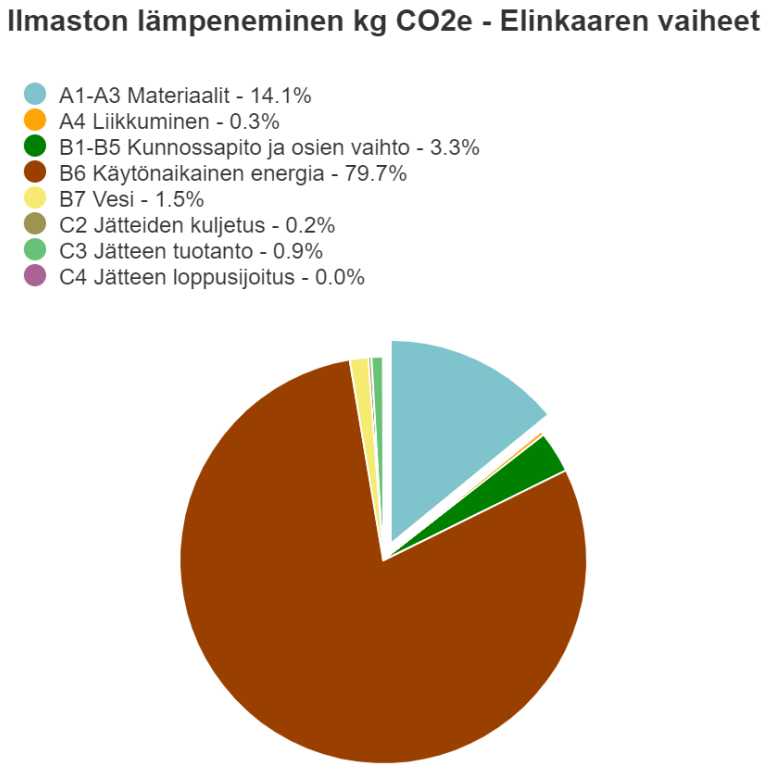


KUVIO 3. Rankarunkoisen talon hiilijalanjälkeen eniten vaikuttavat resurssityypit

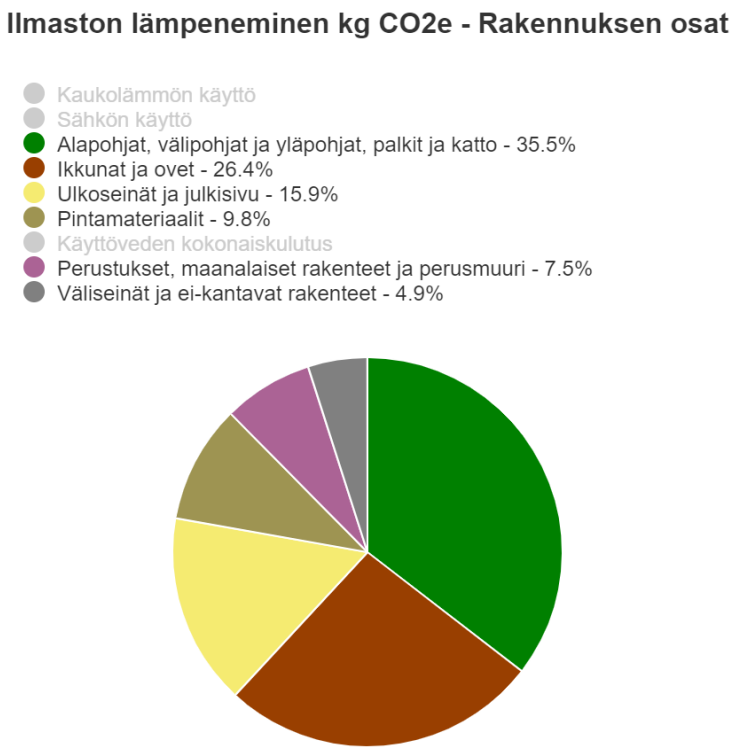
6.2 Kivirunkoisen pientalon hiilijalanjälki

Kivi- eli harkkorunkoisen pientalon arvioitu hiilijalanjälki oli samaa luokkaa kuin rankarunkoisen. Koko elinkaaren aikainen hiilijalanjälki oli 235 t CO_2e. Vuodessa hiilijalanjälki oli 39,4 kg CO_2e neliömetriä kohti. Isoimman osan tästäkin arvosta vei kaukolämmön käyttö. (Kuvio 4.) Lämmitys aiheutti hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä 158 404 kg. Kolmesta vertailtavasta talosta kivitalolla materiaalien osuus elinkaaren hiilijalanjäljestä oli isoin: 14,1 % eli 33 162 kg CO_2e. Vastaavasti lämmityksestä aiheutui prosentuaalisesti vähiten päästöjä.

Harkkotalossa ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan U-arvot olivat samat kuin rankarunkoisessa talossa. Koska lämmitykseen meni saman verran energiaa molemmissa taloissa, eikä sähkön ja veden kulutuksessakaan ollut eroja, ero hiilijalanjäljessä johtuu ainoastaan materiaaleista. Kivitalo tuotti elinkaarensa aikana 8000 kg enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin rankarunkoinen talo.



KUVIO 4. Kivirunkoisen pientalon hiilijalanjäljen jakautuminen elinkaaren eri vaiheille

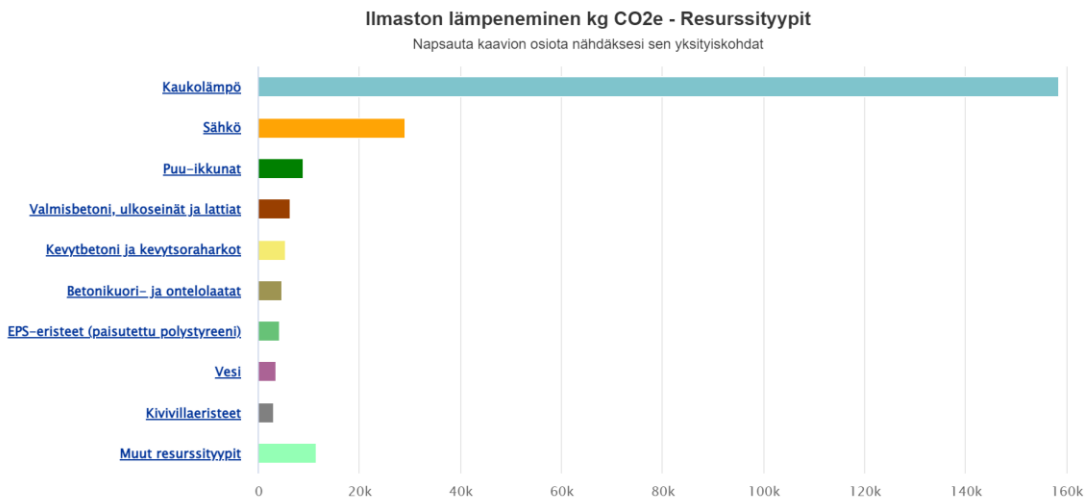


KUVIO 5. Kivitalon hiilijalanjäljen jakautuminen rakenneosille

Eri rakenneosista eniten päästöjä aiheutti vaakarakenteet eli ala- ja yläpohja sekä vesikatto (kuvio 5). Alapohjan laatta oli paikallavalettua betonia ja yläpohjaksi suunniteltiin ontelolaatat tässä runkoratkaisussa. Vesikattorakenteeseen laskettiin peltikatteen ja alusrakenteiden lisäksi myös kattoristikot ja eristeet.

Toiseksi isoin lohko tuli ikkunoista ja ovista, jotka valittiin samoiksi kaikissa kolmessa talosuunnitelmassa. Näistä eniten vaikuttivat puu-alumiini-ikkunat, joilla oli resurssityypeistä kolmanneksi suurimmat päästöt, 9020 kg CO_2e (kuvio 6). Kevytsoraharkkoseinät aiheuttivat ulkoseininä 15,9 % materiaalien päästöistä ja väliseininä 4,9 %. Yhteensä pelkistä kevytsoraharkoista tuli 5457 kg CO_2e. Ontelolaatat, joita oli yläpohjassa, aiheuttivat päästöjä 4600 kg CO_2e.

EPS-eristeiden päästöt olivat 4325 kg CO_2e ja kivivillan päästöt 3115 kg CO_2e. Lämpöharkkojen ja alapohjan eristeenä käytettiin EPS-eristettä. Kivivillaa tuli yläpohjaan.

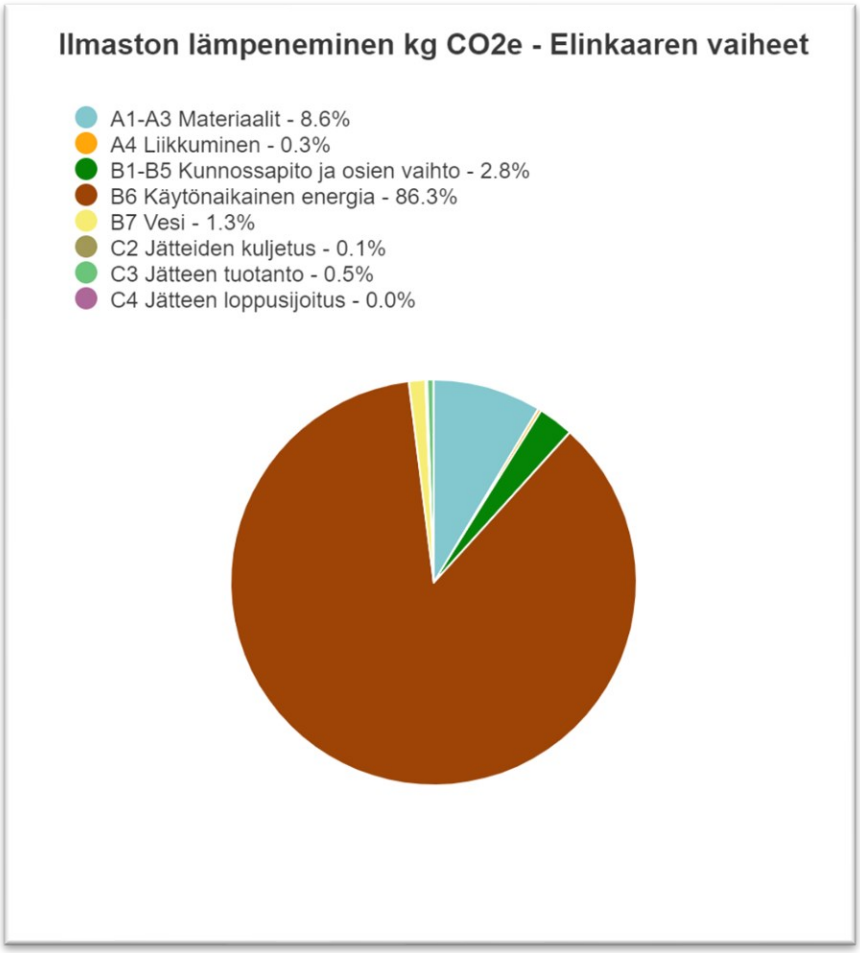


KUVIO 6. Kivirunkoisen talon hiilijalanjälkeen eniten vaikuttavat resurssityypit

6.3 CLT-runkoisen pientalon hiilijalanjälki

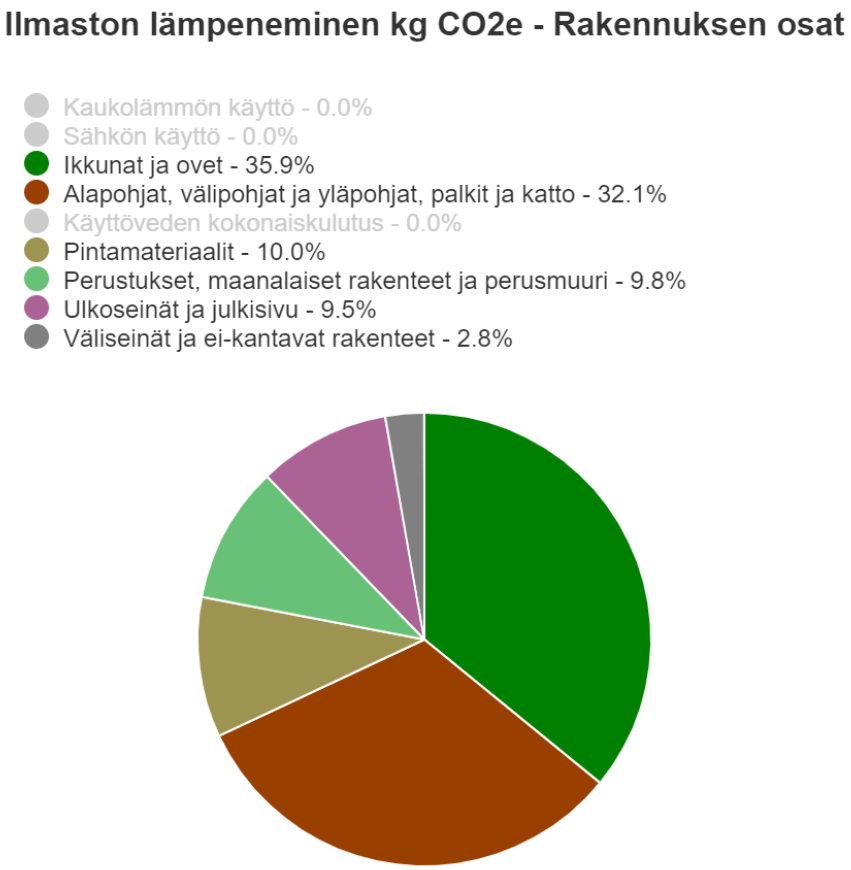
CLT-rakenteisen pientalon koko elinkaaren aikainen hiilijalanjälki oli 264 tonnia CO_2e. Tämä tarkoittaa 44,25 kg CO_2e neliötä kohti vuodessa. Oheisessa kuviossa 7 on pilkottuna CLT-talon hiilijalanjälki. Kuten kuviosta ilmenee, materiaalien osuus hiilijalanjäljestä on alle 10 %. Suurimmat päästöt aiheutti käytönaikainen energia eli toisin sanoen lämmitys.

Tarkka arvo materiaalien hiilijalanjäljelle on 22 812,76 kg CO_2e. Käytönaikaiselle energialle arvo on 228 035 kg CO_2e, josta 200 000 kg CO_2e tulee kaukolämmön käytöstä ja loppuosa sähköstä.



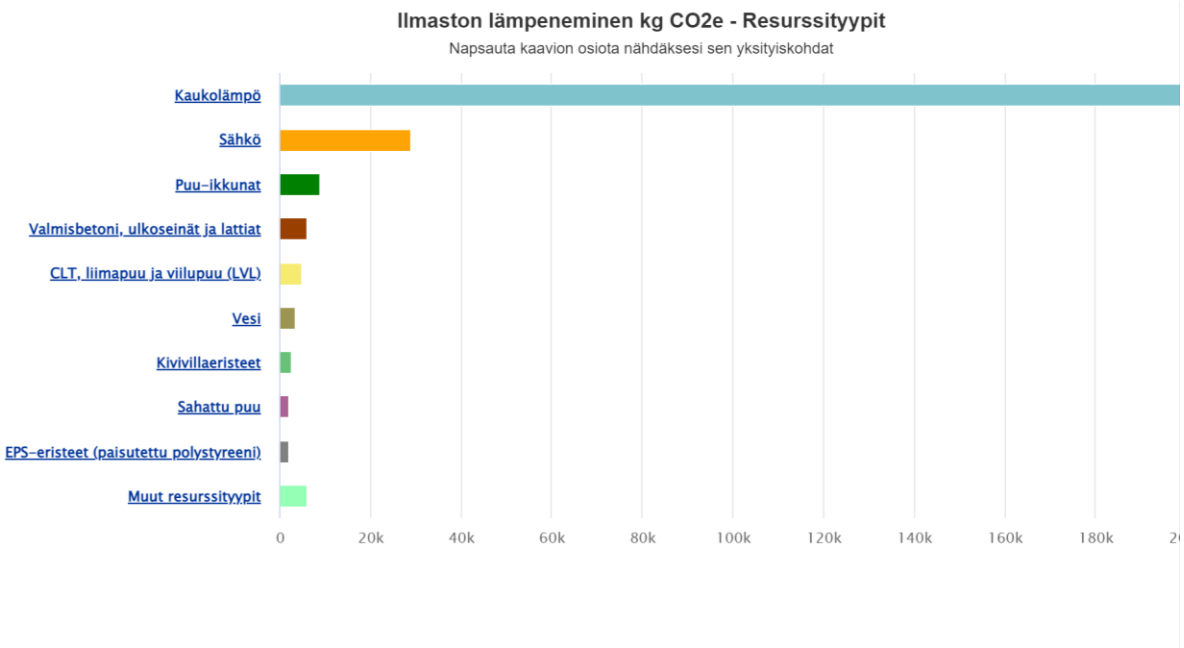
KUVIO 7. CLT-rakenteisen pientalon elinkaaren hiilijalanjäljen jakautuminen

Kun materiaalien hiilijalanjälki jaettiin eri rakennusosille, selvisi että suurin hiilijalanjälki oli ikkunoilla ja ovilla (kuvio 8). Laskelmia tehdessä valittiin Pihla Groupin Haapajärvellä valmistamat ikkunat. Kolmen ulko-oven lisäksi myös väliovet olivat laskettuna tähän lukuun. Ikkunoiden ja ovien hiilijalanjälki oli 11 725 kg CO_2e. Toiseksi suurin osa tuli vaakarakenteista eli ala- ja yläpohjista sekä vesikatosta. Näistä rakenteista yläpohja oli CLT-rakenteinen, alapohja paikallavalettu betonilaatta. CLT-rakenteisten ulko- ja väliseinien osuus oli yhteensä 12,3 % eli noin 4000 kg CO_2e. Pintamateriaaleistakin tuli kymmenesosa hiilijalanjälkeen. Tähän lukuun oli laskettuna märkätilojen lattia- ja seinälaatat, muiden tilojen parkettilattia sekä seinämaalit.



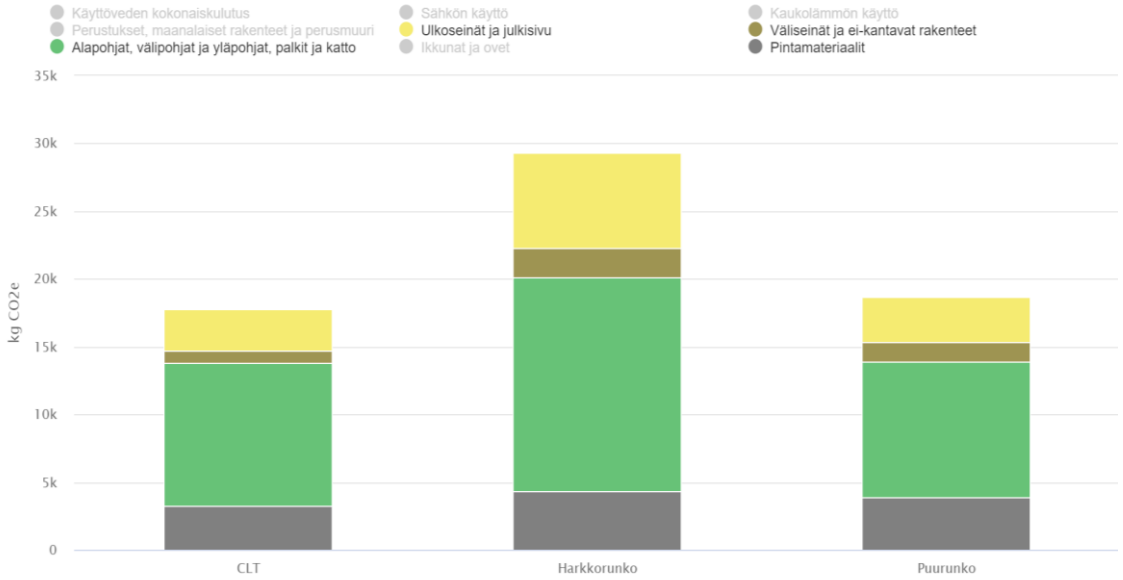
KUVIO 8. CLT-rakenteisen pientalon materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen

Resurssityypeittäin jaettua CLT:llä oli viidenneksi suurin hiilijalanjälki. (Kuvio 9.) Prosentuaalisesti hiilijalanjälki oli kuitenkin vain 1,8 % eli 4800 kg CO_2e. CLT:tä isommat hiilijalanjäljet olivat kaukolämmöllä, sähköllä, ikkunoilla ja betonilla. Jos vertailussa otetaan huomioon vain materiaalit, CLT on kolmanneksi suurin päästöjen aiheuttaja.



KUVIO 9. CLT-rakenteisen pientalon hiilijalanjäljen jakautuminen eri resurssityypeille

6.4 Tulosten vertaus



KUVIO 10. Eri pientalon runkoratkaisujen materiaalien hiilidioksidiekvivalenttipäästöt

Koko elinkaaren aikaisia hiilijalanjälkeen vaikuttavia päästöjä verratessa CLT-runkoisen pientalon päästömäärä oli suurin, 264 159 kg CO_2e. Harkkorunkoisen talon CO_2e-päästot olivat 235 219 kg eli 89,04 % CLT-talon päästöistä. Puurankarunkoinen talo tuotti 226 672 kg CO_2e eli 85,80 % CLT-talon päästömäärästä. Kun luvuista vähennetään käytönaikainen energia, käyttöveden kokonaiskulutus sekä rakenteet, jotka olivat kaikissa taloissa samanlaiset, eli ikkunat, ovet ja perustukset, saadaan selville runkorakenteen vaikutus hiilijalanjälkeen (kuvio 10).

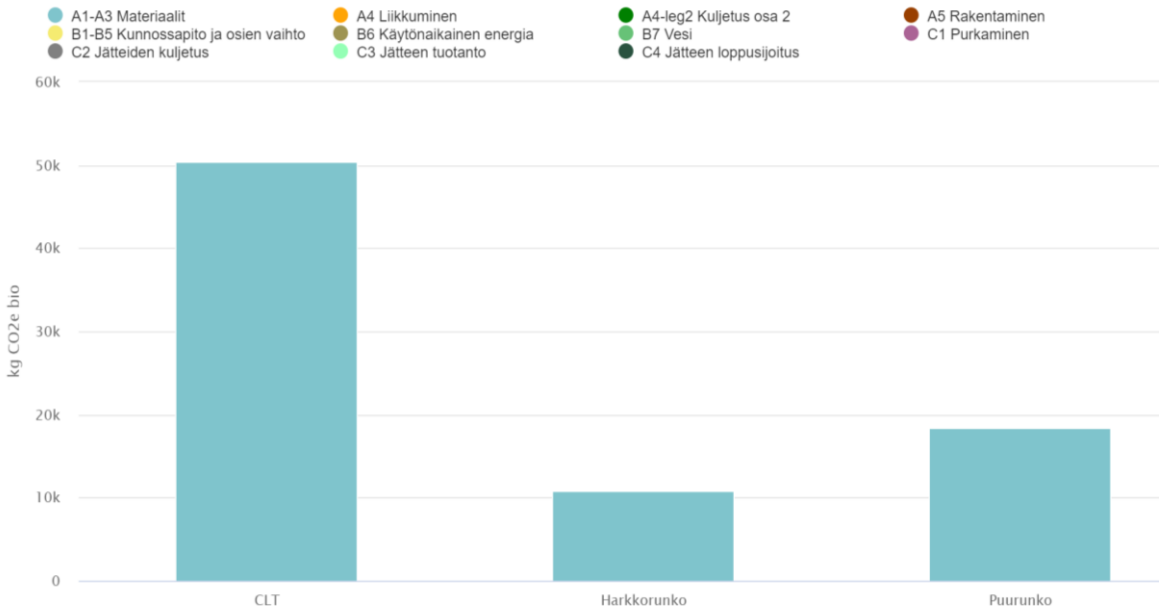
CLT-talon runkomateriaalien CO_2e-päästöt olivat 14 072 kg. Harkkotalon päästöt olivat 24 315 kg eli 78,79 % suuremmat kuin CLT-talossa. Rankarunkoisessa vastaavat luvut olivat 14 886 kg ja 5,78 %. Näissä luvuissa on laskettuna ulko- ja väliseinät, ylä- ja alapohja sekä vesikatto. Harkkotalon materiaalien päästöt olivat 10 243 kg enemmän kuin vähiten saastuttavan CLT-talon. Runkomateriaalien osuus koko elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä oli CLT-talolla 5,32 %, harkkotalolla 10,34 % ja puurankarunkoisella talolla 6,57 %.

Ulkoseinien päästöt olivat CLT-talossa 3087 kg CO_2e, harkkotalossa 7060 kg CO_2e ja rankarunkoisessa talossa 3384 kg CO_2e. CLT-talon ulkoseinien päästöt olivat 43,73 % harkkotalon päästöistä. Rankarunkoisella talolla ero oli miltei yhtä suuri, 47,93 %. Alapohja oli kaikissa kolmessa talossa samanlainen, mutta yläpohjan ja vesikaton osalta hiilijalanjälki oli harkkotalossa 10 100 kg CO_2e, puurunkoisessa talossa 4500 kg CO_2e eli 44,55 % harkkotalon yläpohjan päästöistä ja CLT-runkoisessa talossa 4900 kg CO_2e eli 48,51 %. Harkkotalon yläpohjaan suunniteltiin ontelolaatat, jotka kasvattivat päästömäärää paljon.

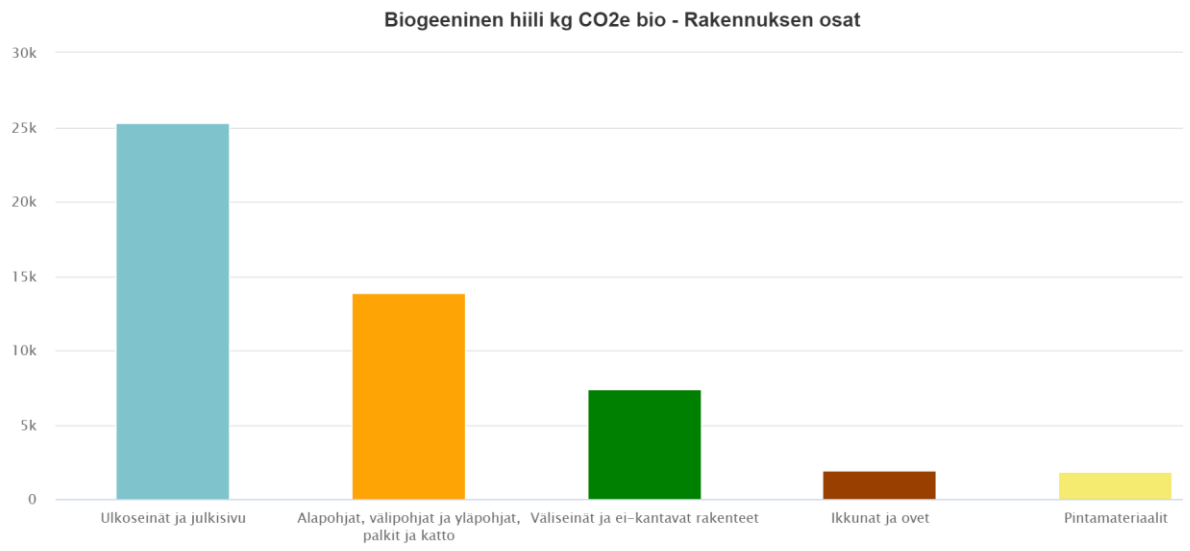
Väliseinät olivat myös eri rakenteiset suunnitelmissa. CLT-väliseinien hiilijalanjälki oli 903 kg CO_2e, kevytsoraharkkoväliseinien päästöt olivat 2188 kg CO_2e ja perinteisillä rankaväliseinillä päästöjä tuli 1372 kg CO_2e. CLT-väliseinien päästöt olivat 41,27 % harkkoväliseinien päästöistä ja rankarunkoiset väliseinät 62,70 %.

7 HIILIKÄDENJÄLKI

One Click LCA -ohjelmalla laskettiin biogeenisen eli eloperäisen hiilen määrän eri rakenteille ja materiaaleille. Hiilikädenjälkeen vaikuttavat muutkin asiat kuin biogeeninen hiili, mutta tässä työssä niitä ei ole huomioitu. Kuviossa 11 on esitetty kaikkien kolmen eri runkorakenteisten pientalojen biogeenisen hiilen kokonaismäärä. Rakennuksen elinkaaren aikana hiilikädenjälki ei kasva lainkaan. Käyttöiän päättyessä materiaalien kierrätettävyys ja mahdollinen uusiokäyttö kasvattaa hiilikädenjälkeä.



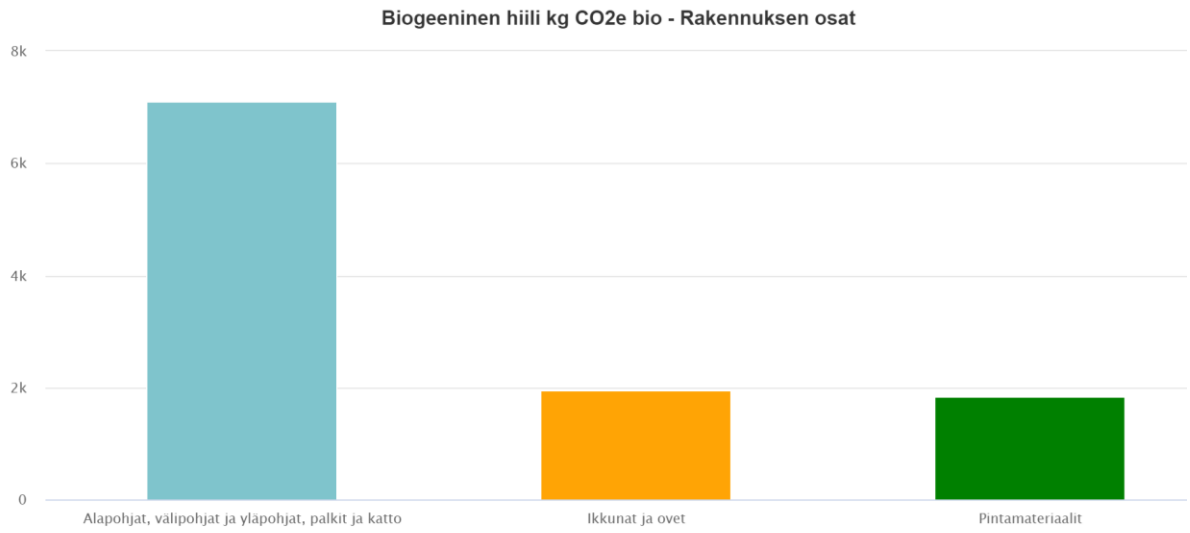
KUVIO 11. Biogeenisen hiilen määrä kolmessa eri rakenteisessa pientalossa



KUVIO 12. CLT-rakenteisen pientalon biogeenisen hiilen määrä eri rakenteissa

CLT-rakenteisella talolla hiilikädenjälki oli huomattavasti suurempi kuin kahdella muulla talolla. Tämä johtuu siitä, että eri materiaaleista puu sitoo eniten hiiltä itseensä. Biogeenisen hiilen kokonaismäärä CLT-talossa oli 50 392 kg CO_2e.

Rakennuksen eri osia tarkastellessa biogeenistä hiiltä oli ulkoseinissä eniten, 25 312 kg CO_2e (kuvio 12). Seinät ovatkin täyttä puuta. Vaakarakenteita kuvaava oranssi palkki on toiseksi suurin: 13 877 kg CO_2e. Alapohja oli betonirakenteinen, ja betoni sitoo karbonaatiossa jonkin verran hiilidioksidia. Yläpohja ja kattoristikot olivat puurakenteiset. Väliseinät olivat täyttä puuta, mikä selittää korkean biogeenisen hiilen määrän. Väliseinissä oli 7404 kg CO_2e.



KUVIO 13. Biogeenisen hiilen määrä harkkorunkoisen talon rakennusosissa

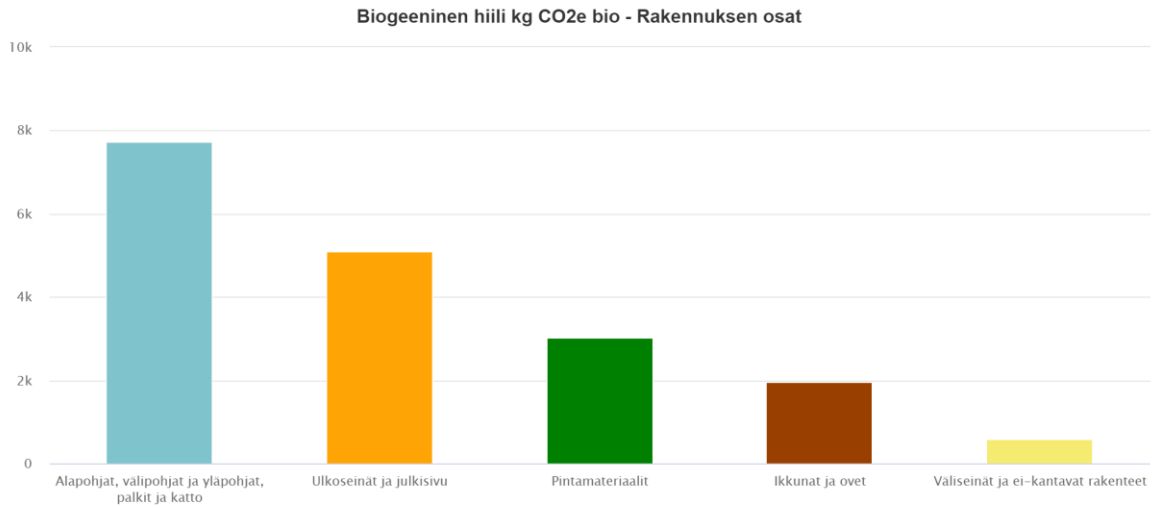
Kivirunkoisen talon hiilikädenjälki oli kolmesta talosta pienin. Biogeenisen hiilen kokonaismäärä oli 10 902 kg CO_2e eli 21,6 % CLT-talon hiilikädenjäljestä. Ulko- ja väliseinät eivät sitoneet lainkaan hiiltä. Vaakarakenteissa biogeenistä hiiltä oli 7103 kg CO_2e. (Kuvio 13) Määrä oli kivitalon rakennusosista suurin, mutta silti pienempi kuin CLT-talon väliseinien biogeenisen hiilen määrä.

Ikkunat ja ovet olivat samat kuin kahdessa muussakin suunnitelmassa, joten 1956 kg CO_2e oli myös sama määrä. Ikkunoiden ja ovienkin hiilikädenjälki muodostui puuosien ansiosta. Pintamateriaalien hiilikädenjälkeä kasvatti taloon suunniteltu parkettilattia, joka on puuta.

Puurankarunkoisen talon biogeenisen hiilen kokonaismäärä oli 18 398 kg CO_2e. Määrä oli 36,5 % CLT-talon hiilikädenjäljestä. Tässäkin rakennuksessa vaakarakenteet sitoivat eniten hiiltä. (Kuvio 14.) Ala- ja yläpohjassa sekä vesikatossa biogeenistä hiiltä oli yhteensä 7740 kg CO_2e. Ulkoseinissä puuta oli runkotolpissa, koolauksissa ja ulkoverhouksessa. Biogeenisen hiilen määrä oli 5097 kg CO_2e.

Pintamateriaaleihin sitoutuneen hiilen määrä oli kolmanneksi suurin: 3020 kg CO_2e. Määrään vaikutti parkettilattian lisäksi muun muassa MDF-paneeli, joka oli sisäkaton materiaalina. MDF-paneeli on puukuitulevyä.

Ikkunoiden ja ovien hiilikädenjälki oli sama kuin kahdessa muussakin suunnitelmassa eli 1956 kg CO_2e. Väliseiniin hiiltä oli sitoutunut 585 kg CO_2e. Arvoon vaikuttivat eniten puiset väliseinätolpat.



KUVIO 14. Puurankarunkoisen talon biogeenisen hiilen jakautuminen rakennusosille

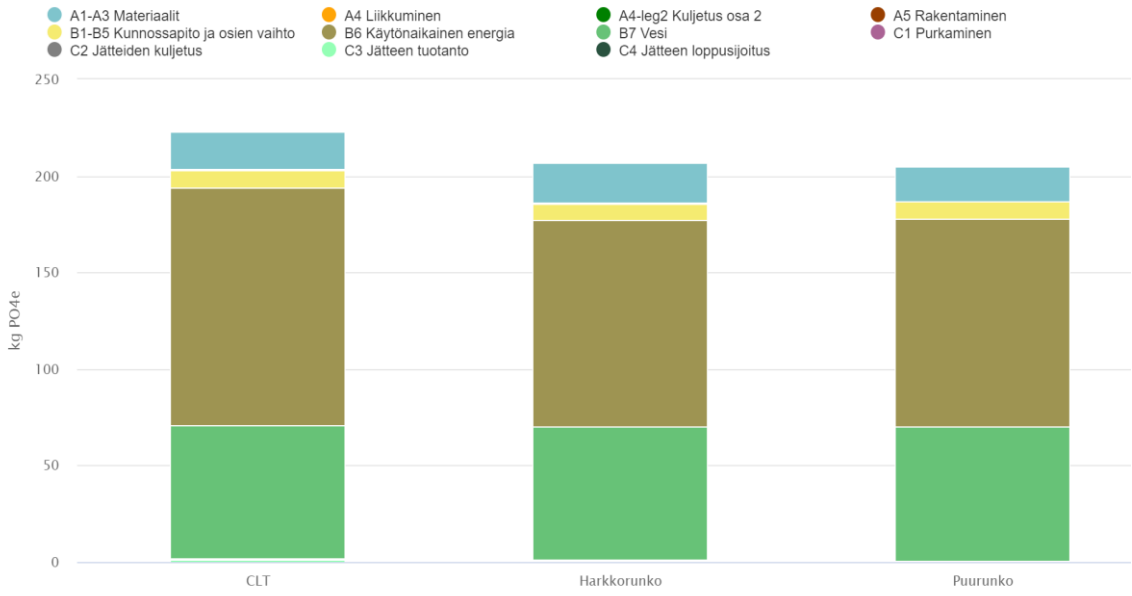
8 MUUT ELINKAARIARVIOINNIN TULOKSET

Hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen lisäksi One Click LCA -ohjelmalla saatiin arvioitua rakennusten aiheuttaman rehevöitymisen, happamoitumisen, alailmakehän otsonin ja otsonikadon määrä. Luvuissa 8.1—8.4 käydään lyhyesti näitä ympäristövaikutuksia läpi.

8.1 Rehevöityminen

Rehevöitymisellä tarkoitetaan vesistöjen pääsevien ravinteiden, erityisesti typen ja fosforin, aiheuttamaa leväkasvua ja happikatoa. Rehevöityminen uhkaa vesistöjen monimuotoisuutta. (32.)

Runkomateriaali teki eroa päästöjen määrään. (Kuvio 15.) Ennen kaikkea ero tuli käytönaikaisesta energiasta, joka aiheutti CLT-talossa 123,23 kg PO_4e, harkkotalossa 106,55 kg PO_4e ja puurankarunkoisessa talossa 107,56 kg PO_4e. Materiaalit aiheuttivat rehevöittäviä päästöjä CLT-talossa 19,58 kg PO_4e, harkkotalossa 20,45 kg PO_4e ja rankarunkoisessa 17,93 kg PO_4e



KUVIO 15. Eri runkorakenteisten talojen aiheuttamien rehevöittävien päästöjen määrä

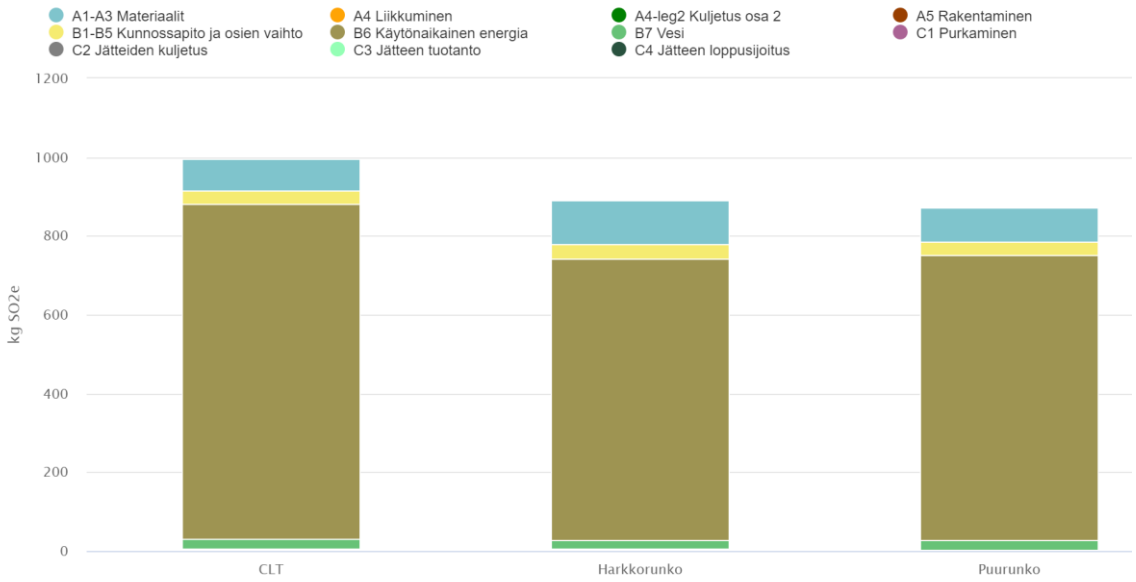
8.2 Happamoituminen

Happamoitumisella tarkoitetaan vesistöjen happamuuden kasvamista ja metallien myrkyllisten olomuotojen runsastumista. Se hankaloittaa tai tekee mahdottomaksi useiden kala- ja vesikasvilajien elämisen. Happamoituminen on ihmisen toiminnan seurausta: hapanta eli sulfidia sisältävää maata kuivataan, jolloin maaperä hapettuu. Maaperän vesi ja rikki, jota reaktiossa vapautuu, reagoivat keskenään, jolloin syntyvä yhdiste on rikkihappo. Tämä happamoittaa vesistöjä ja liuottaa maaperästä haitallisia metalleja, kuten esimerkiksi kuparia, kadmiumia ja alumiinia. (33.)

Happamoitumisessakin eroa toi eniten lämmitysenergian määrä. Koska CLT-talo käytti eniten energiaa lämmitykseen, myös happamoitumista aiheuttavia päästöjä syntyi eniten. (Kuvio 16.) CLT-talon energiankulutuksen osalta päästöt olivat 852,67 kg SO_2e, harkkotalon energiankulutus aiheutti 713,76 kg SO_2e päästöjä ja rankarunkoinen talo 722,17 kg SO_2e.

Materiaalien päästöt olivat CLT-talolla 80,63 kg SO_2e, harkkotalolla 110,97 kg SO_2e ja rankarunkoisella talolla 86,24 kg SO_2e. Kiviperäiset materiaalit aiheuttivat siis eniten hapattavia päästöjä.

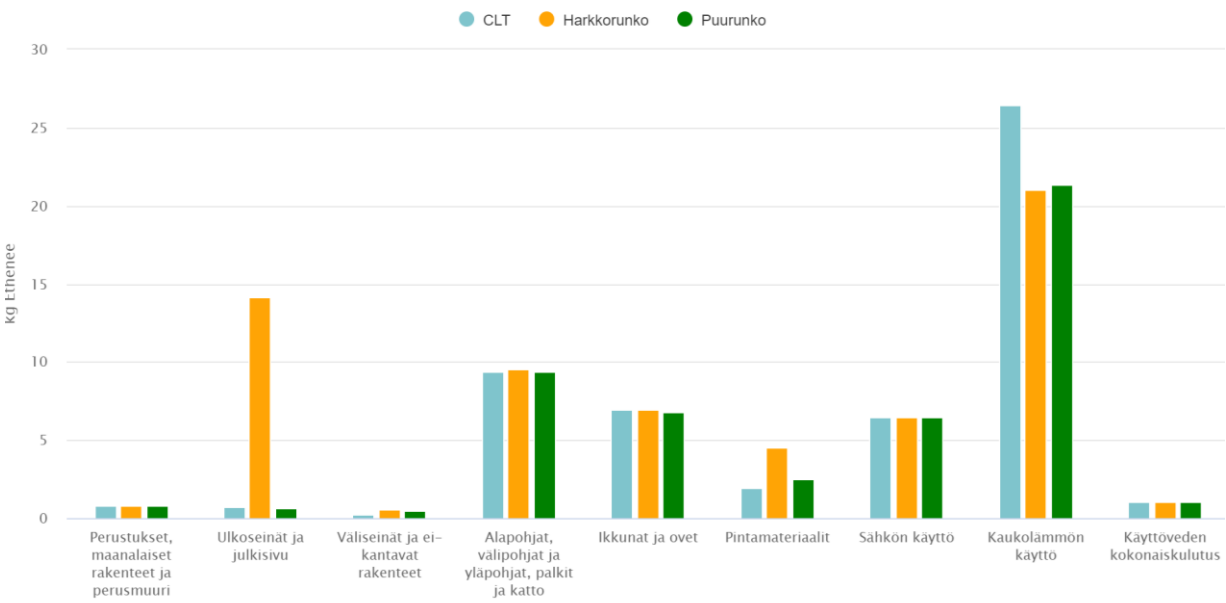
Happamoitumista aiheuttavia päästöjä syntyi CLT-talosta yhteensä 996,86 kg SO_2e, harkkotalosta 890,92 kg SO_2e ja rankarunkoisesta talosta 872,14 kg SO_2e.



KUVIO 16. Happamoitumista aiheuttavien päästöjen määrä eri runkorakenteisilla pientaloilla

8.3 Alailmakehän otsoni

Otsonia muodostuu ilmassa olevista hiilivedyistä ja typen oksideista auringonvalon avulla. Sellaisenaan otsonia ei päästöissä ole. Liikenne, energiantuotanto ja teollisuus aiheuttavat hiilivety- ja typpioksidipäästöjä. Otsoni on alailmakehässä ilmansaaste, joka aiheuttaa ihmisille terveyshaittoja ja heikentää kasvien kasvua. (34.)



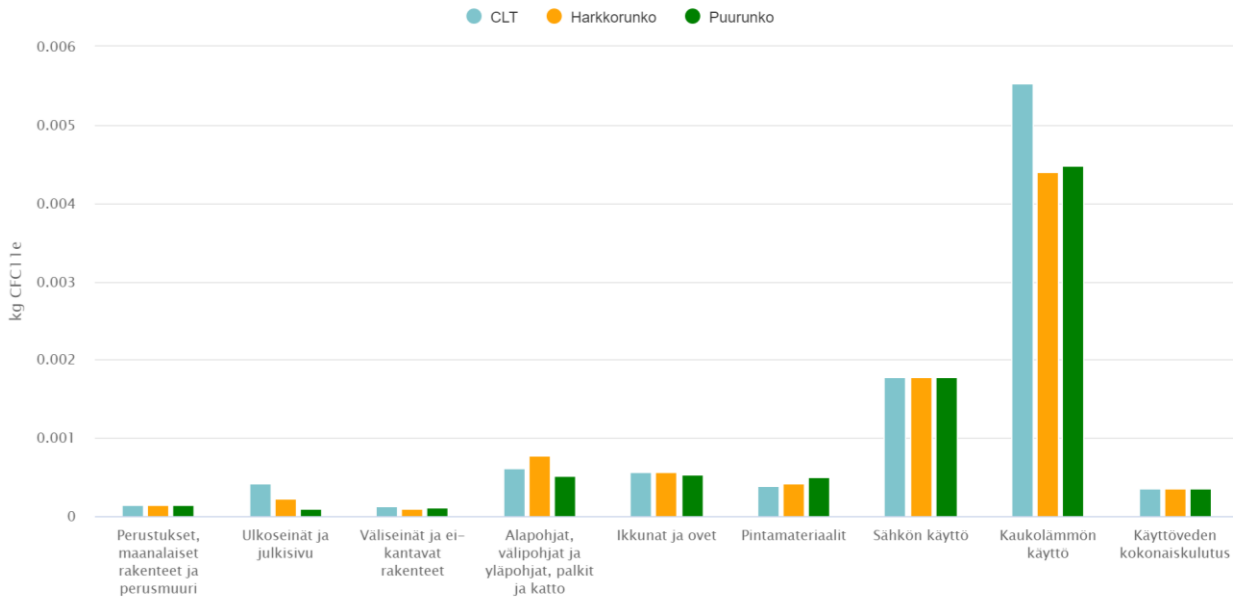
KUVIO 17. Otsonia tuottavien päästöjen määrä eri rakenneosissa.

Runkomateriaaleilla oli selkeä ero päästöjen suhteen. CLT- ja puurankarunkoisella talolla otsonia lisäävien päästöjen määrä oli miltei sama, mutta kivirunkoisen talon ulkoseinät pomppasivat kuviossa. (Kuvio 17.) Kevytsoraharkkojen valmistus näyttää kuvion mukaan tuottavan hiilivety- ja typpioksidipäästöjä.

Koska energiantuotanto on yksi isoimmista otsonia tuottavien päästöjen lähteistä, on kaukolämmön käytöstä syntyvä ero pientalojen välillä ilmeinen. Pintamateriaalien päästöissä oli myös eroja. Kivitalon suurempi päästöjen määrä johtuu kiviaineisesta rappauksesta ja laastista, joilla harkkoseinät on päällystetty.

Koko elinkaaren ajalta C_2H_4e-päästöjä tuli CLT-talon osalta 53,95 kg, kivitalosta 65,12 kg ja ranka-runkoisesta talosta 49,5 kg. Kivitalo meni materiaaliensa vuoksi kärkeen saastuttavuudessa.

8.4 Otsonikato



KUVIO 18. Otsonikatoa lisäävien päästöjen määrä eri rakenneosissa

Otsonikerros suojaa maapalloa auringosta tulevalta UV-säteilyltä. UV-säteily vahingoittaa ekosysteemiä sekä aiheuttaa silmäsairauksia ja ihosyöpää. Metyylibromidi, halonit ja kloorifluorihiilivedyt (freonit) eli CFC-yhdisteet ohentavat otsonikerrosta. Nämä yhdisteet ovat ihmisen toiminnan aiheuttamia. Otsonikerroksen ohentuminen on saatu pysäytettyä, mutta suojelutyö ei ole tarpeentonta edelleenkään. Otsonikerrosta uhkaa myös kasvihuoneilmiön voimistuminen ja typpioksiduulipäästöjen kasvaminen. (35.)

Kolmen eri runkorakenteisen pientalon osalta CFC-yhdisteitä tai niiden kaltaisia päästöjä ei juurikaan syntynyt. Näkyvin ero pientalojen välillä oli kaukolämmön käytössä. (Kuvio 18.) Siinä CLT erottui epäsuotuisasti. Myös ulkoseinät aiheuttivat CLT-talossa eniten päästöjä. Otsonikatoa aiheuttavien päästöjen kokonaismäärät olivat 0,00991436622 kg CFC_{11}e CLT-talossa

0,00877262559 kg CFC_{11}e harkkotalossa ja 0,008496704236 kg CFC_{11}e rankarunkoisessa talossa.

9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mikä valituista kolmesta runkomateriaalista oli hiilijalanjäljeltään pienin ja mikä suurin. Lisäksi samalla selvitettiin runkomateriaalien hiilikädenjälki. Vaikka hiilikädenjälkeä ei voikaan vähentää hiilijalanjäljestä, kompensoi se kuitenkin negatiivia ympäristövaikutuksia ja on näin ollen olennainen tieto. Koska hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki arvioitiin One Click LCA -ohjelman elinkaariarvioinnin avulla, saatiin runkomateriaaleja verrattua myös muilla indikaattoreilla. Näinpä löytyi rehevöitymisen, happamoitumisen, otsonikadon ja alailmakehän otsonin kannalta paras runkovaihtoehto.

Laskelmia tehdessä selvisi, että yhtä oikeaa, kaiken kannalta parasta vaihtoehtoa runkomateriaaliksi ei ole. Harkkorunkoisessa talossa materiaalien hiilijalanjälki oli suurin, CLT-runkoisella ja puurankarunkoisella talolla kyseinen arvo oli yllättävän samaa luokkaa. Runkomateriaalin hiilijalanjälki oli pieni osa koko elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä. Kevytsoraharkkorakenteisen talon elinkaaren aikainen hiilijalanjälki oli 235 219 kg CO_2e. Tästä luvusta materiaalien osuus oli 24 315 kg CO_2e eli 10,34 %. Ulkoseinien hiilijalanjälki oli 7060 kg CO_2e. Puurankarunkoisen talon hiilijalanjälki koko elinkaaren ajalta oli 226 672 kg CO_2e. Materiaalien osuus oli tästä 14 886 kg CO_2e, eli 6,57 %. CLT-runkoisen talon elinkaaren aikainen hiilijalanjälki oli 264 159 kg CO_2e ja materiaaleja tästä oli 14 072 kg CO_2e eli 5,33 %. Kaikilla kolmella runkomateriaalilla lämmitysenergia vaikutti eniten hiilijalanjälkeen. Luvuista voinee päätellä, että puurankarunkoinen talo on näistä kolmesta paras vaihtoehto energiatehokkuuden ja materiaalien vähäpäästöisyyden suhteen.

CLT-rakenteinen pientalo ei läpäissyt energiaselvitystä ilman ympäristöministeriön lupaamaa helpotusta U-arvoon. Nyt kun vähähiilisyys on yleisesti tavoiteltu ominaisuus asialle kuin asialle, on erikoista, että tietyn rakenteinen rakennus saa luvan kanssa käyttää lämmitykseen huomattavasti enemmän energiaa kuin muut rakennukset. U-arvokevennystä on perusteltu sillä, että hirsirakentaminen on perinteikäs rakennustapa Suomessa. Tämä ei kuitenkaan taida koskea CLT:tä, joka on vasta viime vuosina yleistynyt rakennusmateriaali.

Vaikka hiilijalanjälki ei ollut CLT:n kannalta kovin edullinen, kompensoi hiilikädenjälki tätä paljon. Massiivipuisella CLT:llä hiilikädenjälki oli 50 392 kg CO_2e. Kevytsoraharkkotalon hiilikädenjälki oli 10 902 kg CO_2e ja puurankarunkoisen talon 18 398 kg CO_2e. Jos CLT-rakenteisen talon

lämmöneristyskyky saataisiin puuranka- tai kivirunkoisen pientalon tasolle, ratkaisu olisi miltei täydellinen.

Vaikka puu onkin ekologinen materiaali hiilivarastojensa ansiosta, puun käytön lisääminen rakentamisessa ei ole mutkatonta eikä välttämättä edes järkevää. Metsiä hakataan jo paljon ja tahti vain kiihtyy, kun puuta halutaan lisätä esimerkiksi kerrostalorakentamisessa (36). Lisäksi globaalisti ajateltuna puun käyttö on rakentamisesta vain murto-osa betonirakentamisen rinnalla. Joka tapauksessa puu ei voi syrjäyttää betonia, joten hakkuiden lisäämisen sijasta olisi viisaampaa kehittää betonirakentamista vähähiilisempään suuntaan. Puu sitoo hiilidioksidia ainoastaan elävänä, ei talon seinänä.

Rakennusmateriaaleja isompi merkitys hiilijalanjälkeen oli lämmitysenergialla. Niinpä jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa kannattaisi tehdä valinnat siltä pohjalta, että ne pienentävät lämmittämiseen tarvittavan energian määrää. Lisäksi lämmitysmuoto ja rakennuksen käyttöikä vaikuttivat hiilijalanjälkiarviointiin. Kun kaukolämpö vaihdettaisiin maalämpöön ja rakennuksen käyttöiäksi suunniteltaisiin 100 vuotta, paranisi hiilijalanjälkikin.

LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Hakupäivä 19.1.2023. https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta.

2. OpenCO2.net 2023. Mitä CO2-ekvivalentti tarkoittaa? Hakupäivä 15.3.2023. https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa

3. Openco2.net 2023. CO2-termit tutuiksi. Hakupäivä 23.2.2023. https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa.

4. Sjöstedt, Tuula 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra. Hakupäivä 23.2.2023. https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/.

5. Bruce-Hyrkäs, Tytti 2020. Hiilijalanjäljen laskenta käytännössä. Vähähiilisen rakentamisen pilotoinnin työpaja. Hakupäivä 17.3.2023. https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2020/02/One-Click-LCA_Tytti-Bruce-Hyrk%C3%A4s_Hiilijalanj%C3%A4ljen-laskenta-k%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6ss%C3%A4_5.2.2020.pdf.

6. Betoniteollisuus ry. Tietoa betonista. Betonin vaurioituminen Hakupäivä 17.3.2023. https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/betonin-vaurioituminen/.

7. Päästötietokanta SYKE 2022. Hakupäivä 1.3.2023. https://co2data.fi/rakentaminen/.

8. Ympäristöministeriö. Puurakentamisen ohjelma. Hakupäivä 1.3.2023. https://ym.fi/puurakentaminen.

9. Suomen ympäristökeskus SYKE 2021. Elinkaariarviointi tukee kestävyysmurrosta. SYKE esittelee: Elinkaariarviointi (LCA). Hakupäivä 23.3.2023. https://www.syke.fi/elinkaariarviointi.

10. Bäckgren, Noona 2018. Analyysi: Asuntomarkkinat ovat rikki – Uusien rakennusten ongelmista puhutaan jatkuvasti, mutta silti niille löytyy aina ostaja. Rakennuslehti 27.9.2018. Hakupäivä 30.1.2023. https://www.rakennuslehti.fi/2018/09/analyysi-asuntomarkkinat-ovat-rikki-uusien-asuntojen-ongelmista-puhutaan-jatkuvasti-mutta-silti-niille-loytyy-aina-ostaja/.

11. Suomen ympäristökeskus SYKE 2022. Hakupäivä 3.3.2023. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli.

12. Puuinfo 2020. Monikerroslevy CLT. Puutieto, insinööripuutuotteet. Hakupäivä 30.11.2022. https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/.

13. CELT 2017. Perustietoja. Hakupäivä 30.11.2022. https://celt.fi/clt/.

14. Osmocolor. Puun valkaisu. Hakupäivä 30.11.2022. https://www.osmocolor.com/niksit-ja-ohjeet/puun-valkaisu.

15. Puuinfo 2020. Puurakentamisen liimat. Puutieto, insinööripuutuotteet. Hakupäivä 30.11.2022. https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/puurakentamisen-liimat/.

16. Rakennusteollisuus RT 2017. Massiivipuurakenteiden energiamääräysten helpotukset tarkoittavat toteutuessaan paluuta 1960-luvulle. Hakupäivä 15.1.2023. https://www.rt.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2017/massiivipuurakenteiden-energiamaaraysten-helpotukset-tarkoittavat-toteutuessaan-paluuta-1960-luvulle/

17. Paroc 2023. Lämmöneristävyys. Hakupäivä 15.1.2023. https://www.paroc.fi/kayttokohteet/rakennusten-eristaminen/tuulettuvat-julkisivuratkaisut/clt-rakenteet.

18. Petrow, Seppo & Kaskiaro, Tiina 2016. Kevytsoraharkot ja betoniharkot. Harkkokäsikirja 2016. Betoniteollisuus ry 2016. Hakupäivä 23.1.2023. https://harkkokivitalo.fi/wp-content/uploads/1453707826wpdm_harkkokasikirja_2016-sisallysluettelolla.pdf.

19. Saint-Gobain. Leca Design -harkko LTH 380. Hakupäivä 30.11.2022. https://www.leca.fi/tuotteet/leca-eristeharkot/lecar-design-harkko-lth-380.

20. RT 82-11006 2010. Ulkoseinärakenteita. Hakupäivä 30.11.2022. https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortit/RT%2082-11006.

21. Weber, Saint-Gobain 2022. Leca-harkkorakenteet. Talonrakennus, suunnitteluohje. Hakupäivä 30.11.2022. https://www.fi.weber/files/fi/2022-05/Leca-harkot-suunnitteluohje.pdf.

22. RT82-10868. Pientalon kivirakenteet. Hakupäivä 28.2.2023. https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/resource/juha/content/5922#page=1.

23. Saint-Gobain 2023. Leca Easylex suunnittelu- ja työohje. Leca-harkot. Talonrakentaminen. Hakupäivä 28.2.2023. https://leca.emmi.fi/l/zXJc69XsPn_G.

24. RT 82-10868 2006. Pientalon kivirakenteet. Hakupäivä 29.11.2022. https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/resource/juha/content/5922#page=1.

25. RT 83-11009 2010. Alapohjarakenteita. Hakupäivä 28.2.2023. https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/resource/juha/content/197#page=1.

26. Sisäilmayhdistys ry 2008. Tuuletetut ulkoseinät. Hakupäivä 30.1.2023. https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Ulkoseinat.

27. Puuinfo 2020. Seinän ominaisuudet. Rakenteet, rankarakenteet. Hakupäivä 25.1.2023. https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/seinan-ominaisuudet/.

28. RT 82-11006 2010. Ulkoseinärakenteita. Hakupäivä 25.1.2023. https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/9157#page=1.

29. Tilastokeskus 2022. Asunnon pääasiallinen lämmitystapa talotyypeittäin, 2012—2022. Asumisen energiankulutus. Hakupäivä 1.3.2023. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ktutk/statfin_ktutk_pxt_13qk.px/table/tableViewLayout1/.

30. Laskentapalvelut.fi. Palvelusta löytyvät ohjelmistot. Hakupäivä 11.1.2023. https://www.laskentapalvelut.fi/index_for_JRF.php.

31. Finlex 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden asunnon energiatehokkuudesta. Pykälät 2–4. Hakupäivä 2.3.2023. https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1010%2F2017.

32. WWF. Itämeren rehevöityminen Hakupäivä 23.3.2023. https://wwf.fi/alueet/itameri/rehevoityminen/#rehevoitymisen-seuraukset

33. Ymparisto.fi 2014. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Happamoituminen. Hakupäivä 24.3.2023. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesistojen_kunnostus/virtavesien_kunnostus/Kunnostustarvetta_aiheuttavia_tekijoita/Happamoituminen.

34. Ymparisto.fi 2015. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Alailmakehän otsonia muodostavat päästöt vähenevät. Hakupäivä 24.3.2023. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilman_epapuhtaudet/Alailmakehan_otsonia_muodostavat_paastot(28646).

35. Ympäristöministeriö. Otsonikerroksen suojelu. Hakupäivä 24.3.2023. https://ym.fi/otsonikerroksen-suojelu

36. Luke luonnonvarakeskus 2022. Puuston vuotuinen kasvu, poistuma ja hakkuukertymä. Hakupäivä 14.4.2023. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__02%20Rakenne%20ja%20tuotanto__10%20Hakkuukertyma%20ja%20puuston%20poistuma/03b_Hakkuukertyma_poistuma.px/table/tableViewLayout2/.