



Karelia-ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, insinööri (AMK)

Rakenneratkaisujen hiilijalanjäl- kien vertailu pientalossa

Jyri Pesonen

Opinnäytetyö, maaliskuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
maaliskuu 2023
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Jyri Pesonen

Nimeke
Rakenneratkaisujen hiilijalanjälkien vertailu pientalossa

Tiivistelmä

Hiilipäästöjen vähentäminen on nykypäivänä esillä monessa paikassa kiihtyvän ilmastomuutoksen takia. Niinpä rakentamisessakin keskitytään vähähiilisyteen yhä enemmän. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka omakotitalon rakentamisesta haaveileva voi tutustua rakennusmateriaalien aiheuttamiin päästöihin ja kuinka niitä voisi yksinkertaisuudessaan vertailla.

Tässä työssä perehdyttiin vähähiiliseen rakentamiseen ja tehtiin vertailua muutamista pientaloissa käytettävistä rakennetyypeistä niiden hiilijalan- ja hiilikädenjäljen pohjalta. Työssä kerrotaan rakentamisen päästöistä, rakennuksen elinkaaren vaiheista ja hiilijalanjäljen laskentaan käytetyistä keinoista. Työhön kerättiin ja kirjattiin keinoja, joilla rakennuksen vähähiilisyteen voi vaikuttaa jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Työssä kerrotaan myös, kuinka puuta voidaan käyttää rakennuksen runkomateriaalina ja miten materiaalivalinnat vaikuttavat rakennuksen vähähiilisyteen. Lopuksi suunniteltiin mallitalo.

Tuloksina työssä syntyi taulukot rakennetyypeittäin, joista käy ilmi laskentaan tarvittavat tiedot ja materiaalien aiheuttamat hiilijalan- ja hiilikädenjäljet. Rakennetyyppejä vertailtiin ja tulokset esitettiin kappaleiden lopussa olevissa kaavioissa. Myös mallitalon materiaaleille laskettiin hiilijalanjälki sekä materiaaleihin sitoutuneen hiilen määrä ja tuloksia vertailtiin ryhmittäin.

Kieli
suomi

Sivuja 46
Liitteet 2
Liitesivumäärä 7

Asiasanat
puurakentaminen, vähähiilisyys, hiilijalanjälki



THESIS
March 2023
Degree Programme in Construction Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Jyri Pesonen

Title
Comparison of the Carbon Footprint of the Structural Solutions in a Single-Family House

Abstract

Reducing carbon emissions is present in many places today due to accelerating climate change. Therefore, there is an increasing focus on low carbon in construction as well. The purpose of this thesis was to find out how those planning to build a single-family house can identify the emissions caused by building materials and how they could be compared in a simple way.

This thesis focused on low-carbon construction and made a comparison of a few structural solutions used in single-family houses based on their carbon footprint and carbon handprint. In this work describes the construction emissions, the phases of building's life cycle and the methods used to calculate the carbon footprint. The ways in which the building's carbon emissions can be influenced already in the building's design phase were collected and documented in this thesis. The thesis also explains how wood can be used as the building's frame material and how the material choices affect the low-carbon nature of the building. Finally, a model house was designed.

As a result of the work, tables were created by structure type, which show the information needed for the calculation and the carbon footprint and carbon handprint of the materials. Structure types were compared, and the results were presented in the diagrams at the end of each chapter. The carbon footprint and the amount of carbon bound to the materials were also calculated for the materials of the model house, and the results were compared by group.

Language
Finnish

Pages 46
Appendices 2
Pages of Appendices 7

Keywords
wooden construction, low-carbon, carbon footprint

Sisältö

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 2 | Hiilijalan- ja kädenjälki..... | 5 |
| 3 | Vähähiilinen rakentaminen..... | 6 |
| 3.1 | Miksi vähähiilistä rakentamista? | 6 |
| 3.2 | Rakentamisen päästöt | 8 |
| 3.3 | Rakennuksen elinkaaren vaiheet..... | 9 |
| 3.4 | Päästötietokanta ja EPD..... | 11 |
| 3.5 | Keinoja hiilipäästöjen vähentämiselle rakentamisessa | 12 |
| 4 | Puu rakennuksen runkomateriaalina..... | 15 |
| 4.1 | Rankarunko | 15 |
| 4.2 | CLT-runko..... | 17 |
| 4.3 | Hirsirunko..... | 19 |
| 5 | Materiaalien hiilijalanjäljen laskenta | 21 |
| 6 | Rakennetyypit ja vertailu..... | 22 |
| 6.1 | Alapohjat..... | 22 |
| 6.2 | Ulkoseinät..... | 25 |
| 6.3 | Väliseinät | 32 |
| 6.4 | Välipohjat | 38 |
| 6.5 | Yläpohjat..... | 40 |
| 7 | Mallitalo..... | 42 |
| 8 | Pohdinta..... | 45 |

Liitteet

- Liite 1 Mallitalon pohjakuvaluonnokset
- Liite 2 Mallitalon materiaalitaulukot

1 Johdanto

Opinnäytetyön teoriaosuudessa kerrotaan aluksi vähähiilisen rakennuksen suunnitteluun liittyvistä seikoista. Seuraavaksi kerrotaan puun käytöstä rakennuksen runkomateriaalina.

Työssä keskitytään pääasiassa tarkastelemaan puurunkoisen omakotitalon rakentamisessa käytettävien rakennetyyppien vähähiilisyttä materiaalien osalta. Vertailu rajataan koskemaan kantavia rakenteita, jotka vaihtuvat runkotyyppin mukaan, sekä väliseiniä. Laskentaan otetaan mukaan rungon tarvitsemat eristeet, joilla saavutetaan Ympäristöministeriön asetusten mukaiset U-arvot. Lisäksi tarkastellaan myös vaihtoehtoisia eristeratkaisuja, erityisesti rankarungon osalta. Pyritään kartoittamaan rakenneratkaisujen aiheuttamat hiilijalan- ja hiilikädenjäljet ulko- ja väliseinissä, sekä ala-, ylä- ja välipohjarakenteissa. Vertailussa käytettyjä rakennetyyppejä on kerätty eri eristevalmistajien sivuilta ja laskennassa on käytetty Suomen ympäristökeskuksen CO2data.fi päästötietokannasta löytyviä arvoja, poissulkien märkätilan seinän vedeneristystä, jossa käytettiin valmistajan antamia tietoja (weber), koska kyseistä tietoa ei käytössä olevasta tietokannasta löytynyt. Laskennasta on jätetty pois kiinnitysosat, teipit, yms. pientarvikkeet, joista ei aiheudu merkittäviä muutoksia tuloksiin.

Lisäksi teen suunnitelmat omakotitalosta, johon sovellan työssä käsittelemiäni seikkoja sekä vertailemiani rakenneratkaisuja. Talosta lasken materiaalien aiheuttamat päästöt ja materiaaleihin sitoutuneet hiilivarastot.

2 Hiilijalan- ja kädenjälki

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljellä tarkoitetaan sen rakentamisesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä, jotka aiheuttavat ilmaston lämpenemistä. Näitä ovat esimerkiksi rakennusmateriaalien valmistuksesta ja rakennuksen energian käytöstä aiheutuvat päästöt. Hiilijalanjälkeä mitataan hiilidioksidiekvivalentilla

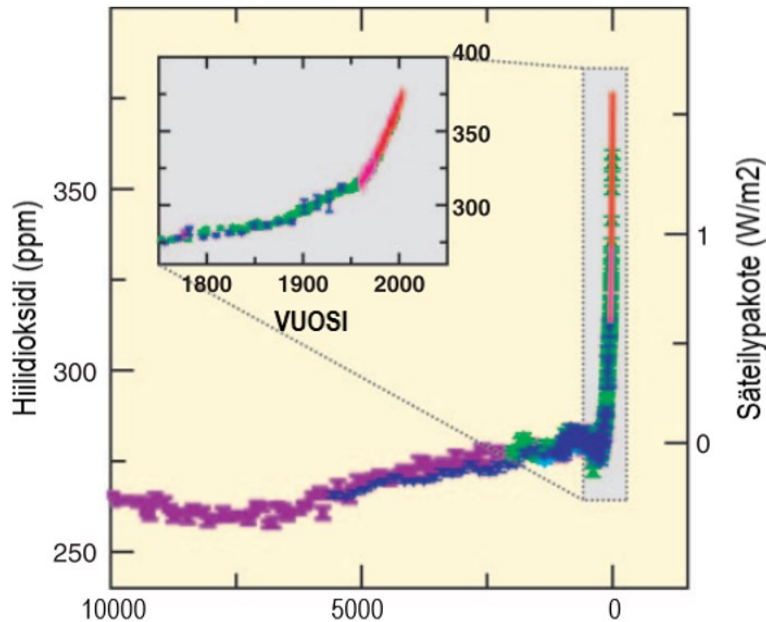
(kg CO₂e), jossa ilmastoa lämmittävät eri kasvihuonekaasut on muunnettu hiilidioksidin vaikutusta vastaavaksi. Hiilidioksidiekvivalentti ilmoittaa lämpenemisvaikutuksen, jonka yhden kilogramman hiilidioksidipäästö ilmakehään aiheuttaa sadassa vuodessa. Hiilijalanjäljen laskenta perustuu muun muassa standardeihin EN15978 sekä 15804 ja sen tulokset ilmoitetaan muodossa (kgCO₂e/m²/a). (Vesitaito 2023.)

Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan rakennuksen myönteisiä ilmastovaikutuksia, joita ei syntyisi ilman hanketta. Esimerkiksi materiaalien kautta rakenteisiin sitoutuneet hiilivarastot, rakennustuotteiden kierrätyksestä syntyvät hyödyt ja ulkopuoliseen energiaverkkoon syötetty energia, jota nykyisin tuotetaan muun muassa aurinkopaneeleilla. Betonirakenteiden sideaineena käytetyn sementin karbonatisoitumisesta aiheutuvat hiilinielut lasketaan myös hiilijalanjälkeen. Hiilikädenjälkeä ei vähennetä laskelmissa hiilijalanjäljestä, vaan se ilmoitetaan niin sanotusti negatiivisena hiilijalanjälkenä. (Vesitaito 2023.)

3 Vähähiilinen rakentaminen

3.1 Miksi vähähiilistä rakentamista?

Syy vähähiilisemmän rakentamisen tavoitteluun on ihmisen toiminnan seurauksena tapahtuvan ilmaston lämpenemisen hidastaminen. Toki ilmasto muuttuu ihmisten toimista huolimatta, mutta väestömäärän lisääntyessä, rakentamisen ja myös ruuantuotannon ja liikenteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt nopeuttavat tätä muutosta huomattavasti. Ilmakehän luonnollisia kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry (H₂O), hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O), ja otsoni (O₃), mutta ilmakehässä esiintyy myös ihmisen tuottamia, luonnostaan esiintymättömiä kasvihuonekaasuja, esimerkiksi halogenoituja hiilivetyjä (Ilmatieteen laitos 2023).



Kuvio 1. Hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu ilmakehässä (IPCC 2007, 38).

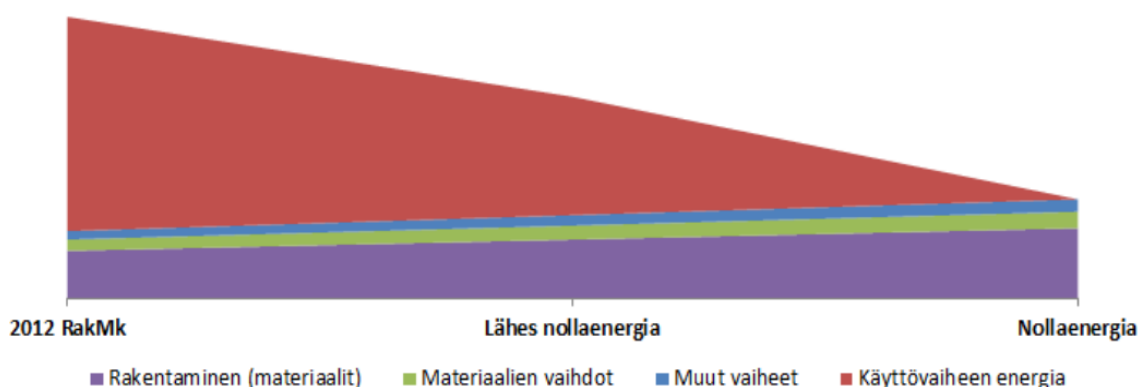
Yllä olevan kuvion (kuvio 1) isossa kuvassa on esitetty, kuinka ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on muuttunut kuluneen 10000 vuoden aikana. Pienemmässä kuvassa muutos on esitetty vuodesta 1750 nykypäivään.

Ilmakehässämme olevat ja etenkin fossiilisten polttoaineiden käytön seurauksena huomattavasti lisääntyvät kasvihuonekaasut estävät ilmakehässä olevan lämmön poistumisen. Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden mukaisesti ja hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin IPCC:n raportin mukaan lämpeneminen olisi mahdollista rajata 1,5 asteeseen esiteollisesta ajasta. Nykytoimilla tuohon tavoitteeseen ei kuitenkaan päästä. Tärkeimpiä keinoja muutoksen hidastamiseen ovat muun muassa fossiilisista polttoaineista luopuminen, uusiutuvan energian käyttö, energiatehokkuus ja energian säästö sekä luonnollisten hiilinielujen kasvattaminen. (WWF 2023.)

Ilmaston lämpenemisestä aiheutuu muun muassa jäätiköiden sulamista ja sen seurauksena merenpinnan nousua. Valtamerien lämpeneminen aiheuttaa meri- ja ilmavirtojen muutoksista johtuvaa hirmumyrskyjen, ja sademäärien lisääntymistä, mutta toisaalla myös kuivuutta ja siitä aiheutuvaa lisääntyvää metsäpalojen määrää. Sään ääri-ilmiöt siis tulevat tulevaisuudessa lisääntymään. (IPCC 2007.)

3.2 Rakentamisen päästöt

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali jo vuonna 2035, joten Ympäristöministeriön valmisteleman vähähiilisen tiekartan mukaan rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämisestä tulisi osa rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä. Suomen kasvihuonekaasupäästöistä noin kolmanneksen aiheuttavat rakentaminen ja rakennukset. Suurin osa päästöistä aiheutuu rakennuksen käyttövaiheen aikana, mutta rakenteiden energiatehokkuuden koko ajan parantumisessa, myös rakennusmateriaalien valmistuksesta aiheutuvat päästöt näyttävät suurta osaa koko elinkaaren aikaisista päästöistä. Niinpä rakentamisen ohjauksessa ollaankin keskittymässä rakennusten elinkaaren alussa materiaaleista syntyviin ja elinkaaren lopussa rakennuksen purkamisen, ja materiaalien loppukäsittelyn seurauksena aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin. (Ympäristöministeriö 2023a.)

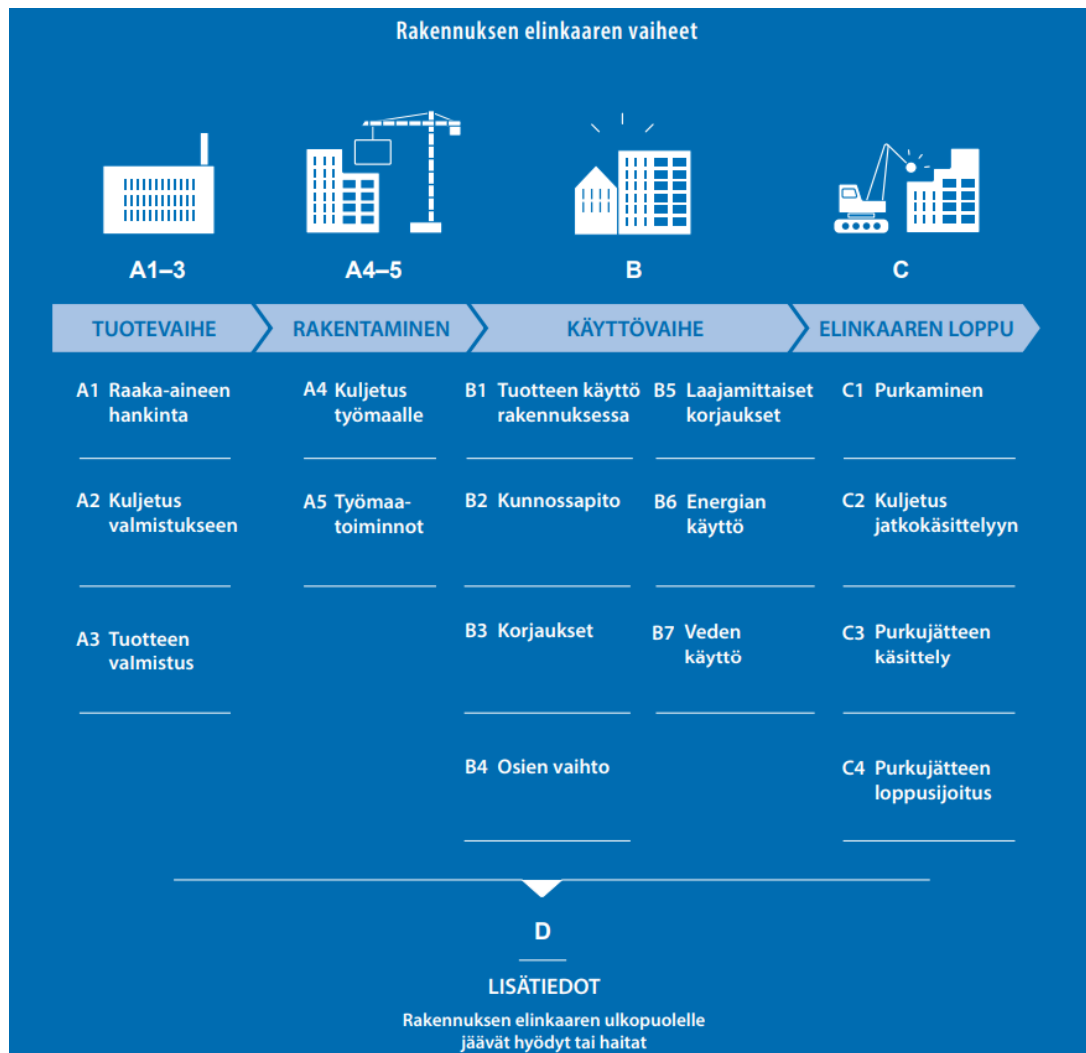


Kuvio 2. Rakennuksen elinkaaren (50 v.) CO₂e -päästöjen kehitys (Bionova 2015, 4).

Yllä olevassa kuviossa (kuvio 2) on havainnollistettu rakennusmateriaalien päästöjen suuruutta verrattuna rakennuksen koko elinkaaren (50 v.) aiheuttamiin päästöihin vuoden 2012 Suomen rakentamismääräyskokoelman tavoitteista aina nollaenergiaratkaisuun asti.

3.3 Rakennuksen elinkaaren vaiheet

Rakennuksen elinkaaren vaiheet jaotellaan tuotevaiheeseen (A1-3), rakentamisvaiheeseen (A4-5), käyttövaiheeseen (B1-7), elinkaaren loppuvaiheeseen (C1-4) sekä elinkaaren ulkopuolisiin vaikutuksiin (D). Nämä vaiheet on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 1).



Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (Ympäristöministeriö 2019, 14).

Rakennuksen elinkaaren vaiheet A1-A3 sisältävät rakennuksen ja sen osien koko valmistusketjun päästöt. A1 vaiheen päästöt koostuvat raaka-aineen hankinnasta, eli esimerkiksi mineraalien louhimisesta. Vaiheen A2 päästöt koostuvat raaka-aineen kuljetuksesta tehtaalle jatkojalostukseen. A3 vaiheessa määräytyy mahdollisesti useista raaka-ainesta valmistettavan tuotteen aiheuttamat päästöt. A4 vaiheessa määräytyvät rakennustuotteen kuljetuksista tehtaalta

työmaalle aiheutuvat päästöt. A5 vaihe kuvaa työmaatoiminnoista syntyviä päästöjä, joita aiheutuu muun muassa maansiirroista, varastoinnista, energiankäytöstä työmaalla sekä jätehuollosta. (Green Building Council Finland 2023.)

B1 vaihe sisältää tuotteen käytöstä aiheutuvat päästöt ja B2 vaihe tuotteen kunnossapidosta aiheutuvat päästöt, joita muodostuu tuotteen huollosta, ylläpidosta sekä näiden tarvitsemista kuljetuksista ja jätehuollosta. B3 vaiheen päästöt koostuvat rakennusosien rikkoontumisen korjaukseen tarvittavien materiaalien ja niiden käsittelyn aiheuttamista päästöistä. B4 vaiheen päästöihin sisältyy rakennusosien suunniteltu vaihto niiden taloudellisen tai teknisen käyttöiän päässä. B5 vaihe käsittää laajamittaiset korjaukset, kuten peruskorjauksen tai energiaratkaisujen muutoksen aiheuttamat päästöt. Vaihe sisältää käytetyt materiaalit, jätehuollon, logistiikan ja prosessissa kulutetun energian päästöt. B6 sisältää rakennuksen käytönaikaisen ulkopuolelta tuodun energian päästöt, joita syntyy etenkin rakennuksen lämmittämisen ja lämpimän käyttöveden tuottamisen seurauksena. B7 vaihe koostuu rakennuksen käytön aikaisen puhtaan veden tuotannon ja jäteveden käsittelyn seurauksena aiheutuvista päästöistä. (Green Building Council Finland 2023.)

C1 vaiheessa päästöjä syntyy rakennuksen elinkaaren loppuvaiheessa rakennuksen purkamisprosessin seurauksena. Vaihe sisältää purkamiseen käytettävien koneiden ja laitteiden aiheuttamat päästöt. C2 vaihe huomioi purkamisesta johtuvien kuljetusten päästöt ja C3 purkujätteen käsittelystä aiheutuvat päästöt, jossa jäte lajitellaan uudelleenkäytettäviin, uudelleenjalostettaviin tai loppusijoitettaviin aineisiin. C4 vaihe kuvaa päästöjä, joita syntyy jätteen loppusijoituksen seurauksena. (Green Building Council Finland 2023.)

D vaihe sisältää elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, joita syntyy rakennuksen purkamisen jälkeen rakennustuotteiden uudelleenkäytöstä, kierrätyksestä ja muusta hyödyntämisestä. Tähän vaiheeseen sisältyy materiaalien hiilivarastot ja hiilinielut sekä mahdollisen ylijäämäenergian tuottaminen. (Green Building Council Finland 2023.)

3.4 Päästötietokanta ja EPD

Hiilijalanjäljen laskennassa tarvitaan rakennusmateriaalien määriä, mutta myös rakentamisessa käytettävien rakennustuotteiden sekä rakentamisen prosessien ja palveluiden päästötietoja. Tässä työssä käytössä on CO2data.fi rakentamisen päästötietokanta.

Päästötietokantaan on koottu keskimääräisiä tietoja tyypillisimpien rakennustuotteiden haitallisista ja hyödyllisistä ilmastovaikutuksista, kuten hiilijalan- ja hiilikädenjäljestä, materiaalitehokkuudesta ja kierrätettävyydestä sekä vaihdettavien tuotteiden teknisestä käyttöiästä. Tietoja on kerätty rakennustuotteiden ympäristöselosteista eli EPD:stä (Environmental Product Declaration), joiden pohjalta on tehty vertailua ja keskiarvojen laskentaa. (Ympäristöministeriö 2023b.)

Nykyisin, kun rakentamisessa keskitytään yhä enemmän kestävään kehitykseen, elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ovat tärkeitä kriteereitä niin suunnittelijoille, rakennuttajille kuin rakennusurakoitsijoillekin rakennusmateriaaleja valittaessa. Tähän pyritään myös tulevilla lainsäädännöllä, jossa rakennuksen elinkaaren aikaisten päästöjen laskennasta tulisi pakollinen osa rakennusprosessia jo rakennuslupavaiheessa. Päästötietokantaa tarkempia ja valmistajakohtaisia tietoja voi etsiä esimerkiksi Suomessa pääosin käytössä olevien Rakennustietosäätiön (RTS) ympäristöselosteiden avulla. Kyseisissä ympäristöselosteissa tiedot on esitetty standardin EN 15804 mukaan ja rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset ovat vertailukelpoisia keskenään tehtäessä rakennustason tai rakennusosien laskentaa. Ympäristöselosteet ovat kolmannen osapuolen todentamia, eli niissä tiedot on tarkastettu ja todettu luotettaviksi ympäristötiedon lähteiksi. Ympäristöselosteissa standardin mukaisilla indikaattoreilla kuvataan ilmastonmuutosvaikutus, otsonia tuhoavat aineet, maaperää ja vesistöjä happamoittavat päästöt, rehevöitymistä aiheuttavat päästöt sekä uusiutumattomien energiavarojen ja mineraalivirtojen ehtyminen, joita aiheutuu tuotteen elinkaaren aikana. (Rakennustietosäätiö 2023.)

3.5 Keinoja hiilipäästöjen vähentämiseksi rakentamisessa

Rakentamisessa hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi on monia mahdollisuuksia ja näihin voidaan vaikuttaa rakentamisen kaikissa vaiheissa. Suurimmat päästöt aiheutuvat käyttövaiheessa rakennuksen energiankulutuksen myötä ja tuotenvaiheessa materiaalien valmistuksen takia, mutta myös rakennusmateriaalien kierrätettävyyteen kannattaa kiinnittää huomiota (Bionova 2017, 11). Vähähiilisyteen on helpoin vaikuttaa jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa niin arkkitehti-, rakenne- kuin talotekniikkasuunnittelussakin.

Energiatavokkaan talon suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon ilmansuuntien vaikutus tilasuunnitteluun. Tilat, jotka tarvitsevat valoa enemmän, ja joita käytetään jatkuvasti, on hyvä sijoittaa etelä-, kaakko-, tai lounassuuntaan, jolloin auringosta saatavan energian ja valon voi hyödyntää tehokkaimmin. Tällä onkin merkittävä vaikutus suunniteltaessa vähähiilistä rakennusta. Pohjoispuolelle kannattaa sijoittaa vähemmän lämpöä ja valoa tarvitsevat huoneet, kuten käytävät tai varastot. Rakennuksen muodolla ja koolla on myös suuri vaikutus energiatavokkuuteen. Yksinkertaisella muodolla saavutetaan rakennukseen pienempi vaippa, pienemmät lämpöhäviöt ja myös pienemmät materiaalmäärät. Mitä vähemmän rakennuksessa on nurkkia, sitä vähemmän on myös vuotokoh- tia ja kylmäsiltoja. Optimaalinen muoto on itä-länsisuuntainen suorakaide, joka mahdollistaa suuren ikkunapinta-alan etelään. Rakennuksen koko taas kannattaa suunnitella käyttäjän tilantarpeen mukaan optimaaliseksi, jolloin säästytään hukkaneliöllä. Myös tilojen muuntojoustavuuteen kannattaa kiinnittää huomiota. Kerrosluku vaikuttaa rakennuksen vaipan määrään ja myös porrastusta vähentää käytettävää huoneistoalaa. Vaipan määrään vaikuttaa myös rakennuksen tilavuus. Huonekorkeus kannattaa pitää kohtuullisena ja välttää ylikorkeita tiloja. Ikkunoiden koolla on vaikutusta lämpöhäviöihin, mutta toisaalta koko vaikuttaa myös saatavaan päivänvalon ja passiivisen lämpöenergian määrään. Suuret ikkunapinnat tuleekin sijoittaa eteläsuuntaan. (Arkkitehtitoimisto Tilasto 2023.)

Rakenteiden U-arvoilla on merkittävä vaikutus johtumishäviöihin, mutta suunnittelussa kannattaa kiinnittää huomiota U-arvojen lisäksi myös hyvään rakenteiden ilmatiiveyteen, joka vaikuttaa oleellisesti vuotoilman määrään ja

lämpöhäviöihin ja tätä kautta myös energiatehokkuuteen. Rakenteita suunnitellessa tulee välttää kylmäsiltojen muodostumista rakenteisiin, jotka vaikuttavat rakenteiden johtumishäviöihin. Mahdollisia kylmäsiltoille alttiita kohtia rakennuksessa ovat etenkin nurkat, ikkunoiden ja ovien kehät sekä rakenteiden väliset liitokset, esimerkiksi välipohjan ja ulkoseinän liitoskohdat. Myös materiaalien valinnalla on merkitystä kylmäsiltojen muodostumiseen, joten etenkin ulkovai- passissa tulee välttää hyvin lämpöä johtavia materiaaleja. Rakenteiden massiivisuudella on vaikutusta passiivisen aurinkoenergian ja muiden lämpökuormien hyödyntämisessä. Massiiviset rakenteet varaavat lämpöä paremmin kuin kevyet rakenteet. Esimerkiksi kivirakenteinen väliseinä tai betoninen lattia-laatta, jota aurinko pääsee lämmittämään päivän aikana, luovuttaa sisäilmaan lämpöä yöllä viileämpään aikaan. (Arkkitehtitoimisto Tilasto 2023.)

Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa suuresti rakentamisen hiilidioksidipäästöihin. Rakennusmateriaaleiksi kannattaa valita mahdollisuuksien mukaan uusiutuvista luonnonvaroista tuotettuja materiaaleja. Tästä hyvänä esimerkkinä on puunkäyttö rakentamisessa. Seuraavaan taulukkoon (taulukko 1) on kerätty muutamien yleisimpien ja tässä työssäkin vertailtavien rakennusmateriaalien tietoja Suomen ympäristökeskus SYKE:n ylläpitämästä rakentamisen päästötietokannasta.

| Materiaali | Tiheys kg/m ³ | Hiilijalanjälki kgCO ₂ e/kg | Hiilijalanjälki kgCO ₂ e/m ³ | Hiilivarasto kgCO ₂ e/kg |
|--------------------|-----------------------------|---|---|--|
| Valmissetoni 30/37 | 2400 | 0,13 | 312 | |
| Teräsrakenne | 7850 | 3 | 23550 | |
| Puu | 474 | 0,083 | 39 | 1,6 |
| CLT | 470 | 0,2 | 94 | 1,6 |
| Lamellihirsi | 441 | 0,2 | 88 | 1,6 |
| Viilupuu, palkki | 510 | 0,36 | 184 | 1,6 |
| Kalkkihiekkaharkko | 1620 | 0,16 | 259 | |
| Höyrynsulku, PE | 925 | 2,6 | 2405 | |
| Selluvillalevy | 37 | 1,02 | 38 | 1,1 |
| Lasivillalevy | 20 | 1,2 | 24 | |
| Kivivillalevy | 29,5 | 1,5 | 44 | |
| EPS | 16 | 3,5 | 56 | |
| XPS | 32 | 3,1 | 99 | |

Taulukko 1. Esimerkkejä eräiden rakennusmateriaalien hiilijalanjäljistä CO₂data.fi arvoilla.

Kasvaessaan puu sitoo itseensä hiiltä ilmasta. Puusta rakennettaessa tämä hiili varastoituu rakenteisiin rakennuksen elinkaaren ajaksi ja elinkaaren päätyttyä puurakenteet on helppo kierrättää esimerkiksi energiaksi. Tällöinkään hiiltä ei vapaudu sen enempää, kuin puu on itseensä kasvun aikana sitonut. Myös puutuotteiden valmistuksesta syntyy vähän hiilidioksidipäästöjä verrattaessa muihin materiaaleihin. Rakentamisen hiilidioksidipäästöt vähentyvät myös, jos muita enemmän hiilidioksidipäästöjä aiheuttavia materiaaleja korvataan puunkäytöllä. (Puuinfo 2020a.)

Rakentamisessa tarvitaan toki puun lisäksi myös muita materiaaleja, kuten an-turoihin ja sokkeleihin betonia ja terästä. Näidenkin materiaalien valinnoilla voi olla suurta merkitystä rakennuksen vähähiilisyyteen.

Markkinoilla on saatavilla vähähiilistä ja hiilikompensoitua betonia. Vähähiilissessä betonissa betonin sideainetta, eli sementtiä, jonka tuottamisesta suuri osa betonin hiilipäästöistä johtuu, on korvattu muun teollisuuden sivuvirroista saatavilla tuotteilla. Hiilikompensoidussa betonissa hiilipäästöjä on kompensoitu ostamalla päästöoikeuksia. (Härkönen 2021.)

Teräksen valmistus vaatii paljon energiaa, mutta se on hyvä kierrätysmateriaali, joten sitä voidaan kierrättää lukuisia kertoja ilman ominaisuuksien heikkene-mistä. Kierrätetyn teräksen käyttö säästää luonnonvaroja ja vähentää hiilidioksi-dipäästöjä. Kierrätyksen lisäksi teräsrakenteita voidaan joissain tapauksissa myös käyttää uudelleen. (Teräsrakenneyhdistys 2023.)

Kiertotaloudella, jossa purettavan rakennuksen materiaalit käytetään uudestaan tai kierrätetään, voidaan säästää luonnonvaroja. Niinpä rakennuksiin kannattai-sikin valita jo kierrätettyjä kuin myös kierrätykseen kelpaavia materiaaleja. Li-säksi rakennukset tulisi suunnitella pitkäikäisiksi, monikäyttöisiksi ja muunnelta-viksi sekä helposti huollettaviksi ja korjattaviksi. (Ympäristöministeriö 2023c.)

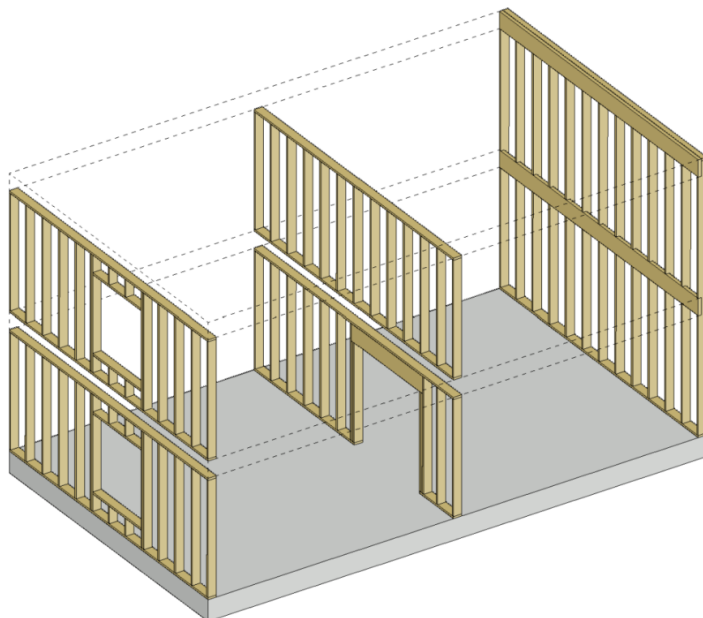
Talotekniikalla vaikutetaan erityisesti rakennuksen käytönaikaiseen energianku-lutukseen, joten sen suunnitteluun kannattaa panostaa. Nykyisin

lämmitysjärjestelminä suositaan erilaisia lämpöpumppuja, hybridijärjestelmiä ja muita vähäpäästöisiä lämmönlähteitä. Rakennuksen ilmanvaihdossa kannattaa suosia LTO-laitteita, jottei lämmitysenergiaa hukata turhaan. Lämpimän käyttöveden kulutukseen, johon suuri osa rakennuksen käytönaikaisesta energiasta kuluu, voidaan vaikuttaa sen käyttötottumuksilla. (Hyvärinen 2020, 9.)

4 Puu rakennuksen runkomateriaalina

4.1 Rankarunko

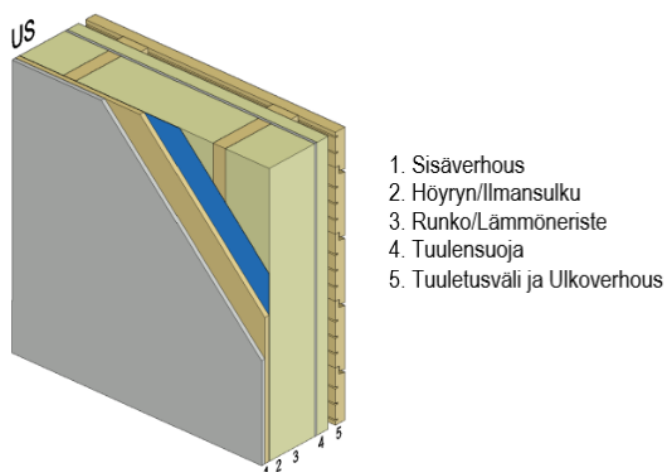
Rankarunko on yleisesti käytössä oleva kustannustehokas runkojärjestelmä etenkin 1–2 kerroksisten pientalojen rakentamisessa. Rankarungolla tarkoitetaan tavallisesti mitallistetusta ja lujuusluokitellusta, yleensä C24, sahatavarasta rakennettavaa kantavaa pystyrakennetta, jossa runkotolpat sijoitetaan yleensä 600 millimetrin välein rungon kantaville linjoille alaohjauspuun päälle. 600 millimetrin runkotolppajako käy hyvin yhteen eristeiden ja levytuotteiden mittojen kanssa, ja siksi kantava rankarunko suunnitellaankin tavallisesti myös jäykistäväksi rakennusosaksi, jolloin rankojen kylkeen kiinnitetään jäykistävä levytys. Levyinä käytetään tavallisesti vaneria tai kipsilevyä. Rungon tarkoituksena on välittää pystykuormat perustuksille, joten rankojen poikkileikkauksen koolla voidaan vaikuttaa rangan tukipaine- sekä nurjahduskestävyyteen. Aukotusten kohdalla kantavaan rankarunkoon mitoitetaan kuormitukset kestävätkin aukonylityspalkit. Ulkoseinissä rungon väliin on myös helppo sijoittaa rakennukseen vaadittava lämmöneristekerros. (Puuinfo 2020b.)



Kuva 2. Rankarungon toimintaperiaate (Puuinfo 2020b).

Yksikerroksisissa rakennuksissa vaakarakenne kiinnitetään rankojen yläpään asentettavan yläohjauspuun päälle. Kaksikerroksisissa rakennuksissa vaakarakenne voidaan asentaa kuten edellä, tai vaihtoehtoisesti rungon kylkeen. Välipohja rankarunkoisessa talossa on yleensä palkkirakenne. Lyhyillä jänneväleillä palkkeina voidaan käyttää sahatavaraa, mutta suurempien jännevälien rakenteena käytetään yleensä viilupuuta (LVL). Yläpohjassa käytetään tavanomaisesti NR-ristikkorakennetta tai palkkirakennetta. (Puuinfo 2020b.)

Jotta rankarungosta saadaan toimiva rakenne, rankojen, eristeen ja levytyksen lisäksi runko tarvitsee eristeen valinnan mukaan tiiviin ja yhtenäisen ilman- tai höyrynsulku kerroksen, joka sijoitetaan rungossa yleensä eristekerroksen sisäpintaan. Kerroksen tarkoitus on parantaa rakenteen vesihöyry- ja ilmatiiveyttä. Höyrynsulkuna käytetään yleisimmin PE-kalvoa, joka on diffuusiotiivis, eli se ei päästä sisäilmassa olevaa vesihöyryä kulkeutumaan diffuusion avulla rakenteen eristekerrokseen. Höyrynsulkua käytetään mineraalivillaeristeiden kanssa, joilla ei ole kykyä sitoa kosteutta itseensä. Ilmansulkua käytetään ns. hengittävässä rakenteissa. Ilmansulun diffuusiovastus on huomattavasti heikompi kuin höyrynsulun, joten sen kanssa on suositeltavaa käyttää hygroskooppisia eristemateriaaleja, joilla on kyky sitoa ja luovuttaa itseensä sitomaa kosteutta. (Tiivistalo 2023.)



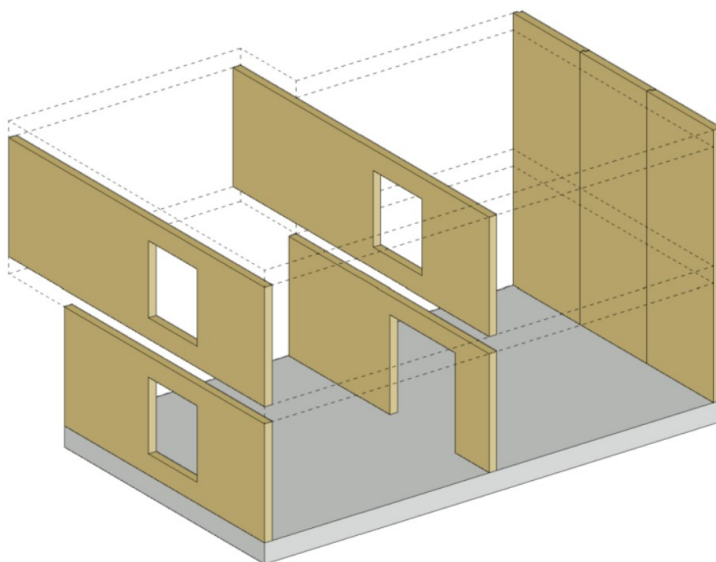
Kuva 3. Rankarunkoinen ulkoseinärakenne (Puuinfo 2020c).

Rankarungon ulkopintaan sijoitetaan tuulensuoja kerros, jonka tarkoituksena on nimensä mukaan suojata rakennetta tuulelta, jottei tuulenpaine pääse heikentämään eristekerroksen lämmöneristyskykyä. Tuulensuojan tulee olla hyvin vesihöyryä läpäisevä, jotta rakenteeseen mahdollisesti tiivistyvä kosteus pääsee kuivumaan ulospäin. Tuulensuojana rankarunkoisissa taloissa käytetään yleisimmin puukuitulevyjä tai vaihtoehtoisesti kipsilevyjä, jotka voivat toimia samalla myös rungon jäykistävinä levyinä. Tuulensuojan ja ulkoverhouksen väliin on ehdottoman tärkeää jättää riittävä tuuletusväli kosteuden tiivistymisen estämiseksi. (Rakentaja.fi 2023.)

4.2 CLT-runko

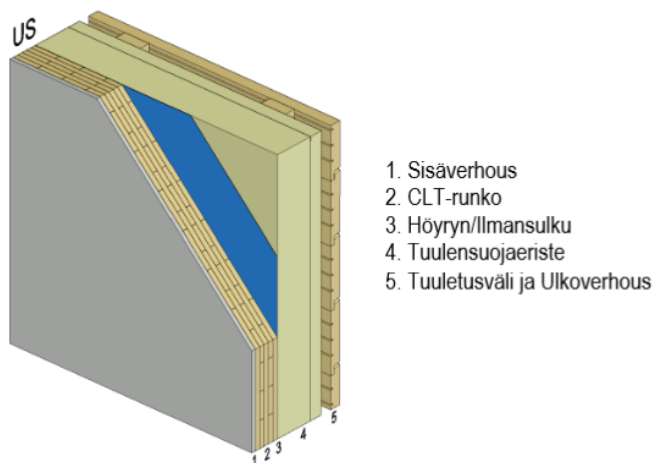
CLT (Cross Laminated Timber) on massiivipuulevy, joka koostuu ristiin liimaistuista tavallisesti kolmesta tai viidestä lujuuslajittelusta ja sormijatketusta lujuusluokan C24 lautakerroksesta, eli lamellista. Lamellien paksuudet ovat tavallisesti 20, 30 tai 40 millimetriä. Näin saadaan aikaan luja ja jäykkä rakennuslevy. Levyn mitat vaihtelevat valmistajakohtaisesti, paksuus 60–400 millimetriä, leveys enintään 2,95–4,8 metriä ja pituus enintään 12–20 metriä. Tavallisimmin käytetyt puulajit ovat kuusi ja mänty, mutta näkyviin pintoihin voidaan käyttää myös muita lajeja. Levyt työstetään mittatarkasti CNC-jyrsimen avulla haluttuun kokoon ja samalla työstetään myös tarvittavat lävistykset, kuten ovi- ja ikkuna-

aukot ja talotekniikan tarvitsemat aukot. Levyt voidaan pintakäsitellä tai pinnoittaa käyttökohteen mukaan ja niitä käytetään erityisesti seinissä ja lattiarakenteissa kantavina ja jäykistävinä rakenteina sekä myös tilaelementtien runkorakenteena. CLT-levyjä käytetään paljon Keski-Euroopan maissa, mutta Suomesakin käyttö on yleistymässä. (Puuinfo 2023.)



Kuva 4. CLT-rungon toimintaperiaate (Puuinfo 2020d).

Monikerroksisissa rakennuksissa pystykuormista ja jäykistyksestä johtuen kantavat seinät tulee suunnitella samoille kohdille eri kerroksissa. Vaakarakenteet, jotka yleensä ovat massiivipuulevyä tai palkkirakenteisia, voidaan kiinnittää ran-
karungon tapaan joko seinien päälle tai niiden kylkeen. Massiivipuulevyn pak-
suudella voidaan hyvin vaikuttaa seinän nurjahdus- ja tukipainekestävyyteen nii-
den ollessa mitoittavia tekijöitä. CLT-rakenteisiin voidaan melko vapaasti suunnitella aukotuksia ja levymäiset rakenteet toimivat hyvin myös ulokkeina. (Puu-
info 2020d.)

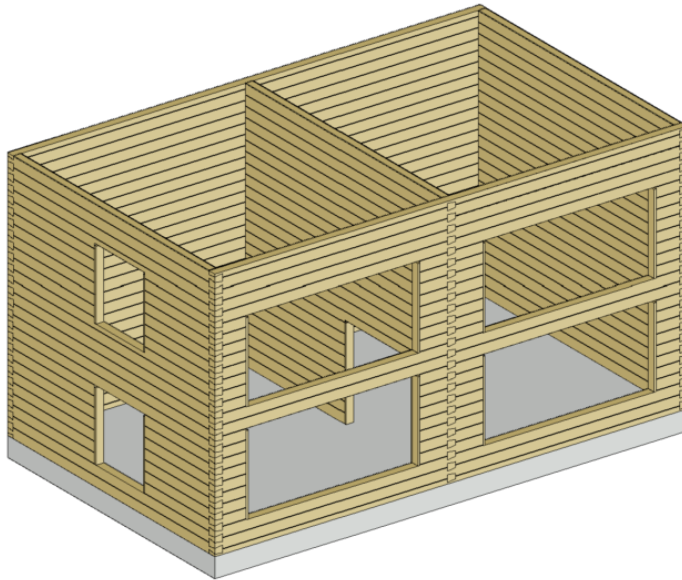


Kuva 5. CLT-ulkoseinärakenne lisäeristetty (Puuinfo 2020e).

Massiivipuulevyä voidaan käyttää myös rakenteen höyryn- ja ilmansulkuna sen rakenteesta ja paksuudesta riippuen. Ominaisuudet tulee selvittää valmistajalta. CLT-ulkoseinät lämmöneristetään tavallisesti jäykällä tuulensuojakerroksen sisältävällä lämmöneristeellä, välttämällä näin erillinen puukoolausta ja tuulensuojalevytys. Lämmöneriste parantaa levyn lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta. CLT-runkoisessa ulkoseinässä tulee käyttää myös erillistä ulkoverhousta, koska CLT-levyä voidaan käyttää vain käyttöluokissa 1 ja 2. Ulkoverhouksen alla tulee olla CLT-seinässäkin yhtenäinen tuuletusväli. (Puuinfo 2020e.)

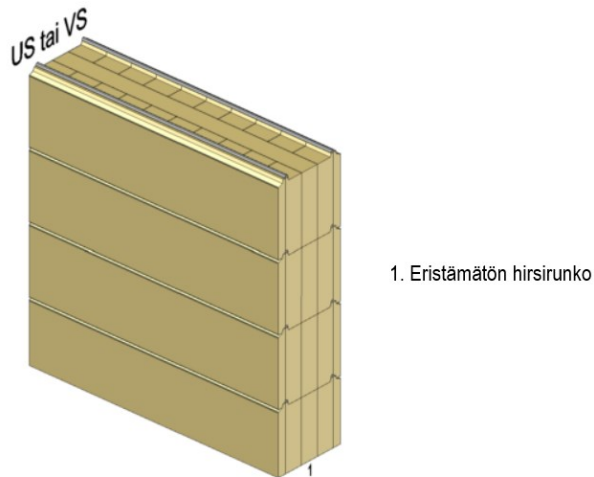
4.3 Hirsirunko

Suomessa lähes kaikki rakentaminen koostui hirrestä 1920-luvulle asti, jonka jälkeen rankarakentaminen yleistyi. Teollinen hirrenvalmistus yleistyi 1950-luvulla ja hirsirakenteen kehittyivät sen jälkeen nopeasti. Nykyisin hirren käyttö on taas lisääntymässä ja hirttä käytetään monen käyttötarkoituksen rakennuksissa erityisesti kantavissa seinärakenteissa, mutta myös ei-kantavissa rakenteissa. (Siikanen 2016, 333.)



Kuva 6. Hirsirungon toimintaperiaate (Puuinfo 2020f).

Nykyisin n.90 prosenttia hirsitaloista on höylähirsirakennuksia, joko massiivihirsisiä tai lamellihirsisiä, joiden valmistuksessa voidaan käyttää nykyaikaisia automaatio- ja robottitekniikoita sekä CNC-työasemia. Hirsiseinälle on ominaista sen painuminen, joka täytyy ottaa huomioon liittyvissä rakenteissa, esimerkiksi ikkunoissa, ovissa, hormeissa sekä kattorakenteissa. Lamellihirsiseinä voidaan toteuttaa myös painumattomasta hirrestä, jolloin keskimäinen lamelli on liimattu pystysuuntaan. Hirttä voidaan käyttää seinissä joko sellaisenaan, tai se voidaan lisäeristää. Lisäeristäminen on suositeltavaa tehdä seinän ulkopuolelle kosteusteknisistä syistä, ja tällöin lämmöneristeen ja ulkoverhouksen väliin on jätettävä tuuletusrako. Hirsirakenteella on kyky sitoa itseensä huoneilman kosteutta ja myös luovuttaa sitä, joten hirsitalojen sanotaankin omaavan hyvän ja miellyttävän sisäilman. Tutkimuksilla on osoitettu, että hirsitalon sisäilman RH pysyy hyvin suositusalueella 30–60 %. Nykyaikaisilla tekniikoilla valmistetuista hirsiseinistä saadaan hyvin ilmanpitäviä saumoissa käytettävien tiivisteiden ja hirsien varauksien muotoilun avulla. (Siikanen 2016, 350–353.)



Kuva 7. Hirsinen ulkoseinärakenne (Puuinfo 2020g).

Hirsirunkoisissa taloissa voidaan käyttää alapohjarakenteena maanvaraista laattaa tai tuulettuvaa alapohjarakennetta. Väli- ja yläpohjarakenteina voidaan käyttää kaikkia puurunkoisia ratkaisuja. (Puuinfo 2020h.)

5 Materiaalien hiilijalanjäljen laskenta

Tässä työssä keskityn vertailemaan materiaalien hiilijalan- ja hiilikädenjälkiä puurakenteisen omakotitalon tavanomaisissa rakenteissa. Valitsen ylisimmin käytössä olevia rakennetyyppejä ja lasken niiden materiaalien päästöt neliömetrille vaiheissa A1-A3.

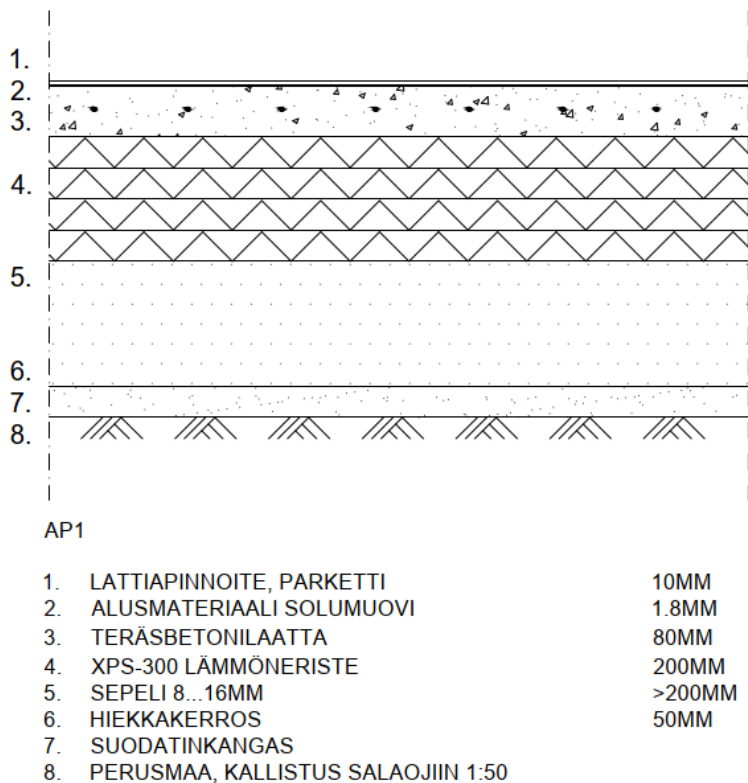
Laskentaan tarvittavia tietoja ovat materiaalit ja niiden määrät sekä tiedot materiaalien valmistuksen päästöistä. Tietokantana käytössä on Suomen ympäristökeskus SYKE:n CO2data.fi osoitteesta löytyvä kaikille ilmainen rakentamisen päästötietokanta, josta selviää Suomessa käytössä olevien rakennustuotteiden keskimääräisiä päästötietoja. Käytän laskennassa konservatiivisia Global Warming Potential (GWP) arvoja vaiheille A1-A3, jotka on ilmoitettu muodossa kgCO₂e/kg. Lisäksi päästötietokannasta käy ilmi materiaalien tiheys. Materiaalien määrät lasken rakennetyypeistä muotoon kg/m², jolloin kertomalla nämä tiedot keskenään saan tiedot rakenteen päästöistä muodossa kgCO₂e/m².

Kokoan tiedot Excel-taulukkoon, jossa laskelmat on helppo suorittaa ja niistä saa tehtyä taulukoita. Kappaleen loppuun lisään kaavion, josta rakenteita on helppo vertailla.

6 Rakennetyypit ja vertailu

6.1 Alapohjat

Alapohjarakenteiksi vertailuun valittiin ensimmäiseksi (AP1) maanvarainen 80 mm teräsbetoni-laatta, jossa lämmöneristys on toteutettu 200 mm XPS-eriste-kerroksella. Raudoituksena #6–150 teräsverkko. Maanvaraisen laatan hyötyinä on sen hyvä kantavuus ja märkätilojen ja mahdollisen lattialämmityksen helppo toteutus. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 56,12 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -17,00 kgCO₂e/m².



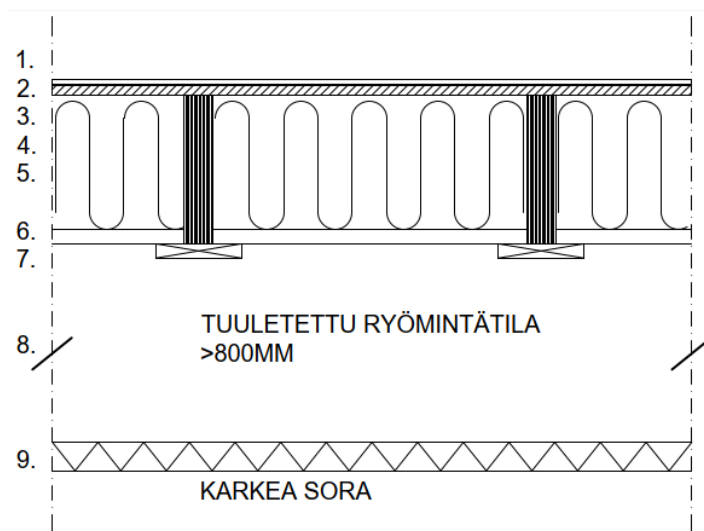
U-ARVO 0,16 W/m²K

Kuva 8. AP1 rakenne

| AP1 | Kerros­paksuus (mm) | Tiheys (Kg/m3) | Neliö­paino (kg/m2) | GWP (kgCO2e/kg) | Hiilijalan­jälki/m2 (kgCO2e/m2) | Hiilikäden­jälki (-kgCO2e/kg) | Hiilikäden­jälki/m2 (-kgCO2e/m2) |
|------------------|------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Parketti | | | 10,00 | 0,94 | 9,40 | -1,70 | -17,00 |
| Betonilaatta | 80 | 2400 | 192,00 | 0,12 | 22,08 | | |
| Betoniteräs | T6-150 | 7850 | 2,90 | 0,67 | 1,94 | | |
| XPS-lämmöneriste | 200 | 32 | 6,40 | 3,10 | 19,84 | | |
| Sepeli 8..16 | 200 | 1500 | 300,00 | 0,01 | 2,10 | | |
| Hiekka | 50 | 1500 | 75,00 | 0,01 | 0,38 | | |
| Suodatinkangas | | | 0,20 | 1,90 | 0,38 | | |
| | | | | yhteensä | 56,12 | | -17,00 |

Taulukko 2. AP1 tiedot materiaalikohtaisesti

Toisena vaihtoehtona (AP2) on 51x260 mm LVL-palkistolla ja 235 mm selluvilla-eristeellä toteutettu ryömintätilainen alapohjarakenne. Palkisto mitoitettiin suunnitelman mukaan jännevälillä ollessa 4.3 metriä. Palkisto tarvitsee yläpintaan lattian alusrakenteeksi 18 mm vanerilevytyksen sekä alapintaan tuulensuojalevyn, joka tässä tapauksessa on 25 mm puukuitulevy. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 23,40 kgCO2e/m2 ja hiilikädenjäljeksi -74,43 kgCO2e/m2.



AP2

| | | |
|----|--|-------|
| 1. | LATTIAPINNOITE, PARKETTI | 10MM |
| 2. | ALUMATERIAALI SOLUMUOVI | 1.8MM |
| 3. | HAVUVANERI | 18MM |
| 4. | ILMANSULKU | 0.3MM |
| 5. | LATTIAKANNATAJAT LVL 51X260 K600 JA SELLUVILLA LÄMMÖNERISTE | 235MM |
| 6. | TUULENSUOJA, PUUKUITULEVY | 25MM |
| 7. | KANNATINLAUTA, 25X150 k600 | 25MM |
| 8. | TUULETETTU RYÖMINTÄTILA | |
| 9. | EPS-ERISTE | 50MM |

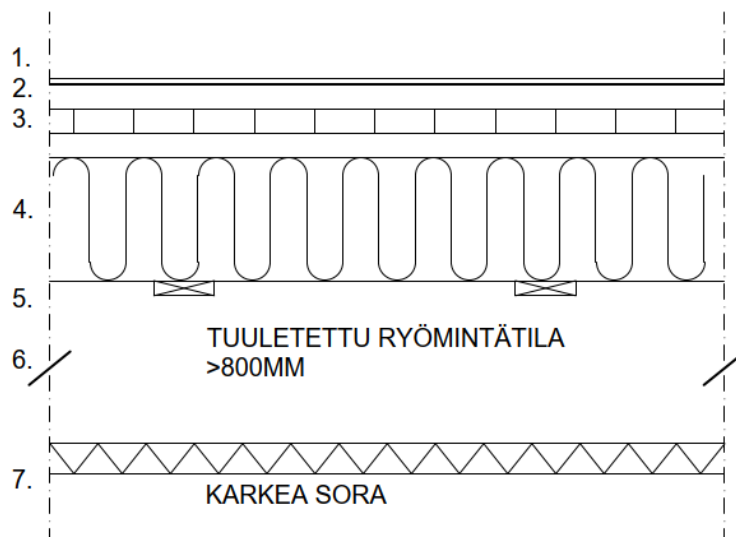
U-ARVO 0,17 W/m2K

Kuva 3. AP2 rakenne

| AP2 | Kerros­paksuus (mm) | Tiheys (Kg/m3) | Neliö­paino (kg/m2) | GWP (kgCO2e/kg) | Hiilijalan­jälki/m2 (kgCO2e/m2) | Hiilikäden­jälki (-kgCO2e/kg) | Hiilikäden­jälki/m2 (-kgCO2e/m2) |
|---------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Parketti | | | 10,00 | 0,94 | 9,40 | -1,70 | -17,00 |
| Havuvaneri | 18 | 480 | 8,64 | 0,36 | 3,11 | -1,60 | -13,82 |
| Selluvilla lämmöneriste | 235 | 30 | 6,27 | 0,11 | 0,68 | -1,20 | -7,52 |
| Lattikannattajat LVL k600 | 260 | 510 | 13,53 | 0,36 | 4,87 | -1,60 | -21,65 |
| Tuulensuojalevy, puukuitu | 25 | 250 | 6,25 | 0,36 | 2,25 | -1,40 | -8,75 |
| Kannatinlauta k600 | 25 | 474 | 3,56 | 0,08 | 0,30 | -1,60 | -5,69 |
| Eps eriste | 50 | 16 | 0,80 | 3,50 | 2,80 | | |
| | | | | yhteensä | 23,40 | | -74,43 |

Taulukko 3. AP2 tiedot materiaalikohtaisesti

Kolmantena vertailussa (AP3) on myös ryömintätilainen alapohja, mutta rakenteena on käytetty 120 mm CLT-levyä, ja lämmöneristeenä 205 mm kivivillaista tuulensuojaeristettä. Lisäksi ryömintätilaisiin vaihtoehtoihin lisättiin maanpinnan lämmöneristeeksi 50 mm EPS-eriste parantamaan ryömintätilan kosteuskäytäytymistä. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 42,41 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -110,58 kgCO₂e/m². Kaikissa alapohjarakenteissa käytettiin parkettia pintamateriaalia, joka sisällytettiin vertailuun.



AP3

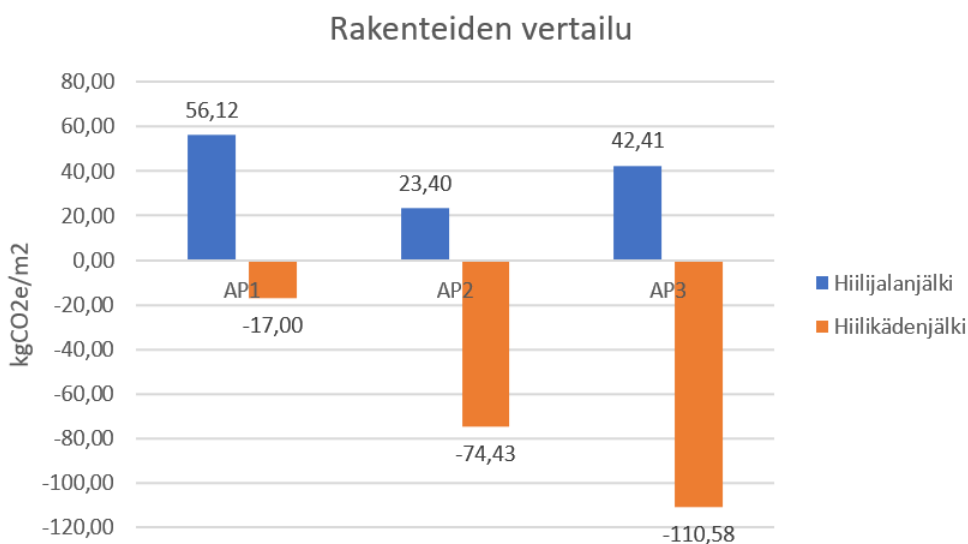
| | | |
|----|------------------------------|-------|
| 1. | LATTIAPINNOITE, PARKETTI | 10MM |
| 2. | ALUSMATERIAALI SOLUMUOVI | 1.8MM |
| 3. | CLT | 120MM |
| 4. | TUULENSUOJAERISTE, KIVIVILLA | 205MM |
| 5. | KANNATINLAUTA, 25X100 k600 | 25MM |
| 6. | TUULETETTU RYÖMINTÄTILA | |
| 7. | EPS-ERISTE | 50MM |

U-ARVO 0,17 W/m²K

Kuva 4. AP3 rakenne

| AP3 | Kerros­paksuus (mm) | Tiheys (Kg/m3) | Neliö­paino (kg/m2) | GWP (kgCO2e/kg) | Hiilijalan­jälki/m2 (kgCO2e/m2) | Hiilikäden­jälki (-kgCO2e/kg) | Hiilikäden­jälki/m2 (-kgCO2e/m2) |
|-------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Parketti | | | 10,00 | 0,94 | 9,40 | -1,70 | -17,00 |
| CLT | 120 | 470 | 56,40 | 0,20 | 11,28 | -1,60 | -90,24 |
| Tuulensuo­jaeriste, kivivilla | 205 | 61 | 12,51 | 1,50 | 18,76 | | |
| Kiinnitys­lauta, 22x100 k600 | 22 | 474 | 2,09 | 0,08 | 0,17 | -1,60 | -3,34 |
| Eps eriste | 50 | 16 | 0,80 | 3,50 | 2,80 | | |
| | | | | yhteensä | 42,41 | | -110,58 |

Taulukko 4. AP3 tiedot materiaalikohtaisesti



Kaavio 1. Alapohjarakenteiden hiilijalan- ja hiilikädenjälkien vertailu

Alapohjarakenteissa pienimmän hiilijalan­jäljen aiheutti LVL-palkistolla toteutettu alapohja, jossa lämmöneristeinä on käytetty selluvillaa. Rakenteella on myös kohtalaisen suuri hiilikäden­jälki puutuotteiden käytön seurauksena. Ryömintä­laisen CLT-alapohjarakenteen hiilijalan­jälkeä selittää kivivillalämmöneristeiden aiheuttamat päästöt. Rakenteella on myös korkein hiilikäden­jälki massiivisen CLT-laatan takia. Suurin jalan­jälki aiheutuu maanvaraisesta teräs­betonilaatasta, jossa suurimpana päästöjen aiheuttajana on betoni ja toisena lämmöneristeinä käytetty XPS-eriste.

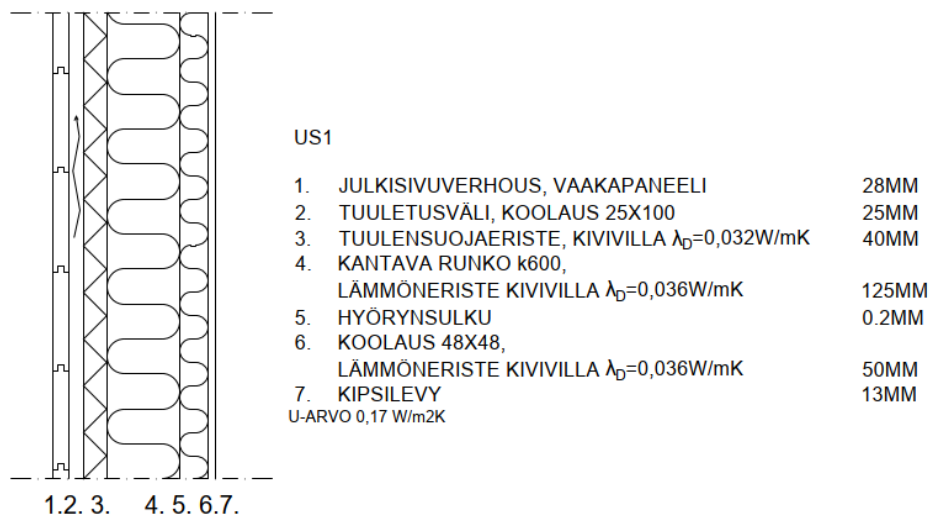
6.2 Ulkoseinät

Ulkoseinissä ulkovuorauksena käytettiin vaakapanelointia, jonka takana 25x100 mm tuuletuslaudoitus. Ulkoseinissä vertailuun otettiin rankarunkoisia rakenteita

eri eristeratkaisuilla ja rankavälinä kaikissa käytettiin 600 mm. Eriste- ja runkopaksuudet vaihtelivat hieman eristetyypin mukaan, mutta kaikkien eristettyjen seinien U-arvoiksi saatiin 0,17 W/m²K.

Massiivipuuseinissä määräysten mukainen U-arvo tulisi olla 0,40 W/m²K ja paksuuden keskimäärin 180 mm. Tässä työssä runkopaksuutena on 200 mm, joka ei täytä sellaisenaan määräysten mukaisia lämmönläpäisyarvoja. Näissä tapauksissa muiden rakenteiden arvoja tulisi parantaa, tai tasauslaskennalla osoittaa keinot, joilla päästäisiin koko rakennuksen vaatimaan vertailulämpöhäviöön. (Ympäristöministeriö 2023d)

Ensimmäisessä vaihtoehdossa (US1) runkopaksuutena oli 125 mm ja lämmöneristeeksi käytettiin kivivillaa. Tähän vaihtoehtoon tuli tuulensuojaeristeeksi 40 mm kivivillalevy ja höyrynsulun sisäpuolelle 50 mm kivivillainen lämmöneriste. Sisäpinnassa käytettiin 13 mm kipsilevyä. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 15,98 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -37,48 kgCO₂e/m². Seuraavissa kaavioissa tiedot on esitetty materiaalikohtaisesti.

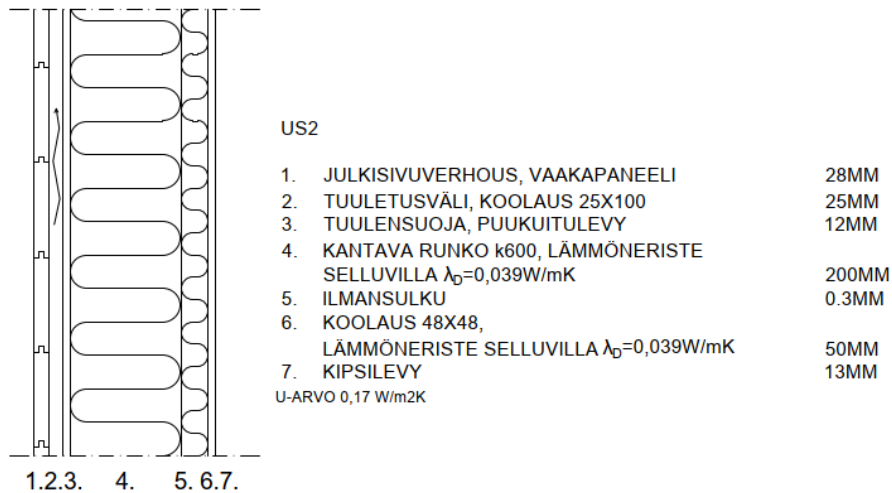


Kuva 5. US1 rakenne

| US1 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Vaakapaneeli | 28 | 474 | 13,27 | 0,08 | 1,10 | -1,60 | -21,24 |
| Koolaus 25x100 k600 | 25 | 474 | 2,37 | 0,08 | 0,20 | -1,60 | -3,79 |
| Tuulensuojaeriste, kivivilla | 40 | 61 | 2,44 | 1,50 | 3,66 | | |
| Lämmöneriste, kivivilla | 125 | 29,5 | 3,32 | 1,50 | 4,98 | | |
| Runko 48x123 k600 | 123 | 474 | 5,60 | 0,08 | 0,46 | -1,60 | -8,96 |
| Höyrynsulku | 0,2 | 925 | 0,19 | 2,60 | 0,48 | | |
| Lämmöneriste, kivivilla | 50 | 29,5 | 1,48 | 1,50 | 2,21 | | |
| Koolaus 48x48 k600 | 48 | 474 | 2,18 | 0,08 | 0,18 | -1,60 | -3,49 |
| Kipsilevy | 13 | 670 | 8,71 | 0,31 | 2,70 | | |
| | | | | yhteensä | 15,98 | | -37,48 |

Taulukko 5. US1 tiedot materiaaliikohtaisesti

Toisessa vaihtoehdossa (US2) tuulensuojana käytettiin 12 mm puukuitulevyä, jolloin runkopaksuudeksi tuli 200 mm. Tässä lämmöneristeenä oli käytössä selluvilla ja ilmansulkukerroksen sisäpuolelle sijoitettiin lisälämmöneristeeksi 50 mm selluvillalevy sekä pintaan 13 mm kipsilevytys. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 14,48 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -55,76 kgCO₂e/m².

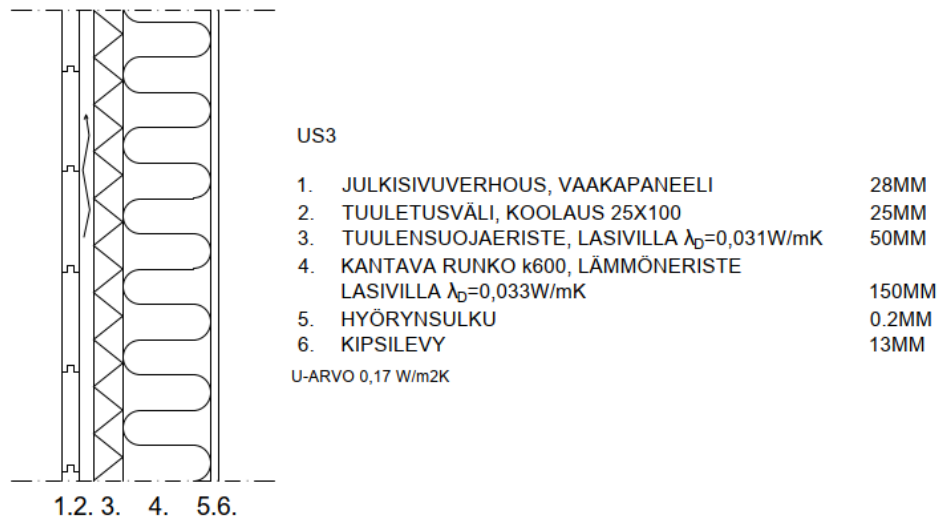


Kuva 6. US2 rakenne

| US2 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Vaakapaneeli | 28 | 474 | 13,27 | 0,08 | 1,10 | -1,60 | -21,24 |
| Koolaus 25x100 k600 | 25 | 474 | 2,37 | 0,08 | 0,20 | -1,60 | -3,79 |
| Tuulensuojalevy, puukuitu | 12 | 250 | 3,00 | 0,36 | 1,08 | -1,40 | -4,20 |
| Lämmöneriste, selluvilla | 200 | 37 | 5,99 | 1,02 | 6,11 | -1,10 | -6,59 |
| Runko 48x198 k600 | 123 | 474 | 9,01 | 0,08 | 0,75 | -1,60 | -14,42 |
| Ilmansulku | 0,2 | 925 | 0,19 | 2,60 | 0,48 | | |
| Lämmöneriste, selluvilla | 50 | 37 | 1,85 | 1,02 | 1,89 | -1,10 | -2,04 |
| Koolaus 48x48 k600 | 48 | 474 | 2,18 | 0,08 | 0,18 | -1,60 | -3,49 |
| Kipsilevy | 13 | 670 | 8,71 | 0,31 | 2,70 | | |
| | | | | yhteensä | 14,48 | | -55,76 |

Taulukko 6. US2 tiedot materiaaliikohtaisesti

Kolmannessa vaihtoehdossa (US3) tuulensuojaeristeenä käytettiin 50 mm lasivillaeristettä. Runko- ja eristepaksuudeksi tuli 150 mm ja eristemateriaalina toimi lasivilla. Höyrynsulun sisäpintaan laitettiin 13 mm kipsilevytys. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 11,88 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -35,80 kgCO₂e/m².

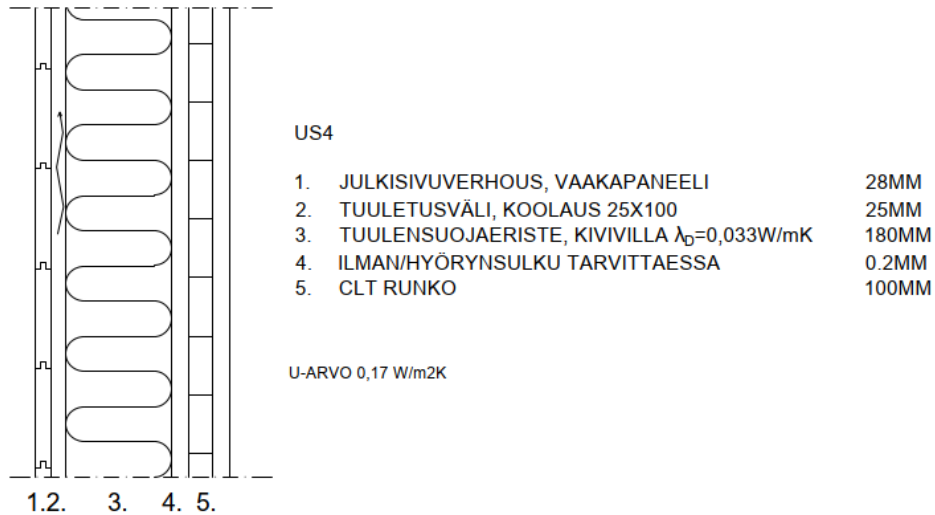


Kuva 7. US3 rakenne

| US3 | Kerros­paksuus (mm) | Tiheys (kg/m ³) | Neliö­paino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalan­jälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikäden­jälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikäden­jälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|---|
| Vaakapaneeli | 28 | 474 | 13,27 | 0,08 | 1,10 | -1,60 | -21,24 |
| Koolaus 25x100 k600 | 25 | 474 | 2,37 | 0,08 | 0,20 | -1,60 | -3,79 |
| Tuulensuojaeriste, lasivilla | 50 | 60 | 3,00 | 1,20 | 3,60 | | |
| Lämmöneriste, lasivilla | 150 | 20 | 2,70 | 1,20 | 3,24 | | |
| Runko 48x148 k600 | 148 | 474 | 6,73 | 0,08 | 0,56 | -1,60 | -10,77 |
| Höyrynsulku | 0,2 | 925 | 0,19 | 2,60 | 0,48 | | |
| Kipsilevy | 13 | 670 | 8,71 | 0,31 | 2,70 | | |
| | | | | yhteensä | 11,88 | | -35,80 |

Taulukko 7. US3 tiedot materiaali­kohtaisesti

Vertailuun otettiin mukaan myös CLT ja hirsirakenteet, lämmöneristettynä sekä eristämättömänä. Neljännessä vaihtoehdossa (US4) 100 mm CLT-levyn lämmöneristeenä ja tuulensuojana käytettiin 180 mm kivivillaista tuulensuojaeristettä, jolloin välttyttiin erilliseltä lämmöneristeen vaatimalta koolaukselta. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 27,17 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -100,23 kgCO₂e/m².

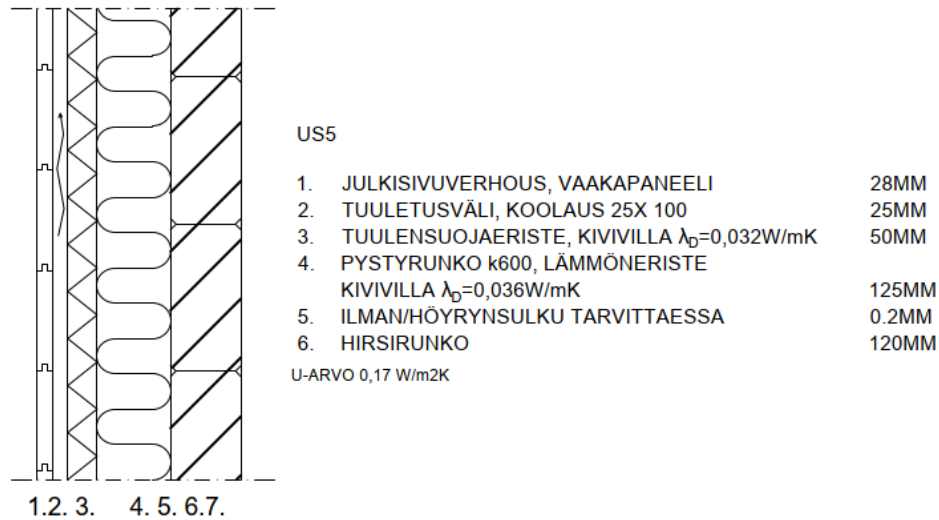


Kuva 8. US4 rakenne

| US4 | Kerros­paksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliö­paino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalan­jälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikäden­jälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikäden­jälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|---|
| Vaakapaneeli | 28 | 474 | 13,27 | 0,08 | 1,10 | -1,60 | -21,24 |
| Koolaus 25x100 k600 | 25 | 474 | 2,37 | 0,08 | 0,20 | -1,60 | -3,79 |
| Tuulensuojaeriste, kivivilla | 180 | 61 | 10,98 | 1,50 | 16,47 | | |
| CLT-Runko | 100 | 470 | 47,00 | 0,20 | 9,40 | -1,60 | -75,20 |
| | | | | yhteensä | 27,17 | | -100,23 |

Taulukko 8. US4 tiedot materiaalikohtaisesti

Viidennessä vaihtoehdossa (US5) 120 mm hirsirunko eristettiin ulkopuolelta 125 mm kivivillaeristeellä. Eriste vaati erillisen 125 mm puurungon k600 jaolla sekä rungon ja ulkovuorauksen väliin kivivillaisen 50 mm tuulensuojaeristekerroksen. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 21,90 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -118,66 kgCO₂e/m².

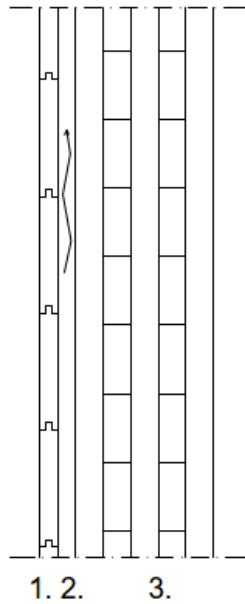


Kuva 9. US5 rakenne

| US5 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Vaakapaneeli | 28 | 474 | 13,27 | 0,08 | 1,10 | -1,60 | -21,24 |
| Koolaus 25x100 k600 | 25 | 474 | 2,37 | 0,08 | 0,20 | -1,60 | -3,79 |
| Tuulensuojaeriste, kivivilla | 50 | 61 | 3,05 | 1,50 | 4,58 | | |
| Lämmöneriste, kivivilla | 125 | 29,5 | 3,32 | 1,50 | 4,98 | | |
| Runko 48x123 k600 | 123 | 474 | 5,60 | 0,08 | 0,46 | -1,60 | -8,96 |
| Hirsirunko | 120 | 441 | 52,92 | 0,20 | 10,58 | -1,60 | -84,67 |
| | | | | yhteensä | 21,90 | | -118,66 |

Taulukko 9. US5 tiedot materiaalikohtaisesti

Edellisten lisäksi vertailuun otettiin mukaan eristämättömänä 200 mm CLT-seinä (US6), jonka ulkopintaan tuli sama ulkoverhouspanelointi kuten edellisissäkin rakennetyypeissä. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 20,10 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -175,43 kgCO₂e/m².



US6

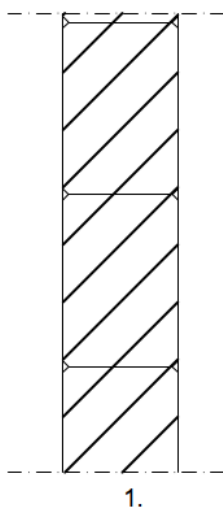
- | | | |
|----|--------------------------------|-------|
| 1. | JULKISIVUVERHOUS, VAAKAPANEELI | 28MM |
| 2. | TUULETUSVÄLI, KOOLAUS 25X100 | 25MM |
| 3. | CLT RUNKO | 200MM |

Kuva 10. US6 rakenne

| US6 | Kerospaksuus (mm) | Tiheys (kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|---------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Vaakapaneeli | 28 | 474 | 13,27 | 0,083 | 1,10 | -1,60 | -21,24 |
| Koolaus 25x100 k600 | 25 | 474 | 2,37 | 0,083 | 0,20 | -1,60 | -3,79 |
| CLT-Runko | 200 | 470 | 94,00 | 0,200 | 18,80 | -1,60 | -150,40 |
| | | | | yhteensä | 20,10 | | -175,43 |

Taulukko 10. US6 tiedot materiaaliikohtaisesti

Viimeisenä vertailtiin 200 mm massiivihirsiseinää (US7), jossa ei ole ulko-
vuorausta. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 17,64 kgCO₂e/m² ja hii-
likädenjäljeksi -141,12 kgCO₂e/m².



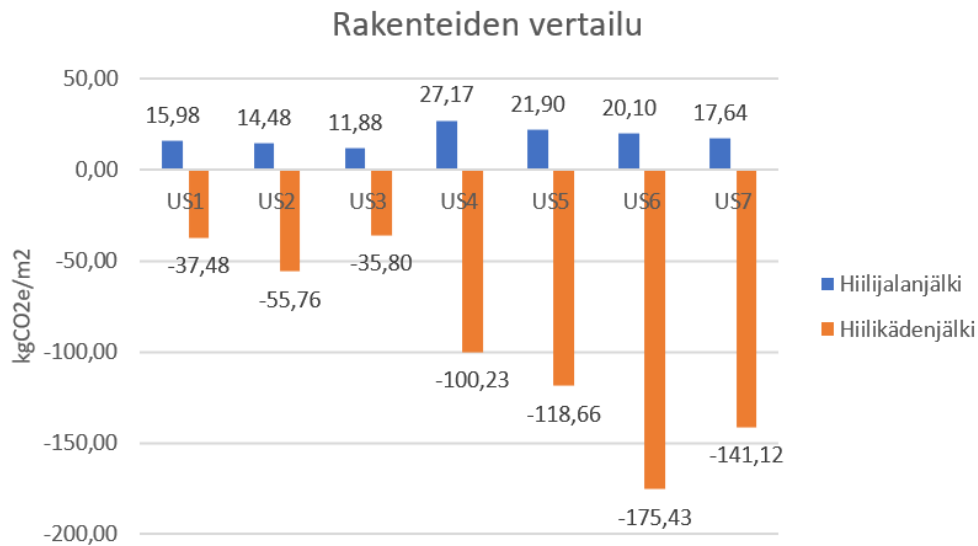
US7

- | | | |
|----|------------|-------|
| 1. | HIRSIRUNKO | 200MM |
|----|------------|-------|

Kuva 11. US7 rakenne

| US7 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Hirsirunko | 200 | 441 | 88,20 | 0,200 | 17,64 | -1,60 | -141,12 |
| | | | | yhteensä | 17,64 | | -141,12 |

Taulukko 11. US7 tiedot materiaaliikohtaisesti



Kaavio 2. Ulkoseinärakenteiden hiilijalan- ja hiilikädenjälkien vertailu

Ulkoseinien osalta pienimmän hiilijalanjäljen tässä vertailussa aiheutti rankarunkoinen seinä, jossa lämmöneristeenä on käytetty lasivillaa. Tässä ratkaisussa päästiin pienempään eristepaksuuteen johtuen lämmöneristeen pienestä lämmönjohtavuusarvosta. Toisaalta rakenteen hiilikädenjälkikin on pienin, koska lasivillaeristeelle ei voida laskea hiilikädenjälkeä. Suurimman hiilijalanjäljen aiheutti eristetty CLT-seinä tuulensuojakivillaeristeen suuren tiheyden ja GWP arvon takia. Suurin hiiltä sitova vaikutus oli eristämättömällä CLT-seinällä.

6.3 Väliseinät

Väliseinistä vertailtiin kevyitä äänieristettyjä puu- ja teräsrankarunkoisia väliseiniä, CLT-väliseiniä sekä harkko- ja puurunkoista märkätilan ja saunatilan välistä seinää.

Ensimmäisessä rakenteessa (VS1) runko on 66 mm LVL-tolppaa k600, jonka väliin on sijoitettu ääneneristeeksi kivivillalevyt. Rungon molemmin puolin on 13 mm kipsilevytys. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 9,34 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -4,53 kgCO₂e/m².

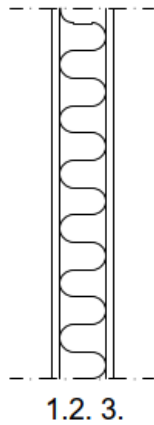


Kuva 12. VS1 rakenne

| VS1 | Kerros­paksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliö­paino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalan­jälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikäden­jälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikäden­jälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|---|
| Kipsilevy | 13 | 670 | 8,71 | 0,31 | 2,70 | | |
| LVL-tolppa k600 | 66 | 510 | 2,83 | 0,36 | 1,02 | -1,6 | -4,53 |
| Ääneneriste, kivivilla | 66 | 29,5 | 1,947 | 1,5 | 2,92 | | |
| Kipsilevy | 13 | 670 | 8,71 | 0,31 | 2,70 | | |
| | | | | yhteensä | 9,34 | | -4,53 |

Taulukko 12. VS1 tiedot materiaali­kohtaisesti

Toinen väliseinä (VS2) on toteutettu samalla periaatteella kuin ensimmäinen, mutta LVL-rungon paikalla on metalliranka. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 11,88 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -1,78 kgCO₂e/m².



VS2

1. KIPSILEVY 13MM
2. VÄLISEINÄTOLPPA METALLIRANKA k600
ÄÄNIERISTYS 66MM
3. KIPSILEVY 13MM

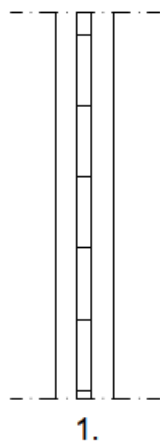
Kuva 13. VS2 rakenne

| VS2 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Kipsilevy | 13 | 670 | 8,71 | 0,31 | 2,70 | | |
| Metalliranka k600 | 66 | 7850 | 1,27 | 2,8 | 3,56 | -1,4 | -1,78 |
| Ääneneriste, kivivilla | 66 | 29,5 | 1,947 | 1,5 | 2,92 | | |
| Kipsilevy | 13 | 670 | 8,71 | 0,31 | 2,70 | | |
| | | | | yhteensä | 11,88 | | -1,78 |

Taulukko 13. VS2 tiedot materiaaliikohtaisesti

Kolmantena (VS3) vertailussa on massiivi CLT-rakenteinen 80 mm väliseinä.

Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 7,52 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -60,16 kgCO₂e/m².



VS3

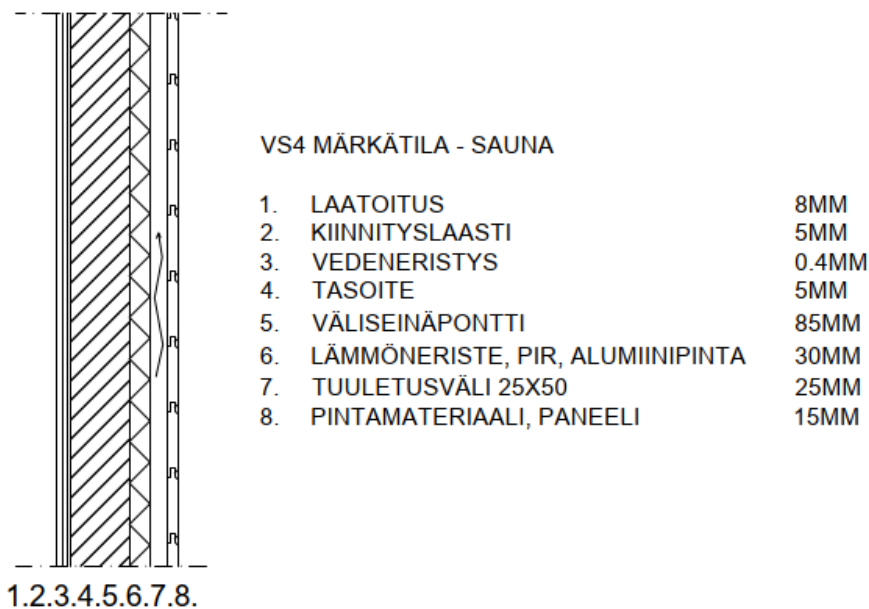
1. CLT 80MM

Kuva 14. VS3 rakenne

| VS3 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|----------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| CLT-levy | 80 | 470 | 37,6 | 0,2 | 7,52 | -1,6 | -60,16 |
| | | | | yhteensä | 7,52 | | -60,16 |

Taulukko 14. VS3 tiedot materiaaliakohtaisesti

Otin vertailuun myös märkätilan ja saunan väliset seinät. Halusin selvittää kuinka paljon suuremman hiilijalanjäljen harkkorakenteinen seinä aiheuttaa verrattuna rankarakenteiseen. Harkkorakenteisessa seinässä (VS4) laatoituksen ja vedeneristekerroksen alla on 5 mm tasoitekerros ja runkona 85 mm kalkkiahiekkaharkko. Saunatilan lämmöneristeenä on käytetty 30 mm PIR-eristettä. Pintamateriaalin, joka on 15 mm puupaneelia, alla on 25 mm tuuletusväli. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 45,07 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -13,28 kgCO₂e/m².

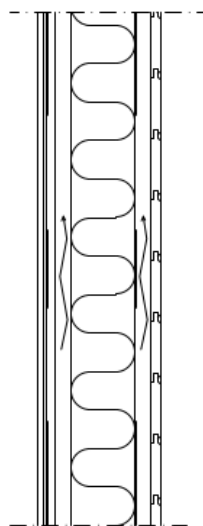


Kuva 15. VS4 rakenne

| VS4 MÄRKÄTILA - SAUNA | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Laatoitus | 8 | | 16 | 0,77 | 12,32 | | |
| Kiinnityslaasti | 5 | | 6,5 | 0,29 | 1,89 | | |
| Vedeneristys | 0,4 | | 0,9 | 2,58 | 2,32 | | |
| Tasoite | 5 | | 6,5 | 0,29 | 1,89 | | |
| Väliseinäharkko, kalkkiahiekkä | 85 | 1620 | 137,7 | 0,16 | 22,03 | | |
| Lämmöneriste, PIR | 30 | 31 | 0,93 | 4,2 | 3,91 | | |
| Tuuletusväli, koolaus k600 | 25 | 474 | 1,19 | 0,083 | 0,10 | -1,6 | -1,90 |
| Paneeli | 15 | 474 | 7,11 | 0,088 | 0,63 | -1,6 | -11,38 |
| | | | | yhteensä | 45,07 | | -13,28 |

Taulukko 15. VS4 tiedot materiaaliikohtaisesti

Toisessa märkätilan ja saunan välisessä seinässä (VS5) laatoituksen ja vedeneristuksen pohjana on käytetty 12,5 mm sementtilevyä. Sementtilevyn ja 98 mm puurungon välissä on 25 mm tuuletusväli. Lämmöneristeenä on rungon välissä 100 mm kivivilla ja pintamateriaalina saunan puolella tuuletusvälillinen puupanelointi, kuten edellisessäkin vaihtoehdossa. Runkona on käytetty 48x98 tolppia sekä runkovälinä k450, koska niillä saavutetaan lujempi alusta laatoitukselle. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 40,60 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -30,62 kgCO₂e/m².



VS5 MÄRKÄTILA - SAUNA

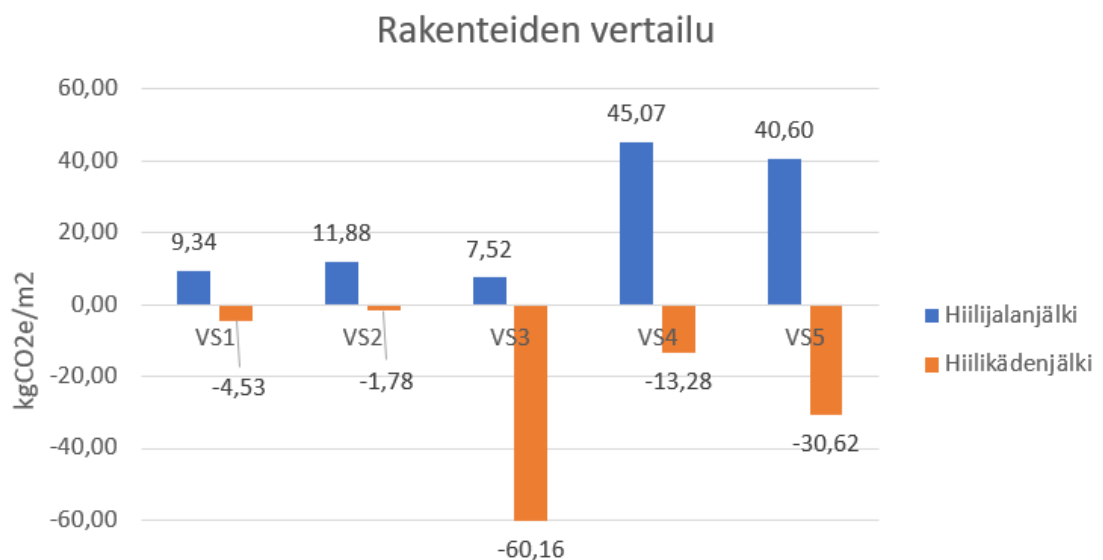
- | | | |
|----|---------------------------------|--------|
| 1. | LAATOITUS | 8MM |
| 2. | KIINNITYSLAASTI | 5MM |
| 3. | VEDENERISTYS | 0.4MM |
| 4. | SEMENTTILEVY | 12.5MM |
| 5. | TUULETUSVÄLI 25X100 | 25MM |
| 6. | RUNKO 48X98, LÄMMÖNERISTE 100MM | 100MM |
| 7. | ALUMIINIPAPERI | 0.2MM |
| 8. | TUULETUSVÄLI 25X50 | 25MM |
| 9. | PINTAMATERIAALI, PANEELI | 15MM |

1.2.3.4.5.6.7.8.9.

Kuva 16. VS5 rakenne

| VS5 MÄRKÄTILA - SAUNA | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m3) | Neliöpaino (kg/m2) | GWP (kgCO2e/kg) | Hiilijalanjälki/m2 (kgCO2e/m2) | Hiilikädenjälki (-kgCO2e/kg) | Hiilikädenjälki/m2 (-kgCO2e/m2) |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Laatoitus | | 8 | | 16 | 0,77 | | 12,32 |
| Kiinnityslaasti | | 5 | | 6,5 | 0,29 | | 1,89 |
| Vedeneristys | | 0,4 | | 0,9 | 2,58 | | 2,32 |
| Sementtilevy | 12,5 | 1300 | 16,25 | 1,15 | | | 18,69 |
| Tuuletusväli, koolaus k450 | 25 | 474 | 3,56 | 0,083 | | 0,30 | -1,6 |
| Puurunko, 48x98 k450 | 98 | 474 | 6,69 | 0,083 | | 0,56 | -1,6 |
| Lämmöneriste | 100 | 29,5 | 2,51 | 1,5 | | 3,77 | |
| Alumiinipaperi | 0,2 | | | | | | |
| Tuuletusväli, koolaus k450 | 25 | 474 | 1,78 | 0,083 | | 0,15 | -1,6 |
| Paneeli | 15 | 474 | 7,11 | 0,088 | | 0,63 | -1,6 |
| | | | | yhteensä | | 40,60 | -30,62 |

Taulukko 16. VS5 tiedot materiaaliikohtaisesti

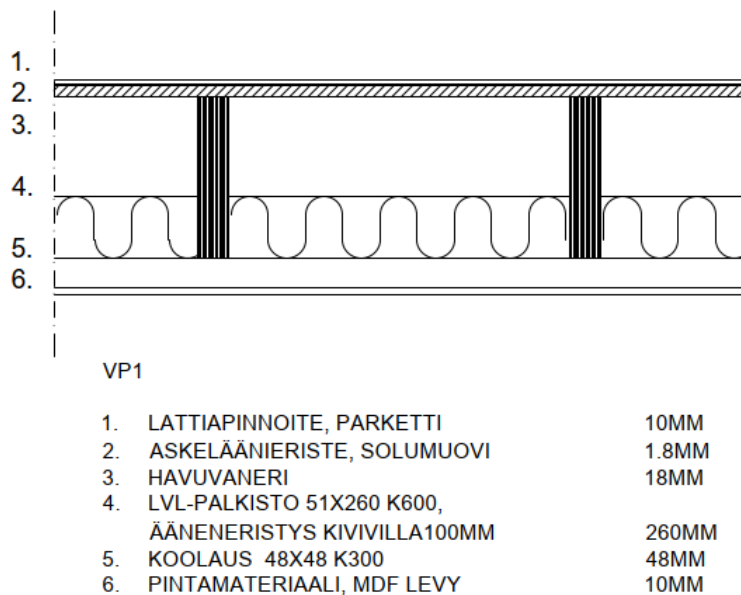


Kaavio 3. Väliseinärakenteiden hiilijalan- ja hiilikädenjälkien vertailu

Kevyiden väliseinäinien vertailussa CLT-rakenteinen seinä aiheutti pienimmän hiilijalanjäljen ja toisaalta suurimman hiilikädenjäljen. Rankarakenteisia seiiniä vertailtaessa voidaan todeta, että LVL-rankaisen seinän päästöt ovat hieman pienemmät verrattuna metallirankaiseen. Myös LVL-rankaisella seinällä on hieman suurempi hiilikädenjälki, vaikka metallirankaisen rungon materiaalit ovatkin kierrätyskelpoista materiaalia käyttökänsä jälkeen. Harkkorakenteisen ja puurankarakenteisen märkätilanseinän jälkien erot olivat ennalta ajateltua pienemmät. Harkkorakenteisen seinän päästöt syntyivät suurimmalta osin kalkkihiekka-harkoista, mutta rankarakenteisen seinän laatoitusalueena käytetyn sementtilevyn päästöt olivat lähes yhtä suuret. Rankarakenteisen seinän runko vaikutti hiilikädenjälkeen, joka rankarakenteisessa seinässä oli reilusti suurempi.

6.4 Välipohjat

Välipohjissa käytettiin samoja lattiapintamateriaaleja kuin alapohjarakenteissa. Ensimmäisiksi välipohjavaihtoehdoiksi (VP1) valittiin LVL-välipohja 51x260 mm, jonka yläpintaan valittiin 18 mm havuvaneri. Ääneneristeeksi palkistojen väliin tuli 100 mm kivivillalevyt ja alapintaan 48x48 mm koolaus sekä 10 mm MDF-paneeli pintamateriaaliksi. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 26,49 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -69,54 kgCO₂e/m².



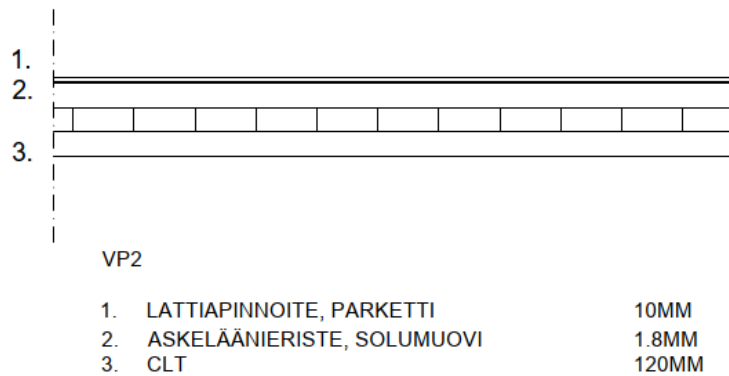
Kuva 17. VP1 rakenne

| VP1 | Kerospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Parketti | | | 10 | 0,94 | 9,40 | -1,7 | -17,00 |
| Askeläänieriste | 1,8 | | | | | | |
| Havuvaneri | 18 | 480 | 8,64 | 0,36 | 3,11 | -1,6 | -13,82 |
| LVL palkisto 51x260 k600 | 260 | 510 | 13,53 | 0,36 | 4,87 | -1,6 | -21,65 |
| Kivivilla 100mm | 100 | 29,5 | 2,95 | 1,5 | 4,43 | | |
| Koolaus 48x48 k300 | 48 | 474 | 4,37 | 0,083 | 0,36 | -1,6 | -6,99 |
| MDF-paneeli | 10 | 720 | 7,2 | 0,6 | 4,32 | -1,4 | -10,08 |
| | | | | yhteensä | 26,49 | | -69,54 |

Taulukko 17. VP1 tiedot materiaaliikohtaisesti

Toisessa vaihtoehdossa (VP2) välipohja tehtiin 120 mm CLT-levystä, jolloin välttiin koolaukselta, ääneneristeeltä ja erilliseltä alapinnan pintamateriaalilta.

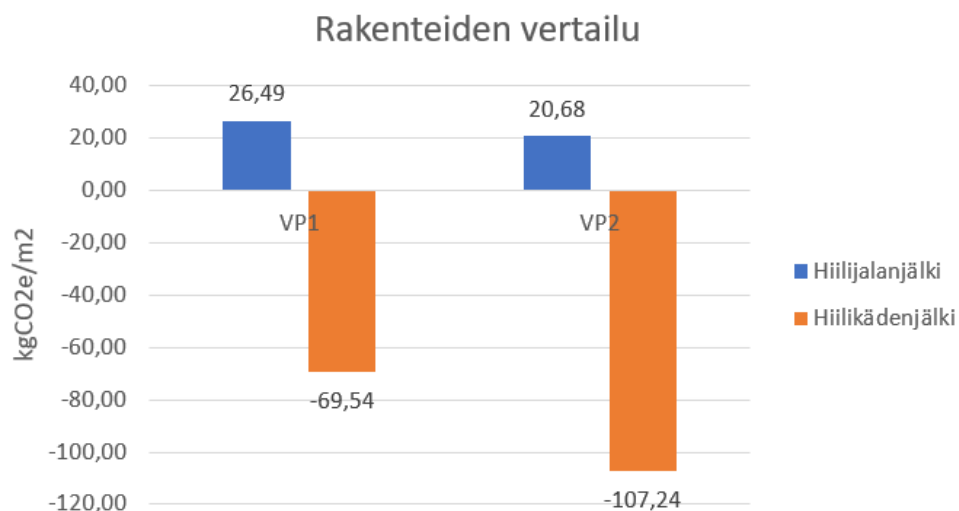
Rakenteesta saadaan tällöin myös ohuempi, mutta talotekniikan ja sähkövetojen toteutus voi olla haastavampaa. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 20,68 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -107,24 kgCO₂e/m².



Kuva 18. VP2 rakenne

| VP2 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (Kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|---|---|
| Parketti | | | 10 | 0,94 | 9,40 | -1,7 | -17,00 |
| Askeläänieriste | 1,8 | | | | | | |
| CLT | 120 | 470 | 56,40 | 0,20 | 11,28 | -1,6 | -90,24 |
| | | | | yhteensä | 20,68 | | -107,24 |

Taulukko 18. VP2 tiedot materiaaliikohtaisesti



Kaavio 4. Välipohjarakenteiden hiilijalan- ja hiilikädenjälkien vertailu

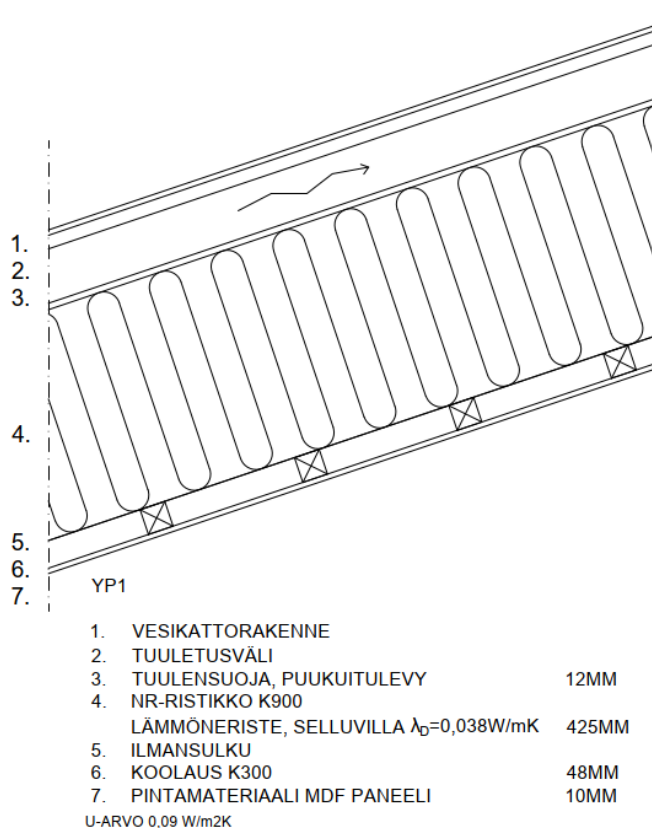
Vertailtaessa näitä kahta rakennetta, voidaan todeta, että CLT-välipohja aiheuttaa pienemmän hiilijalanjäljen. Tämä johtuu rakenteen yksinkertaisuudesta ja siitä, ettei rakenteessa ole käytetty erillistä ääneneristysmateriaalia. Edellisen

takia palkkirakenteisesta välipohjasta saisikin ääniteknisesti toimivamman. CLT-välipohjarakenteen hiilikädenjälki on suurempi, jolloin se sitoo hyvin hiiltä elinkaarensa ajaksi.

6.5 Yläpohjat

Yläpohjan osalta vertailussa keskityttiin kantaviin rakenteisiin, joten itse vesikattorakenne jätettiin pois laskuista, koska kaikissa vaihtoehdoissa se olisi sama. NR-ristikoiden osalta laskuissa käytettiin ainoastaan 123 mm sahatavarasta tehtyjen ylä- ja alapaarteiden aiheuttamia päästöarvoja.

Yläpohjarakenteiksi valittiin ensimmäiseksi (YP1) NR-ristikollinen yläpohja, jossa lämmöneristeenä toimii puhallettu 425 mm selluvillaeriste. Yläpinnassa 12 mm puukuitutuulensuojalevy, ja rakenteen alapinnassa 48x48 mm koolaus ja pintamateriaaliksi 10 mm MDF-levy. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 8,55 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -54,48 kgCO₂e/m².

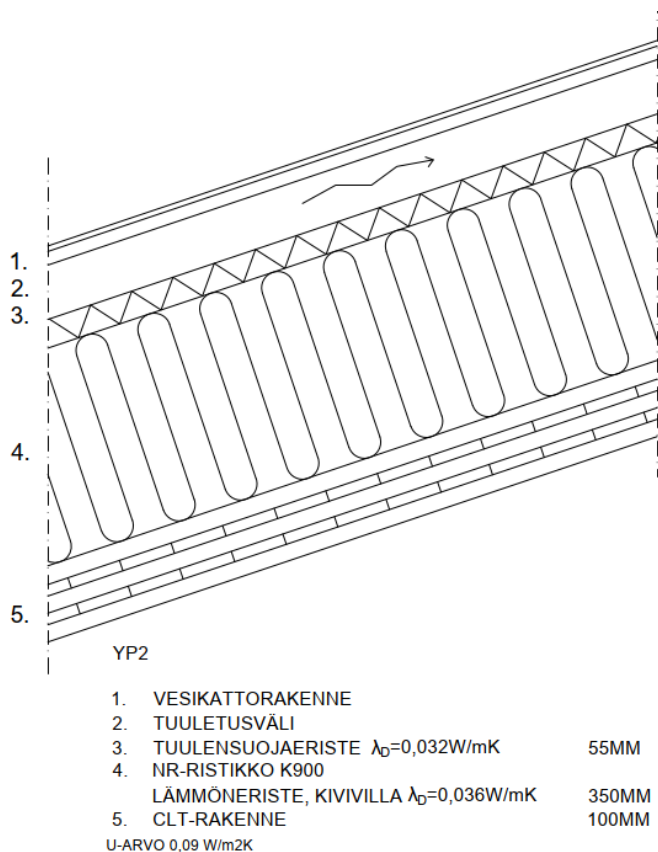


Kuva 19. YP1 rakenne

| YP1 | Kerospaksuus (mm) | Tiheys (kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|---------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Tuulensuoja, puukuitulevy | 12 | 250 | 3 | 0,36 | 1,08 | -1,4 | -4,20 |
| NR-ristikko k900 | | | 11,19 | 0,08 | 0,93 | -1,6 | -17,90 |
| Lämmöneriste, selluvilla | 425 | 30 | 12,75 | 0,11 | 1,38 | -1,2 | -15,30 |
| Ilman/höyrynsulku | 0,2 | 925 | 0,185 | 2,60 | 0,48 | | |
| Koolaus 48x48 k300 | 48 | 474 | 4,37 | 0,08 | 0,36 | -1,6 | -6,99 |
| MDF-paneeli | 10 | 720 | 7,2 | 0,60 | 4,32 | -1,4 | -10,08 |
| | | | | yhteensä | 8,55 | | -54,48 |

Taulukko 19. YP1 tiedot materiaaliikohtaisesti

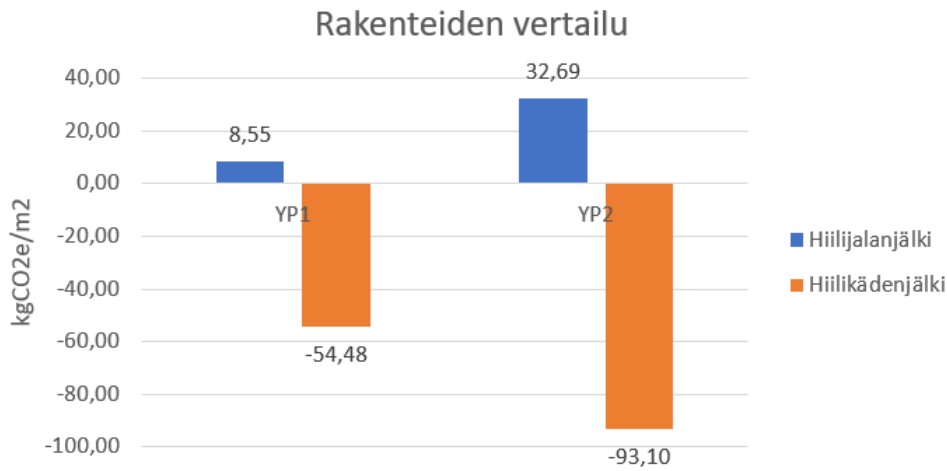
Toisena vaihtoehtona (YP2) NR-ristikolla kannateltu vesikatto, jossa on 55 mm tuulensuojaeriste sekä 350 mm kivivillaeriste. Rakenteen alapinnassa on 100 mm CLT-levy, jolloin koolaus ja pintamateriaalit jäivät pois. Kokonaishiilijalanjäljeksi rakenteelle saatiin 32,69 kgCO₂e/m² ja hiilikädenjäljeksi -93,10 kgCO₂e/m².



Kuva 20. YP2 rakenne

| YP2 | Kerrospaksuus (mm) | Tiheys (kg/m ³) | Neliöpaino (kg/m ²) | GWP (kgCO ₂ e/kg) | Hiilijalanjälki/m ² (kgCO ₂ e/m ²) | Hiilikädenjälki (-kgCO ₂ e/kg) | Hiilikädenjälki/m ² (-kgCO ₂ e/m ²) |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Tuulensuojaeriste, kivivilla | 55 | 61 | 3,36 | 1,50 | 5,03 | | |
| NR-ristikko k900 | | | 11,19 | 0,08 | 0,93 | -1,6 | -17,90 |
| Lämmöneriste, kivivilla | 350 | 33 | 11,55 | 1,50 | 17,33 | | |
| CLT-levy | 100 | 470 | 47,00 | 0,20 | 9,40 | -1,6 | -75,20 |
| | | | | yhteensä | 32,69 | | -93,10 |

Taulukko 20. YP2 tiedot materiaaliikohtaisesti



Kaavio 5. Yläpohjarakenteiden hiilijalan- ja hiilikädenjälkien vertailu

Ensimmäisessä vaihtoehdossa suurimmaksi hiilijalanjäljen aiheuttajaksi tuli MDF-paneeli, ja suurin hiilikädenjälki syntyi ristikkorakenteesta. Selluvillaeristeellä saavutetaan kohtalaisen suuri hiilikädenjälki, mutta hiilijalanjälki jää pieneksi. Kuten muissakin rakenteissa, yläpohjan eristemateriaali vaikuttaa olennaisesti rakenteen hiilijalanjälkeen, joten CLT-rakenteen lämmöneriste aiheuttaa suurimman hiilijalanjäljen kyseisessä rakenteessa. Kuten välipohjassakin, myös yläpohjassa CLT-rakenteella saavutetaan suuri hiilikädenjälki.

7 Mallitalo

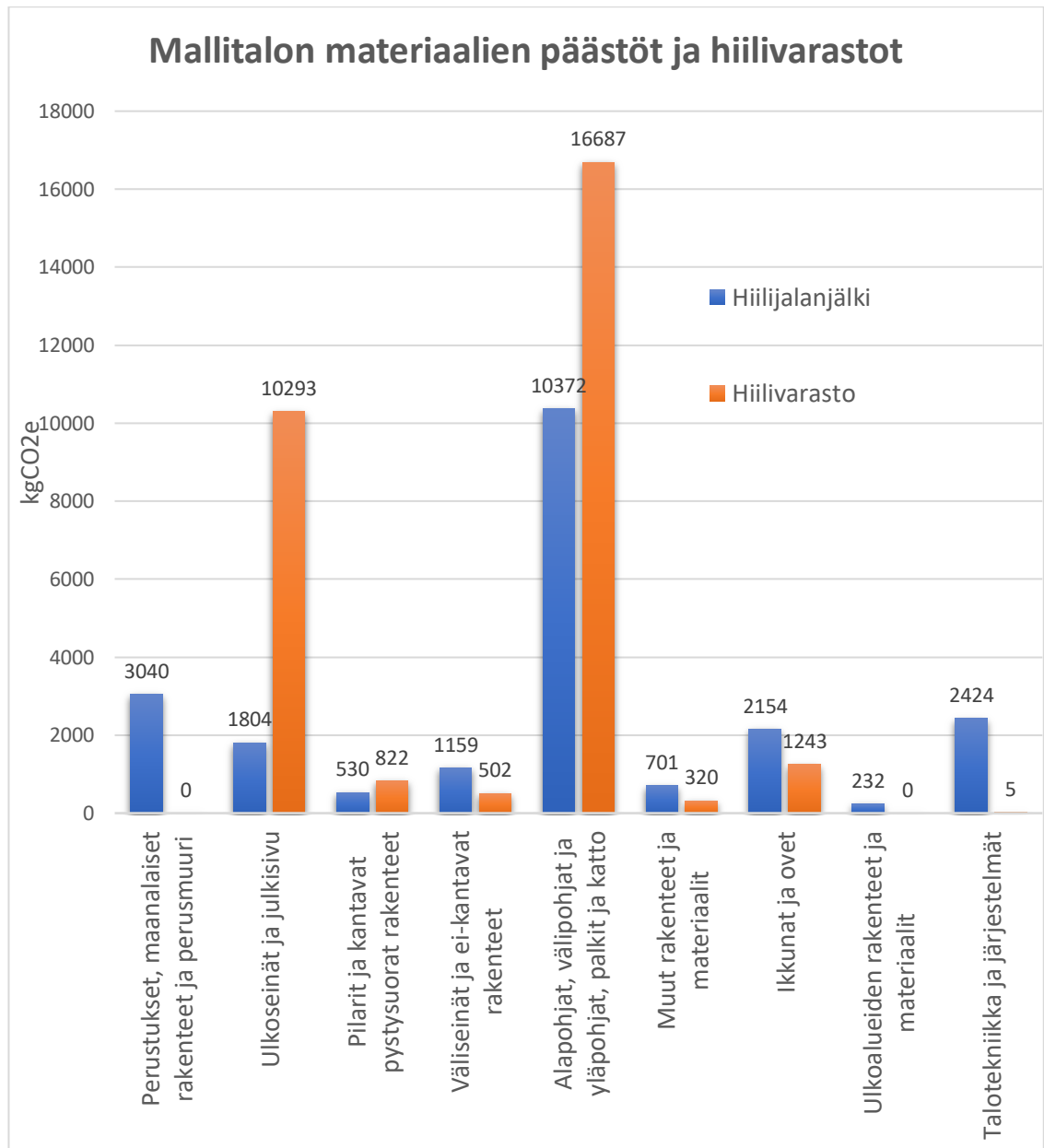
Opinnäytetyöprosessin aikana suunnittelin mallitaloa, johon toteutin työssäni läpikäymiä vähähiilisen rakentamisen ratkaisuja. Käytin mallitalossa parhaaksi valitsemiani rakennetyyppejä, joita olin vertaillut, en siis automaattisesti vähäpäästöisimpiä. Mallitalon suunnittelun tavoitteena oli perehtyä omakotitalon

rakenteissa käytettävien materiaalien hiilidioksidipäästöihin ja kartoittaa millä keinoin niitä voisi pienentää. Mallinsin talon Revit- ohjelmistolla, josta sain selville rakennuksessa käytettyjen materiaalien määrätiedot. Revit-ohjelmaan asensin One Click LCA lisäosan, jonka avulla määrätietojen etsintä mallista helpottui huomattavasti. Määrätiedot syötin One Click LCA ohjelmaan, josta laskin rakennuksen materiaaleille hiilijalanjäljen ja materiaaleihin sitoutuneen hiilen.

Suunnittelu lähti liikkeelle rakennuksen muodon ja tilojen hahmottelemisesta ja sen sijoittamisesta tontille. Muodoksi valikoitui suorakaide, jolloin välttyttiin turhilta nurkilta. Tilat sijoitettiin kahteen kerrokseen. Olohuone, keittiö ja ruokailutila sijoitettiin rakennuksen ensimmäiseen kerrokseen pitkälle eteläsivulle, jolloin seinäpintaan saatiin suuret ikkunat hyödyntämään auringonvaloa. Alakertaan sijoitettiin myös eteistila, wc, pesuhuone ja sauna sekä pukeutumistila, jonka yhteyteen saatiin tilaa myös teknisille laitteille. Rakennuksen keskelle tuli tulisija ja hormi, johon saatiin yhdistettyä myös puulämmitteinen kiuas. Taloon haluttiin kolme makuuhuonetta ja työhuone, jotka sijoitettiin rakennuksen toiseen kerrokseen. Toiseen kerrokseen sijoitettiin myös yhdistetty WC- ja kodinhoitotila sekä makuuhuoneen yhteyteen vaatehuone. Kerrosala rakennuksessa on n. 180m² ja lämmitettyä huonealaa n. 140m². Luonnoskuvat ovat liitteessä 1.

Anturoiksi taloon suunniteltiin betoniset 200 mm x 600 mm anturat ja sokkelirakenteeksi 200 mm kevytsoraharkkosokkeli, jonka sisäpintaan sijoitettiin 100 mm lämmöneriste. Kantavalle väliseinälle suunniteltiin myös antura- ja sokkeliperustus. Alapohjarakenteeksi taloon valittiin vertailussa ollut maanvarainen betoni-laatta-alapohja AP1, koska alakertaan oli tulossa paljon märkätiloja sekä painava hormi ja tulisija, jotka tarvitsevat hyvin kantavan pohjarakenteen. Hormin ja tulisijan alla betonilaatan paksuutta kasvatettiin 230 millimetriin. Massiivinen laatta toimii myös lämpöä varaavana rakenteena. Ulkoseiniksi valittiin selluvillalla eristetty ulkoseinärakenne US2. Saunan ja pesuhuoneen välinen seinä ja pesuhuoneen muutkin seinät suunniteltiin rakennettavaksi kivrakenteisina. Saunan ja pesuhuoneen välinen seinä suunniteltiin toteutettavaksi muuten rakennetytyn VS4 mukaan, mutta eristekerrokseksi vaihdettiin koolaus ja kivivilla. Talon keskilinjalla kulkeva kantava väliseinä suunniteltiin puurunkoisena 98 mm k400, ja kevyet väliseinät LVL-tolpallisina VS1 mukaan. Välipohjana käytettiin

palkkirakenteista välipohjaa VP1, johon lisättiin eteis- ja märkätiloissa 150 mm alaslasku talotekniikan vetoja varten. Yläpohjarakenteeksi taloon tuli selluvillalla eristetty NR-ristikkoyläpohja YP1, jonka vesikattomateriaaliksi suunniteltiin konesaumattu teräspeltikate. Tarkemmat määrät rakennukseen käytetyistä materiaaleista on liitteessä 2.



Kaavio 6. Hiilijalanjäljen ja hiilivarastojen vertailu ryhmittäin

Rakennuksessa käytettävät materiaalit jaottelin ryhmittäin ja vertasin mistä ryhmästä syntyy suurimmat päästöt, ja toisaalta missä ryhmässä on suurimmat hiilivarastot. Suurimmat päästöt syntyivät vaakarakenteista, joihin kuuluu ala-, väli-

ja yläpohjat sekä palkit ja katto. Suuria päästöjä selittää lattian lämmöneristeenä käytetty XPS-eriste, betonilaatta, teräskate, mutta myös lattian pintamateriaali suhteellisen lyhyen käyttöikänsä takia. Toiseksi suurimmat päästöt tulivat perustuksista, joiden päästöt aiheutuivat pääasiassa anturabetonista ja sokkeleihin käytetyistä kevytsoraharkoista. Kolmanneksi suurimpina päästöjen aiheuttajina ovat talotekniset järjestelmät, joissa päästöjä aiheuttaa muun muassa teräsputkin toteutettu ilmanvaihtojärjestelmä, ilmanvaihtokone ja maalämpöpumppu. Näille järjestelmille on käyttöäksi annettu 25 vuotta. Suurimmat hiilivarastot syntyivät myös vaakarakenteista, joissa on käytetty paljon sahatavaraa ja muita puupohjaisia materiaaleja, kuten LVL-palkkeja, puukuitulevyä ja selluvillaa. Toiseksi suurimmat hiilivarastot syntyivät ulkoseinä- ja julkisivurakenteista, joissa puupohjaiset materiaalit ovat myös suuressa osassa.

8 Pohdinta

Tietoja työhöni etsin pääasiassa internet sivustoilta ja melko kattavasti niitä löytyikin. Rakennetyyppien valinnassa oli hieman hankaluuksia, koska valinnan varaa oli hirveästi. Eri variaatioita rakennetyypeistä olisi voinut vertailla vaikka kuinka paljon. Ala- ja välipohjissa mahdollisen lämmönjaon vaatimat kerrokset on jätetty pois, poissulkien teräsbetonilaatta, johon lattialämmitysputket voisi asentaa.

Päästötietoja ei kaikista materiaaleista löytynyt käytössä olevasta tietokannasta. Esimerkiksi vedeneristeen päästötiedon jouduin etsimään valmistajan ympäristöselosteesta sekä ala- ja välipohjien askelääneneristyksessä käytettävän solu-muovin jätin laskelmista pois, koska sille en löytänyt arvoja. Laskennassa käytettyjen arvojen lisäksi voisi eri valmistajien ympäristöselosteista etsiä juuri kyseiselle materiaalille omat arvot, jos materiaalivalmistaja jo suunnitteluvaiheessa on tiedossa. Tällöin tuloksista saattaisi saada tarkempia.

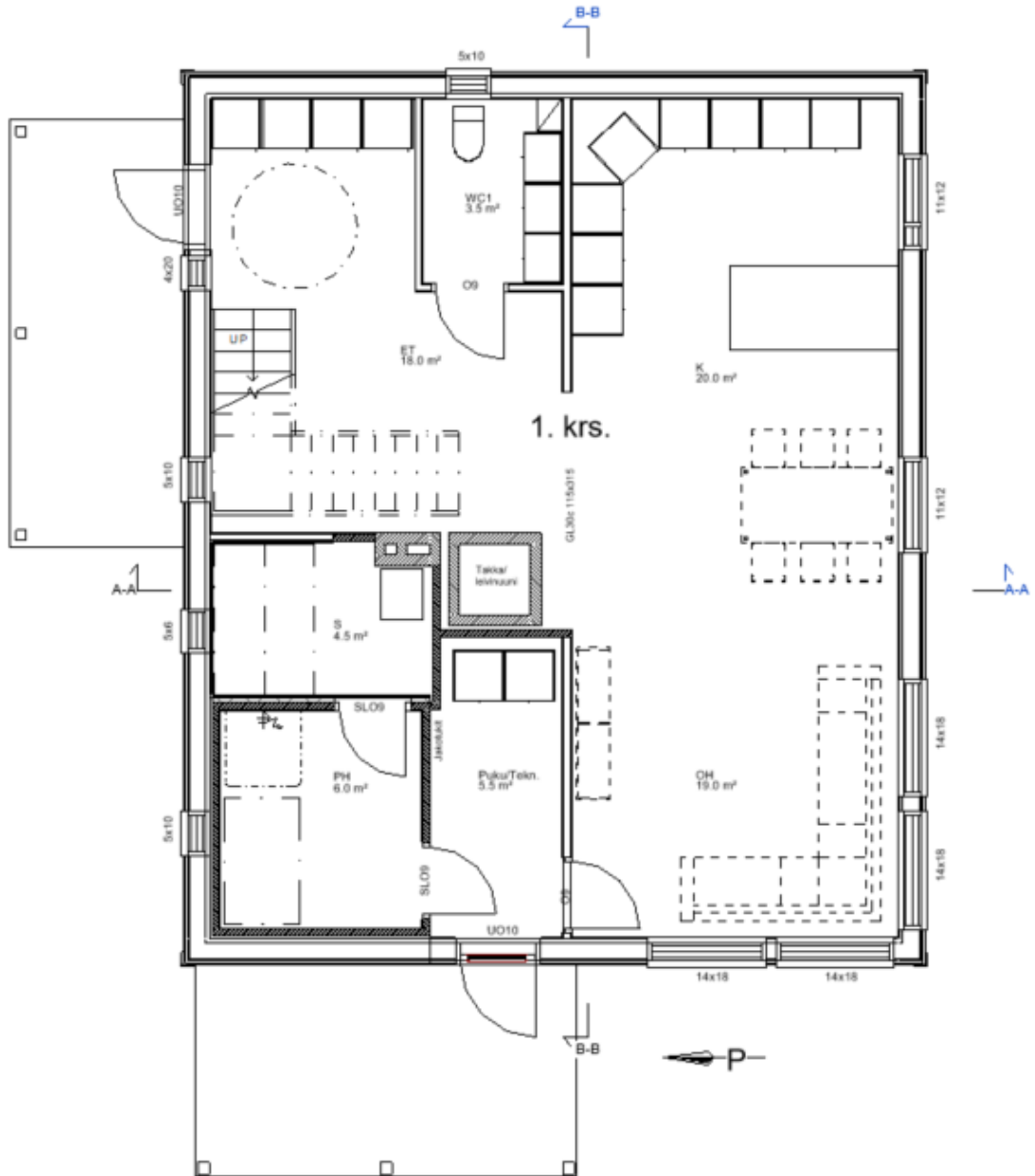
Mallitalon hiilijalanjäljen laskennassa mallinnuksen tarkkuudella oli vaikutusta materiaalmääriin. Malliin en kaikkia materiaaleja lisännyt, joten joissain

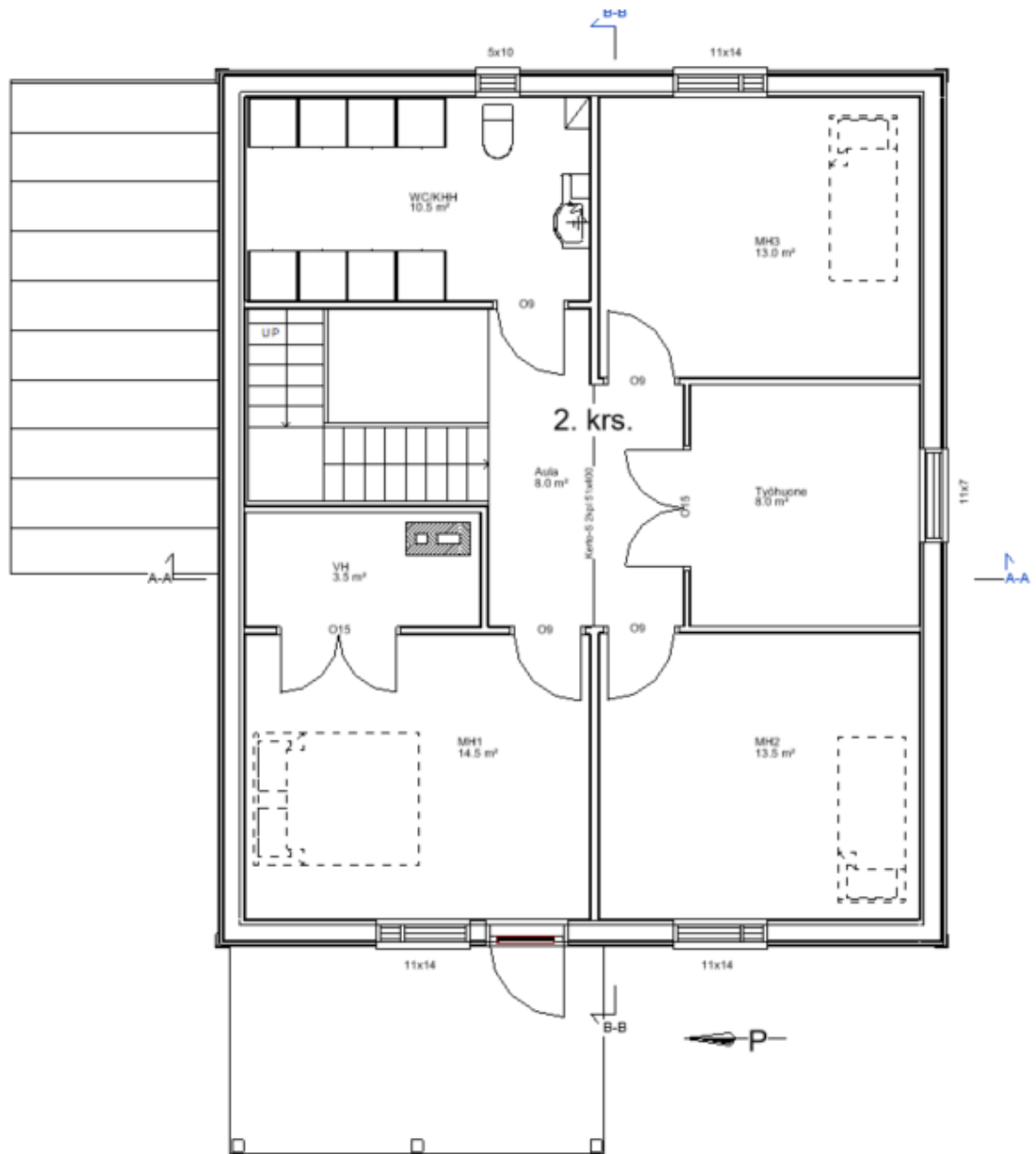
kohdissa sai olla tarkkana ja laskea määriä käsin. One Click LCA ohjelmaan tietoja syöttäessäni yritin materiaalimäärät laskea mahdollisimman tarkasti käytävissä olevilla tiedoilla ja taidoilla. Ohjelmaan oli kerätty suuri määrä eri valmistajien tietoja, ja olikin hieman hankaluuksia löytää juuri sopiva materiaali oikeaan paikkaan. Eri materiaalien päästöjä oli myös helppo vertailla ohjelman avulla, ja niinpä tästäkin suunnitelmasta voisi saada materiaaleja vaihtamalla paljonkin vähäpäästöisemmän. Talotekniikan osalta sähkö-, vesi-, viemäri- ja lämmönjakojärjestelmissä tarkempien tietojen puuttuessa käytin ohjelmassa olevia rakennuksen aloihin sidottuja arvoja.

Lähteet

- Arkkitehtitoimisto Tilasto. 2023. Energiatehokkaan pientalon suunnitteluperiaatteita. https://tilasto.info/energiatehokkaan_pientalon_suunnitteluperiaatteita/ 27.1.2023.
- Bionova. 2015. Rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöjen ohjaukseen käytettävät järjestelmät ja sääntely. https://www.oneclicklca.com/wp-content/uploads/2017/11/Bionova_YM_materiaalien_ymparistoohtaus_20loka2015_FINAL.pdf 17.3.2023.
- Bionova. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf 1.3.2023.
- Green Building Council Finland. 2023. Rakennuksen elinkaarimittarit – kahdeksan mittaria kestävään kiinteistöjohtamiseen. <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>. 27.1.2023.
- Hyvärinen, J. 2020. Talotekniikan vaikutus rakennetun ympäristön hiilijalanjälkeen. <https://www.ril.fi/media/2020/jasenyys/tietoiskut/hyvarinen-28.4.2020-talotekniikan-vaikutus-rakennetun-ympariston-hiilijalanjalkeen.pdf> 1.3.2023.
- Härkönen, T. 2021. Vähähiilinen betoni tulee vauhdilla. Teoksessa Betoni 4/2021. Helsinki: Betoniteollisuus ry, 84–95.
- Ilmatieteen laitos. 2023. kasvihuonekaasut lämmittävät. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuonekaasut-lammittavat> 22.2.2023.
- IPCC. 2007. AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/> 10.2.2023.
- Puuinfo. 2020a. Puurakenteissa hiili säilyy pitkään. <https://puuinfo.fi/puu-tieto/ymparistovaikutukset/puurakenteissa-hiili-sailyy-pitkaan/> 1.2.2023.
- Puuinfo. 2020b. Rakenteet/rankarakenteet/rungon toimintaperiaate. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rungon-toimintaperiaate/> 17.3.2023.
- Puuinfo. 2020c. Rakenteet/rankarakenteet/seinän ominaisuudet. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/seinan-ominaisuudet/> 17.3.2023.
- Puuinfo. 2020d. Rakenteet/massiivipuurakenteet/rungon toimintaperiaate. <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/rungon-toimintaperiaate/> 17.3.2023.
- Puuinfo. 2020e. Rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/seinän ominaisuudet. <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/seinan-ominaisuudet/> 17.3.2023.
- Puuinfo. 2020f. Rakenteet/hirsirakenteet/rungon toimintaperiaate. <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/rungon-toimintaperiaate/> 17.3.2023.
- Puuinfo. 2020g. Rakenteet/hirsirakenteet/seinän ominaisuudet. <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/seinan-ominaisuudet/> 17.3.2023.
- Puuinfo. 2020h. Rakenteet/hirsirakenteet/Rakennusosissa huomioitavia pääasiällisiä seikkoja. <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/rakennusosissa-huomioitavia-paaasiällisia-seikkoja/> 1.2.2023.
- Puuinfo. 2022. Rakenteet/rankarakenteet. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/> 19.1.2023.

- Puuinfo. 2023. Puutieto/insinööripuutuotteet/monikerroslevy. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-ct/> 20.1.2023.
- Rakennustietosäätiö. 2023. RTS EPD -ympäristöseloste esittää luotettavasti rakennustuotteiden ympäristövaikutukset. <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/> 20.1.2023.
- Rakentaja.fi. 2023. Tuulensuojalevyn toiminta ja asennus. https://www.rakentaja.fi/artikkelit/5507/ulkoseinan_tuulensuojalevyn_toiminta.htm/ 20.1.2023.
- Siikanen, U. 2016. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Teräsrakenneyhdistys. 2023. Teräksen kierrättäminen. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/co2-ja-kiertotalous/teraksen-kierratys/> 1.2.2023.
- Tiivistalo. 2023. Höyrynsulkujen ominaisuudet. <https://www.tiivistalo.fi/hoyrynsulkujen-ominaisuudet/> 19.1.2023.
- Vesitaito. 2023. Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. <https://vesitaito.fi/palvelut/hiilijalanjalkilaskenta/> 18.1.2023.
- WWF. 2023. Ilmastonmuutos <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/> 20.1.2023.
- Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisuuden_arviointimenetelma.pdf 17.3.2023
- Ympäristöministeriö. 2023a. Vähähiilinen rakentaminen <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen> 19.1.2023.
- Ympäristöministeriö. 2023b. Rakentamisen päästöjä voidaan nyt vertailla. <https://ym.fi/-/rakentamisen-paastoja-voidaan-nyt-vertailla-uusi-paas-totietokanta-luo-perustan-vahahiilisen-rakentamisen-saadsohjaukselle/> 19.1.2023.
- Ympäristöministeriö. 2023c. Rakentamisen kiertotalous. <https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous/> 1.2.2023.
- Ympäristöministeriö. 2023d. Tasaustalouden opas 2018. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset/> 9.2.2023.



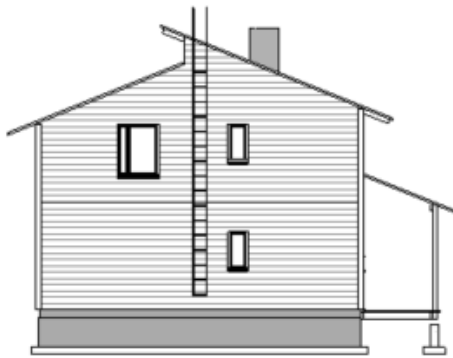




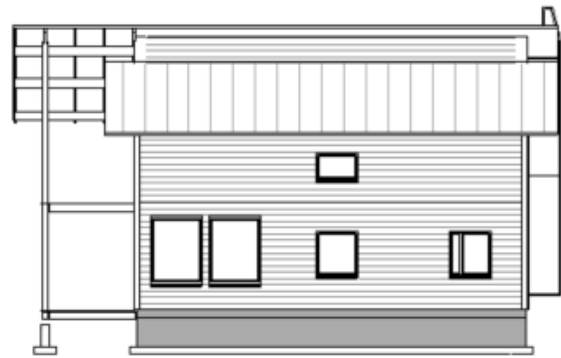
Julkisivu länteen



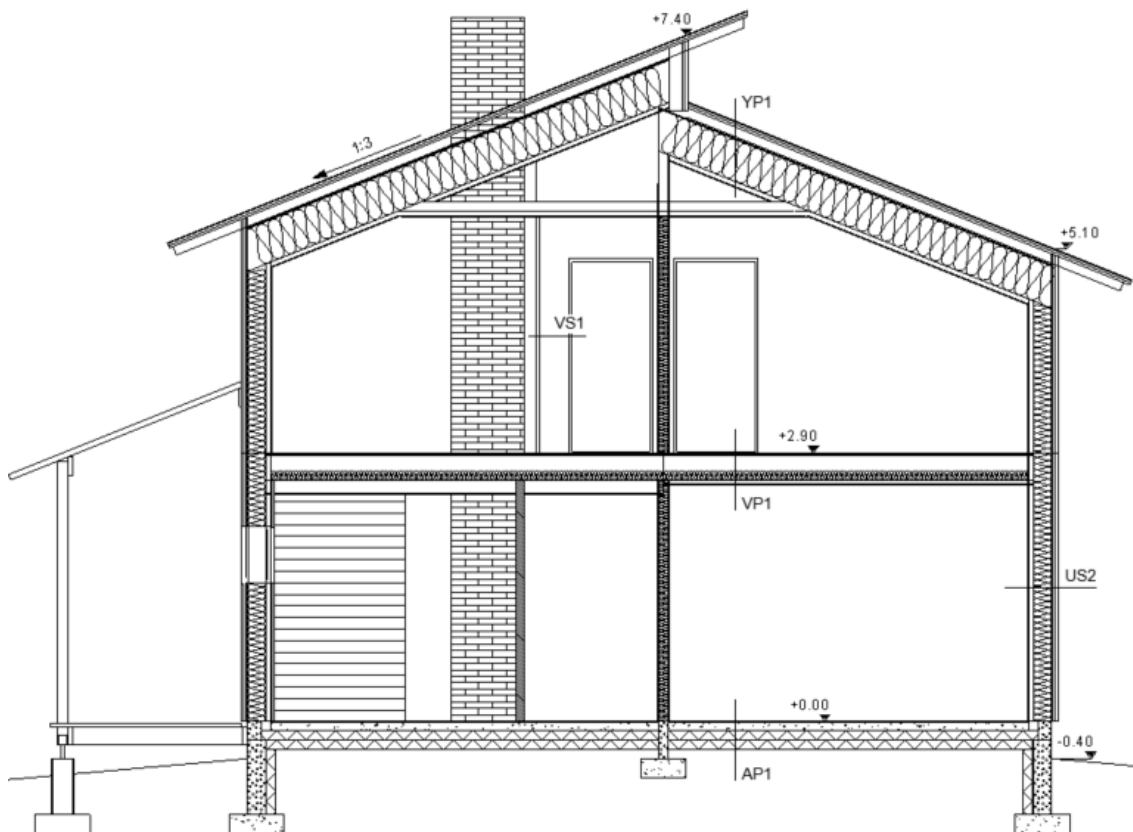
Julkisivu pohjoiseen



Julkisivu itään



Julkisivu etelään



1. Perustukset ja pohjarakenteet 4 Tonnia CO_{2e} - 2 %

Perustusmateriaaleja ei lasketa koskaan korvattaviksi, riippumatta arviointijakson pituudesta.

Perustukset, maanalaiset rakenteet ja perusmuuri  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki



| Resurssi  | Määrä  | CO _{2e}  | Kommentti  |
|--|---|--|---|
| Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen ? | 5,21 m3 | 1,3t - 0,9% | anturat |
| Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen ? | 0,43 m3 | 0,11t - 0,1% | pilarianturat |
| Betonirauhoitus, yleinen, 100% recy ? | 19 kg | 7,2kg - ~0% | anturateräs |
| Perforated lightweight aggregate concrete ? | 7,43 m3 | 1t - 0,7% | sokkeliharkot |
| Perforated lightweight aggregate concrete ? | 0,21 m3 | 29kg - ~0% | pilariharkot |
| Betonirauhoitus, yleinen, 100% recy ? | 18 kg | 6,8kg - ~0% | harkoteräs |
| Masonry mortar for thin layer appli ? | 61 kg | 25kg - ~0% | tasoitelaasti |
| Dry mortar, Mortar category: CS ?  | 810,0 kg | 0,15t - 0,1% | muurauslaasti |
| Radon/kosteussulkukemi maarakennus ?  | 50 m2 x 1,2 mm | 0,25t - 0,2% | radonkaista |
| Geotekstiili, yleinen, 312 g/m2 (1. ? | 100 m2 | 0,13t - 0,1% | suodatinkangas |
| Murske (0...100 mm), kuiva tilavuus, ? | 16 m3 | 0,22t - 0,1% | täytöt AP |
| Murskattu sora, yleinen, 1600 kg/m3 ? | 40 m3 | 0,22t - 0,1% | täytöt ulkopuoli |

2. Pystyrakenteet ja julkisivu 4 Tonnia CO₂e - 3 %

Ulkoseinät ja julkisivu  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki

| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Wood fibre insulation boards, bioge ? | 192 m2 x 12 mm | 0,24t - 0,2% | US tuulensuoja |
| Blown loose-fill cellulose insulati ? | 177.0 m2 x 200 mm | 0,3t - 0,2% | US eriste Lambda = 0.039 |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 15,31 m2 x 200 mm | 0,25t - 0,2% | US runko 48x198 |
| Blown loose-fill cellulose insulati ? | 177.0 m2 x 50 mm | 74kg - ~0% | US eristeLambda = 0.039 |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 15,31 m2 x 50 mm | 83kg - ~0% | US koolaus 48x48 |
| Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 8.5 ? | 163 m2 x 13 mm | 0,53t - 0,3% | US sisäverhouslevy |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 17.0 m2 x 25 mm | 35kg - ~0% | US koolauslauta |
| Ulkoverhouslauta, havupuu, maalattu ? | 192.0 m2 x 28 mm | 0,48t - 0,3% | US ulkoverhous |




Pilarit ja kantavat pystysuorat rakenteet  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki

| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|---------------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 8.5 ? | 39 m2 x 13 mm | 0,13t - 0,1% | Kantava VS |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 4,5 m2 x 98 mm | 36kg - ~0% | Kantava VS runko |
| Kivillaeristelevy, yleiset, L = 0 ? | 34 m2 x 100 mm | 0,19t - 0,1% | Kantava VS äänieriste |
| Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 8.5 ? | 39 m2 x 13 mm | 0,13t - 0,1% | Kantava VS |
| Glue laminated timber (Glulam), 544 ? | 0.53 m3 | 81kg - 0,1% | kuistien pilarit |

Väliseinät ja ei-kantavat rakenteet  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki

| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|--|------------------|-------------------|------------------------|
| Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 8.5 ? | 55,6 m2 x 13 mm | 0,18t - 0,1% | VS sisäverhouslevy |
| Kerto viilupuu (LVL), (Metsä Wood) ?  | 6.41 m2 x 66 mm | 62kg - ~0% | VS runko |
| Eriste, kivilla/mineraalivilla ?  | 49.2 m2 x 66 mm | 0,11t - 0,1% | VS äänieriste |
| Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 8.5 ? | 52 m2 x 13 mm | 0,17t - 0,1% | VS sisäverhouslevy |
| Kalkki-hiekkatiilet ja harkot, o ?  | 26 m2 x 85 mm | 0,48t - 0,3% | harkkoseinä, märkätila |
| Glazed ceramic tiles, Bla, 7.5 mm, ? | 21.18 m2 | 0,34t - 0,2% | laatoitus, märkätila |
| Höylätty puutavara, 480 kg/m3, plan ? | 14,08 m2 x 15 mm | 14kg - ~0% | sauna panelointi |
| Kivillaeristelevy, yleiset, L = 0 ? | 14,08 m2 x 50 mm | 40kg - ~0% | sauna eriste |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 0,02 m3 | 3,1kg - ~0% | sauna koolaus |

3. Vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit 🌿 17 Tonnia CO₂e - 11 %

Alapohjat, välipohjat ja yläpohjat, palkit ja katto 🗑️ Luo ryhmä 🌿 Siirrä materiaalit 👤 Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki

| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|---|-------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Valmisbetoni, normaali lujuus, ylei ? | 81 m ² x 80 mm | 2t - 1% | AP betonilaatta |
| Betonirauditus, yleinen, 90% recyc ? | 236 kg | 0,14t - 0,1% | AP 30 kg/m3 |
| Suodatinkangas N2 ? 🗑️ | 81 m ² x 0.15 mm | 16kg - ~0% | AP suodatinkangas |
| XPS insulation panels, L = 0.033-0. ? | 81.0 m ² x 200 mm | 2,6t - 2% | AP lattiaeriste |
| Sepeli (8...16 mm), kostea tilavuus, ? | 81 m ² x 200 mm | 0,19t - 0,1% | AP kapillaarikatko |
| Glazed ceramic tiles, Bla, 7.5 mm, ? | 40 m ² | 0,92t - 0,6% | AP laattalattiat |
| DPL laminate flooring, 10 mm, 800-1 ? | 110 m ² | 5t - 3% | AP+VP laminaatti |
| Vaneri, yleinen, 4-50 mm (0.16-1.97 ? | 76,57 m ² x 18 mm | 0,39t - 0,3% | VP Kuusivaneri |
| Kerto viilupuu (LVL), (Metsä Wood) ? 🗑️ | 2,03 m ³ | 0,3t - 0,2% | VP Palkit RAK mukaan |
| Kivivillaeristelevy, yleiset, L = 0 ? | 68,15 m ² x 100 mm | 0,39t - 0,3% | VP Mineraalivilla |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 0,53 m ³ | 44kg - ~0% | VP Koolaus k400 |
| Fiberboard (MDF), for interior wall ? | 40,37 m ² x 10 mm | 0,39t - 0,3% | VP alakerta katto |
| Höylätty puutavara, 460 kg/m3, plan ? | 36,20 m ² x 15 mm | 21kg - ~0% | VP alakerta katto, märkätila |
| Fiberboard (MDF), for interior wall ? | 99,52 m ² x 10 mm | 0,91t - 0,6% | YP yläkerta katto |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 2,23 m ³ | 0,18t - 0,1% | YP Koolaus k400 |
| Höyrynsulkumuovi, 0.20 mm, 0.2 m ? 🗑️ | 99,52 m ² x 0.2 mm | 82kg - 0,1% | YP Ilman- ja |
| Selluvilla, vapaasti yläpohjaan puh ? | 99,52 m ² x 425 mm | 0,19t - 0,1% | YP Puhallusvilla |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 2,35 m ³ | 0,19t - 0,1% | YP NR-ristikot k900 RAK |
| Kuivattu sahatavara kuusi- tai mänt ? | 2,25 m ³ | 0,19t - 0,1% | YP ruodelauditus |
| Sinkittyteräspeltikate 0,5 mm (R ? 🗑️ | 179 m ² x 0.5 mm | 2t - 1% | YP konesaumakatto |
| Kerto viilupuu (LVL), (Metsä Wood) ? 🗑️ | 0,13 m ³ | 19kg - ~0% | palkki yläkerta |
| Glue laminated timber (Glulam), 544 ? | 0,12 m ³ | 18kg - ~0% | palkki alakerta |
| Impregnated timber, 435 kg/m3 (Mam ? | 2,11 m ³ | 0,48t - 0,3% | terassi kyllästetty puu |
| Sahatavara, kuusi ja mänty, kiinteä ? | 0,19 m ³ | 35kg - ~0% | terassin kattorakenne |
| Kerto viilupuu (LVL), (Metsä Wood) ? 🗑️ | 0,13 m ³ | 19kg - ~0% | terassin palkit |

4. Muut rakenteet ja materiaalit 3 Tonnia CO₂e - 2 %

Muut rakenteet ja materiaalit  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki

| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|--|---------------------|-------------------|-----------|
| Höylätty puutavara, 480 kg/m ³ , plan ? | 0,44 m ³ | 17kg - ~0% | porras |
| Punainen savi tiilet, Chimney and f ? | 2,96 m ³ | 0,71t - 0,5% | hormi |

Ikkunat ja ovet  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki

| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|--|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Wooden-aluminium window, double gla ? | 31,21 m ² | 1,7t - 1% | ikkunat u=1.0 |
| Ulko-ovi, puurakenteinen ?  | 6,3 m ² | 0,24t - 0,2% | ulko-ovet |
| Interior wooden door leaf, solid co ? | 8 unit | 0,33t - 0,2% | sisäovet |
| Interior glass door, Donnee par def ? | 4,2 m ² | 0,37t - 0,2% | sauna ja pesuhuone ovet |

5. Alue- ja piharakentaminen 0.44 Tonnia CO₂e

Ulkoalueiden rakenteet ja materiaalit  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Aloita kirjoittamaan tai klikki


| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|---|----------------------------|-------------------|----------------|
| Murskattu sora, yleinen, 1800 kg/m ³ ? | 10 m ³ | 55kg - ~0% | pihapäälylyste |
| Multa, kuiva tilavuus, 1220 kg/m ³ ?  | 10 m ³ | 18kg - ~0% | nurmialue |
| Eriste, EPS 100, 0.035 W/mK, 18-22 ? | 40 m ² x 100 mm | 0,37t - 0,2% | routaeriste |

6. Rakennuksen talotekniikka 5 Tonnia CO₂e - 3 %

Talotekniikka ja järjestelmät  Luo ryhmä  Siirrä materiaalit  Lisää vertailtavaksi

Talotekniikka ja järjestelmät voidaan lisätä vain tähän osioon.

Aloita kirjoittamaan tai klikki

| Resurssi | Määrä | CO ₂ e | Kommentti |
|---|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Sähkökaapeloinnit, huoneala m ² ? | 140 m ² | 0,91t - 0,6% | |
| Viemäröintijärjestelmä, PVC, huonea ? | 140 m ² | 0,14t - 0,1% | |
| Putkijärjestelmä, kylmä ja lämmin v ? | 140 m ² | 0,16t - 0,1% | |
| IV-järjestelmä teräsputkin, huoneis ? | 140 m ² | 1,2t - 0,8% | |
| Ilmanvaihtokone+LTO, 190 litraa / s ?  | 1 unit | 0,79t - 0,5% | iv-kone |
| Ceramic toilet, 19.6 kg/unit, - DUR ? | 39 kg | 0,11t - 0,1% | WC istuimet |
| Maalämpöpumppu, per 1kW max output ? | 8 kW | 0,95t - 0,6% | |
| Porcelain sink, 29.6 kg/unit, 50 x ? | 59 kg | 0,12t - 0,1% | käsienpesualtaat |
| Shower head, 0.3 kg/unit, HALO181-3 ? | 0,3 kg | 2,8kg - ~0% | suihku |
| Stainless steel sink, 5.57 kg/unit, ? | 11 kg | 0,1t - 0,1% | keittiö ja khh altaat |
| Heat distribution piping network, p ? | 15 kg | 52kg - ~0% | lattiaämmitysputket |