

Eetu Pitkonen

Massiivipuu-, hybridi- ja betonielementti- rakenteisten seinien hiilijalanjäljen vertailu

Opinnäytetyö

Insinööri, AMK

Teollinen puurakentaminen

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Eetu Pitkonen
Työn nimi	Massiivipuu-, hybridi- ja betonielementtirakenteisten seinien hiilijalanjäljen vertailu
Toimeksiantaja	Anti Rohumaa (Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamk)
Vuosi	2023
Sivut	45 sivua, liitteitä 6 sivua
Työn ohjaaja(t)	Petteri Härkönen & Marko Voutilainen (Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamk)

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä perehdyttiin rakentamisen elinkaariarvioinnin periaatteisiin ja sen suorittamisen käytäntöihin. Arvioinnissa käytettiin ympäristöministeriön kehittämää vähähiilisyyden arviointimenetelmää ja One Click LCA -ohjelmistoa elinkaariarvioinnin laskennan työkaluina.

Elinkaariarviointi suoritettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun valmistaman testirakennuksen erilaisille massiivipuu-, hybridi- ja betonielementtirakenteisille kantaville seinärakenteille. Arvioinnissa käytettiin rakennusmateriaalien viimeisimpiä päivitettyjä ympäristöselosteita ja niiden lähtöarvoja.

Seinärakenteiden elinkaariarvioinnin tulosten perusteella vertailtiin käytettyjen rakenneratkaisuiden aiheuttamia ympäristöön vaikuttavia kuormituksia sekä mahdollisia hyötyjä. Ympäristöministeriön arviointityökalulla ja One Click LCA -ohjelmistolla saatuja tuloksia vertailtiin myös keskenään.

Arvioinnissa havaittiin, että CLT-rakenteinen seinä tuotti merkittävästi pienemmän hiilijalanjäljen arvon verrattaessa käytettyyn teräsbetonipohjaiseen seinärakenteeseen. Puurakenteisten seinärakenteiden etuna nähtiin myös niiden tuottama ilmastolle positiivinen hiilikädenjälki verrattuna betonipohjaiseen rakenteeseen. Ympäristöministeriön arviointityökalun ja One Click LCA -ohjelmistosta saatujen tulosten välillä havaittiin eroavaisuuksia rakenteista ja niihin käytettyjen materiaalien valmistusprosessista johtuen.

Elinkaariarvioinnin laskentaan liittyen tietomallien ja määräluetteloiden laadintaan sekä laskennan teknisiin vaatimuksiin tulisi määritellä määräystasolla tarkemmin, jotta saataisiin selkeä yhtenäinen tapa ja toteutus laskennan suorittamiselle ja mahdollistettaisiin erilaisten rakenne- ja materiaalivaihtoehtojen vertailu integroituna suunnitteluohjelmistoihin, jolloin laskennasta tulisi tarkkaa ja tehokasta.

Asiasanat: hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, ympäristövaikutukset, vähähiilisyys, CLT, LVL, seinärakenne

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Eetu Pitkonen
Thesis title	Carbon Footprint Comparison of Massive Wood, Hybrid and Precast Concrete Walls
Commissioned by	Anti Rohumaa (South-Eastern Finland University of Applied Sciences Xamk)
Time	2023
Pages	45 pages, 6 pages of appendices
Supervisor	Petteri Härkönen & Marko Voutilainen (South-Eastern Finland University of Applied Sciences Xamk)

ABSTRACT

In this thesis the purpose was to explore the principles and practices of life cycle assessment (LCA) in construction process. The low-carbon assessment method developed by the Ministry of Environment and the One Click LCA-software were used as tools for calculating.

This study conducted a life-cycle assessment of various solid wood, hybrid and precast concrete load-bearing wall structures of a test building manufactured by the South-Eastern Finland University of Applied Sciences. The assessment used the latest updated environmental specifications for building materials and their starting values.

Based on the results, the environmental loads and potential benefits of the different structural solutions used were compared. The results from the Ministry of Environment's assessment tool and One Click LCA -software were also compared.

The evaluation found that the CLT structural wall produced a significantly lower carbon footprint value compared to the used reinforced concrete-based wall. The advantage of timber wall structures was also seen in their positive carbon handprint on the climate compared to concrete-based structure. In the results there were differences between the Ministry of Environment's assessment and One Click LCA- software based on the structures and the manufacturing process of used materials.

Life cycle assessment related to the compilation of data models and quantity lists, as well as the technical requirements of the calculation, should be defined more precisely at the regulation level. In order to make the calculation accurate and efficient, a clear uniform way and implementation for the execution of the calculation should be provided enabling the comparison of different structural and material alternatives, integrated into the design software.

Keywords: carbon footprint, carbon handprint, environmental impact, low carbon, CLT, LVL, wall structure

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet.....	7
1.2	Vähähiilinen rakentaminen ja sen tausta	8
2	Elinkaariarvionti ja tarvittavat tiedot	9
2.1	Lait ja standardit	12
2.2	Ympäristöselosteet	13
2.3	Ympäristöministeriön arviointityökalu.....	14
2.4	Co2data.fi-päästötietokanta	14
2.5	Elinkaariarviomenetelmä One Click LCA	14
2.6	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testirakennus	15
3	LASKENNASSA KÄYTETYT RAKENNERATKAISUT.....	18
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	31
4.1	Ympäristöministeriön arviointityökalu.....	31
4.2	Elinkaariarvioinnin One Click LCA -ohjelmiston käyttö opinnäytetyössä.....	37
5	TULOKSET.....	39
5.1	Tulosten tarkastelu	41
6	YHTEENVETO	43
	LÄHTEET.....	45

LIITTEET

Liite 1. US1- ja US2-raportti moduuleittain

Liite 2. US3- ja US4-raportti moduuleittain

Liite 3. US5- ja US6-raportti moduuleittain

Liite 4. US7- ja US8-raportti moduuleittain

Liite 5. US9- ja US10-raportti moduuleittain

Liite 6. US11-raportti moduuleittain

KÄSITTEET

Arviointijakso

Elinkaarilaskennan ajanjakso

Arviointimenetelmä

Rakennuksen elinkaaren arviointiin kehitetty menetelmä ympäristöministeriön toimesta.

Elinkaarilaskenta

Standardoitu menetelmä, joka käsittelee tuotteen ympäristövaikutuksia elinkaaren ajalta.

Hiilidioksidiekvivalentti

Erilaisten kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus muunnettuna vastaamaan hiilidioksidin vaikutuksia.

Hiilijalanjälki

Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana tuottamien kasvihuonekaasujen yhteissumma eli kuinka paljon ilmastokuormaa toiminnasta syntyy.

Hiilijalanjälkikerroin

Kuvastaa tuotteesta tai palvelusta syntyvää päästön määrää, suhteutettuna tuotettujen tuotteiden ja palveluiden kokonaismäärään. Kerroin ilmaistaan muodossa kg CO_{2e}/kg.

Hiilikädenjälki

Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana tuottamien ilmastohyötyjen summa muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi. Hiilikädenjäljellä ilmaistaan tuotteella tai palvelulla saatua hyötyä, joka auttaa pienentämään aiheutuvia ilmastokuormia.

Moduuli

Rakennuksen elinkaaren moduulit SFS-EN 15978:2012 standardin mukaisesti rajavat rakennuksen elinkaaren eri vaiheisiin. Näitä ovat A1–A3 tuotevaihe, A4–A5 rakentaminen, B1–B7 käyttövaihe ja C1–C4 elinkaaren loppu.

LYHENTEET

CLT

Ristiinliimattu massiivipuu (Cross Laminated Timber)

CO₂

Hiilidioksidi

CO_{2e}

Hiilidioksidiekvivalentti

LVL

Sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettava puutuote (viilupuu)

LCA

Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA)

One Click LCA

Elinkaariarvioinnin tarkoitukseen valmistettu ohjelmisto.

1 JOHDANTO

Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivisuutta 2040-luvulla. Nämä tavoitteet edellyttävät merkittäviä kasvihuonekaasupäästövähennyksiä myös rakennetussa ympäristössä, koska rakentaminen, rakennusten lämmitys ja sähkönkäyttö aiheuttavat yli kolmanneksen Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. (HE 2022/139 Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislainsäädännön muuttamisesta ja siihen liittyviksi laeiksi.)

Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi on tavoitteeksi asetettu vähentää rakennusmateriaalien, rakentamisen sekä rakennuksien hiilijalanjälkeä.

Yksittäisen rakennuksen elinkaaren aikana puolet sen hiilijalanjäljestä muodostuu yleensä edellä mainituista tekijöistä.

Rakentamisessa on siis panostettava kestävänsä kehityksen periaatteisiin, vähähiilisiin vaihtoehtoihin sekä ympäristön kannalta edullisiin energiamuotoihin.

Vähähiilisesti rakennetun ympäristön suunnittelun, tarpeenmukaisuuden, toteutuksen ja ylläpidon kestävänsä kehitykseen tähtäävä kokonaisuus on toisinaan täydentävä. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 174.)

Ympäristöministeriön teettämä selvitys ja tiekartta rakentamisesta aiheutuvien päästöjen hiilijalanjäljen seurantaan ohjaa rakennusten materiaalien hiilidioksidipäästöjä kohti vähähiilisyttä ja pyrkii tuomaan standardipohjaisen elinkaariarvioinnin seurattavaksi osaksi Suomen energia- ja ilmastostrategiaa. (Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 2019.)

1.1 Opinnäytteen tarkoitus ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä elinkaariarviointiin ja sen laskentaan käyttäen ympäristöministeriön laatimaa arviointimenetelmä-työkalua rakenteiden hiilijalanjäljen arvioinnissa. Arviointimenetelmällä arviointi rajataan standardin EN 15978 mukaisten A1–A3 ja C1–C3 moduulien välille. (SFS-EN 15978. 2012.) Lisäksi verrata saatuja tuloksia ympäristöministeriön hyväksymän elinkaariarviointiohjelmiston One Click LCA -tuloksiin.

Opinnäytetyössä hiilijalan- ja hiilikädenjäljen laskenta kohdennetaan Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulun Puu- ja hybridirakenteiden liitosten tiiveyden ja kosteuskäyttäytymisen hallinta eli PUUTIKO-hankkeen valmistuneeseen testitaloon, jossa on käytetty erilaisia massiivipuu-, hybridi- ja betonielementtisiä kantavia seinärakenteita. Tavoitteena on tutkia ja saada selville käytettyjen rakenneratkaisujen laskennalliset ilmastovaikutukset sekä millaisia mahdollisia eroavaisuuksia kyseisten rakenteiden väliltä löytyy. Mitkä rakenneratkaisut edesauttavat vähähiilistä rakentamista ja ohjaisivat Suomen rakennuskantaa kohti positiivista kehitystä, hiilineutraaliuutta ja hiilinegatiivisuutta?

1.2 Vähähiilinen rakentaminen ja sen tausta

Suomessa on asetettu tavoitteeksi hiilineutraaliuus vuoteen 2035 mennessä. Päästöjen kannalta kokonaan hiilinegatiivisuus on tavoitteena 2040-luvulla. Tavoitteisiin pääsemiseksi tämä merkitsee suuria päästövähennyksiä niin rakentamisen kuin itse rakennusten osalta. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019.)

Vähähiilisellä rakentamisella tai rakennuksella tarkoitetaan sitä, että rakennustuotteiden ja rakennettavan rakennuksen valmistusprosessista aiheutuva hiilijalanjälki on pieni ja vastaavasti hiilikädenjälki olisi mahdollisimman suuri. Vähähiilisellä rakentamisella pyritään vähentämään haitallisia kasvihuonekaasupäästöjä rakennetun rakennuksen koko elinkaaren ajalta.

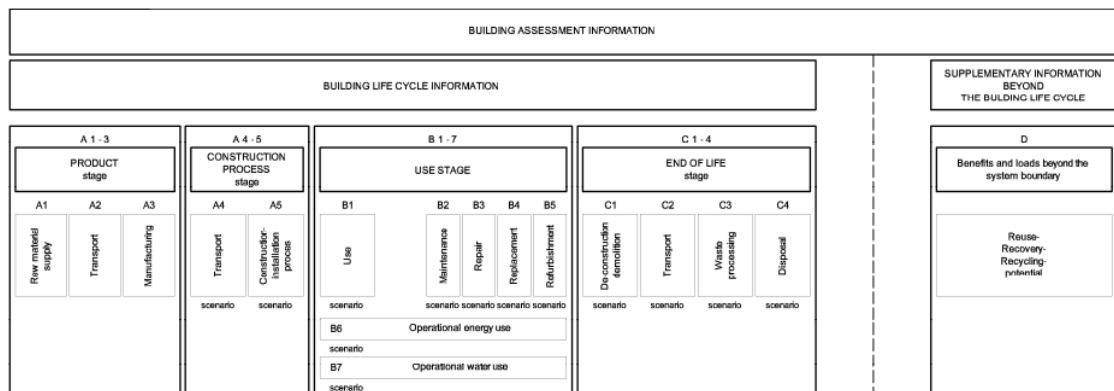
Ympäristöministeriön laatiman tiekartan mukaan vähähiilisyyden ohjaus rakentamisessa tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä. Lähtökohtaisesti tämä tulisi vaikuttamaan kaikkia julkisia uudisrakennuksia. Rakennusmateriaalit ja palvelut yhdistetään rakennusten ja palveluiden käytön aikaisien energiankulutuksien ohjaukseen sekä näiden hiilijalanjälkeen. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a.)

Rakentamisen vähähiilisyyden ohjauksella pyritään pienentämään aiheutuvia kokonaispäästöjä, koska rakentaminen ja rakennettu ympäristö on merkittäviä resurssien, materiaalien ja energiankuluttajia.

Vähähiilisyiden arviointi tehdään koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Tähän sisältyvät ns. moduulit rakennustuotteiden valmistuksen, kuljetusten ja työmaatoimintojen, käytön ja korjausten sekä purkujen ja kierrätyksen osalta. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019.)

2 ELINKAARIARVIOINTI JA TARVITTAVAT TIEDOT

Elinkaariarviointi rakentamiselle perustuu eurooppalaiseen standardiin SFS-EN 15978:2011. Elinkaariarviointi tunnetaan Euroopassa nimellä Life Cycle Assessment, LCA. Tässä standardissa on määritelty elinkaaren eri vaiheet, huomioitavat tiedot ja tiedoille laaditut laskennalliset muuttujat. Arviointiin standardi määrittää käytettävän tiedon laatua sekä lajittelee rakennuksen elinkaaren vaiheisiin (Kuva 1). Tätä kautta arvioidaan rakennuksen ympäristövaikutuksia ja päästöjä elinkaaren eri vaiheiden ja rakennuksessa käytettyjen rakenteiden loppukäyttötarkoituksensa mukaisesti. Elinkaari rakennukselle alkaa tuotevaiheen ja rakentamisen moduuleista A1-A5 ja päättyy elinkaaren lopulle moduuliin C. Elinkaaren ulkopuolisia vaikutuksia arvioidaan moduulissa D. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin 2019; SFS-EN 15978. 2012.)



Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren moduulit (SFS-EN 15978. 2012)

Elinkaari rakennukselle koostuu kuvan yksi mukaan viidestä eri vaiheesta:

- Tuotevaihe A1-A3
 - A1 Raaka-aineiden hankinta.
 - A2 Raaka-aineiden kuljetus valmistukseen.
 - A3 Tuotteiden valmistus.
- Rakennusvaihe A4-A5
 - A4 Tuotteiden kuljetus työmaalle.
 - A5 Työmaatoiminnot.
- Käyttövaihe B1-B7
 - B1 Tuotteiden käyttö rakennuksessa.

- B2 Kunnossapito.
- B3 Korjaukset.
- B4 Rakennusosien vaihto.
- B5 Laajamittaiset kunnostukset.
- B6 Energian käyttö toiminnassa.
- B7 Veden käyttö toiminnassa.
- Purkuvaihe C1-C4
 - C1 Purkaminen.
 - C2 Kuljetukset.
 - C3 Purkujätteiden käsittely.
 - C4 Purkujätteiden hävittäminen.

Lisätiedot rakennuksen elinkaaren ulkopuolella D

- D Elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat. Uudelleenkäyttö-, talteenotto- ja kierrätysmahdollisuudet. (SFS-EN 15978. 2012)

Elinkaariarviointi perustuu rakennuksen eri rakennusosien määrien lisäksi energian yhteenlasketuista kulutuksista logistiikassa ja työmaalla käytetystä energiasta. Tietojen kerääminen eri materiaalien kulutuksesta elinkaariarviointiin on suuritöinen vaihe. Tietomalleista ja kustannuslaskennasta saatavat määräluettelot tulee kuitenkin muuntaa materiaaliluetteloksi. Rakentamisessa käytettyjen materiaalien määrä ja itse prosessiin käytetty energia kerrotaan määrätyillä hiilijalanjälkikertoimilla. Eri rakennustuotteiden ja niiden prosessointiin käytetyt kertoimet saadaan päästötietokannoista tai vaihtoehtoisesti rakennustuotteiden ympäristöselosteista. Yksittäiseen rakennustuotteeseen käytetyt raaka-aineet ja materiaalit arvioidaan käytetyn kilomäärän mukaan. Käytetyistä materiaaleista jokainen kerrotaan ympäristövaikutusten kertoimilla, jolloin tulos kertoo rakennustuotteen elinkaaren ympäristövaikutuksista. Elinkaariarviointi voidaan tarvittaessa rajata halutulle ajanjaksolle. Yleensä tavanomainen ajanjakso on 50 vuotta. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019; SFS-EN 15978. 2012.)

Elinkaariarvioinnista saadut tulokset jaetaan koko tarkastelujaksolle, näin voidaan verrata muiden rakennusten tuloksia riippumatta siitä, että onko rakennusten käyttöiässä eroavaisuuksia. Luonnollisesti rakennuksessa käytettävien tuotteiden käyttöiät vaikuttavat elinkaariarvioinnin tuloksiin olennaisesti, sillä mitä useammin jokin rakennustuote on vaihdettava, sitä enemmän vastaavia rakennustuotteita on valmistettava ja tämä lisää ympäristövaikutuksia. Pit-

käikäisten materiaalien käyttö rakennuksen suunnittelussa voi alentaa elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin 2019.)

Arviointia tehdessä voidaan se rajata käsittelemään vain osaa yllä mainituista moduuleista. Esimerkiksi huomioon voidaan ottaa rakennustuotteiden tuotantovaiheen ja suunnitellun elinkaaren loppuvaiheiden ilmastokuormitukset, jolloin saadaan selville tulokset valmistus- ja hävitysvaikutteista, mutta jättävät pois itse rakentamiseen, korjauksiin ja käyttöön liittyvät ilmastovaikutteet. (SFS-EN 15978:2012; Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019.)

Rakentamisesta aiheutuvia ympäristövaikutteita kuvataan hiilijalanjäljellä ja hiilikädenjäljellä. Hiilijalanjäljellä ilmaistaan jonkin tuotteen tai materiaalin valmistuksesta tai käytämisestä aiheutuvia ilmastopäästöjä. Rakennuksen hiilijalanjäljellä kuvataan rakennuksen elinkaaren aikaista ilmastokuormaa, joita rakennuksen materiaaleista, rakentamisesta ja prosesseista, ylläpidosta ja kunnostamisesta sekä energiankulutuksesta aiheutuu. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019.)

Hiilikädenjälki kertoo vastaavasti materiaalin tai sen käytöstä aiheutunutta ilmastohyötyä, johon ilman sitä ei päästäisi. Rakennuksissa tällaisia hyötyjä voi tulla esimerkiksi materiaaleista, jotka sitovat elinkaarensa ajan itseensä hiiltä. Eri materiaalien kierrätettävyyden sellaisissa tapauksissa, joissa uudelleen käytettävällä materiaalilla voidaan korvata kokonaan uuden materiaalin käyttö, lasketaan hiilikädenjäljeksi. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019.)

Rakennukseen käytettyjen materiaalien tuotetut ja säästetyt päästöt ilmoitetaan hiilidioksidikiloina. Vuoden aikaiset päästömäärät rakennuksesta ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttikilona lämmitettyä pinta-alaa kohden ($\text{kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$). Hiilidioksidimäärä, jonka rakennus tuottaa hiilijalanjälkenä, kuvataan positiivisena lukuna ja vastaavasti rakennuksen hiilikädenjälkeä, kykyä sitoa hiiltä itseensä, kuvataan negatiivisena lukuna. Huomioitavaa on, että ar-

viointia tehtäessä, ei hiilikädenjälkeä tule vähentää hiilijalanjäljestä, vaan molemmat ilmoitetaan omina lukuinaan. (Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä 2019; SFS-EN 15978:2012.)

2.1 Lait ja standardit

Suomessa rakentamista ja sen vähähiilisyyttä ohjaa ympäristöministeriö. Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2017 tiekartan, jossa rakennuskannan elinkaaren aikainen vähähiilisyys tulee osaksi rakentamismääräyksiä vuonna 2024. (Häkkinen & Kuittinen 2020.)

Ohjeistus ja laskentatapa vähähiiliseen rakentamiseen pohjautuu Euroopan komission laatimaan Level(s)-menetelmään sekä eurooppalaisiin kestävän kehityksen standardeihin (EN 14067, EN 15643 -sarja, EN 15804, EN 15978). (SFS-EN 15978:2012; Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä 2019.)

Eurooppalainen standardi EN 15978 on elinkaariarviointiin tarkoitettu laskentatyökalu. Laskentatapa on vakioitunut eurooppalaisittain LCA-laskennassa käytettyyn laskentatapaan. Ympäristöministeriön vähähiilisyys arviointimenetelmä pohjautuu edellä mainittuun standardiin. (Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä 2019.)

Suomessa hallitus on päättänyt, että maankäyttö- ja rakennuslaki (1999/132) sekä asetus (1999/895) uusitaan kokonaisuudessaan. Esitys uudesta laista vietiin eduskunnan käsittelyyn syksyllä 2022. Uuden rakennuslain merkittävimpiä tavoitteita ovat rakentamisen laadun parantaminen, hiilineutraali yhteiskunta, monimuotoisuuden vahvistaminen luonnossa ja digitalisaation edistäminen. Uusi rakentamislaki hyväksyttiin eduskunnassa keuhattalvella 2023 ja rakentamislaki astuu voimaan heti vuoden 2025 alusta lähtien. (Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait 2023; Maankäyttö- ja rakennuslaki s.a.)

Vielä käytettävänä olevaan maankäyttö- ja rakennuslakiin verrattaessa merkittävin muutos on ilmastonmuutoksen hillinnän tuonti osaksi rakentamisen lainsäädäntöä. Rakennuksen koko elinkaaren aikaiset ilmastohaitat ja -hyödyt

huomioiden kohti vähähiilistä rakentamista. Suomen rakentamismääräyskoelmaan tulevat asetukset hiilijalanjäljen raja-arvoista, rakennuksen ilmastonselvityksestä sekä materiaaliselosteista. Tekniset vaatimukset ohjaavat rakennusten suunnittelua pitkäikäisiksi ja muuntojoustaviksi. Käytetyt ja vapautuvat materiaalit, rakennuspaikalta kuljetettava maa- ja kiviaines sekä vaaralliset jätteet on selvitettävä niin uusista kuin purettavistakin rakennuksista. (Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait 2023.)

Rakennusten pääsuunnittelijalla, erityissuunnittelijalla ja rakennesuunnittelijalla on heidän vastuualueisiinsa kuuluvien tehtävien mukaan arvioitava hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki ilmastonselvitykseen käyttäen laskentatapaa sekä laajuutta, joka on määriteltynä asetuksessa. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019.)

2.2 Ympäristöselosteet

Rakentamisessa käytettävien tuotteiden ympäristövaikutuksia kuvaamaan kehitetty ympäristöseloste on tapa, jolla voidaan puolueettomasti selventää ja esittää niistä aiheutuvia ilmastovaikutuksia. Laadintaa ohjaa standardi SFS-EN 15804 ja sen päivitetty versio SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. Standardi määrittelee yleiset säännöt niin rakentamisessa käytettäville tuotteille, kuin oheispalveluille ympäristöselosteiden laadinnassa. Kolmannet osapuolet valvovat tietojen oikeellisuutta verifioinneilla ennen selosteiden julkistamista. (SFS-EN 15804:2019.)

Ympäristöpäästöt ilmaistaan numeerisina arvoina, erilaisten teknisten tietojen ja tuotteen nimen lisäksi ympäristöselosteessa. Ilmoitetut lähtötiedot eivät saisi olla yli kymmentä vuotta vanhoja ja selosteeseen verifioitujen päästöarvojen tulisi olla mahdollisimman ajantasaisia. Ympäristöselosteen sisältämistä tiedoista ja niiden oikeellisuudesta on ensisijaisesti vastuussa tuotteen valmistaja tai omistava yhtiö. Tiedot, jotka ilmoitetaan ympäristöselosteessa ovat voimassa viisi vuotta. (SFS-EN 15804. 2019; RTS EPD -ympäristöseloste s.a.)

2.3 Ympäristöministeriön arviointityökalu

Suomessa vähähiilisuuden arviointimenetelmän avuksi ympäristöministeriö on kehittänyt hiilijalanjälkilaskentaan tarkoitettun Excel-pohjaisen työkalun. Työkallulla voidaan laskea rakennushankkeen eri vaiheiden hiilijalanjälkien ja hiilikädenjälkien arvoja syötettyjen materiaalmäärien mukaan. Työkalu sisältää it-sessään rakennusteollisuuden yleisimmät tuotteet. Näiden rakennustuotteiden tiedot perustuvat Co2data.fi-tietokantaan kerättyihin ympäristöselosteisiin sekä niiden laskennallisiin keskiarvoihin. Teknologian tutkimuskeskuksen kerrotaan koonneensa työkalun sisältävien materiaalien päästötietoja erinäisistä lähteistä. (Vähähiilisen rakentamisen neuvontapalvelu s.a.)

Käyttäjän on mahdollista korvata työkalun listaamat arvot omilla arvoillaan ja suorittaa hiilijalanjälkilaskennat tarkemmilla arvoilla. (Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 2019.)

2.4 Co2data.fi-päästötietokanta

Kaikille avoimen ja maksuttoman kansallisen päästötietokannan tehtävänä on tuoda tietoa Suomessa käytössä olevien yleisimpien ja tyypillisimpien rakennustuotteiden, prosessien ja palveluiden ilmastovaikutuksista. Laskennan tueksi päästötietokanta yhdenmukaistaa ilmastovaikutukset rakennuksen elinkaaren aikaisten päästöjen osalta ja ohjaa vähähiilistä rakentamista kohti. Päästötiedot perustuvat pääasiassa julkisiin rakennustuotteiden ympäristöselosteisiin. Tietokannasta saa hyödyllistä tietoa kaikki rakentamisen ilmastovaikutuksista kiinnostuneet henkilöt niin alan ammattilaiset kuin tutkijat. Suomen ympäristökeskus SYKE vastaa päästötietokannan ylläpidosta ja kehityksestä. (Rakentamisen päästötietokanta 2019)

2.5 Elinkaariarviomenetelmä One Click LCA

One Click LCA on ilmastoselvitykseen ja hiilijalanjälkilaskentaan kehitetty ohjelmisto. LCA (Life Cycle Assessment) lyhennettä käytetään elinkaariarviomenetelmästä. Kohti hiilineutraalia rakentamista edettäessä markkinoilta löytyy käyttötarkoitukseen lisäksi muita web-pohjaisia ohjelmistoja. One Click LCA -ohjelmistolla, joka on ympäristöministeriön hyväksymä ohjelmisto, voidaan laskea ympäristövaikutuksia erilaisten rakennusten elinkaarelle, päästöjä tai

toteuttaa erilaisia sertifikaatteja kiinteistöille. Ohjelmalla pystytään laskemaan mille tahansa kiinteistölle ympäristöministeriön mukainen vähähiilisyysarviointi. Päästötietokannan tietojen lisäksi ympäristöministeriön laajuus ja tietojen luotettavuuden tarkistus on sisällytetty itse ohjelmistoon. (Häkkinen & Kuittinen 2020; Life Cycle Assessment for Buildings 2021.)

2.6 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testirakennus

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Puu- ja hybridirakenteiden liitosten tiiveyden ja kosteuskäyttäytymisen hallinta eli PUUTIKO-hankkeessa rakennettiin testirakennus empiiristä tutkimusta varten. Testirakennus sijaitsee Savonlinnaan valmistuneen Teollisen puurakentamisen laboratorion välittömässä läheisyydessä. Erilaisten massiivipuu- ja hybridirakenteiden liittymien ja liitosten toimintaa sekä rakenteiden toimivuutta seurataan erilaisilla mittauksilla ja mittalaitteilla. Hankkeessa tuotetaan mittausdataa ja tietoa taloudellisten ja kestävien rakenneratkaisuiden sekä liitosten toimivuudesta Suomen ilmastossa.

Testirakennus on kaksi kerroksinen. Perusratkaisuna on käytetty paikalla valettua maanvaraista betonilaattaa. Kerrosala rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa on 21,9 m² ja toisessa kerroksessa 22,4 m², yhteensä 44,3 m². Testirakennuksessa on myös koneellisesti tuuletettu ryömintätilallinen alapohja.



Kuva 2. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testitalo



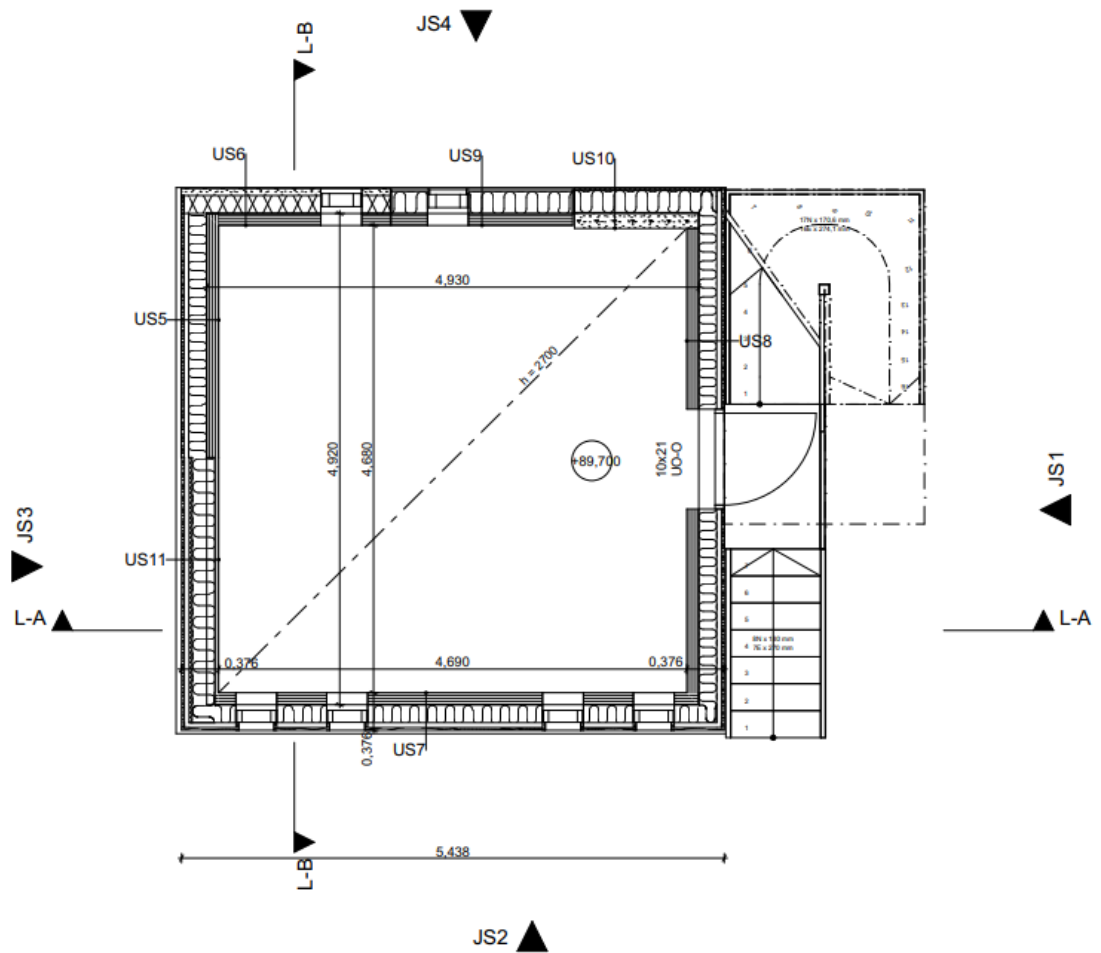
Kuva 3. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testitalo

Kuvasta kolme voi nähdä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testitalon erilaisia kantavia seinärakenteita.

3 LASKENNASSA KÄYTETYT RAKENNERATKAISUT

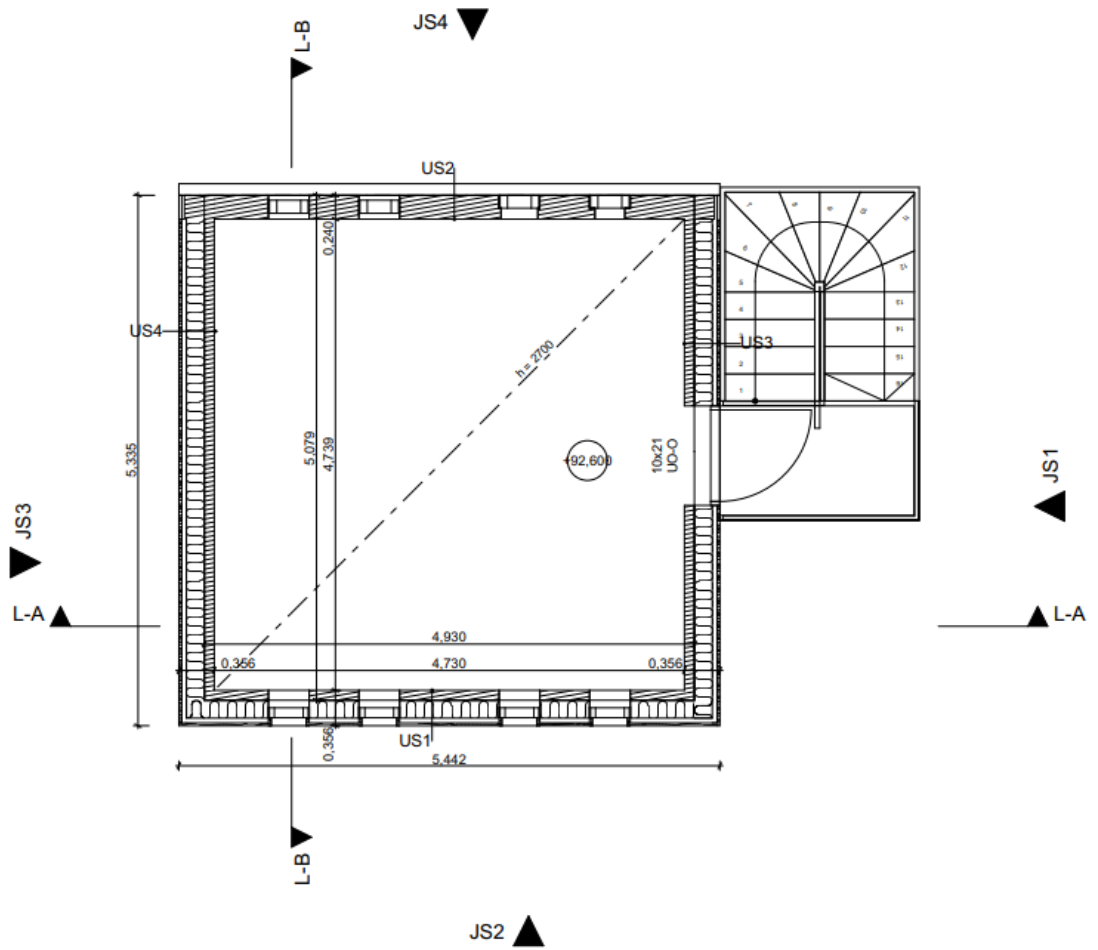
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testirakennukseen teollisesti esivalmistettuja kantavia rakennerratkaisuja on sijoitettu kahteen eri kerrokseen. Seinäelementtejä on yhteensä 11 kappaletta, jotka ovat rakennerratkaisuiltaan toisistaan poikkeavia.

Ensimmäisessä kerroksessa ratkaisut ovat LVL-, hybridi- ja betonielementtirakenteisia.



Kuva 4. Pohjapiirustus 1. kerros

Toisessa kerroksessa rakenneratkaisut ovat CLT-elementtirakenteisia.

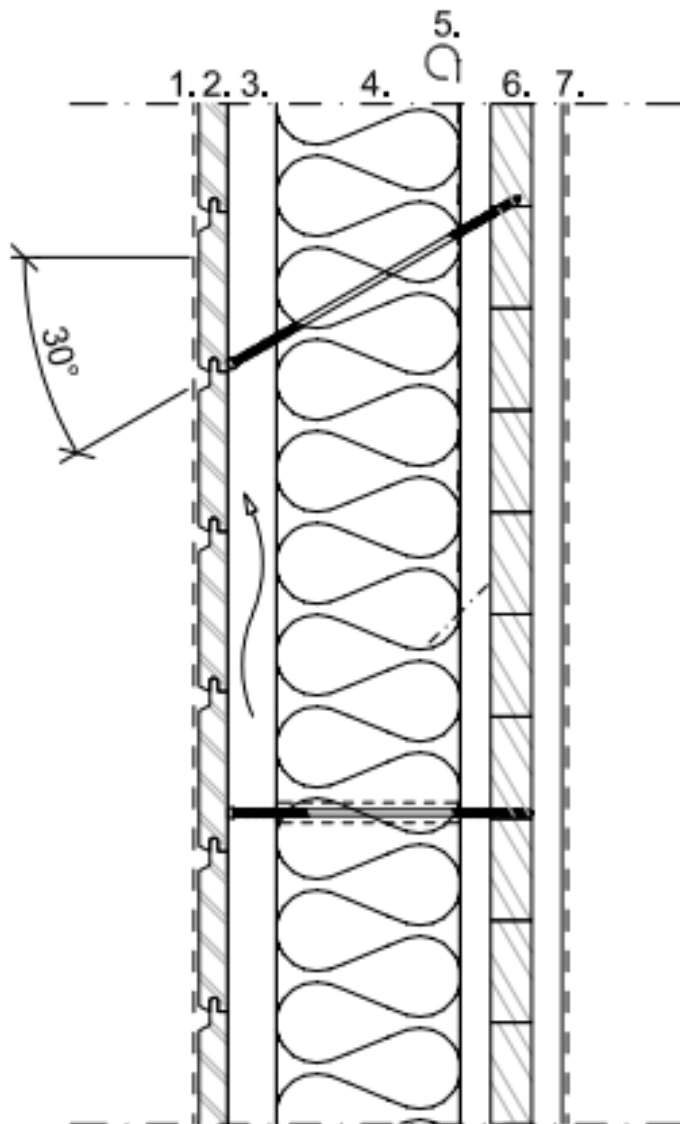


Kuva 5. Pohjapiirustus 2. kerros

Alle listattuna laskennassa ja vertailussa käytettävien seinärakenteiden rakennekuvat ja seinärakenteissa käytetyt materiaalit.

Rakenneleikkaus ja rakennekerrokset

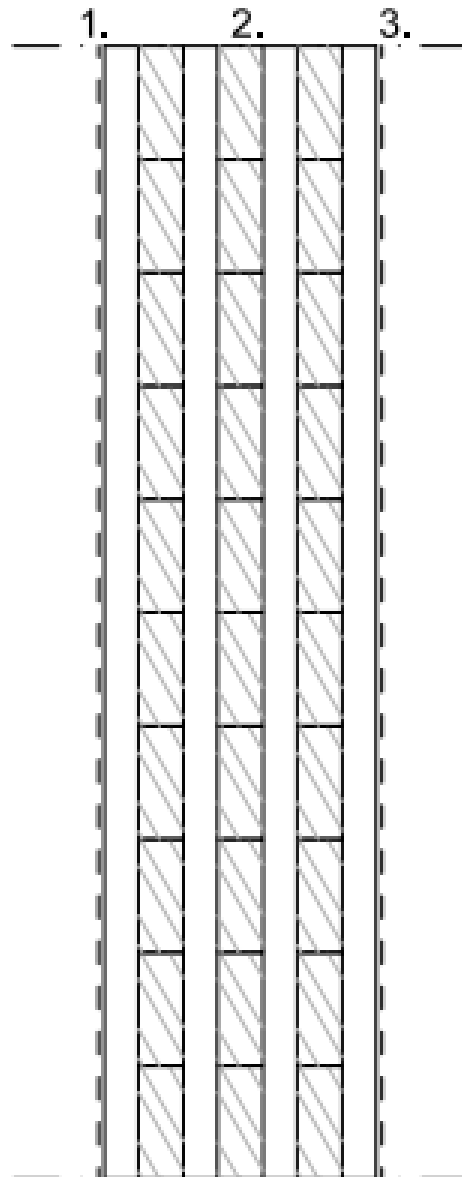
US1



Kuva 6. US1

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 28 mm Ulkoverhouspaneeli 28x170 mm UTV
3. 48 mm Pystykoolaus ST 48x98 mm k600 C24 + tuuletusrako
4. 180 mm Jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella Paroc Cortex One
 $\lambda_d \leq 0.033 \text{ W/m}^2\text{K}$
5. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas Pro Clima Solitex Adhero
6. 100 mm CLT 3-100-30 – Kantava CLT-levy (Syrjäliimaamaton)
7. Pintamateriaali / -käsittely

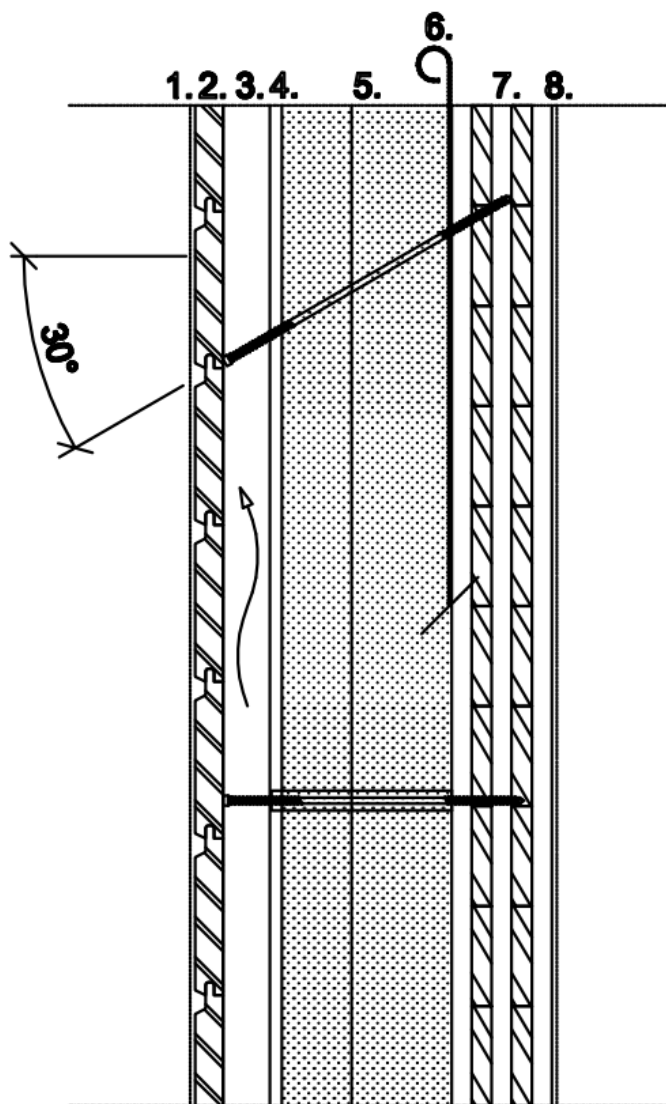
US2



Kuva 7. US2

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 240 mm CLT 7-240-30 – Kantava CLT-levy (Syrjäliimaamaton)
3. Pintamateriaali / -käsittely

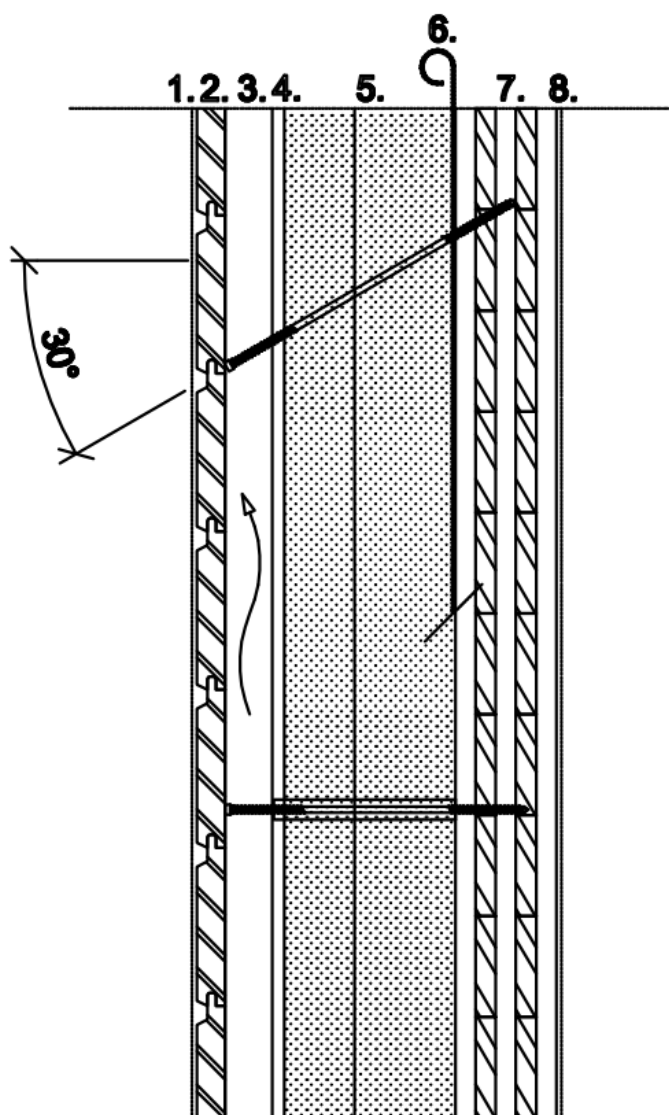
US3



Kuva 8. US3

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 28 mm Ulkoverhouspaneeli 28x170 mm UTV
3. 48 mm Pystykoolaus ST 48x98mm k600 C24 + tuuletusrako
4. 12 mm Tuulensuojalevy Hunton puukuitu
5. 100 mm + 70 mm Jäykkä puukuitueristelevy Hunton
6. Ei vesihöyryä läpäisevää ilmansulkukangasta rakenteessa
7. 100 mm CLT 5-100-20 – Kantava CLT-levy
8. Pintamateriaali / -käsittely

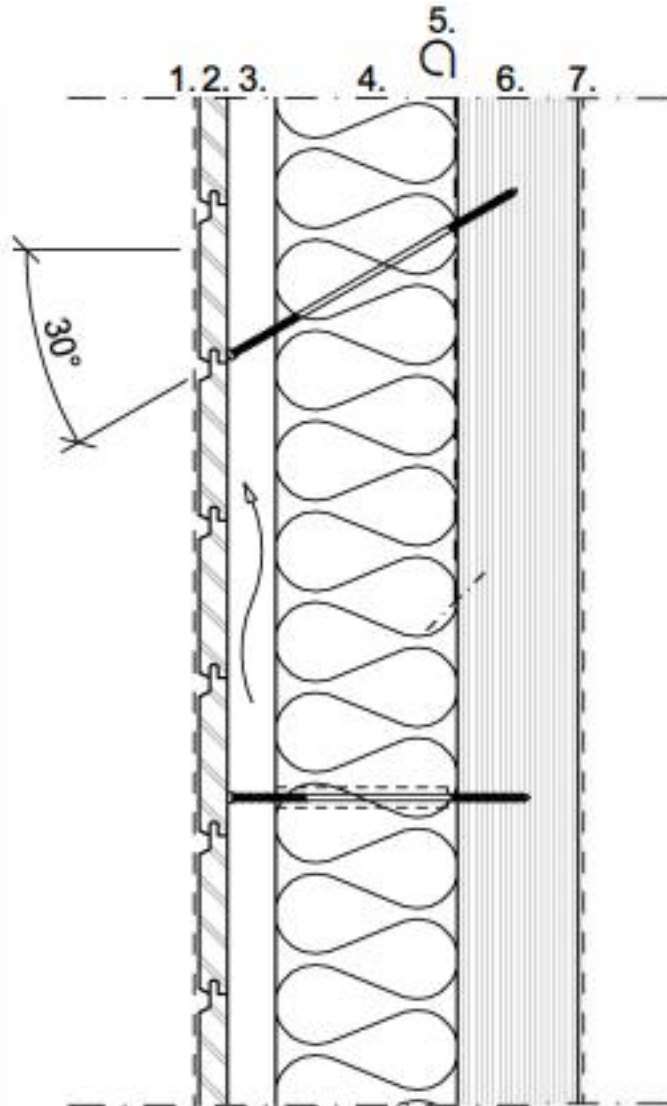
US4



Kuva 9. US4

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 28 mm Ulkoverhouspaneeli 28x170 UTV
3. 48 mm Pystykoolaus ST 48x98 mm k600 C24 + tuuletusrako
4. 12 mm Tuulensuojalevy Hunton puukuitu
5. 100 mm + 70 mm Jäykkä puukuitueristelevy Hunton
6. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas Pro Clima Solitex Adhero
7. 100 mm CLT 5-100-20 – Kantava CLT-levy (Syrjäliimaamaton)
8. Pintamateriaali / -käsittely

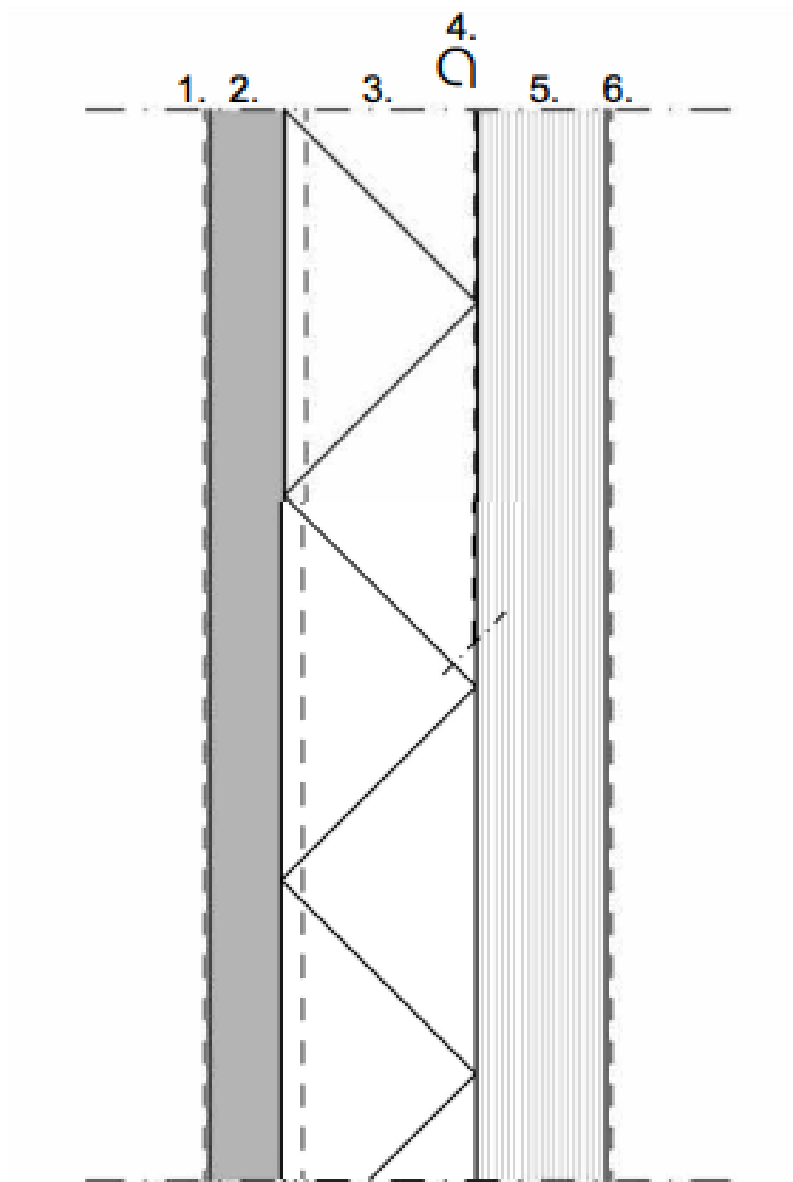
US5



Kuva 10. US5

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 28 mm Ulkoverhouspaneeli 28x170 UTV
3. 48 mm Pystykoolaus ST 48x98 mm k600 C24 + tuuletusrako
4. 180 mm Jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella Paroc Cortex One
 $\lambda_d \leq 0.033 \text{ W/m}^2\text{K}$
5. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukalvo Isover vario Extra
6. 120 mm Kerto-Q LVL – Kantava LVL-levy
7. Pintamateriaali / -käsittely

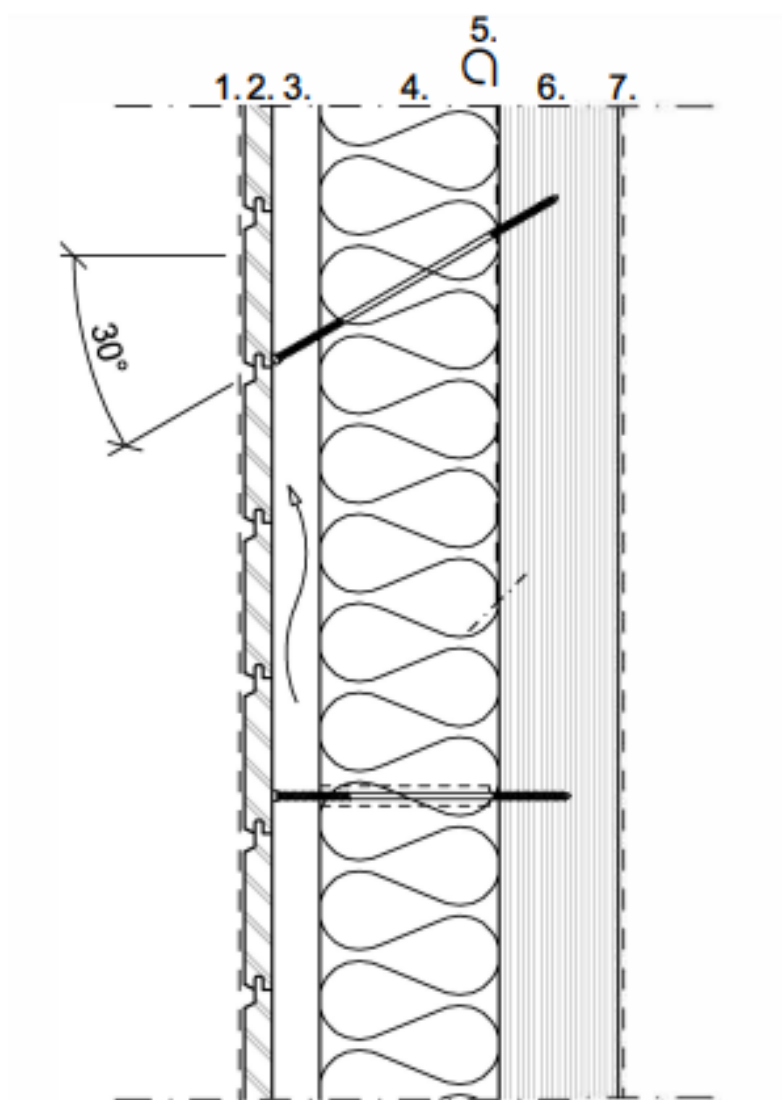
US6



Kuva 11. US6

1. Pintakäsittely
2. 70 mm Teräsbetoni, ulkokuori
3. 180 mm Jäykkä kivivillalevy Paroc COS 5ggt $\lambda_d \leq 0.035 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas Pro Clima Solitex Adhero
5. 120 mm Kerto-Q LVL – Kantava LVL-levy
6. Pintamateriaali / -käsittely

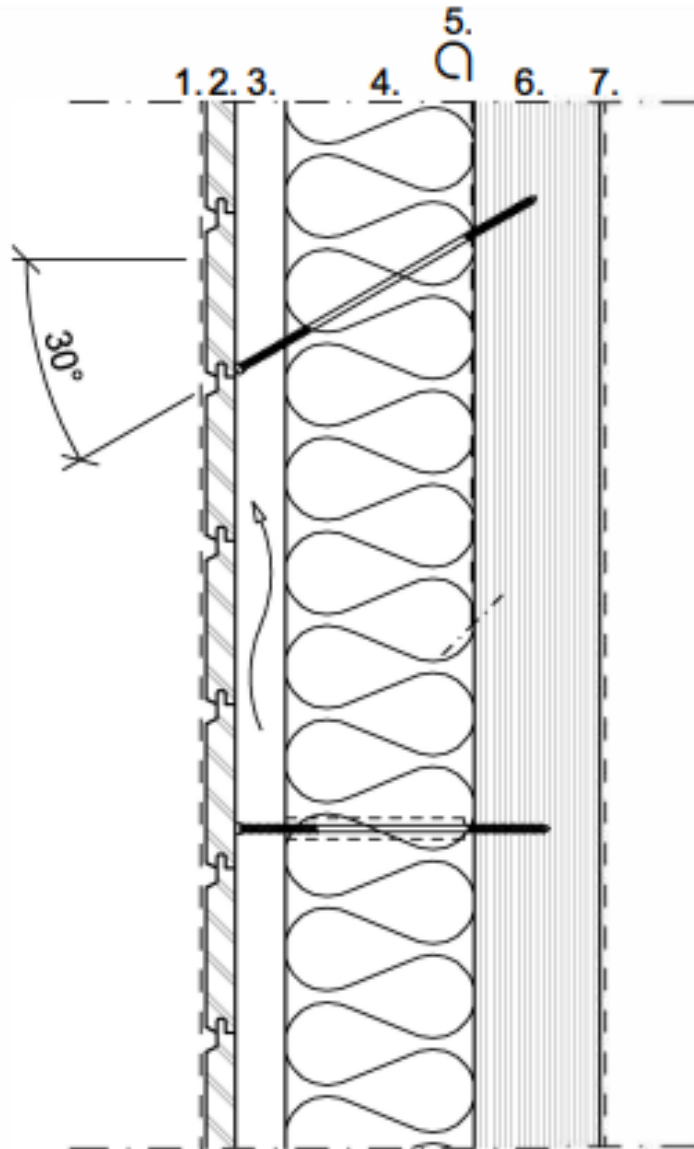
US7



Kuva 12. US7

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 28 mm Ulkoverhouspaneeli 28x170 mm UTV
3. 48 mm Pystykoolaus ST 48x98 mm k600 C24 + tuuletusrako
4. 180 mm Jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella Paroc Cortex One
 $\lambda_d \leq 0.033 \text{ W/m}^2\text{K}$
5. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas Pro Clima Solitex Adhero
6. 120 mm Kerto-Q LVL – Kantava LVL-levy
7. Pintamateriaali/ -käsittely

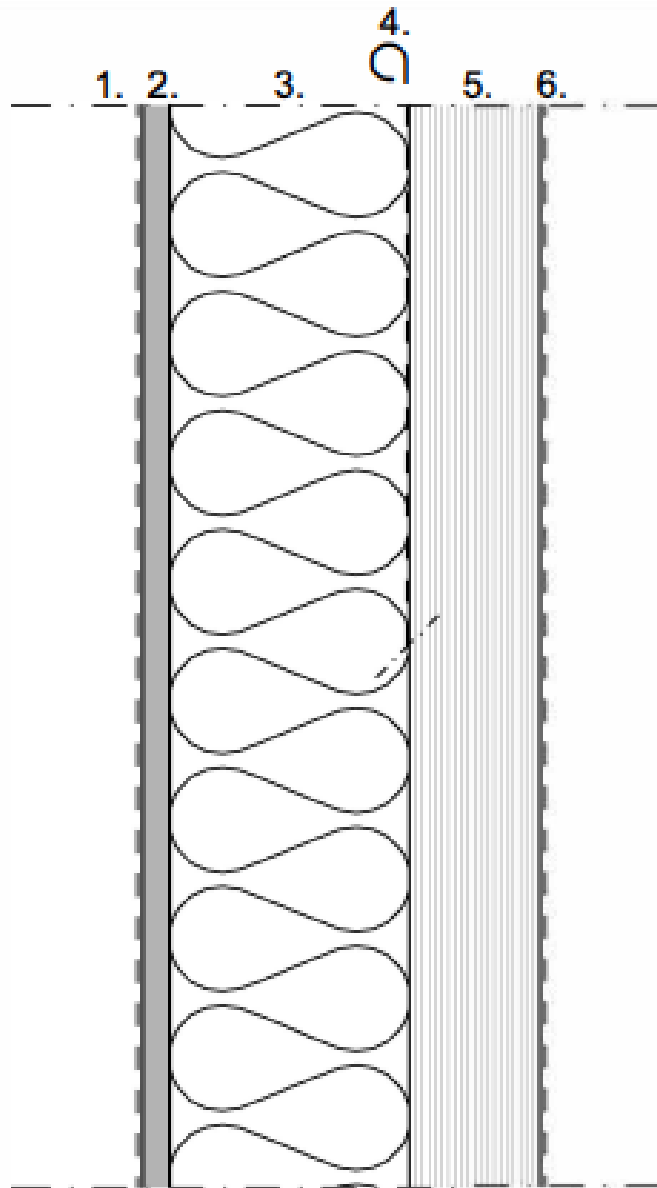
US8



Kuva 13. US8

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 28 mm Ulkoverhouspaneeli 28x170 mm UTV
3. 48 mm Pystykoolaus ST 48x98 mm k600 C24 + tuuletusrako
4. 180 mm Jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella Paroc Cortex One
 $\lambda_d \leq 0.033 \text{ W/m}^2\text{K}$
5. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas Pro Clima Solitex Adhero
6. 120 mm Kerto-Q LVL – Kantava LVL-levy
7. Pintamateriaali/ -käsittely

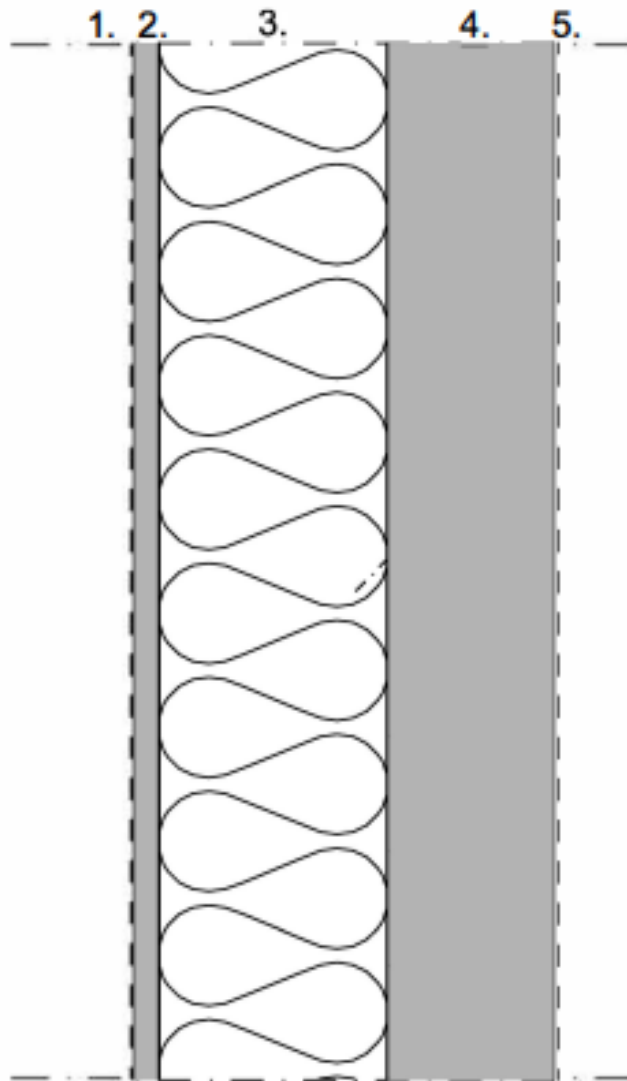
US9



Kuva 14. US9

1. Pintakäsittely
2. 25 mm Parma tehdasrappaus
3. 220 mm Mineraalivillalevy Isover OL-E $\lambda_d \leq 0.035 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas Pro Clima Solitex Adhero
5. 120 mm Kerto-Q LVL – Kantava LVL-levy
6. Pintamateriaali / -käsittely

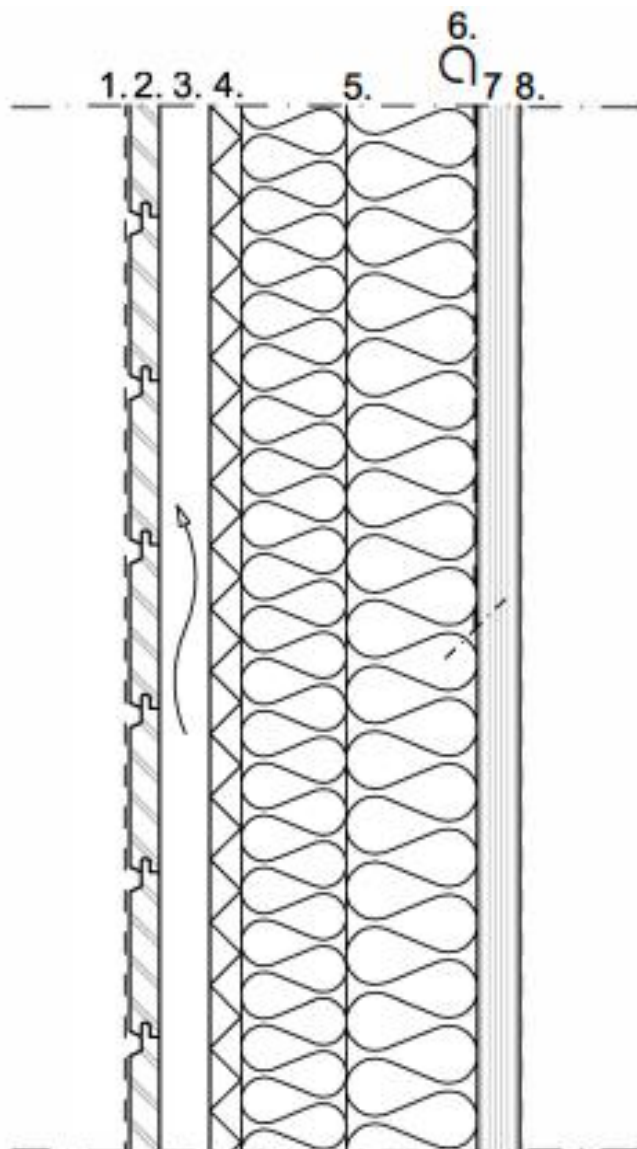
US10



Kuva 15. US10

1. Pintakäsittely
2. 25 mm Parma tehdasrappaus
3. 220 mm Mineraalivillalevy Isover OL-E $\lambda_d \leq 0.035 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. 160 mm Teräsbetoni, sisäkuori
5. Pintamateriaali / -käsittely

US11



Kuva 16. US11

1. Pintakäsittely maalaus / palosuojamaalaus
2. 28 mm Ulkoverhouspaneeli 28x170 mm UTV
3. 48 mm Pystykoolaus ST 48x98 mm k600 C24 + tuuletusrako
4. 30 mm Tuulensuojakivivilla Paroc Cortex Pro $\lambda_d \leq 0.032 \text{ W/m}^2\text{K}$
5. 225 mm Runkotolpat LVL 39x225 mm k600 + Kivivillaeriste Paroc Extra $\lambda_d \leq 0.036 \text{ W/m}^2\text{K}$
6. Vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas Pro Clima Solitex Adhero
7. 40 mm Kerto-Q LVL
8. Pintamateriaali / -käsittely

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tässä opinnäytetyössä arviointi hiilijalan- ja hiilikädenjäljelle rajataan SFS-EN 15978 ilmoitettuihin moduuleihin A1–A3 ja C1–C3. Moduulit A1–A3 sisällyttävät raaka-aineiden hankinnat, kuljetukset valmistukseen ja itse tuotteiden valmistuksen. Moduuleissa C1–C3 laskentaan sisältyvät purkaminen, kuljetukset jatkokäsittelyihin ja purkujätteiden käsittely. (SFS-EN 15978. 2012.) Kaikille laskennassa käytetyille rakenteille käyttöaika-arvioksi asetetaan 50 vuotta, koska arvioiminen on rajattu valmistukseen ja purkamiseen, eikä arvioinnin aikana tapahdu korjausrakentamista. Arviointia tehdessä, hiilijalan- ja hiilikädenjälki lasketaan yhden aukottoman neliön kokoiselle rakenteelle. Arviointi toteutetaan kaikille Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testirakennuksen rakennetyypeille ympäristöministeriön arviointityökalulla sekä One Click LCA -ohjelmistolla.

4.1 Ympäristöministeriön arviointityökalu

Excel-pohjaisen arviointityökalulla laskenta aloitetaan täyttämällä lähtötiedot arvioitavalle kohteelle. Kerrosalaksi ja lämmitetyksi nettoalaksi on merkitty luku 1 m², koska arviointi tehdään jokaisen erilaisen seinärakenteen seinäneliöstä syntyville ilmastokuormituksille.

Yhteenveto

Lähtötiedot		
Rakennuskohteen tiedot	Kohteen nimi*	PUUTIKO-testitalo
	Rakennustunnus	US1
	Osoite	Vipusenkatu 12
	Rakennustyyppi	Asuinrakennukset
Rakennuksen tekniset tiedot	Kerrosala [km ²]	1
	Lämmitetty nettoala [m ² _{netto}]*	1
	Kerrosten lukumäärä	
	Kellarikerrosten lukumäärä	
	Pääasiallinen runkomateriaali	Puu
Laskennan tiedot	Energialuokka	
	Laskenta-ajanjakso*	50
	Arvioinnin tekovaihe	
	Käytetty arviointitapa	Yksinkertaistettu
	Rakennuksen arvioitu käyttöönottovuosi*	2023

*pakollinen tieto

Kuva 17. Perustietojen syöttäminen arviointityökaluun

Halutun rakennetuotteen tai palvelun löytämisen jälkeen palvelusta nähdään suoraan ympäristöindikaattorit. Konservatiivinen arvo GWP (Global warming potential) kuvastaa vaikutuspotentiaalia ilmaston lämpenemiseen kyseisen rakennusmateriaalin kohdalla.

Ympäristöindikaattorit

GWP (A1-A3), KONSERVATIIVINEN ARVO Ilmastoselvityksen laskennassa käytettävä arvo	0.2 kg CO ₂ e /kg	
GWP (A1-A3 FOSSIL), TYPILLINEN ARVO Ei käytetä rakentamislupaa haettaessa	0.17 kg CO ₂ e /kg	
GWP A1-A3 BIOGENIC Ilmastoselvityksen laskennassa käytettävä arvo	-1.6 kg CO ₂ e /kg	
GWP C3 Ilmastoselvityksen laskennassa käytettävä arvo	0.02 kg CO ₂ e /kg	
GWP C3 BIOGENIC Ilmastoselvityksen laskennassa käytettävä arvo	1.6 kg CO ₂ e /kg	
HIILIKÄDENJÄLKI Ilmastoselvityksen laskennassa käytettävä arvo	D2 Energy recovery D4 Carbon storage effect	-0.06 kg CO ₂ e /kg -1.6 kg CO ₂ e /kg
KONSERVATIIVISEN ARVON KERROIN A1-A3 fossil	1.2	
HUKKAKERROIN Hukka rakennustyömaalla	1.05	
MATERIAALISISÄLTÖ	Wood, natural fibre Other	99 % 1 %
UUSIUTUVIEN MATERIAALIEN OSUUS (%)	99 %	
KIERRÄTYSMATERIAALIEN OSUUS (%)	-	
HAITALLISTEN AINEIDEN OSUUS (%), (SVHC)	<0,1 %	
ELINKAAREN JÄLKEINEN SKENAARIO (%)	Reuse Recycled as secondary rawmaterial Energy recovery Final disposal Hazardous waste to be removed from use	0 % 0 % 100 % 0 % 0 %
MUUNNOSKERROIN	Density, kg/m ³	470

Kuva 20. Co2data.fi hakukoneen esikatselu ristiinliimatusta puusta (CLT)

Ympäristöselostekirjastosta on löydettävissä tuotekohtaisesti tarkennettu taustaraportti. Raportista löytyy lähde ympäristöselosteelle, josta taustaraportin tiedot ovat poimittu. Laskenta-arvojen lisäksi raportista löytyy tietoa tuotteiden valmistusprosessista, määristä ja tuotteen teknisistä ominaisuuksista. Taustaraportissa on koottuna yhteen eri valmistajien tuotteita.

RTS EPD RTS_110_21 CROSSLAM KUHMO CLT OY CROSSLAM KUHMO LTD https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rts-epd_110-21_crosslam-corrected.pdf	GWP fossil (A1 – A3)	0.183	CLT-boards manufactured by Crosslam have been used as the building material for public buildings, blocks of flats, nursing homes, detached houses, holiday homes, noise barriers, nonsettling logs and many other constructions and construction components. Moisture content 6-15%. Material contents: - spruce or pine 99% - Isocyanate pre-polymer <1% - packing<1% Declared unit 1 m ³ . Mass per declared unit 485 kg. Biogenic carbon content 215.25 kg (C) → carbon storage 1.63 kg CO ₂ /kg GWP(A1-A3)fossil=88.9 kg/m ³ → 0.183 kg/kg
	Carbon handprint (D)	1.63	
	Carbon storage		
	The content of renewable raw materials	99 %	
	The content of secondary materials		
Substances of Very High Concern	<0.1%		
End-of life-scenario Alternative scenarios given: Reuse, recycling, materials for energy recovery (incineration), landfilling.		for energy recovery	

Kuva 21. Ristiinliimatun puun (CLT) taustaraportti Co2data.fi sivustolta

Tapauksissa, joissa ympäristöselostetta ei välttämättä suoraan löydy Co2data.fi:n ympäristöselostekirjastosta käytettiin valmistajan tuoteselosteista löytyviä arvoja.

Halutuille rakennustuotteille syötettyjen laskenta-arvojen ja määrien jälkeen arviointityökalu käyttää keskiarvoa kuljetuksille, joka perustuu ympäristöministeriön menetelmässä ilmoitettuihin keskiarvoihin. Moduulille A4 työkalu ei anna mahdollisuutta nollata oletusarvoja. Moduulille A5 työkalussa on mahdollista sen pois jättäminen laskennasta muuttamalla välilehdellä olevan työmaatoiminnot (A5) solun tiedot tarkemmilla arvoilla. Tarkempiin arvoihin syötettiin nolla, jolloin solu tyhjentyy, eikä sitä oteta huomioon arvioinnissa.

Valmistus, kuljetus ja työmaa -vaiheiden päästöjen arviointi (A)

	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a
Ennen käyttöä syntyvät päästöt yhteensä	0,37	-1,80
Valmistus ja kuljetusvaihe (A1-4)	0,37	-1,80
Tontti		
Kantavat rakenteet	0,20	-1,46
Vaippa	0,18	-0,34
Kevyet rakenteet		
Talotekniikka		

Valmistusvaiheen päästöjen tulokset muodostuvat automaattisesti välilehdellä 'Materiaaliluettelo' annettujen arvojen perusteella.

Työmaatoiminnot (A5)

Työmaatoimintojen arvot perustuvat neliometrikohtaiseen taulukkoarvoon.

Työmaatoiminnot (A5) tarkennettu laskenta

Kuva 22. Työkalun välilehti valmistus-, kuljetus- ja työmaavaiheiden päästöjen arviointiin

Arviointityökalu antaa moduuleille C1–C3 valmiiksi lasketut arvot merkittyjen ja annettujen materiaalien mukaan. Tietoja rakenteiden purkamisesta, jätteenkäsittelyistä ja loppusijoituksesta käytetään sellaisina kuin arviointityökalu ne ilmoittaa, koska arviointiin ei sisälly erilaisia korjausrakentamisen tapauksia.

Elinkaaren lopun päästötiedot

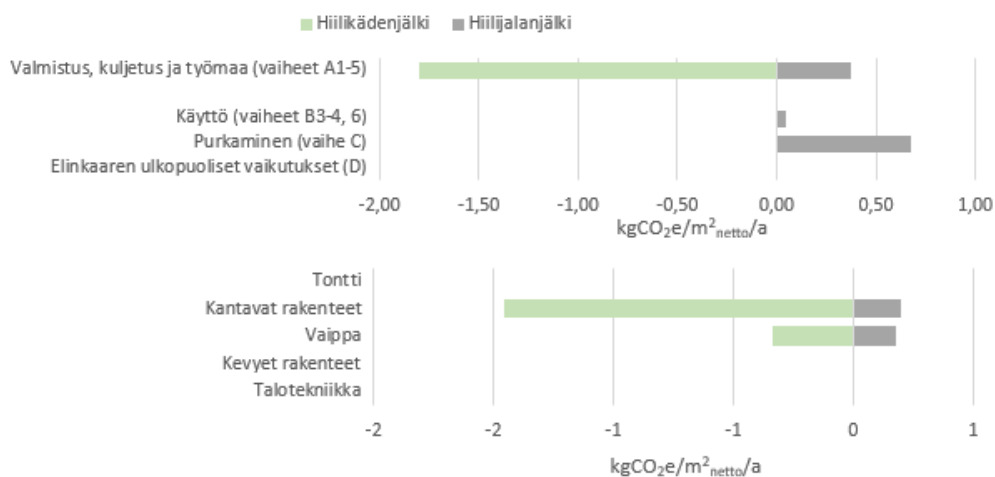
	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a
Elinkaaren lopussa syntyvät päästöt yhteensä	0,67	
Purkaminen (C1)	0,16	
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.		
Kuljetukset (C2)	0,20	
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.		
Purkujätteen loppukäsittely ja sijoitus (C3-4)	0,31	
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.		
Elinkaaren ulkopuolella syntyvät hyödyt (D)		
Jos uudelleenkäytön tai kierrätyksen avulla vältetyt nettopäästöt on laskettu, syötä tarkemmat tiedot oheisen painikkeen avulla. Muussa tapauksessa elinkaaren ulkopuolisia vaikutuksia ei huomioida.		

Kuva 23. Päästötiedot arviointityökalussa ristiinliimatun puun (CLT) moduuleille C1–C3

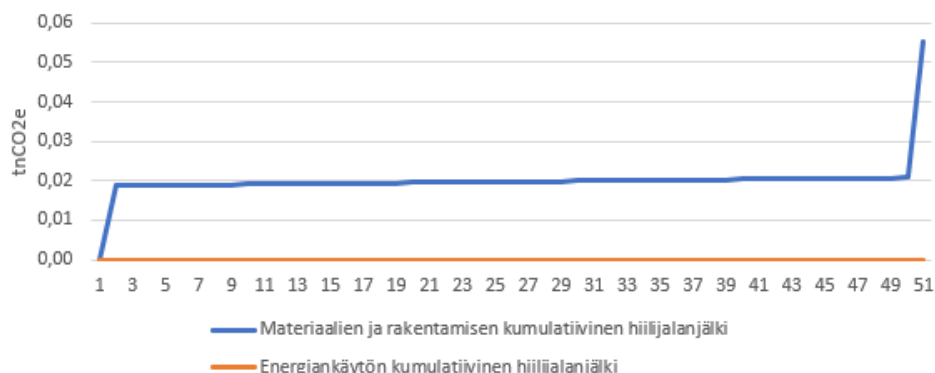
Elinkaariarvioinnin tulokset koostuvat Excel-tiedoston ensimmäiselle välilehdelle (Yhteenveto), syötettyjen lähtötietojen alle. Arviointityökalu erittelee hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen moduulikohtaisesti omaan taulukkoon, sekä ilmoittaa eri rakennusosien hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkiarvot. Tuloksista on

myös nähtävissä hiilijalanjäljen muutos energiankäytön osalta rakennuksen elinkaaren ajalta.

Elinkaariarvioinnin tulokset	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	tn CO ₂ e	tn CO ₂ e
Elinkaaren aikana syntyvät kokonaispäästöt (A-D)	0	0
	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a
Vuotuiset päästöt lämmitettyä nettoalaa kohden (A-D)	1,09	-1,80
Valmistus, kuljetus ja työmaa (vaiheet A1-5)	0,37	-1,80
Tontti		
Kantavat rakenteet	0,20	-1,46
Vaippa	0,18	-0,34
Kevyet rakenteet		
Talotekniikka		
Käyttö (vaiheet B3-4, 6)	0,04	
Purkaminen (vaihe C)	0,67	
Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D)		



Kumulatiiviset vuotuiset päästöt

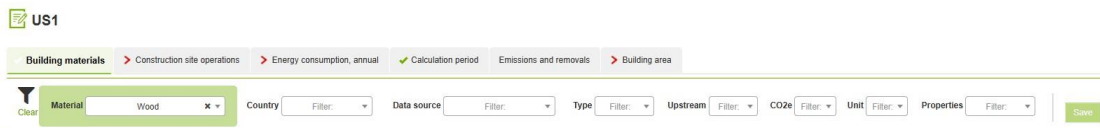


Kuva 24. Elinkaariarvioinnin tulosten yhteenveto CLT rakenteisen ulkoseinän hiilijalan- ja hiilikädenjäljestä

4.2 Elinkaariarvioinnin One Click LCA -ohjelmiston käyttö opinnäytetyössä

One Click LCA -ohjelmistolla elinkaariarviointi aloitetaan syöttämällä kohteelle tarvittavat lähtötiedot. Ohjelmiston käyttötarkoitus on pääosin kokonaisvaltaisille rakennusprojekteille, mutta myös yksittäisten rakenteiden ja rakennustarvikkeiden arviointi onnistuu. Ohjelmistoa käyttäessä on tärkeää huomioida, että valitaan laskennalle haluttu ja oikea standardi arviointimenetelmälle. Laskentaa tehtäessä ennen materiaalien valintaa on merkittävä arviointijakson pituus sekä lämmitetyn pinta-alan määrä, jolla laskentaa suoritetaan.

Ohjelmistosta itsestään löytyy todella kattava tietopankki erilaisista rakentamisessa käytettävistä materiaaleista. Tietopankin päivittämistä tehdään jatkuvasti uusien materiaalien lisäämisen myötä. Materiaalivalinnassa voidaan etsiä vetovalikosta haluttua materiaalia suoraan materiaalikategorioittain tai kirjoittamalla hakukenttään. Hakuun voidaan lisätä rajoitteet esimerkiksi maan, lähtötietojen alkuperän, tyyppien ja hiilidioksidipäästön määrän mukaan.



Kuva 25. One Click LCA -ohjelmiston materiaalihaku

Kun halutut laskennassa käytettävät materiaalit ovat löytyneet, lisätään ne laskentapohjalle niille kuuluviin kohtiin. Laskentapohjassa on eriteltyinä materiaalit maanrakennukselle ja perustuksille, pystyrakenteille (pilarit, seinät) ja vaipalle, vaakarakenteille (palkit, lattiat, kattorakenteet), muut rakenteet ja materiaalit, piha-alueet sekä rakennuksessa käytettävät talotekniikan laitteet.

Valinnan jälkeen materiaalmäärät voidaan merkitä kilogrammoina, neliömetrinä tai kuutioina. Materiaalien paksuudet merkitään millimetreinä. Kuljetukset voidaan muuttaa kuljetustavasta ja sijainnista riippuen sekä yksittäisen materiaalin käyttöikä. Laskentaa tehdessä käytettiin ohjelmiston itse antamia arvoja. Ohjelmisto antaa myös prosentteina materiaaleista aiheutuvat hukkamäärät, joita aiheutuu työmaalla ja sisällyttää ne laskentaan. Tässä tapauksessa on hyvä huomioida hukkamateriaalin määrä esivalmistettujen rakennusosien kohdalla. Lisäksi laskentaan voidaan merkitä, jos tuotteissa tai materiaalissa on uusiokäyttöä.

2. Vertical structures and facade 0.74 kg CO₂e - 100 %

External walls and facade Create a group Move materials Add to compare

Start typing or click the arrow

Resource	Quantity	CO ₂ e	Comment	Building part	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers	Service life	Wastage	Reused material
CLT, Cross laminated timber, 470 kg ?	0.1 m3	0.23kg - 31%		1241 Julkisivut, Ulkoseinät	91.8 Transport, semi-trailer	10.2 Transport, semi-trailer	As building	None	<input type="checkbox"/>
Polyethylene vapour barrier membran ?	1.0 m2	0.02kg - 3%		1241 Julkisivut, Ulkoseinät	91.8 Transport, semi-trailer	10.2 Transport, semi-trailer	30	10 %	<input type="checkbox"/>
Rock wool (mineral wool) insulation ?	1.0 m2	0.17kg - 23%		1241 Julkisivut, Ulkoseinät	91.8 Transport, semi-trailer	10.2 Transport, semi-trailer	As building	8 %	<input type="checkbox"/>
Heat treated planed timber for out ?	0.028 m3	0.32kg - 43%		1241 Julkisivut, Ulkoseinät	91.8 Transport, semi-trailer	10.2 Transport, semi-trailer	As building	17.9 %	<input type="checkbox"/>

Kuva 26. Valittuja seinärakenteiden materiaaleja One Click LCA -ohjelmistolla

Materiaalitietojen ollessa valittuina ja laskettuna määrällisesti voidaan suorittaa kyseisille materiaaleille itse elinkaarilaskenta. Tulokset välilehdellä voidaan tarkastella käytettyjen materiaalien ilmastovaikutuksia niin hiilijalanjäljen, kuin hiilikädenjäljen osalta. Tulokset on lajiteltu moduuleittain elinkaarelle. Laskenta ilmoittaa myös materiaaleista tulevat hyödyt uudelleenkäytön kannalta. Ohjelmisto antaa tuloksien havainnollistamiseen diagrammit ilmastokuormituksen osalta, (Kuva 28.) sekä laskennassa käytettyjen materiaalien ympäristöselosteiden alkuperän. (Kuva 29.)

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a
A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	0,69	-1,18		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	0,62	-1,25		Details
A4 Transportation to site	0,01	0,01		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,06	0,06		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 Energy consumption				Hide empty
C End of life impacts (module C)	0,04	1,91		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,01	0,01		Details
C3 Waste processing	0,02	1,89		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	0,74	0,74		Details

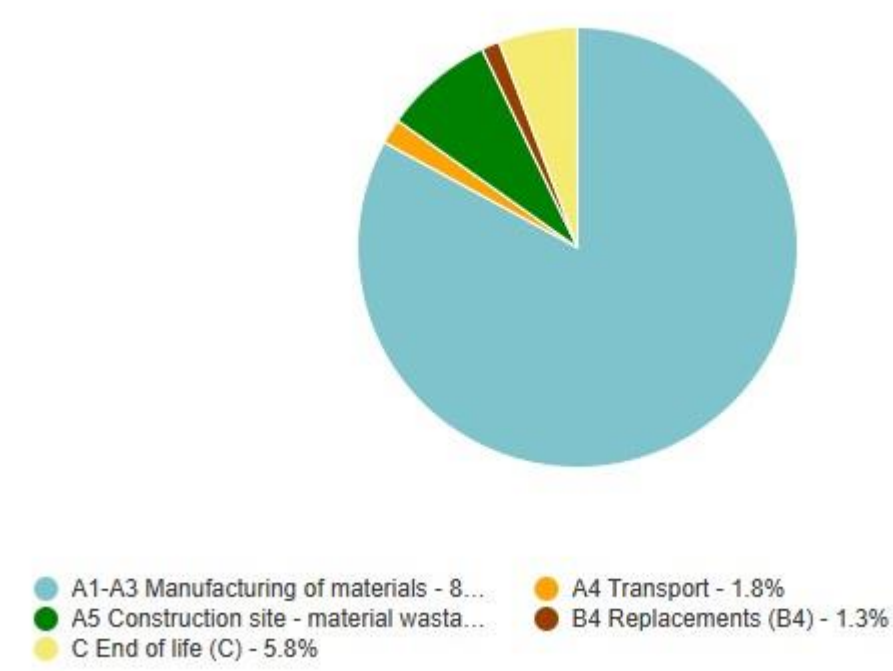
Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-0,88	-0,88		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-1,87	-1,87		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-2,75	-2,75		Details

Kuva 27. Esimerkki US1-seinärakenteen tuloksista One Click LCA -ohjelmistolla.

Global warming kg CO₂e/m²/a - Life-cycle stages



Kuva 28. Diagrammi hiilijalanjäljen määrästä US1-seinärakenteessa

▼ Data sources

Sources

Resource name	Technical specification	Product	Manufacturer	EPD program	EPD number	Environment Data Source	Standard	Verification	Year	Country	Upstream database	Density	Product Category Rules (PCR)	Notes about PCR	Performance ranking	Download EPD
CLT, Cross laminated timber	470 kg/m ³ , moisture content 12%			CO2data	-	SYKE, CO2data.fi, conservative values, version 1.00.003, 2021-08-23	EN15804+A1	Internally verified	2020	finland	-	470.0	-	-		Download EPD
Heat treated planed timber for outdoor use	390 kg/m ³ , moisture content 5%			CO2data	-	SYKE, CO2data.fi, conservative values, version 1.00.003, 2021-08-23	EN15804+A1	Internally verified	2020	finland	-	390.0	-	-		Download EPD

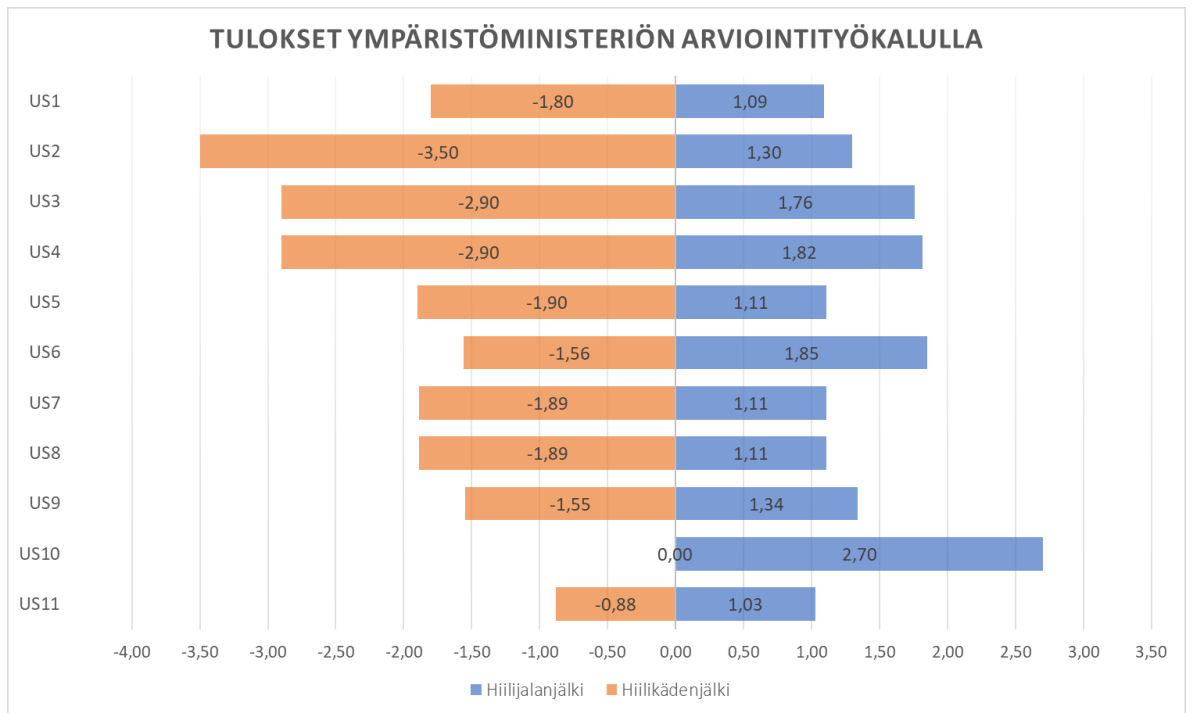
Kuva 29. Esimerkki materiaalien ympäristöselosteiden alkuperästä

5 TULOKSET

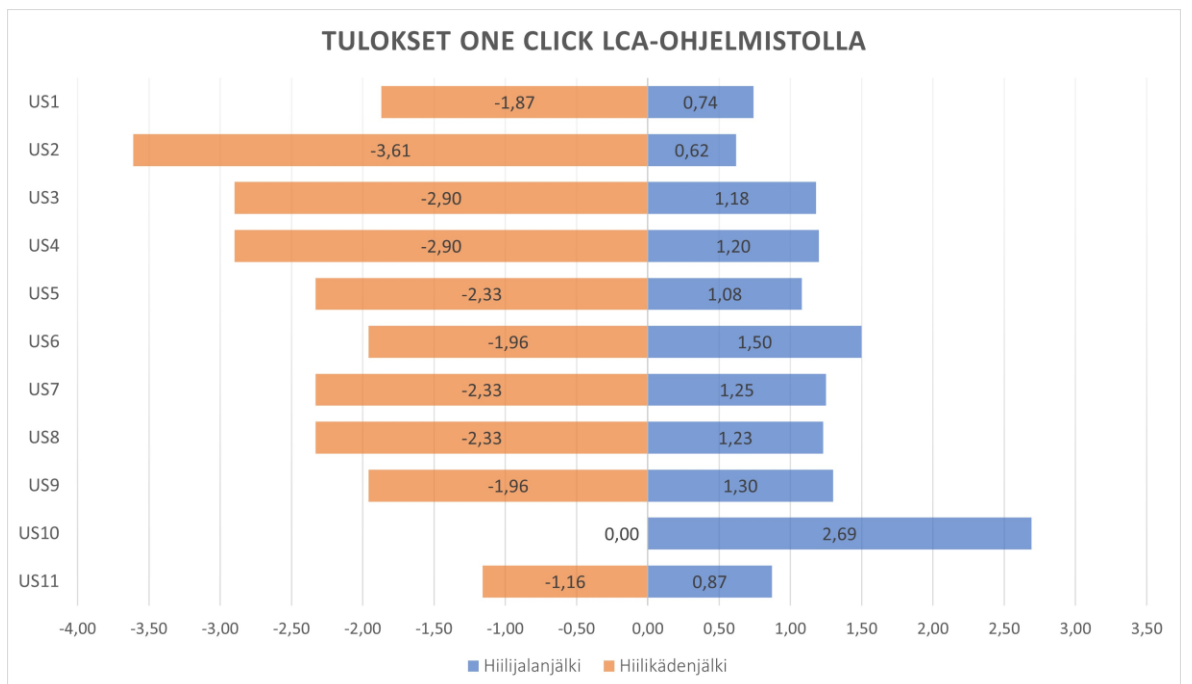
Elinkaariarviointi toteutettiin ympäristöministeriön arviointityökalulla sen sisältämien laskennallisten keskiarvojen, sekä ympäristöselosteissa ilmoitettujen arvojen mukaisesti. One Click LCA -ohjelmistolla laskenta suoritettiin ohjelmistosta löytyvien ympäristöselosteiden mukaan. Molemmassa tapauksissa käyttöikä rajattiin 50 vuoteen ja laskennassa käytetty lämmitetty nettopinta-ala oli yksi neliometri.

Rakenneratkaisut seinäkohtaisesti tulosten tarkasteluun.

- US1** 100 mm kantava CLT-levy, vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas, 180 mm jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella, 48 mm pystykoolaus C24, 28 mm ulkoverhouspaneeli
- US2** 240 mm kantava CLT-levy, pintakäsittely
- US3** 100 mm kantava CLT-levy, 100 + 70 mm jäykkä puukuitueristelevy, 12 mm tuulensuojalevy puukuitu, 48 mm pystykoolaus C24, 28 mm ulkoverhouspaneeli
- US4** 100 mm kantava CLT-levy, vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas, 100 + 70 mm jäykkä puukuitueristelevy, 12 mm tuulensuojalevy puukuitu, 48 mm pystykoolaus C24, 28 mm ulkoverhouspaneeli
- US5** 120 mm kantava LVL-levy, vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukalvo, 180 mm jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella, 48 mm pystykoolaus C24, 28 mm ulkoverhouspaneeli
- US6** 120 mm kantava LVL-levy, vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas, 180 mm jäykkä kivivillalevy, 70 mm teräsbetoni
- US7** 120 mm kantava LVL-levy, vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas, 180 mm jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella, 48 mm pystykoolaus C24, 28 mm ulkoverhouspaneeli
- US8** 120 mm kantava LVL-levy, 180 mm jäykkä kivivillalevy tuulensuojapinnoitteella, 48 mm pystykoolaus C24, 28 mm ulkoverhouspaneeli
- US9** 120 mm kantava LVL-levy, vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas, 220 mm mineraalivillalevy, 25 mm Parma tehdasrappaus
- US10** 160 mm kantava teräsbetoni, 220 mm mineraalivillalevy, 25 mm Parma tehdasrappaus
- US11** 40 mm LVL-levy, vesihöyryä läpäisevä ilmansulkukangas, 225 mm LVL-runkotolpat + kivivillaeriste, 30 mm tuulensuojakivivilla, 48 mm pystykoolaus C24, 28 mm ulkoverhouspaneeli



Kuva 30. Tulokset ympäristöministeriön arviointityökalulla



Kuva 31. Tulokset One Click LCA -ohjelmistolla

5.1 Tulosten tarkastelu

Elinkaariarvioinnin tuloksia tarkasteltaessa ensimmäisenä voidaan havaita teräsbetoninen elementtiseinä US10, joka tuotti laskennassa suurimman hiilijalanjäljen 2,69 kg CO₂-e/m²/a sekä pienimmän hiilikädenjäljen 0 kg CO₂-e/m²/a One Click LCA -ohjelmistolla. Tulos on ympäristöministeriön laskentatyökaluun verrattaessa miltei sama 2,7 kg CO₂-e/m²/a päästömäärällä ja 0 kg CO₂-e/m²/a ilmastohyödyillä. Pienimmän hiilijalanjäljen One Click LCA -ohjelmalla

tuotti massiivipuinen CLT-seinäelementti 0,62 kg CO₂-e/m²/a. Vastaavasti ympäristöministeriön laskentatyökalulla pienimmän hiilijalanjäljen arvon tuotti Kerto-Q LVL-levystä ja LVL-runkotolpista valmistettu seinäelementti US11, jonka hiilijalanjälki arvion mukaan on 1,03 kg CO₂-e/m²/a. Tulosten eroavaisuus tässä tapauksessa hiilijalanjäljen suhteen voidaan havaita tulevan moduulista C eli purkamisesta, jonka päästöarvot One Click LCA-ohjelmistolla on huomattavasti maltillisemmat US2 seinäelementin suhteen. One Click LCA -ohjelmalla US11 ympäristökuormitus on 0,87 kg CO₂-e/m²/a. Pieni eroavaisuus US11-seinäelementin kohdalla selittyy kuljetuksista aiheutuvien päästöjen kautta, jotka ovat tarkemmat One Click LCA -ohjelmalla.

Suurimman hiilikädenjäljen eli ilmastohyödyn saadaan molempien arviointien mukaan massiivipuisen CLT-seinäelementin US11 kanssa. Ympäristöministeriön arviointityökalun mukaan ilmastohyöty on -3,50 kg CO₂-e/m²/a. Vastaavasti tulos One Click LCA -ohjelmalla on -3,61 kg CO₂-e/m²/a. Eroavaisuuden tulosten välillä voidaan todeta tulevan One Click LCA -ohjelman tarkennetusta materiaalin hukkamäärästä esivalmistettua seinäelementtiä tehtäessä.

Seinärakenteissa US3 ja US4, joissa eristemateriaalina on käytetty puukuitueristelevyä, oli arvioinnin mukaan hiilikädenjälki -2,9 kg CO₂-e/m²/a molemmilla arviointimenetelmillä. Hiilijalanjäljessä eroavaisuutta löytyi arvioinnissa ja tämän voidaan selittää taas purkamisesta johtuvista ilmastokuormituksista, jotka ympäristöministeriön arviointityökalun mukaan ovat suuremmat kuin One Click LCA -ohjelmistolla.

Molempien arviointimenetelmien kannalta voidaan havaita, että puurakenteiset seinärakenteet, jotka ovat eloperäistä hiiltä sitovia, ovat ilmasto- ja ympäristöystävällisempiä ratkaisuja niin tuotantovaiheessa kuin elinkaaren loppuvaiheessa verrattaessa betonirakenteiseen seinäelementtiin. Huomioon on kuitenkin otettava, että Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun testirakennuksessa betonisia seinärakenteita ei ollut kuin yksi. Testirakennuksessa ei myöskään ollut tiili- tai kevytsoraharkkorakenteisia seiniä, joihin tuloksia olisi voinut vertailla. Testirakennuksen käyttötarkoituksen mukaan on hyvä myös tarkastella käytettyjen rakenneratkaisuiden rakennusfysikaalista toimintaa Suomen ympäristössä. Millaiset rakenteet ja liitosratkaisut ovat oikeasti toimivia vaihtoehtoja ja punnita näistä tulevia ilmastokuormia esimerkiksi käyttöiän

ja korjausrakentamisen kautta aiheutuvista ilmastokuormituksista, unohtamatta sitä, että millaiseen käyttötarkoitukseen rakennus on tarkoitettu ja ettei rakennuksen käyttäjille koidu käytönaikana haittavaikutuksia.

Puupohjaisilla rakenteilla suurimpana etuna voidaan siis todeta rakenneratkaisujen tuottama pienempi hiilijalanjälki ja lisäksi niistä syntyvät hiilikädenjäljen ilmastohyödyt. Tulosten vertailusta nähdään esimerkiksi massivipuisten CLT-seinäelementtien suuri hiilikädenjälki ja verrattaen pieni hiilijalanjälki. Tällaisia seinärakenteita ja rakenneratkaisuja olisi hyvä harkita vaihtoehtona useammassa rakentamisen projekteissa ja sitä kautta saataisiin yksittäisten rakennusten tuottamia ympäristöpäästöjä hillittyä tuotanto ja elinkaaren loppuvaiheessa.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua ja perehtyä elinkaariarviointiin ja sen suorittamiseen kehittyvässä rakentamisen ympäristössä. Ilmastonmuutoksen hillinnän tuominen osaksi rakentamisen lainsäädäntöä ajaa suomalaista rakentamista oikeaan suuntaan ja tuo ilmastaselvitykset mukaan rakentamisprojekteihin. Tällä saralla tullaan siis tarvitsemaan tekijöitä ja osaamista, jotta ilmastotavoitteisiin pääseminen mahdollistetaan.

Opinnäytetyössä käytetyn ympäristöministeriön arviointityökalun lähtökohtaisena ideana on, että työkalulla arvioitaisiin kokonaisvaltaisesti rakennushankkeen ilmastovaikutuksia. Yksittäisille seinärakenteille tulokset olivat koostettava yksi kerrallaan, joka pitkitti prosessia. Lisäksi laskentaa tehtäessä oli havaittavissa, että työkalun itsessään sisältämät päästöarvot eivät ole erityisen ajantasaisia. Co2data.fi tietokannan kehittäminen jatkuu koko ajan. Tietokannasta löytyy melko hyvin yleisimpiä rakentamisessa käytettyjä materiaaleja, tuotteita ja palveluita. Joidenkin materiaalien kohdalla kertoimet vaikuttavat olevan yleisluontaisia, eivätkä välttämättä vastaa rakennusmateriaalien arvoja, joita suomalaisessa rakentamisessa käytetään.

One Click LCA -ohjelmistolla arviointia tehdessä käyttöliittymä vaikutti aluksi hieman epäselvälle, mutta tutustumalla ja ohjeita lukemalla ohjelman käyttä-

minen oli loppujen lopuksi melko suoraviivaista. Ohjelmisto oli Suomessa käytävissä vain englannin kielellä, joka voi tuoda joillekin käyttäjille ongelmia, koska lähtötietojen ja laskentatavan valinnassa täytyy olla tarkkana. Ohjelmistosta löytyi laskentaa tehdessä sen verran erilaisia materiaaleja ja kokonaisuuksia, että elinkaariarvioinnin laskenta onnistuu, mutta päästötietojen ja ympäristöselosteiden lisäämistä olisi tarkasteltava. Tässä tullaan siihen, että materiaalitoimittajien ja valmistajien tulisi olla tietoisia heidän tuotteiden päästöistä ja tuoda nämä ympäristöselosteina julki. One Click LCA -ohjelma on pääosin tarkoitettu käytettäväksi kokonaiselle rakennusprojektille, ei vain yksittäisten rakenteiden laskentaan, vaikka sekin ohjelmistolla onnistui. Laskennassa joutui muuttamaan jokaiselle seinärakenteelle erikseen käytetyt materiaalit ja niiden määrät ennen laskennan suorittamista, jotta tulokset eivät sulautuneet yhteen.

Rakentamisen projekteissa hankesuunnitteluvaiheessa olisi hyvä määrittää millaiselle tasolle laskenta tehdään sekä miten se suoritetaan. Laskennan sujuvumisen varmistamiseksi määräluetteloiden täytyy olla ajantasaisia, mieluiten tietomallipohjainen suunnitelma, joka voidaan integroida itse laskentaohjelmistoon ja tätä kautta sujuvoittaa ympäristövaikutusten arviointia. Muutokset ja erilaisten ratkaisuiden vertailu olisi helpompaa ja sujuvoittaisi laskennan etenemistä ja haluttuihin tavoitteisiin pääsemistä.

Elinkaarilaskennan tietoisuutta tulisi mielestäni lisätä Suomessa. Ovatko kaikki toimijat tietoisia siitä, mitä elinkaarilaskenta on ja kuinka sitä suoritetaan? Laskennan lievä haasteellisuus ja yhtenäisten ohjeiden puuttuminen aiheuttavat kysymyksen, että millä tavalla rakentamisen palveluntuottajat tekevät laskentaa ja millaisella tarkkuudella. Esimerkiksi pätevyysvaatimuksilla voitaisiin saada elinkaarilaskentaa oikeaan suuntaan ja laskennalle mahdollisesti luotettavuutta. Tällä hetkellä tuloksia voidaan saada aikaan erilaisilla tavoilla ja toisistaan eroavilla tarkkuuksilla. Erilaiset koulutukset ja tietoisuuden tuottaminen suomalaiselle rakennusalalle on miltei pakollista, jotta tässä hiilineutraaliutta kohti menemisen prosessissa tullaan onnistumaan.

LÄHTEET

Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. 2023. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/-/eduskunta-hyvakysi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait> [viitattu 26.6.2023].

Green Building Council Finland. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://figbc.fi/> [viitattu 20.6.2023].

Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislaki ja siihen liittyviksi laeiksi. HE 2022/139.

Häkkinen, T., Kuittinen, M. & Suomela, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto Oy. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.226588> [viitattu 5.6.2023].

One Click LCA Ltd. Life Cycle Assessment for Buildings. 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/building-life-cycle-assessment-ebook/> [viitattu 3.7.2023].

Maankäyttö- ja rakennuslaki s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/maankaytto-ja-rakennuslaki> [viitattu 15.6.2023].

Rakentamisen päästötietokanta. 2019. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen_paastotietokanta [viitattu 1.7.2023].

RTS EPD -ympäristöseloste s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/> [viitattu 28.6.2023].

SFS-EN 15804+A2. 2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. [viitattu 29.6.2023].

SFS-EN 15978. 2012. Kestävä rakentaminen. Rakennusten ympäristövaikutusten arviointi. Laskentamenetelmä. [viitattu 26.6.2023].

Vähähiilinen rakentaminen s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen> [viitattu 1.7.2023].

Vähähiilisen rakentamisen neuvontapalvelu s.a. Ympäristöministeriö. Green Building Council Finland. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://elinkaarilas-kenta.fi/> [viitattu 29.6.2023].

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta> [viitattu 12.6.2023].

Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu

12.6.2023].

Ympäristöministeriö. 2019. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf [viitattu 12.6.2023].

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	0,69	-1,18		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	0,62	-1,25		Details
A4 Transportation to site	0,01	0,01		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,06	0,06		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,04	1,91		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,01	0,01		Details
C3 Waste processing	0,02	1,89		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	0,74	0,74		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-0,88	-0,88		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-1,87	-1,87		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-2,75	-2,75		Details

US1-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	0,5	-3,11		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	0,47	-3,14		Details
A4 Transportation to site	0,02	0,02		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0	0		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement	0,05	0,05		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,07	3,68		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,02	0,02		Details
C3 Waste processing	0,05	3,65		Details
C4 Deconstruction waste processing	0	0		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	0,62	0,62		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-1,7	-1,7		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-3,61	-3,61		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-5,31	-5,31		Details

US2-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	1,1	-1,81		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	0,99	-1,91		Details
A4 Transportation to site	0,02	0,02		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,09	0,09		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement				Hide empty
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,08	2,98		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,02	0,02		Details
C3 Waste processing	0,02	2,92		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,04	0,04		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	1,18	1,18		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-1,2	-1,2		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-2,9	-2,9		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-4,1	-4,1		Details

US3-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	1,11	-1,8		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	1	-1,91		Details
A4 Transportation to site	0,02	0,02		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,09	0,09		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,08	2,98		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,02	0,02		Details
C3 Waste processing	0,02	2,92		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,04	0,04		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	1,2	1,2		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-1,21	-1,21		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-2,9	-2,9		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-4,11	-4,11		Details

US4-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	1,02	-1,31		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	0,87	-1,46		Details
A4 Transportation to site	0,02	0,02		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,13	0,13		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,05	2,38		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,02	0,02		Details
C3 Waste processing	0,03	2,35		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	1,08	1,08		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-1,09	-1,09		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-2,33	-2,33		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-3,42	-3,42		Details

US5-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	1,38	-0,58		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	1,29	-0,67		Details
A4 Transportation to site	0,05	0,05		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,03	0,03		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,11	2,07		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,05	0,05		Details
C3 Waste processing	0,04	2		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	1,5	1,5		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-1,01	-1,01		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-1,96	-1,96		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-2,97	-2,97		Details

US6-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	1,18	-1,15		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	1,08	-1,24		Details
A4 Transportation to site	0,02	0,02		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,08	0,08		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,06	2,39		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,02	0,02		Details
C3 Waste processing	0,03	2,35		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	1,25	1,25		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-1,09	-1,09		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-2,33	-2,33		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-3,42	-3,42		Details

US7-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	1,17	-1,16		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	1,07	-1,25		Details
A4 Transportation to site	0,02	0,02		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,08	0,08		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement				Hide empty
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,06	2,39		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,02	0,02		Details
C3 Waste processing	0,03	2,35		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	1,23	1,23		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-1,09	-1,09		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-2,33	-2,33		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-3,41	-3,41		Details

US8-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	1,22	-0,74		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	1,12	-0,84		Details
A4 Transportation to site	0,03	0,03		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,08	0,08		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,07	2,03		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,03	0,03		Details
C3 Waste processing	0,03	1,99		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	1,3	1,3		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-0,94	-0,94		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-1,96	-1,96		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-2,9	-2,9		Details

US9-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	2,55	2,55		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	2,46	2,46		Details
A4 Transportation to site	0,09	0,09		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0	0		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
■ B4 Material replacement				Hide empty
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,14	0,14		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,09	0,09		Details
C3 Waste processing	0,05	0,05		Details
C4 Deconstruction waste processing				Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	2,69	2,69		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	0,01	0,01		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	0	0		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	0,01	0,01		Details

US10-raportti moduuleittain

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
■ A1-A5 Emissions before use (modules A1-5)	0,82	-0,34		Details
A1-A3 Manufacturing of materials	0,74	-0,42		Details
A4 Transportation to site	0,01	0,01		Details
A5 Construction site - material wastage - materials	0,07	0,07		Details
A5-YM Construction site - operations				Details
✚ B4 Material replacement	0,01	0,01		Details
B6 ⓘ Energy consumption				Hide empty
■ C End of life impacts (module C)	0,04	1,2		Details
C1 Deconstruction operations				Details
C2 Waste transportation	0,01	0,01		Details
C3 Waste processing	0,01	1,17		Details
C4 Deconstruction waste processing	0,01	0,01		Details
A-C Carbon footprint (total modules A-C)	0,87	0,87		Details

Hiilikädenjälkiraportti

Impacts relating to the construction site are accounted for separately in 'GWP, site' impact category. Rest impacts are accounted for in 'GWP, building'. Separation is taking place based on Talo classifications. Site impacts include all Talo classifications from 111 to 121.

Result category	GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ	GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ
D1+D2 Benefits from reuse and recycling (module D)	-0,54	-0,54		Details
D3 Exported energy				Hide empty
D4 Carbon storage, biogenic	-1,16	-1,16		Details
D5 Carbonisation				Hide empty
D Total carbon footprint	-1,7	-1,7		Details

US11-raportti moduuleittain