

# Seinärakenteiden hiilijalanjäljen vertailu

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri, AMK, Puutekniikka  
2022  
Antti Hämäläinen

## Tiivistelmä

Tekijä Hämäläinen, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 30	Valmistumisaika 2022
Työn nimi <b>Seinärakenteiden hiilijalanjäljen vertailu</b>		
Tutkinto Puutekniikan insinööri		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Lauri Linkosalmi, Senior Manager, Product Stewardship, Stora Enso Oyj.		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä testattiin ympäristöministeriön kehittämää arviointimenetelmän ja sen työkalujen soveltuvuutta erilaisten seinärakenteiden tuottaman hiilijalanjäljen arviointiin. Arviointi toteutettiin puurakenteiden, kuten ristiinliimatun massiivipuun (CLT) seinärakenteen ja teräsbetonipohjaisten seinärakenteiden välillä. Arviointiin sovellettiin arviointityökalun sisältämiä arvoja ja valittujen ympäristöselosteiden lähtöarvoja. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Stora Enso Oyj:n Wood productsin elinkaari-asiantuntijan kanssa.</p> <p>Arvioinnissa CLT rakenteen havaittiin tuottavan huomattavasti pienemmän hiilijalanjäljen teräsbetonipohjaisiin seinärakenteisiin verrattuna. Lisäksi puurakenteiset seinärakenteet tuottivat huomattavasti suuremman hiilikädenjäljen kuin betonipohjaiset rakenteet. Arviointityökalun ja ympäristöselosteiden tulosten välillä havaittiin eroja, riippuen rakenteesta ja siihen käytettyjen rakenteiden valmistusprosessista.</p> <p>Kehityksessä olevan työkalussa havaittiin kehityskohteita, mitkä helpottaisivat työkalun käyttöä eri rakennevaihtoehtojen välisessä vertailussa ja tilanteissa, jossa arviointi toteutetaan käyttämällä vain osaa elinkaariarvoinnin moduuleista.</p>		
Asiasanat Ympäristöministeriön arviointimenetelmä, CLT, Hiilijalanjälki, Hiilikädenjälki, Elinkaariarviointi, Seinärakenne		

## Abstract

Author(s) Hämäläinen Antti	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 30	
Title of Publication <b>Carbon footprint evaluation of wall structures</b>		
Name of Degree Bachelor of Wood Technology		
Name, title and organization of the client Lauri Linkosalmi, Senior Manager, Product Stewardship, Stora Enso Oyj		
Abstract <p>The aim of this thesis was to test the life cycle assessment methodology and tools developed by Ministry of the Environment of Finland in evaluating carbon footprint of different wall structures. The evaluation was carried out among wooden structures, such as cross laminated timber (CLT) based wall structure and concrete based wall structures. Evaluation was conducted using values from the assessment tool and using environmental product declaration values to investigate whether there was difference in results. The thesis was produced in collaboration with Stora Enso's Wood Products life cycle assessment expert.</p> <p>In the evaluation, the CLT structure was found to produce a significantly smaller carbon footprint compared to reinforced concrete-based wall structures. In addition, wood-based wall structures produced significantly more carbon handprint than concrete-based structures.</p> <p>Development areas were found in the evaluation tool, which could improve tool usage in cases where evaluation is conducted using certain modules of life cycle or in cases where evaluation is executed among certain types of construction materials.</p>		
Keywords Ministry of the Environment of Finland, Cross laminated timber (CLT), Carbon footprint, Carbon handprint, Life cycle assessment, Wall structure		

## Sisällys

1	Johdanto.....	3
1.1	Opinnäytteen tavoitteet.....	3
1.2	Arviointiin käytetty aineisto ja arviointimenetelmä .....	4
1.3	Opinnäytteen rakenne .....	4
1.4	Stora Enso Oyj .....	5
2	Rakennuksen elinkaariarviointi ja siihen tarvittavat tiedot.....	6
2.1	Rakentamisen elinkaariarvioinnin standardi SFS EN 15978 .....	6
2.2	Rakennustuotteiden ympäristöselosteet ja niiden sisältö .....	8
2.3	Co2data.fi päästötietokanta .....	9
2.4	Ympäristöministeriön Excel arviointityökalu .....	9
3	Arviointiin valitut seinärakenteet ja toiminnallinen yksikkö.....	11
4	Hiilijalanjäljen arvioinnin toteutus .....	17
5	Tulokset.....	24
5.1	Tulosten tarkastelu .....	24
6	Yhteenveto .....	27
6.1	Aiemmat tutkimukset .....	27
6.2	Jatkotutkimusehdotukset .....	29
	Lähteet .....	31

## Liitteet

Liite 1. Laskentaan käytettyjen materiaalien tiedot ja ympäristöselosteiden lähteet

Käsitteet:

CLT: Ristiinliimattu massiivipuutuote (Cross Laminated Timber)

LVL: Viilupuu, (Laminated Veneer Lumber) sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettu puutuote

Moduuli: Standardin SFS-EN 15978 mukainen rakennuksen elinkaaren vaihe

Rakennekerros: Valitun rakenteen tarkkaa rakennusyksityiskohtaa tai materiaalia kuvaava kerros

Arviointimenetelmä: Ympäristöministeriön kehittämä arviointimenetelmä rakennuksen elinkaaren arviointiin

Arviointi: Seinärakenteen hiilijalanjäljen arviointi

Laskenta: Arviointityökaluun syötettyjen arvojen pohjalta tehty laskenta

Hiilijalanjälki: Materiaalin tuottama ilmastokuormitus

Hiilikädenjälki: Materiaalin käytöstä johtuva ilmastohyöty

## 1 Johdanto

Kasvavan ympäristötietoisuuden myötä ihmisen tuottamien päästöjen tarkastelu on lisääntynyt ja tarve päästöjen vähentämiselle on noussut entistä ajankohtaiseksi. Luonnonvarakeskuksen mukaan puu sitoo kasvaessaan hiilidioksidia ilmakehästä (Luonnonvarakeskus 2022) ja puuhun sitoutunutta hiiltä voidaan varastoida esimerkiksi puuperäisiin rakennustuotteisiin samalla kun uudelleen istutettu metsä sitoo kasvaessaan hiiltä puuaineeseen. Puupohjaisia rakennustuotteita tulisikin ympäristöystävällisyytensä vuoksi harkita vaihtoehtona betoni- ja teräspohjaisille rakennustuotteille.

Suomi on sitoutunut pyrkimään kohti hiilineutraaliutta sekä kokonaan hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä, että tavoittelee 80 prosentin kasvihuonepäästöjen vähennystä vuoteen 2050 mennessä. (Ympäristöministeriö 2019; Kuittinen 2019.)

Ympäristöministeriö on teettänyt selvityksen ja tiekartan rakentamisen hiilijalanjäljen seurantaan, jonka pääpaino on rakennuksen materiaalien hiilidioksidipäästöjen ohjaaminen rakennustasolla. Hiilidioksidi- ja kasvihuonepäästöjen arviointia varten on kehitetty rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä, joka perustuu Euroopan komission laatimaan Level(s) menetelmään. Arviointimenetelmä ja sen työkalut ovat pilottivaiheessa ja menetelmä ja työkalut on tarkoitus ottaa käyttöön 2020 luvun puoleen väliin mennessä. (Kuittinen 2019.)

### 1.1 Opinnäytteen tavoitteet

Opinnäytteen tavoitteena oli tutustua elinkaariarviointiin ja soveltaa ympäristöministeriön kehittämää arviointimenetelmää seinärakenteiden hiilijalanjäljen arviointiin. Arvioinnin kohteeksi valittiin erilaisten puuseinärakenteiden ja rakennusteollisuudessa käytettyjen seinärakenteiden, kuten betoni-, tiili- ja harkkorakenteen väliset hiilikädenjälki- ja hiilijalanjälkierot.

Ympäristöministeriön kehittämää arviointimenetelmää, työkalua ja työkalun sisältämiä tietoja testattiin yksittäisen seinärakenteen tuottaman hiilijalanjäljen arviointiin. Arviointi tehtiin seinärakenteelle kahdesti; työkalun sisältämien arvojen pohjalta ja valittujen ympäristöselosteiden pohjalta. Tämän minkä tarkoituksena oli selvittää tulosten ja pohjatietojen erojen suuruutta. Arviointi rajattiin standardin EN 15978 mukaisten moduulien A1-A3 ja C1-C3 välille. Arvioinnin toteutuksen yhteydessä työkalun toiminnasta ja tehtiin havaintoja ja kehitysehdotuksia työkalun jatkokehittämistä varten.

## 1.2 Arviointiin käytetty aineisto ja arviointimenetelmä

Opinnäytteessä arvioitujen seinärakenteiden hiilijalanjäljen arviointiin käytettiin ympäristöministeriön kehittämää arviointimenetelmää ja laskentatyökalua. Ensimmäinen elinkaarilaskentaan tarkoitettu laskentatyökalu julkaistiin pilottivaiheeseen syyskuussa 2019, ja on ollut kehityksessä siitä lähtien. Vähähiilisuuden arviointimenetelmän ensimmäinen versio julkaistiin elokuussa 2019. (Kuittinen 2019.) Opinnäytteessä suoritettuun laskentaan käytettiin vuoden 2019 arviointityökaluversiota, johon ei ollut päivitetty vuonna 2021 annetun ilmastovielityksen asetuseronnosta.

Laskentaan käytettyjen rakenteiden päästötiedoiksi käytettiin suurelta osin työkalun sisältämiä päästötietoja. Päästötiedot perustuivat ympäristöselosteisiin, jotka ovat peräisin Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä rakentamisen päästötietokannasta Co2data.fi.

Rakenneyksityiskohdat ja materiaalmäärät puu-, betoni-, teräs- ja harkkorakenteisiin saatiin rakennustieto.fi ja puuinfo.fi verkkosivujen kautta.

Opinnäytteessä vertailtiin seuraavia rakenteita:

- Ranka - massiivipuurakenne
- CLT seinärakenne
- Betonielementtirakenne
- Teräsbetoni-tiilirakenne
- Betoni teräs seinärakenne
- Kevytsoraharkkorakenne

## 1.3 Opinnäytteen rakenne

Opinnäytteessä oli tarkoitus perehtyä elinkaariarvioinnin teoriaan sekä ympäristöselosteisiin ja niiden tietosisältöön standardien EN15978 ja EN15804 avulla. Lisäksi perehdyttiin ympäristöministeriön standardien pohjalta kehittämään arviointimenetelmään ja työkaluun.

Toteutettavaan laskentaan määriteltiin arviointiin sisältyvät moduulit, toiminnallinen yksikkö ja laskennassa käytetyt rakenteet, niiden rakenneyksityiskohdat ja lähteet. Arvioitavat rakenteet koostuivat rakennusteollisuudessa käytössä olevista rakenteista. Puurakenteiksi valittiin ristiinliimattu massiivipuuseinärakenne (CLT), rankarunkoinen massiivipuurakenne ja rakennusteollisuudessa käytettäviä kevytsoraharkko- ja teräsbetonipohjaisia seinärakenteita.

Hiilijalanjäljen arvioinnin toteutuksen kappaleessa käydään läpi arviointiprosessi esimerkkirakenteelle ja työkalun tietojen muokkaus tai niiden korvaaminen ympäristöselosteen pohjatietoihin perustuvilla arvoilla.

Arvioinnin tuloksia vertailtiin pohjatietojen erojen suuruusluokan havainnollistamiseksi. Lisäksi työkalun toiminnasta ja sen sisältämistä tiedoista tehtiin kehitysehdotuksia työkalun toimintaan ja arviointimenetelmään liittyen.

#### 1.4 Stora Enso Oyj

Opinnäyte tehtiin yhteistyössä Stora Enso Oyj:n Wood productsin elinkaarilaskennan asiantuntijan kanssa. Stora Enso Oyj on Suomalais-ruotsalainen metsäteollisuusyritys, joka työllistää maailmanlaajuisesti noin 24 000 ihmistä. Suomessa yhtiö valmistaa muun muassa kartonki- ja pakkaustuotteiden lisäksi raakasellua ja sahatavaraa. Yhtiönä Stora Enso on sitoutunut kehittämään uusiutuviin materiaaleihin perustuvia tuotteita ja teknologioita uusiutumattomista materiaaleista valmistettujen tuotteiden korvaajiksi. (Stora Enso 2022a.)

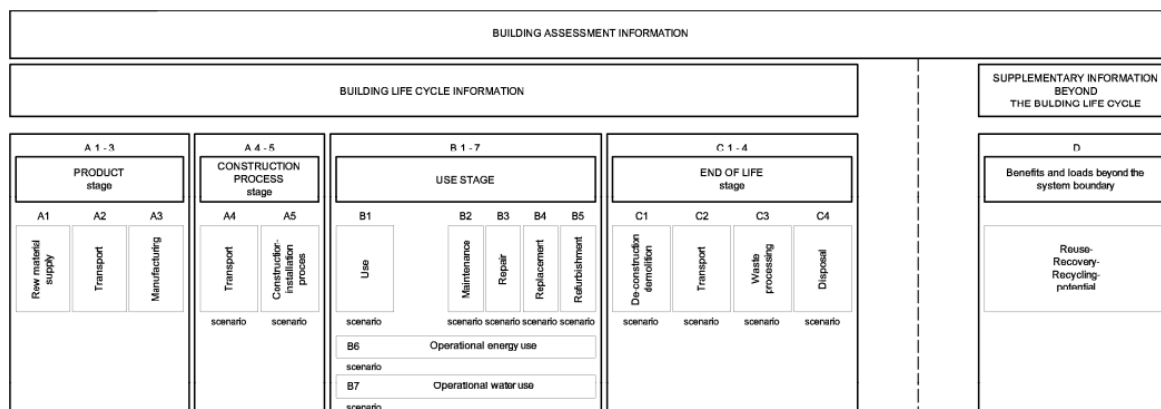
Puurakentamisen ratkaisujen, kuten CLT:n ja viilupuun (LVL) lisäksi yhtiö valmistaa puurakentamisen konseptiratkaisuja. Suomessa yhtiö on ollut mukana toteuttamassa muun muassa Jyväskylän Puukuokka kerrostaloa, Haltian luontokeskusta ja Joensuun majakka kerrostalorakennusta. Stora Enso valmistaa vuosittain noin 140 000 m<sup>3</sup> CLT levyä Itävallassa sijaitsevilla yksiköissään. (Stora Enso 2022b.)

Rakentamisessa CLT:n etuihin lukeutuvat ympäristöystävällisyyden lisäksi muun muassa parempi kokoamisnopeus ja helppotyöstöisyys. (Stora Enso 2022.) CLT-levy rakentuu nimensä mukaisesti ristikkäin ladotuista, levyksi liimatusta lautatavarasta. CLT:tä käytetään pääasiassa tilaelementeissä ja puurakennusten massiivipuurakenteissa. (Puuinfo 2022.) Merkittävänä etuna levyille kuvataan mahdollisuutta työstää tehtaalla rakennusosiin ikkunoiden, ovien ja taloteknisten järjestelmien vaatimat paikat ja tilat ennen työmaalle toimittamista. Tällä voidaan vähentää kuljetuksen ja työmaalla käytetyn energian osuutta tilanteessa, jossa verrataan työmaalla rakennettua rakennusta tilanteeseen, missä rakennusosat toimitetaan asennusvalmiina, jolloin rakennuksen kokoaminen on huomattavasti nopeampaa. (Stora Enso 2017.)

## 2 Rakennuksen elinkaariarviointi ja siihen tarvittavat tiedot

### 2.1 Rakentamisen elinkaariarvioinnin standardi SFS EN 15978

Rakentamisen elinkaariarviointi perustuu eurooppalaiseen standardiin SFS-EN 15978:2011. Standardissa määritellään elinkaaren vaiheet (Kuvio 1), huomioon otettavat tiedot ja tiedoille asetetut laskennalliset muuttujat. Standardi määrittää arviointiin käytettävän tiedon laatua ja jakaa rakennuksen elinkaaren eri vaiheisiin, joissa arvioidaan rakennuksen ympäristövaikutuksia ja päästöjä elinkaaren vaiheiden ja rakennukseen käytettyjen rakenteiden loppukäyttökkenaarioiden kautta. Rakennuksen elinkaari alkaa tuotevaiheen ja rakentamisen moduulista A ja päättyy elinkaaren lopun C ja elinkaaren ulkopuolisten vaikutusten D arviointiin. (Ympäristöministeriö 2019; SFS-EN 15978 2011.)



Kuvio 1. Rakennuksen elinkaaren moduulit standardin SFS EN 15978:2011 mukaisesti

Rakennuksen elinkaari koostuu viidestä vaiheesta:

Tuotevaihe A1-A3

- A1 Raaka aineen hankinta
- A2 Kuljetus valmistukseen
- A3 Tuotteen valmistus

Rakentaminen A4-A5

- A4 Kuljetus työmaalle
- A5 Työmaatoiminnot

Käyttövaihe B1-B7

- B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa
- B2 Kunnossapito
- B3 Korjaus
- B4 Osien vaihto
- B5 Laajamittaiset korjaukset
- B6 Energian käyttö
- B7 Veden käyttö

#### Purkuvaihe C1-C4

- C1 Purkaminen
- C2 Kuljetukset
- C3 Purkujätteen käsittely
- C4 Purkujätteen loppusijoittelu

#### D Lisätiedot

- D Elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat

Arviointi perustuu rakennusosien määräluettelon lisäksi sekä työmaalla, että logistiikassa kulutetun energian yhteenlasketuista vaikutuksista. Materiaalien määrä ja prosessien vaatima energia kerrotaan niille määritetyillä hiilijalanjälkikertoimilla. Rakennustuotteille ja prosesseille määritetyt kertoimet on saatavissa esimerkiksi tuotteiden ympäristöselosteista tai päästötietokannoista. Tarvittaessa arviointi voidaan rajata halutulle aikajaksolle. Tavallisesti ajanjakso on 50 vuotta. (Ympäristöministeriö 2019; Kuittinen 2019; SFS-EN 15978 2011.)

Ajanjakson rajaaminen helpottaa rakennuksen materiaalien huoltojen, vaihtojen ja rakennuksen käyttöiän määrittämistä. Arviointi voidaan halutessa rajata käsittämään vain osaa yllä mainituista elinkaariarvioinnin moduuleista, esimerkiksi käsittämään tuotevaiheen ja elinkaaren lopun vaiheita, jolloin tulokset kertovat rakennusosien valmistus ja hävityskuorituksen, mutta jättävät ulos rakentamiseen, korjaukseen ja käyttöön liittyvät päästöt. (Ympäristöministeriö 2019; SFS-EN 15978 2011.)

Elinkaariarvioinnissa arviointi perustuu rakennustuotteeseen käytetyn raaka-aineen ja materiaalin kilomäärän mukaan. Käytetyn määrän lisäksi laskentaan vaikuttavat rakennustuotteiden mahdolliset huollot ja vaihdot sekä rakennustuotteisiin käytettyjen raaka-aineiden kierrätys- ja jätteenkäsittelypäästöt moduulissa C. Jokainen materiaali kerrotaan arvioita

vien ympäristövaikutuksen kertoimilla, jolloin tulokseksi saadaan rakennustuotteen elinkaaren ympäristövaikutukset. (Ympäristöministeriö 2019; Kuittinen 2019; SFS-EN 15978 2011.)

Tuotettuja ympäristövaikutuksia kuvataan hiilijalan- ja hiilikädenjäljellä. Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan materiaalin tai tuotteen tuottamisesta tai käytöstä johtuvia ilmastopäästöjä. Rakennuksen hiilijalanjäljellä tarkoitetaan päästöjä, joita rakennuksen materiaaleista, rakentamisesta, sen prosesseista, ylläpidosta, korjauksesta ja energiakulutuksesta aiheutuu rakennuksen elinkaaren aikana. (Ympäristöministeriö 2019; Kuittinen 2019.)

Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan materiaalin tai sen käytöstä koitunutta ilmastohyötyä, jota ei saavutettaisi ilman sitä. Rakennuksessa tällaisia hyötyjä voivat olla esimerkiksi rakennusmateriaaliin sitoutunut eloperäinen hiili tai siihen elinkaaren aikana sitoutuva hiili. Kierrätettävyys lasketaan myös hiilikädenjäljeksi tapauksessa, jossa uudelleenkäytettävällä materiaalilla korvataan uuden materiaalin tarvetta. (Kuittinen 2019.)

Materiaalien käytössä tuotettuja tai säästettyjä päästöjä ilmoitetaan hiilidioksidikiloina. Rakennuksen päästömäärä ilmoitetaan vuoden aikana kertyvinä hiilidioksidiekvivalenttikilona lämmitettyä seinäpinta-alaa kohden ( $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^2/\text{a}$ ). Hiilidioksidiekvivalenttikiloihin kuuluvat myös rakenteen tuottamat muut päästöt, jotka eivät ole suoraan hiilidioksidipäästöjä. Rakennuksen tuottamaa hiilidioksidimäärää - hiilijalanjälkeä kuvataan positiivisena lukuna ja rakennuksen sitomaa hiiltä - hiilikädenjälkeä kuvataan negatiivisena lukuna. Hiilikädenjälkeä ei vähennetä arvioinnissa hiilijalanjäljestä, vaan se ilmoitetaan omana lukunaan. (Kuittinen 2019; Ympäristöministeriö 2019.)

## 2.2 Rakennustuotteiden ympäristöselosteet ja niiden sisältö

Ympäristöseloste on kehitetty puolueettomaksi tavaksi esittää ja selkeyttää tuotteen tai rakennuskomponentin ympäristövaikutuksia. Rakennustuotteiden ympäristöselosteen laadintaa ohjaa standardi SFS-EN 15804, jonka päivitetty versio SFS-EN 15804:2012 + A2:2019 määrittelee ympäristötuoteselosteiden sisällön 2022 kesäkuusta eteenpäin. Standardi asettaa yleissäännöt rakennustuotteiden ja oheispalveluiden ympäristöselosteiden laadintaan. Selosteiden tietojen oikeellisuutta valvotaan kolmannen osapuolen verifioinneilla ennen näiden julkaisemista. (SFS-EN 15804 2019.)

Ympäristöselosteen tulee sisältää tuotteen nimen ja teknisten tietojen lisäksi sen ympäristöpäästöjen numeeriset arvot. Lisäksi selosteessa ilmoitetut verifioidut päästöarvot tulisivat olla mahdollisimman ajantasaisia, eikä ilmoitettujen lähtötietojen tulisi olla yli kymmenen vuotta vanhoja. Ympäristöselosteen tuottaa tuotteen omistava yhtiö tai valmistaja, jollin val-

mistaja on ensisijaisesti vastuussa luomansa selosteen sisältämistä tiedoista ja niiden oikeellisuudesta. Ympäristöselosteessa ilmoitetut tiedot ovat voimassa viisi vuotta. (SFS-EN 15804 2019; Kuittinen 2019.)

Rakennusteollisuudessa ympäristöseloste on tarkoitettu selventämään tuotteen ympäristövaikutuksia sekä hankesuunnittelussa, että auttamaan hankkeen suunnittelijaa materiaalivalintoihin liittyvissä ratkaisuissa. Ympäristöseloste kattaa rakennusteollisuuden määrällisesti mitattavia, tieteellisesti perusteltuja ympäristötietoja, kuten hiilijalanjälkeä ja hiilikädenjälkeä kuvaavia lukuarvoja. Lisäksi selosteesta selviää rakennustuotteen käytön ajalta syntyvistä terveyteen vaikuttavista päästöistä ja niiden määrästä. Standardin mukaan rakennuksessa käytettävien rakennustuotteiden määrällinen vertailu on mahdollista vain rakennustasolla. Mikäli rakennustarvikkeesta ei ole saatavilla soveltuvaa ympäristöselostetta, tulee käyttää parhaasta lähteestä löytyvää vastaavaa tuotetta parhaan tiedon saamiseksi. (SFS-EN 15804 2019; Kuittinen 2019.)

### 2.3 Co2data.fi päästötietokanta

Suomalainen rakentamisen päästötietokanta Co2data on Suomen ympäristökeskuksen kehityksessä oleva maksuton rakennusteollisuuden päästötietokanta. Keskimääräiset tiedot perustuvat saatavilla oleviin julkisiin ympäristöselosteisiin, joiden pohjalta tietokannan päästötiedot on laskettu. Tietokannasta löytyy Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ja rakennusprosessien keskimääräisiä päästötietoja. Kansainvälisten päästötietojen on tarkoitus mahdollistaa rakennushankkeiden keskinäinen vertailu. Tietokantaan on myös sisällytetty rakentamisen prosessin keskimääräisiä päästötietoja esimerkiksi talotekniikan, rakentamisen, energia- ja kuljetuspalveluiden sekä käyttöön ja purkamisen ja purkutuotteiden käsittelyyn liittyen. (Kuittinen 2019; Co2data 2021a.)

Tietokannan tavoitteeksi määritellään rakennuksen elinkaaren aikaisten ilmasto-vaikutusten laskennan yhdenmukaistaminen ja vähähiilisen rakentamisen edistäminen. Nykyisessä järjestelmässä usea ympäristöseloste tai niiden hakunimi on saatavissa joko suomeksi tai englanniksi. Valmiin järjestelmän on tarkoitus tarjota ympäristöselosteiden tiedot myös Ruotsiksi. (Hiilineutraalisuomi 2021; Co2data 2021a.)

### 2.4 Ympäristöministeriön Excel arviointityökalu

Ympäristöministeriö on luonut vähähiilisyyden arviointimenetelmän tueksi hiilijalanjälkilaskentaan tarkoitetun työkalun. Työkalu on Excel-pohjainen laskentatyökalu. Työkalu laskee siihen rakennushankkeen hiilijalan- ja hiilikädenjäljen rakennushankkeen eri vaiheille siihen

syötettyjen materiaalmäärien perusteella. Työkalussa on myös mahdollista suorittaa laskenta tarkemmilla arvoilla, jolloin työkalu korvaa oman listauksensa tiedot käyttäjän asettamilla arvoilla ja suorittaa hiilijalanjälkilaskennan niiden pohjalta. (Kuittinen 2019.)

Työkalu sisältää yleisimmät rakennusteollisuuden tuotteet, joiden tiedot perustuvat ympäristöministeriön Co2data tietokantaan kerättyihin ympäristöselosteisiin ja niiden laskennallisiin keskiarvoihin. Työkalun materiaalien päästötietojen ilmoitetaan olevan koottu VTT:n toimesta eri lähteistä. Kuitenkin joitakin päästöarvoja on jouduttu myöhemmässä vaiheessa päivittämään hyvin karkeilla, tarkastamattomilla arvoilla. (Green Building Council Finland 2019.)

### 3 Arviointiin valitut seinärakenteet ja toiminnallinen yksikkö

Arvioinnissa toiminnallisena yksikkönä käytettiin seinärakenteeseen käytettyjä materiaali-koja neliön kokoisella seinäalueella, jolla ei sijaitse ikkunaa tai muita taloteknisiä järjestelmiä. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet (U-arvot) ovat rakenneselosteissa ilmoitettu suuntaa-antaviksi ja vastaavat lämmöneristyksen määräysten vaatimuksia. (RT82-11006 2010.)

Arviointiin valittiin seinärakenteet Suomen rakentamismääräyskokoelmasta ja puurakenteet Puuinfo (Puuinfo 2022.) verkkosivuilla vuonna 2018 julkaistun seinärakenteiden rakennetyiskohtia julkaisun rakenteiden joukosta. Valitut rakenteet olivat tavanomaisia seinärakenteita, eikä niitä käytetä tavanomaisesta poikkeavissa olosuhteissa. Alle listataan rakenteen nimi ja lyhyt kuvaus rakenteesta, jonka jälkeen esitellään tarkat rakennekuvat ja seinärakenteeseen käytetyt materiaalit.

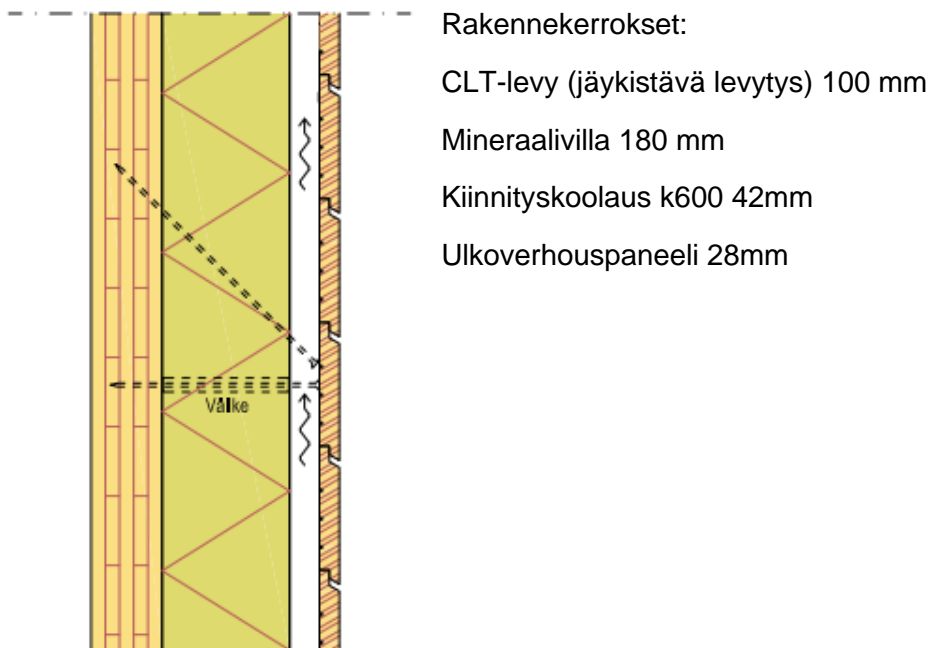
Arviointiin valitut seinärakenteet ja niiden lyhyt kuvaus:

- T US101 1..2 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä (Kuvio 2)
  - Kantava CLT ulkoseinärakenne
- T US102 3..4 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä (Kuvio 3)
  - Kantava CLT ulkoseinärakenne, jossa palokartonkikipsilevytys ja palokatkot tuuletusraoissa
- T US103 5..8 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä (Kuvio 4)
  - Kantava CLT ulkoseinärakenne, jossa palokartonkikipsilevytys ja palokatkot tuuletusraoissa
- T US003 5..8 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä (Kuvio 5)
  - Ranka-massiivipuu rakenteinen rankarunkoinen seinärakenne, jossa puulevy jäykistävänä rakenteena
- HVS003 5..8 kerroksisen asuinkerrostalon huoneistojen välinen seinä (Kuvio 6)
  - Siksak rankarakenteinen huoneistojen välinen seinä, jossa puulevy jäykistävänä rakenteena
- T RTUS 401 - Teräsbetoniseinä (Kuvio 7)
  - Teräsbetoniseinä, kantavassa rakenteessa sisäkuoren paksuus vähintään 150mm
- T RTUS 402 - Teräsbetoni-tiiliseinä (Kuvio 8)
  - Säänkestävä tiilimuuraus, kantavassa rakenteessa sisäkuoren paksuus vähintään 150mm
- T RTUS405 - Betonielementtiseinä kantava (Kuvio 9)

- Säänkestävä betonielementtiseinä, sisäkuoren paksuus kantavana vähintään 150mm
- T RTUS504 - Kevytsoraharkkoseinä (Kuvio 10)
  - Kevytsoraharkko kantavana rakenteena, jossa harkkopinnan rappauksena kuitulaasti

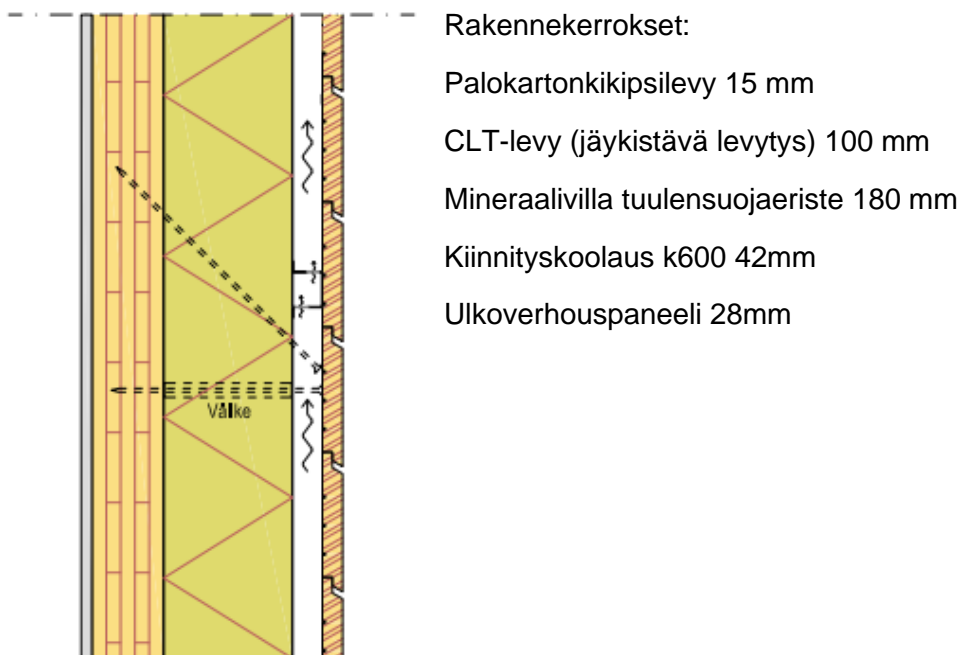
### Rakennekuvat ja rakennekerrokset

#### 1..2 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä US101



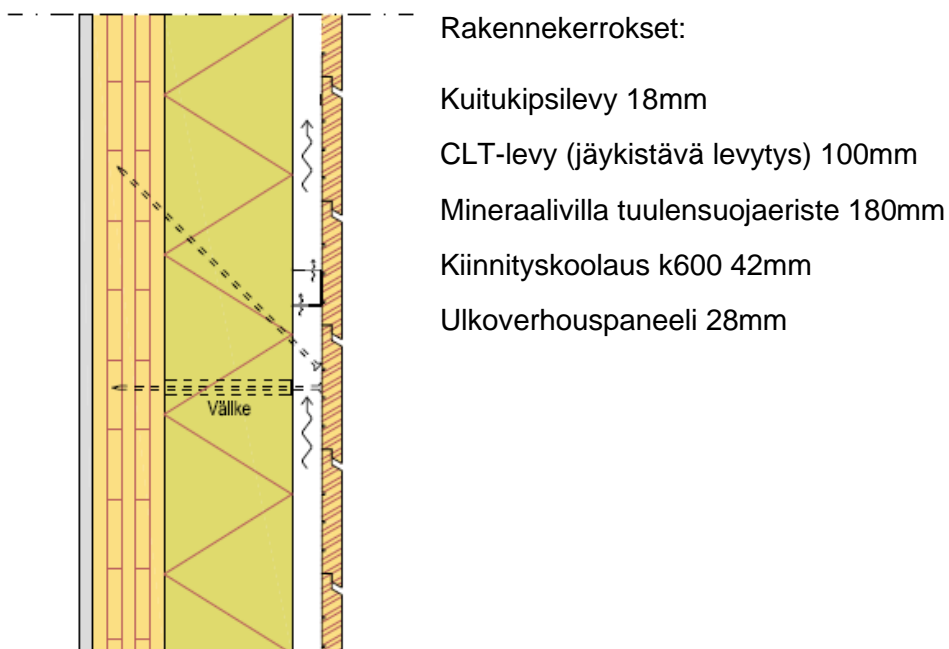
Kuvio 2. 1-2 kerroksisen asuinkerrostalon CLT seinärakenteen rakennekuva (Puuinfo 2018.)

## 3..4 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä US102



Kuvio 3. 3-4 kerroksisen asuinkerrostalon CLT seinärakenteen rakennekuva (Puuinfo 2018.)

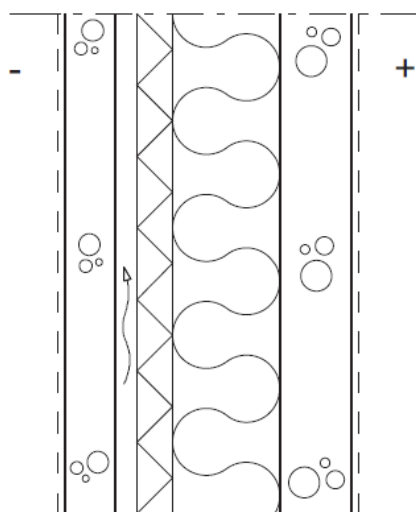
## 5..8 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä US103



Kuvio 4. 5-8 kerroksisen asuinkerrostalon CLT seinärakenteen rakennekuva (Puuinfo 2018.)



## Teräsbetoniseinä RT US 401



## Rakennekerrokset:

Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan

70 mm Kuorielementti rakennesuunnitelman mukaan, teräsbetoni

30 mm Tuuletusväli

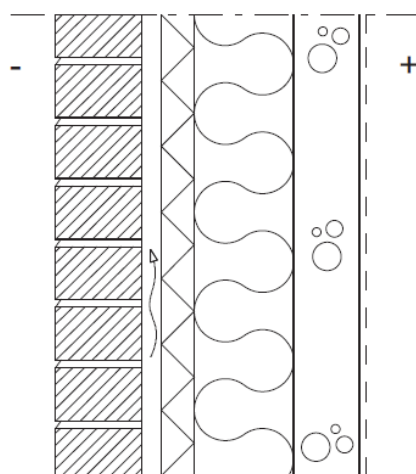
50 mm Tuulensuoja, mineraalivilla

150 mm Lämmöneriste, mineraalivilla

100 mm Kantava rakenne rakennesuunnitelman mukaan, teräsbetoni

Kuvio 7. Teräsbetoniseinärakenteen rakennekuva (RT82-11006 2010.)

## Teräsbetoniseinärakenne tiiliverhouksella RT US 402



## Rakennekerrokset:

85 mm Ulkoverhous rakennusselostuksen mukaan, säänkestävä tiilimuuraus ja saumat, laasti M100/500,

muuraussiteet ruostumatonta terästä, vähintään 4 kpl/m<sup>2</sup>

30 mm Tuuletusväli

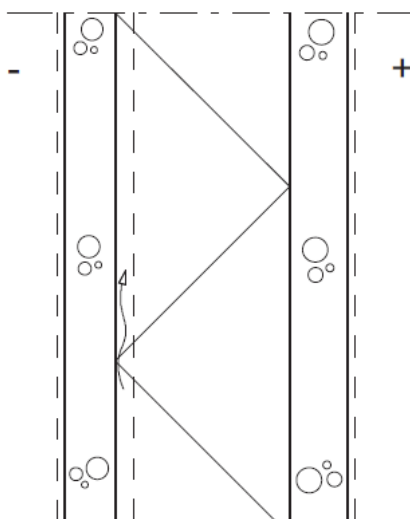
50 mm Tuulensuoja, mineraalivilla

150 mm Lämmöneriste, mineraalivilla,

100 mm Kantava rakenne rakennesuunnitelman mukaan, teräsbetoni

Kuvio 8. Tiiliverhoillun teräsbetoniseinärakenteen rakennekuva (RT82-11006 2010.)

## Kantava betonielementtiseinä RT US 405



## Rakennekerrokset:

Pintakäsittely rakennusselostuksen mukaan

70 mm Ulkokuori rakennesuunnitelman mukaan, teräs-  
betoni,

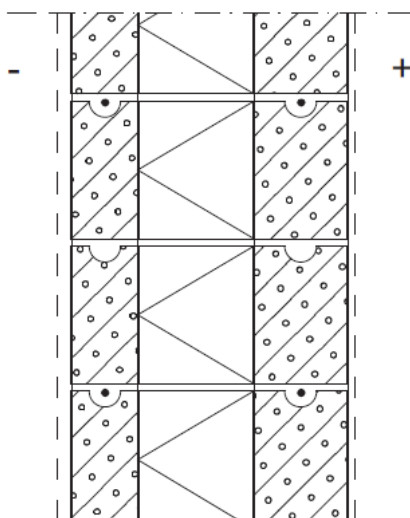
240 mm Lämmöneriste, mineraalivilla

80 mm Sisäkuori rakennesuunnitelman mukaan, teräs-  
betoni,

Seinäpinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Kuvio 9. Kantavan betonielementtiseinän rakennekuva (RT82-11006 2010.)

## Kevytsoraharkkoseinä RT US 504



## Rakennekerrokset:

8...10 mm Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuk-  
sen mukaan, 2-kerrosrappaus kuitulaastilla

380 mm Kantava rakenne, kevytsoralämpöharkko, 160  
mm PU- tai EPS-eriste, muurauslaasti M100/500

Seinäpinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Kuvio 10. Kevytsoraharkkoseinän rakennekuva (RT82-11006 2010.)

## 4 Hiilijalanjäljen arvioinnin toteutus

Opinnäytteen hiilijalanjäljen arviointi rajataan standardin SFS-EN 15978 mukaisiin moduuleihin A1-A3, johon kuuluvat raaka-aineen hankinta, kuljetus valmistukseen ja tuotteen valmistus. Lisäksi moduulit C1-C3 sisällytetään laskentaan, joihin kuuluvat purkaminen, kuljetus jatkokäsittelyyn ja purkujätteen käsittely. (Kuittinen 2019; SFS-EN15978 2011.) Käyttöaika-arvioksi rakenteille asetetaan 50 vuotta. Käyttöaika-arvion aikana ei tapahdu korjausrakentamiseen liittyviä skenaarioita, sillä arviointi rajautuu vain valmistukseen ja purkamiseen.

Arvioinnissa lasketaan hiilijalanjälki yhden neliön kokoiselle seinärakenteelle, arviointi toistetaan jokaiselle valitulle rakenteelle. Esimerkissä (Taulukko 1) arviointi on toteutettu 1..2 kerroksisen CLT rakenteisen asuinkerrostalon ulkoseinärakenteesta. Arviointiin käytetään aluksi laskentatyökälun omia sisäisiä päästöarvoja. Toisessa arvioinnissa laskenta tehdään ympäristöselosteiden päästöarvojen pohjalta.

Arvioinnissa arvioidaan vain seinärakenteen seinäneliölle kertyviä päästöjä. Tämän vuoksi kerrosalaksi ja lämmitetyksi nettoalaksi merkitään luku 1m<sup>2</sup>. Pakolliset tiedot on merkitty tähdellä (\*).

### Yhteenveto

Lähtötiedot		
Rakennuskohteen tiedot	Kohteen nimi*	1..2 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä
	Rakennustunnus	1
	Osoite	1
	Rakennustyyppi	Asuinrakennukset
Rakennuksen tekniset tiedot	Kerrosala [kem <sup>2</sup> ]	1
	Lämmitetty nettoala [m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> ]*	1
	Kerrosten lukumäärä	
	Kellarikerrosten lukumäärä	
	Pääasiallinen runkomateriaali	Puu
Laskennan tiedot	Energialuokka	
	Laskenta-ajanjakso*	50
	Arvioinnin tekovaihe	
	Käytetty arviointitapa	Yksinkertaistettu
	Rakennuksen arvioitu käyttöönottovuosi*	2021

\*pakollinen tieto

Taulukko 1. Arvioinnin perustietojen syöttäminen työkaluun (Green Building Council Finland 2019.)

Rakentamisen päästötietokanta Co2data.fi toimii hakukoneen tavoin (Kuva 1). Päästötietokannan käytössä on syytä huomata, että joitakin rakennusosia ei löydy suomenkielisellä haulla. Ympäristöseloste kuitenkin olla tallennettu tietokantaan englanniksi vaikka selosteen yläluokka olisikin suomeksi. Hakukone toimii molemmilla kielillä, mutta parhaiten englanniksi.

The screenshot shows a search interface with a search bar containing 'CLT', a green 'Hae' button, and an 'Oma luettelo' button. Below the search bar, there is a breadcrumb trail: 'Luokka > CLT, Cross laminated timber'. The main content area displays the search results for 'CLT, Cross laminated timber' with a carbon footprint of '0.2 kg CO<sub>2</sub>e /kg'. Below this, there are three alternative names: 'CLT, ristiinliimattu monikerroslevy', 'Korslimmat trä', and 'Konservatiivinen arvo rakentamisluvan hakemiseen, GWP (A1-A3)'. The version number 'Version 1.00.003, 2021-08-23' is visible in the top right corner of the content area.

Kuva 1. Esikatselu Co2data.fi sivun hakukoneesta (Co2data 2021b.)

Tilanteissa, jossa ympäristöselostetta ei ollut saatavissa Co2data.fi:n ympäristöselostekirjaston kautta käytettiin joko vastaavan tuotteen valmistajan tuoteselosteissa ilmoittamia arvoja materiaalille, tai vaihtoehtoista ympäristöselostekirjastoa.

Materiaalin massa on saatavissa palvelusta joko tuotesivun alaosasta tai tarkennetusta raportista. Tarkennetusta raportista (Taulukko 2) selviää mm. Co2data.fi:n ilmoittamaan laskennallisen keskiarvon määrittämiseen käytetyt ympäristöselosteet. Kuvasta voidaan havaita tuotteen keskimääräinen kuutiopaino 470kg m<sup>3</sup> ja lähde ympäristöselosteeseen, josta taustaraportin tiedot on poimittu. Moduulien laskenta-arvojen lisäksi raportissa kerrotaan lyhyesti tuotteen valmistusprosessista, valmistusmääristä ja sen teknisistä ominaisuuksista.

Emission data collected from relevant sources			
Source	Indicator	Value	Comments
Environdec EPD International Stora Enso  <a href="https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/18686/S-P-02033%20EPD.pdf">https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/18686/S-P-02033%20EPD.pdf</a>	GWP fossil (A1 – A3)	0,114	EPD for CLT by Stora Enso CLT is produced in <u>Austria and Sweden</u> , and distributed around the globe. The three factories have an annual production capacity of approx. 270,000 m <sup>3</sup> which corresponds to roughly 5,000 detached houses. <u>Manufacturing process:</u> Kiln dried sawn timber, streng grading, trimming, finger jointing, planing, edge bonding, surface bonding, laying, pressing, finishing, machining, surface treatment. Mean <u>density</u> 470 kg/m <sup>3</sup> and <u>moisture</u> cocntent 12% ± 2% when dispatched from the mill. <u>Declared unit</u> 1 m <sup>3</sup> with moisture content 12%. The biogenic carbon content is - 762 kg CO <sub>2</sub> eq./m <sup>3</sup> . Biogenic carbon enters the product system in forest (module A1) and for calculation purpose it is assumed to leave latest from the product system in the end-of-life stage (module C). <u>Product content:</u> CLT consists of single layer panels which are bonded with polyurethane
	Carbon handprint (D) Carbon storage	1,62	
	The content of renewable rawmaterials	99%	
	The content of secondary materials		
	Substances of Very High Concern	<0,1%	
End-of life-scenario Alternative scenarios given: Reuse, recycling, incineration, landfilling.			

Taulukko 2. Esimerkki ristiinliimatun puun (CLT) taustaraportista. (Co2data 2021c.)

Ympäristöministeriön arviointityökalussa (Taulukko 3) materiaalmäärät on syötettävä materiaaliluettelon kiloina seinärakenteeseen käytetyn materiaalmäärän mukaan. Osassa rakenteita laskentaan sisältyi muurauslaasti tai ulkoverhouspaneeli. Tasoitetta tai pinnoitetta ei huomioitu tapauksissa, jossa sitä ei erikseen osoitettu seinärakenteessa. Esimerkiksi US 401 (Kuvio 7) – teräsbetoniseinän materiaaliluettelossa seinäpinta ja pintakäsittely tehdään huoneselosteen mukaan, joten se ei tässä työssä sisälly rajaukseen, kun taas kantavissa puuseinärakenteissa ulkoverhouksen panelointi esitetään tarkasti rakenneselosteessa, jolloin se sisällytetään arviointiin. Laskennassa ei otettu huomioon tonttia tai taloteknisiä laitteita, joten nämä osiot jätettiin tyhjiksi.

Littera	Rakennusosa	Materiaalin tyyppi	Materiaali	Määrä	yks	Hiihtijäljeki	Hiihtäjäjäljeki	Hiihtijäljeki	Hiihtäjäjäljeki	Vaihtoväli	Vaihdot	Hiihtijäljeki
<b>Kantavat rakenteet (1.2.1-1.2.3 Talo-osat)</b>												
		SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	16	kg	2	-25	0,15	-1,56		vaihdeta	
Total				Lisää rivi		2	-25					
<b>Valppa (1.2.4-1.2.6 Talo-osat)</b>												
		LÄMMÖNERISTEET	tuulensuoja, lasivilla, 75 kg/m3	5	kg	9		1,86			Ei vaihdeta	
Total				Lisää rivi		9						
<b>Kevyet rakenteet (1.3 Tila-osat)</b>												
		LEVYT	kipsilevy	18	kg	20		1,14			50	
		LEVYT	väneri	9	kg	3	-14	0,36	-1,60		50	
Total				Lisää rivi		23	-14					

Taulukko 3. Esimerkki arviointityökaluun syötetyistä materiaalimääristä ja tarkennetun laskennan laskenta arvoista. (Green Building Council Finland 2019.)

Työkalussa on mahdollisuus korvata sen sisältämät tiedot tarkemmilla laskentakertoimilla *korvaa taulukkoarvoja tarkemmilla tiedoilla* painikkeella. Tarkemmat laskentakertoimet saadaan tarvittaessa tuotteen tai valmistajan tarjoamasta ympäristöselosteesta. Osaan työkalun moduuleista on valmiiksi asetettu oletusarvoja, jotka työkalu huomioi laskennan lopputuloksissa, ellei käyttäjä erikseen muuta oletusarvoja tai nolaa niitä.

Arviointi rajattiin moduuleihin A1-A3 ja C1-C3, minkä vuoksi moduulien A4 ja A5 solujen arvot nolataan, sillä ne eivät sisälly arviointiin (Taulukko 4). Moduulille A4 työkalu ei ilmoita nollattavaa oletusarvoa, jolloin sen jättäminen arvioinnin ulkopuolelle ei ole mahdollista työkalun nykyisessä kehitysvaiheessa. Työkalun käyttämä keskiarvo kuljetukseen perustuu ympäristöministeriön menetelmässä ilmoitettuun keskiarvoon. Moduulin A5 ulos rajaaminen työkalussa on mahdollista nollaamalla työmaatoiminnot (A5) solu laskentatyökalun *valmistus, kuljetus, työmaa -vaiheiden päästöjen (A)* välilehdellä (Taulukko 4) ja korvaamalla kohdan A5 tiedot tarkemmilla tiedoilla eli tässä tapauksessa nolalla, jolloin solu tyhjenee.



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

	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a
Ennen käyttöä syntyvät päästöt yhteensä	0,70	-0,77
<b>Valmistus ja kuljetusvaihe (A1-4)</b>	<b>0,70</b>	<b>-0,77</b>
Tontti		
Kantavat rakenteet	0,05	-0,49
Vaippa	0,19	
Kevyet rakenteet	0,47	-0,28
Talotekniikka		
Valmistusvaiheen päästöjen tulokset muodostuvat automaattisesti välilehdellä 'Materiaaliluettelo' annettujen arvojen perusteella.		

Työmaatoiminnot (A5)		
Työmaatoimintojen arvot perustuvat neliömetrikohtaiseen taulukkoarvoon.		
Työmaatoiminnot (A5) tarkennettu laskenta		

Taulukko 4. Arviointityökalun valmistus-, kuljetus- ja työmaavaiheen moduulin (A) välilehti (Green Building Council Finland 2019.)

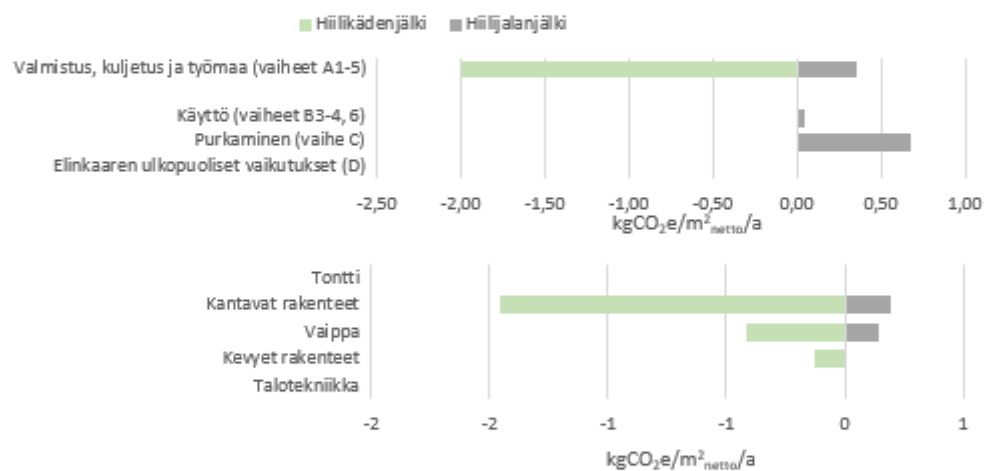
Työkalu laskee moduuleille C1-C3 valmiit arvot annettujen materiaalien mukaan (Taulukko 5). Arviointiin ei sisälly erillisiä korjausrakentamiseen liittyviä skenaarioita, jolloin työkalun antamia tietoja purkamisesta, jätteenkäsittelystä ja loppusijoituksesta käytetään sellaisinaan kuin työkalu ne ilmoittaa.

<b>Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu</b>		
Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019		
 		
<b>Elinkaaren lopun päästötiedot</b>		
	<b>Hiilijalanjälki</b>	<b>Hiilikädenjälki</b>
	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a
<b>Elinkaaren lopussa syntyvät päästöt yhteensä</b>	<b>0,67</b>	
<b>Purkamisen (C1)</b>	<b>0,16</b>	
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.		
<b>Kuljetukset (C2)</b>	<b>0,20</b>	
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.		
<b>Purkujätteen loppukäsittely ja sijoitus (C3-4)</b>	<b>0,31</b>	
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.		
<b>Elinkaaren ulkopuolella syntyvät hyödyt (D)</b>		
Jos uudelleenkäytön tai kierrätyksen avulla vältetyt nettopäästöt on laskettu, syötä tarkemmat tiedot oheisen painikkeen avulla. Muussa tapauksessa elinkaaren ulkopuolisia vaikutuksia ei huomioida.		

Taulukko 5. Arviointityökalun tuottamat päästöarvot CLT seinärakenteen moduuleille C1 - C3 (Green Building Council Finland 2019.)

Työkalu koostaa elinkaariarvioinnin tulokset yhteenveto välilehdelle (Kuvio 11). Raportista selviää elinkaariarvioinnin tulokset moduuleittain. Taulukosta (Kuvio 11) selviää myös energiankäytön hiilijalanjäljen muutos rakennuksen elinkaaren ajalta. Työkalu erittelee hiilikädenjäljen ja hiilijalanjäljen moduuleittain omaan taulukkoonsa kumulatiivisten päästöjen yläpuolelle. Taulukosta (Kuvio 11) selviää myös rakennuksen osien hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkiarvot.

Elinkaariarvioinnin tulokset	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	tn CO <sub>2</sub> e	tn CO <sub>2</sub> e
Elinkaaren aikana syntyvät kokonaispäästöt (A-D)	0	0
	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> <sub>netto</sub> /a
Vuotuiset päästöt lämmitettyä nettoalaa kohden (A-D)	1,07	-1,99
Valmistus, kuljetus ja työmaa (vaiheet A1-5)	0,35	-1,99
Tontti		
Kantavat rakenteet	0,20	-1,46
Vaippa	0,15	-0,41
Kevyet rakenteet	0,01	-0,12
Talotekniikka		
Käyttö (vaiheet B3-4, 6)	0,04	
Purkaminen (vaihe C)	0,67	
Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D)		



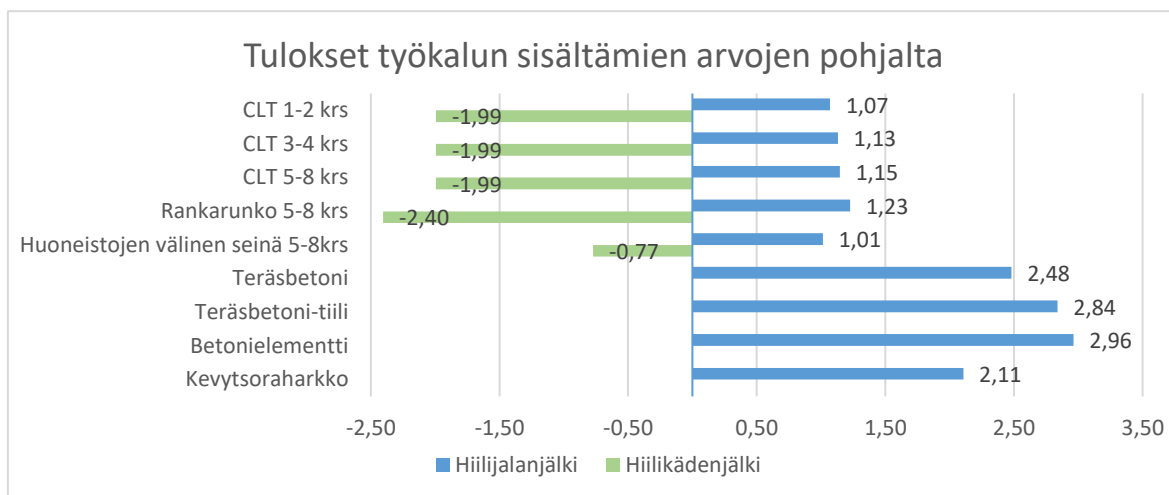
Kumulatiiviset vuotuiset päästöt



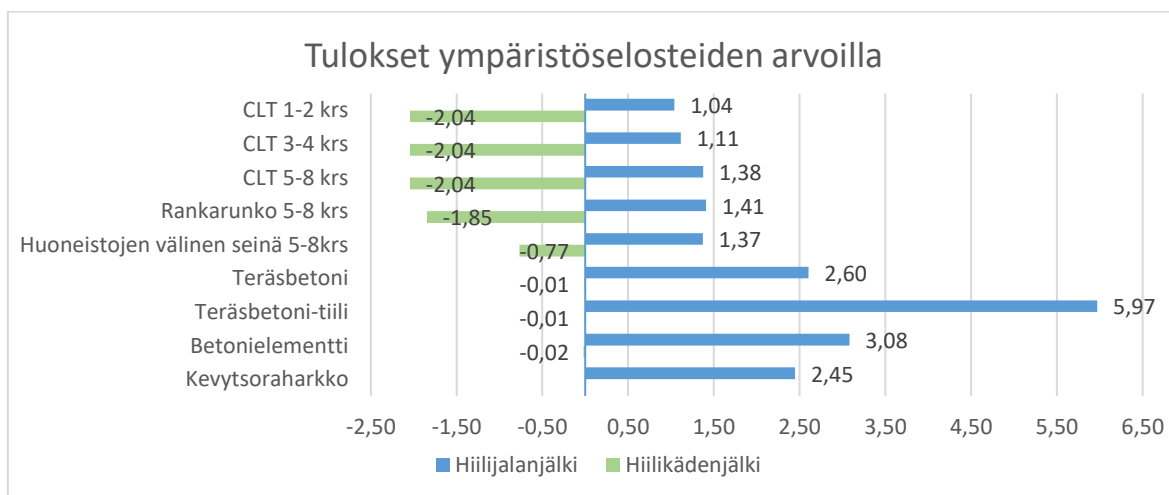
Kuvio 11. Arviointityökalun yhteenvetosivu CLT rakenteisen ulkoseinän hiilijalanjäljestä ja hiilikädenjäljestä (Green Building Council Finland 2019.)

## 5 Tulokset

Arviointi toteutettiin työkalun sisältämällä laskennallisilla keskiarvoilla (Kuvio 12) ja rakennustuotteiden ympäristöselosteiden arvojen pohjalta (Kuvio 13). Tulokset taulukoitiin päästöerojen vertailun helpottamiseksi (Kuvio 12 ja Kuvio 13).



Kuvio 12. Tulokset työkalun sisältämien arvojen pohjalta



Kuvio 13. Tulokset ympäristöselosteiden sisältämien arvojen pohjalta

### 5.1 Tulosten tarkastelu

Arvioinnin tulosten perusteella CLT seinärakenteen tuottama hiilijalanjälki vaihtelee arviointiin käytettyjen laskenta-arvojen pohjalta. Käytettäessä työkalun sisältämiä arvoja CLT rakenteen tuottama hiilijalanjälki oli hieman yli kaksi kertaa pienempi kuin vertailussa mukana

olleet betonipohjaiset seinärakenteet. Ympäristöselosteiden pohjalta tehdyssä arvioinnissa rakenteiden tuottaman hiilijalanjäljen erot pienenivät, mutta pysyivät silti kaksi kertaa pienempinä verrattuna betonipohjaisiin seinärakenteisiin. Molempien arviointien perusteella voidaankin havaita, että puurakenteinen seinärakenne on enemmän eloperäistä hiiltä sitova, ympäristö- ja ilmastoystävällisempi vaihtoehto tuotevaiheessa ja elinkaaren loppuvaiheessa verrattuna betoni-, tiili- ja kevytsoraharkkorakenteeseen.

Merkittävimpana etuna puupohjaisille rakenteille voidaan nähdä niiden tuottama pienen hiilijalanjäljen lisäksi niiden tuottama hiilikädenjälki. Suuren hiilikädenjäljen ja pienen hiilijalanjäljen tuottavia seinärakenteita, kuten esimerkiksi CLT-pohjaista seinärakennetta tulisi harkita vaihtoehtona useammassa rakennusprojekteissa seinärakennevaihtoehtona. Näin kyettäisiin laskemaan rakennuksen tuottamia ympäristöpäästöjä tuote- ja elinkaaren loppuvaiheessa.

Seinärakenteiden arvioinnin tuloksista voidaan havaita, että puurakenteinen seinäneliö, tuottaa selvästi pienemmän hiilijalanjäljen kuin laskentaan valitut muut seinärakenteet. Työkalun sisältämällä arvoilla suurimman hiilijalanjäljen tuotti kantava teräsbetonielementtiseinä (Kuvio 7)  $2,96 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$ . Pienimmän hiilijalanjäljen vastaavasti tuotti CLT rakenteinen kantava seinä, riippumatta rakenteelle tarkoitetusta kerroslukumäärästä; 1..2  $1,02 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$ , 3..4  $1,13 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$  ja 5..8  $1,15 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$ . Puurakenteiden ulkopuolelta valituista rakenteista pienimmän hiilijalanjäljen seinäneliölle tuotti kevytsoraharkkorakenne  $2,11 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$ .

Hiilijalanjäljen arvot nousivat kaikissa arvioiduissa rakenteissa, mutta havaittavimmin teräsbetoni-tiilirakenteessa, jossa arvo nousi yli kaksinkertaiseksi. Tätä voidaan selittää valitun ympäristöselosteen tuottaman yhtiön ilmoittamassa valmistusprosessissa, jossa käytetään tiilien tuplapolttoa.

Laskennan tuloksissa (Kuvio 12 ja Kuvio 13) havaittiin esimerkiksi hiilijalanjäljen osuuden kasvavan kaikissa seinärakenteissa. Hiilijalanjäljen kasvun osuus oli keskimäärin  $0,19 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$  betonirakenteiden välillä, pois lukien teräsbetoni-tiilirakenne. Puurakenteissa hiilijalanjäljen osuus nousi keskimäärin  $0,13 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$ . Tarkennettu laskenta tuotti hiilikädenjälki-arvoja myös betonirakenteille, joka viittaa betonin karbonatisoitumiseen.

Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien tuottamaa hiilikädenjälkeä ei summata yhteen hiilijalanjälkeen, vaan se pidetään erillään ilmoitetuissa tuloksissa. Tulosten perusteella suurimman hiilikädenjäljen tuotti massiivi-rankarunkoinen seinärakenne  $-2,4 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2\text{/a}$ . Betonirakenteelle työkalu ei ilmoita hiilikädenjälkeä työkalun omia arvoja käytettäessä.

Vastaavasti ympäristöselosteiden pohjalta tehdyssä arvioinnissa tulokset vaihtelivat odotetusti, mitä voidaan selittää työkalun sisältämällä laskenta-arvoilla, jotka ovat laskennallisia keskiarvoja. Vertailussa pienimmät muutokset arviointien välillä ilmenivät huoneistojen välisten siksak puurunkoisten seinien hiilikädenjäljen tuloksissa, jotka eivät muuttuneet arviointien välillä.

Ympäristöselosteiden pohjalta tehdyn tarkempien arvojen arvioinnin tuloksissa CLT rakenteiset seinärakenteet (Kuvio 2, Kuvio 3, Kuvio 4,) tuottivat pienemmän hiilijalanjäljen eron verrattuna rankarunkorakenteeseen (Kuvio 5). Rakenteiden välinen ero pieneni 5..8 kerroksisen rakenteen (Kuvio 4, Kuvio 5) välillä 0,08:sta 0,03:een  $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^2/\text{a}$ . Näiden kahden rakenteen hiilikädenjälkiarvot muuttuivat työkalun omien arvojen (Kuvio 12) ja tarkkojen ympäristöselostearvojen välillä (Kuvio 13) enemmän. CLT seinärakenteen hiilikädenjälki arvo kasvoi (-0,05)  $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^2/\text{a}$ , kun taas rankarunkorakenteen hiilikädenjälki oli pienempi (+0,55)  $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^2/\text{a}$ .

## 6 Yhteenveto

Opinnäytteen yhdeksi tavoitteeksi luettiin moduulien rajausta A1 - A3 välille, Työkalun nykytila ei sallinut arviointimoduulien tarkempaa rajaamista, minkä vuoksi myös moduuli A4 otettiin mukaan arviointiin. Opinnäytteessä käytetyn työkalun versio mahdollisti vain yhden rakenteen arvioinnin kerrallaan. Arvioinnin tulokset oli koostettava jokaiselle rakenteelle erikseen, mikä pitkitti varsinaista arviointiprosessia tilanteessa, jossa arvioinnin tuloksia haluttiin vertailla keskenään. Mainittavaa on myös, ettei laskentaan käytettyä työkalua ole ensisijaisesti kehitetty yksittäisen rakenteen arviointiin, vaan kokonaisen rakennushankkeen ympäristöpäästöjen mittaamiseen suunnitellun tai toteutetun hankkeen pohjalta.

Laskennan toteutuksessa havaittiin myös, etteivät työkalun sisältämät tiedot päästöarvoista ole erityisen ajantasaisia. Lisäksi useita moduuleja on sulautettu yhteen tai ne sisältävät arvoja, joita ei voi muokata tai poistaa laskennasta. Ympäristöministeriön julkaisun ja standardin EN 15978 mukaan vastaavassa arvioinnissa käytettävien arvojen tulisi olla mahdollisimman ajantasaisia. (Kuittinen 2019; SFS-EN 15978. 2011.) Osaa arvoista onkin myöhemmin päivitetty työkaluun hyvin karkeasti arvioiduilla, tarkistamattomilla arvoilla.

Lisäksi avoin tietokanta Co2data on vielä kehitteillä ja sisältää yleisluontoisia kertoimia arviointiin, jotka eivät välttämättä vastaa Suomen olosuhteissa käytettyjä materiaaleja. (Green Building Council Finland 2019.) Keskimääräisten laskenta-arvojen vaikutus havaittiin tuloksien eroavaisuuksina. Keskiarvot lisäävät ja pahimmillaan vähentävät ympäristöystävällisyyden erityisesti panostaneiden yhtiöiden kilpailuetua rakennusteollisuudessa.

Arviointityökalua olisikin syytä kehittää suuntaan, joka mahdollistaa eri rakennevaihtoehtojen erojen havainnollistamisen jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi kehityksessä olisi tärkeää pyrkiä ajantasaistamaan työkalun sisältämiä laskenta-arvoja, mahdollistaa useamman rakennevaihtoehdon tuottamien tulosten keskinäinen vertailu ja mahdollistaa arviointimoduulien pois jättämisen ja lisäämisen.

### 6.1 Aiemmat tutkimukset

Arviointimenetelmää ja työkalun käyttöä on testattu Suomalais-venäläisen koulun uudisrakennushankkeen suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Hankkeessa arviointityökalun avulla havainnollistettiin rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkieroja rakennevaihtoehtojen välillä suunnittelun ohjaamisen apuna. Suunnitteluvaiheessa rakenteiden lasketut päästöarvot kasvoivat tarkentuessaan. Toisaalta tarkentuneet materiaalitiedot pudottivat kokonaispäästöjä, mutta työmaavaiheen tarkentuneet tiedot nostivat niitä. Suunnitteluvaiheen päästötie-

tojen arviointi tehtiin ympäristöministeriön arviointityökalulla ja arviointimenetelmällä. Vertailuista rakennevaihtoehdoista hankkeen jatkoon valittiin betoni ja puurakenne, jonka huomattiin tuottavan huomattavasti pienemmän hiilijalanjäljen kuin betonirakenne. (Senaattikiinteistöt 2020.)

CLT runkorakenteen ja betonirunkorakenteen rakennusvaiheen eroja on päästy vertailemaan TVT Asunnot Oy:n rakennushankkeessa, jossa Mangrove Oy rakennutti Turkuun kaksi lämmitys-, pohjaratkaisuiltaan ja ulkonäöltään samanlaista asuinkerrostaloa. Kerrostaloille tehtiin elinkaariarviointi hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen arvioimiseksi. (Mangrove Oy 2022.)

CLT rakenteen havaittiin olevan betonirakennetta ympäristöystävällisempi. Lisäksi rakennusvaiheessa CLT rakenne havaittiin nopeammaksi koota rakenteen mittatarkkuuden, keveyden ja sääsuojan käyttömahdollisuuden vuoksi verraten betonirakenteiseen rakennukseen. Kahden valmistuneen asuinkerrostalon välisiä eroja tullaan tutkimaan myös asukkaiden kokemusten perusteella muun muassa asuntojen pintamateriaaleista, akustiikasta ja valoisuudesta. Puurakentamisen lisääminen nähdään konkreettisena toimenpiteenä hiili-neutraliutta kohti kulkiessa. Tällä hetkellä kuitenkin materiaalin saatavuus ja suhdanneherkkyys koetaan alan haasteena. (Mangrove Oy 2022.)

Vuonna 2013 tehdyssä tutkimuksessa vertailtiin kahden eri rakenteisen; CLT ja teräspilari- sen betonitalon ympäristöpäästöeroja. Tutkimuksessa arvioitaviksi seinärakenteiksi valittiin U arvoltaan vastaavat seinärakenteet ja arvioinnin ulkopuolelle jätettiin toisiaan vastaavat rakenteet, kuten rakennuksen perustukset, LVI- ja sähköliittymät. Rakennuksen energian- kulutuksen arvioitiin olevan toisiaan vastaavia rakennuksissa, joiden U-arvot olivat käytän- nössä samanlaiset. (Grann 2013.)

Tutkimuksessa havaittiin CLT rakenteen ilmaston lämpenemisen potentiaalin olevan pie- nempi ja tuottavan vähemmän jätettä ja muita ympäristöpäästöjä kuin betonirakenne. Ra- kenteelle tehtiin kaksi elinkaaren lopun skenaariota; jätteeksi sijoituksen skenaario ja polt- toskenaario. Lisäksi CLT rakenteen tuotantovaiheessa materiaalihukan osuus on hyvin vä- häinen ja merkittävä osa materiaalista voidaan ottaa uusiokäyttöön. Betonin valmistuspro- sessissa taas vapautuu suuri määrä hiilidioksidia, josta murto-osa sitoutuu takaisin betoniin. Erityisenä etuna tutkimuksessa CLT rakenteelle nähtiin elinkaaren lopun polttoskenaario, jossa rakennuksessa käytetty puu käytettäisiin energiaksi. Energiaksi käytetty puu syrjäyt- täisi parhaimmillaan maakaasun, tai muiden fossiilisten polttoaineiden osuutta energianläh- teenä. (Grann 2013.)

Maanlaajuisesti elinkaariarvioinnissa tutkimukset käsittelevät usein ulkoseinien eri vaihtoehtoja ja niiden ympäristövaikutuksia, yrittäen löytää ympäristöystävällisintä vaihtoehtoa rakentamiselle. Tutkimukset ovat ympäri maailmaa, eri maanosista ja ympäristöistä eivätkä siksi ole usein järkevästi vertailtavissa keskenään. (Sivestre ym. 2010.)

Artikkelissa tehtiin katsaus 38 elinkaariarvioon, jotka käsittelivät rakennuksen ulkoseinien elinkaariarviointia ja päästömittauksia. Ulkoseinän eristävyys määrällä mitataan seinän hyödyllisyyttä ja sitä tulisi käyttää lähtöarvona artikkelin mukaan arvioinnissa. Artikkelissa esitetään myös, että suuri osa U arvoltaan samankaltaisten seinärakenteiden arvioista vertailee vain tuotantovaihetta, ja jättää muut vaiheet arvioinnin ulkopuolelle. Näissä arvioissa elinkaari vaihtelee myös huomattavasti. Tutkimuksista alle puolet sisältävät rakennuksen ympäristölliset ja terveydelliset vaikutukset rakennuksen käyttövaiheessa. (Sivestre ym. 2010)

Rakennusta arvioitaessa on siis tärkeää, että arviointi sisältäisi elinkaaren kaikki vaiheet sisältäen myös esimerkiksi resurssien hankinnan sekä rakennus- ja käyttövaiheen, että korjaus- ja huoltotöiden skenaariot. Tämän vuoksi on tärkeää, että arviointia ja siihen käytettyjä tietoja ohjaavat yhteiset standardit ja työkalu, joka mahdollistaisi tulosten järkevän vertailun ja arvioinnin rakennushankkeen sijainnista riippumatta. (Sivestre ym. 2010.)

## 6.2 Jatkotutkimusehdotukset

Opinnäytteessä käytetty arviointimenetelmä on ensimmäinen versio Suomessa käytettävästä rakennuksen elinkaariarvioinnin menetelmästä. Menetelmään ja sen työkaluun on odotettavissa päivityksiä vuoden 2021 ilmastaselvityksen asetusluonnoksen jälkeen, mikä tuo menetelmään uusia elinkaaren moduuleja. Uudistus tuo lisää testaustarvetta ympäristöministeriön arviointimenetelmälle ja arviointiin kehitetylle työkalulle.

Erytisesti CLT rakenteen käyttöä ja sen tuottamia hyötyjä rakennus, käyttö ja kuljetusvaiheessa tulee tarkastella ja verrata muihin seinärakenteisiin. Rakenteen suuri hiilikädenjälki tekee siitä ympäristöystävällisen rakennevaihtoehdon esimerkiksi koulu- ja asuinrakennuksiin. Valtaosa rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä syntyy sen käyttämän energian pohjalta. Miten rakenne muuttuu käyttökohteen mukaan ja vaikuttaako tämä merkittävästi materiaalin päästö- tai eristävyysarvoihin. Miten puumateriaaliin sitoutunutta hiiltä on mahdollista sitoa rakenteen elinkaaren lopussa muillakin tavoin kuin käyttämällä puu polttamalla energiaksi.

Rakennuksen eri ulkoseinärakenteiden vertailua tulisi jatkaa rakenteiden tarkemmalla vertailulla, jossa seinärakenteilla asetettaisiin rajaus esimerkiksi eristävyys (U-arvon) rajauk-

sella, jolloin joitakin rakennevaihtoehtoja rajautuisi ulos arvioinnista rakennuksen käyttötärpeen mukaan. Vastaavanlaista arviointia seinärakenteen hiilijalanjäljen ja eristävyden pohjalta tulisi tarkastella myös toisiaan vastaavissa rakennushankkeissa; millaista rakennetta käytettiin, mitkä olivat rakenteen vaatimukset ja rakennuksen käyttötarkoitus. Kehittyvää menetelmää ja työkalua on tarkoitus hyödyntää rakennushankkeiden tasapuolisessa vertailussa maantieteellisestä sijainnista riippumatta.

## Lähteet

- Co2data. 2021a. Rakentamisen päästötietokanta. Palvelukuvaus. [Viitattu 5.1.2022].  
Saatavissa: <https://www.co2data.fi/docs/Palvelukuvaus.pdf>
- Co2data. 2021b. Rakentamisen päästötietokanta. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa:  
<https://co2data.fi/>
- Co2data. 2021c. Rakentamisen päästötietokanta. CLT taustaraportti [Viitattu 31.1.2022].  
Saatavissa: <https://co2data.fi/reports/Wood-CLT-2.pdf>
- Grann. 2013. A Comparative Life Cycle Assessment of Two Multistory Residential Buildings: Cross-Laminated Timber vs Concrete Slab and Column with Light Gauge Steel Walls. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa:  
<https://library.fpinnovations.ca/en/viewer?file=%2fmedia%2fWP%2f3062.pdf#phrase=false&pagemode=bookmarks>
- Green Building Council Finland. 2019. Rakennusten hiilijalanjäljen Excel arviointityökalu. Luonnos 9.12.2019 - sisäiset ohjeet. [Viitattu 29.1.2022]. Saatavissa:  
<https://www.ym.fi/download/noname/%7BD4EE18D2-E07C-48A2-88A5-D266705A0498%7D/149235>
- Hiilineutraalisuomi. 2021. Rakentamisen päästötietokanta CO2data.fi. [Viitattu 5.1.2022].  
Saatavissa: [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-Tyokalut/Rakentamisen\\_paastotietokanta](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-Tyokalut/Rakentamisen_paastotietokanta)
- Kuittinen M. (toim.). 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>
- Mangrove Oy. 2022. Puu- ja betonirakentamisen vertailuhanke valmistui Turussa: Puurunkoinen kerrostalo ripeämpi rakentaa ja toimii hiilivarastona koko elinkaarensa ajan – suhdanneherkkyys alan haaste. [Viitattu 7.2.2022]. Saatavissa:  
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/puu--ja-betonirakentamisen-vertailuhanke-valmistui-turussa-puurunkoinen-kerrostalo-ripeampi-rakentaa-ja-toimii-hiilivarastona-koko-elinkaarensa-ajan-suhdanneherkkyys-alan-haaste?publisherId=69819151&releaseId=69930633>
- Puuinfo. 2018. Rakenneyksityiskohtia. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Palo\\_Liite\\_Rakenneyksityiskohtia\\_2018\\_26\\_2-final-1.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Palo_Liite_Rakenneyksityiskohtia_2018_26_2-final-1.pdf)
- PuuInfo. 2020. Monikerroslevy CLT. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa:  
<https://puuinfo.fi/puutieto/insinööriuotteet/monikerroslevy-clt/>
- RT82-11006. 2010. Ulkoseinärakenteita. Helsinki. Rakennustietosäätiö

Senaatti-kiinteistöt. 2020. Hiilijalanjälki rakennushankkeen ohjauksessa-case Suomalais-venäläinen koulu. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa:

[https://www.senaatti.fi/app/uploads/2020/09/SVK-hiilijalanj%C3%A4lkiohjaus-hankkeessa\\_yhteenvedo2.pdf](https://www.senaatti.fi/app/uploads/2020/09/SVK-hiilijalanj%C3%A4lkiohjaus-hankkeessa_yhteenvedo2.pdf)

SFS-EN 15804, 2012+A2:2019. 2019. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.

Helsinki: Rakennusteollisuus

SFS-EN 15978. 2012. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Helsinki: Rakennusteollisuus

Sivestre, de Brito, Pinheiro. 2010. Building's External Walls in Life Cycle Assessment (LCA), [Viitattu 5.1.2022], Saatavissa:

[https://www.researchgate.net/publication/283325698\\_Building%27s\\_External\\_Walls\\_in\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_LCA\\_Research\\_Studies](https://www.researchgate.net/publication/283325698_Building%27s_External_Walls_in_Life_Cycle_Assessment_LCA_Research_Studies)

Stora Enso. 2017. CLT by Stora Enso, Technical Brochure. [Viitattu 5.1.2022].

Saatavissa: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf?mode=brochure#page=1>

Stora Enso. 2022a. Historia. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa:

<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-history>

Stora Enso Oyj. 2022b. Projects listings. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa:

[https://references.buildingsolutions.storaenso.com/en/projects?filters=&utm\\_source=se\\_web&utm\\_medium=cta&utm\\_campaign=reflib](https://references.buildingsolutions.storaenso.com/en/projects?filters=&utm_source=se_web&utm_medium=cta&utm_campaign=reflib)

Ympäristöministeriö, 2019. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. [Viitattu 5.1.2022].

Saatavissa: [https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus\\_rakennusten\\_elinkaariarviointiin.pdf](https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf)

## Liite 1. Laskentaan käytettyjen materiaalien tiedot ja ympäristöselosteiden lähteet

### 5...8 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä US003

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. Kuitukipsilevy	14,75	<a href="https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf">https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf</a>
2. Puulevy (jäykistävä levytys)	8,64	<a href="https://co2data.fi/reports/Wood-plywood-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Wood-plywood-1.pdf</a>
3. Ilman ja höyrynsulku	0,3	<a href="https://ardex.fi/wp-content/uploads/2020/01/AR-DEX-E-90-EPD.pdf">https://ardex.fi/wp-content/uploads/2020/01/AR-DEX-E-90-EPD.pdf</a>
4. Rankarunko k600	49,375	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>
Mineraalivilla	7,375	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
5. Kipsikartonkilevy	6,7	<a href="https://co2data.fi/reports/Minerals-gypsum-board-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Minerals-gypsum-board-2.pdf</a>
6. Kiinnityskoolaus k600	2,78712	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>
7. Ulkoverhouspaneeli	13,272	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>

### 1..2 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä US101

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. CLT levy	47	<a href="https://co2data.fi/reports/Wood-CLT-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Wood-CLT-2.pdf</a>
2. Jäykkä mineraalivilla	5,31	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
3. Kiinnityskoolaus k600	3,95	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>
4. Ulkoverhouspaneeli	13,272	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>

### 3..4 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä US102

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. Palokipsikartonkilevy	13,125	<a href="https://co2data.fi/reports/Minerals-gypsum-board-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Minerals-gypsum-board-2.pdf</a>
2. CLT levy (jäykistävä levytys)	47	<a href="https://co2data.fi/reports/Wood-CLT-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Wood-CLT-2.pdf</a>
3. Mineraalivilla	5,31	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
4. Kiinnityskoolaus K600	3,95	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>

5. Ulkoverhouspaneeli	13,272	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>
-----------------------	--------	---

#### 5..8 kerroksisen asuinkerrostalon ulkoseinä US103

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. Kuitukipsilevy	14,7	<a href="https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf">https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf</a>
2. CLT levy (jäykistävä levytys)	47	<a href="https://co2data.fi/reports/Wood-CLT-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Wood-CLT-2.pdf</a>
3. Mineraalivilla	5,31	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
4. Kiinnityskoolaus k600	3,95	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>
5. Ulkoverhouspaneeli	13,272	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>

#### 5..8 kerroksisen asuinkerrostalon huoneistojen välinen seinä HVS003

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. kuitukipsilevy	17,7	<a href="https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf">https://www.hunton.no/wp-content/uploads/2018/09/epd-fermacell-gypsum-fibreboard_en.pdf</a>
2. Puulevy	8,64	<a href="https://co2data.fi/reports/Wood-plywood-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Wood-plywood-1.pdf</a>
3. Siksak rankarunko K600	15,8	<a href="https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf">https://co2data.fi/reports/WOOD-SAWN-TIM-BER.pdf</a>
mineraalivilla äänieristeenä	5	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>

#### Teräsbetoniseinä RT US401

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. Kuorielementti, teräsbetoni	176,61	<a href="https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf</a>
2. Tuuletusväli	0	
3. Tuulensuoja, mineraalivilla	3,05	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
4. Lämmöneriste mineraalivilla	4,425	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
5. Kantava rakenne, teräsbetoni	378,45	<a href="https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf</a>

#### Teräsbetoniseinä-tiiliverhous RT US402

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. Tiilimuuraus M100/500 laasti	214,455	<a href="https://co2data.fi/reports/Minerals-brick.pdf">https://co2data.fi/reports/Minerals-brick.pdf</a>
2. Tuuletusväli	0	

3. Tuulensuoja, mineraalivilla <a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">1.pdf</a>	3,05	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
4. Lämmöneriste mineraalivilla <a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">1.pdf</a>	4,425	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
5. Kantava rakenne teräsbetoni	378,45	<a href="https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf</a>

#### **Betonielementtiseinä RT US405**

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
2. Ulkokuori, teräsbetoni	176,61	<a href="https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf</a>
3. Lämmöneriste mineraalivilla <a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">1.pdf</a>	7,08	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-stone-wool-1.pdf</a>
4. Teräsbetoni	378,45	<a href="https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf">https://co2data.fi/reports/Concrete-precast-2.pdf</a>
5. Pintakäsittely		

#### **Kevytsoharkkoseinä RT US504**

Nro. Rakennekerros	Paino	Lähde
1. Pintamateriaali ja käsittely kuitulaastilla <a href="https://co2data.fi/reports/MINERAL-MATERIALS-MORTARS.pdf">MORTARS.pdf</a>	13	<a href="https://co2data.fi/reports/MINERAL-MATERIALS-MORTARS.pdf">https://co2data.fi/reports/MINERAL-MATERIALS-MORTARS.pdf</a>
2. Kevytsohalämpöharkko	204,06	<a href="https://co2data.fi/reports/Concrete-product-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Concrete-product-1.pdf</a>
3. PU tai EPS eriste	3,2	<a href="https://co2data.fi/reports/Insulation-EPS-1.pdf">https://co2data.fi/reports/Insulation-EPS-1.pdf</a>