

Elina Lahdensivu

# HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTI AIKAI- SESSA SUUNNITTELUSSA JA SIIHEN VAIKUTTAMINEN

Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Joulukuu 2019

# TIIVISTELMÄ

Elina Lahdensivu: Hiilijalanjäljen arviointi aikaisessa suunnittelussa ja siihen vaikuttaminen  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikka  
Joulukuu 2019

---

Työssä selvitettiin voiko rakennuksen hiilijalanjälkeä arvioida luotettavasti aikaisessa suunnittelussa, jolloin rakennusmateriaaleja ei ole vielä päätetty. Tähän käytettiin kahta laskentatapaa, joita vertailtiin keskenään.

Aikaisen suunnitteluvaiheen laskenta tehtiin rakennetyyppeihin perustuvalla laskennalla, johon aineiston on kerännyt yritys. Esimerkkikohteelle suoritettiin määrälaskenta ja näiden tulosten pohjalta laskettiin hiilijalanjälki.

Rakennuksen todellinen hiilijalanjälki laskettiin One Click LCA -ohjelmalla, jossa käytettiin ympäristöministeriön Rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmä -ohjetta laskentamenetelmänä. Ohjelmaan syötettiin pinta-alat ja saatiin todellinen hiilijalanjälki.

Saatuja tuloksia verratessa huomattiin, että aikaisen suunnitteluvaiheen hiilijalanjälki vastaa hyvin todellista hiilijalanjälkeä, kunhan kaikki tarvittavat rakennetyypit ovat tiedossa. Yrityksen mallirakennekirjasto kaipaa kuitenkin laajentamista täsmällisyyden saavuttamiseksi.

Lisäksi tehtiin tarkasteluja, miten rakennesuunnittelija voi vaikuttaa hiilijalanjälkeen. Tarkastelu tehtiin betonille, sillä se on yleisin runkomateriaali kerrostaloissa. Betonin lujuusluokkaa vaihdettiin, jolloin saatiin suhdeluvut sementtimäärän muutokselle. Lujuusluokkaa vaihtamalla hiilijalanjälki jopa kaksinkertaistui.

Betonin sementille tehtiin tarkastelu, jossa vertailtiin CEMI-sementtiä, jossa on 0 % masuunikuonaa ja CEMII-sementtiä, jossa on noin 20 % masuunikuonaa. Huomattiin, että tiettyjen sementtilaatujen välillä on suuria eroja, mutta CEM-luokan vaihtaminen ei välttämättä aiheuta suurta muutosta.

Avainsanat: Hiilijalanjälki, hiilijalanjälkilaskenta, rakennetyyppi, betoni, sementtityyppi, betonin lujuusluokka

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Elina Lahdensivu: Assessment of Carbon Footprint in Early Stage Planning and Affecting It  
Bachelor Thesis  
Tampere University  
Structural Engineering  
December 2019

---

Finnish Ministry of the Environment has released a guideline regarding the calculations of environmental impact of buildings. It was released as a trial version and it will be finalized according to the feedback given.

In this thesis two calculation methods will be examined and compared to each other to see if they are comparable. A quantity calculation was performed, and it was used for both methods. The first method is based on the type of structure of the building. The types and quantities of used structures are known from the beginning of a building project and it is possible to calculate the carbon footprint of a building based on this information. This calculation method is not accurate, but it predicts the impacts of changing a structure type.

The second method used a calculation programme called One Click LCA and calculation method used in it was based on the Ministry of the Environment's guideline. In this programme were quantities and types of structures also used and the programme gave a result. The result given was not fully transparent.

Comparing the two calculation methods, was seen that the first one could be used as a predictive method and by multiplying its result by 1.5 it was close to the second, more accurate method. Neither of the methods were completely accurate because some of the structure types had to be left out for their complexity.

Further examinations were made for concrete because it is the most common material for frames of buildings. By changing the strength class of the concrete, the carbon footprint went up as high as two times the original strength class's footprint. This is where a structural designer can affect the carbon footprint.

The other examination was made for the cement used in concrete. By using class CEMI cement, which has 0 % slag, the carbon footprint is the highest. Changing it to class CEMII, which has 20 % slag, helps, but there is a difference between cement types within the same class.

Keywords: Carbon footprint, carbon footprint calculation, type of structure, concrete, cement type, strength class of concrete

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# SISÄLLYSLUETTELO

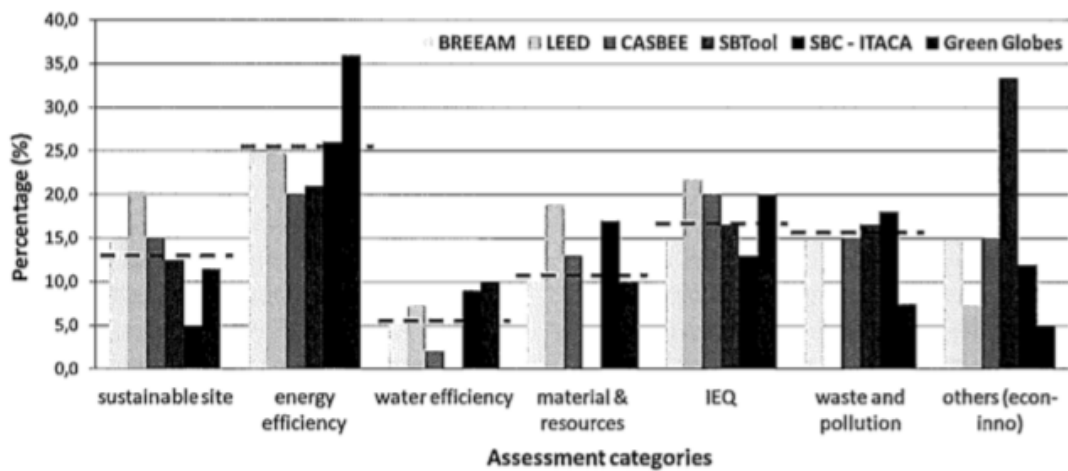
1. JOHDANTO .....	1
2. HIILIJALANJÄLKEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	3
2.1 Rakennushankkeen vaiheet .....	3
2.2 Käyttöikä ja elinkaari .....	4
2.3 Nykyiset materiaalit.....	4
2.4 Hiilijalanjälki rakentamisessa.....	5
2.5 Moduuliluokitukset .....	6
3. TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT .....	7
3.1 One Click LCA -laskentaohjelma.....	7
3.2 Ympäristöministeriön laskentaohje.....	7
3.3 Tarkasteltava rakennus ja rakennetyypit .....	8
3.4 Määrälaskenta ja rakennetyyppien hiilijalanjälki .....	9
4. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	10
4.1 Määrälaskenta .....	10
4.2 Laskenta rakennetyyppien avulla .....	11
4.2.1 Hiilijalanjälki rakennetyypeissä.....	11
4.2.2 Kerroksen osuus kokonaishiilijalanjäljestä .....	12
4.3 Laskenta One Click LCA -ohjelmalla .....	13
4.4 Vertailu.....	14
4.5 Rakennesuunnittelijan vaikutusmahdollisuudet .....	14
5. VIRHEARVIO.....	18
6. PÄÄTELMÄT .....	19
6.1 Hiilijalanjälkilaskelmat .....	19
6.2 Kehitystarpeet.....	19
LÄHTEET .....	20
LIITE: Rakennuksen leikkauskuva	

## MÄÄRITELMÄT JA MERKINNÄT

Hiilijalanjälki	Tuotteen tai palvelun kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien summa. Sen yksikkö on hiilidioksidiekvivalentti CO <sub>2e</sub> . (SFS-EN ISO 14067 2018)
Hiilikädenjälki	Kuinka paljon tuotteesta saadaan ilmastohyötyä sen elinkaaren aikana. Esimerkiksi kuinka paljon hiiltä tuote sitoo. Sen yksikkönä toimii hiilidioksidiekvivalentti. (Grönman et al. 2019)
Moduulit A-D	Hiilijalanjäljen laskuissa käytettävä jaottelu, josta nähdään mistä elinkaaren vaiheesta päästöt pääosin syntyvät. (SFS-EN 15804 2012)
kgCO <sub>2e</sub>	Hiilijalanjälkilaskuissa käytettävä yksikkö. Muiden kasvihuonekaasujen päästöt on muutettu vastaamaan yhden hiilidioksidikilon aiheuttamia päästöjä kertoimen avulla. (SFS-EN ISO 14067 2018)
Elinkaari	Tuotteen vaiheet raaka-aineista sen kierrätykseen tai loppukäsittelyyn saakka. (RIL 216-2013)
Käyttöikä	Tuotteen ikä vuosissa, mikä sen tulee kestää käytössä. (RIL 216-2013)

# 1. JOHDANTO

Rakennuksille on tehty elinkaaritarkasteluja jo pitkään (Berardi 2011). Laskentamenetelmiä on kuitenkin käytössä useita, ja ne painottavat eri asioita laskelmissaan. Kuvassa 1 nähdään, että esimerkiksi Green Globes -menetelmä painottaa voimakkaasti energiatehokkuutta, kun taas SBTool muita tekijöitä. Tästä huomataan, että eri menetelmillä saadut tulokset eivät ole suoraan verrattavissa. Yleisimmin käytössä näistä laskentamenetelmistä ovat Breeam ja Leed.



**Kuva 1:** Kuuden eri ohjelman painotukset seitsemässä eri kategoriassa (Berardi 2011).

Hiilijalanjälkitarkastelu tulee rakennuksiin pakolliseksi, ja ympäristöministeriö haluaa luoda yhtenäisen kansallisen tarkasteluohjeistuksen (Kuittinen 2019, s. 9). Sen ensimmäinen versio on julkaistu käyttöön ja saadun palautteen perusteella sitä parannellaan.

Laskennasta on olemassa EN-standardi (SFS-EN 15978 2012), jossa rakennuksen elinkaaren vaiheet on jaettu moduuleihin A–D, jotka on pilkottu vielä pienempiin kokonaisuuksiin. Moduuliin A kuuluu tuotevaihe sekä rakentaminen, moduuliin B käyttövaihe, moduuliin C elinkaaren loppu ja moduuliin D rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat. (Kuittinen 2019, s. 14) Moduulit selitetään tarkemmin luvussa 2. Ympäristöministeriön ohjeistus on tehty tätä jaottelua hyödyntäen.

Työn tarkoituksena on selvittää, kuinka tarkasti rakennuksen rungon ja täydentävien rakennusosien todellista hiilijalanjälkeä voidaan arvioida suunnittelun alkuvaiheessa ja sen edetessä ilman täydellistä materiaaliluetteloä. Luvussa 2 käsitellään keskeisiä ilmiöitä ja käsitteitä työn kannalta. Tutkimusaineisto ja menetelmät on esitelty luvussa 3 ja niiden

kautta saadut tulokset luvussa 4. Tuloksiin liittyvä virhearvio on tehty luvussa 5 ja tuloksista tehdyt päätelmät luvussa 6.

## 2. HIILIJALANJÄLKEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

### 2.1 Rakennushankkeen vaiheet

Rakennushankkeen vaiheet ovat RT-kortin 10-11224 (2016) mukaisesti seuraavat:

- tarveselvitys
- hankesuunnittelu
- ehdotussuunnittelu
- yleissuunnittelu
- toteutussuunnittelu
- rakentaminen
- käyttöönotto
- takuu aika.

Näistä vaiheista olennaisia tämän työn kannalta ovat tarveselvitys, hankesuunnittelu ja ehdotussuunnittelu, sillä ne ovat aikaisia suunnittelun vaiheita ja niissä mitään materiaaleja ja rakenteita ei ole vielä päätetty lopullisesti. Täten rakennuksen hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa vielä hyvinkin laajasti.

Tarveselvityksessä selvitetään tilan käyttäjän uusi tai muuttunut tilantarve sekä vaihtoehdot tarpeen täyttämiseksi. Siinä esitetään hankkeen lähtötilanne, laajuus, arviot aikataulusta, kustannuksista ja rahoitustavasta. (Koski 1995, s. 8) Hankkeen laajuus, sijainti ja kustannukset määräävät jo jonkin verran hiilijalanjälkeä. Materiaalivalinnat ovat hyvin suuri tekijä kustannuksien ja hiilijalanjäljen kannalta, ja nämä kaksi tekijää kulkevat rinnakkain.

”Hankesuunnittelussa täsmennetään tarveselvitystä ja päätetään hankkeen tavoitteet ja ajoitus sekä rakennuksen tilaohjelma, kustannukset ja sijainti. Suunnitteluasiakirjat kootaan hankesuunnitelmaksi, jonka perusteella päätetään toteutetaanko kohde vai ei.” (Koski 1995, s. 8) Rakennuksen tilaohjelma on tärkeä hiilijalanjäljen kannalta. Jos rakennukseen tulee tavanomaisesta poikkeavia tiloja paljon, on niissä usein tavanomaisesta poikkeavia materiaaleja, jolloin hiilijalanjälki voi kasvaa.



Ehdotussuunnitteluvaiheessa suunnittelijat ja tilaaja antavat toisilleen palautetta, jotta päästään haluttuun tavoitteeseen niin kustannusten kuin tilan käyttötarkoituksen mukaan. (RT 10-11226 2016) Vaikka RT-kortti koskeekin kustannuksia, voi samaa logiikkaa soveltaa hiilijalanjälkeen vaikuttamiseen ehdotussuunnittelussa.

## 2.2 Käyttöikä ja elinkaari

Rakennuksille ja rakenteille on käytössä suunnitteluikäluokittelu, jonka mukaan niitä suunnitellaan. Lyhin käyttöikä on 1 vuosi ja pisin yli 100. Asuinrakennukset ja muut tavanomaiset talot kuuluvat luokkaan 4 standardin EN 1990 mukaan ja luokkaan 3 RIL 216 -ohjeen mukaan, ja niiden suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. RIL 216 -ohjeistuksen mukainen luokittelu on tarkempi ja vaatimuksiltaan tiukempi kuin EN 1990 -luokittelu. (RIL 216-2013, s. 43-44) On kuitenkin huomattava, että rakennuksissa käytettyjen rakennusmateriaalien ja rakennusosien käyttöikä ei välttämättä ole kuitenkaan sama kuin itse rakennuksen. Tällaiset materiaalit täytyy vaihtaa kerran tai useammin rakennuksen elinkaaren aikana. Sellaisia ovat esimerkiksi vesi- ja kosteuseristeet sekä ulko-ovet ja ikkunat. Vastaavasti perustukset ja kantava runko suunnitellaan sadan vuoden käyttöiälle. Pitkän käyttöiän rakennuksissa tekniset ratkaisut kuitenkin vanhenevat ja käyttöiän loppulla esimerkiksi rakennuksen lämmön- ja ääneneristävyys eivät yllä silloin vaaditulle vaatimustasolle. (RIL 216-2013, s. 47-48)

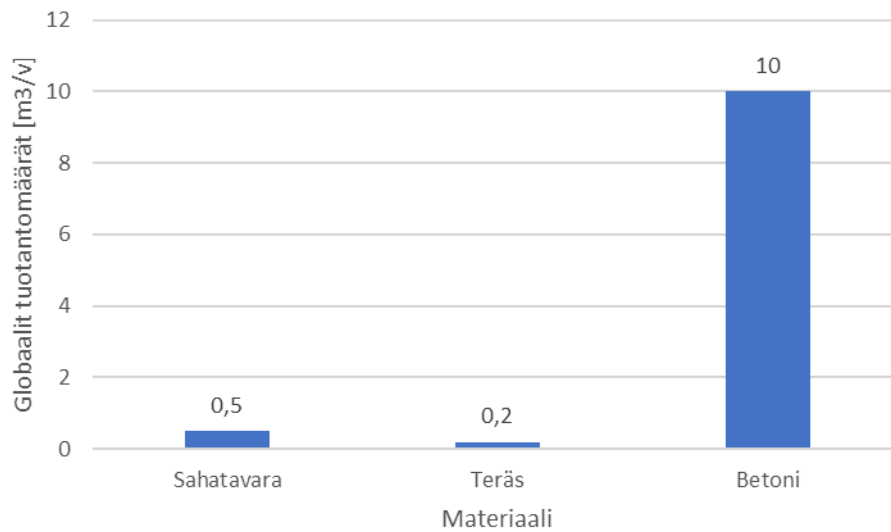
Rakennuksen tai sen osan elinkaari käsittää vaiheet raaka-aineista ja rakennusosan valmistamisesta tuotteen uudelleenkäyttöön, kierrätykseen ja jätteiden loppukäsittelyyn. Tämän konkretisointia teknis-taloudellisesti kutsutaan elinkaaritekniikaksi ja sen vaiheet sivuavat vahvasti hiilijalanjälkilaskennassa käytettäviä moduuleita, joita käsitellään luvussa 2.5. (RIL 216-2013, s. 10)

## 2.3 Nykyiset materiaalit

Asuinkerrostaloja oli Suomessa 31.12.2018 61 475 kappaletta (Tilastokeskus 2019). Näistä puurunkoisia kerrostaloja oli vain 82 kappaletta (Puuinfo 2019). Puukerrostaloja rakennetaan Suomessa enenevin määrin, mutta yleisin on edelleen betonirunkoinen kerrostalo.

1950-luvun puoleenväliin asti kerrostalojen rungot olivat pääasiassa muurattua tiiltä. Tämän jälkeen paikallavalettu betoni syrjäytti tiilen runkomateriaalina. Betonielementtejä alettiin hyödyntää kerrostalorakentamisessa 1960-luvulta eteenpäin ja niitä käytetään yleisimmin vielä nykyäänkin. (Neuvonen 2006, s.148-150)

Kuvassa 2 on esitelty nykyisten rakennusmateriaalien tuotantomääriä.



**Kuva 2:** Rakennusmateriaalien tuotantomäärät vuodessa maailmanlaajuisesti (Mattila 2019).

Kuvasta 2 nähdään, että globaalisti rakennusmateriaaleista eniten tuotetaan betonia. Sillä on myös suurin hiilijalanjälki muihin materiaaleihin verrattuna, ja siksi sen ilmasto-vaikutusten pienentämiseen on syytä keskittyä. Työn luvussa 4.5 tarkastellaan näitä mahdollisuuksia suunnittelijan näkökulmasta. Kuva 2 ei kuvaa suoraan Suomen rakennusmateriaalien käyttömääriä, sillä Suomessa puun osuus rakentamisesta on noin 40 %, kun maailmanlaajuisesti puuta käytetään vähän (Puuinfo 2019).

## 2.4 Hiilijalanjälki rakentamisessa

Hiilijalanjäljen laskennassa tulos annetaan yksikössä kgCO<sub>2</sub>e. Tämä tarkoittaa, että muiden kasvihuonekaasujen päästöt on muutettu yhtä kiloa hiilidioksidia vastaavaksi. Näillä on siis kerroin hiilidioksidin lämmittämispotentiaaliin verrattuna. (SFS-EN ISO 14067 2018, s. 13)

Mikko Viljakainen ja Tero Lahtela ovat julkaisseet Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu - loppuraportin 16.7.2019, jossa he ovat vertailleet esimerkkikohdetta vaihtaen kantavan rungon betoniseksi, puiseksi tai hybridiksi. He ovat käyttäneet laskennassa ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä -raportin liitteenä tullutta Excel-laskentapohjaa. Tuloksena betonisen runkoratkaisun hiilijalanjälki oli 1 208 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Hiilijalanjäljen kannalta tämä runkoratkaisu oli huonoin. Puurunkoisen talon hiilijalanjälki oli 1 047 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. CLT-talolle jalanjälki oli hieman suurempi, 1 061 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Sen hiilikädenjälki oli kuitenkin suurin. Hybriditalon hiilijalanjälki oli toiseksi

suurin, 1 112 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, sen hiilikädenjäljen ollessa myös toiseksi suurin. Hybridirungossa lattiarakenne oli betonia, kantavat pystyrakenteet terästä ja jäykistävät rakennusosat CLT:tä. (Viljakainen ja Lahtela 2019) Vertailussa ei jätetty rakennneosia laskennan ulkopuolelle, kuten tässä työssä tullaan tekemään. Tästä syystä tulokset eivät ole vertailukelpoisia.

## 2.5 Moduuliluokitukset

Rakennuksen elinkaari on jaettu päämoduuleihin A–D, jotka on jaettu alempiin tasoihin numeroiden avulla. Näitä moduuleita käytetään hiilijalanjäljen laskennassa erottelemaan, missä vaiheessa päästöt syntyvät.

Moduuli A sisältää rakennusmateriaalin tuotevaiheen (A1–A3) ja rakentamisen (A4–A5). Vaiheeseen A1 kuuluu raakamateriaalin eristäminen ja prosessointi. Myös kierrätysmateriaalin lisäys kuuluu tähän vaiheeseen. Vaihe A2 sisältää vain materiaalin kuljetuksen valmistajalle ja vaihe A3 itse valmistamisen. Vaiheet sisältävät materiaalin, tuotteen ja valmistukseen käytetyn energian sekä materiaalin kierrätyksen sen elinkaaren lopussa. A4 sisältää pelkän kuljetuksen tehtaalta työmaalle ja A5 rakennusmateriaalin asentamisen työmaalla.

B-moduuliin kuuluvat rakennuksen käyttövaiheet B1–B7. Rakennusmateriaalin normaaliikäyttö ja soveltavat käyttötarkoitukset kuuluvat moduuliin B1. B2–B5 ovat normaaleita rakennuksen elinkaaren pidentämistoimenpiteitä. B2 on ylläpito, B3 korjaus, B4 korvaus ja B5 kunnostus. Näihin moduuleihin on kuljetus laskettu jo mukaan. Vaiheet B6–B7 sisältävät rakennuksen energian- ja vedenkäytön.

Elinkaaren loppuvaihe on moduulin C alaista. C1-vaiheeseen kuuluvat purkutyöt ja C2:een kuljetus jätekeskukseen. Rakennusjätteen prosessointi uudelleenkäyttöön ja kierrätys kuuluvat C3-vaiheeseen ja C4 on jätteen hävittäminen. Näihin vaiheisiin kuuluvat mukaan kuljetukset, materiaalien, tuotteiden, energian- ja vedenkäyttö.

Moduuliin D lasketaan kaikki loput päästöt, jotka eivät sovi moduuleihin A–C. Siihen kuuluvat muun muassa uudelleenkäyttö sekä korjaus- ja kierrätysmahdollisuudet. (SFS-EN 15804 2012, s. 15-17)

## 3. TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

Menetelminä käytettiin rakennetyyppilaskentaa ja ympäristöministeriön ohjeeseen perustuvaa laskentamenetelmää One Click LCA -ohjelmaa käyttäen. Näitä molempia laskentotapoja varten suoritettiin määrälaskenta esimerkkikohteelle.

### 3.1 One Click LCA -laskentaohjelma

One Click LCA -laskentaohjelma on suomalaisen Bionova Oy:n laskentaohjelma rakennusten elinkaarilaskentaan. Sillä voi laskea muun muassa hankkeen päästöluokan, elinkaaren kustannuksia sekä sitoutunutta hiilidioksidia. Tässä työssä on käytetty One Click LCA yrityslisenssiä.

Ohjelmassa valitaan laskentamenetelmä, johon tehtävät laskelmat perustuvat ja näitä ovat mm. BREEAM, LEED ja nyt myös ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointi -ohje. Tästä johtuen kaikkia moduuleita ei voi laskea jokaisella laskentamenetelmällä ja menetelmät painottavat eri asioita, kuten Berardi totesi (Berardi 2011). Kaikki Euroopassa käytössä olevat laskentamenetelmät kuitenkin pohjautuvat EN-15978 ja EN-15804 -standardeihin. (One Click LCA 2019) One Click LCA:n materiaalipankissa on yli 10 000 eri materiaalia 26 eri EPD datapankista ja monen materiaalin tiedot tulevat suoraan valmistajalta. Tämä varmistaa laskelmien tarkkuuden.

Laskentaohjelmaan voi kaikki tiedot syöttää itse manuaalisesti ja valita esimerkiksi rakennuksen rungon useasta eri vaihtoehdosta tai tuoda ohjelmaan valmiin tietomallin tai Excel-muotoisen materiaalilistan. Rakennushankkeen määrälaskenta täytyy kuitenkin olla tehtynä, jotta laskentaohjelmaan voi sijoittaa tarvittavat pinta-alat ja tilavuudet.

### 3.2 Ympäristöministeriön laskentaohje

Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointi -ohjeessa kerrotaan, mitkä asiat otetaan laskelmissa mukaan ja mitkä jätetään ulkopuolelle. Lisäksi siinä on annettu taulukkoarvoja laskentaa helpottamaan.

Uudiskohteissa jätetään tontin muokkaukseen liittyvät toimenpiteet sekä väliaikaiset teelineet, suojaukset ja työmaatilat pois laskelmista. Työmaavaiheesta otetaan huomioon vain energiankulutus. Korjaushankkeissa jätetään näiden lisäksi korjaamaton osa kohteesta laskelmien ulkopuolelle. Jos korjattavan rakennuksen vanhoja materiaaleja käytetään korjauksessa, voidaan niiden valmistuksen hiilijalanjälki jättää pois laskuista.

Kantavien ja täydentävien rakenteiden laskelmista jätetään niiden kiinnikkeet pois, sillä niiden kulutuksen määrää ei pysty tarkasti arvioimaan. Lisäksi täydentävistä rakenteista jätetään pintamateriaalit ja listat laskematta. Talotekniikasta otetaan mukaan pakolliset järjestelmät, kuten vesi- ja viemärijärjestelmät.

Hiilikädenjälkeä laskettaessa on oltava tarkkana, sillä jos betonin karbonatisoitumisen ottaa mukaan laskentaan, täytyy karbonatisoitumisesta johtuvat korjaukset ottaa huomioon hiilijalanjälkeen. Hiilivarastoiksi saa tulkita vain eloperäiset materiaalit, joiden korjuu ei heikennä ekosysteemin luonnollista hiilinielua. Lisäksi vaihdettavien osien kohdalla saa hiilivaraston laskea vain alkuperäisille osille.

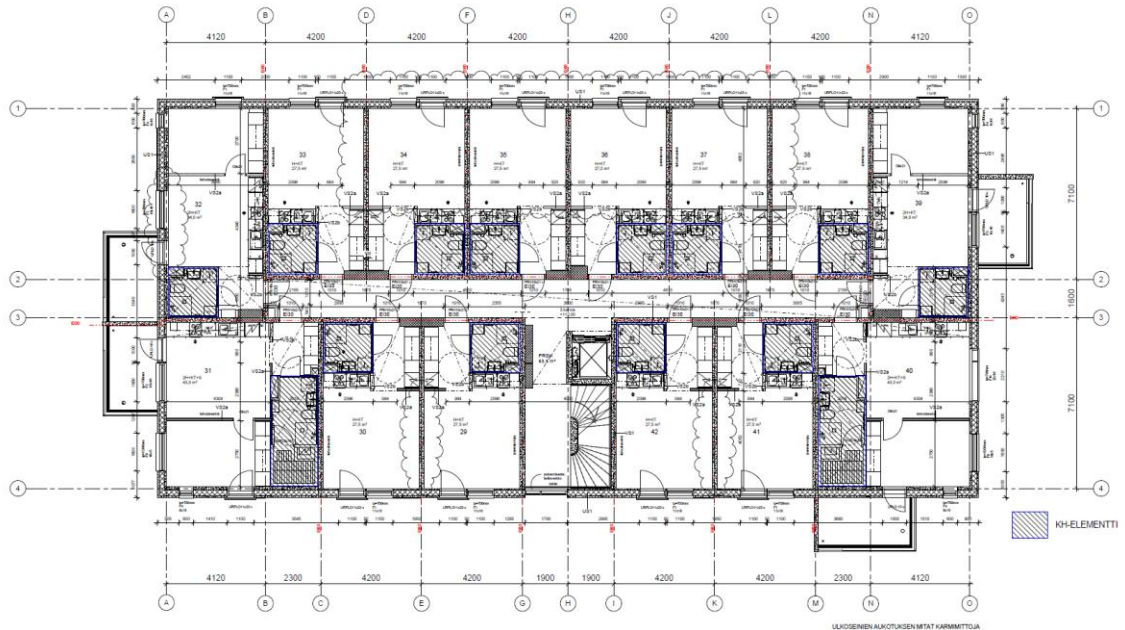
Ohjeen liitteenä olevista taulukoista saadaan vakioiksi arvioituja päästöjä eri rakennusosille kuten hissille. Kuljetuksille, uudis- ja purkutyömaatoiminnoille, korjausten energiankulutukselle sekä jätteenkäsittelylle on annettu omat taulukkoarvot. Nämä kaikki voi myös arvioida kohdekohtaisesti niin halutessaan. Taulukkoarvot on saatu keskiarvoista ja ne on kerrottu varmuuskertoimella 1,2.

Ohjeen lisäksi julkaistiin Excel-työkalu, jota voi käyttää hiilijalanjäljen laskemiseen. Koska ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen laskenta oli mahdollista One Click LCA -ohjelmalla, ei työkalua hyödynnetty tässä työssä.

YM:n julkaiseman Excel-työkalun viimeisellä välilehdellä on materiaalien päästötiedot lueteltuina vaihtovälien kanssa. Siinä todetaan vain, että taulukko perustuu VTT:n eri lähteistä kokoamiin ja arvioimiin tuloksiin. Jää siis hieman epäselväksi, mistä lukemat tarkalleen ottaen tulevat. Materiaalien taulukkoarvot käsittelevät moduulit A1-A5, joista A5 käsittelee vain arvioidun syntyvän hukkamateriaalin työmaan asennusvaiheessa. Rakennuksen käyttövaihe ja elinkaaren loppuvaihe arvioidaan vain taulukkoarvojen avulla laskennan yksinkertaistamiseksi.

### **3.3 Tarkasteltava rakennus ja rakennetyypit**

Laskennassa tarkasteltava rakennus on seitsemänkerroksinen betonielementtikerrostalo, jossa on lisäksi kellari. Kerrostalon kokonaispinta-ala on 4583 m<sup>2</sup>, josta kerrosalaa on 3962 m<sup>2</sup>. Rakennus on hyvin tyyppillinen suomalainen kerrostalo, jossa ulkoseinän rakennetyyppinä on sandwich-elementti ja välipohjina toimii sekä ontelolaatat että paikallavaletut laatat. Ulkoseinän paksuus muuttuu riippuen siitä, onko seinä kantava vai ei, ja millainen sen ulommainen kuori on. Kellarissa sijaitsee yhteiset saunatilat, varastoja sekä väestönsuoja. Erillinen ilmanvaihtokonehuone sijaitsee rakennuksen katolla, ja sillä on kokonaan erilaiset rakennetyypit kuin muulla rakennuksella. Kuvassa 3 on rakennuksen pohjapiirustus.



**Kuva 3:** Tarkasteltavan rakennuksen pohjakuva asuinkerroksesta

Kuvasta 3 nähdään merkittäviä rakennetyyppejä, asuntojen koot sekä palo-osastoinnit. Talo on tavanomainen suorakulmion mallinen ja siinä on yksiöitä ja kaksioita, mikä on tämänhetkisen rakennustrendin mukaista. Asuntoja erottavana väliseinänä toimii teräs-betoniseinä ja huoneistojen sisäisinä väliseinäinä kevyet kipsiväliseinät. Alapohjana on paikallavalettu teräsbetonilaatta EPS-100 Lattia -eristeellä ja salaojasepellä.

### 3.4 Määrälaskenta ja rakennetyyppien hiilijalanjälki

Esimerkkirakennuksen määrälaskennassa on hyödynnetty olemassa olevia pohjapiirustuksia ja niissä näkyviä mittoja sekä AutoCad-piirustusohjelmaa mittojen selvittämiseen, joita piirustuksissa ei ole merkittynä. Saatuja määriä on hyödynnetty molemmissa laskentatavoissa.

Hiilijalanjälkilaskenta on toteutettu niin, että tarvittavat rakennetyypit on kerätty yrityksen mallirakennetyyppien ennakkoon lasketuista tiedoista ja kerrottu tulos määrälaskennasta saadulla pinta-alalla. Joissain tapauksissa joitakin tietoja on täytynyt muuttaa, kuten esimerkiksi paikallavaletun välipohjan paksuus on ollut eri, joten näille on laskettu uusi hiilijalanjälki suoralla yhtälöllä. Rakennetyypit, joita tiedostosta ei valmiiksi löytynyt, on tehty itse yhdistelemällä oikeita osia keskenään.

## 4. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

### 4.1 Määrälaskenta

Rakennukselle lasketut määrät rakennetyypeittäin on esitetty taulukossa 1. Määrät on esitetty yhtä kerrosta kohti, joten laskenta voitaisiin suorittaa korkeammallekin rakennukselle kertomalla asuinkerrosten rakennustyyppien pinta-aloja. Lisäksi on ilmoitettu koko rakennuksen määrätiedot, sillä kaikkia rakenteita ei löydy jokaisesta kerroksesta. Asuinkerrosten määrälaskenta on tehty kolmannelle kerrokselle. Ensimmäisen kerroksen pinta-alat eroavat vain ulkoseinän osalta ja se on otettu laskennassa erikseen huomioon. Taulukossa 1 käytetyt lyhenteet näkyvät liitteessä 1.

**Taulukko 1:** Määrälaskennan tulokset yksittäiselle kerrokselle sekä koko rakennukselle.

	kerros 3	koko rakennus
Rakennetyyppi	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
US 1 ei-kantava	147	928
US 1 kantava	76	455
US 2	0	200
US 2 väestönsuoja	0	195
VS 1	314	2 243
VS 1 väestönsuoja	0	113
VS 2	86	603
VP 1	512	3 814
VP 3	0	255
VP 4	54	428
VP 6	0	56
AP 1	0	264
AP 2	0	48
AP 3	0	255
YP 1	0	510
YP 3	0	56
Parvekelaatta	29	200
Parvekepieli	19	130

Ilmanvaihtokonehuoneen ulkoseinät on jätetty laskennassa kokonaan huomioimatta, sillä rakennetyyppien avulla laskeminen ei onnistunut puutteellisten hiilijalanjälkitietojen takia. Kellarikerros on osittain maan alla mutta se on otettu laskentaan mukaan kuten maanpäällisetkin kerrokset, vaikka se pitäisi esittää erillisenä lukunaan. Perustukset on

myös jätetty kokonaan laskennasta pois, sillä nekin sijaitsevat maan alla. Kylpyhuone-elementit on jätetty laskuista pois, sillä niille hiilijalanjäljen löytäminen oli työlästä.

## 4.2 Laskenta rakennetyyppien avulla

### 4.2.1 Hiilijalanjälki rakennetyypeissä

Kuvassa 4 on esimerkkinä välipohjatyypin, jolle on laskettu tiedot valmiiksi ja joita hyödynnetään rakennetyypilaskennassa.

VP 1 (VP 103), ontelolaattavälipohja: 5...30m mm lattiatasoite, 370 mm ontelolaatat									
A1-A3	Leveling screed and render, 5-40m	1 m2	4,25		43,1	Kuten rakennus	Laasti	EPD weber.vetonit	
A1-A3	Ontelolaatta, yleinen, C40/50 (58C)	1 m2	81,6	<b>85,88</b>	518,22	Kuten rakennus	Betonikuori- ja ontelolaatta	One Click LCA	
A4	Leveling screed and render, 5-40m	1 m2	0,09		2,59	Kuten rakennus	Laasti	EPD weber.vetonit	Täysperävaunu
A4	Ontelolaatta, yleinen, C40/50 (58C)	1 m2	1,39	<b>1,48</b>	39,52	Kuten rakennus	Betonikuori- ja ontelolaatta	One Click LCA	Täysperävaunu
C1-C4	Leveling screed and render, 5-40m	1 m2	0,09		1,93	Kuten rakennus	Laasti	EPD weber.vetonit	Preparation of
C1-C4	Ontelolaatta, yleinen, C40/50 (58C)	1 m2	5,74	<b>5,83</b>	140,71	Kuten rakennus	Betonikuori- ja ontelolaatta	One Click LCA	Betonijäte
<b>Kaikki</b>				<b>93,19</b>					

**Kuva 4:** Esimerkki rakennetyypille valmiiksi lasketusta hiilijalanjäljestä yhtä neliötä kohti.

Kuvan 4 välipohjalla ei ole moduulille B päästöjä, sillä ontelolaatta ei vaadi toimenpiteitä rakennuksen elinkaaren aikana. Rakennetyypeille ei ole myöskään määritetty moduulia D, sillä hiilikädenjälkeä ei vähennetä jalanjäljestä vaan se ilmoitetaan erillisenä lukuna. Laskenta suoritettiin eri kerrostyypeille osuusvertailua varten sekä koko rakennukselle laskentatavan toimivuuden tarkastelulle. Taulukkoon 2 on kerätty rakennetyyppien hiilijalanjäljet neliometriä kohden.



**Taulukko 2:** Rakennetyyppien hiilijalanjälki neliometriä kohden.

Rakennetyyppi	Hiilijalanjälki [kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ]
US 1 ei-kantava	83,5
US 1 kantava	104,6
US 2	136,2
US 2 väestönsuoja	166,3
VS 1	62,7
VS 1 väestönsuoja	92,9
VS 2	7,4
VP 1	93,2
VP 3	159,8
VP 4	87,9
VP 6	82,0
AP 1	33,2
AP 2	45,3
AP 3	69,4
YP 1	217,4
YP 3	77,8
Parvekelaatta	87,2
Parvekepieli	58,1

Kuten taulukosta 2 nähdään, on yläpohjatyypin 1 hiilijalanjälki suurin ja toiseksi suurin on ulkoseinällä 2, mikä on väestönsuojan seinä.

Laskentatapa antoi rakennuksen kokonaishiilijalanjäljeksi 906 tonnia CO<sub>2</sub>e, mikä on 197,73 kgCO<sub>2</sub>e neliometriä kohden.

#### 4.2.2 Kerroksen osuus kokonaishiilijalanjäljestä

Rakennuksen hiilijalanjäljen optimoimiseksi kannattaa tarkastella, kuinka suuri prosentuaalinen osuus kullakin kerrostyypillä on kokonaisuudesta. Taulukossa 3 on saadut tulokset.

**Taulukko 3:** Yhden asuinkerroksen, kellarikerroksen ja yläpohjan hiilijalanjälki sekä prosentuaalinen osuus koko rakennuksesta.

	hiilijalanjälki [kgCO <sub>2</sub> e]	osuus
yläpohja	119 846	13,2 %
yksi asuinkerros	92 950	10,3 %
kellari	146 138	16,1 %

Taulukossa 3 on esitetty erilaisten kerrosten hiilijalanjälkiä sekä kyseisen kerroksen prosentuaalinen hiilijalanjälki koko rakennuksesta. Asuinkerrokset ovat täysin monistettavissa ja niiden osuus hiilijalanjäljestä on pienin yksittäiselle kerrokselle. Tältä kannalta kannattaa siis mieluummin rakentaa vähemmän ja korkeampia taloja kuin useampia matalia. Tämä on osoitettu taulukossa 4 tehdyllä esimerkkilaskelmalla. Se on myös kustannustehokkaampaa. Prosenteista tulee yli 100, sillä ensimmäisen asuinkerroksen erilaisuutta ei ole otettu tässä huomioon. Yläpohjaan on otettu ilmanvaihtokonehuone mukaan, vaikka sen seinien tiedot puuttuvatkin.

**Taulukko 4:** Laskuesimerkki rakennuksille, joiden pinta-ala on sama.

Rakennusten lukumäärä	Kerrosten lukumäärä rakennuksessa	Hiilijalanjälki [kgCO <sub>2</sub> e]	Kokonaispinta-ala [m <sup>2</sup> ]
3	10	3 028 759	16 983
5	6	3 653 677	16 983

Taulukossa 4 on laskettu yksinkertainen esimerkki, jossa on kaksi rakennusryhmitelmää, joiden kokonaispinta-ala on sama. Voidaan todeta, että on ympäristöystävällisempää rakentaa vähemmän ja korkeampia taloja kuin enemmän ja matalampia. Ilmoitettu hiilijalanjälki on koko rakennusryhmälle.

### 4.3 Laskenta One Click LCA -ohjelmalla

One Click LCA -ohjelmalla laskenta oli tarkoitus tehdä suoraan IFC-muotoisesta 3D-mallinnuksesta. Mallissa oli kuitenkin todella paljon ylimääräisiä osia, joita ei rakennetyypilaskennassa voitu ottaa huomioon. Lisäksi ohjelma luokitteli rakennusmateriaaleja väärin, eikä näitä virheitä voinut käsin korjata. Näistä syistä IFC-mallista luovuttiin tässä käyttötarkoituksessa. Aiemmin lasketut pinta-alat syötettiin siis käsin ohjelmaan valitsemalla valikoista oikeat rakennetyypit.

Ohjelma oli kuitenkin puutteellinen ja varsin tyypillisiä suomalaisia rakennetyyppejä ei kirjastoista löytynyt, kuten sandwich-elementti. Se syötettiin sisäkuori, eriste, ulkokuori ja rauditus erillisinä osina. Joissain tapauksissa valittiin Ruotsin maakatalogista vastaavia ratkaisuja, joita Suomessakin käytetään. Kipsilevyväliseinälle löytyi ”blokki”, josta pystyi käsin vaihtamaan kipsilevyn ja mahdollisen eristeen paksuuksia. Ohjelma pakotti asettamaan rakennukselle sähkönkulutuksen ja se on asetettu ykköseksi, sillä sähkön-

kulutusta ei rakennetyyppilaskennassa voitu huomioida. Ohjelma ehdotti eri rakennusmateriaaleille ja -tyypeille hukkaprosentteja mutta ne kaikki asetettiin nolaksi, sillä hukan määrää ei rakennetyyppilaskennassa oteta huomioon.

Ohjelma antoi rakennuksen kokonaishiilijalanjäljeksi 1 231 tonnia CO<sub>2</sub>e, mikä on 268,60 kgCO<sub>2</sub>e neliometriä kohden. Suurin päästöjen tuottaja on ontelolaatasto väli- sekä yläpohjissa.

#### 4.4 Vertailu

Rakennetyyppilaskennasta saatu kokonaishiilijalanjälki on jaettu One Click LCA -laskennasta saadulla kokonaishiilijalanjäljellä vertailukertoimen saamiseksi.

$$\frac{906}{1\ 231} \cdot 100\% = 73,6\%$$

Rakennetyypeittäin laskettu hiilijalanjälki on noin 25 % pienempi kuin One Click LCA -ohjelmalla laskettu. One Click LCA -ohjelmaan syötetään pinta-alat ja paksuudet, ja sen jälkeen ohjelma tekee itse oletuksia. Näihin oletuksiin ei voi itse vaikuttaa eikä niistä tiedetä mitä ne ovat. Hypoteesina oletin tilanteen menevän juuri toisinpäin, sillä rakennetyyppilaskenta on epätarkempi ja siten ajattelin sen antavan liian suuren tuloksen. Jos rakennetyyppilaskentaa käytetään arvioivana laskentana, ei varmuuskerroin 1,5 olisi lainkaan liioiteltu.

Kerrotulla arvolla ei kuitenkaan päästä todelliseen hiilijalanjälkiarvioon, sillä tässä laskennassa rakenneosia jäi puuttumaan useita erilaisia ja niiden vaikutus hiilijalanjälkeen on kuitenkin huomattava. Tavalla voidaankin siis enemmän arvioida mitä tapahtuisi, jos rakennetyyppi vaihdettaisiin toiseen ja siten optimoida rakennusten hiilijalanjälkeä.

#### 4.5 Rakennesuunnittelijan vaikutusmahdollisuudet

Rakennesuunnittelija tekee päätöksen käytettävistä rakennetyypeistä, jotka toimivat parhaiten rakennuksen käyttötarkoituksessa. Vaakarakenteet ovat suurin yksittäinen hiilijalanjäljen tuottaja ja ne ovat usein ontelolaattojen ja paikallavalettavien laattojen yhdistelmä. Ontelolaattojen hiilijalanjälkeen ei voi vaikuttaa muu kuin niitä tuottava tehdas. Paikallavalun hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa sementin ja betonin lujuusluokan valinnan kautta.

Lujuusluokkaan vaikuttaa betonin vesi-sideaine -suhde ja tämä betonin hiilidioksidipäästöihin. Taulukossa 5 on kerrottu eri lujuusluokkien vähimmäisementsenttimääriä.

**Taulukko 5:** Betonin lujuusluokka ja vähimmäissementtimäärä (BY65 Betoninormit 2016, s. 38 mukailten)

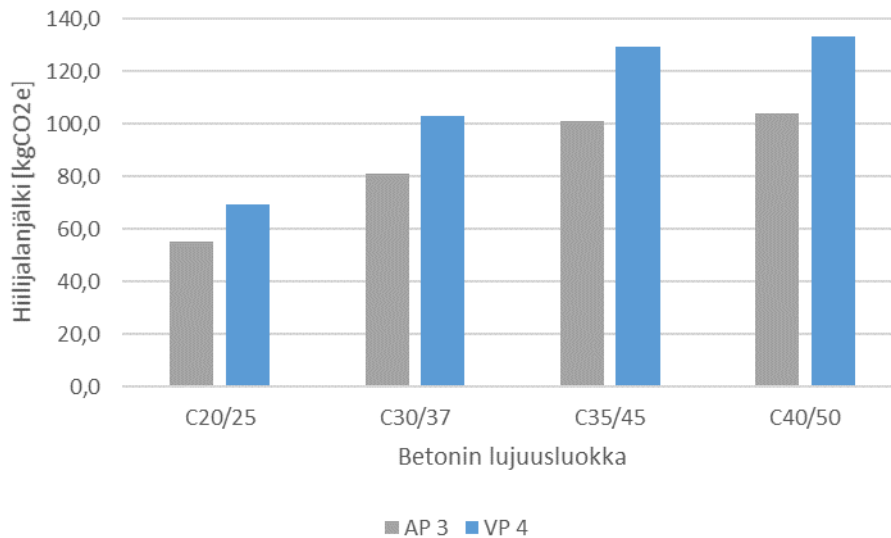
Betonin lujuusluokka	C20/25	C30/37	C35/45	C40/50
Vähimmäissementtimäärä [kg/m <sup>3</sup> ]	160	250	320	330

Taulukossa 5 on esitetty miten betonin lujuusluokan muuttaminen vaikuttaa betonin vähimmäissementtimäärään kuutiometriä kohden. Muutettaviksi rakennetyypeiksi valittiin paikallavaletut väli- ja alapohja, sillä One Click LCA -ohjelman mukaan vaakarakenteilla oli suurin vaikutus hiilijalanjälkeen. Lujuusluokka vaihdettaessa C20/25:stä C30/37:ään, täytyy betonin hiilijalanjälki kertoa suhdeluvulla 1,56. Tämä muutos on huomattava ottaen huomioon, että betonia tuotetaan yhteen rakennuskohteeseen useita satoja kuutioita. Betonin lujuusluokkaa valitessa täytyy kuitenkin huomioida betonirakenteen rasitusluokka. Taulukossa 6 on esitetty alapohjatypille 3 ja välipohjatypille 4 muutokset betonin lujuusluokkaa vaihdettaessa. Rakenteiden alkuperäinen lujuusluokka on C20/25.

**Taulukko 6:** Betonin lujuusluokan muutoksen yhteys hiilijalanjälkeen yhtä neliometriä kohden.

		Betonin lujuusluokka			
		C20/25	C30/37	C35/45	C40/50
	Vähimmäissementtimäärä [kg/m <sup>3</sup> ]	160	250	320	330
Rakennetyyppi		Hiilijalanjälki [kgCO <sub>2</sub> e]			
AP 3		55,1	81,0	101,2	104,1
VP 4		69,4	103,0	129,2	133,0

Taulukon 6 tulokset on esitetty kuvassa 5.



**Kuva 5:** Betonin lujuusluokan muuttamisen vaikutukset hiilijalanjälkeen kahdella eri rakennetyypillä.

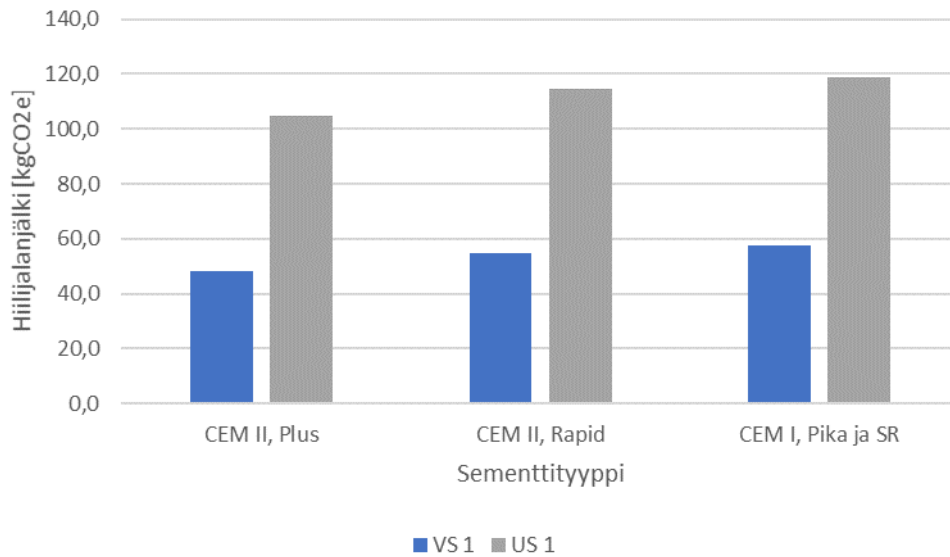
Kuten kuvasta 5 nähdään, lujuusluokan vaihdos näkyy eniten luokkien C20/25 ja C30/37 välillä. Muutos luokkien C35/45 ja C40/50 välillä on lähes merkityksetön.

Toinen muutos, johon rakennesuunnittelija voi vaikuttaa, on käytettävä sementtilaatu. Finnsementin sivuilta löytyy heidän kahden eri tehtaansa tuottamien sementtien hiilidioksidipäästöt jaoteltuna eri sementtilaatuja mukaan. Jos sementti vaihdetaan Pika-sementistä Plus-sementtiin, pienenee hiilijalanjälki 124,53 kgCO<sub>2</sub>e yhtä tonnia sementtiä kohti, jos molemmat sementit ovat peräisin Finnsementin Lappeenrannan tehtaalta. Jos vaihdos tehtäisiin Paraisten tehtaalla sementteillä, olisi se 140,22 kgCO<sub>2</sub>e tonnia kohti. Taulukossa 7 on esitetty sementtilaadun vaihtamisen vaikutukset hiilijalanjälkeen väliseinätyypille 1 sekä ulkoseinätyypille 1. Ulkoseinä otettiin tarkasteluun, sillä sen hiilijalanjälki neliötä kohti oli suurimpia. Toiseksi tarkasteltavaksi otettiin toisenlainen betoninen pystyrakenne, tässä tapauksessa väliseinä.

**Taulukko 7:** Sementtityypin vaihtamisen vaikutus hiilijalanjälkeen yhtä neliometriä kohden.

Rakennetyyppi	Sementtityyppi		
	CEM II, Plus [kgCO <sub>2</sub> e]	CEM II, Rapid [kgCO <sub>2</sub> e]	CEM I, Pika ja SR [kgCO <sub>2</sub> e]
VS 1	48,5	54,9	57,8
US 1	104,6	114,4	118,9

Taulukon 7 sementit ovat Finnsementin Lappeenrannan tehtaan lukuja, mutta heidän Paraisten tehtaan suhdeluvut ovat vastaavaa luokkaa. CEM I -laatuinen Portlandsementti sisältää alle 5 % sivuosa-aineita (SFS-EN 197-1 2012, s. 15). Sitä käytetään erityisesti elementtitehtailla, sillä se kuivuu ja kovettuu nopeammin, jolloin muottikierto on nopeampaa (Finnsementti 2019). CEM II -Portland-masuunikuonasementti sisältää 6-20 % masuunikuonaa (SFS-EN 197-1) ja sitä käytetään usein paikallavaluissa. Kuvassa 6 on esitetty taulukon tiedot.



**Kuva 6:** Sementtityypin vaihdon vaikutukset hiilijalanjälkeen kahdella eri rakennetyypillä neliometriä kohden.

Kuvasta 6 nähdään, että sekalaisia pääosa-aineita sisältävän sementin vaihtaminen klinkkerin lisäksi vain kalkkikiveä sisältävään sementtiin, suurentaa hiilijalanjälkeä. CEM-luokan vaihtaminen toiseen ei juurikaan muuta tuloksia. Luvuissa on otettu huomioon muutkin rakennetyypin muodostavat materiaalit.

Finnsementin Plus-sementti on luokan CEM II/B-M sementtiä ja siinä on 6-15 % kalkkikiveä ja 10-25 % masuunikuonaa. Rapid-sementti on CEM II/A-LL -sementtiä ja siinä on valmistajan mukaan 6-15 % kalkkikiveä, kun standardin vaatimus on 6-20 %. Pika- ja SR-sementit ovat luokan CEM I mukaisia ja niissä on 0-5% kalkkikiveä. Tiedot ovat Lappeenrannan tehtaalta. (Finnsementti 2019)

## 5. VIRHEARVIO

Määrälaskentaan epätarkkuuksia aiheuttaa esimerkiksi väliseinissä sähkökaapit. Kipsilevyväliseiniä oli kahta eri paksuutta sähkökaapeista johtuen, mutta ne on laskennassa oletettu saman paksuisiksi. Sähkökaappeja ei myöskään ole vähennetty väliseinien pinta-alasta yksinkertaistamisen vuoksi. Kellarin sauna- ja märkätilojen lisälämmöneristeitä ei ole otettu mukaan laskentaan kuten ei myöskään parvekelasitusta tai parvekkeiden pilareita. Nämä yleistyksen eivät ole haitallisia, sillä ne puuttuvat molemmista laskentatavoista, joten laskentojen suhde pysyy samana, olivat nämä puutteet mukana tai eivät.

Huonekorkeus muuttuu rakennuksessa laskettujen kattojen ja eripaksuisten välipohjien takia. Joissain väliseinissä on siis voitu käyttää epähuomiossa väärää huonekorkeutta, vaikka äärimmäistä huolellisuutta laskuissa onkin pyritty käyttämään. Osa mitoista on laskettu käsin mittasuhteiden avulla ja osa saatu suoraan annetuista mitoista tai AutoCad-ohjelmasta, joten käsin lasketuissa mitoissa voi olla virheitä paperin tulostuksen takia. Alapohjaa oli kolmea eri tyyppiä ja niiden rajat eivät jokaisessa kohdassa olleet täysin selvät, joten tästä aiheutuu pientä heittoa. Nämä ovat kuitenkin pieniä virheitä, jotka eivät vaikuta isossa mittakaavassa kovinkaan paljon.

Yrityksen mallirakennetyyppilaskelmista tai One Click LCA -ohjelmasta ei kummastakaan löytynyt kovaa mineraalivillaa, eikä usean valmistajan sivultakaan löytynyt sille hiilijalanjälkeä, joten se on korvattu laskuissa tavallisella mineraalivillalla. Tuotevalmistajien sivut ovatkin enemmän tehty kuluttajien kuin tutkijoiden ja suunnittelijoiden käyttöön. Lisäksi molemmista laskentatavoista puuttui rakennetyyppiä, ja ne on itse koottu tarvittavista osista. Tästä syystä laskentaan tulee virhettä.

Raudoitukset eivät muutu samassa suhteessa kuin esimerkiksi välipohjalaatan paksuus. Raudoituksia ei ole muutettu rakennetyyppilaskentaan, vaan on käytetty alkuperäistä raudoitusmäärää, joka mallirakennetyyppilaskelmissa on ilmoitettu. One Click LCA -ohjelman puutteellisuuden takia ohjelmaan piti raudoitukset lisätä erikseen ja ne haluttiin painoyksikössä. Paino on ilmoitettu ohjelmaan kilogrammoina, mikä on otettu mallirakennetyyppilaskelmista. Se ilmoittaa raudoituksen massan neliometriä kohti, joten kyseinen luku on kerrottu halutun rakennetyypin pinta-alalla. Raudoituksesta johtuva virhe siis toistuu kummassakin laskentatavassa, joten niiden suhde pysyy samana.

## 6. PÄÄTELMÄT

### 6.1 Hiilijalanjälkilaskelmat

Rakennetyypeittäin laskettavaa hiilijalanjälkeä ei voi pitää rakennuksen lopullisena hiilijalanjälkenä sen puutteellisuuden takia. Rakennuksen suunnittelun alkuvaiheessa kaikkia tietoja ei ole vielä saatavilla, ja sen johdosta ne tulevat puuttumaan rakennetyypilaskelmista. Sen avulla voidaan kuitenkin tehdä vertailua mitä tapahtuu, jos rakennetyyppejä muutetaan toiseksi. Hiilijalanjäljen suhde pysyy siis oikeanlaisena.

Hiilijalanjäljen arvioinnilla nähdään mitkä rakenteet aiheuttavat suurimmat kasvihuonekaasupäästöt. Tämän tiedon avulla osataan keskittyä kyseisten rakenteiden päästöjen vähentämiseen.

Hiilijalanjälki on hyvin riippuvainen tehtaissa ja työmailla tapahtuvista työvaiheista. Jos elementtitehtaissa käytettäisiin CEM II -luokan sementtiä betonin sideaineena, pienenesi hiilijalanjälki merkittävästi isossa mittakaavassa.

### 6.2 Kehitystarpeet

Jotta rakennetyypilaskentaa voi käyttää luotettavampana hiilijalanjälkeä arvioivana laskentana, täytyy rakennetyyppien määrää lisätä merkittävästi. Tällä hetkellä tiedostossa on vain kahdeksan eri ulkoseinätyyppiä, jotka ovat samankaltaisia. Rakennetyyppien lisääminen on kuitenkin vaikeaa, sillä usean valmistajan sivuilla ei hiilijalanjälkitietoja löydy.

One Click LCA -ohjelma vaatii myös kehittelyä, jotta se palvelee suunnittelijaa paremmin. Rakennetyypikirjastosta puuttui useita olennaisia rakennetyyppejä, kuten sandwich-elementti, joita Suomessa käytetään tavanomaisissa rakennuskohteissa. Myös tietomallista tiedon tuonti ja tuodun datan muokkaaminen on puutteellista.



## LÄHTEET

Berardi, U. (2011). Beyond Sustainability Assessment Systems: Upgrading Topics by Enlarging the Scale of Assessment. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. Vol. 2:4. Pp. 276–282.

BY65 (2017). *Betoninormit 2016*. Suomen betoniyhdisty ry. Helsinki. 164 s.

Finnsementti (2019). Finnsementti Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.12.2019):

<https://finnsementti.fi/tuote-osasto/sementit/>

Grönman, K., Pajula, T., Sillman, J., Leino, M., Vatanen, S., Kasurinen, H., Soininen, A., Soukka R. (2019). Carbon handprint – An approach to assess the positive climate impacts of products demonstrated via renewable diesel case. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 206. Pp. 1059–1072.

Koski, H. (1995). *Rakennushankkeen tuotannosuunnittelu ja -ohjaus*. Helsinki. Rakennustieto Oy. 113 s.

Kuittinen, M. (toim.) (2019). *Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä*. Helsinki. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. 54 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

Lahtela T., Viljakainen, M. (2019). *Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu. Tapaustutkimus rakennuksen hiilijalanjäljen laskennasta. Loppuraportti*. 79 s. Saatavissa (viitattu 12.12.2019):

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/RAKENTAMISEN%20HIILIJALANJ%20LOPPURAPORTTI.pdf>

Mattila, J. (2019). *Betoniteollisuuden CO<sub>2</sub>-strategia – Vaikutus betonitutkimukseen*. Esiitys Betonitutkimusseminaarissa 2019. 20 s.

Neuvonen, P. (2006). *Kerrostalot 1880-2000. Arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen*. Rakennustieto Oy. Helsinki. 288 s.

One Click LCA (2019). Bionova Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.10.2019):

<https://www.oneclicklca.com/support/faq/>

Puuinfo (2019). *Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys*. Puuinfo Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.12.2019):

<https://www.puuinfo.fi/node/1505>

Puuinfo (2019). Valmistuneet puukerrostalot. Puuinfo Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2019):

<https://www.puuinfo.fi/valmistuneet-puukerrostalot>

RIL 216-2013 (2013). Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 238 s.

RT 10-11224 (2016). Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Rakennustieto Oy. 4 s.

RT 10-11226 (2016). Talonrakennushankkeen kulku. Kustannusten muodostuminen ja ohjaus. Rakennustieto Oy. 5 s.

SFS-EN ISO 14067 (2018). Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. Suomen standardoimisliitto SFS. 111 s.

SFS-EN 15804 (2012). Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Suomen standardoimisliitto SFS. 50 s.

SFS-EN 197-1 (2012). Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Suomen standardoimisliitto SFS. 35 s.

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2019). Rakennuskanta 2018. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2019):

[http://www.stat.fi/til/rakke/2018/rakke\\_2018\\_2019-05-21\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2018/rakke_2018_2019-05-21_kat_002_fi.html)

**AP 1**  
Maanvarainen teräsbetoni-laatta

20, 0 mm PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
80 mm TERÄSBETONILAATTA  
100 mm EPS-100 LATTIA  
50/50 mm SALUASÄPPELI  
KUITUKANGAS  
TÄYTÖMÄÄ TAI PERUSMÄÄ (PINTAHUOMUS POISTETTU)  
U-ARVO 0,16 W/m<sup>2</sup>K

**AP 2**  
Maanvarainen teräsbetoni-laatta, märkätilat

12 mm VERAAMINEN LAATTA JA KINNITYSLAATI  
VEDENERISTYS  
100 mm TERÄSBETONILAATTA, KALUSTETTU  
100 mm EPS-100 LATTIA  
50/50 mm SALUASÄPPELI  
KUITUKANGAS  
TÄYTÖMÄÄ TAI PERUSMÄÄ (PINTAHUOMUS POISTETTU)  
U-ARVO 0,16 W/m<sup>2</sup>K

**AP 3**  
Maatavasten valettu kantava teräsbetoni-laatta (vss)

200 mm PINTAKÄSITTELY  
100 mm KANTAVA TERÄSBETONILAATTA  
100 mm EPS-100 LATTIA  
50/50 mm SALUASÄPPELI  
KUITUKANGAS  
TÄYTÖMÄÄ TAI PERUSMÄÄ (PINTAHUOMUS POISTETTU)  
U-ARVO 0,16 W/m<sup>2</sup>K

**VP 1**  
Ontelolaatta

15 mm PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
5, 20 mm TASOITE  
370 mm ONTELOLAATTA  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 55 dB  
PALONKESTOLUOKKA: REI 60

**VP 3**  
Väestönsuojan katto

80 mm PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
PINTABETON  
SUODATTUKANGAS  
EPS-100 LATTIA TAI KEVYTORA  
300, 400 mm TERÄSBETONILAATTA  
PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 55 dB  
PALONKESTOLUOKKA: REI 180

**VP 4**  
Massiivi-laatta porrashuone

3, 10 mm TASOITE  
260 mm PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
KANTAVA TERÄSBETONILAATTA  
SÄÄTÄ VÄHENTÄVÄ PINNOITETTU MINERAALIVALLALEVY

**VP 5**  
Palo-ontelolaatta Asuinhuoneen ja varaston välinen VP

15 mm PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
5, 20 mm TASOITE  
370 mm ONTELOLAATTA  
50 mm PALSERIESTE  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 55 dB  
PALONKESTOLUOKKA: REI 120

**YP 1**  
Ontelolaatta  
Kevytsoraeriste

40 mm KUMBITUMERIKMÄTE  
PINTABETON  
LÄMMÖNERISTE, KEVYTORA; luokitus, kulkutus > 1,80 myyjä jireissä  
900 mm MOFOTUUTUMERIKMÄTE  
265 mm ONTELOLAATTA  
U-ARVO 0,09 W/m<sup>2</sup>K  
PALONKESTOLUOKKA: R 60

**YP 3**  
IVKH:n yläpohja

30 mm KUMBITUMERIKMÄTE  
360 mm KOVA MINERAALIVALLA  
360 mm KOVA UURITETTU MINERAALIVALLA  
HYVYSELUKANGAS  
20 mm MINERAALIVALLA  
SINOTTI PROFILIPELTI  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
U-ARVO 0,09 W/m<sup>2</sup>K

**VP 6**  
IV-konehuoneen lattia

80 mm PU/PINKOTE  
PINTABETON  
265 mm ONTELOLAATTA  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 55 dB  
PALONKESTOLUOKKA: REI 60

**US 1**  
Kantava elementti

PINTAKÄSITTELY JEPIRE MUKAAN  
7085 mm BETON, SÄÄÄ UURITETTU TAI TILAALTAAPINNOITUS  
250 mm LÄMMÖNERISTE, UURITETTU  
80 / 150 mm BETON  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
U-ARVO 0,17 W/m<sup>2</sup>K

**US 2**  
Kellarin seinä, kuorielementti / VSS

SORATÄYTTÖ, TIIVITETTY SUODATTUKANGAS  
TIIVITETTY SALUASORA  
100 mm TERÄSBETON KUORIELEMENTTI  
20 mm ASUNTOERISTE  
160 mm LÄMMÖNERISTE  
10 mm BETONKERMI  
200, 300 mm TERÄSBETON  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
U-ARVO 0,20 W/m<sup>2</sup>K (kuoriolla 0, 1m maanpinnasta alaspäin)  
0,17 W/m<sup>2</sup>K (sisällä)

**US 4**  
IVKH:n seinä

PINTAKÄSITTELY / -MATERIAALI RAK.TAPASEL MUKAAN  
PYSTYKOULU  
230/240 mm METALLELEMENTTI  
KANTAVA RUNKO RAK.SUUN. MUKAAN  
PINTAKÄSITTELY / -MATERIAALI RAK.TAPASEL MUKAAN  
U-ARVO 0,17 W/m<sup>2</sup>K  
PALONKESTOLUOKKA: EI 60

**VS 1**  
Kantava betoni

200 mm PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
TERÄSBETON  
PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 57 dB, KUN SENÄN PAKSUUS 200 mm  
PALONKESTOLUOKKA: REI 180

**VS 2**  
Kevyt kipsivälineistä

PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
13 mm KIPSILEVY, ONE13  
66 / 95 / 120 mm LAMVAALI + TERÄSRANKA R66 K450 / R95 K450  
13 mm KIPSILEVY, ONE13  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 30 dB  
PALONKESTOLUOKKA: EI 30

**VS 3**  
Saunan seinä betoniseinää vasten

BETONIRAKENTAMISEN SEINÄ (VSS) RAK.TYYPIN MUKAAN  
30 mm EPS-LÄMMÖNERISTE, SUUNAT TEPATTU ALUSTELLA  
32 mm TUULETUSRAKO, PYSTYPIKAT 32X50 K450, AVON ALA- JA YLÄREUNASTA  
VAAKAPANEELI HUONESELOSTUKSEN MUKAAN

**VS 4**  
Pesuhuoneen seinä betoniseinää vasten

BETONIRAKENTAMISEN SEINÄ (VSS) RAK.TYYPIN MUKAAN  
KOSTEUSSUJKÄSITTELY + VEDENERISTYS  
KINNITYSLAATI  
SEINÄLAATOTUS

**VS 5**  
IVKH väliseinä, osastoitu

PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
13 mm KIPSILEVY, ONE13  
66 mm KESTOPUURUOKKO + MINERAALIVALLA  
13 mm KIPSILEVY, ONE13  
PINTAMATERIAALI JA KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 40 dB  
PALONKESTOLUOKKA: EI 60

**VS 6**  
Asuinhuoneen ja saunan väl. seinä

PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
13 mm KIPSILEVY, ONE13  
66 mm TERÄSRANKA R66/7 TAI PUURUNKO 66X45 K450 + LÄMMÖNERISTE 60 mm  
ALMINPAPERI  
45 mm TUULETUSRAKO, PYSTYPIKAT 45X45 K450, AVON ALA- JA YLÄREUNASTA  
VAAKA- TAI PYSTYYPANEELI

**VS 7**  
Pesuhuoneen ja saunan väl. seinä

SEINÄLAATOTUS  
KINNITYSLAATI  
KOSTEUSSUJKÄSITTELY + VEDENERISTYS  
13 mm KIPSILEVY, ONE13  
13 mm PANELI TUULETUSRAKO TUULETUS  
26 mm TERÄSRANKA R66/7 TAI PUURUNKO 66X45 K450 + LÄMMÖNERISTE 60 mm  
66 mm ALMINPAPERI  
32 mm TUULETUSRAKO, PYSTYPIKAT 32X50 K450, AVON ALA- JA YLÄREUNASTA  
VAAKAPANEELI HUONESELOSTUKSEN MUKAAN

**VS 8**  
Pesuhuoneen ja kuivantilan väl. seinä

SEINÄLAATOTUS  
KINNITYSLAATI  
KOSTEUSSUJKÄSITTELY + VEDENERISTYS  
13 mm KIPSILEVY, ONE13  
66 / 95 mm TERÄSRANKA R66/95 TAI PUURUNKO 66X45 K450 + LÄMMÖNERISTE 60 mm  
13 mm KIPSILEVY, ONE13 / ONE13  
PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN

**VS 9**  
Kevyt muurattu väliseinä

PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
85 mm KUNTOKORJOTTU  
PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 44 dB, PUHTAAKSI MUURATTUNA  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 47 dB, MÖL. PUOLIN FABRIKETTUNA  
ÄÄNENERISTÄVYYS R<sub>w</sub> = 48 dB, MÖL. PUOLIN RAPATTUNA (15 mm)  
PALONKESTOLUOKKA: REI 120, KUN SENÄ KANTAVA  
PALONKESTOLUOKKA: EI 180, KUN SENÄ KANTAMATON

