

Janne Kanninen

**TIETOMALLIN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUKSEN HIILIJALAN-
JÄLJEN LASKENNASSA**

TIETOMALLIN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUKSEN HIILIJALAN- JÄLJEN LASKENNASSA

Janne Kannainen
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Janne Kannainen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Tietomallin hyödyntäminen rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Using BIM in Evaluation of Carbon Footprint of Buildings

Työn ohjaaja(t): Kimmo Illikainen

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 38

Työssä tutustuttiin rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin sekä tietomallin käyttämiseen osana rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiprosessia. Työn tavoitteena oli kartoittaa arkkitehtimallinnusohjelmien tarjoamia hyötyjä rakennuksen hiilijalanjäljen arvioinnissa.

Työssä lähdettiin liikkeelle tutustumalla siihen, mitä rakennuksen hiilijalanjälki tarkoittaa. Tämän jälkeen tutustuttiin Ympäristöministeriön tiekarttaan rakennuksen hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa sekä rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmään. Lopuksi perehdyttiin varsinaiseen mallinnusohjelmien tarjoamiin hyötyihin.

Mallinnusohjelmien hyötyjä tarkasteltiin luomalla kaksi tietomallia: yksi Archicadilla ja toinen Revitillä. Lisäksi tutkittiin IFC-formaattiin tallennetun tietomallin hyödyntämistä Solibri Model Checker -ohjelmiston avulla.

Tietomallien suurimmaksi hyödyksi hiilijalanjäljen laskennassa todettiin määrätiedon tuottaminen. Molemmilla mallinnusohjelmilla voitiin tuottaa taulukkomuotoista määrätietoa mallinnetun geometrian ja materiaalitietojen perusteella. Ongelmallista määrätiedon tuottamisessa oli se, ettei arkkitehtimalliin sisällytetä rakenneosia. Rungon määrän arvioimiseksi luotiin laskentakaava, jonka tarkkuutta ei kuitenkaan kyetty todentamaan. Laskennan kannalta optimaaliseksi todettiin rakennemallin hyödyntäminen rungon määrien laskennassa.

IFC-mallien hyödyntämisessä helpoksi todettiin objektien pinta-aloihin ja lukumääriin perustuvan tiedon tuottaminen. Solibri Model Checker -ohjelmistolla yksiaineisten objektien tilavuustiedon tuottaminen onnistui hyvin, mutta komposiittirakenteiden kerrosten määrien laskeminen todettiin vaikeaksi.

Asiasanat: Tietomalli, rakennuksen hiilijalanjälki, vähähiilisyyden arviointi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Degree program in Construction Architecture

Author(s): Janne Kanninen
Title of thesis: Using BIM in Evaluation of Carbon Footprint of Buildings
Supervisor(s): Kimmo Illikainen
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020
Pages: 38

This thesis surveys the evaluation of the carbon footprint of a building and most importantly how BIM could be used in the evaluation process. The main goal of thesis is to research how architectural modeling software could benefit the evaluation process.

Firstly, the thesis clarifies what the carbon footprint of a building means. After that, Ministry of Environment's roadmap to consider the carbon footprint of a building as part of steering construction is under examination.

When terms and goals of the ministry were clear, the real research work could be started. Benefits of modeling programs were examined by creating two building information models. One with Archicad and one with Revit. Solibri Model Checker was also in use as a tool to examine how building information model saved in IFC-format could be used.

The main benefit of building information models as part of the evaluation process was reliable quantity data of building materials. This data could be presented in worksheet format in the modeling programs. The biggest problem in creating quantity data from an architectural model was that an architectural model does not include a structural frame.

A formula to calculate the structural frame from the architectural model was created but its reliability was not tested because there was no comparative data of the volume of the timber compared to the volume of the insulation layer and the length of the wall. Clearly using a structural model along with an architectural model when possible is the best option when creating quantity data.

Quantity data like the area and number of objects was easily produced with IFC-models. The volume of single material objects was also effortlessly calculated but the volumes of composite materials was much harder to calculate with Solibri Model Checker.

Keywords: BIM, building information model, building carbon footprint, carbon footprint evaluation

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| SISÄLLYS | 5 |
| SANASTO | 6 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKI | 8 |
| 2.1 Rakennuksen hiilijalan jäljen laskemisen taustat | 8 |
| 2.2 Ympäristöministeriön tiekartta | 9 |
| 3 YMPÄRISTÖMINISTERIÖN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIONTIMENETELMÄ | 11 |
| 3.1 Materiaalien hiilijalanjälki | 13 |
| 3.2 Kuljetusten hiilijalanjälki | 15 |
| 3.3 Työmaavaiheen hiilijalanjälki | 15 |
| 3.4 Energian hiilijalanjälki | 15 |
| 3.5 Hiilikädenjälki | 16 |
| 3.6 Yhteenveto ja raportointi | 17 |
| 4 TIETOMALLI | 18 |
| 5 TIETOMALLIN KÄYTTÖ HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINNISSA | 19 |
| 5.1 Määrien laskeminen Archicadilla | 19 |
| 5.1.1 Aukot | 19 |
| 5.1.2 Katto | 21 |
| 5.1.3 Ulkoseinä | 21 |
| 5.1.4 Sisäseinät | 25 |
| 5.1.5 Runko | 26 |
| 5.2 Määrien laskeminen Revitillä | 27 |
| 5.3 IFC ja SOLIBRI | 30 |
| 6 YHTEENVETO | 34 |

SANASTO

| | |
|---|---|
| EPD, ympäristöseloste | Environmental Product Declaration eli ympäristöseloste on kolmannen osapuolen hyväksymä seloste tuotteen ympäristövaikutuksista sen elinkaaren ajalta. |
| Hiilidioksidiekvivalentti (CO ₂ e) | Hiilidioksidiekvivalentilla voidaan ottaa huomioon kaikki kasvihuonekaasut. Kasvihuonekaasujen ilmastovaikutus muunnetaan vastaamaan hiilidioksidia, jolloin voidaan ilmoittaa yksi päästöluku. |
| Hiilijalanjälki | Tuotteen tai toiminnan aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt muodostavat hiilijalanjäljen. |
| Hiilikädenjälki | Hiilikädenjälki tarkoittaa tuotteen tai toiminnan tuottamaa ilmastohyötyä. |
| Hiilineutraali | Toiminta on hiilineutraalia, kun hiilidioksidipäästöjä tuotetaan enintään sen verran, mitä voidaan sitoa hiilinieluihin. |
| IFC | Industry Foundation Classes on rakennusalaalla käytettävä standardi tiedon siirtoon järjestelmästä toiseen. |
| IPCC | Intergovernmental Panel of Climate Change on hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli, joka kokoaa tieteellistä tietoa ilmaston muutoksesta. |
| LCA, elinkaariarviointi | Life Cycle Assessment eli elinkaariarviointi tarkoittaa tuotteen tai palvelun ympäristövaikutusten tutkimista koko sen elinkaaren ajalta. |

1 JOHDANTO

Suomi pyrkii hiilineutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä. Rakentamisen ja rakennukset tuottaessa noin kolmanneksen Suomen hiilidioksidipäästöistä onkin loogista, että Ympäristöministeriö on tarttunut aiheeseen ja luonut hiilijalanjäljen laskentamenetelmän, jonka koekäyttö aloitettiin syksyllä 2019. Hiilijalanjäljen laskemista tullaan velvoittamaan kaikilta uudisrakentajilta vuodesta 2025 alkaen. (3; 4; 8.)

Rakennuksen hiilijalanjäljellä tarkoitetaan sitä vaikutusta, jonka rakennus aiheuttaa ilmastoon elinkaarensa aikana. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmää ja sitä, miten tietomallia voidaan hyödyntää sen käytössä. Työssä ei oteta kantaa eri rakennusmateriaalien päästöihin vaan pyritään esittämään tietomallin hyötyjä osana arviointiprosessia konkreettisten esimerkkien avulla. Työn tavoitteena onkin kartoittaa arkkitehtimallinnusohjelmien tarjoamia hyötyjä rakennuksen hiilijalanjäljen arviointia tehtäessä. (1.)

Tietomallinnuksen hyötyihin perehdytään luomalla mallit Archicadilla ja Revitillä. Näiden mallien avulla kartoitetaan mallinnusohjelmista löytyvien laskentatyökalujen tarjoamia mahdollisuuksia hiilijalanjäljen arvioinnissa. Lisäksi tarkastellaan IFC-mallin hyödyntämistä Solibri Model Checker -ohjelmiston avulla.

2 RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKI

Rakennuksen hiilijalanjäljellä mitataan rakennuksen vaikutusta ilmastoon koko sen elinkaaren aikana materiaalien tuotannosta purkamiseen. Vaikutuksen mittarina on kasvihuonekaasupäästöjen määrä, jota ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentilla. (1.)

Rakennuksen hiilijalanjälki syntyy elinkaaren neljässä vaiheesta: tuotevaiheesta, rakentamisesta, käyttövaiheesta ja elinkaaren lopusta. Näiden sisällä päästöt muodostuvat materiaaleista, energian käytöstä, kuljetuksista ja työmaalla aiheutuvista päästöistä ja jätteistä. (Kuva 1.)



KUVA 1. Rakennuksen päästöjen muodostuminen (2)

2.1 Rakennuksen hiilijalan jäljen laskemisen taustat

IPCC:n syksyllä 2018 julkaisema raportti herätti ihmiset ja yhteiskunnat ilmastonmuutoksen todellisiin vaikutuksiin. Rakentaminen ja rakennukset tuottavat Suomen kasvihuonepäästöistä noin kolmanneksen, joten tältä sektorilta löytyy myös parannettavaa. (3.)

Suomen nykyinen hallitus on asettanut Suomen tavoitteeksi, että Suomi olisi hiilineutraali vuonna 2035. Lupauksien lisäksi Suomen ilmastotavoitteet on määritelty myös laissa

seuraavasti: ”Ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ilmakehään vähentyvät Suomen osalta vuoteen 2050 mennessä vähintään 80 prosenttia verrattuna vuoteen 1990.” (4; 5.)

Suomessa ei vielä säännellä rakennusten elinkaaripäästöjä. Elinkaaren päästölaskentaa tehdään vapaaehtoisesti kaupallisten ympäristöluokitusjärjestelmien esimerkiksi LEEDin ja BREEAMin avulla kaupallisiin rakennushankkeisiin, koska laskelmat takaavat mahdollisille kansainvälisille sijoittajille rakennuksen laatua. (6.)

Tällä hetkellä suurin osa rakennuksen hiilijalanjäljestä koostuu rakennuksen käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Rakennusten energiatehokkuuden parantuessa ja energiantuotannon päästöjen laskiessa, kasvaa rakennusmateriaalien merkitys rakennuksen hiilijalanjäljen osatekijänä. (6.)

Rakennusmateriaalien vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen on huomattu muuallakin Euroopassa. Esimerkiksi Ranskassa on lainsäädännössä huomioitu rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. (6.)

2.2 Ympäristöministeriön tiekartta

Ympäristöministeriö on asettanut tavoitteekseen, että rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä ohjattaisiin lainsäädännöllä vuoteen 2025 mennessä. Vuonna 2017 Ympäristöministeriö julkaisi tiekartan tämän tavoitteen saavuttamiseksi. (7.)

Tiekartta on jaettu kolmeen vaiheeseen. Vuonna 2017 alkaneessa ensimmäisessä vaiheessa luotiin pohja tavoitteiden saavuttamiseksi arvioimalla ohjausjärjestelmän vaikuttavuutta sekä kehittämällä hiilijalanjäljen laskentamalli ja päästötietokanta. Vuonna 2018 Ympäristöministeriö laski lausuntokierrokselle Rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmän. Lausuntokierros päättyi vuoden 2019 tammikuussa, siihen mennessä yhteensä 42 tahoa antoi lausuntonsa. (8.)

Vuonna 2019 alkaneessa toisessa vaiheessa Ympäristöministeriön tavoitteena on luoda ohjausjärjestelmä, johon sisältyvät säädösohjauksen ja mahdollisten kannustimien valmistelu, järjestelmän kytkeminen kaavoitukseen ja energiaohjaukseen, rakennusten päästötietojen seurannan ja tilastoinnin valmistelu sekä pilottihankkeiden laajentaminen. (8.)

Elokuussa 2019 Ympäristöministeriön laatima rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmä otettiin koekäyttöön. Koekäytön yhteyteen on perustettu neuvontapalvelu, jonka toteutuksesta vastaa Green Building Council Finland. (9.)

Kolmannessa vaiheessa on tavoitteena vähähiilisen rakentamisen ohjauksen käyttöönotto vuoteen 2025 mennessä. Ohjaus voitaisiin toteuttaa hiilijalanjäljen ilmoittamisvelvollisuudella ennen sitovien raja-arvojen käyttöönottoa. (8.)

3 YMPÄRISTÖMINISTERIÖN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIINTIMENETELMÄ

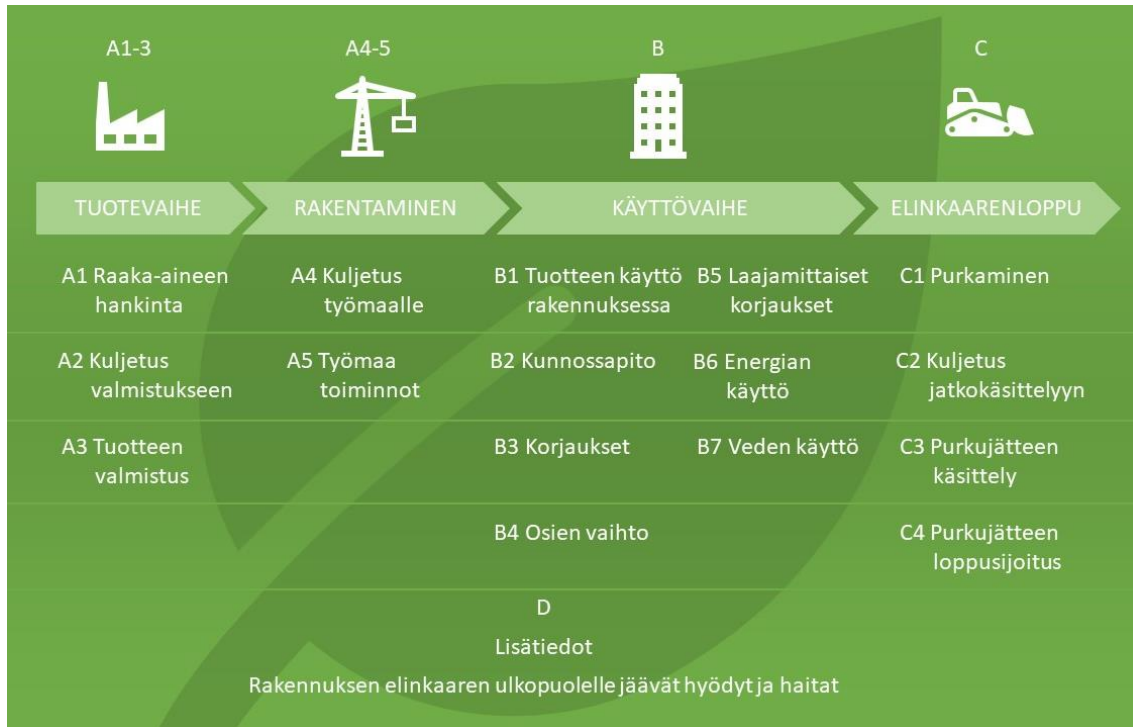
Luvussa kolme käsitellään Ympäristöministeriön vähähiilisyys arviointimenetelmän taustat ja toiminta pintapuolisesti. Jos tarkoituksena on suorittaa vähähiilisyys arviointia, on suositeltavaa lukea koko Ympäristöministeriön luoma rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä ohje.

Eurooppalainen standardisointijärjestö CEN:n tekninen komitea TC 350 Sustainability of construction works on laatinut standardipaketin, jonka tavoitteena on olla pohjana yhteisille eurooppalaisille pelisäännöille rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen tarkastelussa. Ympäristöministeriön arviointimenetelmä pohjautuu eurooppalaiseen Level(s)-järjestelmään, joka perustuu CEN:n standardipakettiin. Paketin standardeista suuressa osassa ovat standardit EN 15978 ja EN 15804 sekä EN 15643 -sarja. (2; 6; 10.)

Arvioinnissa otetaan huomioon koko rakennus, tontin rakenteet ja keskeinen osa taloteknisistä järjestelmistä. Vähähiilisyys arviointi voidaan suorittaa kaikenlaisille rakennuksille ja se on tarkoitettu rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnin kanssa rinnakkaiseksi järjestelmäksi. Arviointi on järkevää tehdä rakennussuunnittelun aikana, jolloin käytettävissä on riittävästi tietoa rakennuksen energiatarpeesta ja käytettävistä materiaaleista. (2, s. 12.)

Rakennuksen vähähiilisyys arviointiin tarvitaan Ympäristöministeriön luoma rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä -ohje, rakennustuotteiden ja -prosessien päästötiedot ja työkalu päästöjen laskentaan. Päästötietokanta rakennustuotteiden ja -prosessien osalta on kehitteillä. Tällä hetkellä voidaan käyttää esimerkiksi eri arviointityökalujen arvoja. Arviointityökaluksi soveltuu Ympäristöministeriön luoma arviointitaulukko tai muu soveltuva työkalu. Huomioitavaa on kuitenkin, etteivät eri työkaluilla ja päästötiedoilla luodut arvioinnit ole keskenään vertailukelpoisia. Täytyy myös ottaa huomioon, että edellä kuvattu tapa pätee vain meneillä olevaan pilotointivaiheeseen, sillä järjestelmä on vielä kehitysvaiheessa ja sitä kehitetään edelleen pilotointivaiheen palautteen perusteella. (2, s.12-13.)

Rakennuksen elinkaari jaetaan neljään pääosaan, joita ovat tuotevaihe, rakentaminen, käyttövaihe ja elinkaarenloppu. Nämä osat on jaettu pienempiin moduuleihin, joita käytetään Ympäristöministeriön luomassa vähähiilisyiden arviointimenetelmässä. (Kuva 2.)



KUVA 2. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (2)

Elinkaariarviointi aloitetaan arvioinnin rajauksesta, jossa valitaan ohjeen mukaan ne asiat, mitä todella lasketaan. Tämän jälkeen kerätään tarvittavat tiedot, joita ovat käytettävät materiaalit, energia, kuljetukset ja työmaalla syntyvät päästöt. Tuotetun tiedon pohjalta lasketaan päästöt, minkä jälkeen tulokset vielä tarkastetaan. Tästä syntyy raportti, josta selviävät rakennuksen synnyttämä hiilijalanjälki ja -kädenjälki. (Kuva 3.)



KUVA 3. Elinkaariarvioinnin kulku (9)

3.1 Materiaalien hiilijalanjälki

Materiaalin hiilijalanjälki syntyy kolmessa elinkaaren vaiheessa: tuotevaiheessa, käyttövaiheessa ja elinkaaren lopussa. Päästöt syntyvät raaka-aineen hankinnasta, kuljetuksesta valmistukseen, tuotteen valmistuksesta, osien vaihdosta, purkujätteen käsittelystä ja purkujätteen loppusijoituksesta eli moduuleista A1-3, B4 sekä C3-4. (2.)

Tuotevaiheen arviointi tehdään luomalla materiaaliluettelo, joka koostuu rakennukseen, tontille ja keskeisiin taloteknisiin järjestelmiin suunnitelluista tuotteista. Arvioinnissa tulee ottaa huomioon myös mahdollinen materiaalihukka. (2, s. 17.)

Mikäli rakennuksen toteutusvaiheessa käytetään uudelleen vanhoja rakennusosia tai ylijäämätuotteita muilta työmailta, ei näiden tuotteiden valmistuksen ja uudelleen käyttöön valmistelun hiilijalanjälkeä oteta mukaan arviointiin. Tuotteiden uudelleen käyttö voidaan olettaa vain tilanteessa, jossa niiden käyttö on ollut mukana jo rakennuksen suunnittelussa. (2, s. 17.)

Taulukossa 1 on esitetty materiaalien hiilijalanjäljen arvioinnissa käytettävät osat.

TAULUKKO 1. Arvioitavat rakennusosat (2)

| | Sisältyy arviointiin | Ei sisälly arviointiin |
|------------------------------|--|---|
| Tontti | + Maaosat + Tuennat ja vahvistukset + Päällysteet + Alueen rakenteet | - Alueen varusteet - Kasvillisuus - Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset |
| Kantavat rakenteet | + Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Ulkotasot + Kattorakenteet | - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet |
| Täydentävät rakenteet | + Väliseinät ja ovet + Portaat + Pintarakenteet + Tyypilliset kiintokalusteet + Hormit ja tulisijat + Tilaelementit | - Pintamateriaalit ja listat - Pintakäsittelyt ja maalaukset - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet |
| Talotekniikka | + Lämmitysjärjestelmät + Vesi- ja viemärijärjestelmät + Ilmastointijärjestelmät + Jäähdytysjärjestelmät + Sprinklerit + Sähköjärjestelmät + Hissit | - Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaatio - Varavirtajärjestelmät - Liukuportaat - Erilliset koneet ja laitteet |
| Työmaa | + Työmaalla kulutettu energia | - Telineet, suojaukset - Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet - Työmaatilojen elinkaari - Työmaan henkilöliikenne |

Arviossa rakennustuotteiden vaihdoista rakennuksen elinkaaren aikana otetaan huomioon kaikki ne tuotteet, joiden tekninen käyttöikä lyhyempi kuin rakennuksen tavoitekäyttöikä. Arvioinnissa voidaan käyttää valmiita taulukkoarvoja tai laskea käyttäen ohjeessa annettua laskentakaavaa (kaava 1). Vaihtoväli on yhtä kuin rakennuksen tavoitekäyttöikä vuosina jaettuna tuotteen suunnittelulla käyttöiällä vuosina vähennettynä yhdellä. (2, s. 19.)

$$\text{Vaihtoväli} = \frac{\text{Rakennuksen tavoitekäyttöikä vuosina}}{\text{Tuotteen suunniteltukäyttöikä vuosina}} - 1$$

KAAVA 1

Jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen hiilijalanjäljen arviointi voidaan tehdä käyttämällä valmista taulukkoarvoa tai laskemalla. Laskennassa oletetaan, että rakennuksen purku-

vaiheessa syntyvä jätemäärä on sama kuin rakennukseen käytetty materiaalmäärä. Mikäli jättemateriaaleja hyödynnetään energiana, ilmoitetaan siitä syntyvät ympäristöhaitat elinkaaren ulkopuolisina vaikutuksina eli moduulissa D. Vastaavasti jätteen käytöstä syntyvät hyödyt ilmoitetaan osana hiilikädenjälkeä. (2, s. 21.)

3.2 Kuljetusten hiilijalanjälki

Kuljetuksen päästöjä syntyy rakentamisvaiheen kuljetuksista (moduuli A4), korjausvaiheen kuljetuksista korjausvaiheessa (moduulit B3-4) ja elinkaaren lopun kuljetukset (moduuli C2). Kuljetusten hiilijalanjäljen arvioinnissa voidaan käyttää valmista taulukkoarvoa. Toisena vaihtoehtona on laskea kaikki rakennuksen elinkaaren aikana kuljetuksesta syntyvät päästöt sisältäen rakentamisen, korjaamisen, purkamisen ja jätteen käsittelyn. Tarkemmat ohjeet laskemiseen löytyvät Ympäristöministeriön ohjeesta. (2, s. 23.)

3.3 Työmaavaiheen hiilijalanjälki

Arviointitapavaihtoehdot tässä vaiheessa ovat taulukkoarvojen käyttö ja laskeminen. Laskennassa otetaan huomioon työmaalla rakentamisen moduulissa A5, korjausten moduuleissa B3-5 ja purkamisen moduulissa C1 syntyvät päästöt. (2, s. 27.)

Laskenta suoritetaan työmaalla käytettävien ostoenergian ja polttoaineiden päästöjen perusteella. Arvioon sisältyy rakennustöistä, valaistuksesta, kuivatuksesta ja lämmityksestä työmaalla sekä toimisto- ja taukotiloista ja vastaavista syntyvä energiantarve. Laskennassa otetaan huomioon myös ne väliaikaiset työmaata palvelevat tilat ja aputoiminnot, jotka eivät sijaitse samalla tontilla. (2, s. 27.)

3.4 Energian hiilijalanjälki

Energian hiilijalanjälki lasketaan kertomalla rakennuksen ostoenergian kulutusta eri energiamuotojen päästökertoimilla. Ostoenergian kulutus määritellään uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetun asetuksen 1010/2017 mukaan. Laskentaan ei sisällytetä laitesähköä eikä sellaisia järjestelmiä, joita ei ole mainittu energiatehokkuusasetuksessa. (2, s. 29.)

Laskennassa tarvittavat päästökertoimet löytyvät Ympäristöministeriön ohjeen liitteestä 4. Kertoimissa on otettu huomioon energian päästöjen odotettavissa oleva laskeminen. (2, s. 29.)

3.5 Hiilikädenjälki

Rakennuksen hiilikädenjälki koostuu rakennuksen materiaalien kierrätyksen ja rakennusosien uudelleen käytön avulla vältetyistä kasvihuonepäästöistä, rakennuksessa tai tontilla tuotetusta uusiutuvasta energiasta ja rakennusmateriaaleihin varastoituneesta orgaanisesta hiilestä ja niihin rakennuksen elinkaaren aikana sitoutuvasta hiilidioksidista. Onkin huomioitava, että hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä vaan se on oma erillinen lukunsa. (2, s. 30.)

Tuotteen uudelleen käytöstä syntyviä hyötyjä arvioitaessa on käytettävä tuotteen ympäristöselosteessa annettuja tietoja tai laskettava ne Ympäristöministeriön ohjeen liitteen 5 arviointitavan mukaisesti. Arviointimenetelmän pilotointivaiheen aikana selvitetään arviointia nopeuttavien taulukkoarvojen luomista. (2, s. 30.)

Ylijäävä energia arvioidaan kilowatteina vuotta kohti. Tämä energiamäärä kerrotaan Ympäristöministeriön ohjeen liitteen 4 mukaisilla päästökertoimilla ja tulos ilmoitetaan hiilidioksidikiloina. Ylijäävää uusiutuvaa energiaa laskettaessa tulee ottaa huomioon myös energiaa tuottavien laitteiden hiilijalanjälki, joka lasketaan osaksi rakennuksen hiilijalanjälkeä. (2, s. 31.)

Hiilivarastoiksi lasketaan vain eloperäiset materiaalit, kuten puu. Lisäksi, jotta materiaali voitaisiin laskea hiilivarastoksi, edellytetään, ettei materiaalin korjuu pysyvästi heikennä ekosysteemin luonnollista hiilinielua ja että se on lähtöisin kestävästi hoidetusta alkupe-
räästä. (2, s. 31.)

Hiilivarastoksi ei lasketa pakkauksia, muotteja, telineitä eikä suojauksia, vaikka ne olisivatkin eloperäistä materiaalia, vaan huomioon otetaan ne osat, jotka päätyvät osaksi lopullisia rakennustuotteita. Laskennassa ei myöskään oteta huomioon tuotteiden vaihtoja. Jokaisen rakennusosan ja -tuotteen hyöty lasketaan vain kerran. (2, s. 32.)

Sementin karbonisoituminen voidaan laskea hiilinieluna osaksi hiilikädenjälkeä, mikäli karbonisoitumisen aiheuttamat korjaukset huomioidaan hiilijalanjäljen laskennassa. Arviointiin otetaan mukaan vain ne tuotteet, jotka on arvioitu osaksi rakennuksen hiilijalanjälkeä. Materiaalista lasketaan mukaan vain ne osat, jotka päätyvät lopullisiin rakennustuotteisiin. Mukaan ei siis lasketa tuotannon sivuvirtoja, tuotantojätteitä tai työmaalla mahdollisesti käytettyjä väliaikaisia sementtipohjaisia tuotteita. (2, s. 32.)

3.6 Yhteenveto ja raportointi

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki lasketaan summaamalla yhteen elinkaaren eri moduuleissa syntyneet kasvihuonepäästöt. Tulos ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointijakson pituudella. Tulos esitetään positiivisena kokonaislukuna. (2, s. 34.)

Rakennuksen elinkaaren hiilikädenjälki lasketaan summaamalla yhteen elinkaaren eloperäiset hiilivarastot, hiilinielu ja elinkaaren ulkopuolella tapahtuva materiaalien uudelleenkäyttö sekä kierrätyksen tai energiahyödyntämisen avulla vältettävät päästöt. Hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä, vaan se esitetään erillisenä tietona. Tulos ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentin painona jaettuna lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointijakson pituudella. Tulos esitetään negatiivisena kokonaislukuna. (2, s. 34.)

Uudisrakennuksen tulokset esitetään erikseen seuraaville elinkaaren vaiheille: ennen käyttöä moduulit A1-5, käytön aikana moduulit B3-4 ja B6, käytön jälkeen moduulit C1-4 sekä elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset moduuli D. (2, s. 35.)

Laajamittaisessa korjaushankkeessa tulokset esitetään erikseen elinkaaren vaiheille: ennen käyttöä moduulit A1-5, käytön aikana moduulit B3-4, B6, käytön jälkeen moduulit C1-4 sekä elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset moduuli D. Laajamittaisessa korjaushankkeessa tarkasteluun sisällytetään hankkeen vaiheet, eli rakennuksen elinkaaren aiempia vaiheita ei oteta huomioon rakennuksen hiilijalan- ja -kädenjäljen laskennassa. (2, s. 35.)

Laskennassa käytettävien tietojen laatu tulee raportoida, mikäli laskennassa on käytetty muita kuin valmiiksi annettuja taulukkoarvoja. Tietojen raportointiin ja niiden laadullisiin vähimmäisvaatimuksiin ohje löytyy ohjeen liitteestä 7. (2, s. 36.)

4 TIETOMALLI

Tietomalli tarkoittaa jäsenellyssä muodossa olevaa tietoa. Tämä teksti, jota luet, on tietomalli, joka muodostuu kirjaimista ja sanoista, jotka muodostavat suurempia kokonaisuuksia lauseita, jotka lopulta muodostavat koko opinnäytetyön. Tietomallissa tämä tieto on digitaalisessa muodossa, jolloin sitä voidaan käsitellä ja tarkastella tietokoneella. (11, s. 13.)

Yleensä rakennuksen tietomallista puhuttaessa tarkoitetaan rakennuksen kolmiulotteista mallia, joka sisältää rakennuksen geometriatiedon sekä muuta informaatiota rakennuksesta ja sen yksittäisistä osista eli objekteista. Tietomalli rakentuu objekteista, niille annetuista ominaisuuksista ja niiden muodostamista yhteyksistä. Esimerkkinä voisi mainita seinän, jossa on ikkuna. (11, s. 13.)

Seinällä on oma geometriatietonsa, minkä lisäksi sillä voi olla esimerkiksi tieto siitä, minkä tyyppinen seinä se on esimerkiksi US1, jonka rakenne voi olla vaikkapa hirsi. Ikkunalla niin ikään on oma geometriatietonsa, mutta myös tieto siitä, että se sijaitsee juuri kyseisessä seinässä. Lisäksi ikkunaobjektiin on voitu sisällyttää paljonkin tietoa siitä itsestään, esimerkiksi U-arvo, G-arvo, valmistaja ja niin edelleen. (11, s. 13-14.)

Näitä mallissa olevia tietoja voidaan hyödyntää monin eri tavoin. Tietomallista saadaan muun muassa määrätietoa helposti, vaikkapa se, kuinka paljon mallissa on hirsiseinää. Tällainen määrätieto on todella hyödyllistä rakennustyömaalla, mutta myös hiilijalanjäljen laskennassa. (11, s. 14.)

Rakennuksen tietomalleista puhuttaessa käytetään monesti myös termiä BIM, joka on lyhenne sanoista Building Information Model tai Building Information Modeling. Nykyään BIMin käsite on laajentunut ja sillä voidaan tarkoittaa kaikkea rakennuksen elinkaaren aikana siitä muodostettua ja siihen liittyvää tietoa. Tällöin puhutaan Building Information Managementista. (11, s. 15.)

5 TIETOMALLIN KÄYTTÖ HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINNISSA

Työssä tutustuttiin Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmän mukaiseen rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökaluun. Lisäksi kartoitettiin sitä, miten tietomallia voidaan hyödyntää laskentamenetelmän käytössä. Työssä selvitettiin mallinnusohjelmien tarjoamia mahdollisuuksia hiilijalanjäljenlaskennassa sekä IFC-formaattiin tallennetun tietomallin käyttöä.

Työssä luotiin yksinkertainen mallitalo Archicad- ja Revit-ohjelmistoilla. Mallien avulla kartoitettiin kyseisten ohjelmistojen tarjoamia mahdollisuuksia vähähiilisyiden arvioinnissa. Molemmista ohjelmistoista tallennettiin myös IFC-muotoinen malli, jota tarkasteltiin Solibri Model Checker -ohjelmiston avulla.

Määrälaskentaa suoritettiin ohjelmistojen schedule-toiminnolla. Archicadissa sCHEDULEt löytyivät documents-valikosta kohdasta SCHEDULES ja Revitissä project manager -ikkunan kohdasta SCHEDULES/QUANTITIES. Molemmista ohjelmista löytyi käytetyistä aloituspohjista valmiita laskentapohjia, mutta haluttujen tietojen saamiseksi luotiin uusia pohjia.

Taulukoissa hyödynnettiin tietomallin geometriatietoa ja materiaalitietoa. Materiaalitiedoissa oleellisin oli rakennustuotteen tiheys, sillä Ympäristöministeriön julkaisema Excel-
taulukkopohjainen laskentatyökalu käytti laskentayksikkönä suurimmalta osin CO₂e/kg. Siihen syötettävien materiaalin määrät tuli siis ilmoittaa kilogrammoina. Jotkin osat voitiin ilmoittaa neliömetreinä, esimerkiksi ikkunat ja ovet.

5.1 Määrien laskeminen Archicadilla

Archicadissa määrätiedot laskettiin schedule-toiminnon avulla. Taulukoilla laskettiin materiaalmääriä osatyypeittäin, esimerkiksi väliseinien kipsilevymäärä. Ikkunoista ja ovista luotiin omat taulukonsa, jotka järjestettiin tyypeittäin.

5.1.1 Aukot

Ikkunoiden pinta-alat selvitettiin luomalla schedule, johon sisällytettiin tarvittavat tiedot (taulukko 2). Taulukko järjestettiin ikkunatyypin mukaan ja asetettiin laskemaan tietyn ikkunatyypin yhteispinta-ala. Taulukkoon sisällytettiin myös yksittäisten ikkunoiden mitat

sekä kätsiys- ja tilasijaintitieto, vaikka ne eivät laskennan kannalta olekaan merkityksellistä tietoa.

TAULUKKO 2. Ikkunoiden pinta-alat

| Ikkunat | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------------|---------|
| Tyyppi | Ala | Määrä | Elementin ID | Tila | Tilan numero | Koko l x k | Kätsiys |
| Avattava 2 lasinen | 0,40 | 1 | 005 | SAUNA | 010 | 0,800×0,500 | O |
| Avattava 2 lasinen | 0,40 | 1 | 009 | KPH | 009 | 0,800×0,500 | V |
| Avattava 2 lasinen | 2,40 | 1 | 008 | MH | 012 | 1,500×1,600 | O |
| Avattava 2 lasinen | 2,40 | 1 | 010 | MH | 011 | 1,500×1,600 | O |
| Avattava 2 lasinen | 2,40 | 1 | 011 | MH | 011 | 1,500×1,600 | V |
| | 8,00 m ² | | | | | | |
| Kiinteä 3 lasinen | 1,92 | 1 | 007 | K | 016 | 1,200×1,600 | V |
| Kiinteä 3 lasinen | 2,70 | 1 | 001 | OH | 017 | 1,500×1,800 | O |
| Kiinteä 3 lasinen | 2,70 | 1 | 003 | K | 016 | 1,500×1,800 | O |
| Kiinteä 3 lasinen | 2,70 | 1 | 004 | K | 016 | 1,500×1,800 | V |
| Kiinteä 3 lasinen | 2,70 | 1 | 006 | K | 016 | 1,500×1,800 | V |
| Kiinteä 3 lasinen | 3,75 | 1 | 000 | OH | 017 | 1,500×2,500 | V |
| Kiinteä 3 lasinen | 3,75 | 1 | 002 | OH | 017 | 1,500×2,500 | V |
| | 20,22 m ² | | | | | | |
| | 28,22 m ² | | | | | | |

Taulukolla on pyritty havainnollistamaan sitä, että eri ikkunatyyppeiden lukumäärä ja todellinen tarvittu tieto eli kokonaispinta-ala ikkunatyypeittäin voitiin esittää helposti. Esimerkissä käytetyillä tyypeillä, kuten kiinteä 3-lasinen ja avattava 2-lasinen, ei sinänsä ollut mitään merkitystä, vaan ikkunatyypit olisivat voineet yhtä hyvin olla vaikkapa MEK ja MS. Oleellista oli, että jokaiselle ikkunalle annettiin jokin tyyppi, jotta ikkuna-alat voitiin laskea tyypeittäin.

Taulukossa 3 on laskettu ovien pinta-alat tyypeittäin. Kuten ikkunatyypeissä, myöskään ovityypeissä ei ollut merkitystä sillä, mitä ovien luokittelunimet olivat. Sen sijaan tärkeää oli tietää, paljonko rakennuksessa on tietyn tyyppistä ovea. Mallissa käytettiin yksinkertaisia lyhenteitä luokittelussa.

TAULUKKO 3. Ovien pinta-alat

| Ovet | | | | | |
|--------|----------------------|-------|---------------|-------------|---------|
| Tyyppi | Ala | Määrä | Vyöhykenumero | Koko l x k | Kätsiys |
| PO | 2,40 | 1 | 017 | 1,000×2,400 | O |
| | 2,40 m ² | 1 | | | |
| SLO | 1,68 | 1 | 009 | 0,800×2,100 | V |
| | 1,68 m ² | 1 | | | |
| UO1 | 2,10 | 1 | 018 | 1,000×2,100 | V |
| | 2,10 m ² | 1 | | | |
| VO1 | 1,89 | 1 | 019 | 0,900×2,100 | O |
| VO1 | 1,89 | 1 | 018 | 0,900×2,100 | O |
| VO1 | 1,89 | 1 | 012 | 0,900×2,100 | O |
| VO1 | 1,89 | 1 | 011 | 0,900×2,100 | O |
| | 7,56 m ² | 4 | | | |
| | 13,74 m ² | 7 | | | |

5.1.2 Katto

Ympäristöministeriön laskentamenetelmä hyödynsi bitumikermikatteiden **laskennassa** katon pinta-ala tietoa. Taulukossa 4 on laskettu kaikki mallin kattuhuopapinta-alat. Laskettavien objektien kriteereiksi asetettiin, että ne ovat kattoja ja pintamateriaali on kattuhuopa.

TAULUKKO 4. Kattopinta-ala bitumikermimäärien laskentaan

| Kattuhuovan paino | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------|---------------------|------------------------------------|
| Tyyppi | Surface | Elementin ID | Pintakäsittely | Näkyvä pinta-ala [m ²] |
| Roof | | | | |
| | Kattohuopa - harmaa | Katto-002 | Kattohuopa - harmaa | 147,26 |
| | Kattohuopa - harmaa | Katto-003 | Kattohuopa - harmaa | 26,37 |
| | Kattohuopa - harmaa | Katto-004 | Kattohuopa - harmaa | 8,43 |
| | | | | 182,06 m ² |

Muiden kattomateriaalien määrätieto täytyi ilmoittaa kilogrammoina, joten pinta-alan laskemisen lisäksi esitettiin esimerkki peltikaton painon laskemisesta. Sen laskemiseksi täytyi määrittää peltikattomateriaalille oikea tiheys. Materiaalin tiheys määritettiin hyötyneliön painon mukaan, jotta päästiin mahdollisimman lähelle katon todellista painoa. (Taulukko 5.)

TAULUKKO 5. Peltikaton paino

| oma peltikatto | | | | | |
|----------------|-------------------------|--------------|-------------------------|------------------------------------|-----------|
| Tyyppi | Surface | Elementin ID | Pintakäsittely | Näkyvä pinta-ala [m ²] | Mass |
| Roof | | | | | |
| | Katto - poimulevy matta | Katto-002 | Katto - poimulevy matta | 146,70 | 762,70 |
| | Katto - poimulevy matta | Katto-003 | Katto - poimulevy matta | 26,09 | 135,60 |
| | Katto - poimulevy matta | Katto-004 | Katto - poimulevy matta | 8,34 | 43,34 |
| | | | | 181,13 m ² | 941,64 kg |

5.1.3 Ulkoseinä

Ulkoseinien kipsilevyn määrä laskettiin hakemalla taulukkoon ulkoseinät, joiden sijainti oli ensimmäinen kerros. Tietoihin haettiin rakenteesta kipsilevykerros ja sen näkyvä osa. Kun näkyvä pinta-ala, kipsilevyn tiheys ja levyn paksuus olivat tiedossa, voitiin laskea kipsilevyn määrä kilogrammoina. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Kipsilevyn määrä ulkoseinissä

| Kipsilevyn määrä ulkoseinissä | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Name | Exposed Area | Mass |
| Kipsilevy | 3,60 | 70,69 |
| Kipsilevy | 8,45 | 163,80 |
| Kipsilevy | 8,59 | 169,94 |
| Kipsilevy | 9,42 | 179,74 |
| Kipsilevy | 16,11 | 318,34 |
| Kipsilevy | 22,34 | 432,31 |
| | 68,51 m ² | 1 334,82 kg |

Laskentatuloksen oikeellisuus tarkastettiin laskemalla seinän sisäpinta-ala käsin. Lisäksi laskettiin myös kipsilevyn kokonaispaino kertomalla saatua pinta-alaa levyn paksuudella ja materiaalin tiheydellä.

Taulukossa 7 on laskettu ulkoverhouksen määrä. Taulukkoon on haettu kaikki ulkoseinät, ja laskettu niiden ulkopinnan kerroksen, tässä tapauksessa 28 millimetriä paksun ulkoverhouspaneelin tilavuus. Tilavuuden avulla ohjelma osaa laskea painon, kun materiaalille on annettu oikea tiheys.

TAULUKKO 7. Ulkoverhouksen määrä

| Julkisivuverhouksen määrä | | |
|---------------------------|---------------------|-------------|
| Name | Verhouksen tilavuus | Paino |
| Ulkoverhous | 0,13 | 39,35 |
| Ulkoverhous | 0,32 | 96,15 |
| Ulkoverhous | 0,39 | 116,02 |
| Ulkoverhous | 0,42 | 127,11 |
| Ulkoverhous | 0,42 | 127,11 |
| Ulkoverhous | 0,65 | 195,15 |
| Ulkoverhous | 0,65 | 195,15 |
| Ulkoverhous | 0,86 | 256,74 |
| | 3,84 m ³ | 1 152,78 kg |

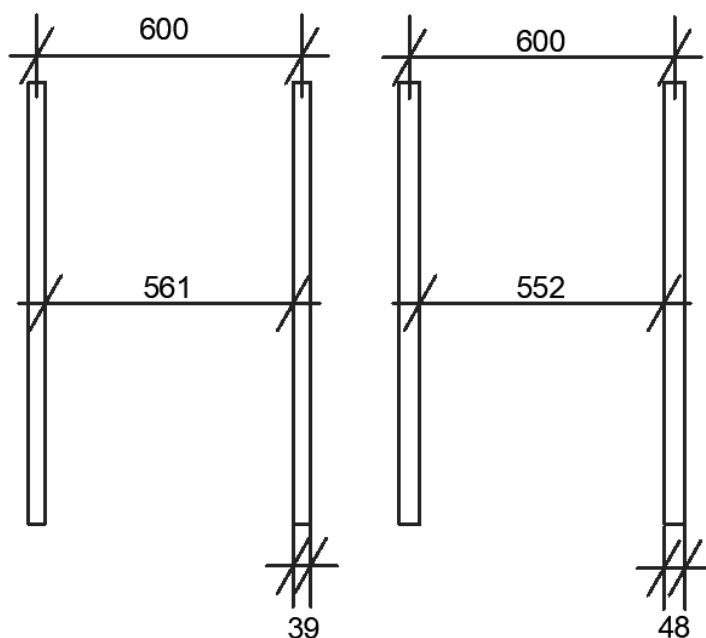
Taulukossa 8 on laskettu ulkoseinän runkokerroksen tilavuutta. Runkokerroksen materiaaliksi asetettiin käytettävä eriste, tässä tapauksessa mineraalivilla. Näin voitiin laskea eristeen määrä ulkoseinässä.

TAULUKKO 8. Ulkoseinän runkokerros

| US runkokerros | | | | | |
|----------------|--------------------------------------|------------------------|----------|-------|---------------|
| Element ID | Unique ID | Materiaali | Tilavuus | Paino | Seinän pituus |
| 000 | 469FFCF8-1E6F-4FCB-9FDD-70CA4A43231A | Mineraalivilla - runko | 2,01 | 29,09 | 3,61 |
| 001 | F3D20104-5E2D-42CF-9F87-060B90BA046D | Mineraalivilla - runko | 0,88 | 12,75 | 1,70 |
| 002 | 6DF72455-F728-4720-A392-811FA70F6E97 | Mineraalivilla - runko | 2,17 | 31,51 | 6,70 |
| 003 | A4AB451E-990F-443F-82E7-1EC8B7F3AF1F | Mineraalivilla - runko | 2,31 | 33,49 | 8,50 |
| 004 | 44371B68-6030-471B-84AC-19DD07A89481 | Mineraalivilla - runko | 5,23 | 75,90 | 12,00 |
| 005 | 18F7B59C-E5DA-47CA-8B50-F8F78FBF5C6F | Mineraalivilla - runko | 4,18 | 60,60 | 8,50 |

Eristeen määrään tuotti virheen se, että eristeen lisäksi runkokerroksessa on luonnollisesti runko. Rungon määrän arviointiin luotiin pystykoolauksen prosentuaaliseen määrään ja seinän pituuteen nojautuva laskentatapa. Laskentatavan tarkkuutta ei kuitenkaan kyetty arvioimaan, koska vertailudataa ei ollut saatavilla.

Kuvassa 4 on esitetty KK600-runkokoolaus 39 millimetriä ja 48 millimetriä leveällä puutavaralla, esimerkiksi 39x66:n kertopuulla ja 48x98:n runkotolpalla. Kaavassa 2 käytetty pystykoolauksen prosenttikerroin laskettiin jakamalla profiilin leveys koolausvälillä. 39 millimetriä leveällä profiililla pystykoolauksen määrä oli 6,5 prosenttia ja 48 millimetrin leveydellä 8,3 prosenttia.



KUVA 4. Rungon määrä

Rungon määrä arvioitiin seinän runkorakenneosasta. Seinän pituudesta laskettiin ylä- ja alapuun määrä. Rungon kokonaismäärä voitiin laskea kaavalla 2.

$$V_t = V \times V\% + L_1 \times D_1 \times D_2 \times 2$$

KAAVA 2

V_t = runkopuun määrä

V = rakennekerroksen tilavuus

$V\%$ = pystykoolauksen prosenttikerroin

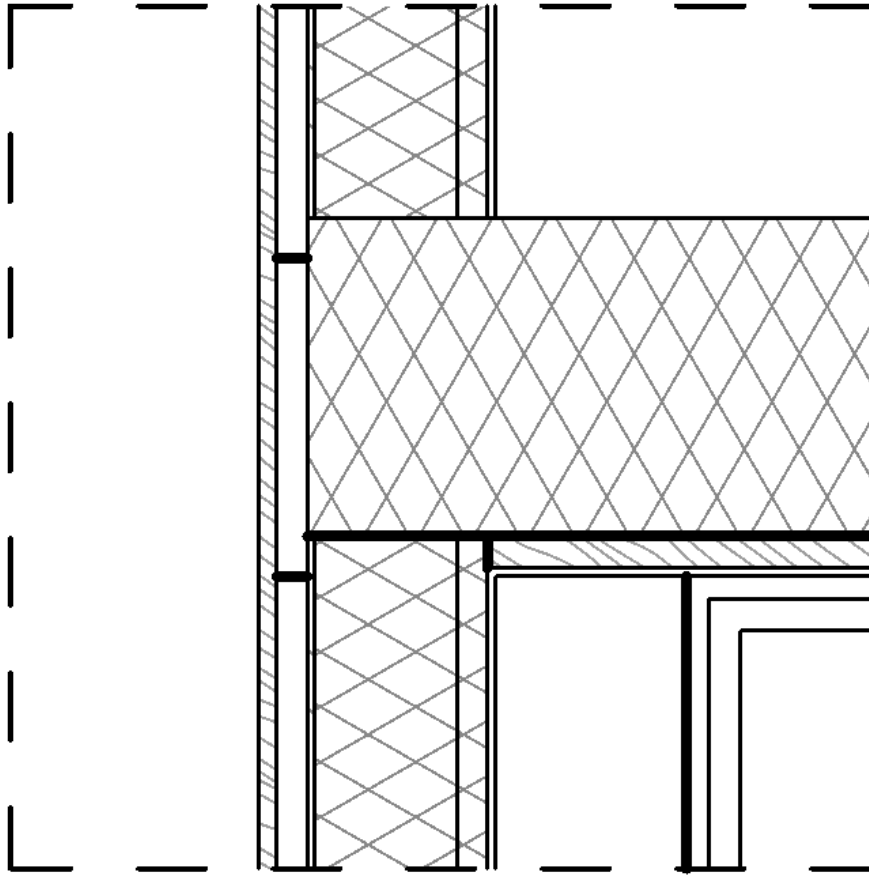
L_1 = seinän pituus

D_1 = puutavaran profiilin leveys

D_2 = puutavaran profiilin korkeus

Esitettyssä laskentakaavassa lasketaan pystykoolauksen määrä kertomalla seinän tilavuutta pystykoolauksen laskennallisella prosentiosuudella tilavuudesta. Ala- ja yläpuun määrä lasketaan kertomalla käytetyn puun profiilin pinta-alaa seinän pituudella ja kertomalla tulos vielä kahdella, jolloin otetaan huomioon sekä ylä- että alapuu. Kaava ei kuitenkaan ota huomioon esimerkiksi aukkojen ylityspalkkeja ja tuplatolppia.

Virheeseen vaikutti myös mallinnustapa, sillä seinän runkorakenteen tuli katketa yläpohjaan, jotta määrät täsmäävät. Archicadissa tällainen mallinnustapa onnistui säätämällä yläpohjan ja ulkoseinän materiaalien leikkausprioriteetteja. Kuvassa 5 on esitetty leikkaus ulkoseinän ja yläpohjan liitoksesta, jossa runkokerros katkeaa yläpohjan eristeen alapintaan. Ulkoseinä on mallinnettu samalla rakenteella ylös asti. Jotta materiaalmäärä saatiin laskettua oikein, täytyi laskentaan sisällyttää ainoastaan ensimmäisen kerroksen seinät.



KUVA 5. Rungon leikkaus

5.1.4 Sisäseinät

Taulukossa 9 on laskettu kipsilevyn määrä sisäseinissä. Taulukkoon sisällytettiin väliseiniksi ja kantaviksi seiniksi määritellyt seinät, joissa on kipsilevyä. Näin pystyttiin määrittämään kipsilevyn kokonaismäärä sisäseinissä. Taulukoon listattiin kaikki näkyvät kipsilevypinnat ja siksi sama seinä esiintyi listassa useamman kerran.

TAULUKKO 9. Kipsilevyn määrä sisäseinissä

| Väliseiniä ja kantavien seinien kipsilevymäärä | | | |
|--|-----------|----------------------|-------------|
| Element ID | Name | Exposed Area | Mass |
| Seinä-014 | Kipsilevy | 1,93 | 41,39 |
| Seinä-014 | Kipsilevy | 1,93 | 41,39 |
| Seinä-014 | Kipsilevy | 8,59 | 177,45 |
| Seinä-014 | Kipsilevy | 9,34 | 188,37 |
| Seinä-018 | Kipsilevy | 3,50 | 68,88 |
| Seinä-018 | Kipsilevy | 3,53 | 68,25 |
| Seinä-019 | Kipsilevy | 6,00 | 117,00 |
| Seinä-019 | Kipsilevy | 6,00 | 117,00 |
| Seinä-020 | Kipsilevy | 10,00 | 195,00 |
| Seinä-020 | Kipsilevy | 10,00 | 195,00 |
| Seinä-021 | Kipsilevy | 10,00 | 195,00 |
| Seinä-021 | Kipsilevy | 10,20 | 200,41 |
| | | 81,02 m ² | 1 605,14 kg |

5.1.5 Runko

Sisäseinistä saatiin samoin kuin ulkoseinistäkin laskettua eristeen määrää. Väliseiniä eristeen määrässä oli vastaava rungosta johtuva virhe kuin ulkoseinissäkin. (Taulukko 7.)

TAULUKKO 7. Väliseiniä runkokerros

| VS runkokerros | | | | | | |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------|----------|-------|---------------|--|
| Element ID | Unique ID | Materiaali | Tilavuus | Paino | Seinän pituus | |
| Seinä-013 | E6BFC940-1988-457F-B615-EDD598F0CAFB | Mineraalivilla - väliseinä | 0,22 | 3,21 | 1,61 | |
| Seinä-014 | BA829A28-7A64-4444-9EE1-B73241714CAC | Mineraalivilla - väliseinä | 0,98 | 14,16 | 5,28 | |
| Seinä-018 | 36FA7B69-2823-4073-B334-DD810984CF19 | Mineraalivilla - väliseinä | 0,24 | 3,47 | 1,52 | |
| Seinä-019 | 70A20615-021E-4336-8F49-20CE02444183 | Mineraalivilla - väliseinä | 0,61 | 8,84 | 2,40 | |
| Seinä-020 | 5AD79A24-AB3D-4554-9FCC-59D74AEC9498 | Mineraalivilla - väliseinä | 0,68 | 9,87 | 4,00 | |
| Seinä-021 | 83E5E40C-2828-4C98-B192-4B2D896ACF4D | Mineraalivilla - väliseinä | 0,68 | 9,87 | 4,00 | |

Rakenteellisen betonin määrä rakennuksessa laskettiin asettamalla hakukriteeriksi rakenteellinen betoni. Taulukossa 8 näkyviksi tiedoiksi asetettiin komposiittirakenteen tyyppi, komponentin tilavuus ja massa. Taulukko laitettiin myös laskemaan tiettyä komponenttityyppiä olevien objektien lukumäärän. Tämä helpotti kaikkien osien laskennassa mukana olemisen tarkistamista ainakin tällaisessa pienemmässä kohteessa.

TAULUKKO 8. Rakenteellisen betonin määrä

| Rakenteellisen betonin määrä | | |
|------------------------------|-----------------------|--------------|
| Composite Structure | Skin/Component Volume | Mass |
| AP3 - Betoni - Maanvastainen | 10,20 | 23 460,00 |
| 1 | 10,20 m ³ | 23 460,00 kg |
| Sokkeli | 1,56 | 3 588,55 |
| Sokkeli | 1,60 | 3 671,35 |
| Sokkeli | 2,23 | 5 120,35 |
| Sokkeli | 2,26 | 5 203,15 |
| 4 | 7,65 m ³ | 17 583,41 kg |
| Antura | 1,26 | 2 886,96 |
| Antura | 1,26 | 2 886,96 |
| Antura | 1,93 | 4 439,46 |
| Antura | 1,93 | 4 439,46 |
| 4 | 6,38 m ³ | 14 652,84 kg |
| 9 | 24,23 m ³ | 55 696,25 kg |

5.2 Määrien laskeminen Revitillä

Myös Revitistä löytyi materiaalikirjasto, jonka avulla materiaaleihin voitiin sisällyttää tietoa, kuten esimerkiksi hiilijalanjäljen laskennan kannalta tärkeä tiheystieto. Taulukossa 9 näkyvät mallinnetusta alapohjarakenteesta lasketut määrätiedot.

TAULUKKO 9. Alapohjamateriaalit

| <Alapohjat - materiaalit> | | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| A | B | C | D |
| Tunnus | Materiaali | Pinta-ala | Tilavuus |
| AP | | | |
| AP | M21.30 Paikallavalubetonit | 102.5 m ² | 10 m ³ |
| AP | M27.1400 Muovieristeet, EPS | 102.5 m ² | 21 m ³ |

Revitissä luotiin ikkunoista luettelo, joka on järjestetty määritetyn ikkunatyypin ja pinta-alan mukaan. Taulukko laski myös ikkunoiden lukumäärän ja alan tyypeittäin sekä kokonaispinta-alan. (Taulukko 10.)

TAULUKKO 10. Ikkuna pinta-alat

| <Ikkunaluettelo> | | | | | |
|------------------|-------|----------|---------|--------|---------------------|
| A | B | C | D | E | F |
| Tyyppi | Koko | Talo2000 | Korkeus | Leveys | Pinta-ala |
| MEK | | | | | |
| MEK | 12x16 | 1242 | 1600 | 1200 | 1.9 m ² |
| 12x16: 1 | | | | | 1.9 m ² |
| MEK | 15x18 | 1242 | 1800 | 1500 | 2.7 m ² |
| MEK | 15x18 | 1242 | 1800 | 1500 | 2.7 m ² |
| MEK | 15x18 | 1242 | 1800 | 1500 | 2.7 m ² |
| MEK | 15x18 | 1242 | 1800 | 1500 | 2.7 m ² |
| 15x18: 4 | | | | | 10.8 m ² |
| MEK | 15x25 | 1242 | 2500 | 1500 | 3.8 m ² |
| MEK | 15x25 | 1242 | 2500 | 1500 | 3.8 m ² |
| 15x25: 2 | | | | | 7.5 m ² |
| MEK: 7 | | | | | 20.2 m ² |
| MS | | | | | |
| MS | 8x5 | 1242 | 500 | 800 | 0.4 m ² |
| MS | 8x5 | 1242 | 500 | 800 | 0.4 m ² |
| 8x5: 2 | | | | | 0.8 m ² |
| MS | 15x16 | 1242 | 1600 | 1500 | 2.4 m ² |
| MS | 15x16 | 1242 | 1600 | 1500 | 2.4 m ² |
| MS | 15x16 | 1242 | 1600 | 1500 | 2.4 m ² |
| 15x16: 3 | | | | | 7.2 m ² |
| MS: 5 | | | | | 8.0 m ² |
| Grand total: 12 | | | | | 28.2 m ² |

Oville annettiin tyyppitieto, jonka mukaan ovet jaoteltiin oviluetteloon. Ovien pinta-alat laskettiin tyypeittäin. Ovien tyyppitietona on käytetty yksinkertaisia lyhenteitä. (Taulukko 11.)

TAULUKKO 11. Ovi pinta-alat

| <Oviluettelo> | | | | | | | | |
|----------------|--------|--------|----------|--------|---------|--------|--------|---------------------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| Kerros | Tunnus | Tyyppi | Talo2000 | Leveys | Korkeus | Height | Width | Pinta-ala |
| 03 1. krs | | | | | | | | |
| 03 1. krs | SLO | 8x21 | 1315 | 8 | 21 | 2100 | 800.0 | 1.7 m ² |
| 8x21: 1 | | | | | | | | 1.7 m ² |
| 03 1. krs | VO | 9x21 | 1315 | 9 | 21 | 2100 | 900.0 | 1.9 m ² |
| 03 1. krs | VO | 9x21 | 1315 | 9 | 21 | 2100 | 900.0 | 1.9 m ² |
| 03 1. krs | VO | 9x21 | 1315 | 9 | 21 | 2100 | 900.0 | 1.9 m ² |
| 03 1. krs | VO | 9x21 | 1315 | 9 | 21 | 2100 | 900.0 | 1.9 m ² |
| 9x21: 4 | | | | | | | | 7.6 m ² |
| 03 1. krs | UO | 10x21 | 1243 | 10 | 21 | 2100 | 1000.0 | 2.1 m ² |
| 10x21: 1 | | | | | | | | 2.1 m ² |
| 03 1. krs | PL0 | 10x21 | 1243 | 10 | 21 | 2100 | 1000.0 | 2.1 m ² |
| 10x21: 1 | | | | | | | | 2.1 m ² |
| 03 1. krs: 7 | | | | | | | | 13.4 m ² |
| Grand total: 7 | | | | | | | | 13.4 m ² |

Kantavien seinien materiaalmäärät on laskettu taulukossa 12. Taulukkoon on listattu kaikki ne seinät, joiden tyyppi on KS1. Taulukko laskee eri rakennekerrosten määrät neliöinä ja kuutioina.

TAULUKKO 12. Kantavien väliseinien materiaalit

| <Väliseinät, kantavat - materiaalit> | | | |
|--|---|---------------------|---------------------|
| A | B | C | D |
| Tunnus | Materiaali | Pinta-ala | Tilavuus |
| M26.11 Kipsikartonkilevyt, EK | | | |
| KS1 | M26.11 Kipsikartonkilevyt, EK | 14.4 m ² | 0.19 m ³ |
| KS1 | M26.11 Kipsikartonkilevyt, EK | 24.1 m ² | 0.31 m ³ |
| KS1 | M26.11 Kipsikartonkilevyt, EK | 5.7 m ² | 0.07 m ³ |
| KS1: 3 | | 44.2 m ² | 0.57 m ³ |
| M26.11 Kipsikartonkilevyt, EK: 3 | | 44.2 m ² | 0.57 m ³ |
| M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | | | |
| KS1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | 7.2 m ² | 0.72 m ³ |
| KS1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | 12.0 m ² | 1.20 m ³ |
| KS1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | 2.9 m ² | 0.29 m ³ |
| KS1: 3 | | 22.1 m ² | 2.21 m ³ |
| M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko: 3 | | 22.1 m ² | 2.21 m ³ |
| Grand total: 6 | | 66.3 m ² | 2.78 m ³ |

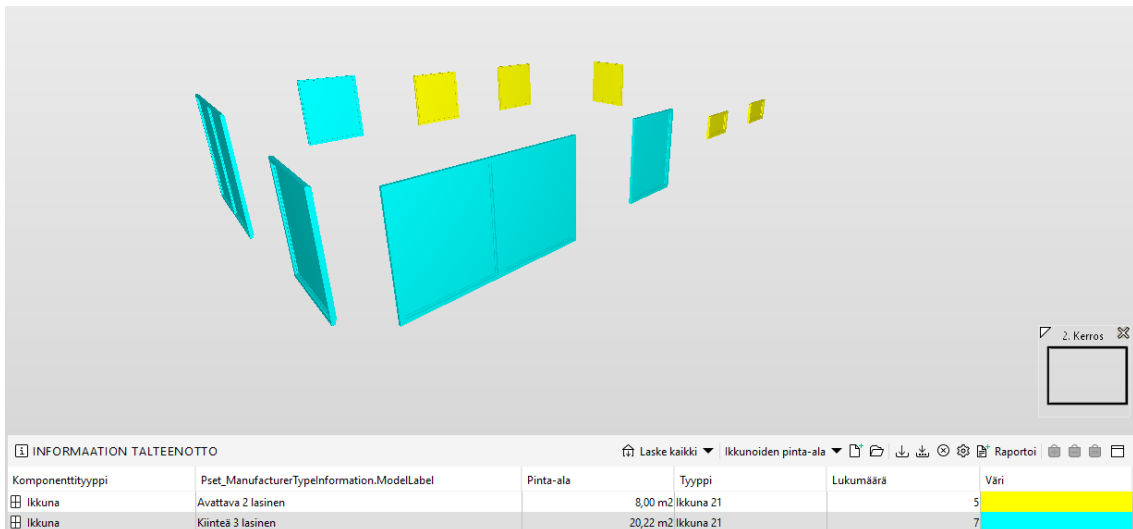
Taulukossa 13 on laskettu ulkoseinien materiaalmäärät. Taulukko laskee myös materiaalien painon tilavuuden ja materiaalille annetun tiheyden perusteella. Tällainen kaikkien materiaalien laskeminen yhteen taulukkoon onnistui tapauksissa, joissa ei ollut paljon erilaisia seinätyyppejä tai seinien lukumäärä ei ollut liian suuri. Mikäli tällaista taulukointitapaa haluttaisiin käyttää esimerkiksi kerrostalossa, olisi seinät syytä laskea kerroksittain, jotta taulukon koko saataisiin pidettyä maltillisena.

TAULUKKO 13. Ulkoseinä materiaalit

| <Ulkoseinä materiaalit> | | | | |
|--|---|---------------------|----------------------|----------|
| A | B | C | D | E |
| Tunnus | Materiaali | Pinta-ala | Tilavuus | Paino kg |
| US1 | | | | |
| US1 | M15.51 Puuverhous | 23.5 m ² | 0.65 m ³ | 334 |
| US1 | M15.51 Puuverhous | 32.5 m ² | 0.91 m ³ | 466 |
| US1 | M15.51 Puuverhous | 17.5 m ² | 0.49 m ³ | 252 |
| US1 | M15.51 Puuverhous | 29.0 m ² | 0.82 m ³ | 417 |
| M15.51 Puuverhous: 4 | | | 2.87 m ³ | 1470 |
| US1 | M24.10 Sahatavara, koolaus / Ilmaväli | 23.5 m ² | 1.12 m ³ | 9 |
| US1 | M24.10 Sahatavara, koolaus / Ilmaväli | 32.5 m ² | 1.56 m ³ | 12 |
| US1 | M24.10 Sahatavara, koolaus / Ilmaväli | 17.5 m ² | 0.85 m ³ | 7 |
| US1 | M24.10 Sahatavara, koolaus / Ilmaväli | 29.0 m ² | 1.40 m ³ | 11 |
| M24.10 Sahatavara, koolaus / Ilmaväli: 4 | | | 4.93 m ³ | 39 |
| US1 | M26.10 Kipsilevyt, määrittelemätön | 23.5 m ² | 0.30 m ³ | 334 |
| US1 | M26.10 Kipsilevyt, määrittelemätön | 32.5 m ² | 0.42 m ³ | 466 |
| US1 | M26.10 Kipsilevyt, määrittelemätön | 17.5 m ² | 0.23 m ³ | 254 |
| US1 | M26.10 Kipsilevyt, määrittelemätön | 29.0 m ² | 0.38 m ³ | 418 |
| M26.10 Kipsilevyt, määrittelemätön: 4 | | | 1.34 m ³ | 1472 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puukoolaus | 23.5 m ² | 1.12 m ³ | 224 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puukoolaus | 32.5 m ² | 1.57 m ³ | 313 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puukoolaus | 17.5 m ² | 0.85 m ³ | 170 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puukoolaus | 29.0 m ² | 1.40 m ³ | 281 |
| M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puukoolaus: 4 | | | 4.94 m ³ | 988 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | 23.5 m ² | 5.20 m ³ | 1041 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | 32.5 m ² | 7.26 m ³ | 1453 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | 17.5 m ² | 3.94 m ³ | 789 |
| US1 | M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko | 29.0 m ² | 6.51 m ³ | 1302 |
| M27.1110 / M24.1 Pehmeät mineraalipohjaiset eristeet / Puurunko: 4 | | | 22.92 m ³ | 4584 |
| US1 | M27.3200 / M24.1 Tuulensuojalevy, kuitulevy / Sahatavara | 23.5 m ² | 0.28 m ³ | 28 |
| US1 | M27.3200 / M24.1 Tuulensuojalevy, kuitulevy / Sahatavara | 32.5 m ² | 0.39 m ³ | 39 |
| US1 | M27.3200 / M24.1 Tuulensuojalevy, kuitulevy / Sahatavara | 17.5 m ² | 0.21 m ³ | 21 |
| US1 | M27.3200 / M24.1 Tuulensuojalevy, kuitulevy / Sahatavara | 29.0 m ² | 0.35 m ³ | 35 |
| M27.3200 / M24.1 Tuulensuojalevy, kuitulevy / Sahatavara: 4 | | | 1.23 m ³ | 123 |

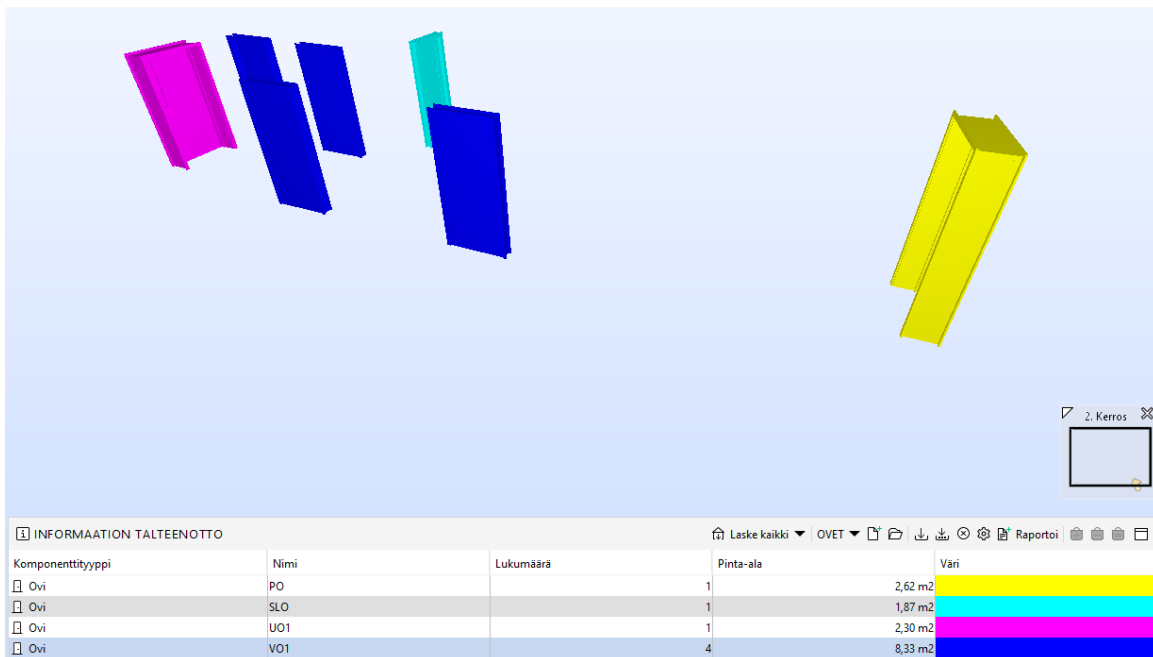
5.3 IFC ja SOLIBRI

Työssä tutustuttiin IFC:n tarjoamiin mahdollisuuksiin Solibri Model Checker -ohjelmiston avulla. Solibrin informaation talteenotolla laskettiin samoja materiaalmääriä IFC-malleista kuin mallinnusohjelmissakin laskettiin. Kuvassa 6 näkyy Solibrilla tehty informaation talteenotto, minkä avulla on laskettu ikkunoiden pinta-alat tyypeittäin. Kuten mallinnusohjelmissa myös IFC-mallista määriä laskettaessa oli ensiarvoisen tärkeää, että tyyppitiedot oli annettu. Tämä mahdollisti ikkunoiden pinta-alojen laskemisen tyypeittäin.



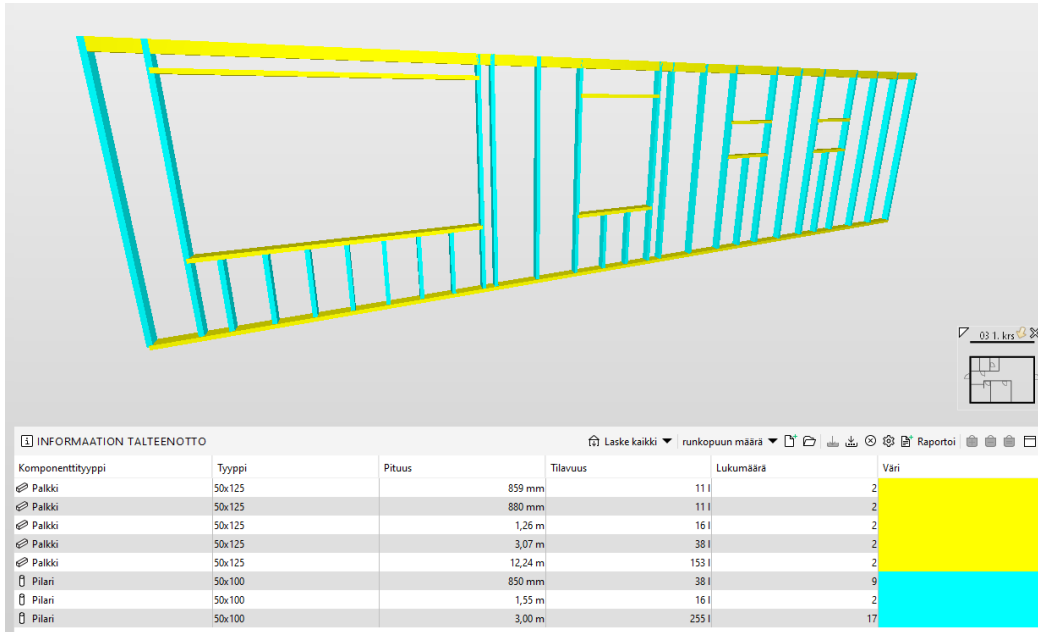
KUVA 6. Solibri ikkunoiden pinta-ala

Kuvassa 7 on laskettu ovien pinta-alat tyypeittäin Solibrilla. Laskennan kannalta tarpeellista tietoa olivat oven tyyppi sekä pinta-ala. Oven tyyppi täytyi määrittää mallinnusohjelmassa.



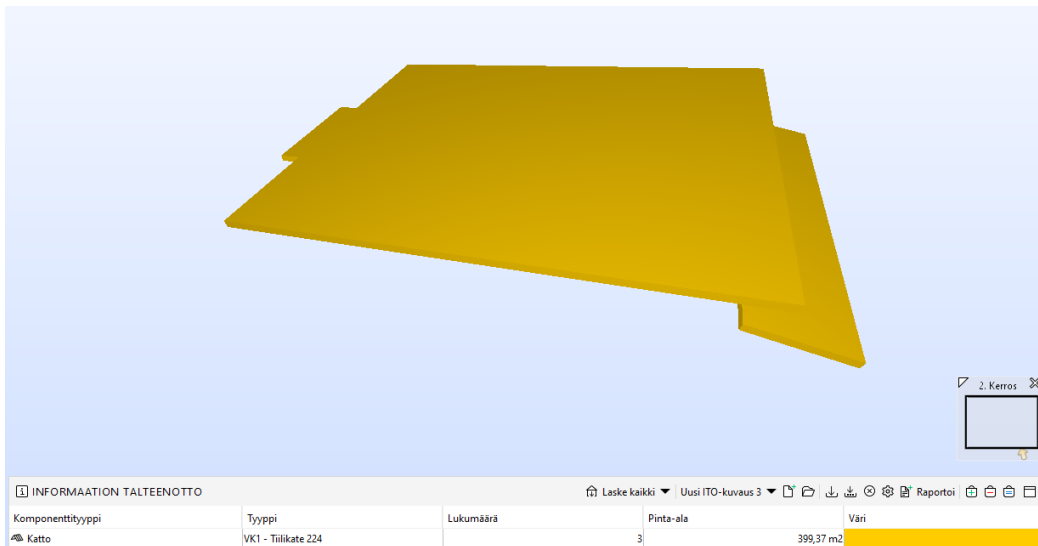
KUVA 7. Ovien pinta-alat

Revitillä mallinnettiin yhden seinän runkorakenne, jotta voitiin havainnollistaa rungon määrän arvioinnin tarkkuutta. Solibrilla voitiin laskea rungon kokonaismäärä tarkasti, kun runko oli mallinnettu Revitin rakennemallinnustoiminolla (kuva 8).



KUVA 8. Seinän runkomäärä Solibrilla laskettuna

Solibri tuotti kattopinta-alatiedon mallinnettujen kattokomponenttien geometriatiedosta (kuva 9). Seinien ja laattojen pinta-alat voitiin laskea samalla tavalla. Objektien geometriasta voitiin laskea myös niiden tilavuudet. Tilavuuksien laskenta oli hyödyllistä yksiaineisten objektien, kuten sokkelien ja anturoiden osalta.



KUVA 9. Kattopinta-ala

Komposiittirakenteet olivat huomattavasti ongelmallisempia. Vaikka seinän komposiittirakenteen pystyi siirtämään IFC-muotoon, oli näiden yksittäisten kerrosten laskeminen Solibrilla huomattavan hankalaa. Tämä aiheutui IFC-formaatin tavasta listata käytetyt rakennekerrokset numeroimalla muotoon component x. Esimerkiksi kipsilevykerroksen laskeamiseen täytyi tietää, mikä on kyseisen rakennekerroksen Solibrin listaama nimi, joka voisi olla esimerkiksi component 3.

6 YHTEENVETO

Rakennusten hiilijalanjälkeen tulee kiinnittää huomiota nyt ja tulevaisuudessa, sillä rakennussektori muodostaa kolmanneksen Suomen hiilidioksidipäästöistä. Rakennusten energiatehokkuuden kehitys johtaa siihen, että rakennusvaiheen päästöt muodostavat entistä huomattavamman osan rakennuksen hiilijalanjäljestä. Ympäristöministeriö onkin luonut laskentamallin rakennuksen hiilijalanjäljen laskemiseksi sekä julkaissut tiekartan tämän laskentamallin käyttöönottoon.

Työssä lähdettiin liikkeelle tutustumalla siihen, mitä rakennuksen hiilijalanjälki oikeastaan tarkoittaa. Tämän jälkeen perehdyttiin Ympäristöministeriön tiekarttaan rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa. Tiekartasta selvitettiin Ympäristöministeriön tavoitteet ja aikataulu sekä se, mitä nyt on jo tehty ja miten tulevaisuudessa jatketaan.

Ympäristöministeriön hanke rakennusten hiilijalanjäljen kartoittamiseen on aloitettu vuonna 2017 tiekartan julkaisulla. Vuoden 2019 syksyllä aloitettiin Ympäristöministeriön laskentamenetelmän pilotointi. Rakennuksen hiilijalanjäljen laskentamenetelmä on tarkoitus ottaa käyttöön maanlaajuisesti vuonna 2025. Aluksi on tarkoitus velvoittaa ainoastaan hiilijalanjäljen laskemiseen eikä asettaa tarkkoja tavoitearvoja hiilijalanjäljelle. Tällainen laskennan velvoittaminen mahdollistaa kuitenkin tavoitteiden asettamisen tulevaisuudessa.

Työssä saatiin selville, että hiilijalanjäljen laskennassa tärkeää määrätietoa saadaan tuotettua mallinnohjelmiensa taulukointityökaluilla varsin helposti, jos tietomalliin on määritetty komponenttien tiedot oikein. Komponenttien tietojen oikeellisuuden lisäksi tulee niiden olla myös mallinnettu oikein, jotta määrätieto täsmäisi. Mallintamisen tarkkuuden merkitys tulee selväksi esimerkiksi perinteisen harjakattoisen pientalon mallissa. Päätykolmio on nimittäin usein mallinnettu samalla ulkoseinärakenteella kuin muukin talo, vaikka näin ei käytännössä ole, sillä päätykolmioon ei sisälly eristekerrosta vaan se koostuu yleensä vain tuulensuojalevystä ja verhouksesta. Tämä luo tietomalliin vääristymiä materiaalin kokonaismäärästä, mikä tulee ottaa huomioon laskennassa.

Tulevaisuudessa tuleekin mieltä mallinuksen tarkkuutta, sillä vaikka malli ei periaatteessa voikaan koskaan olla liian tarkka, tulevat markkinatalouden lainalaisuudet vastaan

ja täytyy miettiä sitä, kuinka tarkka mallintaminen on taloudellisesti kannattavaa. Olisi myös hyvä miettiä sitä, kuluttaako jokin tarkempi mallinnustapa todellisuudessa huomattavasti enemmän resursseja vai onko puutteellisesti tai jopa väärin mallintaminen vain piintynyt tapa.

Mallintamisen kannattavuus voidaan arvioida tarkistamalla, tuottaako jonkin asian tarkempi mallintaminen enemmän lisäarvoa kuin se kuluttaa resursseja. Kulutetut resurssit on helppo arvioida, sillä ne ovat käytännössä työtunteja. Tarkemman mallintamisen tuottama lisäarvo taas ei välttämättä konkretisoidu yhtä helposti, mikä vaikeuttaa kannattavuuden arviointia huomattavasti. Tarkan mallintamisen selkeimpiä hyötyjä on törmäystarkastelun lisäksi luotettava määrätieto, joka on käyttökelpoista niin hiilijalanjäljen arvioinnissa kuin työmaallakin.

Arkkitehtimallista ei voida laskea kaikkea, vaikka se olisikin tarkasti mallinnettu, koska arkkitehtimalliin ei mallinneta runkorakenteita. Työssä esitettiin seinärakenteiden puurungon määrän arviointi arkkitehtimallista, mutta mikäli käytössä olisi rakennemalli, voitaisiin rungon määrä laskea tarkasti. Arkkitehtimallista ei myöskään voida arvioida esimerkiksi kattotuolirakenteita eikä monia muitakaan rakenteellisen rungon osia.

Työssä esitetyn runkopuun määrän arviointitavan tarkkuutta ei pystytty testaamaan käytännössä. Työssä esitetyllä tavalla laskea seinän runkopuun määrä prosenttiosuutena runkokerroksen tilavuudesta voitaisiin päästä hyvinkin tarkkoihin arvioihin. Tämä vaatisi kuitenkin, että prosenttikerroin laskettaisiin rakennettujen kohteiden käytettyyn runkopuun määrään perustuen.

Tilavuuteen perustuvan laskentatavan sijasta voisi kuitenkin olla mielekkäämpää laskea, paljonko runkopuuta kuluu neliölle seinärakennetta, koska tällöin määriä olisi helppo arvioida myös piirustuksista. Määriä voitaisiin laskea neliöihin perustuen myös muiden materiaalien osalta.

Tulevaisuudessa tulisi miettiä, millä tarkkuudella hiilijalanjälki halutaan laskea. Mikäli käytössä on tarkka arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikkamalli, voidaan arviointi tehdä todella tarkasti, kun talon kaikista osista saadaan tarkkaa määrätietoa.

Lisäksi tulisi pohtia, missä vaiheessa rakennusprojektia hiilijalanjäljen laskenta velvoitetaan. Esimerkiksi lupavaiheessa rakennuksesta tarkan arvioinnin tekemiseen ei välttämättä ole riittävän tarkkoja tietoja. Mikäli rakennuksille halutaan asettaa päästörajoituksia, pitäisi olla olemassa tapa varmentaa arvioiden oikeellisuus. Tällaiseen tarkastamiseen tarvittaisiin jokin tehokas ja luotettava keino. Rakennusvalvonnoilla tuskin on resursseja suorittaa tarkastuslaskentaa käsin jokaisen kohteen osalta. Tietomallipohjaisen rakennuslupaprosessin ollessa kehitteillä voitaisiin miettiä myös järjestelmää, jolla voitaisiin tarkastaa hiilijalanjälki tietomallin määrien perusteella.

Tuloksen virhearviointiin tarvittaisiin tilastotietoa todellisten kohteiden määrien arvioinnista ja toteutuneista määristä. Esimerkiksi, jos kipsilevyn määrä on laskettu kiloina tietomallin geometriatietoon pohjautuen, ei siinä vielä ole otettu huomioon hävikkiä. Tästä syystä olisi myös hyvä saada tieto kipsilevypinnan neliömetrimäärästä, jolloin on helpompi arvioida kipsilevyn menekkiä paketteina tai levyjen kappalemäärinä. Määrätiedon tuottaminen tietomallista tuottaa hyötyä useassa rakennusprosessin vaiheessa, sillä määrätieto on arvokasta hiilijalanjäljen arvioinnin lisäksi myös kustannusarvioinnissa ja työmaavaiheen tilausten teossa.

LÄHTEET

1. Kujala, Mari 2018. Mitä rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta tarkoittaa? Saatavissa: <https://tulevaisuudenrakentaminen.samk.fi/2018/02/16/mita-rakennuksen-hiilijalanjaljen-laskenta-tarcoittaa/>. Hakupäivä 26.11.2019.
2. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. 2019. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161761>. Hakupäivä 25.5.2020.
3. Huttunen, Eeva 2018. Vähähiilisessä rakentamisessa on potentiaalia merkittäviin päästövähennyksiin. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Ynna_Muuta_blogi/Vahahiilisessa_rakentamisessa_on_potenti\(48543\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankoh-taista/Ynna_Muuta_blogi/Vahahiilisessa_rakentamisessa_on_potenti(48543)). Hakupäivä 25.7.2019.
4. Stenroos, Maria 2019. Suomi asetti itselleen huippukovan ilmastotavoitteen – miten hallitus onnistuu lunastamaan lupauksensa? 5 kysymystä ja vastausta. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10992336>. Hakupäivä 27.1.2020.
5. Ilmastolaki 609 §6. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>. Hakupäivä 27.1.2020.
6. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017. Bionova Oy. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta. Hakupäivä 27.5.2019.
7. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi. 2017. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi. Hakupäivä 25.7.2019.
8. Lausuntoyhteenveto rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmän luonnoksesta. 2019. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Lausuntoyhteenveto_rakennusten_hiilijala\(49747\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Lausuntoyhteenveto_rakennusten_hiilijala(49747)). Hakupäivä 25.7.2019.

9. Vähähiilisen rakentamisen neuvontapalvelu. Green Building Council Finland. Saatavissa: <https://elinkaarilaskenta.fi/>. Hakupäivä 25.7.2019.
10. Rakennustuoteteollisuuden ympäristöseminaari. 2019. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. Saatavissa; <http://www.rakennusteollisuus.fi/Ajankohtaista/Koulutus--ja-esitysaikoneistot1/2019/rakennustuoteteollisuuden-ymparistoseminaari/>. Hakupäivä 25.5.2020.
11. Jäväjä, Päivi – Lehtoviita, Timo 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy.