

Perttu Raudasoja

RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN

Archicad-tietomallin hyödyntäminen hiilijalanjäljen
laskennassa.

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Markku Karjalainen
Teemu Hirvilammi
Lokakuu 2024

TIIVISTELMÄ

Perttu Raudasoja: Rakennuksen hiilijalanjäljen laskeminen - Archicad-tietomallin hyödyntäminen hiilijalanjäljen laskennassa.
Tampereen yliopisto
Arkkitehtuurin TkK-tutkinto-ohjelma
Kandidaatintyö
Lokakuu 2024

Rakentamisen vähähiilisyttä tullaan arvioimaan Suomessa lainsäädäntöön perustuvien ohjauskeinojen avulla. Yksi keskeisimmistä tulevan rakentamislain uudistuksista on tietomallipohjainen rakentamislupa ja luvan liitteeksi tarvittava ilmastaselvitys, joka sisältää ympäristöministeriön arviointimenetelmään ja kansalliseen päästötietokantaan perustuvan rakennuksen hiilijalanjäljen laskennan. Tämän työn tavoitteena on tutkia Archicad-ohjelmalla mallinnetun rakennuksen tietomallin mahdollisuuksia hiilijalanjäljen laskennassa tarvittavien materiaali- ja rakennusosaluetteloiden tekemiseen.

Työn aluksi rakennus mallinnettiin yleisten tietomallivaatimusten (YTV, 2012) arkkitehtimallille asettamien vaatimusten mukaisesti. Työssä perehdyttiin ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän sisältämän elinkaariarvioinnin taustoihin ja arviointiperusteisiin. Tietomallin sisältämä tietosisältö ja laskentaparametrit määriteltiin arviointimenetelmän mukaisen elinkaariarvioinnin sisältämien reunaehtojen mukaisesti.

Työn lopuksi tietomallista tuotettiin valmis hiilijalanjäkilaskelma. Laskelman perusteella analysoitiin esimerkkirakennuksen hiilijalanjäljen jakautumista elinkaariarvioinnin vaiheiden välillä sekä rakennuksen eri rakennusosien välillä. Lisäksi arvioitiin tietomallinnuksesta aiheutuvia ongelmia ja keinoja niiden ratkaisemiseksi.

Avainsanat: Hiilijalanjälki, elinkaariarviointi, tietomallinnus, rakentamisen vähähiilisyys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 Työn tausta | 1 |
| 1.2 Työn rajaus | 2 |
| 1.3 Tutkimusmenetelmät | 2 |
| 2. RAKENTAMISEN VÄHÄHIILISYYS | 3 |
| 2.1 Rakentamisen hiilielinkaaren nykytila Suomessa | 3 |
| 2.2 Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki | 7 |
| 2.3 Rakentamislakiuudistus ja vähähiilisyiden ohjaukeinit Suomessa | 7 |
| 2.4 Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi | 10 |
| 2.5 Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmä | 12 |
| 2.5.1 Arviointimenetelmän tausta | 12 |
| 2.5.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet ja kulku | 12 |
| 3. TIETOMALLINNUS | 20 |
| 3.1 Tietomallinnuksen tavoitteet | 20 |
| 3.2 Tietomallivaatimukset | 20 |
| 3.2.1 Mallintamisen tarkkuustasot | 21 |
| 3.2.2 Rakennusosien luokittelu | 21 |
| 3.2.3 Tietomallipohjainen määrälaskenta | 23 |
| 4. HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN ESIMERKKIKOHTEELLE | 24 |
| 4.1 Laskennan lähtötiedot | 24 |
| 4.2 Rakennusosien mallintaminen | 26 |
| 4.2.1 Rakennusaineet | 26 |
| 4.2.2 Rakennetyypit | 28 |
| 4.3 Hiilijalanjäljen laskemisessa tarvittavien parametrien määrittelyminen | 29 |
| 4.4 Materiaaliluettelon tuottaminen mallista | 30 |
| 4.5 Hiilijalanjälkilaskelman tulostus | 31 |
| 5. TUTKIMUKSEN YHTEENVETO | 33 |
| 5.1 Mallintamisen yhteenveto | 33 |
| 5.2 Hiilijalanjälkilaskennan yhteenveto | 33 |
| LÄHTEET | 37 |

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Suomen valtion tavoitteleva hiilineutraaliuteen pääseminen vuoteen 2035 mennessä tarkoittaa päästöjen merkittävää, jopa 80 prosentin vähentämistä yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla. Tavoite koskettaa ja tulee muuttamaan merkittävästi rakentamista tulevaisuudessa. Jotta tavoitteisiin päästäisiin, rakennusten hiilidioksidipäästöjä tullaan ohjaamaan vähähiilisemmiksi lainsäädäntöön perustuvilla ohjauskeinoilla. (Kuittinen 2019, s.9). Ympäristöministeriön tavoitteena on edistää ja ohjata vähähiilistä rakentamista lainsäädännöllä 2020-luvun puolivälistä lähtien julkaisemansa raja-arvoihin perustuvan arviointimenetelmän kautta. (Kuittinen 2019, s.11) Elinkaaren hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen raportoiminen rakennuksen ilmastaselvityksessä on osana 1.1.2025 voimaan tulevaa rakentamislakia. Ilmastaselvitys edellyttää rakennuksen hiilijalanjäljen laskemista ympäristöministeriön arviointimenetelmässä määritellyille rakennusosille, joiden materiaalitiedot ilmoitetaan rakennuksen materiaaliselosteessa. Uusi rakentamislaki edellyttää rakentamisluvan liitteeksi myös rakennuksen tietomallia, josta voidaan lukea elinkaariarviointiin tarvittavat keskeiset tiedot. (Safa 2022) Hiilijalanjälkilaskennan sekä tietomallimuotoisen rakentamisluvan osalta rakentamislaki tulee voimaan vuoden 2026 alusta. (Ympäristöministeriön linjaus rakentamislain muuttamisesta, VN/34558/2023).

Arkkitehdillä on suuri vastuu kestävästä rakenne- ja materiaalivalinnoista, joten elinkaariarviointia tulee tehdä jatkuvasti suunnittelun edetessä. Jokaisessa suunnitteluvaiheessa tai suunnittelun aikaisessa muutoksessa ei välttämättä ole mahdollista käyttää ulkopuolista konsulttia tai kaupallista työkalua rakennuksen hiilijalanjäljen arvioimiseen, vaan tieto tulee saada heti, jotta osataan tehdä oikeita päätöksiä rakenteiden ja materiaalien valinnoissa. Tässä työssä vähähiilisyttä arvioitiin ympäristöministeriön julkaisema rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmää käyttäen. Arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission laatimaan EU:n jäsenmaiden yhteiseen resurssitehokkuutta mittaavaan Level(s)-menetelmään (Kuittinen 2019, s.11) ja se tulee olemaan perustana uuteen rakentamislakiin perustuvassa hiilijalanjäljen laskennassa (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä, VN/14758/2021 §2). Tässä työssä

tutkittiin myös hiilijalanjäljen jakautumista rakennuksen eri rakennusosien välillä. Sen perusteella voidaan ennakoida rakennusosan tärkeyttä vähähiilisten rakenneratkaisuiden valinnassa.

1.2 Työn rajaus

Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmästä poiketen, tarkastelu rajataan koskemaan ainoastaan rakennusta itsessään. Tontin rakenteet ja mahdollisesti siellä olevat muut rakennukset ja rakennelmat jätettiin huomioimatta. Muiden suunnittelualojen vastuualueelle kuuluvia rakennusosia ei huomioitu rakennuksen mallintamisessa. Tässä työssä perehdyttiin pääasiassa Archicad-ohjelmalla tuotettuun tietomalliin ja sen mahdollisuuksiin hiilijalanjäljen laskemisessa. Lopputuloksena tuotettiin tietomallista saaduilla rakenne- ja materiaalitiedoilla valmis hiilijalanjälkilaskelma. Laskelmaa voidaan hyödyntää suunnittelun aikana materiaali- ja rakennevalintojen ohjaamiseen sekä uuden rakentamislain mukaiseen ilmastoselvityksen laatimiseen. Esimerkkikohteeksi valittiin harjoitustyönä suunniteltu puukerrostalo, jonka suunnitteluaste vastaa arkkitehdin rakennuslupavaiheen suunnitelmaa rakennuksen osalta. Esimerkkirakennuksen talotekniikkaa tai kaikkia teknisiä ratkaisuja ei ollut monilta osin suunniteltu, joten niiden hiilijalanjäljen arvioimiseen käytettiin arviointimenetelmän mukaisia taulukkoarvoja.

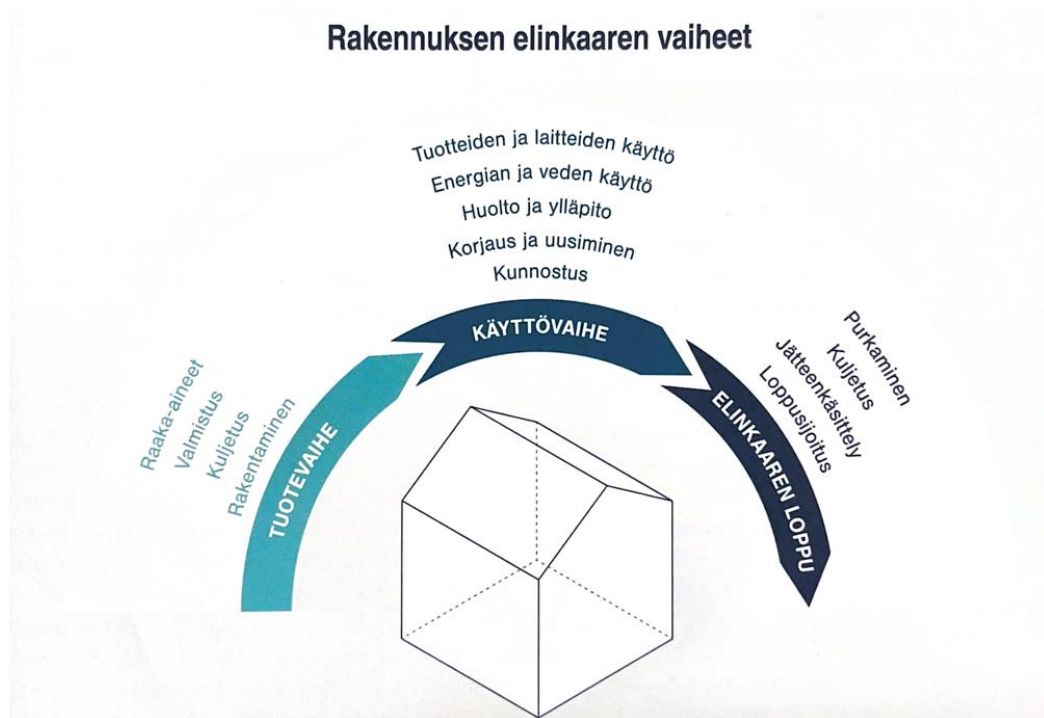
1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa perehdyttiin rakentamisen vähähiilisyden ohjauskeinoihin Suomessa ja niiden taustalla oleviin globaaleihin ilmastotavoitteisiin. Rakennuksen elinkaariarvioinnissa noudatettiin ympäristöministeriön julkaiseman rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän (YM, 2019) ohjeita. Hiilijalanjälkilaskelmaan tarvittavat materiaalien ja rakennusosien päästötiedot haettiin Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä kansallisesta päästötietokannasta (co2data.fi). Esimerkkirakennukseen ei ollut saatavilla energiaselvitystä, joten elinkaariarvioinnissa tarvittu laskennallinen ostoenergiankulutus saatiin hyödyntämällä valmista e-lukulaskuria (Puuinfo Oy, E-lukulaskuri 2.0). Tietomallinnuksessa noudatettiin yleisiä tietomallinnusvaatimuksia (YTV 2012) arkkitehtimallille. Rakenne- ja materiaalitietojen lukemisessa tietomallissa hyödynnettiin Archicad 27-ohjelman sisäänrakennettuja ominaisuuksia ja sovellettiin niitä tarkoituksenmukaiseen elementtien jaotteluun ja taulukoimiseen. Hiilijalanjälkilaskelma toteutettiin taulukkomuotoisena ja siinä hyödynnettiin osittain ympäristöministeriön julkaisemaa taulukkomuotoista hiilijalanjäljen arviointityökalua (YM. 2019. Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalu).

2. RAKENTAMISEN VÄHÄHIILISYYS

2.1 Rakentamisen hiilielinkaaren nykytila Suomessa

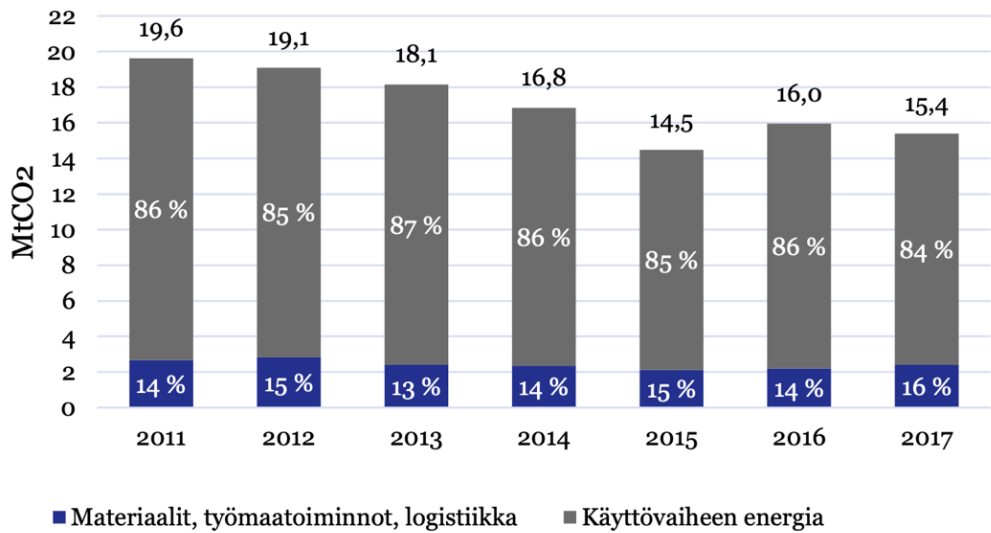
Tilastokeskuksen vuosina 2007–2016 kerättyjen tietojen mukaan Suomessa on rakennettu noin 8,0 miljoonaa kerrosneliometriä vuosittain. Uudisrakentamisesta aiheutuu vuosittain noin kolmen miljoonan tonnin päästöt. Rakennuksen elinkaaren aikana syntyvät päästöt voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen, jotka on esitetty kuvassa 1. Elinkaaren aikaiset päästöt jaetaan kahteen pääosaan, tuotesidonnaisiin ja käyttösidonnaisiin päästöihin. Tuotesidonnaiset päästöt koostuvat rakennuksen elinkaaren aikana tuotteiden valmistamiseen tarvittavista raaka-aineiden hankinnoista, raaka-aineiden ja tuotteiden kuljetuksesta, rakentamisesta, rakennuksen korjaamisesta ja tuotteiden uusimisesta sekä purkamisesta ja purkut tuotteiden käsittelystä. Käyttösidonnaiset päästöt syntyvät rakennuksen elinkaaren aikaisesta lämmön ja sähkön käytöstä (Häkkinen 2020, s.40)



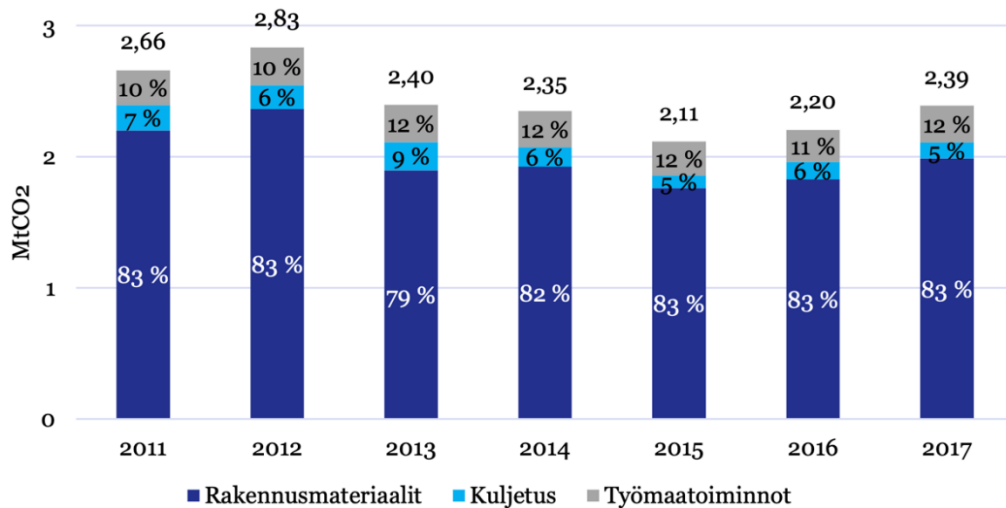
Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren päävaiheet (Häkkinen. 2020, 19).

Suomen rakennusteollisuuden teettämässä *rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila* -selvityksen loppuraportista ilmenee, että talonrakentamisen osalta suurimmat vuotuiset päästöt aiheutuvat käyttövaiheen energiakäytöstä johtuvista käyttösidonnaisista

päästöistä. Jos elinkaaren loppuvaiheen purkamisesta aiheutuvia päästöjä ei oteta huomioon, käytönaikainen energiankulutus vastaa n. 85 % koko rakennuskannan vuosittaisesta hiilijalanjäljestä (Kuva 2). (Laine et al. 2020) Jos käyttövaiheen energiankulusta ei oteta huomioon, rakennusmateriaalien osuus on yli 80 % vuosittaisesta rakennusten hiilijalanjäljestä. (Kuva 3)

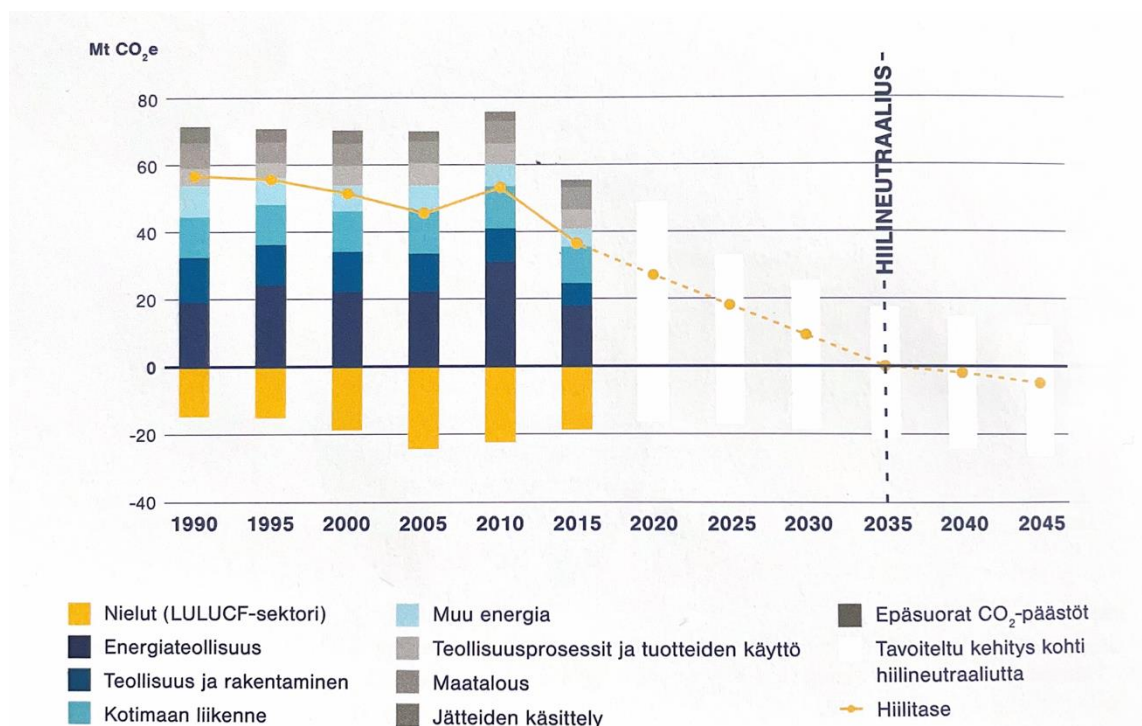


Kuva 2. Rakennusten hiilijalanjäljen jakautuminen vuosina 2011–2017. (Laine et al. 2020, 57).



Kuva 3. Rakennusten vuosittainen hiilijalanjälki vuosina 2011–2017. (Laine et al. 2020, 57).

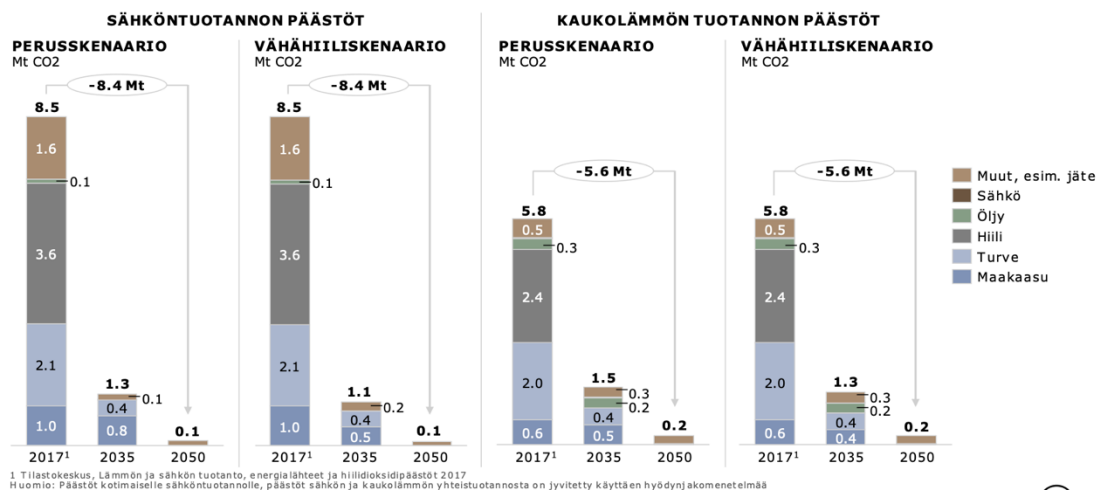
Suomi on kansainvälisten ilmastosopimusten ja EU:n kautta sitoutunut merkittäviin kasvihuonekaasupäästövähennyksiin. Valtion tavoittelema hiilineutraaliuden pääseminen vuoteen 2035 mennessä tarkoittaa päästöjen merkittävää, jopa 80 prosentin vähentämistä yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla. Jotta hiilineutraaliuden tavoite saavutetaan, tulee päästöjen vähentyä sekä samalla myös hiilinielujen kyky poistaa ilmakehän kasvihuonekaasuja kasvaa (Kuva 4). (Häkkinen 2020, s.14) Hiilineutraalius ei ole kuitenkaan lopullinen päämäärä, vaan tavoitteena on jatkaa ennallistamistoimien avulla kehitystä niin, että 2040-luvulla saavutettaisiin hiilnegatiivisuus, jolloin Suomessa päästöjä poistettaisiin enemmän kuin aiheutettaisiin.



Kuva 4. Kasvihuonepäästöjen ja -poistumien kehitys Suomessa (Häkkinen 2020, s.14)

Rakentaminen ja rakennuskannan ylläpito on yksi suurimpia päästöjen aiheuttajia ja siten otollisimpia sektoreita päästöjen vähentämiseksi. (Bionova, s.8) Rakentamisen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi, keskeistä on käyttövaiheen energian päästöjen vähentäminen esimerkiksi nykyisen rakennuskannan energiatehokkuuden parantamisen keinoilla. Rakentamisen päästökehityksestä riippumatta, tulevaisuudessa rakentamisen

energiankäytön päästöjen osuus pienenee merkittävästi sähkö- ja lämmitysenergian tuotannon kehittymisen vuoksi ilmastotoimien vaikutuksista. Energiategollisuus ry:n julkaisemassa energia-alan vähähiilisyystiekartan loppuraportista ilmenee, että sähkön ja kaukolämmön tuotannot saavuttavat lähes päästöttömyyden vuoteen 2050 mennessä. Raportin mukaan hiilen käytön lopettaminen, maakaasu- ja öljykapasiteetin poistuminen sekä turpeen käytön lopettaminen vähentävät päästöjä yli 80 prosenttia vuoteen 2035 mennessä (Kuva 5). (AFRY, s.12) Tuotesidonnaisten päästöjen suhteellinen osuus rakentamisen aiheuttamista kokonaispäästöistä Suomessa kasvaa näin ollen merkittävästi tulevaisuudessa, kun energiatehokkuus paranee ja ostoenergian tarve vähenee. Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n julkaisemassa selvityksestä (IEA EBC Annex 72 - Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings, 2019) ilmenee, että energian hiilijalanjäljen pienentyessä, rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan energiatehokkaissa rakennuksissa tuotesidonnaisten päästöjen osuus on keskimäärin 20–50 prosenttia (AFRY. 2020, s.13).



Kuva 5. Tilastokeskus, Lämmön ja sähkön tuotanto, energialähteet ja hiilidioksidipäästöt 2017. (AFRY. 2020, s.13)

2.2 Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki

Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki ovat käsitteitä, jotka liittyvät ihmisen toiminnan sekä tuotteiden tai palveluiden ympäristövaikutusten arviointiin, erityisesti hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta. Hiilijalanjälki kuvaa, kuinka paljon kasvihuonekaasuja syntyy tuotteen valmistuksessa, kuljetuksessa, käytössä ja hävittämisessä hiilidioksidiekvivalenteina mitattuna. (Puuteollisuus, 2021) Rakennuksen hiilikädenjäljellä taas ilmaistaan ilmastohyötyjen syntymistä, jotka eivät syntyisi ilman rakennushanketta, kuten uusien rakennusosien valmistuksesta syntyvien päästöjen välttäminen rakennusosien uudelleen käytön ja kiertäyksen vuoksi tai esimerkiksi uusiutuvan energian käyttö rakennuksessa ja rakennettavalla tontilla. (Häkkinen. 2020, s. 49) Hiilijalanjälki keskittyy päästöjen määrään, kun taas hiilikädenjälki keskittyy toiminnan tai tuotteen positiivisiin ympäristövaikutuksiin, erityisesti hiilidioksidin vähentämisessä (Puuteollisuus, 2021).

2.3 Rakentamislakiuudistus ja vähähiilisuuden ohjauskeinot Suomessa

Vähähiilinen rakentaminen on osana käynnissä olevaan maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistusta. Ympäristöministeriö teetti selvityksen tiekartasta, jolla vähennetään rakentamisen ja erityisesti rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä sekä edistetään Suomen rakennus- ja kiinteistöalaa koskevia ilmastotavoitteita. Laaditun selvityksen pohjalta ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2017 kolmivaiheisen tiekartan rakennuksen elinkaaren hiilidioksidipäästöjen ohjaukseen. Tiekartan ensimmäisessä vaihe sisälsi ohjausjärjestelmän menetelmien laadinnan ja testauksen, toinen vaihe ohjausjärjestelmän laadinnan ja kolmas vaihe järjestelmän käyttöönoton vuoteen 2025 mennessä. (Kuva 6) Vähähiilisuuden arviointi tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuonna 2025 asteittain voimaan tulevaa rakentamislakia. (Kuittinen 2019 s.3) Hiilijalanjäljen laskennan ja rakennuksen ilmastaselvityksen osalta noudatetaan siirtymävaihetta ja ne astuvat voimaan 1.1.2026 (ympäristöministeriön linjaus rakentamislain muuttamisesta VN/34558/2023)

1. vaihe: Testaus ja menetelmät 2017–

- Ohjausjärjestelmän vaikutusarvioinnit
- Hiilijalanjäljen laskentamallin ja päästötietokannan kehittäminen
- Osaaminen ja työkalut
- Testaus julkisissa rakennushankkeissa ja yksityisellä sektorilla

2. vaihe: Ohjausjärjestelmän laatiminen 2019–

- Säädosohjauksen ja mahdollisten kannusteiden valmistelu
- Kytkeä kaavoitukseen ja energiaohjaukseen
- Pilottihankkeiden laajentaminen
- Rakennusten päästötietojen seurannan ja tilastoinnin valmistelu

3. vaihe: Ohjaus käyttöön 2025 mennessä

- Mahdollinen ilmoitusvelvollisuus ennen sitovia raja-arvoja
- Rakennuskanta voidaan kytkeä ohjaukseen vaiheittain
- Rakennuskannan päästötietojen seuranta

Kuva 6. *Ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen kolmivaiheisen tiekartan vaiheet. (Ympäristöministeriön vähähiilisyyden tiekartta.)*

Suomessa vähähiilisyyden ohjauskeinojen kehittämisen lähtökohtana pidetään Euroopan komission laatimaa Level(s) -menetelmää, jolla mitataan rakentamisen resurssitehokkuutta. Menetelmää on kehitetty yhteistyössä EU:n jäsenmaiden sekä rakennusalalla toimivien yritysten ja kestävän rakentamisen ammattilaisten kanssa. Level(s) pyrkii standardoimaan rakentamisen resurssitehokkuuden ja ekologisuuden mittareita eri maissa. Menetelmä mahdollistaa yhtenäisen ja vertailukelpoisen tiedon tuottamisen rakennusten resurssitehokkuudesta. Suomessa ympäristöministeriö yhdessä Green Building Council Finland –järjestön kanssa testasivat laajasti Level(s)-menetelmän soveltavuutta kansallisiin toimintamalleihin vuosina 2018–2019. Testaus keskittyi erityisesti rakentamisen kiertotalouden, hiilijalanjäljen ja resurssitehokkuuden mittaamiseen ja arviointiin. Testiohjelma sisälsi yli 20 rakennusprojektia, joista saadulla palautteella pyrittiin kehittämään menetelmän yhtenäisiä toimintamalleja, jotka tukevat rakennusalan siirtymää kohti vähähiilisyyttä ja tehokkaampaa resurssien käyttöä. (Venäläinen et.al. 2019 s.9)

Uusi rakentamislaki (Suomen säädöskokoelma: 751/2023) edellyttää rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuvien ilmastohaittojen (hiilijalanjälki) sekä mahdolliset ilmasto-
hyötyjen (hiilikädenjälki) arviointia. Hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen arvioinnin tulee kattaa koko rakennuksen elinkaari tai laajamittaisesti korjattavassa kohteessa korjauksen

ja sen jälkeisen elinkaaren vaiheet. Rakentamisen vähähiilisyttä tullaan ohjaamaan raja-arvoihin perustuvalla menetelmällä, jossa uusien rakennusten tulee täyttää rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella sille määritellyt hiilijalanjäljen raja-arvot, jotka tullaan määrittelemään valtioneuvoston asetuksella. Rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta dokumentoidaan rakentamisluvan liitteeksi tarvittavaan rakennuksen ilmastaselvitykseen, jolla valvotaan, että rakennukselle asetetut raja-arvot eivät ylitä. Rakentamislupaa edellyttävän laajamittaisesti korjattavan rakennuksiin ei tulla vaatimaan raja-arvoja, mutta niihin tullaan sisällyttämään ilmastaselvityksen ilmoitusvelvollisuus. (SAFA. 2022) Arvioinnissa on käytettävä rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmää sekä kansallisen päästötietokannan (<https://co2data.fi>) tietoja tai muita arviointimenetelmän mukaisia ympäristöominaisuustietoja. (Rakentamislaki 751/2023)

Ilmastaselvityksen lisäksi rakennuksesta on toimitettava rakennuksen materiaaliseloste. Materiaaliselosteesta tulee ilmetä mistä rakennusosista rakennus koostuu, rakennusosissa käytetyt materiaalit sekä materiaalien alkuperä eli esimerkiksi kuinka paljon rakennusmateriaaleissa on käytetty uusiutuvia, uusiutumattomia, haitallisia, vaarallisia tai kierrätettyjä raaka-aineita (Kuva 7). (SAFA. 2022) Vähähiilisyden arviointi ja raja-arvo –ohjaus perustuvat materiaaliselosteessa annettuihin rakennusosien materiaalitietoihin, joten se on välttämätön osa ilmastaselvityksen laatimisessa (Rakentamislaki 2023/751 38§). Rakentamislain 2023/751 68§:n perusteella rakennuksesta edellytetään myös tietomallia, jonka sisältöä ja säännöksiä voidaan ohjata Ympäristöministeriön antamalla asetuksella. Esimerkiksi rakennusmateriaalien ja rakennusosien ympäristötiedot voidaan sisällyttää tietomalliin, jolloin ne ovat saatavissa koneluettavassa muodossa ilmastaselvitystä varten.



Kuva 7. Materiaaliselosteen sisältö. (SAFA 2022, Ympäristöministeriön esitys)

2.4 Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi

Rakennushankkeen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki koostuu monista eri vaiheista, kuten rakennusmateriaalien valmistuksesta, kuljetuksesta, työmaatoiminnoista, kunnossapidosta, korjauksista, materiaalien vaihdoista, energian ja veden käytöstä sekä lopulta rakennuksen purkamisesta ja materiaalien loppukäsittelystä. (Bionova. 2017, s.11) Rakennuksen vähähiilisyden arviointiin tarvitaan menetelmä, joka ottaa huomioon koko elinkaaren aikana syntyvien vaikutusten huomioimista elinkaariperiaatteen mukaisesti. Elinkaariarvioinnin kulku voidaan pääpiirteittäin jakaa seitsemään vaiheeseen (Kuva 8), joiden sisältö voi vaihdella eri tarkoituksiin tehtävien arviointien välillä eri hankkeissa. Keskeistä on määritellä arvioinnin tavoitteet, arviointimenetelmät ja työkalut, materiaali- ja energiavirtojen selvittäminen tuotteen elinkaaren eri vaiheissa ja niistä aiheutuvien ympäristökuormien ja -vaikutusten arviointi sekä tulosten tulkinta. (Häkkinen. 2020, 41)



Kuva 8. Rakennuksen vähähiilisyden arvioinnin vaiheet. (Häkkinen. 2020, s.75)

Rakennuksen hiilijalanjälkeen vaikuttaminen on tehokkainta suunnitteluprosessin aikana. Esimerkiksi rakennuspaikan valinta, massoittelu, tilatehokkuus sekä rakenne- ja materiaalivalinnat tehdään jo hyvin aikaisessa vaiheessa suunnittelua. Rakennuksen valmistumisen jälkeen vaikuttamismahdollisuudet ratkaisuista aiheutuneisiin päästöihin on enää rajalliset (Samila. 2024, s.3) Tästä syystä hiilijalanjäljen arviointia on tärkeää tehdä jo suunnitteluprosessin alkuvaiheissa. Päästöihin voidaan vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi rakennuksen energiatehokkuudella ja uusiutuvan energian käytöllä. Myös kierrätysmateriaalien ja uusiutuvien materiaalien käyttö vähentävät rakennuksen päästöjä. (Puuinfo) Hiilijalanjäljen arviointi tarkentuu mitä pidemmälle suunnittelu etenee ja mitä enemmän on tietoa toteutuneista suunnitteluratkaisuista. Lopullinen arviointi tehdään rakennuksen käyttööntöövaiheessa toteutuneiden suunnitelmien mukaan (Samila 2024, s.3).

Rakennuksen hiilijalanjälkeä voidaan arvioida usealla eri tavalla kuten käyttämällä elinkaartilaskentaan tarkoitettuja kaupallisia työkaluja ja arviointimenetelmiä. Laskenta voidaan suorittaa myös laskemalla materiaalmäärät manuaalisesti ja hyödyntää päätietokantaa hiilijalanjäljen laskemiseen. Keskeistä on valita arviointimenetelmä, jonka mukaan arviointia tehdään ja valita menetelmään sopivat työkalut. Suurissa kohteissa ja kokonaisuuksissa voi olla tarpeen käyttää kaupallisia, esimerkiksi Bionova Oy:n kehittämää One Click LCA –työkalua (Kuva 9), joka sisältää tuen usealle eri arviointimenetelmälle, kuten esimerkiksi kansainvälisesti sertifioituneet LEED ja BREEAM sekä Suomessa lainsäädännön kautta voimaan tuleva ympäristöministeriön arviointimenetelmä.

▼ Results

Hiilijalanjälkiraportti [Download Results Summary](#)

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

| Result category | GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | |
|---|--|---|--|---|-------------------------|
| A1-A5 Emissions before use (modules A1-5) | 12,62 | 12,46 | 4,04 | 4,04 | Details |
| B4 Material replacement | 0,52 | 0,52 | | | Details |
| B6 ⓘ Energy consumption | 0,3 | 0,3 | | | Details |
| C End of life impacts (module C) | 1,95 | 2,11 | 0,55 | 0,55 | Details |
| A-C Carbon footprint (total modules A-C) | 15,38 | 15,38 | 4,6 | 4,6 | Details |

Hiilikädenjälkiraportti

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

| Result category | GWP, building without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | GWP, building with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | GWP, site without biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | GWP, site with biogenic kg CO ₂ e/m ² /a ⓘ | |
|---|--|---|--|---|----------------------------|
| D1 Benefits from reuse and recycling (module D) | -0,66 | -0,66 | -0,82 | -0,82 | Details |
| D3 Exported energy | | | | | Hide empty |
| D4 Carbon storage, biogenic | -0,16 | -0,16 | 0 | 0 | Details |
| D5 Carbonisation | | | | | Hide empty |
| D Total carbon footprint | -0,82 | -0,82 | -0,82 | -0,82 | Details |

Kuva 9. One Click LCA -työkalulla tuotettu rakennuksen hiilijalanjälkiraportti

Pienissä projekteissa kaupallisten työkalujen käyttö ei välttämättä ole kuitenkaan paras ja edullisin mahdollinen valinta, vaan niissä voidaan hyödyntää saatavilla olevaa avointa dataa ja pelkistettyjä laskureita. (Kuittinen, SAFA. 2022) Ympäristöministeriö on julkaissut taulukkomuotoisen arviointityökalun, joka on tarkoitettu ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaisen hiilijalanjäljen laskennan testaamista varten. Työkalu on suunnattu ensisijaisesti ympäristöministeriön yksinkertaistetulle laskentamenetelmälle, jossa suurin osa laskennassa käytettävistä tiedoista tulee pinta-alaan perustuvista taulukkoarvoista. Tässä työssä hyödynnettiin ympäristöministeriön hiilijalanjälkilaskuria yhdistettynä tietomallista saatuihin materiaalien määrätietoihin sekä Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä avoimesta CO2data.fi-tietokannasta saatuihin materiaalien päästötietoihin.

2.5 Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmä

2.5.1 Arviointimenetelmän tausta

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2019 rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän, jonka avulla pyritään helpottamaan rakentamisen ilmastovaikutusten laskemista. Arviointimenetelmä pohjautuu eurooppalaiseen Level(s)-menetelmään sekä kestävästä rakentamisesta EN-standardeihin EN 15643, EN 15978 ja EN 15804 (Kuittinen 2019, s.11) Arviointimenetelmää tullaan soveltamaan tulevassa rakentamislain uudistuksessa. Ympäristöministeriön arviointimenetelmän tavoitteena on tehdä arvioinnista sujuva osa normaalia rakennussuunnittelua sekä mahdollistaa tietomallipohjaisen suunnittelun käyttö osana arviointia. Sen tavoitteena on mahdollistaa vähähiilisuuden arviointi sovellusriippumattomaksi ja helposti ymmärrettäväksi, jolloin rakennussuunnittelun aikana ei ole välttämätöntä teettää arviointia ulkopuolisella konsultilla, vaan arviointia on mahdollista tehdä suunnittelun kanssa saman aikaisesti (SAFA. 2022) Arviointimenetelmässä hiilijalanjäljen arviointia tehdään rakennuksen koko elinkaaren ajalle EN 15978 –standardin mukaisesti.

2.5.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet ja kulku

Ympäristöministeriön arviointimenetelmässä elinkaariarviointi jaetaan standardin EN 15643–2 mukaisesti rakennuksen elinkaaren vaiheisiin, joita ovat rakennustuotteiden valmistus (vaihe A1-3), kuljetus ja työmaa (vaihe A4-5), rakennuksen käyttö ja huolto (vaihe B) sekä rakennuksen purku ja kierrätys (vaihe C) (Kuittinen. 2019. s.3) (Kuva 10)

Ennen rakentamista ja rakennuksen käyttöä syntyvät tuotevaiheen päästöt syntyvät rakennustuotteiden valmistuksesta ja siihen liittyvistä raaka-aineiden hankinnoista ja kuljetuksista. Koska tuotantoprosessit ovat hyvin pitkälti tiedossa ja valmistajien teettämien ympäristöselosteiden (EPD) kautta tarkistettavissa, on tuotevaiheen päästöjen synty arvioitavissa hyvin tarkasti ja niihin liittyy vain vähän epävarmuuksia (Häkkinen. 2020, s.70) Sen sijaan rakentamisvaiheen päästöjä on hyvin vaikea arvioida etukäteen varsinkin varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Tällöin voidaan tukeutua keskiarvoihin perustuviin taulukkoarvoihin (Kuittinen. 2019. s.45), jotka ovat enemmän suuntaa antavia.



Kuva 10. Arviointimenetelmän sisältämät elinkaaren vaiheet. (Kuittinen. 2019. s.13)

Käyttövaiheessa energian ja veden käytöstä, korjauksista ja tuotteen käytöstä aiheutuvat päästöt jakautuvat monelle vuodelle ja tulevaisuudessa tapahtuvia ympäristövaikutuksia on vaikea arvioida etukäteen. Tuotteiden käytön, kunnossapidon ja veden käytön arvi-

ointi on jätetty arviointimenetelmässä arvioinnin ulkopuolelle, koska niihin on suunnitelluvaiheessa mahdotonta vaikuttaa ja niiden on katsottu vaikuttavan hyvin vähän rakennuksen hiilijalanjälkeen (Kuittinen. SAFA 2022). Myös epävarmuustekijöiden vähentämiseksi elinkaariarvioinnin ajanjakso rajataan 50 vuodelle. Rajaaminen ei tarkoita samaa kuin rakennuksen elinkaari olisi 50 vuotta, vaan se on määritelty laskennallinen ajanjakso, jolle arviointia voidaan luotettavasti tehdä. (Kuittinen, SAFA 2022)

Arvioinnissa otetaan huomioon koko rakennus, tontin rakenteet sekä keskeinen osa teleteknisistä järjestelmistä. Arviointiin ei sisälly tontilla oleva kasvillisuus, maaperä tai rakentamisen väliaikaiset telineet ja suojaukset. Arvioinnin eri vaiheissa, kaikkia tietoja ei välttämättä ole vielä saatavilla hankekohtaisesti tai määrätiedot ovat puutteellisia, jolloin voidaan käyttää arviointimenetelmän sisältämiä keskiarvoihin perustuvia taulukkoarvoja rakennusosille (Kuittinen, 2019, s. 18) Tuotevaiheessa A1-3 luetellut rakennusosat sekä käyttövaiheen B6 energian käyttö arvioidaan kuitenkin aina hankekohtaisesti (Kuva 11). Seuraavassa kappaleessa on eritelty elinkaariarvioinnin eri vaiheissa vaadittavat toimenpiteet.

| Arvioitavat elinkaaren vaiheet ja arvioinnissa käytettävät tiedot | | |
|--|--|---|
| Ennen käyttöä | Arviointi | Käytettävät tiedot |
| A1–3 Tuotteiden valmistus | + Arvioidaan | Vain hankekohtaiset tiedot |
| A4 Kuljetukset työmaalle | + Arvioidaan | Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot |
| A5 Rakentaminen | + Arvioidaan | Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot |
| Käytön aikana | Arviointi | Käytettävät tiedot |
| B1 Tuotteiden käyttö | - Ei arvioida | |
| B2 Ylläpito | - Ei arvioida | |
| B3–4 Korjaukset ja vaihdot | + Arvioidaan | Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot |
| B5 Laajamittaiset korjaukset | Oma erillinen arviointi | |
| B6 Energian käyttö | + Arvioidaan | Vain hankekohtaiset tiedot |
| B7 Veden käyttö | - Ei arvioida | |
| Käytön jälkeen | Arviointi | Käytettävät tiedot |
| C1 Purkutyöt | + Arvioidaan | Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot |
| C2 Kuljetukset käsittelyyn | + Arvioidaan | Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot |
| C3 Jätteenkäsittely | + Arvioidaan | Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot |
| C4 Loppusijoitus | + Arvioidaan | Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot |
| Arvioinnin toteutus ja tarkistus | | |
| Tietokanta | Ei määritelty. Tulossa kansallinen päästötietokanta. | |
| Työkalu | Ei määritelty. Tulee olla yhteensopiva arviointimenetelmän kanssa. | |
| Pätevyysvaatimukset | Ei määritelty. Vaatimukset kehitteillä. | |
| Tulosten tarkistus | Ei määritelty. Vaatimukset kehitteillä. | |

Kuva 11. Ympäristöministeriön arviointimenetelmässä arvioitavat elinkaaren vaiheet ja käytettävät tiedot. (Kuittinen. 2019. s.39)

Vaihe A1-A3.

Rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen arviointia varten laaditaan materiaaliluettelo rakennuksen, tontin ja keskeisten taloteknisten järjestelmien sisältämistä tuotteista. Tontilla oleva kasvillisuus, maaperään, kasvillisuuteen tai vesistöön kohdistuvat ilmastovaikutukset jätetään arvioinnin ulkopuolelle. Myöskään rakentamisen aikaisia väliaikaisia telineitä, suojauksia, työmaatiloja, tontin maaperän kunnostustöitä sekä tontilta pois purettavia rakennuksia tai rakenteita ei huomioida. Jos rakennuskohteessa käytetään uudelleen käytettäviä rakennusosia, niiden valmistuksesta ja käytön valmistelusta syntyvää hiilijalanjälkeä ei huomioida arvioinnissa. Jos suunnittelu on aikaisessa vaiheessa, eikä taloteknisten järjestelmiä ole suunniteltu tai määrätiedot ovat puutteelliset, voidaan käyttää arviointimenetelmän liitteenä 2 olevia taulukkoarvoja talotekniikalle (Kuva 13). (Kuitinen 2019, s.18) Kuvassa 12 on eritelty rakennustuotteiden valmistusvaiheeseen arvioitavat rakennusosat.

| | 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 |

Kuva 12. Vaiheessa A1-3 arvioitavat rakennusosat. (Kuitinen 2019, s.18)

| Tavanomaisia järjestelmiä (pinta-ala tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti) | |
|--|---|
| Hissi | 7 585,00 kg CO ₂ /kpl |
| Sähköasennukset ja kaapeloinnit | 5,28 kg CO ₂ /m ² |
| Sprinklerijärjestelmä | 5,85 kg CO ₂ /m ² |
| Vesi- ja viemäri-laitteistot (pinta-ala tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti) | |
| Vesijohtojärjestelmä | 2,70 kg CO ₂ /m ² |
| Viemäriputkisto | 0,52 kg CO ₂ /m ² |
| Lämmitysjärjestelmä (pinta-ala tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti) | |
| Patteriverkosto | 6,67 kg CO ₂ /m ² |
| Lämmönjakokeskus | 0,53 kg CO ₂ /m ² |
| Ilmanvaihtojärjestelmä ¹⁰ | 6,97 kg CO ₂ /m ² |
| Aurinkopaneelit (pinta-ala tiedot ilmoitettu aurinkopaneelin keräinpinta-alaa kohti) | |
| Kiteinen aurinkopaneeli | 242,00 kg CO ₂ /m ² |
| Ohutkalvopaneeli | 67,00 kg CO ₂ /m ² |
| Verkkoinvertteri | 22,00 kg CO ₂ /kpl |

Kuva 13. Taloteknisten järjestelmien päästötiedot. (Kuittinen 2019, s.44)

Vaihe A4:

Vaiheessa A4 arvioidaan rakennustyömaalle kuljetettavien rakennustuotteiden, käytön aikana tehtäviin korjauksiin liittyvät sekä elinkaaren lopulla tapahtuvat kuljetukset ja kuljetusetäisyydet. Kuljetuksissa eritellään eri kuljetusmuotojen päästökertoimien mukaan kaikki rakennustyömaalla tapahtuvat jätteiden, maamassojen, materiaalien ja rakennustuotteiden kuljetukset sekä mahdollisten välivarastojen kuljetukset. Koska tässä työssä tarkkaa kuljetusten laskemista on mahdotonta tehdä, arvioidaan ne arviointimenetelmän sisältämällä taulukkoarvon mukaisilla keskimääräisillä kuljetusetäisyyksillä. Taulukkoarvot ilmoitetaan päästöinä rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden (Kuva 16).

Vaihe A5:

Vaiheessa A5 arvioidaan työmaatoiminnoista aiheutuva päästöt. Arvioinnissa tulee huomioida rakennustyömaalla kulutettu ostoenergia ja polttoaineista aiheutuvat päästöt. Energia-arvioin tulee sisältää rakennustöistä, valaistuksesta, kuivatuksesta, lämmityksestä sekä toimisto- ja taukutilojen käytöstä aiheutuvat päästöt. Samoin kuin kuljetusten osalta, myös työmaatoimintoja on mahdotonta arvioida esimerkkikohteelle, joten vaihe arvioidaan arviointimenetelmän liitteen 3 mukaisilla taulukkoarvoilla päästöinä lämmitettyä nettoalaa kohden (Kuva 16).

Vaihe B4:

Vaiheessa B4 arvioidaan rakennustuotteiden vaihdot elinkaaren aikana. Tuotteiden vaihtojen arvioinnissa otetaan huomioon kaikki tuotteet, joiden tekninen käyttöikä on suunniteltua rakennuksen tavoiteikää pienempi. Elinkaaren aikana tehtäviä rakennuksen laajamittaisia korjauksia ei huomioida rakennustuotteiden vaihdoissa. Rakennustuotteiden vaihtojen arvioinnin voi tehdä arviointimenetelmän liitteessä 3 (kuva 15) olevien taulukkoarvojen mukaan tai laskea kuvassa 14 olevalla kaavalla. (Kuittinen 2019, s.19) Tässä työssä vaihtovälin arvioimiseen tarvittavat rakennustuotteiden tekniset käyttöiät arvioitiin RT-18-10922-ohjekortin mukaisilla normaalin rasisluokan arvoilla. Tässä työssä rakennuksen suunniteltu tavoiteikä on 50 vuotta.

$$\text{Vaihtoväli} = \left[\left(\frac{\text{Rakennuksen tavoiteikäkäyttöikä vuosina}}{\text{Tuotteen suunnittelukäyttöikä vuosina}} \right) - 1 \right]$$

Kuva 14. Rakennustuotteiden vaihtovälin laskentakaava. (Kuittinen 2019, s.20)

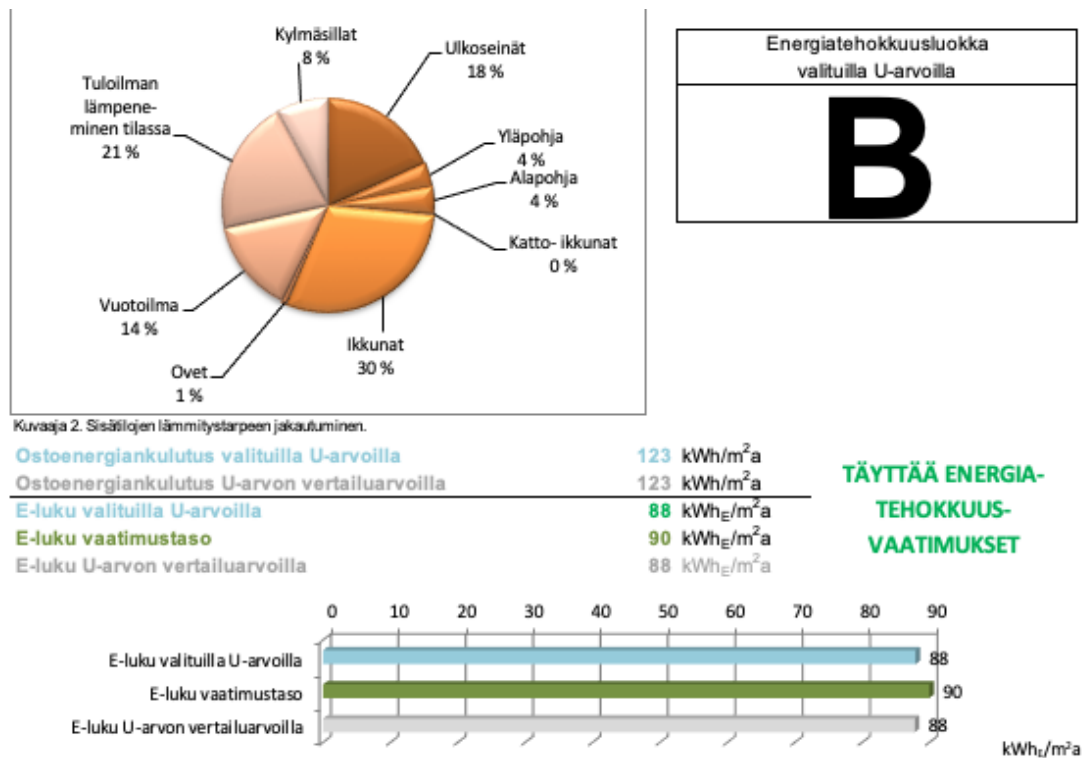
| Tyypilliset päästöt (kgCO ₂ e/m ²) | | |
|---|--------------|---|
| A1–3 Valmistus | | (lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin) |
| A4 Kuljetus työmaalle | 10,20 | Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa |
| A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot | 27,30 | Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus |
| B3–4 Korjausten energiankulutus ¹² | 2,16 | Materiaalien valmistus arvioitava erikseen |
| B6 Energian käyttö | | (lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin) |
| C1 Purkutyömaan toiminnot | 7,80 | Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus |
| C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn | 10,20 | Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa |
| C3–4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus | 15,60 | |
| Yhteensä | 73,26 | kgCO₂e/m² |

Kuva 15. Arviointivaiheiden päästöjen taulukkoarvot hiilidioksidiekvivalentteina rakennuksen lämmittyä nettoalaa kohden. (Kuittinen 2019, s.45)

Vaihe B6:

Vaiheessa B6 arvioidaan rakennuksen energian käytön hiilijalanjälki. Energian hiilijalanjälki saadaan laskemalla rakennuksen laskennallinen ostoenergian kulutus eri energiamuotojen päästökertoimilla. Ostoenergiankulutus saadaan uudelle rakennukselle rakennuksen energiatehokkuudesta laaditun asetuksen (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017) mukaisesta energiaselvityksestä. Asetuksen mukaan laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) ilmaisee energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutusta lämmitettyä nettoalaa kohden. Tämän työn esimerkkikohteelle energiaselvitystä ei ole

laadittu, joten E-luvun laskemiseksi hyödynnettiin Puuinfon E-lukulaskuri 2.0 –työkalua (kuva 16). Lämmitysmuodoksi kohteelle valittiin kaukolämpö.



Kuva 16. Ote esimerkkikohteen Puuinfon E-lukulaskuri 2.0 –laskurilla suoritetusta energialaskelmasta.

Vaihe C3-4:

Vaiheessa C3-4 arvioidaan purkamisesta syntyvä jättemateriaalin määrä ja niiden käsittelystä aiheutuvat päästöt. Loppusijoitus ja jätteen hyödyntäminen ei välttämättä ole tiedossa suunnittelun alkuvaiheessa, joten tähän vaiheeseen voidaan soveltaa myös kuvan 16 mukaisia taulukkoarvoja. Esimerkkirakennuksen osalta purkujätteen arviointia ei voida tarkasti tehdä, joten lopputuloksen kannalta on järkevämpää hyödyntää taulukkoarvoja laskemisessa.

Vaihe D.

Vaiheessa D arvioidaan rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat, jotka syntyvät materiaalien kierrätyksestä, uudelleen käytöstä ja energian hyödyntämisestä. Tässä työssä vaiheen D materiaalien uudelleen sijoittamista ei ole tutkittu, joten ne jätetään arvioinnin ulkopuolelle.

Hiilikädenjäljen arviointi.

Arviointimenetelmän mukaisessa arvioinnissa otetaan huomioon rakennuksen koko elinkaaren hiilikädenjälki summaamalla yhteen elinkaaren eloperäiset hiilivarastot, hiilinielut ja elinkaaren ulkopuolella tapahtuvan materiaalien uudelleenkäytön, kierrätyksen tai energiahyödyntämisen avulla vältettävät päästöt. Koska elinkaaren ulkopuolisten hyötyjen arviointi on rajattu tässä tutkimuksessa arvioinnin ulkopuolelle, hiilikädenjäljen osalta arvioidaan vain eloperäisen materiaalin hiilivarannot materiaalin valmistusvaiheessa A1-3. Oletuksena on, että rakenteissa käytetyn puumateriaalin alkuperä on kestävästi hoidetusta metsästä. Sementtipohjaisten tuotteiden hiilinieluja ei ole laskettu, koska ne voidaan huomioida, vain jos sementtiä sisältävien tuotteiden karbonisoitumisesta johtuvat korjaukset on huomioitu hiilijalanjäljen laskennassa.

3. TIETOMALLINNUS

3.1 Tietomallinnuksen tavoitteet

Tietomallinnus eli BIM (engl. Building Information Modeling) on menetelmä, missä dokumentoidaan, visualisoidaan ja hallitaan digitaalisesti rakentamisen prosessiin liittyvää tietoa rakennuksen koko elinkaaren aikana. (Nordic Bim Group) Tietomalli mielletään usein visuaalisesti tarkasteltavaksi 3D-malliksi rakennuksesta, mutta sen hyödyntämisen kannalta tärkeämpää on mallin sisältämä tieto. Kansainvälisen tietomallinnuksen standardin (ISO 19650) mukaan tietomallinnuksen tavoitteena on tuottaa rakennetun omaisuuden yhteinen digitaalinen esitys, joka helpottaa suunnittelu-, rakennus- ja toimintaprosesseja ja muodostaa luotettavan perustan päätöksille. (ISO 19650-1:2019. s.12)

Suomessa rakennusalan yhteisistä tietomallinnuksen käytännöistä vastaa Rakennustietosäätiö-konserniin kuuluvan Rakennustietomalli Oy:n alaisuudessa toimiva rakennetun ympäristön tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland, jonka jäsenenä on useita suomalaisia rakennusalan yrityksiä, arkkitehtejä, konsultteja, ohjelmistotoimittajia ja kiinteistön omistajia. Sen kehittämishankkeen (COBIM, Common BIM Requirements 2012) lopputuloksena on julkaistu yleiset tietomallivaatimukset 2012-julkaisusarja, joka on tarkoitettu rakennushankkeen kaikille osapuolille yhtenäisten tietomallintamisen käytäntöjen toteuttamiseen rakennushankkeessa. (YTV 2012, Osa 1 s. 2) Yhtenäiset käytännöt helpottavat mallien lukemista ja mahdollistavat eri suunnittelualojen yhteistyötä ja kommunikaatiota.

3.2 Tietomallivaatimukset

Arkkitehdin suunnitelmasta tuotettu tietomalli tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa perustana kaikkien muiden osapuolien tuottamille malleille. On tärkeää, että arkkitehtimalli on määritelty teknisesti oikein kaikissa projektin vaiheissa. (YTV 2012, Osa 3 s. 5) Arkkitehtimalli ei sisällä kaikkia rakennuksen rakennusosia, laitteita ja varusteita, vaan esimerkiksi LVI- ja sähkösuunnittelijat mallintavat omat varusteensa koostamaansa malliin. Eri suunnittelualojen koostamat mallit voidaan yhdistää yhdeksi yhdistelmämalliksi, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi määrälaskennan apuna.

3.2.1 Mallintamisen tarkkuustasot

Tietomallille tulee määritellä tarkkuustaso, jonka mukaan suunnittelu tehdään. Tarkkuustaso määräytyy mallin käyttötärpeen ja suunnitteluvaiheen mukaan. Tarkkuustasot voidaan jakaa kolmeen tasoon, jotka on lueteltu taulukossa 1. (YTV 2012, Osa 3 s.7) Mallin tarkkuustasolla oleellinen merkitys siihen, kuinka tarkkaa tietoa mallista saadaan esimerkiksi määrälaskentaa varten. Jos käytetään useamman suunnittelualan malleja, on tärkeää, että kaikki mallit noudattavat samaa tarkkuustasoa, jotta määrätiedot voidaan arvioida yksiselitteisesti suhteessa tarkkuustasoon. Myös saman mallin sisällä rakennusosien mallintamisen tarkkuus tulisi pysyä samana, jotta niiden sisältämä tieto voidaan lukea yksiselitteisesti. Esimerkiksi jos yhden osan seinät sisältävät tarkan tiedon rakenteesta ja toisen osan seinät pelkän geometriatiedon, ne eivät ole keskenään vertailukelpoisia ja voi aiheuttaa tällöin ristiriitoja. (YTV 2012, Osa 7 s.6) Tässä työssä mallintamisen päätarkoituksena oli tuottaa pääpiirustusvaiheessa olevasta mallista rakennusosien määrätiedot tietomallin avulla, joten mallintamisessa pyrittiin noudattamaan tasoa 2.

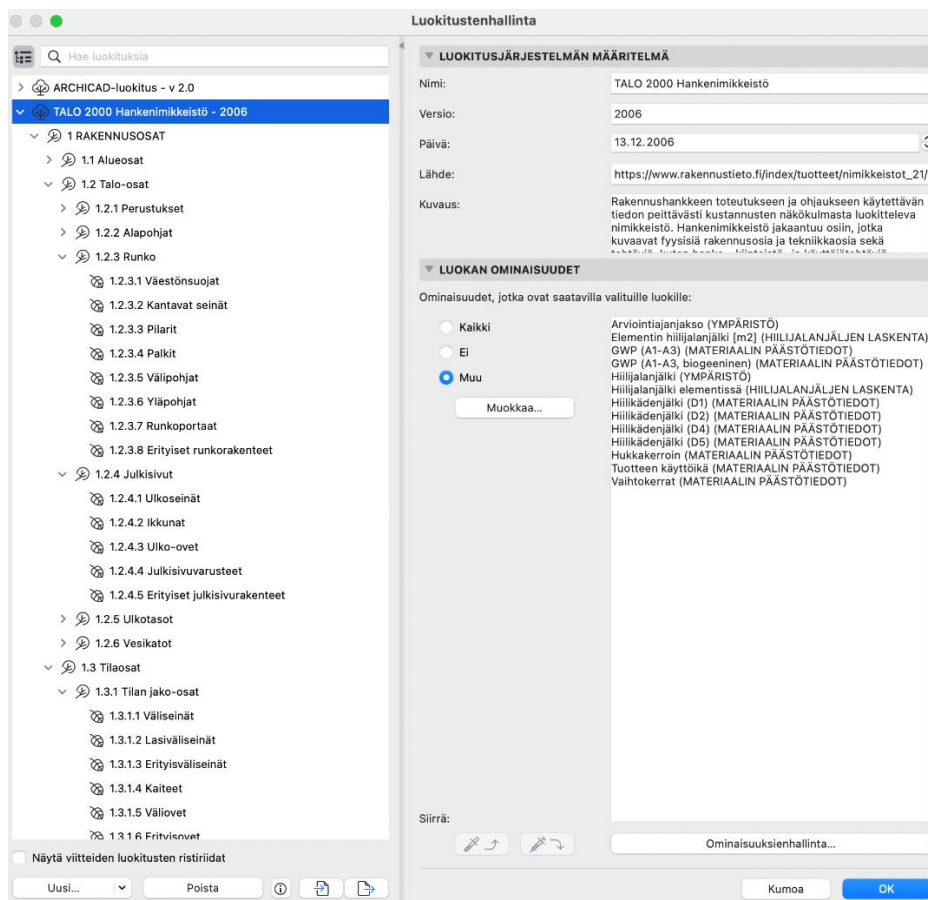
Taulukko 1. *Mallintamisen tarkkuustasot tietomallille. (YTV 2012, osa 3 s. 7)*

| | |
|---------------|--|
| Taso 1 | Käyttötarkoitus on suunnittelijoiden välinen kommunikaatio ja suunnitelmien yhteensovittaminen; sijainti ja geometria on mallinnettu vaatimusten mukaisesti, rakennusosat on nimetty kuvaavasti. |
| Taso 2 | Käyttötarkoituksina ovat hanke- ja luonnosvaiheissa energia-analysit, rakentamisen valmisteluvaiheessa rakennusosapohjainen määrälaskenta; sijainti ja geometria on mallinnettu vaatimusten mukaisesti, rakennetyyppi määritelty ja oikean niminen ja tuoteosat mallinnettu niin, että kappalemäärät ja muu oleellinen määrätieto saadaan tuotetyypeittäin mallista. |
| Taso 3 | Käyttötarkoituksina ovat työmaan aikataulus ja hankinnat; sijainti ja geometria on mallinnettu vaatimusten mukaisesti, hankintaa varten oleelliset tiedot ovat attribuutti tms. kenttinä rakennusosissa ja ne voidaan listata (esim. ikkuna: tyyppi, aukkomitat, db-vaatimukset jne.). |

3.2.2 Rakennusosien luokittelu

Tietomallintamisessa on tärkeää, että mallin sisältämä tieto ja mallinnettavat rakennusosat on luokiteltavissa eri rakennusosien mukaan. Yleiset tietomallivaatimukset eivät aseta vaatimuksia minkään tietyn luokitusjärjestelmän käytölle (YTV 2012, Osa 3 s. 5),

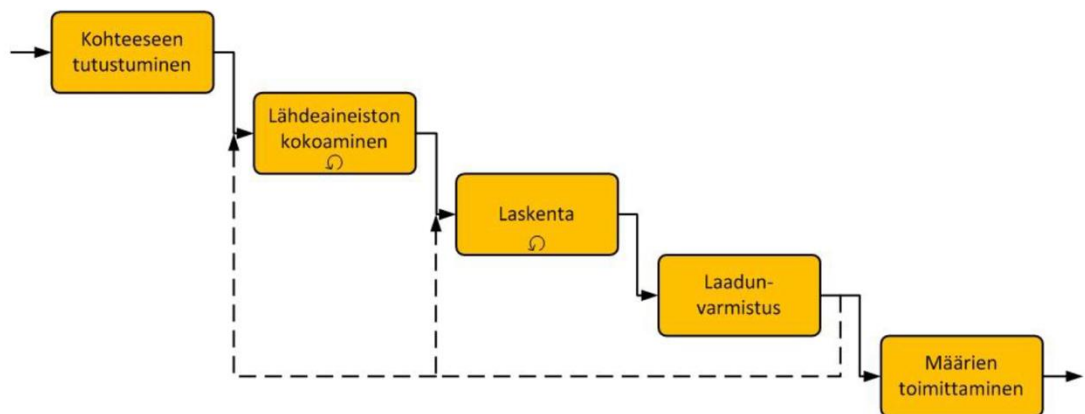
mutta rakennushankkeessa tiedon yhteneväisyyden kannalta on tärkeää, että kaikki osapuolet käyttävät samaa luokitusjärjestelmää. Kun kaikki projektin tiedot luokitellaan saman järjestelmän mukaisesti, tiedonhallinta on tehokkaampaa ja helpottaa kommunikaatiota kaikkien rakennushankkeessa mukana olevien osapuolten välillä. Suomessa on yleisesti käytössä Rakennustieto Oy:n hallinnoima standardoitu Talo 2000 -nimikkeistö, joka sisältää tila-, hanke-, tuotanto-, rakennustuote- ja kalustonimikkeistöt. (<https://www.rakennustieto.fi/nimikkeistot>) Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmässä arvioitavat rakennusosat on jaoteltu Talo 2000 -luokitusjärjestelmän mukaisesti, jonka perusteella sitä käytettiin myös tässä työssä rakennusosien luokitteluun. Archicad käyttää oletuksena sisäänrakennettua ARCHICAD-luokitus v.2.0 -luokitusta, mutta se ei ole vertailukelpoinen Talo 2000 -luokitusjärjestelmän kanssa, joten luokitusjärjestelmä täytyi muuttaa ohjelman asetuksista. Tässä työssä hyödynnettiin LapWall Oy:n Archicad:lle julkaisemaa valmista aloituspohjaa (LapWall, Archicad aloituspohja. 2022), joka sisältää Talo 2000 -luokitusjärjestelmän. Luokitusjärjestelmä vietiin LapWall-aloituspohjasta XML-tiedostoon ja tuotiin tietomallintamisessa käytettyyn projektitiedostoon Archicad:n luokitustenhallinta -valikon kautta. (Kuva 17)



Kuva 17. Talo 2000–luokitusjärjestelmä Archicad ohjelmassa

3.2.3 Tietomallipohjainen määrälaskenta

Mallin tarkkuustasolla on merkittävä vaikutus materiaalien määrälaskennan tarkkuuteen. Jos mallinnetusta rakennusosasta ei saada luettua rakennusosan määrälaskennalle olennaista mittatietoa, sen määriä ei voida tuottaa automaattisesti mallista. Keskeistä on käyttää rakennusosan mallintamiseen tarkoitettua työkalua. Esimerkiksi seinät tulisi mallintaa seinätyökalulla ja katot kattotyökalulla. Määrälaskennan näkökulmasta on tärkeää, että tietomallin sisältämät rakennusosat voidaan yksilöidä. YTV 2012, osa 7, s.7) Kokonaismäärät lasketaan summaamalla mallin sisältämät rakennusosat ja -elementit, jolloin pitäisi pystyä erittelemään liittykö saatu määrätieto esimerkiksi kantavaan runkoon vai väliseinärakenteisiin. Laadunvarmistuksen kannalta, määrälaskentaa tehdessä on tärkeää tutustua laskettavan kohteen muuhun suunnitteluaineistoon. Mallia tulisi aina verrata viimeisimmän suunnitelman mukaisiin suunnitteluratkaisuihin. Malli voi sisältää myös laskentaan kuulumattomia elementtejä tai muiden suunnittelualojen elementtejä, jotka pitää pystyä tunnistamaan, jotta vältetään vääristyneiltä määrätiedoilta. Esimerkiksi kahteen kertaan laskettu runkorakenne tai perustukset vääristävät lopputulosta merkittävästi. Kuvassa 18 on esitettyä tietomallipohjaisen määrälaskennan vaiheet.

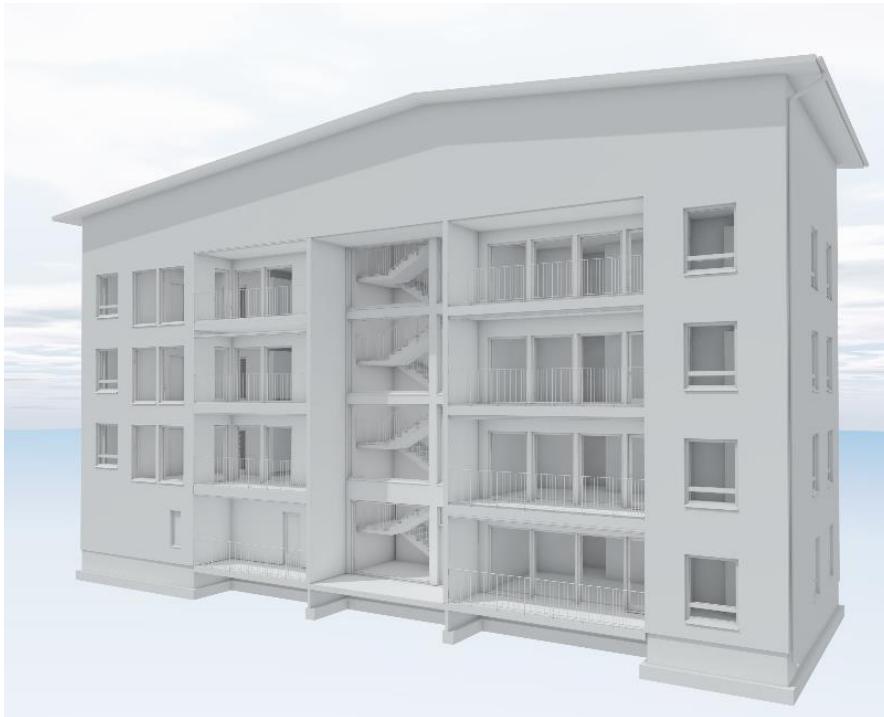


Kuva 18. Tietomallipohjaisen määrälaskennan prosessi. (YTV 2012. Osa3. s.14)

4. HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN ESIMERKKIKOHTEELE

4.1 Laskennan lähtötiedot

Tietomallintamisen kohteena oli rakennusoppi 4 -kurssin harjoitustyönä suunniteltu 4-kerroksinen elementtirakenteinen puukerrostalo (pinta-ala 1600 m²). Kohteen rakenteet määriteltiin Puuinfon avoimen puuelementtistandardin, RunkoPES 2.0 rakennetyyppikirjaston mukaan. Työ mallinnettiin kokonaan Archicad 27 -ohjelmalla sen esimääritelyä aloituspohjaa käyttäen. Rakennusmateriaalien mallintamisessa hyödynnettiin ohjelman valmista materiaalikirjastoa, jota täydennettiin siitä puuttuvilla rakennusmateriaaleilla ja niiden ominaisuustiedoilla. Taulukossa 2 on esitettyä mallinnettujen rakennusosien tarkkuus ja mitkä rakennusosat on sisällytetty hiilijalanjäkilaskentaan. Määritelty arkkitehdin rakennusosamalli pitää sisällään ainoastaan rakennuksen, joten tontin rakenteet on rajattu laskennan ulkopuolelle. Myöskään rakennesuunnittelun vastualueelle kuuluvia alapohjan täyttöjä, routaeristyksiä, salaojarakenteita ja yläpohjan ristikkorakenteita sekä sähkö- ja lvi-suunnittelualojen laitteita ja varusteita ei ole mallinnettu ja ne on rajattu laskennan ulkopuolelle. Talotekniset järjestelmät arvioitiin arviointimenetelmän mukaisilla taulukkoarvoilla.



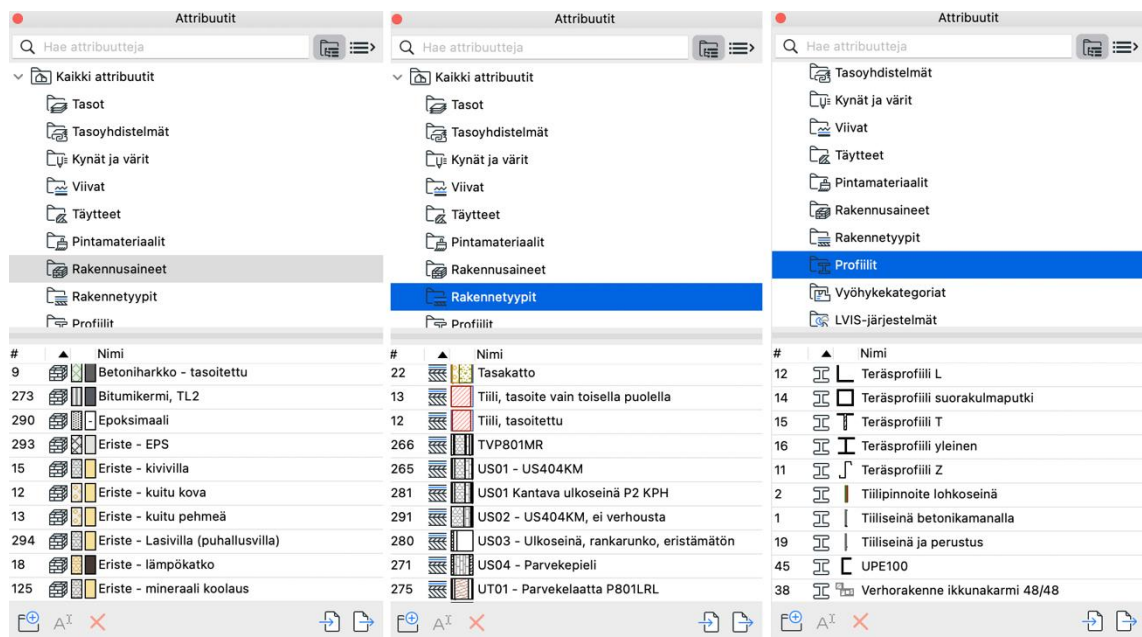
Kuva 19. Esimerkkikohteen mallinnus Archicad-ohjelmassa

Taulukko 2. Työssä arvioitavat rakennusosat ja mallintamisen tarkkuus.

| Rakennusosa | Mallintamisen tarkkuus | Arvioitavat rakennusosat |
|--|--|---|
| Tontti | ei mallinnettu | ei arvioida |
| Kantavat rakenteet | | |
| Rakennusten perustukset ja vedenpoisto | Perustukset mallinnettu rakennetyypin rakennekerrosten mukaisesti. Salaojia ei mallinnettu. | Perustusten rakenteet ja eristeet arvioidaan. |
| Alapohjat | Mallinnettu rakennetyypin rakennekerrosten mukaisesti. | Arvioidaan |
| Runko | Mallinnettu rakennetyypin rakennekerrosten mukaisesti. Seinien ja välipohjien koolauksia ei mallinnettu, vaan ne arvioitiin rakennekerroksen suhteellisen tilavuuden mukaan. | Arvioidaan |
| Julkisivut | Mallinnettu rakennetyypin rakennekerrosten mukaisesti. Palokatkoja ei mallinnettu. | Arvioidaan |
| Ulkotasot | Mallinnettu rakennetyypin rakennekerrosten mukaisesti. Parvekelaattojen ja katosten koolauksia ei mallinnettu, vaan ne arvioitiin rakennekerroksen suhteellisen tilavuuden mukaan. | Arvioidaan |
| Vesikatot | Vesikattorakenteet ja räystäät mallinnettu. Naulalevyristikoita ei mallinnettu. | Arvioidaan |
| Kevyet rakenteet | | |
| Väliseinät | Mallinnettu rakennetyypin rakennekerrosten mukaisesti. | Arvioidaan |
| Pintarakenteet | Mallinnettu rakennetyypin osana. | Arvioidaan |
| Kiintokalusteet | Ei mallinnettu | Ei arvioida |
| Tilaelementit | Mallinnettu erillisinä rakennusosina. | Arvioidaan |
| Talotekniset järjestelmät | Ei mallinnettu. | Arvioidaan taulukkoarvojen mukaan. |

4.2 Rakennusosien mallintaminen

ArchiCAD-ohjelmassa mallinnetut elementit koostuvat elementin ominaisuustiedoista eli attribuuteista, kuten 2d-täytteistä, pintamateriaaleista, rakennusaineista, rakennetyypeistä ja poikkileikkauksista. Tietomallintamisen määrälaskennan kannalta keskeisiä ovat rakennusaineet, rakennetyypit ja poikkileikkaukset, sillä niiden avulla voidaan esittää rakennusosan geometria, rakennusmateriaalit ja rakennepaksuudet. 2d-täytteet ja pintamateriaalit ovat puolestaan enemmän elementin visuaalisen ilmentämisen työkaluja, joten tässä työssä ei keskitytty niiden määrittelyyn.



Kuva 20. Ote Archicad-ohjelman attribuuttikokoelmasta.

4.2.1 Rakennusaineet





Rakennusmateriaalit määritellään Archicad:ssa rakennusaineiden avulla. Rakennusaineet koostuvat sille määritellyistä 2d-täytteistä, pintamateriaaleista ja joukosta luokiteltuja ominaisuuksia, kuten rakennusaineen fysikaaliset ominaisuudet. Ohjelman aloituspohja sisältää valmiiksi määriteltäviä rakennusaineita yleisimmistä materiaaleista ja niille kansainvälisistä tietokannoista saatuja materiaalin ominaisuusarvoja. Koska valmiiksi määritellyt rakennusaineet eivät kaikilta osin vastaa todellisen tuotteen ominaisuuksia, tätä työtä varten päätettiin luoda kokonaan uudet rakennusaineet rakenteissa käytetyille materiaaleille. Rakennusmateriaalien massojen laskemista varten tarvittavat aineitiheydet täydennettiin RT-07-11195-kortin mukaisesti. Materiaalin ympäristövaikutusten ominaisuustiedot materiaalille täydennettiin co2data.fi-tietokannasta. Rakennusosien luokit-



telun mahdollistamiseksi, luotiin eri rakenteellisen sijainnin rakennusosille oma materiaali, vaikka sama materiaali oli jo käytössä. Esimerkiksi parvekelaatan ja yläpohjarakenteen koolaukset ovat keskenään eri rakennusaineita, jotka on luokiteltu Talo 2000-järjestelmän mukaisesti eri rakennusosiksi. Kuvassa 21 on kantavan rungon CLT-levylle määritelty rakennusaine, jolle on määritelty luokitus, tiheys ja elinkaariarvioinnissa tarvittut päästötietokannasta haetut ominaisuustiedot.


Rakennusaineet

Nimi: Muokattavia: 1



▼ TÄYTE JA PINTAMATERIAALI

   101 

 -1 

Täytteen suunta: 

Huomaa: Täytteen suunta on käytettävissä vain rakennetyypeissä ja poikkileikkauksissa


 

Risteämän prioriteetti: 906

Heikko Vahva

▼ LUOKITUS JA OMINAISUUDET

LUOKITUKSET

ARCHICAD-luokitus - v 2.0 Rakenteellinen puu 



TALO 2000 Hankenimikkeistö... 1.2.3 Runko

Valmistaja





Kuvaus

Mukana törmäystarkastelussa

▼ HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

| | | |
|---|--------------------------------|----------------------|
|  | Elementin hiilijalanjälki [m2] | 0,000 |
|  | Hiilijalanjälki elementissä | <Ei sovellettavissa> |

▼ MATERIAALIN PÄÄSTÖTIEDOT

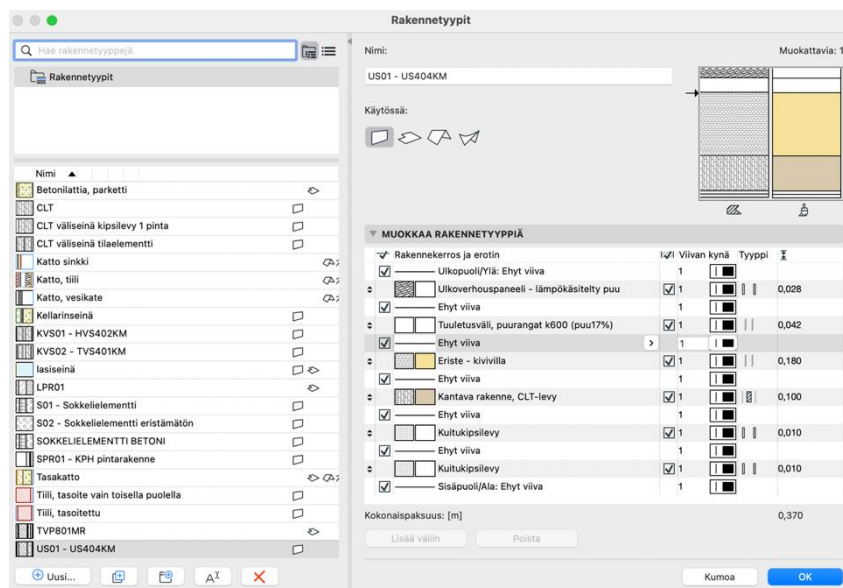
| | | |
|---|--------------------------|----------------------|
|  | Tuotteen käyttöikä | 50 |
|  | Vaihtokerrat | <Ei sovellettavissa> |
|  | GWP (A1-A3) | 0,200 |
|  | GWP (A1-A3, biogeeninen) | -1,600 |

Kumoa

Kuva 21. Archicad-ohjelmalla määritelty CLT-levyn rakennusaine.

4.2.2 Rakennetyypit

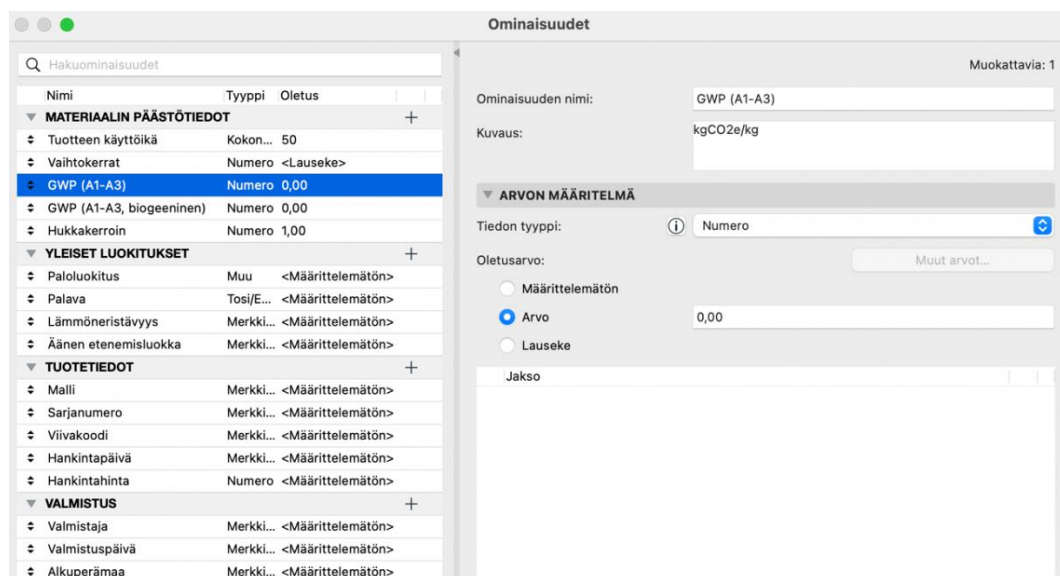
Rakennetyypit ovat kerroksellisia rakenteita, jossa rakennekerrokselle määritellään paksuus ja rakennusaine. Rakennetyyppejä voidaan käyttää seinä-, laatta-, katto- ja kuorielementtien mallintamisessa. Jos rakennusosa koostuu useasta rakennekerroksesta, sen mallintamiseen kannattaa käyttää rakennetyyppeä, jolloin rakenteen osat muodostuvat rakennetyypin mukaan, eikä jokaista rakennekerrosta tarvitse mallintaa erikseen. Kun rakennetyypin määritysvalikon kautta muutetaan sen ominaisuuksia, muuttuvat myös kaikki mallissa kyseistä rakennetyyppeä olevat elementit. Mallinnetun kohteen rakennusosat koostuvat pääasiassa elementeistä, jotka mallinnettiin rakennetyypityökallulla runkoPES 2.0 –kirjaston mukaisilla rakennetyypeillä ja rakennusaineilla. Kuvassa on esitetty esimerkkikohteen ulkoseinärakenteen rakennetyyppi. Rakenteen sisäisiä ran- karunkorakenteita ja koolauksia ei mallinnettu, vaan ne otettiin huomioon rakennekerroksen rakennusaineen määrittelyssä ja tilavuuksien laskennassa. Esimerkiksi US1-rakennetyypin ulkoverhouksen tuuletusvälin koolaus on 17 prosenttia rakennekerroksen tilavuudesta.



Kuva 22. ArchiCAD-ohjelmalla määritelty ulkoseinän rakennetyyppi.

4.3 Hiilijalanjäljen laskemisessa tarvittavien parametrien määrittelyminen

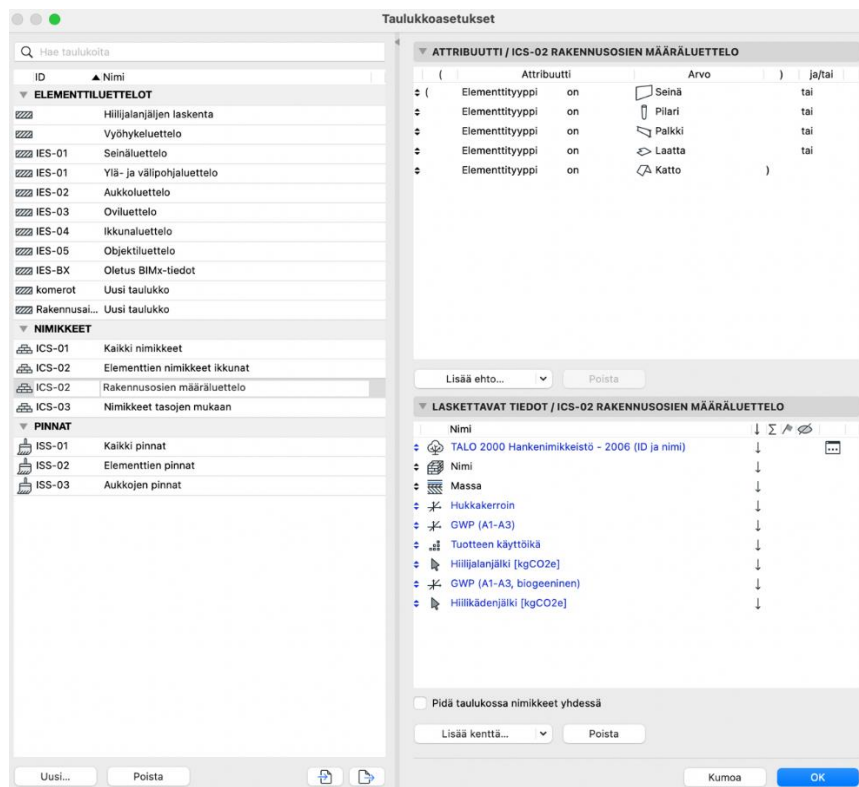
Rakennusosien parametrit eli ominaisuustiedot ovat tarpeellisia tietomallinnuksen tietosisällön tallentamiseen, ja kun mallista halutaan tulostaa esimerkiksi määräluetteloita. Archicad:n mallinnustyökalut sisältävät sisäänrakennettuja ominaisuuksia kuten rakennusosan pituus, leveys, korkeus, tilavuus ja muut geometriatiedot, mutta myös joukon ominaisuuksia, jotka voidaan määrittellä luokitellusti eri rakennusosille. Ohjelmassa ominaisuuksia hallitaan ominaisuuksienhallinta-valikon kautta. Ohjelman valmis aloituspohja sisältää monia hyödyllisiä ominaisuuksia kuten rakenteen fysikaalisista ominaisuuksista, palo- ja ääniteknisistä ominaisuuksista ja muista tietosisällön kannalta oleellisista ominaisuustiedoista. Archicad:n versiosta 26 alkaen, ohjelman esimääritely aloituspohja sisältää myös ominaisuusjoukon materiaalin ympäristövaikutuksille, jotka pohjautuvat saksalaiseen ÖKOBAUDAT-tietokantaan. (Nordic Bim Group, Archicad 26 uudet ominaisuudet, s.19) Kansainvälisestä tietokannasta luetut ympäristövaikutukset eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia Suomessa voimaan tulevan rakentamislain mukaisessa ilmastaselvityksessä käytettyjen ympäristövaikutusten kanssa. Tässä työssä päädyttiin luomaan kokonaan uusi ominaisuusjoukko ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaista hiilijalanjäljen laskentaa varten. Kuvassa 23 on hiilijalanlaskemista varten luodut ominaisuustiedot materiaalin päästövaikutuksille. Ominaisuustiedot ovat määriteltävissä yksilökohtaisesti kullekin rakennusaineelle päästötietokannan arvojen mukaan.



Kuva 23. ArchiCAD-ohjelmalla määritellyt ominaisuustiedot materiaalin päästöiedoille.

4.4 Materiaaliluettelon tuottaminen mallista

Archicad mahdollistaa elementtien monipuolisen luetteloimisen sisäänrakennetun taulukoimistyökalun avulla. Taulukoiden avulla rakennusosat ja elementit voidaan jaotella ohjelman sisäänrakennettujen ominaisuustietojen mukaan. Taulukointi voidaan tehdä ehtolauseilla koskemaan vain tiettyjä rakennusosia ja luettelon laskettaviin tietoihin voidaan sisällyttää mikä tahansa tietomallin sisältämä parametri tai ominaisuusarvo. Tässä työssä rakennusosat jaoteltiin Talo 2000-luokitusten mukaan ja taulukointiin sisällytettiin rakennusmateriaalin nimi ja massa sekä hiilijalanjäljen ja hiilikäden arviointiin tarvittavat päästötietokannasta saadut ominaisuustiedot ja kertoimet (Kuva 24). Ikkunat, ovet sekä runkoportaatt arvioitiin kappalemäärien mukaan ja käytettiin päästötietokannan massa-kerrointa kappaletta kohden, joten ne rajattiin materiaaliluettelon ulkopuolelle. Rakennusmateriaalin hiilijalanjälki saatiin laskemalla materiaalin massa kerrottuna hukkakerroimella ja hiilijalanjäljen konservatiivisella arvolla (GWP A1-3) hiilidioksidiekvivalentteina kilogrammaa kohden. Hiilikädenjälki eloperäiseen materiaaliin sitoutuneen hiilen (GWP A1-3 biogenic) määrällä hiilidioksidiekvivalentteina kilogrammaa kohden. Rakennustuotteiden vaihtojen hiilijalanjälki arvioitiin erikseen. Materiaaliluettelo tallennettiin Archicad:sta xls-formaattiin taulukkolaskennalla suoritettavaa hiilijalanjälkilaskelmaa varten. Kuvassa 25 on kohteesta tulostettu materiaaliluettelo.



Kuva 24. Materiaaliluettelo varten määritellyt taulukointiasetukset.

| TALO 2000 Hankenimikkeistö | Rakennusmateriaali | Massa [kg] | Hukkakerroin | GWP (A1-A3) [kgCO ₂ e/kg] | Vaihtoväli [a] | Vaihdot | Hiilijalanjälki [kgCO ₂ e] | (A1-A3) Biogenic [kgCO ₂ e] | Hiilikädenjälki [kgCO ₂ e] |
|-----------------------------------|--|------------|--------------|--------------------------------------|----------------|---------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1.2.1 Perustukset | | | | | | | | | |
| | Teräsbetoni - anturatt | 98608,6 | 1,03 | 0,16 | 50 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| | Teräsbetoni - perustukset+eriste | 70884,81 | 1,03 | 0,2 | 50 | 0 | 14 602,27 | 0 | 0,00 |
| 1.2.2 Alapohjat | | | | | | | | | |
| | Eriste - EPS | 7551,04 | 1,03 | 3,5 | 50 | 0 | 27 221,50 | 0 | 0,00 |
| | Teräsbetoni - massiivilaatta, paikallivalu | 111757,51 | 1,03 | 0,19 | 50 | 0 | 21 870,94 | 0 | 0,00 |
| 1.2.3 Runko | | | | | | | | | |
| | Kantava rakenne - Paikit, puu k400 (28%), mineraali | 191116,49 | 1,05 | 0,7 | 50 | 0 | 87 550,62 | 0 | 0,00 |
| | Kantava rakenne, CLT-levy | 129117,53 | 1,05 | 0,2 | 50 | 0 | 27 114,68 | -1,6 | -206 588,05 |
| 1.2.3.6 Yläpohjat | | | | | | | | | |
| | Höyrynsulkumuovi, PE | 635,01 | 1,1 | 2,6 | 50 | 0 | 1 816,13 | 0 | 0,00 |
| | Lämmöneristys, puukultu - Puhallusvilla | 20521,13 | 1,01 | 0,11 | 50 | 0 | 2 279,90 | 0 | 0,00 |
| 1.2.4.1 Ulkoseinät | | | | | | | | | |
| | Eriste - kivivilla US | 8229,35 | 1,03 | 1,5 | 50 | 0 | 12 714,35 | 0 | 0,00 |
| | Kultusementtivyöryverho | 5950,46 | 1,05 | 1,15 | 50 | 0 | 7 185,18 | 0 | 0,00 |
| | Puurunko k600 (puu17%) | 17608,25 | 1,1 | 0,01 | 50 | 0 | 193,69 | -0,272 | -4 789,44 |
| | Tuuletusväli US, puurangat k600 (puu17%) | 25123,53 | 1,1 | 0,01 | 50 | 0 | 276,36 | -0,272 | -6 833,60 |
| | Ulkoverho-paneeli - lämpökäsitelty puu | 13502,85 | 1,1 | 0,4 | 50 | 0 | 5 941,25 | -1,6 | -21 604,56 |
| 1.2.5.1 Parvekkeet | | | | | | | | | |
| | Aluskermi, bitumi | 557,73 | 1,1 | 0,82 | 50 | 0 | 503,07 | 0 | 0,00 |
| | Parvekealaatan installaatiolla - puurangat k400 (puu17%) | 12,78 | 1 | 0,01 | 50 | 0 | 0,13 | -0,304 | -3,89 |
| | Parvekealaatta, CLT-levy | 18130,75 | 1,05 | 0,2 | 50 | 0 | 3 807,46 | -1,6 | -29 009,20 |
| | Parvekepiili, CLT-levy | 8446,3 | 1,05 | 0,2 | 50 | 0 | 1 773,72 | -1,6 | -13 514,08 |
| | Parvekkeen lattapinta, puurittä kyllästetty | 3510,19 | 1,1 | 0,14 | 50 | 0 | 540,57 | -1,6 | -5 616,30 |
| | Parvekkeen verho, kultusementtilyvy | 2447,34 | 1,05 | 1,15 | 50 | 0 | 2 955,16 | 0 | 0,00 |
| | Ulkoverho-paneeli parveke - lämpökäsitelty puu | 3204,12 | 1,1 | 0,4 | 50 | 0 | 1 409,81 | -1,6 | -5 126,59 |
| 1.2.6.1 Vesikattorakenteet | | | | | | | | | |
| | Alustausdohus, puu | 7457,82 | 1 | 0,08 | 50 | 0 | 596,63 | -1,6 | -11 932,51 |
| | Bitumikermi, TL2 | 1780,42 | 1,1 | 0,67 | 30 | 1 | 1 297,43 | 0 | 0,00 |
| 1.3.1.1 Väliseinät | | | | | | | | | |
| | Ei-kantava rakenne, CLT-levy | 21732,32 | 1,05 | 0,2 | 50 | 0 | 4 563,79 | -1,6 | -34 771,71 |
| 1.3.2 Tilapinnat | | | | | | | | | |
| | Alakaton kannatus, CLT-levy RAK mukaan | 38103,07 | 1,05 | 0,2 | 50 | 0 | 8 001,64 | -1,6 | -60 964,91 |
| | Keraaminen laatta | 3638,95 | 1,1 | 0,07 | 30 | 1 | 280,20 | 0 | 0,00 |
| | Kipsi-kartonkilevy, sisäkäyttöön | 83869,4 | 1,05 | 0,31 | 50 | 0 | 27 299,49 | 0 | 0,00 |
| | Koolaus k250 (puu21%) | 4036,69 | 1,1 | 0,02 | 50 | 0 | 88,81 | -0,336 | -1 356,33 |
| | Koolaus k400 (puu19%) | 6914,23 | 1,1 | 0,01 | 50 | 0 | 76,06 | -0,304 | -2 101,93 |
| | Kulukupilevy | 15033,83 | 1,05 | 0,24 | 50 | 0 | 3 788,53 | 0 | 0,00 |
| | Laattapinnote, Parketti | 7314,93 | 1,05 | 0,95 | 30 | 1 | 7 296,64 | -1,6 | -11 703,89 |
| | Palosuojaus (A2-s1, d0), pikaplaano | 13667,88 | 1,1 | 0,28 | 50 | 0 | 4 209,71 | 0 | 0,00 |
| | Sisäkköverho, puu | 130,89 | 1 | 0,14 | 30 | 1 | 18,32 | -1,6 | -209,42 |
| | installaatiolla - puurangat k400 (puu19%) | 46,13 | 1 | 0,01 | 50 | 0 | 0,46 | -0,304 | -14,02 |
| | Äänieristely - lasivilla | 1171,58 | 1,03 | 1,3 | 50 | 0 | 1 568,75 | 0 | 0,00 |

Kuva 25. Esimerkkikohteen rakennusmateriaalien määräluettelo

4.5 Hiilijalanjätkilaskelman tulostus

Hiilijalanjäljen laskennassa käytettiin yksinkertaistettua laskentamenetelmää, jossa materiaalien hiilijalanjälki sekä käyttövaiheen energiankulutus laskettiin mallista saatujen todellisten arvojen mukaan. Muissa vaiheissa käytettiin arviointimenetelmän mukaisia keskiarvoihin perustuvia pinta-alaan suhteutettuja taulukkoarvoja. Rakennusmateriaalien määräluettelosta saatiin arvot elinkaariarvioinnin tuotteiden valmistusvaiheen A1-3 ympäristövaikutuksille. Rakennusmateriaalit ja niiden tuottamat päästöt sekä hiilikädenjälki jaoteltiin kantavien ja kevyiden rakenteiden sekä rakennuksen vaipan mukaan. Talotekniikan (A1-3), kuljetusten (A4) sekä työmaatoimintojen osalta käytettiin arviointimenetelmän mukaisia taulukkoarvoja. Käyttövaiheen energiakäytön osalta käytettiin arviointimenetelmän mukaisia energiamuotojen päästökertoimia ja E-lukulaskurilla laskettua laskennallista ostoenergian kulutusta päästöjen arvioimiseksi. Elinkaaren lopun purkamisen energian käytön hiilijalanjälki saatiin arviointimenetelmän mukaisista taulukkoarvoista. Laskennan pohjana käytettiin ympäristöministeriön julkaisemaa hiilijalanjäljen taulukkolaskuria. Materiaalien päästötietoina käytettiin mallista tulostettuja Suomen ympäristökeskuksen hallinnoiman kansallisen päästötietokannan tietoja. Kuvassa 27 on ote valmiista hiilijalanjätkilaskelmasta.

| Yhteenveto | | | |
|---|---|---|---|
| Lähtötiedot | | | |
| Rakennuskohteen tiedot | Kohteen nimi* | | Puukerrostalo, harjoitustyö |
| | Rakennustunnus | 1234 | |
| | Osoite | | |
| | Rakennustyyppi | Asuinrakennukset | |
| Rakennuksen tekniset tiedot | Kerrosala [km ²] | 1 600 | |
| | Lämmitetty nettoala [m ² _{netto}]* | 1 600 | |
| | Kerrosten lukumäärä | 4 | |
| | Kellarikerrosten lukumäärä | | |
| | Pääasiallinen runkomateriaali | Puu | |
| | Energialuokka | B | |
| Laskennan tiedot | Laskenta-ajanjakso* | 50 | |
| | Arvioinnin tekovaihe | Rakennuslupa | |
| | Käytetty arviointitapa | Yksinkertaistettu | |
| | Rakennuksen arvioitu käyttöönottovuosi* | 2024 | |
| | | | *pakollinen tieto |
| Arvioinnin tekijät | | | |
| | Arvioinnin laatija | Arvioinnin tarkastaja | |
| Nimi | Perttu Raudasoja | | |
| Yritys | Tuni | | |
| Koulutus | | | |
| Päivämäärä | 15.10.2024 | | |
| Elinkaarinarvioinnin tulokset | | | |
| | | Hiilijalanjälki | Hiilikädenjälki |
| | | tn CO ₂ e | tn CO ₂ e |
| Elinkaaren aikana syntyvät kokonaispäästöt (A-D) | | 21,66 | -7,91 |
| | | kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a | kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a |
| Vuotuiset päästöt lämmitettyä nettoalaa kohden (A-D) | | 13,54 | -4,94 |
| | | Hiilijalanjälki | Hiilikädenjälki |
| Valmistus, kuljetus ja työmaa (vaiheet A1-5) | | 5,13 | -4,94 |
| Tontti | | 0,00 | 0,00 |
| Kantavat rakenteet (A1-3) | | 2,30 | -2,69 |
| Vaippa (A1-3) | | 0,68 | -1,30 |
| Kevyet rakenteet (A1-3) | | 0,74 | -0,95 |
| Talotekniikka (A1-3) | | 0,67 | 0,00 |
| Kuljetukset ja työmaa (A4-5) | | 0,75 | 0,00 |
| Käyttö (vaiheet B3-4, 6) | | 7,74 | 0,00 |
| Energian käyttö | | 7,69 | |
| Osien vaihdot | | 0,13 | |
| Korjausten energiankulutus | | 0,04 | |
| Purkaminen (vaihe C) | | 0,67 | 0,00 |
| Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D) | | 0,00 | 0,00 |

Kuva 26. Esimerkkikohteen tulostettu hiilijalanjälkilaskelma, jossa on eritelty hiilijalanjäljen jakautuminen eri elinkaaren vaiheille.

5. TUTKIMUKSEN YHTEENVETO

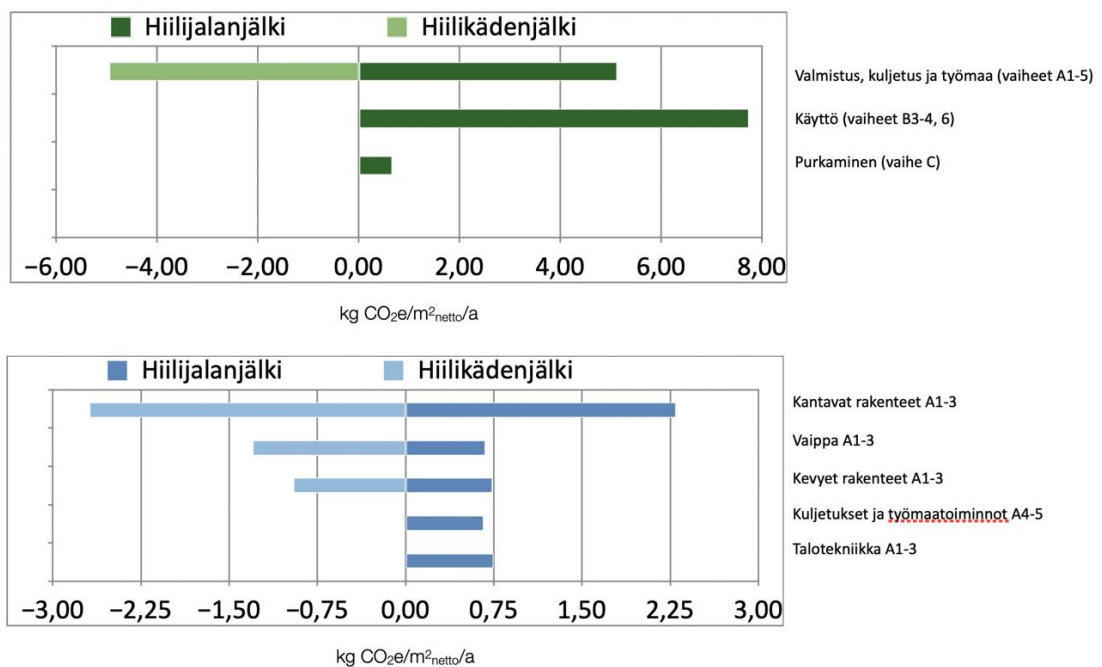
5.1 Mallintamisen yhteenveto

Tietomallinnuksen suurin hyöty hiilijalanjäljen laskennassa on sen kyky tuottaa tarkkaa, yksityiskohtaista ja ajan tasalla olevaa tietoa. Tämä vähentää manuaalisesti tehtävien arvioiden tarvetta ja parantaa tulosten tarkkuutta. Tietomalli voi integroida erilaisia ohjelmistoja ja tietokantoja, jotka tarjoavat tietoa rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista, mikä tekee laskennasta entistä tehokkaampaa ja systemaattisempaa. Kuitenkin tietomalliin liittyy epävarmuustekijöitä, jotka voivat vaikuttaa hiilijalanjäljen laskennan tarkkuuteen. Mallin lähtötietojen laatu ja tarkkuus ovat keskeisiä tekijöitä. Esimerkiksi suunnitteluvaiheessa ei välttämättä ole vielä tarkkaa tietoa käytettävistä materiaaleista tai niiden hankintaketjusta, mikä voi johtaa virheellisiin arvioihin ja sitä kautta epätarkkaan laskentatulokseen. Tätä työtä tehdessäni huomasin myös puutteita Archicad-ohjelman käytettävyydessä rakennusosien mallintamisessa. Esimerkiksi rakennetyypin määrittäminen koolauksia ja rankarunkorakenteita sisältäville rakennusosille tuotti haasteita määrälaskennassa. Rakennekerrokselle ei voi asettaa kuin yhden rakennusmateriaalin, jolloin esimerkiksi välipohjan kantava rakennusosa määritellään joko kokonaan puulle tai eristeelle ja tuottaa sitä myöten vääristyneen määrätiedon rakenteelle. Tässä työssä ongelma ratkaistiin laskemalla materiaalin suhteelliset osuudet rakennekerroksesta ja luotiin uusi rakennusaine, jonka ominaisuustiedoissa osuudet olivat huomioitu. Ongelma poistuu myös siinä tapauksessa, jos hyödynnetään rakennuksen yhdistelmä-tietomallia, jossa on rakennesuunnittelun mallintamat rakenteet mukana ja määrätiedot voidaan laskea niistä. Yhdistelmämallin ongelmana on puolestaan rakenteiden kaksinkertainen laskeminen eri suunnittelualojen malleista. Yhdistelmämallia hyödynnettäessä vaatii tarkkuutta määrittellä mitkä rakennusosat lasketaan kustakin mallista.

5.2 Hiilijalanjälkilaskennan yhteenveto

Ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukainen rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta on hyvin johdonmukainen ja selkeä. Se sisältää kuitenkin epävarmuustekijöitä, varsinkin suunnittelun alkuvaiheessa, jolloin monet keskeiset suunnitteluratkaisut eivät ole vielä selvillä. Arviointimenetelmä perustuu suurelta osin hankkeen suunnittelu- ja materiaalitietoihin, jotka saattavat olla epävarmoja tai puutteellisia arviointivaiheessa. Esimerkiksi käytettävien rakennusmateriaalien tarkkaa koostumusta tai valmistusprosessia ei välttämättä tiedetä, jolloin laskelmissa joudutaan käyttämään yleisiä arvoja tai oletuk-

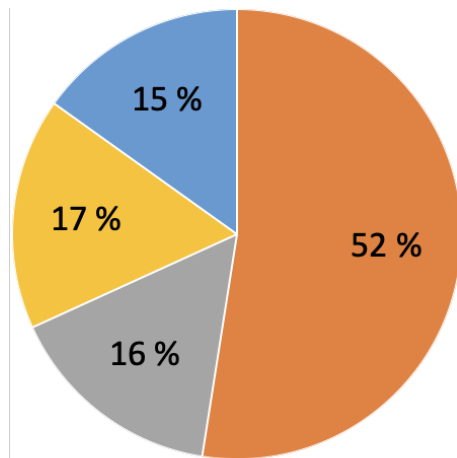
sia. Tämä voi johtaa joko aliarviointiin tai yliarviointiin rakennuksen todellisesta hiilijalanjäljestä. Esimerkkirakennuksen laskelmissa käytettiin monilta osin keskiarvoihin perustuvia taulukkoarvoja. Koska suunnitelmat olivat monilta osin puutteelliset, katsottiin keskiarvoihin perustuvien taulukkoarvojen olevan enemmän luotettavia kuin laskeminen suunnitelmien karkeilla arvioilla. Työssä arvioitiin esimerkkikohteen kautta puukerrostalo-kohteen hiilijalanjäljen jakautumista eri elinkaaren vaiheille. Suurin osa hiilijalanjäljestä (n. 36 %) syntyi käyttövaiheen energian kulutuksesta. Myös materiaalien valmistuksen, työmaatoimintojen ja kuljetusten osuus, noin 24 % oli merkittävä (kuva 27). Rakennuksen vähähiilisyden näkökulmasta kestävien ja vähähiilisten energiamuotojen valinta, sekä rakennuksen energiatehokkuus ovat avainasemassa vähähiilisten ratkaisuiden löytämiseksi. Myös kestävät ja vähähiiliset materiaalivalinnat ovat keskeisiä asioita rakennuksen elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen vähentämisessä.



Kuva 27. Esimerkkikohteen hiilijalanjäljen jakautuminen eri elinkaaren vaiheille.

Työssä tarkasteltiin myös rakennustuotteiden valmistuksen hiilijalanjäljen jakautumista rakennuksen eri osille. Kun käyttövaiheen, purkamisen, kuljetus- ja työmaatoimintojen sekä tontin rakenteita ei huomioida, kantavan rungon osuus on yli puolet koko rakennuksen hiilijalanjäljestä (kuva 28). Hiilijalanjäljen jakautumiseen rakennusosille vaikuttaa se, miten rakennusosat on jaoteltu. Esimerkiksi tässä työssä ulkoseinien rakenteeksi on laskettu ainoastaan ulkoverhous, lämmöneriste sekä niiden ripustukseen tarvittavat rakennusosat. Ulkoseinän kantava runko on laskettu runkorakenteisiin ja rungon sisäpuoliset

rakenteet tilojen pintarakenteisiin. Kuvassa 29 on esitettyä tässä työssä käytetyt rakennusosat Talo 2000 –luokitusjärjestelmän mukaisesti ja niiden hiilijalanjäljen suhteellinen jakautuminen esimerkkitilanteen rakennusosien valmistusvaiheen hiilijalanjäljestä.



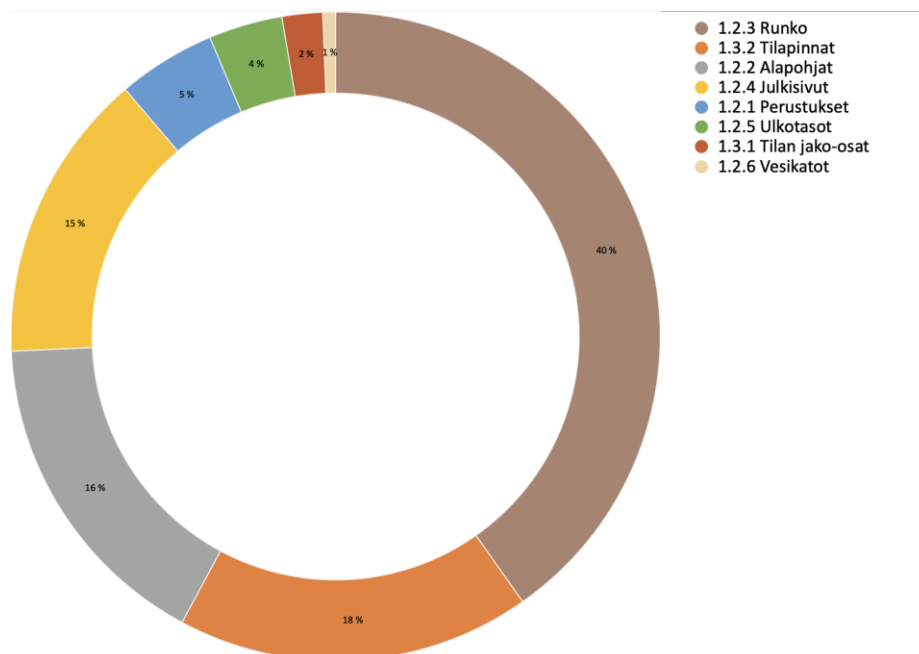
Kantavat rakenteet A1-3 2,3 kg CO₂e/m²netto/a

Talotekniikka A1-3 0,67 kg CO₂e/m²netto/a

Vaippa A1-3 0,68 kg CO₂e/m²netto/a

Kevyet rakenteet A1-3 0,74 kg CO₂e/m²netto/a

Kuva 28. Esimerkkirakennuksen rakenteiden suhteelliset osuudet rakennusosien valmistusvaiheen A1-3 hiilijalanjäljestä hiilidioksidiekvivalentteina lämmitettyä nettoalaa kohden



Kuva 29. Esimerkkikohteen Talo 2000 –luokituksen mukaisten rakennusosien suhteelliset osuudet valmistusvaiheen A1-3 hiilijalanjäljestä.

Esimerkkilaskelman tulokset ovat suuntaa antavia ja osuudet voivat vaihdella eri rakennusten ja laskentatapojen välillä. Rakennuksen kantavan rungon valinta on yksi keskeisimmistä päätöksistä, joka vaikuttaa merkittävästi rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälkeen. Kantava runko muodostaa suuren osan rakennuksen massasta ja sen materiaalivalinnoilla on pitkäaikaisia ympäristövaikutuksia. Rungon valinta vaikuttaa paitsi rakennusvaiheen hiilijalanjälkeen, myös rakennuksen energiatehokkuuteen ja mahdollisuuksiin kierrättää materiaaleja rakennuksen elinkaaren lopussa. Arkkitehti voi valita ympäristöystävällisiä, vähäpäästöisiä ja kestäviä materiaaleja kantaviin rakenteisiin ja muihin rakennusosiin. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi uusiutuvien materiaalien, kuten puun, suosimista tai kierrätettyjen materiaalien käyttöä. Arkkitehti voi myös suosia paikallisesti tuotettuja materiaaleja, mikä vähentää kuljetuspäästöjä, tai materiaaleja, joiden valmistuksessa käytetään vähähiilisiä prosesseja. Jatkossa arkkitehtien rooli rakennusten vähähiilisydessä korostuu entisestään, kun hiilineutraalisuustavoitteet tulevat tiukemmiksi. Innovatiiviset materiaalit, kuten hiilinegatiivinen betoni, biopohjaiset komposiitit tai kierrätettävät teräkset, tulevat todennäköisesti yleistymään, mikä tarjoaa arkkitehteille enemmän työkaluja vähähiilisten rakennusten suunnitteluun. Samalla laskenta- ja arviointimenetelmät kehittyvät, mikä auttaa arkkitehtejä arvioimaan eri rakennusosien vaikutuksia kokonaisvaltaisemmin ja tarkemmin.

Myös suunnitteluohjelmat kehittyvät ja arvioinnista on toivottavasti tulossa yhä helpompaa ja selkeämpää. Ohjelmien tulisi mahdollistaa suunnittelijalle keskittyminen oleelliseen, eli itse arvioinnin tekemiseen, jossa arvioijan ei tarvitse osata määrittellä monimutkaisia kaavoja tai taulukointeja. Lopputuloksen visuaalinen ilme on tärkeää laskelmien hahmottamisen ja sisäistämisen kannalta.



Kuva 30. Kuvituskuva laskelmien visuaalisesta ilmaisusta (designlca.com)

LÄHTEET

AFRY. (2020). Finnish Energy – Low carbon roadmap. Saatavissa: [https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Taustaraportti - Finnish Energy Low carbon roadmap.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Taustaraportti_-_Finnish_Energy_Low_carbon_roadmap.pdf)

Bionova Oy. (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. Helsinki. 55 s. + liitteet 17 s. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioimiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf/f339dfd3-aa84-fb03-29aa-f6377253ce68/Tiekartta-rakennuksen-elinka

BuildingSmart Finland, <https://www.buildingsmart.fi>

Henttinen, T. (2012). Yleiset tietomallivaatimukset. Rakennustieto Oy. Saatavissa: https://wiki.buildingsmart.fi/fi/04_Julkaisut_ja_Standardit/YTV

Häkkinen, T, Kuittinen, M. (2020). Kohti vähähiilistä rakentamista. Rakennustieto Oy, Helsinki. 192 s.

Kuittinen, M. (2019). Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Helsinki. 54 s. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Laine, A, Raivio, T, Jonsson, H, Heino, A, Klimscheffskij, M, Lehtomäki, J. (2020). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 - Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. Saatavissa: <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-1-rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila.pdf>

LapWall Oy, ArchiCad aloituspohja. (2022). Saatavissa: https://www.prodlib.com/lapwall/archicad-aloitus-pohja_aa422b5bae6f4e45a2724bb235602c22?lang=en

Lavikka, R, Kiviniemi, M. Rakennusten tietomallit tukemaan vähähiilistä rakentamista. Rakennustarkastusyhdistys RTY ry. Saatavissa: <https://www.rakennustarkastusyhdistys.fi/rakennusten-tietomallit-tukemaan-vahahiilista-rakentamista/>

Puuteollisuus. 2021. Tietoa puusta ja tuotteista. Saatavissa: <https://puutuoteollisuus.fi/tietoa-puusta-ja-tuotteista>

Raivio, T, Laine, A, Klimscheffskij, M, Lehtomäki, J, Heino, A, Jonsson, H, Pokela, P, Ahlfors, M. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 - Osa 2. Vähähiilisyden mahdollisuuksien tarkastelu. 2020. Saatavissa: <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-2-vahahiilisyden-mahdollisuudet.pdf>

Rakentamislaki 2023/751. Annettu Helsingissä 21.4.2023. Saatavilla: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230751?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=rakentamislaki>

Samila, E, Tähkänen, M. 2024. Green Building Council Finland, 2024. Tilasuunnitelman hiilijalanjäljen arviointiohje. Saatavissa: https://figbc.fi/media/tilasuunnitelman-hiilijalanjaljen-arviointiohje_2024_figbc.pdf

SFS-EN ISO 19650-1:2019 (2019). Rakennusteollisuus, yleistä. Building Information Modelling (BIM). Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 42 s.

SFS-EN ISO 19650-2:2019 (2019). Rakennusteollisuus, yleistä. Building Information Modelling (BIM). Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 37 s.

Suomen arkkitehtiliitto SAFA. 2022. Rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta ja elinkaariarviointi -seminaari. Youtube -video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=sG6acJvcc5U>

Viljakainen, M., Lahtela, T. (2019). Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu, tapaustutkimus rakennuksen hiilijalanjäljen laskennasta. Loppuraportti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/RAKENTAMISEN-HIILIJALANJÄLKIVERTAILUN-LOPPURAPORTTI.pdf>

Venäläinen, J, Kuittinen, M, Huttunen, E, le Roux, S. (2019). Level(s) – test report from Finland. Ympäristöministeriö. Helsinki. 59 s. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161783/YM_25_2019_Levels%20%20test%20report%20from%20Finland.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Ympäristöministeriö. (2023). Vähähiilisen rakentamisen vuosiseminaari 2023. Youtube -video saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=KyMWJjKW-8k&t=4772s>

Vesitaito 2020. KEKRI – Kestävät kriteerit rakennusten vähähiilisyyden arviointiin. Ympäristöministeriön ilmastaselvityksen asetusluonnoksen 9/2022 mukainen esitys rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmästä. Rakennusteollisuus RT.

Saatavilla:

<https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/12/kekri-ym-ilmastaselvityksen-asetusluonnoksen-2022-mukainen-esitys.pdf>