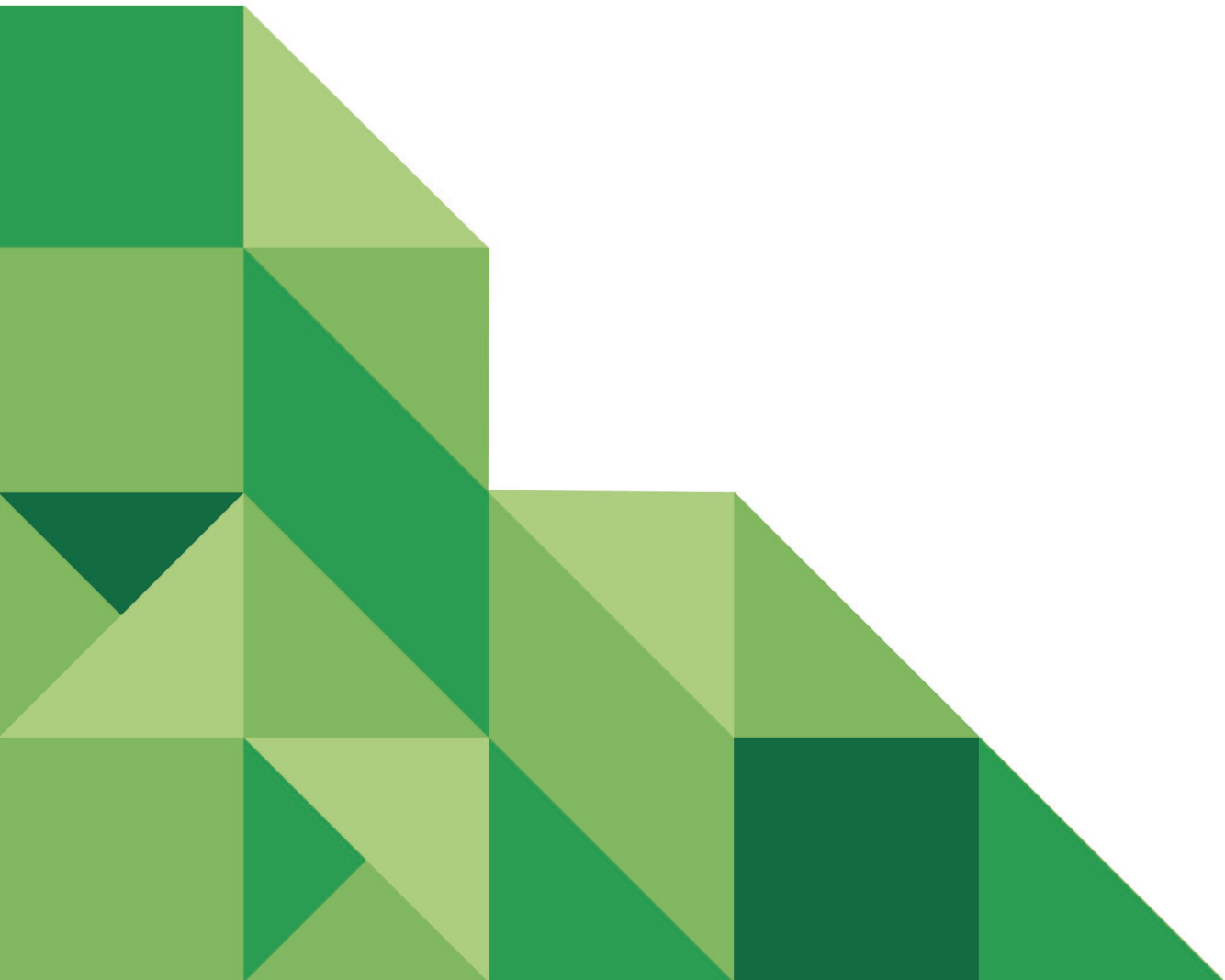


Elli Kinnunen, Elisa Lindqvist, Sonja Laasonen, Petteri Karjalainen, Mikko Matveinen

# **Automaatiotason nostaminen rakennusten LCA-laskennassa**



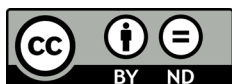
Julkaisusarja

Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja C: Raportteja, 127

Tekijät

Elli Kinnunen, A-Insinöörit Oy  
Elisa Lindqvist, A-Insinöörit Oy  
Sonja Laasonen, A-Insinöörit Oy  
Petteri Karjalainen, A-Insinöörit Oy  
Mikko Matveinen, Karelia-ammattikorkeakoulu

© Tekijät ja Karelia-ammattikorkeakoulu



Tämä julkaisu on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiMuutoksia 2.0 Kansainvälinen -lisenssillä.

ISBN 978-952-275-410-3

ISSN 2323-6914

Karelia-ammattikorkeakoulu 2023

Rakentamisen vihreä siirtymä RAVI -projekti



**POHJOIS-KARJALA**  
*Maakuntaliitto*

**BUSINESS  
JOENSUU**

| JOE



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

**Vipuvoimaa**  
**EU:lta**  
2014-2020

Projektiä rahoitetaan osana Euroopan unionin COVID-19-pandemian vuoksi toteuttamia toimia

# Sisällys

Esipuhe.....	5
Tiivistelmä .....	7
Määritelmät ja lyhenteet .....	8
1 Johdanto .....	11
2 Säädosohjaus.....	12
2.1 LCA-laskenta .....	12
2.1.1 Ilmastaselvitys .....	12
2.1.2 Rakennustuotteiden päästötietolähteet.....	13
2.2 Rakentamislupa ja rakennetun ympäristön tietojärjestelmä.....	15
3 Nykytila-analyysi.....	17
3.1 Tietomallintamisen nykytila .....	17
3.1.1 Arkkitehtisuunnittelu.....	18
3.1.2 Rakennesuunnittelu.....	18
3.1.3 Talotekniikkasuunnittelu.....	19
3.1.4 Algoritmiavusteinen suunnittelu.....	19
3.2 LCA-laskennan nykytila .....	20
3.2.1 LCA-laskijan näkökulma.....	20
3.2.2 Suunnittelijoiden näkökulma.....	23
3.3 Haasteet ja mahdollisuudet .....	25
4 Tulevaisuuden skenaariot .....	27
4.1 Varhaisen vaiheen LCA-laskenta .....	27
4.2 Suunnitteluvaiheen LCA-laskenta natiivimallissa.....	28
4.3 Suunnitteluvaiheen LCA-laskenta päästölaskentaohjelmassa.....	29
4.4 Yhteenveto .....	30
5 Johtopäätökset.....	33

5.1 Suositukset.....	33
5.2 Lisäselvitystarpeet .....	34
<b>Lähteet .....</b>	<b>35</b>
Liite 1. LCA-laskennasta toimitettavat tiedot rakentamislupapäätöksen soveltamis- profiilissa	
Liite 2. Tietomallien hyödyntämisen edellytykset LCA-laskennassa	

# Esipuhe

YK:n Global Status Report for Buildings and Construction 2022 -raportin mukaan rakennetun ympäristön osuus maailmanlaajuisista hiilidioksidipäästöistä oli noin 37 prosenttia vuonna 2021, mukaan lukien rakennusmateriaalien tuotannosta aiheutuvat arvioidut hiilidioksidipäästöt, jotka olivat noin 3,6 GtCO<sub>2</sub>. Rakennusten energiantarve kasvoi noin 4 prosenttia vuodesta 2020, mikä on suurin kasvu viimeisen 10 vuoden aikana. Lisäksi rakennusmateriaalit ovat maapallon eniten kulutettu resurssi, sillä ne vastaavat 50 prosentista louhituista materiaaleista ja 33 prosentista jätteiden ja veden käytöstä.

Voidaankin todeta, että kiinteistö- ja rakennusalan vihreä siirtymä on välttämättömyys, sillä tällä hetkellä kulutamme liikaa luonnonvaroja. Vihreällä siirtymällä tarkoitetaan ekologisesti kestävää taloutta ja kasvua, joka ei perustu luonnonvarojen ylikulutukseen ja fossiilisiin polttoaineisiin, vaan vähähiilisiin sekä kiertotaloutta ja luonnon monimuotoisuutta edistäviin ratkaisuihin.

Rakennusala on tältä osin suuren muutoksen edessä. Materiaali- ja tuoteosavalmistajien tulee löytää keinoja raaka-aineiden käytön tehostamiseksi ja tuotantoprosessien päästöjen vähentämiseksi. Rakennuttajien ja suunnittelijoiden täytyy tulevaisuudessa pystyä ymmärtämään eri suunnitteluratkaisujen päästövaikutukset ja kierrätettävyys yhtenä suunnitteluparametrina. Myös rakennusliikkeet joutuvat miettimään keinoja työmaiden päästöjen vähentämiseksi, esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käytön tai syntyvän hukan osalta.

Muutos ei kuitenkaan tapahdu hetkessä, vaan muutoskyvykkyyttä on pystyttävä rakentamaan pala kerrallaan. Vastatakseen osaltaan tähän tarpeeseen, Karelia-ammattikorkeakoulu käynnisti syksyllä 2021 Rakentamisen vihreä siirtymä tutkimus- ja kehitysprojektin. Osana projektin toimenpiteitä on toteutettu elinkaariarviointeja erityyppisille rakennuskohteille, arvioitu rakennusalan yritysten toiminnan päästöjä sekä pyritty ottamaan käyttöön digitaalisia työkaluja työmaatoimintojen tehostamiseksi. Näiden eri pilotitoteutusten avulla on pyritty ymmärtämään paremmin rakentamisen ja sen prosessien päästövaikutuksia ja löytämään keinoja niiden pienentämiseksi. Tavoitteena on ollut, että projektin aikana tuotettu tieto ja aineistot pystyisivät tarjoamaan uusia näkökulmia ja työkaluja rakennusosalalle, sen pyrkimyksissä kohden yhteistä tavoitetta: rakentamisen vihreää siirtymää.

Joensuussa 6.11.2023

Mikko Matveinen  
Senior Project Manager  
Karelia-ammattikorkeakoulu

*Rakentamisen vihreä siirtymä tutkimus- ja kehittämisprojektin päärahoittaja toimii Pohjois-Karjalan maakuntaliitto REACT-EU EAKR-ohjelmasta.*

# Tiivistelmä

Tämän selvityksen tarkoituksena oli tutkia tietomallintamisen hyödyntämisen nykytilaa LCA-laskennassa sekä esittää tulevaisuuden skenaarioita LCA-laskennan automaatiotason nostamiseksi. Nykytila-analyysi muodostettiin haastattelututkimuksen perusteella. Haastateltavat edustivat arkkitehti-, rakenne- ja LVIS-suunnittelualoja sekä tietomallikoordinoivia sekä LCA-, kustannus- ja määrälaskentaa.

Nykytila-analyysin perusteella tietomalleja hyödynnetään jonkun verran LCA-laskennan rakennustuotteiden määräarvion tekemisessä, mikäli mallit ovat riittävän tarkkoja. Usein LCA-laskennassa tarvitaan manuaalinen käsin syöttämisen vaihe päästölaskentaohjelmaan, ja ajoittain koko määrälaskenta suoritetaan 2D-suunnitelmista.

Tietomallien hyödyntäminen määräluetteloiden laadinnassa vaatii mallintamisen tarkkuuden määrittelyä ja ohjausta ja yhteisiä rakennustuotteiden nimeämiskäytäntöjä. Tietomalleja voitaisiin hyödyntää myös määräluetteloiden lisäksi päästötiedon luomisessa, ja sitä varten tarvitaan tuotekehitystä tietomallinnusohjelmistojen ja päästötietokantojen yhteen toimivuudessa.

# Määritelmät ja lyhenteet

BIM

(Building Information Modeling)

Tietomallinnus. BIM-mallilla voidaan viitata tietomalliin. Natiivimalli on tietomalli, joka on alkuperäisessä tiedostomuodossa, eli käytetyn mallinnusohjelman oma tiedostomuoto.

EPD

(Environmental Product Declaration)

Rakennustuotteille, palveluille tai prosesseille laadittu kolmannen osapuolen verifioima dokumentti, jossa esitetään tiivistetysti elinkaariarvioinnin tulokset eli ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta aina raaka-ainehankinnasta elinkaaren loppuun saakka. [1].

GTIN-koodi

(Global Trade Item Number)

Maailmanlaajuinen ainutlaatuinen identiteetti tuotteelle eli tuotetunniste.

IFC (Industry Foundation Classes)

Yleisin käytetty tiedostomuoto yhdistelmämalleille.

Ilmastaselvitys

Uuden rakentamislain vaatima dokumentti, josta käy ilmi rakennuksen koko elinkaaren aikaiset päästöt.

kgCO<sub>2</sub>e

Hiilidioksidiekvivalentti. Suure, joka kuvaa eri kasvihuonekaasupäästöjen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta.

LCA (Life Cycle Assessment)

Elinkaariarviointi. LCA:lla tarkoitetaan tässä selvityksessä rakennuksen elinkaariarviointia eli rakennuksen koko elinkaaren ympäristövaikutusten arviointia aina raaka-aineiden hankinnasta rakennuksen elinkaaren loppuun saakka.



Luokittelu	Nimettyjen objektien jakaminen eri luokkiin, esim. paalut ja väliseinät
Nimeäminen	Tietomallintamisessa objektin nimeäminen sen tunnistamista varten.
Objekti	Yksittäinen kokonaisuus tietomallissa, jolla esitetään fyysisen tuotteen geometrisia arvoja ja ominaisuustietoja. Objekti voi sisältää erilaisia komponentteja, kuten liitososia.
Päästökerroin	Valitun päästön määrä suhteutettuna nimettyä suuretta kohti.
Rakennetaso	Tarkastelutaso, jossa tutkitaan (tässä mallinnetaan) rakennuksen eri rakenneosia.
Rakennustaso	Tarkastelutaso, jossa tutkitaan (tässä mallinnetaan) kokonaisia rakennusta yhtenä yksikkönä.
Rakennustuotetaso	Tarkastelutaso, jossa tutkitaan (tässä mallinnetaan) rakenneosien eri tuotteita ja tuotevaihtoehtoja.
Tietomalli	Digitaalisessa muodossa olevan rakennelman 3-ulotteista esittämistä ominaisuustietoineen. Ideaalitilanteessa yhden mallin avulla pyritään hallinnoimaan rakennelman elinkaarta aina suunnittelusta toteutukseen ja ylläpidon kautta purkamiseen. [2]
Tuotesidonnaiset päästöt	Päästöt, jotka syntyvät rakennusmateriaalien valmistuksesta, asennuksesta rakennukseen, käytöstä, korjaamisesta ja purkamisesta.
Tyypitys	Objektin ominaisuustietojen määrittely, kuten käytetty materiaali.

Yhdistelmämalli

Kokoa kaikkien suunnittelualojen tietomallit yhteen malliin, jotta voidaan mm. tehdä yhteensovitusta eri suunnittelualojen suunnitelmien kesken.

YTV

Yleiset tietomallivaatimukset.

# 1 Johdanto

Rakennuksilta tullaan vaatimaan ilmastaselvitystä ja rakennusten hiilijalanjäljelle tullaan asettamaan raja-arvot 1.1.2025 alkaen [3]. Raja-arvo sisältää rakennuksen kaikki elinkaaren vaiheet, joista rakennustuotteiden valmistus ja käytönaikainen energiankulutus ovat merkittävimmät päästöjä aiheuttavat elinkaaren vaiheet. Rakennustuotteiden valmistuksen päästölaskenta vaatii kohdekohtaista arviota rakennustuotteista ja niiden määrästä. Tämän selvitystyön tavoitteena on tunnistaa ja kuvata esteitä ja mahdollisuuksia tämän hetken toimintatavoissa ja –prosesseissa tietomallipohjaisen suunnittelun ja rakennusten elinkaaren päästölaskennan (LCA) yhteensovittamiseksi ja automatisoimiseksi.

Toimeksianto on osa Karelia-ammattikorkeakoulun Rakentamisen vihreä siirtymä -TKI-hankkeen toimenpiteitä. Hankkeen tavoitteena on tunnistaa rakentamisen vähähiilisiä ratkaisuja ja prosesseja sekä edistää niiden käyttöönottoa toimialalla. Hankkeen päärahoittajana toimii Pohjois-Karjalan maakuntaliitto, REACT-EU EAKR-ohjelmasta. Selvityksessä perehdyttiin tietomallinnukseen sekä LCA-laskentaan, ja tutkittiin rakennusten LCA-laskennan automaatiotason noston mahdollisuuksia ja haasteita. Selvityksessä keskityttiin rakennustason tietomallintamiseen ja LCA-laskentaan Suomessa. Selvityksen tavoitteena on antaa tulevaisuuden näkymiä automatisoidun LCA-laskentaprosessin toteuttamiseksi.

Tietomallintamisen nykytilaa selvitettiin suunnittelijoiden haastattelututkimuksella. Haastateltavat edustivat arkkitehti- rakenne- ja LVIS-suunnittelua sekä tietomallikoordinaatioita. Tarkoituksena oli selvittää suunnittelussa käytetyt mallinnusohjelmistot ja tietomallinnuksen taso sekä selvittää käytetyn ohjelmiston mahdolliset LCA-laskentaa tukevat ominaisuudet ja niiden käyttökokemukset. Lisäksi selvitettiin tietomallien hyödyntämistä LCA-laskennassa kustannus-, määrä- ja hiilijalanjälkilaskijoilta. Tarkoituksena oli selvittää laskennassa käytetyt laskentaohjelmistot ja kokemukset tietomallien tason sopivuudesta LCA-laskentaan.

Tutkimuksen pohjalta koostettiin näkemys tietomallipohjaisen LCA-laskennan tämänhetkistä haasteista ja mahdollisuuksista. Lisäksi kuvattiin automatisoidumman LCA-laskennan tulevaisuuden skenaarioita. Lopuksi esitetään suositukset ohjelmistokehittäjille sekä lisäselvitystarpeet.

## 2 Säästöohjaus

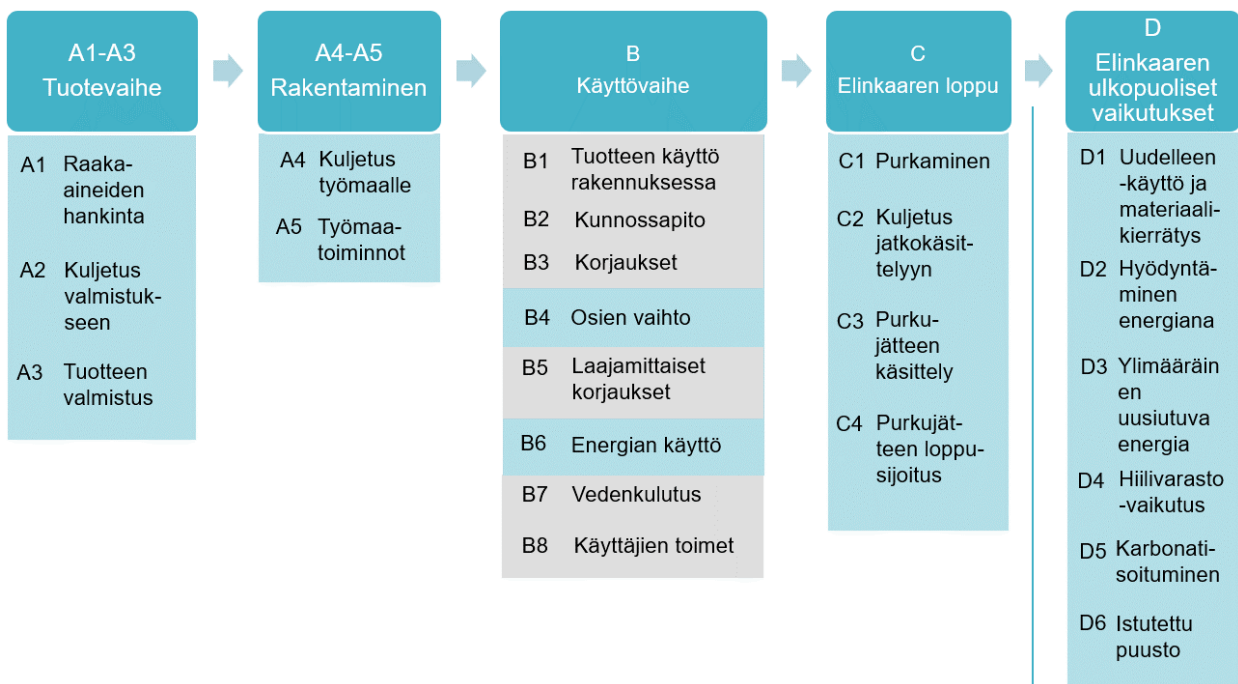
Rakentamista pyritään ohjaamaan ympäristövastuullisemmaksi 1.1.2025 voimaan astuvan uuden rakentamislain (RL) myötä. Rakennuksen uusina teknisinä ominaisuuksina ovat vähähiilisyys ja elinkaariominaisuudet. Rakentamishankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla vähähiiliseksi.<sup>[3]</sup>

### 2.1 LCA-laskenta

#### 2.1.1 Ilmastaselvitys

Uuden rakennuksen tai rakentamislupaa edellyttävän laajamittaisesti korjattavan rakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki on 1.1.2025 alkaen raportoitava rakentamislupaa varten tehtävässä ilmastaselvityksessä, joka tulee laatia ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaan. Ilmastaselvityksessä arvioidaan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki rakennustuotteiden valmistuksesta rakennuksen purkamiseen. Lisäksi arvioidaan ne rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät ilmastohyödyt (hiilikädenjälki), joita ei olisi syntynyt ilman rakennushanketta.

Ilmastaselvityksessä päästöt jaetaan rakennuksen eri elinkaaren vaiheille, jotka on kuvattu kuvassa 1. Kuvassa sinisellä pohjalla näkyvät vaiheet eli tuotevaihe (A1-A3), rakentaminen (A4-A5), käyttövaiheen osien vaihto ja energian käyttö (B4 ja B6) sekä elinkaaren lopun vaiheet (C1-C4) on sisällytettävä ilmastaselvitykseen. Lisäksi arviointiin tulee sisällyttää elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D). Lisäksi arvioinnin tulokset ilmoitetaan erikseen rakennukselle ja rakennuspaikalle.



Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet ja elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset

Rakennustuotteiden valmistuksen (A1-A3) ja rakennuksen käytön aikaisen energian kulutuksen (B6) päästöt ovat tyypillisesti rakennuksen elinkaaren päästöistä merkittävimmät. Koska uusien rakennusten energiatehokkuus on ollut jo säädelyä ja koska energiasectori on jo tehnyt päästövähennystoimia, yhä useammin merkittävimmät päästöt syntyvät rakennustuotteiden valmistusvaiheesta. Rakennustuotteiden valmistuksen päästöjen laskentaan tarvitaan arvio käytettävistä tuotteiden määristä sekä näiden päästökertoimet. Tuotteiden määräarvio on ilmastaselvityksen työläin osuus ja siksi tässä selvityksessä keskitytään erityisesti rakennustuotteiden määrälaskennan automatisointiin.

Selvityksen laadintahetkellä uusi rakentamislaki on hyväksytty eduskunnassa, mutta ympäristöministeriön asetuksia ilmastaselvityksestä ja raja-arvoista ei ole julkaistu.

## 2.1.2 Rakennustuotteiden päästötietolähteet

Ilmastaselvityksen tuotesidonnaisten päästöjen laskentaan voidaan käyttää erilaisia tietolähteitä sen mukaan, missä rakennushankkeen vaiheessa arviointi tehdään. Hankkeen alkuvaiheessa ei välttämättä vielä tiedetä tarkkaan, minkä tuotevalmistajan tuotetta aiotaan käyttää. Tällöin päästötietolähteeksi soveltuu Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä rakentamisen päästötietokanta ([www.co2data.fi](http://www.co2data.fi)), johon on koottu

tyypillisten Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ja järjestelmien keskimääräisiä päästötietoja. Tyypillisten päästökertoimien lisäksi päästötietokannasta löytyy niin sanotut konservatiiviset päästökertoimet, joita tulee käyttää rakennuslupaa varten laadittavassa ilmastaselvityksessä. Konservatiiviset päästökertoimet on laskettu 20 % suuremmiksi verrattuna tyypilliseen arvoon. Rakennustuotteiden päästökertoimet ovat saatavissa päästötietokannasta esim. Excel-taulukkomuodossa.

Kun on tiedossa, minkä valmistajan tuotetta rakennuksessa tullaan käyttämään, tulisi päästötietolähteenä käyttää ensisijaisesti kyseisen tuotteen EPD-ympäristöselostetta (myöhemmin EPD), mikäli sellainen on laadittu. EPD (Environmental Product Declaration) on rakennustuotteille, palveluille tai prosesseille laadittu kolmannen osapuolen verifioima dokumentti, jossa esitetään tiivistetysti elinkaariarvioinnin tulokset eli ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta aina raaka-ainehankinnasta elinkaaren loppuun saakka [1]. Rakennustuotteiden EPD:n avulla urakoitsijat, rakennuttajat ja suunnittelijat voivat vertailla esimerkiksi eri toimittajien tuotteiden ja rakennusosien välisiä elinkaarenaikaisia ympäristövaikutuksia ja tehdä kestäväen kehityksen mukaisia valintoja. Mikäli kyseessä on erittäin harvinainen tuote ja sille ei ole tehty EPD:tä, eikä sitä löydy rakentamisen päästötietokannasta, voidaan harkiten käyttää päästötietolähteenä myös jotain muuta yleisesti käytössä olevaa päästötietokantaa [4].

Yleensä tuotekohtaiset EPD:ssä ilmoitetut päästöt ovat rakentamisen päästötietokannan konservatiivisia arvoja pienemmät. Tämä johtaa siihen, että valitsemalla sellaisia tuotteita käytettäväksi, joille on laadittu EPD, voidaan elinkaaren hiilijalanjälkeä pienentää verrattuna tuotteisiin, joille selostetta ei ole laadittu, ja täyttää näin hiilijalanjäljen raja-arvot helpommin. Tämä puolestaan kannustaa rakennustuoteteollisuutta laatimaan EPD:t tuotteilleen ja kehittämään tuotteiden ympäristövastuullisuutta. EPD-ympäristöselosteiden määrän kasvaessa rakennusten LCA-laskenta tarkentuu, kun tietoa on saatavilla laajemmin.

Läheskään kaikki rakennustuotevalmistajat eivät ole laskeneet valmistamiensa rakennustuotteiden päästöjä, eikä rakentamisen päästötietokannastakaan löydy kaikille tuotteille sopivaa vastinetta. Tämä haastaa rakennustuotteiden päästötietojen siirtymistä tietomalleihin. Päästötietokanta kuitenkin laajenee ja sitä kehitetään koko ajan ja myös EPD-selosteita on alettu viime aikoina laatimaan laajemmin.

Haasteita aiheuttaa myös olemassa olevien tietojen hajanaisuus. Osa päästötiedoista on saatavilla rakentamisen päästötietokannasta ja osa esimerkiksi LCA-

laskentaohjelmiston omasta kirjastosta. Osa puolestaan löytyy ainoastaan valmistajien nettisivuilta. Tähän ongelmaan on kuitenkin tarttunut esimerkiksi Rakennustieto Oy, joka on kehittänyt kaupallisen Tuotetieto-palvelun. Palveluun on kerätty valmistajakohtaista tuotetietoa sisältäen myös päästötiedot, jotka ovat saatavilla rajapinnan kautta.

Lisäksi haasteena voidaan nähdä päästötietojen vajavaisuus. Rakentamisen päästötietokannasta ei tällä hetkellä löydy kaikkien tuotteiden osalta esimerkiksi hiilikädenjälkeä eli D-vaiheen tietoja. EPD-selosteetkaan eivät sellaisenaan täysin riitä ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmän luonnosversion mukaiseen laskentaan, sillä niissä D-vaiheen päästöt on ilmoitettu ainoastaan yhteenlaskettuna tuloksena, kun ilmastaselvityksessä päästöt tulisi ilmoittaa myös erikseen jokaiselle D-vaiheen osiolle. Lisäksi markkinoilla on eri standardien ja eri elinkaaren vaiheet sisältäviä EPD-selosteita.

## 2.2 Rakentamislupa ja rakennetun ympäristön tietojärjestelmä

Uuden rakentamislain mukaan vanhan maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset rakennuslupa ja toimenpidelupa yhdistetään rakentamisluvaksi. Rakentamislupaa haetaan tietomallimuotoisilla suunnitelmilla, jotka tallennetaan rakennetun ympäristön tietojärjestelmään. Tietomallimuotoisella suunnitelmalla tarkoitetaan rakennuksen tietojen kokonaisuutta koneluettavassa ja yhteentoimivassa tietorakenteessa.<sup>[3]</sup>

Luvan hakemisen yhteydessä toimitetaan suunnitelmamalli, joka sisältää pääasialliset tiedot rakennuksesta ja rakennusosista ja niiden ominaisuuksista. Rakentamislupahakemuksen yhteydessä tulee toimittaa myös muun muassa ilmastaselvitys.<sup>[3]</sup> Loppukatselmuksen yhteydessä luovutettava toteumamalli puolestaan sisältää tiedot toteutuneesta rakennuksesta mukaan lukien suunnitelmamallista poikkeavat tiedot sekä pääasialliset tiedot rakennustuotteista ja niiden ominaisuuksista. Toteumamallia on tarkoitus voida hyödyntää rakennuksen korjaus- ja muutostöissä.

Laki rakennetun ympäristön tietojärjestelmästä astuu voimaan vuoden 2024 alusta, jolloin kaikilla kunnilla tulee olla kyky vastaanottaa rakennusten tietomalleja 1.1.2025 alkaen, ja vuonna 2028 uudet tietomallit tulee pystyä toimittamaan järjestelmään. Tietojärjestelmän tarkoitus on koota kuntien ja valtion viranomaisten tietojärjestelmissä

olevat alueidenkäytön ja rakentamisen tiedot yhteen paikkaan helposti saataville, yhtenäisessä muodossa. Tiedon on oltava yhteentoimivaa, jotta se voisi kulkea koneluettavasti ja niin, että sekä lähettäjä ja vastaanottaja ymmärtävät sen samoin.

Yhteentoimiva, ajantasainen tieto mahdollistaa paremman ja tehokkaamman suunnittelun, tiedon käsittelyn ja tiedon jakamisen. Erityisesti viranomaiset tarvitsevat rakennetun ympäristön tietojärjestelmästä saatavaa tietoa päätöksenteon, eri prosessien, suunnitelmien ja selvitysten tueksi. RAVA3pro on Helsingin kaupungin johtama ja valtionvarainministeriön rahoittama kehityshanke kuntien rakennusvalvonnan sähköisen lupaprosessin edelleen kehittämiseen ja prosessien automatisointiin. Kehityshankkeen yhtenä tavoitteena on kehittää tietomallien hyödyntämistä ja prosessien automatisointia rakennusvalvonnassa [5].

RAVA3pro-hankkeen tuloksena syntyy mm. valittuihin rakennusvalvonnan tarkastuskäyttötapauksiin IFC-tietosisältömäärittelyt, käsitevakioinnit, rava-käyttötapauskuvaukset, sekä tarkastussäännöt. Hankkeen yhtenä lopputuloksena on saavutettu myös RH-tietojen lukeminen IFC-tietomallista asiointipalveluohjelmiin Trimbleen ja Lupapisteeseen. Automatiikkaa ei vielä saada käyttöönotettua tarkastussäännösten osalta, mutta sitä on onnistuneesti pilotoitu. Manuaalinen säännösten käyttö voidaan aloittaa hankkeen julkaistua valmiit säännöt.

Yhteentoimivuuden parantamiseksi on määritelty valtakunnalliset tietomallit, joiden mukaisesti tieto tuotetaan. On kuitenkin huomioitava, että tietomallit, joita rakennetun ympäristön yhteentoimivuustyössä kehitetään, kertovat tiedon yhteisen rakenteen ja sisällöt. Tässä yhteydessä tietomalli ei siis ole sama asia kuin rakennuksen tietomalli eli kolmiulotteinen BIM-malli, joka voi olla esimerkiksi IFC-muodossa. [6]

Rakentamisen lupien yhteentoimivat tiedot on määritelty rakentamisen lupapäätösten tietomallissa. Jokaiselle lupatyypille on määritetty oma soveltamisprofiilinsa, joista näkee, mitä tietoja toimitetaan lupien yhteydessä. [6] Liitteessä 1 on ote LCA-laskennasta toimitettavista tiedoista rakentamislupapäätöksen soveltamisprofiilissa. [7]



## 3 Nykytila-analyysi

Nykytilaa kuvataan eri asiantuntijoiden näkemyksillä tietomallinnuksen tavoista ja LCA-laskennan toteuttamisesta. Esitetyt tiedot perustuvat haastateltujen asiantuntijoiden näkemyksiin eivätkä välttämättä esitä alan kaikkia toimintamalleja.

### 3.1 Tietomallintamisen nykytila

Tietomallintamista ohjataan Yleisillä tietomallivaatimuksilla (YTV2012), joissa on esitetty yleiset ohjeet jokaiselle suunnittelualalle ja määrälaskennalle [8]. Haasteena on tietomallintamisen tilaamisen taso, sillä yleisissä ohjeissa ei ohjeisteta tietomallintamisen tarkkuudesta vaan vain mallinnettavista rakennuksen osista (rakennetason tietomallintaminen). Mikäli tietomallia halutaan hyödyntää mm. LCA-laskennassa, tulee mallintamisen tarkkuus määritellä suunnittelun tilaamisen yhteydessä rakennustuotetasolle, eli tuotteiden ominaisuuksien tasolle. Lisäksi mallintamisen tarkkuustason toteutumista tulisi hankkeen aikana seurata ja ohjata.

Tietomallinnuksen ohjauksesta vastaa tietomallikoordinaattori. Tietomallikoordinaattori toimii laadun varmistajana ja hänen tehtävänä on mm. selvittää ja sopia tietomallin tarkkuus. Tarkkuustasoja on kolme, josta LCA-laskenta vaatii tarkinta tasoa, jossa objekteilla on rakennustuotetietoja. Tietomallikoordinaattori tarkastelee ja ohjaa yhteensovitusmallia, joten rakennustuotetiedon tulee olla esitetty suunnittelijan natiivimallin (suunnittelijoiden alkuperäinen malli) lisäksi yhteensovitusmallissa. Tietomallikoordinaattori hoitaa myös laadunvarmistusta, jotta tietomalli on mallinnettu riittävän oikein eikä se sisällä merkittäviä mallinnusvirheitä.

Kun tarkastellaan dokumenttien sopimusteknisistä pätevyysjärjestystä, lähtökohtaisesti kirjallinen tuotos on tietomallia pätevämpi dokumentti. Tämä tarkoittaa, että 2D-suunnitelmat ovat tietomallia korkeammalla, mutta järjestys voidaan myös muuttaa. Muutos edesauttaisi tietomallin hyödyntämistä, koska tietomallin sisältämää tietoa ei tällöin tarvitsisi tarkastaa sopimusteknisesti pätevämmistä suunnitelmista.

### 3.1.1 Arkkitehtisuunnittelu

Arkkitehtien mallinnus painottuu visuaalisuuteen. Suunnitelmia saatetaan tehdä 2D-kuvina tai tuottaa havainnollistava 3D-malli, johon ei ole juurikaan sisällytetty rakennustuotteiden ominaisuustietoja. 3D-malli toteutetaan ARK-Cad, Archicad ja Revit-ohjelmilla. Tietomallipohjaisia suunnitelmia tuotetaan tilauksen mukaan, joten rakennustuotetietojen tuominen tietomalliin ei ole alalla arkipäivää.

Rakenteiden ja rakennustuotteiden luokittelutapoihin ei ole selkeää ohjeistusta, eikä tiettyä luokittelunimikkeistöä systemaattisesti käytetä mallinnuksessa. Yksi rakennustyyppien luokittelumahdollisuus olisi Talo 2000 -nimikkeistö. Tätä käytetään myös ilmastaselvityksen laatimisessa, jolloin LCA-laskenta olisi helpommin toteutettavissa tietomallista. Kyseisen luokitusjärjestelmän noudattaminen ei ole kuitenkaan vakiintunut käytäntö, ja nimikkeistön käyttämisen tärkeyttä pitäisi tuoda alalla vahvemmin esille.

### 3.1.2 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelussa yleisesti käytössä on mallinnusohjelma Tekla Structures. RFEM toimii laskentamallina kohteen stabiiliteettien, kuormituksien ja rakenteiden rasituksien määrittämisessä. Suunnittelualojen yhteensovitusmalleja tarkastellaan mm. Solibri ja Simplebim -ohjelmilla. Mallinnuksen yleisinä ohjeina käytetään YTV:tä, betonirakenteille on oma BEC-ohjeistus, ja tämän lisäksi yrityksillä voi olla omia tarkentavia ohjeistuksia. Vaikka rakennesuunnittelu painottuu nykyisin vahvasti tietomallinnukseen, pienimmät yksityiskohdat suunnitelmiin toteutetaan vielä 2D-kuvina.

Rakennesuunnittelussa tietomalli tehdään mittatarkasti, jolloin mm. pinta-alat ja aukotukset ovat tarkkoja arvoja. Rakenteille tyypitetään myös rakennustuotetieto, mutta ei välttämättä lujuusominaisuuksien tarkkuudella. Täten mallista saatava massatieto voi olla hieman epätarkka, koska lujuus vaikuttaa mm. materiaalin tiheyteen.

Rakenneosat nimetään hyvin tarkasti tietomalliin ja tarvittaessa alkuperäisessä mallissa (natiivimalli) rakenneosien jaottelu onnistuu kokeneiden ohjelmakäyttäjien luomien koodaussäntöjen mukaisesti. On tunnistettu, että natiivimallista tehtäessä IFC-malli, saattaa jotain objektien tyyppityksiä kadota, jolloin tieto ei ole alkuperäisen veroinen.

Suunnittelun yksinkertaistamiseksi tuotteita voidaan tuoda malliin esim. ProdLib-rakennetyyppikirjaston kautta. Toinen käytetty tapa on antaa tuotetoimittajille, esimerkiksi

elementtitoimittajille, muokkausoikeudet natiivimalliin, jolloin he saavat luoda omat suunnitelmansa suoraan rakennesuunnittelijoiden tietomalliin. Tuotevalmistajilla voi olla vaatimuksia tuotteiden nimeämiseen heidän tuotantoon varten.

### 3.1.3 Talotekniikkasuunnittelu

LVI-suunnittelijat käyttävät MagiCAD- tai Revit-ohjelmaa, jotka kumpikin tuottavat 3D-mallin. Sähkösuunnittelussa hyödynnetään mm. AutoCAD 3D ja Navisworki -ohjelmia. Tietomallin tarkkuus riippuu tilaajan tarpeesta ja mikäli tietomallia ei ole pyydetty, saatetaan eteenpäin jakaa vain 2D-suunnitelmat. Mikäli tietomallipohjaiset suunnitelmat on tilattu, saadaan malliin tuotettua esimerkkivalmistajan objekteja, joissa tuotteiden mittatiedot ovat tarkkoja. Tämä esimerkkivalmistajan objekti ei kuitenkaan sido rakentajaa käyttämään kyseistä tuotetta, eikä tietomallia yleensä päivitetä toteutuneiden tuotevalmistajien objekteilla.

TATE-malliin ei viedä sellaisia ratkaisuja, joille on vielä vaihtoehtoisia toteutustapoja, kuten pistokkeiden paikat, ja vain toteutukseen menevät ratkaisut mallinnetaan. Tämä voi vaikuttaa mallin valmiusasteeseen pitkään esimerkiksi muuntojoustavuutta vaativissa kohteissa.

### 3.1.4 Algoritmiavusteinen suunnittelu

Algoritmiavusteinen suunnittelu, jonka synonyyminä voidaan käyttää myös parametrista suunnittelua, on rakennusalaalla nykyään yleistynyt suunnittelutapa ja suunnittelussa hyödynnettävä teknologia. Algoritmiavusteisella suunnittelulla tarkoitetaan algoritmien eli tarkkaan määriteltyjen komentoketjujen ja sääntöjen hyödyntämistä osana suunnitteluprosessia siten, että ainakin jokin suunnittelun osatehtävä ratkaistaan algoritmeja hyödyntäen. Parametrista suunnittelua voidaan hyödyntää erilaisissa suunnittelutehtävissä, mutta yksi selkeä sovelluskohde on tietomallinnus. Tällöin tietomalli tai jotain sen osia luodaan algoritmeja hyödyntämällä, eli mallin geometria- ja ominaisuustietoja luodaan algoritmeihin luotujen sääntöjen avulla.

Algoritmiavusteinen tietomallinnus käyttää älykkäitä algoritmeja, jotka voivat tehdä monimutkaisia laskelmia ja päätöksiä automaattisesti. Perinteinen mallinnustapa on usein manuaalisempaa ja riippuvaisempaa ihmisen syötteestä. Algoritmeja hyödyntäessä voidaan käsitellä myös suuria tietomääriä nopeasti ja skaalautuvasti, mikä on erityisen tärkeää nykyajan suurissa ja monimutkaisissa projekteissa ja haasteissa, joita nämä asettavat suunnittelulle. Tämä tarkoittaa, että algoritmeilla voidaan

tehostaa tiettyjä suunnittelu- ja mallinnusprosesseja huomattavasti perinteisiin menetelmiin verrattuna. Kun mallinnusta tehdään tarkasti määritettyjen sääntöjen mukaan tietokoneavusteisesti, vähenee samalla ihmisen tekemän manuaalisen virheen riski verrattuna perinteiseen mallinnukseen.

Algoritmeja ja niiden avoimia parametreja muokkaamalla voidaan tehokkaasti luoda erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja ja verrata niiden ominaisuuksia keskenään. Tämä voi mahdollistaa paremmat suunnitteluratkaisut, jotka ovat esimerkiksi taloudellisesti kannattavampia ja ympäristöystävällisempiä. Algoritmiavusteinen tietomallinnus tuo mukanaan automaatiota, älykkyyttä ja nopeutta tietomallien luomiseen ja hallintaan, mikä parantaa tehokkuutta ja tarkkuutta erilaisissa sovelluksissa.

## 3.2 LCA-laskennan nykytila

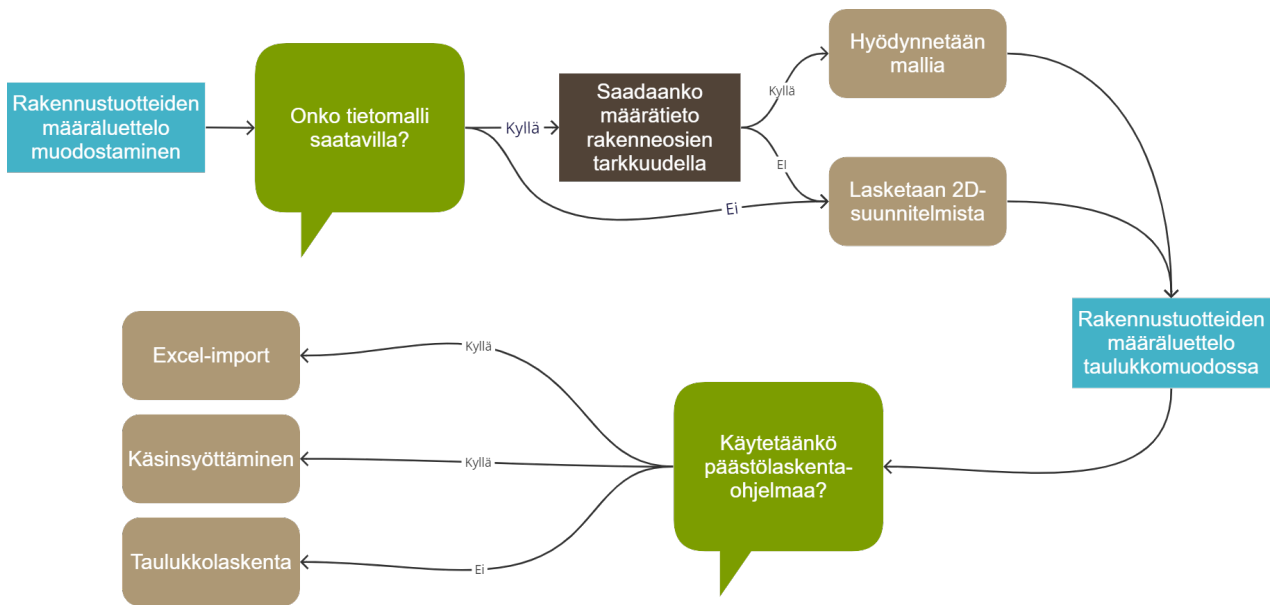
### 3.2.1 LCA-laskijan näkökulma

LCA-laskenta on vielä uutta rakennusalla ja tällä hetkellä sen toteuttaa yleensä LCA-laskentaan perehtynyt konsultti. Laskentaan tarvittavia tietoja ovat käytettävät rakennustuotteet ja niiden määrät. Rakennustuotteiden päästötietoja saa erilaisista päästötietokannoista tai käyttämällä valmiita päästölaskentaohjelmia, kuten esimerkiksi One Click LCA:ta tai uutta Solibrin Carbon Checker -työkalua [9]. Laskennassa voidaan hyödyntää IFC-mallien tarkasteluohjelmia, ja määrälaskentaa voidaan joko tarkentaa tai tehdä kokonaan 2D-kuvista.

Määrätietojen keräämiseen käytetään ensisijaisesti arkkitehdin mallia ja tietoja tarkennetaan rakennemallin avulla. Tyypillisesti rakennetyyppien määrät haetaan arkkitehtimallista neliöiden mukaan, ja mm. perustusten määrät haetaan rakennemallista kuutioina tai massoina. Rakennuksen osat jaotellaan Talo 2000-nimikkeistön mukaisesti.

Tietomallin tarkkuus ja LCA-laskijan tietomallin tarkasteluohjelmaosaaminen vaikuttavat siihen, voidaanko tietomallia hyödyntää rakennustuotteiden määräarvion laadinnassa. Jos tietomallin hyödyntäminen ei onnistu tai mallista löytyy paljon epätarkkuuksia, tehdään määrälaskenta 2D-suunnitelmista ns. käsin käyttäen apuna taulukkolaskentaohjelmaa, kuten Excel. Tämän jälkeen määrätiedot syötetään joko käsin päästölaskentaohjelmaan tai hyödynnetään päästölaskentaohjelmien valmiita Excel-pohjia määrätietojen syöttämiseen. Päästölaskenta voidaan tehdä myös pelkästään

taulukkolaskemalla ja hyödyntämällä päästötietokantojen avoimia rajapintoja. Laskentaprosessi on kuvattu kuvassa 2.



Kuva 2. LCA-laskentaprosessin nykytila

LCA-laskennan osuiksista määrälaskentaa pidetään työläimpänä, joten tietomallin hyödyntäminen tehostaa laskentaprosessia. Tällä hetkellä prosessia voisi tehostaa myös rakennusvaiheessa hyödyntämällä kustannuslaskennan määrälaskentaa, mikäli molemmilla laskentaa toteuttavilla tahoilla on sopimukset tiedon jakamisesta. Kustannuslaskennassa käytetyn määrälaskennan jakamiseen liittyy kuitenkin haasteita, koska kustannuslaskelma voi sisältää kustannuslaskijan liikesalaisuuksia.

Niin käsin laskentaa kuin mallista saatavaan määrälaskentaa liittyy riski, ettei kaikkia tarvittavia objekteja sisällytetä laskentaa. Syynä voi olla inhimillinen virhe tai objektin tyyppityksen puuttuminen. Objektien tyyppitysten puuttumista on havaittu mm. arkkitehtien malleja tarkasteltaessa. Rakennemallin tarkastelua pidetään taas LCA-laskennan näkökulmasta haastavana sen liian tarkan tiedon takia. TATE-malleista saatavat määräuettelot on taas koettu hankalasti tulkittaviksi: LCA-laskijalla ei välttämättä ole osaa mistä, jotta saatavilla oleva tieto voitaisiin tuottaa riittävän yksinkertaisesti määräuetteloksi. On myös havaittu, että yhdistelmämallissa rakennekerroksilta on kadonnut rakennetyyppitunnukset, jolloin esimerkiksi eristeitä voi olla mahdoton luokitella rakennetyyppikohtaisesti.

Materiaalien päästötietoja on saatavilla ns. geneerisessä muodossa kansallisessa päästötietokannassa (co2data.fi) ja valmistajakohtaisia tietoja eri päästötietokannoista. Lisäksi LCA-laskentaohjelmissa on kattavat materiaalien päästötietokannat, joista löytyvät sekä kansalliset geneeriset päästötiedot että valmistajakohtaiset EPD:t.

One Click LCA on LCA-laskennassa yleisesti käytetty ohjelmisto, johon materiaalitiedot on mahdollista tuoda suoraan tietomallista lisäosien avulla. One Click LCA:n asiantuntijoiden mukaan Suomessa tietomallinnus alkaa olla tarkalla tasolla, ja suurin osa insinööri- ja arkkitehtitoimistojen käyttäjistä tekee laskelman tietomallin pohjalta. Näin tuotetiedot tuodaan laskentaan tarkasti, koska data ja malli ovat suunnittelijalla käytettävissä. Suomessa yleisimpiä mallinnusohjelmia, joista käyttäjät tuovat dataa, ovat Archicad ja Revit, lisäksi Teklaa ja Solibria käytetään jonkin verran. Vaikka tietomallia hyödynnetään, laskennan lähtötiedot siirretään malleista Excelin avulla One Click LCA -ohjelmistoon, sillä ohjelmassa ei ole integraatiota, millä tiedon tuonti voitaisiin automatisoida. Kuitenkin sekä mallinnus- että laskentaohjelmistot kehittyvät ja tietojen tuontimainaisuudet paranevat. Integraatiota voi myös itse edistää kehittämällä suunniteluohjelmiin omia lisäosia.

Automatisoinnin yksi haaste on tuotetiedon nimeämiskäytännöt ja tuotteiden linkitys tietomallista saatavan määräluettelon ja päästölaskentaohjelmiston välillä. Niin suunnittelijoilla kuin tuotevalmistajilla on omat tapansa tuotteiden nimeämiseen, joten päästölaskentaohjelman on vaikea luoda tuotenimikkeistöä, jolla määräluettelossa olevan tuotenimen ja oikean päästötiedon yhdistäminen onnistuisi aukotta. Siksi esimerkiksi päästölaskentaohjelmassa tarvitaan yleensä manuaalinen vaihe, jossa rakennustuotteiden määrät joko syötetään käsin tai vähintään tarkastetaan päästölaskentaohjelman tekemät oletukset rakennustuotteelle. Koneoppimisen avulla LCA-ohjelmistolle on mahdollista opettaa tuotenimikkeiden tunnistusta. Tarkoituksena olisi myös edistää ohjelman tuotetunnistusta avainsanoilla ja mahdollisesti tulevaisuudessa tekoälyn avulla.

Nimeämisen lisäksi esimerkiksi hankkeen alkuvaiheessa tietomallissa tyyppitys "betoni", ei kerro päästötietoon tarvittavaa tarkkuutta: onko objekti paikallavalu- vai elementtirakenne, onko se vaaka- vai pystyrakenne tai mikä on sen lujuus ja käytetäänkö geneeristä vai valmistajakohtaista päästökerrointa. Nämä haasteet ajavat suosimaan rakennustuotteiden syöttämistä käsin, vaikka näihin haasteisiin on yritetty löytää ratkaisuja lisäosien avulla. Tuotteiden syöttäminen sopivan Excel-pohjan avulla ja tuotteen

linkityksen opettaminen ohjelmalle eivät ole yksinkertaisia prosesseja, ja vaatii hyvää perehtyneisyyttä ja toistoja.

Suunnitteluohjelmiin tarjotuista lisäosista One Click LCA -laskentaohjelman ja Revit-pohjaisen tietomallin yhdistämiseen käytettävää lisäosaa pidetään hyvin hyödyllisenä. Materiaalilinkitys itse mallissa on koettu onnistuvan. Tietomallissa hyödynnetään LCA-lisäosaa, jonka avulla tietomallin materiaalit tyypitetään päästötietokannan materiaalien nimeämisen mukaisesti. Tämän jälkeen tietomalli pystytään tuomaan suoraan päästölaskentaohjelmaan, jossa päästömaarien laskenta suoritetaan. [10] One Click LCA-yhtiössä on tunnistettu, että Revit-pohjainen tietomalli toimii hyvin LCA-laskennassa, ja tiedon tuomiseen Revitistä satsataan tulossa olevilla päivityksillä.

IFC-yhdistelmämallien hyödyntämisestä on todettu, että mallinnustavan ja -ohjelmiston on kehityttävä huomattavasti automatisoinnin onnistumiseksi. IFC-yhdistelmämallin etuna kuitenkin on, että kaikki suunnitelmat saadaan yhteen paikkaan, joten kokonaiskuvan tarkastelu on mahdollista. IFC-mallinnustarkkuus ei ole riittävällä tasolla, sillä mallissa saattaa esiintyä kerroksellisia rakenteita. Tämä johtaa komponenttien ja geometristen objektien virheelliseen määrään. Kyseistä tilannetta on vaikea tarkistaa, sillä päällekkäiset komponentit näyttävät ohjelmassa yhdeltä objektilta. Tilanne saattaa johtaa myös virheellisiin laskelmiin, ellei määräluettelon tekijällä ole osaamista arvioida rakenteiden määriä.

Tietomallin tarkastelu vaatii laskijalta hyvää suunnittelutietämystä, sillä materiaalien määrittely voi olla epätarkkaa ja alalla ei ole vakioituja nimeämistapoja tai tapaa, miten ja mihin materiaalitieto syötetään. Malliin perehtymiseen ja siitä saatavan määrälaskennan tarkastukseen menevä aika on verrattavissa käsin laskentaan 2D-suunnittelusta, joissa tieto on selkeämmin tulkittavissa.

### 3.2.2 Suunnittelijoiden näkökulma

Suunnittelijoiden yleinen kokemus on, että natiivimalleissa on toimivat työkalut erilaisen määräluetteloiden tekoon. Rakennemallista yleensä tuotetaan ainakin elementtien osalta määräluetteloita. Arkkitehtisuunnittelussa taas ei ole ollut tarvetta määräluetteloille, ja toteutus vaatii tarkkaa luokittelua objekteille. LVI-suunniteluissa määräluettelo voidaan tuottaa omaa tarkistusta varten, mutta sitä ei jaeta eteenpäin. Sähkösuunnittelussa määräluettelon tekoon löytyy suunnitteluohjelmien työkaluja, mutta tapauskohtaisesti lasketaan myös käsin.

Määräluetteloon pystytään generoimaan tietomalleissa olevaa tietoa tai käsin syötetyjä tietoja hyvin vapaasti eri mittayksiköissä. Suunnittelijat ovat yhtä mieltä LCA-laskijoiden kanssa, että mallista saatava pinta-alatieto on luotettavinta. TATE-suunnittelussa määrät eivät kuitenkaan esitä materiaalin todellista määrää mm. mutkiin kuluva materiaalista, vaan linjoja saatetaan esittää suuremmin.

Revit-pilvipalvelua voi käyttää mallien yhteensovitusalusana. Tällöin suunnittelu tapahtuu Revitissä, joka sopii lähes kaikkien suunnittelualojen tarpeisiin. Mallin tuonti pilvipalveluun on nopeaa eikä mallin tiedostomuotoa tarvitse muuttaa. Pilvipalvelu toimii tarkastelupaikkana, jota käytetään pelkällä verkkoselaimella. Näin kaikilla hankkeen osapuolilla on malliin pääsy ilman erillisiä ohjelmia. Pilvipalvelun käytöstä on ollut tähän asti positiivisia kokemuksia. Palvelin mm. tunnistaa muuttuneet kohdat ja näitä voi tarkastella. Palvelin tunnistaa myös osat samalla tavalla kuin natiivimalli, joten jokainen osa ja komponenttien tyyppi on nähtävissä. Pilvipalvelimelle ei saa IFC-mallia, mutta Revitin puolella sitä voidaan tarkastella.

Esimerkiksi ProLib-tietokanta sisältää tuotevalmistajien valmiita rakenneobjekteja eri mallinnohjelmiin. Näillä tehostetaan mallinnusta, ja valmiiden objektien tuotetietoihin voidaan sisällyttää myös päästötietoja, jolloin tieto saadaan suoraan malliin. Tuotteen päästömäärän tuottamisen vastuu on tuotetoimittajalla ja esitetyssä päästötiedossa pitää olla selkeästi määritelty, mitkä kaikki kuvan 1 elinkaaren vaiheet sisältyvät annettuun päästötietoon.

LCA-laskennassa voidaan käyttää apuna myös erilaisia algoritmiavusteisia suunnittelumenetelmiä ja useita erilaisia sovellutuksia onkin tuotu markkinoille viime vuosina. Koska algoritmit soveltuvat hyvin suurien datamäärien käsittelyyn ja analysointiin sekä erilaisten parametrusten mallien luomiseen, voidaan niitä hyödyntää monin tavoin LCA-laskennassa ja -optimoinnissa. Algoritmeja voidaan hyödyntää aina elinkaarilaskennan automatisoinnista, materiaalien ja komponenttien valintaan sekä rakennustuotteiden ja rakennusten optimointiin. Tällä hetkellä algoritmien mahdollistamia menetelmiä hyödynnetään erityisesti käytännön LCA-laskennan tehostamisessa sekä erilaisten parametrusten mallien luomisessa, joita voidaan hyödyntää eri ratkaisuvaihtoehtojen vertailuun. Lisäksi parametrisilla malleilla voidaan optimoida erilaisia kokonaisuuksia päästöjen ja muiden tarkasteltavien parametrien suhteen.



### 3.3 Haasteet ja mahdollisuudet

Sujuvan ja automatisoidun LCA-laskentaprosessin saavuttamiseksi on ratkaistava vielä erilaisia aihealueita. Jotta automatisoitu laskentaprosessi voidaan toteuttaa, pitää määritellä eri tahojen vastualueet, mm. mitkä suunnittelu- ja konsultointialat ovat vastuussa mistäkin päästötiedon tuottamisesta, ja mikä tahoo vastaa päästötiedon yhteensovittamisesta ja -ohjauksesta.

Tietomallinnusta hyödynnettäessä on myös sovittava suunnitelmien sopimusteknisestä pätevyysjärjestyksestä. Kun tietomalli on pätevin suunnitelmamuoto, muutkin suunnittelualat voivat hyödyntää tietomallia: ARK-malli toimisi sellaisenaan RAK-mallin lähtötietoina, jolloin jo mallinnettuja osia ei tarvitsisi mallintaa uudestaan, tai geometria olisi valmiina tietomallissa. Tämä lisäisi suunnittelun tehokkuutta. Haasteena on kuitenkin tiedon luotettavuus, mm. mallinnustarkkuuden virhemarginaali ja virhemarginaalin aiheuttavien riskien hallinta myös LCA-laskennan kannalta. On määriteltävä vaadittava mallinnuksen tarkkuustaso ja miten tietomallin eri hyödyntämistavat siihen vaikuttavat.

Uudistuva rakentamislaki tekee LCA-laskennasta kaksivaiheisen, jolloin on arvioitava päästömäärät lupavaiheessa sekä laskettava toteutuneet päästöt. Tämä on hyvä esimerkki edellä esitetyn tarkkuustason määrittelyn tarpeesta. Riittääkö lupavaiheessa suurien massojen arviointi, jolloin nähdään rakennuksen päästömäärän suurusluokka, vai pitäisikö tiedon olla tarkka laskenta päästöistä. Tarkkuuteen vaikuttaa myös päästötiedon lähde: milloin on käytettävä tuotekohtaisia tietoja ja milloin on hyväksyttävää käyttää geneerisiä tietoja. Tämänhetkisen säädösohjauksen mukaan lupavaiheessa tulee käyttää geneeristä päästötietoa, ellei tarkemmin ole suunnitelmissa tyyppitetty, ja toteumavaiheessa tulee käyttää toteutuneiden tuotteiden päästökertoimia. Laskennassa huomioitavista rakennusosista ja niiden määrän tarkkuudesta on sama ohjeistus molemmissa vaiheissa.

Lupaprosessin uudistus tuo myös aikataulullisia haasteita, jotta LCA-laskenta voitaisiin toteuttaa mahdollisimman automatisoidusti. Lupaprosessissa on varattava lisää aikaa suunnittelun tietomallintamiseen ja siitä tuotettuun LCA-laskentaan.

Tietomallin käytettävyyteen ja vaadittavaan tarkkuuteen voidaan puuttua sopimusteknisillä asioilla. Haasteita on mallinnustavoissa ja -käytännöissä. Olemassa olevat ohjeet ovat yleispäteviä ja normisto tällä hetkellä vielä kesken. Eri yritysten

mallintamistavat eroavat toisistaan liikaa, jotta mallin hyödyntäminen onnistuisi seuraavalta taholta tehokkaasti muun muassa mallien yhdistämisessä ja laaduntarkistuksessa. Yksittäisessä hankkeessa mallinnuskäytännöt saadaan sovittua, mutta käytäntöjen tulee olla standardoituja, jotta malleja voidaan hyödyntää tehokkaasti.

Suurin haaste liittyy objektien luokitteluun ja nimeämiseen, jotta eri ohjelmille voitaisiin luoda selkeä polku, kuinka eri tietomalleista tuodaan tarvittava tieto seuraavaan. Tiedonsiirtoon kaivattaisiin yksiselitteisempää tapaa, esimerkiksi eri materiaalien ja tuotteiden yksilöllinen ID-tunnus laadukkaan tiedon siirron takaamiseksi. Tämä edistäisi myös tietojen tuontia malliin, jolloin tuotetiedon sisällyttäminen tietomalliin tulisi tehokkaammaksi.

Tietomalliin tarvittavien tuotetietojen tehokkaaseen tuomiseen on vielä rajatusti vaihtoehtoja. Tarvitaan luotettava rajapinta, jossa on kattavasti tietoa niin geneerisellä kuin valmistajakohtaisella tasolla, ja saatavilla oleva tieto olisi ajan tasalla. Tällöin tulee määritellä, kuka on vastuussa tiedon ajantasaisuudesta ja miten voidaan edellyttää, että kyseiseltä taholta saadaan riittävän laajasti tuotetietoja. Vaikka ratkaisuja tähän jo on, olisi näitä hyvä kehittää edelleen useampien tahojen kanssa.

Tuottamalla asiakirjat tietomallipohjaisena on suunnittelu helpommin ohjattavissa esimerkiksi päästöjen kertymisen näkökulmasta. Sitä mukaa, kun suunnitelmia tarkennetaan, voidaan myös päästölaskentaa tarkentaa, mikäli tietomallinnus on rakennustuotetasoista ja rakennustuotteiden päästökertoimet on sisällytetty tietomalliin. Tällöin pystytään lähes reaaliaikaisesti seuraamaan, kuinka etenevä suunnittelu vaikuttaa hankkeen päästöjen kertymiseen.

# 4 Tulevaisuuden skenaariot

## 4.1 Varhaisen vaiheen LCA-laskenta

Rakennusten hiilijalanjäljen raja-arvojen astuessa voimaan rakennusten hiilijalanjälkeä tullaan ohjaamaan suunnittelun varhaisemmasta vaiheesta alkaen. Hankesuunnittelu- vaiheessa rakennuksille tullaan tekemään arvio keinoista, joilla raja-arvo alitetaan. Varhaisessa vaiheessa rakennuksista ei kuitenkaan ole mahdollista vielä tehdä tarkkaa kaikkia suunnittelualoja kattavaa tietomallia, sillä varhaisen vaiheen suunnittelu vaatii kevyttä prosessia. Niinpä rakennuksen päästöjä voidaan mallintaa myös ns. tilastollisin menetelmin, joka on tietomallinnusta yksinkertaisempi prosessi. Tilastolliseen mallin- nukseen perustuvan arvion voisi tuottaa tilaaja itse tai asiantunteva konsultti.

Tilastollinen hiilijalanjälkiarvio edustaisi keskivertorakennusta ja arvion taustalla olisi tietokanta toteutuneista rakennusten päästöistä. Suodattamalla tietoja rakennuksen ominaisuuksilla, kuten koko, kerrokset, pääasiallinen rakennusmateriaali, kohteen hiilija- lanjäljen arvion tarkkuutta voidaan parantaa. Arviota voitaisiin tarkentaa edelleen ra- kennetasolla esim. valitsemalla tietyt rakenteet, ja edelleen rakennustuotetasolla esim. valitsemalla rakennustuotteiden geneerisiä päästökertoimia.,

Laskennassa voidaan hyödyntää erilaisia algoritmiavusteisia suunnittelumenetelmiä, jolloin parametrinen malli voi sisältää joustavasti sekä kohdekohtaisia suunnitteluratkaisuja että tilastollisia arvoja. Automatiikkaan perustuvat tehokkaat suunnittelumene- telmät mahdollistavat myös karkeiden tietomallien luomisen ja erilaisten ratkaisuvaih- toehtojen visualisoimisen ja vertailun. Teknologian avulla voidaan myös koota suuresta tietomäärästä tarkoituksenmukaisia avainlukuja päätöksenteon tueksi.

Tilastollinen menetelmä vaatii ajan kanssa luotua tilastoa rakennustyypeistä, rakenne- tyypeistä ja rakennustuotteista ja niiden päästökertoimista. Tilastolliseen menetelmään perustuvia kaupallisia ohjelmistoja on olemassa, mutta laajempi Suomen kattava otanta saataisiin julkisen tahon ylläpitämänä. Tilastollista menetelmää voitaisiin käyt- tää hankkeen alkuvaiheen päästöarviointiin ja vaihtoehtojen vertailuun sekä rakennus- lupavaiheen hiilijalanjäljen arviointiin, mikäli sen tarkkuustaso olisi riittävä.

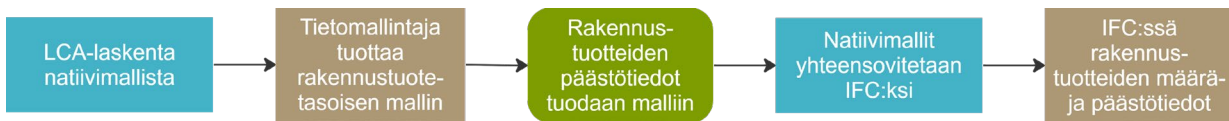
Menetelmän etuna on keveys ja nopeus, haittapuolena taas laskelman epätarkkuus ja virhemarginaalin suuruus. Päivityksiä saadaan tehtyä ketterästi, mutta tarkka kohta-kohtainen rakennustuotetason määräluettelo ei onnistu. Lisäksi kansallisen tietokannan kehittäminen ei ole näköpiirissä selvityksen tekohetkellä, joten skenaario tähtää pidemmälle tulevaisuuteen.

## 4.2 Suunnitteluvaiheen LCA-laskenta natiivimallissa

Suunnitteluvaiheessa hiilijalanjälkeä tullaan ohjaamaan, jotta hankesuunnitteluvaiheessa asetetussa tavoitteessa pysytään. Usein hankesuunnitteluvaiheessa tehtyjä ratkaisuja tarkennetaan tai niistä voidaan poiketa kokonaan, jolloin myös rakennuksen hiilijalanjäljen arviota on tarvetta tarkentaa. Jotta arvion päivittäminen olisi tehokasta, tulisi päivittäminen tehdä joko tilastollista tai algoritmista arviota päivittämällä tai hyödyntämällä jo olemassa olevia tietomalleja.

Tietomallintamalla suunnitteluvaiheessa suunnittelijat voisivat seurata oman suunnitelmansa hiilijalanjälkeä ja tuottaa määräluettelot päästötietoineen. Tietomallintamista tilattaessa tulisi määritellä mallintamisen tarkkuustasoksi rakennustuotetaso, jotta määräluetteloiden ja päästöarvioiden tekeminen on mahdollista. Lisäksi tulisi määrittellä, käytetäänkö geneerisiä vai valmistajakohtaisia päästökertoimia. Tämä vaatii tuotekehitystä tietomallinnusohjelmistoilta mm. rakennustuotteiden tuotetietoihin tulee lisätä rakennustuotteiden hiilijalanjäljen elinkaaren vaiheet samalla tavalla kuin ne vaaditaan ilmastaselvityksen tekemisessä. Lisäksi päästötietokantojen ja tietomallinnusohjelmistojen välisiä rajapintoja pitäisi kehittää niin, ettei rakennustuotteiden päästöker- toimien syöttäminen käsin jää tietomallintajan tehtäväksi, vaan päästökertoimet siirtyisivät ohjelmiin rajapintojen kautta.

Tietomallintaja olisi vastuussa suunnitelmansa oikeellisuudesta ja siitä, että mallissa käytetyt päästökertoimet on valittu oikein. Tietomalliin tuotu päästötieto pitää olla käsiteltävissä myöhemmin myös yhdistelmämallissa, jotta tiedon oikeellisuus on tarkistettavissa. Lisäksi tarvitaan selkeää rajausta eri rakennusosien päästötiedon tuottamisen vastuusta, jotta päällekkäisiltä laskennoilta vältytään erityisesti arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan välillä. Tämän jälkeen määräluettelot päästötietoineen kootaan yhteen IFC-yhdistelmämalliin, josta muodostuu rakennustuotteiden valmistuksen hiilijalanjälki.



Kuva 3. LCA-laskenta natiivimallissa

Menetelmän etuna on, että suunnitelmien muuttuessa päästötiedot muuttuvat samalla. Määrälaskennan ja päästötiedon virhemarginaalit taas riippuvat mallintajan osaamisesta, mikä on menetelmän haaste. Riskinä on suunnittelutyön paisuminen liian suureksi, ja yhteensovituksen onnistuminen. Skenaarion toteutuminen vaatii vielä kehitystä mm. rakennustuotteiden päästökertoimista ja niiden tuonnista malliin, sekä mallintajien osaamisen lisäämistä niin rakennustuotetasoisesta mallintamisesta kuin rakennustuotteiden päästökertoimista, ja skenaarion toteutuminen isossa mittakaavassa sijoittunee pidemmälle tulevaisuuteen.

## 4.3 Suunnitteluvaiheen LCA-laskenta päästölaskentaohjelmassa

Kunnes rakennustuotteiden päästökertoimet saadaan tietomallinnusohjelmiin, tietomalleja tullaan hyödyntämään määräluetteloiden generoinnissa. Rakennustuotteiden määrälaskenta suoritetaan yhdistelmämallista, kuten IFC-mallista tai pilvipalvelun tarjoamasta mallista, jonka jälkeen määräluettelo syötettäisiin päästölaskentaohjelmaan (tai laskentaa jatkettaisiin taulukkolaskentana). Tämä edellyttää mallinnuksen ohjaamista, joko tietomallikoordinaattorilta tai pääsuunnittelijalta myös LCA-laskennan vaatimuksien edellyttämällä tasolla.

Yksi vaatimus on yksiselitteinen nimeäminen objekteille, jotta ne ovat tarkasteltavissa. Varsinkin loppuvaiheessa tehtävässä laskennassa nimeämistä voisi tehdä esimerkiksi tuotevalmistajien omilla määrittelyillä, jotta heidän EPD:t olisi yhdistettävissä tietomallin objekteihin. Toinen vaihtoehto olisi esimerkiksi hyödyntää rakennustuotteiden nimeämisessä GTIN-koodia, jolloin niin tuotevalmistajat, suunnittelijat kuin urakoitsijat työmaalla pystyvät yhdistämään tuotteen ja sen sisältämät tuotetiedot.

Toimintamalli siirtää vastuuta suunnittelutaholta kolmannelle osapuolelle ja tällä tavoin myös jakaa riskejä laajemmin. Skenaarion etuna on, että yhden yhteisen mallin käsittely, jolloin tieto pysyy yhdessä paikassa ja kokonaisuuksia on helpompi hallita. Skenaario on myös linjassa rakentamislain kanssa ja soveltuisi digitaaliseen

lupaprosessiin. Skenaario vaatii kuitenkin kehitystä yhdistelmämallia käsittelevältä ohjelmistolta, jotta oleellinen tieto pysyy tallessa siirryttäessä natiivimallista yhdistelmämalliin. Ohjelmistojen on pystyttävä generoimaan myös hyvin yksityiskohtaista tietoa, sillä eri mallien tyyppityksien tarkkuustasossa saattaa esiintyä vaihtelevuutta, koska suunnittelijoilla ei välttämättä ole tarpeeksi tietämystä riittävästä tuotteiden määrittelyn tasosta.



Kuva 4. LCA-laskenta päästölaskentaohjelmassa

Riskeinä skenaariossa on määrätiedon luotettavuus ja sen tulkinta, sillä LCA-laskijalla ei välttämättä ole rakennusteknistä tietämystä, jotta hän osaisi suhtautua saataviin määriin kriittisesti löytäekseen virheitä. Tämä lisää valvonnan vastuuta, ellei LCA-laskijalta tulla jatkossa vaatimaan pätevyyttä. Toisaalta rakennusvalvonnan toiminnan automatisointia kehitetään RAVA3Pro-hankkeessa. Skenaario on kuitenkin kolmesta esitetyistä lähimpänä nykytilannetta ja voi toteutua lähitulevaisuudessa.

## 4.4 Yhteenveto

Rakennuslupavaiheessa tulee esittää rakennuksen ilmastaselvitys ja tietomalli, käytännössä arkkitehdin IFC. Rakennuksen valmistuttua rakennusvalvonnalle on myös toimittava rakennuksen toteumamalli ja toteuman ilmastaselvitys. Kuntien rakennusvalvonnan sähköisen lupaprosessin ja prosessien automatisoinnin kehityshankkeessa (RAVA3Pro) tuotetaan kansallista IFC-mallien ja rakennusvalvonnan käyttötapauksen tietosisältömäärittelyä. Kuitenkin rakentamislain asetustyö on vielä kesken, ja toteutuksen lopullinen muoto selviää vasta, kun säädösten ilmaistaan, mitä tietoa rakennusvalvontaan tulee toimittaa ja mihin tietoa käytetään.

Rakennusvalvontojen kehityssuunnan takia on todennäköistä, että tietomallien hyödyntäminen LCA-laskennassa tulee tapahtumaan nimenomaan IFC-muotoisen yhdistelmämallin kautta. Jotta tietomalleja pystytään hyödyntämään LCA-laskennassa, seuraavan ketjun tulee toimia:

1. Tietomallivaatimukset lainsäädännöllisellä tasolla ovat kaikille selvät ja samat

2. Tietomallinnus tilataan rakennustuotetasolla, jotta mallista saataisiin rakennustuotetasoista tietoa materiaalien määräluettelon luomiseksi ja LCA-laskennan toteuttamiseen

3. Tietomallinnusta ohjataan LCA-laskennan näkökulmasta

4. Tietomallikoordinaattoreilla on osaamista rakennusten päästöistä tai koordinaattorin tukena toimii LCA-asiantuntija

5. IFC-malleja luotaessa ominaisuustiedot välittyvät oikein natiivimalleista

Kun LCA-laskentaa pyritään tekemään jo natiivimalleista, myös seuraavat ketjun osat tarvitaan:

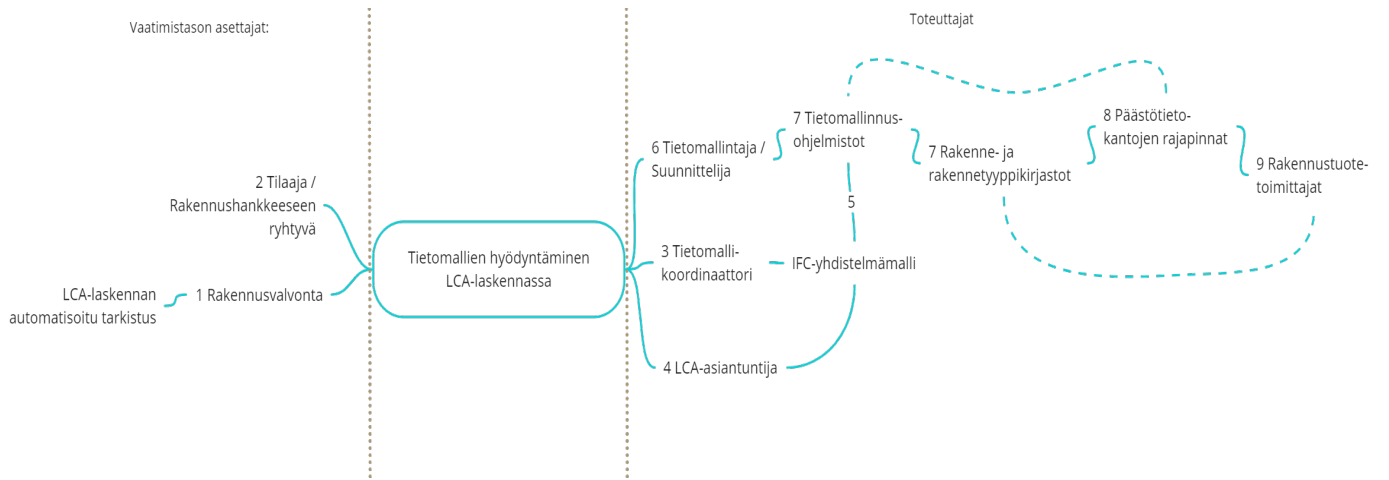
6. Tietomallintajilla on osaamista rakennustuotteiden päästökertoimista tai mallintajien tukena on LCA-asiantuntija

7. Tietomallinnusohjelmistot sekä rakenne- ja rakennetyypikirjastot sisältävät rakennustuotteiden päästökertoimet

8. Päästötietokannoissa olevat rakennustuotteiden geneeriset ja/tai tuotekohtaiset päästökertoimet välittyvät tietomallinnusohjelmistoihin ja/tai rakenne- ja rakennetyypikirjastoihin oikein

9. Rakennustuotetoimittajat tuottavat tuotteidensa päästökertoimia

Kuvassa 5 on esitetty yllä esitetty ketju. Vasemmalla ovat tietomallinnuksen vaatimustason asettajat ja oikealla tietomallien hyödyntämisen onnistumisen toteuttajat. Katkoviivalla on esitetty rakennustuotteiden päästökertoimien vaihtoehtoisia siirtymiä tietomalliin. Suurempi kuva on esitetty liitteessä 2



Kuva 5. Tietomallien hyödyntämisen ketju



## 5 Johtopäätökset

Tällä hetkellä alalla on tapahtumassa paljon kehitystä. Kehitysprojektit ja uudistukset tuovat tietomallinnukseen ja LCA-laskentaan uusia vaatimuksia ja mahdollisuuksia, ja nämä todennäköisesti edistävät myös selvityksissä esiin tulleiden haasteiden ratkaisemista. Digitalisoituminen ei ole rakennusalalla uusi asia, mutta koneluettavassa muodossa olevia tietoja ei pystytä vielä tehokkaasti hyödyntämään.

### 5.1 Suositukset

Esitetyt tulevaisuuden skenaariot vaativat kehitystä toteutuakseen. Tällä hetkellä LCA-laskennan tarpeita ei välttämättä osata huomioida hankkeen alussa tai suunnittelussa. Tiedon lisääminen LCA-laskennan periaatteista ja alan kouluttaminen laajasti edistäisi tietämystä mm. tietomallinnuksen vaatimuksista, jotta mallia voidaan hyödyntää. Lisäksi suunnittelua ohjaavan tahon, suunnitelmia tarkastelevan tahon ja LCA-asiantuntijan tulisi jatkossa hyödyntää toistensa osaamista. Tällöin esimerkiksi LCA-laskennan vaatimukset tulevat paremmin huomioituiksi ja päällekkäisen työn määrä vähenisi.

Tietomallia on pystyttävä jatkossa hyödyntämään tehokkaasti, joten mallinnuksen taso ja vaatimukset pitää kehittää yhdenmukaisiksi. LCA-laskenta on tehokkainta suorittaa lähtökohtaisesti arkkitehtien suunnitelmien avulla, joten arkkitehtien tietomallit on tuotava sille tasolle, että sieltä on mahdollista saada tarvittava tieto käytettäväksi. Tiedon käytettävyyden yksi edellytys on yhtenäinen nimeäminen, jotta objektit ovat tunnistettavissa. Yhtenäinen nimeäminen edistää myös päästötiedon ja objektin yhdistämistä. Päästökertoimia saa tällä hetkellä erilaisista lähteistä ja uusia rajapintoja ollaan kehittämässä. Rajapintojen toimivuus ja tiedon yksiselitteinen muoto on kuitenkin varmistettava, jotta eri rajapinnoista voi tuoda tiedon samalla tavalla käyttöön. Päästötietojen kokoaminen yhden rajapinnan taakse voisi olla ideaaliratkaisu, mutta on haastavasti toteutettavissa.

Luvussa 4 esitetyt skenaariot eivät ole toisiaan poissulkevia vaan tukevat toisiaan hankkeen eri vaiheissa. Skenaario 1 edistää hankesuunnitelman alussa hiilijalanjäljen ohjattavuutta ja on suuntaa antava arvio päästömääristä. Skenaariot 2 ja 3 toimivat niin rakennuslupavaiheen kuin toteutusvaiheen päästölaskennassa.

## 5.2 Lisäselvitystarpeet

Selvityksen aihealue on hyvin laaja ja siksi automatisoidun LCA-laskentaprosessin tueksi tullaan vaatimaan vielä lisätutkimuksia. Selvityksen kautta tunnistettuihin lisäselvityksen tarpeisiin kuuluu ainakin EPD-selosteiden tulosten siirtäminen eri ohjelmistoihin hyödynnettäväksi. EPD-selosteiden laajuus ja laskentatavat sekä tulosten esittäminen ovat riippuvaisia esimerkiksi siitä, minkälainen tuote on kyseessä. Jotta päästötiedot olisivat helpommin verrattavissa myös esimerkiksi eri ohjelmistoissa, tulisi EPD-selosteiden laatimista kehittää yhteneväisemmäksi alkaen standardien tasolta.

Eryteisesti skenaarioiden 2 ja 3 toteutusta voisi koestaa pilottihankkeen avulla. Pilottihankkeen avulla voitaisiin tarkentaa skenaarioiden edellytyksiä ja selvittää ohjelmistojen yksityiskohtaisempia kehityksen tarpeita automatisoidumman laskennan edistämiseksi.

Algoritmiavusteisen suunnittelun edut ovat tunnistettavissa suurina tietomääriä käsiteltäessä. Hyödyllistä voisi olla tutkia, tarjoaako algoritmiavusteinen suunnittelu standardointimahdollisuuksia päästötiedon tuomiseen, jotta tiedon siirtäminen olisi helpommin kaikkien saavutettavissa.

Selvityksessä ei oteta kantaa ohjattavuuteen. Tutkimuksessa on kuitenkin käynyt ilmi, että tietomallinnuksen lisääminen ja osaamisen kasvaminen tuo myös uusia keinoja päästömäärän ohjaamiseen. Ohjattavuuden keinoja tulisi siis tutkia lisää.

Tämän selvityksen aikana mm. asetus ilmastaselvityksestä ja aiheeseen liittyvä sää-dösohjaus ovat vielä kesken. Skenaarioita tulisi jatkaa ja tarkentaa, kun valtion tuomat suuntaviivat ovat selvillä ja kehitysprojektien tuloksia on enemmän saatavilla.

# Lähteet

[1] SFS-EN 15804:2012 + A2:2019, Kestävä rakentaminen. Rakennustuotetiedon ympäristöselosteet. laadinnan yleissäännöt

[2] Solibri (2022), BIM ja Tietomallit rakentamisessa, <https://www.solibri.com/fi/ajankoh-taista/bim-ja-tietomallit-rakentamisessa>

[3] 751/2023, Rakentamislaki, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alku/2023/20230751?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=751%2F2023>

[4] Ympäristöministeriö (6/2021), Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2021, LUONNOS LAUSUNTOKIERROSTA VARTEN, [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEWjPneLJkfOBAXUIHBAIHXEeCwkQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.lausuntopal-velu.fi%2FFI%2FProposal%2FDownloadProposalAttachment%3FproposalId%3D0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d%26attachmentId%3D15860&usq=AOvVaw3eAbeQsiS-dUe\\_qwTbH4Eau&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEWjPneLJkfOBAXUIHBAIHXEeCwkQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.lausuntopal-velu.fi%2FFI%2FProposal%2FDownloadProposalAttachment%3FproposalId%3D0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d%26attachmentId%3D15860&usq=AOvVaw3eAbeQsiS-dUe_qwTbH4Eau&opi=89978449)

[5] Rava 3 Pro, <http://www.rava3pro.fi/>

[6] Ryhti, Tietomallit ja rakentamisen luvitus, <https://ryhti.syke.fi/rakentaminen/tietomallimuotoi-nen-luvitus/>

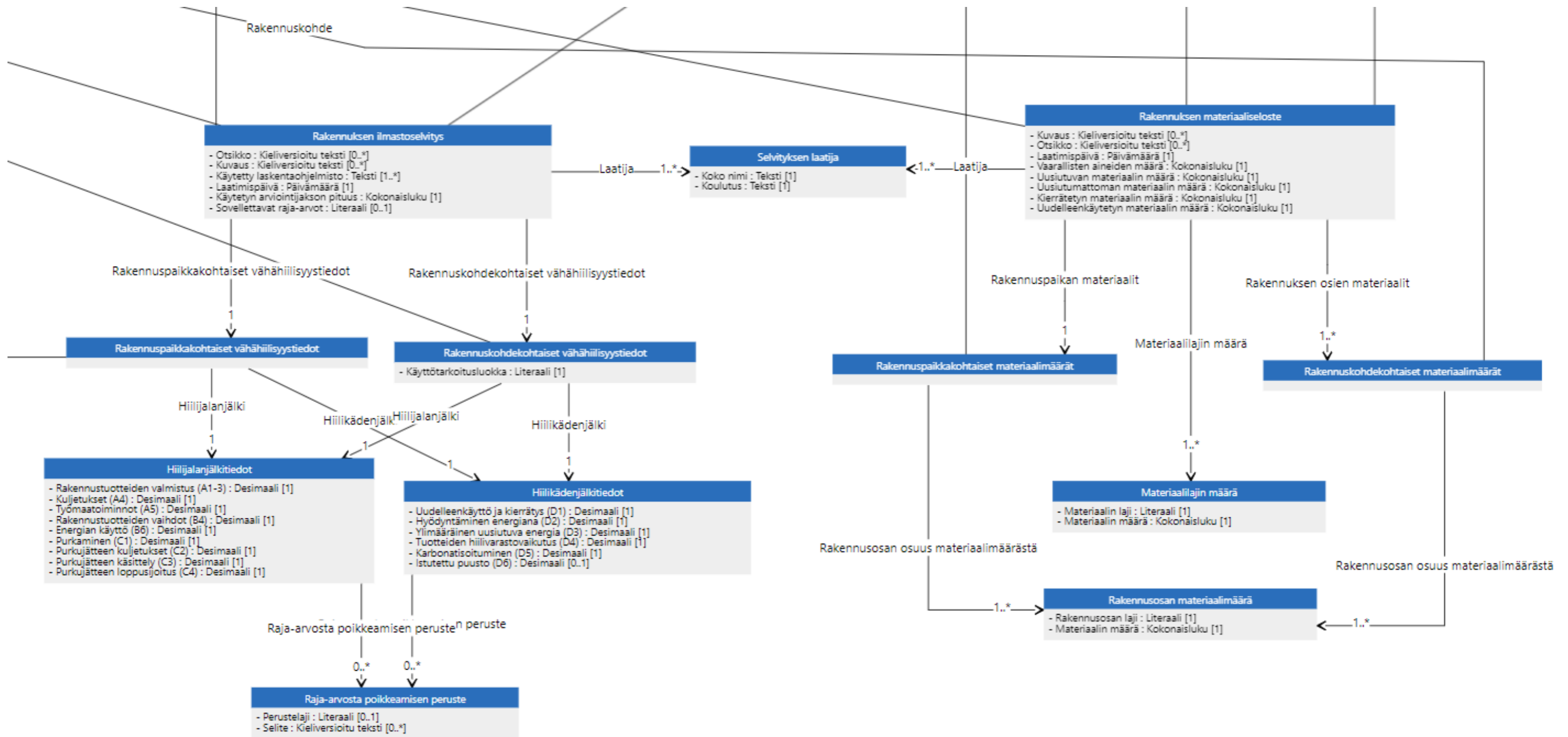
[7] Ympäristöministeriö (2023), Rakentamislupapäätös, <https://tietomallit.suomi.fi/mo-del/raklupa/>

[8] BuildingSmart Finland, YTV – Yleiset tietomallivaatimukset 2012, [https://wiki.buildingsmart.fi/fi/04\\_Julkaisut\\_ja\\_Standardit/YTV](https://wiki.buildingsmart.fi/fi/04_Julkaisut_ja_Standardit/YTV)

[9] Solibri (2023), Introducing Solibri Carbon Checker – Simplifying BIM carbon calculations for AEC industry, [https://www.solibri.com/news/introducing-solibri-carbon-checker?utm\\_campaign=In-product%20ad&utm\\_source=In-product-ad&utm\\_medium=In-product%20ad&utm\\_term=CarbonChecker](https://www.solibri.com/news/introducing-solibri-carbon-checker?utm_campaign=In-product%20ad&utm_source=In-product-ad&utm_medium=In-product%20ad&utm_term=CarbonChecker)

[10] One Click LCA, Life Cycle Assessment from Revit: potential and benefits, <https://www.oneclicklca.com/life-cycle-assessment-from-revit/>

LIITE 1. LCA-laskennasta toimitettavat tiedot rakentamislupapäätöksen soveltamisprofiilissa



Liite 2. Tietomallien hyödyntämisen edellytykset LCA-laskennassa

