Tampereen yliopisto

Mika Antinluoma

TIETOMALLIPOHJAISEN PÄÄSTÖJEN ARVIOINNIN KEHITTÄMINEN TIEN SUUNNITTELUSSA

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Kalle Vaismaa
Tarkastaja: Pirjo Kuula
Syyskuu 2025

TIIVISTELMÄ

Mika Antinluoma: Tietomallipohjaisen päästöjen arvioinnin kehittäminen tien suunnittelussa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan DI-ohjelma
Syyskuu 2025

Suomi on asettanut tavoitteekseen olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä, mikä edellyttää merkittäviä päästövähennyksiä infrarakentamisessa. Tiehankkeiden päästöjen arviointi tapahtuu usein vasta suunnittelun loppuvaiheessa, jolloin mahdollisuudet vaikuttaa suunnitteluratkaisuihin ovat vähäiset. Tietomallipohjainen suunnittelu on nykypäivänä olennainen osa tiehankkeen suunnittelua koko suunnitteluprosessin ajan. Yksi mahdollinen tapa saada päästöjen arviointi paremmin osaksi suunnitteluprosessia on yhteensovittaa päästölaskenta osaksi mallipohjaista suunnittelua. Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää, miten tietomallia voidaan käyttää hyödyksi päästöjen arvioinnissa tiehankkeen suunnitteluprosessissa ja selvittää, miten tietomallipohjainen päästöjen arviointi tukee suunnittelun ohjausta. Työ on laadullinen tapaustutkimus, jossa aineisto on kerätty asiantuntijahaastatteluilla ja kokeellisella testaamisella. Tutkimuksen tapaustutkimuskohde on Väyläviraston hanke Vt6 Korian kohta.

Tutkimuksessa havaittiin, että tietomallien hyödyntämisellä päästölaskennassa voidaan tehostaa laskentaprosessia, vähentää virheitä ja mahdollistaa päästöjen parempi huomiointi suunnittelun alkuvaiheista alkaen. Kirjallisuuden avulla määritettiin neljä erilaista tapaa yhteensovittaa päästölaskenta ja tietomallintaminen Ne olivat mallipohjainen määräluettelo, IFC-siirtotiedosto, päästölaskenta-plugin ja päästötiedot suunnittelujärjestelmässä.

Mallipohjainen määräluettelo on käytännössä yksinkertaisin tapa yhdistää päästölaskenta ja mallipohjainen suunnittelu. Menetelmä perustuu mallipohjaisesta suunnitelmasta saatavaan määräluetteloon, joka viedään erilliseen päästölaskentaohjelmaan joko manuaalisesti tai automaattisesti siirtotiedoston avulla. Tapauskohteessa tehty nykyinen päästölaskenta muistuttaa tätä menetelmää. Menetelmän automatisoinnin haasteena on suunnittelujärjestelmän ja päästölaskentaohjelman eri tarkkuustaso rakenneosille.

IFC-siirtotiedosto mahdollistaa tietomallin siirron suunnittelujärjestelmästä päästölaskentaohjelmaan avoimessa ja standardoidussa muodossa. IFC-formaatin erona määräluetteloon on se, että sen mukana siirtyy kattavammin tietoa suunnitelmasta. Määräluettelossa siirtyvät tiedot ovat yleisesti vain rakenneosan tunniste- ja määrätiedot, kun taas IFC-tiedoston avulla saadaan siirrettyä tietoa rakenteen geometriasta ja rakenteen ominaisuuksista. IFC-formaatin etuna on tietojen säilyminen mallin sisällä yhtenäisesti, mutta infrarakentamisessa sen käyttö on vielä kehitteillä, erityisesti väylärakenteiden osalta. IFC-tiedosto toimii määräluetteloon verrattuna todennäköisesti paremmin siirtotiedostona, mutta sen käyttöönottamiseksi tullaan vaatimaan standardointia, jotta tiedot siirtyvät oikein halutulla tavalla.

Päästötiedot suunnittelujärjestelmässä tyyppisillä yhteensovituksilla mahdollistetaan päästöjen arviointi suunnitteluympäristössä, jolloin erillistä tiedonsiirtoa omaan päästölaskentaohjelmaan ei tarvita. Suunnittelujärjestelmässä tehtävä päästölaskenta on reaaliaikaista eli päästöt voidaan laskea välittömästi, kun suunnitelmaa muokataan. Toisaalta suunnittelujärjestelmässä päästölaskentaa on haastava tehdä yhtä kattavalla tasolla kuin erillisessä päästölaskentaohjelmassa. Menetelmä soveltuu parhaiten suunnittelun aikaiseen päästöjen arviointiin, kun taas kattavampi raportointi päästöistä on kannattavampi tehdä päästölaskentaan tarkoitetussa ohjelmassa.

Työ osoittaa, että tietomallipohjaisella päästöjen arvioinnilla voidaan tukea vähähiilisiä valintoja suunnittelun aikana, mutta sen hyödyntäminen vaatii edelleen menetelmien ja työkalujen kehittämistä.

Avainsanat: tietomallintaminen, päästölaskenta, elinkaariarviointi, infrarakentaminen, vähähiilisyys, tiehanke, suunnitteluprosessi, haastattelututkimus, tapaustutkimus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Mika Antinluoma: Development of BIM based emission assessment in road design
Master's thesis
Tampere University
Master's Programme in Civil Engineering
September 2025

Finland has set the target of becoming carbon neutral by 2035, which requires significant emission reductions in infrastructure construction. In road projects emissions assessments are usually done only in the final design stages, when the possibility to influence design decisions is more limited. In the present-day building information model (BIM) based design has become an important part of road project planning throughout the design process. One possible way to better integrate emissions assessment into the design process is to integrate it with BIM-based design practices. The aim of this thesis is to examine how BIM can be used to support emissions assessment during the design process of road projects, and how BIM based emissions assessment can help guide design decisions. The study is a qualitative case study, in which the research material was collected through expert interviews and experimental testing. The case study subject is the Finnish Transport Infrastructure Agency's project "Vt6 Korian kohta".

The study findings show that utilizing BIM based emissions assessment can make the calculation process more efficient, reduce errors, and enable earlier consideration of emissions during planning. Based on the literature, four different methods for integrating emissions assessment with BIM were identified. They were BIM based bill of quantities, IFC transfer file, emissions assessment plugin, and emissions data within the design system.

The BIM-based bill of quantities is the simplest way to connect emissions assessment with BIM-based design. The method is based on exporting a quantity list from the design software and transferring it into a separate emissions calculation tool, which can be done either manually or automatically using a transfer file. The emissions assessment in the case "Vt6 Korian kohta" closely resembled this method. The challenge of automating this method is the difference in the level of detail between the design system and the emissions calculation software.

The IFC transfer file enables transferring the design model from the design software into the emissions calculation software in an open and standardized format. Compared to the bill of quantities method, the IFC format allows for a more comprehensive transfer of data, including geometric and property information of structural elements. While the IFC format keeps data consistent within the model, its use in infrastructure design especially for linear infrastructure structures is still under development. Effective use of IFC will require further standardization to ensure that the data is transferred accurately.

Embedding emissions data in the design system enables emissions assessment directly within the design environment, which eliminates the need for data transfer to a separate emissions calculation software. Emissions calculation is done in real time as the design is updated. However, such methods are often less comprehensive than those conducted using dedicated emissions calculation software. Therefore, this method is best suited for early-stage assessment, while the more comprehensive emissions reporting is done in a dedicated emissions calculation software.

This thesis demonstrates that BIM based emissions assessment has potential to support low carbon decision making during the design of road infrastructure, but its utilization requires more development of methods and tools.

Keywords: building information modelling, life cycle assessment, infrastructure, road design, interview, case study

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

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei
☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: ChatGPT 4o

Käyttötarkoitus: Tiivistelmän kääntäminen englanniksi ja oikeinkirjoitus

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Tiivistelmä - Abstract

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tietomallintamisen ja päästölaskennan yhteensovittamisesta toteutettiin Väyläviraston toimeksiannosta yhteistyössä Destia Oy:n kanssa. Aihe oli hyvin mielenkiintoinen ja ajankohtainen, sekä opin siihen liittyen paljon uutta. Väylävirastosta työtä on ohjannut Marion Schenkwein ja Karoliina Saarniaho. Destian puolelta työtä on ollut ohjaamassa Marja-Terttu Sikiö, Ville Suntio ja Paavo Koukku. Haluan kiittää koko ohjausryhmää työn ohjauksesta ja hyvistä kommenteista koko tutkimustyön ajan.

Haluan kiittää yliopiston ohjaajia Kalle Vaismaata ja Pirjo Kuulaa työn ohjaamisesta, tarkastamisesta, sekä hyvistä neuvoista diplomityöprosessin aikana. Lisäksi kiitokset kaikille tutkimuksen haastatteluihin osallistuneille, sekä muille, jotka ovat antaneet omaa näkemystään työtä varten. Kiitos myös niille kaikille läheisille, jotka ovat tukeneet ja kannustaneet minua läpi opiskelun ja diplomityöprosessin.

Tampereella 25.9.2025

Mika Antinluoma

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO ... 1
1.1 Tutkimuksen tausta ... 1
1.2 Tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät ... 2
1.3 Tutkimuksen rajaus ... 5
2. VÄHÄHIILISEN TIEHANKKEEN SUUNNITTELU ... 6
2.1 Tiehankkeen suunnitteluvaiheet ... 6
2.2 Tietomallintaminen ... 7
2.2.1 Mallipohjainen suunnittelu ... 7
2.2.2 Tiedonsiirtoformaatit ... 9
2.2.3 Mallipohjainen määrälaskenta ... 11
2.3 Tiehankkeen päästöt ... 11
2.3.1 Rakennusmateriaalit ... 12
2.3.2 Kuljetusmatkat ... 14
2.3.3 Rakennusmenetelmät ... 15
2.4 Elinkaariarviointi infrarakentamisessa ... 16
2.5 Päästöjen arviointi tiehankkeessa ... 21
3. PÄÄSTÖJEN ARVIOINTI MALLIPOHJAISESTI ... 26
3.1 Tietomallintamisen hyödyntäminen päästölaskennassa ... 26
3.2 Tietomallintamisen ja päästölaskennan yhteensovitusmenetelmät ... 27
3.2.1 Mallipohjainen määräluettelo ... 28
3.2.2 IFC-siirtotiedosto ... 30
3.2.3 Päästölaskenta-plugin ... 32
3.2.4 Päästötiedot suunnittelujärjestelmässä ... 33
3.2.5 Menetelmien vertailu ... 34
4. HAASTATTELUT ... 35
4.1 Päästölaskennan ja mallintaminen nykytila ... 37
4.2 Päästöt ja suunnittelunohjaus ... 42
4.3 Päästöjen arvioinnin ja mallintamisen yhteensovitus ... 46
4.4 Haastatteluiden yhteenveto ... 49
5. TAPAUSTUTKIMUSKOHDE JA TEORIAN TESTAAMINEN ... 51
5.1 Tapauskohde ... 51
5.2 Kokeellinen osuus ... 55
5.2.1 Siirtotiedosto ... 56
5.2.2 Päästötiedot ja IFC-malli ... 61
5.2.3 Päästölaskenta suunnittelujärjestelmässä ... 66
6. PÄÄSTÖJEN ARVIOINNIN KEHITTÄMINEN ... 75
6.1 Päästölaskennan prosessi ... 75
6.2 Päästöt suunnittelunohjauksessa ... 76
6.3 Päästöjen arviointi mallipohjaisesti ... 77

7. YHTEENVETO 83
LÄHTEET 85
LIITE 1 - HAASTATELTAVAT 89
LIITE 2 - HAASTATTELUKYSYMYKSET 90

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Suomi on asettanut tavoitteeksi olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä (Ilmastolaki 423/2022). Tavoitteen saavuttamiseksi vaaditaan merkittäviä päästövähennyksiä. Suomen kansallisen ilmastolain mukaan päästövähennystavoitteet ovat -60 % vuoteen 2030 mennessä ja -80 % vuoteen 2040 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. Infrarakentaminen on merkittävä päästöjen lähde Suomessa, joten päästöjen arviointi ja vähentäminen infrahankkeissa on erityisen tärkeää ilmastotavoitteiden kannalta.

Infrahankkeen päästöjä voidaan arvioida päästölaskennan avulla. Päästölaskennalla on tärkeä rooli päästöjen vähentämisessä, sillä sen avulla voidaan tunnistaa miten päästöt jakautuvat hankkeessa, jolloin päästövähennystoimenpiteet voidaan kohdistaa päästöjen kannalta oleellisiin kohteisiin. Infrahankkeissa päästöt voidaan jakaa elinkaarivaiheittain rakentamisesta, käytöstä ja käytön jälkeisistä toiminnoista aiheutuviin päästöihin (SFS-EN 15643:2021). Infrahankkeen päästölaskentaa varten tarvitaan tietoa hanke- tai rakennusosien määristä, rakennusmateriaaleista, kuljetusmatkoista ja muista päästöihin vaikuttavista tekijöistä. Laskentaa voidaan tehdä käyttäen keskimääräisiä päästökertoimia tai tuotekohtaisista EPD-selosteista saatavien päästökertoimien avulla (Kinnunen et al. 2023).

Päästölaskentaa tehdään joko päästölaskentaohjelmistoja käyttäen tai taulukkolaskentaohjelmistolla. Päästölaskentaohjelmistoon syötetään määrätietoa hankkeelta, jonka jälkeen ohjelma linkittää määrätietoon päästökertoimen ja antaa tulokseksi päästötiedon. Päästölaskenta sisältää paljon manuaalista tietojen syöttämistä, mikä tekee laskennasta hidasta ja altista virheille ja väärinkäsityksille. Aiemmissa tutkimuksissa tietomallin hyödyntämistä päästölaskennassa on ehdotettu yhtenä tapana tehostaa päästölaskentaa ja visualisoida sen tuloksia (Kinnunen et al. 2023, van Eldik et al. 2020). Suunnittelujärjestelmän tietomallia käytetään jo nykyisin päästölaskentaa varten tehtävässä rakennusosien määrälaskennassa, mutta määrätiedot pitää siirtää suunnittelujärjestelmästä manuaalisesti päästölaskentaohjelmistoon. Kirjallisuudessa on esitetty erilaisia tapoja hyödyntää tietomallia päästölaskennassa. Esimerkiksi edistyneemmällä mallipohjaisella päästölaskennalla päästöt voitaisiin laskea tietomallin perusteella suunnittelujärjestelmässä (Wastiels & Decuypere 2019).

Päästölaskentaa tehdään yleensä vasta infrahankkeen suunnittelun loppuvaiheissa, jolloin suunnitteluratkaisut ovat jo päätetty. Tällöin mahdollisuudet vaikuttaa päästöihin ovat vähäiset. Mitä aikaisemmassa vaiheessa päästönäkökulma voidaan ottaa huomioon, sitä paremmin infrahankkeen päästöihin voidaan vaikuttaa. Toisaalta päästölaskentaa varten tarvitaan paljon tietoa hankkeesta, mitä ei välttämättä ole saatavilla vielä hankkeen alkuvaiheissa. Päästölaskennan tulosten tarkkuus paranee hankkeen edetessä, kun suunnitelmat tarkentuvat.

Päästölaskennan ja tietomallintamisen yhteensovittamista on tutkittu enemmän talorakentamisen kuin infrarakentamisen näkökulmasta. Talonrakennusalalla tietomallien hyödyntäminen päästölaskennassa vaikuttaa olevan kehittyneempää ja suurin osa aiheeseen liittyvistä tutkimuksista käsittelee aihetta talonrakentamisen näkökulmasta (Kinnunen et al. 2023, Palumbo et al. 2020). Infrarakentaminen on ominaisuuksiltaan erilaista talonrakentamiseen verrattuna, joten talonrakennusalaan liittyvien tutkimuksien johtopäätöksiä ei voida suoraan hyödyntää infrarakentamisessa. Infrarakenteiden näkökulmasta aiheeseen löytyy silti tutkimusta (Hussain et al. 2023, van Eldik et al. 2020).

1.2 Tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät

Tutkimusongelmaksi on tunnistettu päästöjen arvioinnin painottuminen suunnittelun loppuvaiheeseen, jolloin vaikutusmahdollisuuksia suunnitteluratkaisuihin ei juurikaan enää ole. Infrahankkeiden suunnittelu tehdään tietomallipohjaisesti, joten kytkemällä päästöjen arvioiminen mallipohjaiseen suunnitteluun, päästöt voitaisiin ottaa paremmin huomioon infrahankkeen suunnitteluvaiheissa. Tietomallipohjaisella päästölaskennalla voisi olla mahdollista vähentää laskentaan liittyvää manuaalista tiedonsiirtoa, jolloin laskentaprosessia voitaisiin nopeuttaa ja käsin syöttöön liittyviä virheitä voitaisiin vähentää. Päästöjen arviointi olisi tällöin helpompi sisällyttää suunnitteluun alusta lähtien, kun laskenta vaatii vähemmän työtä. Lisäksi tietomallin avulla voisi olla mahdollista visualisoida päästöjen jakautumista rakenneosien ja elinkaaren vaiheiden välillä, mitä voitaisiin käyttää apuna suunnittelun ohjauksessa.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää, kuinka suunnitteluprosessin aikaista tietomallipohjaista päästöjen arviointia voidaan kehittää ja kuinka sitä voidaan hyödyntää suunnittelun aikaisessa päästöjen arvioinnissa. Työssä selvitetään, millä tavoilla tietomalleja voidaan hyödyntää päästöjen arvioinnissa ja millaisia lähtötietoja ja kehitystoimenpiteitä tietomallien hyödyntäminen päästöjen arvioinnissa vaatii. Työn tutkimuskysymys ja sitä tukevat apukysymykset valittiin näiden tietojen pohjalta seuraaviksi:

Työn tutkimuskysymys

Miten suunnitteluprosessin aikaista tietomallipohjaista päästöjen arviointia voidaan kehittää tiehankkeessa?

Tutkimuskysymyksen apukysymykset

Mikä on nykyisin tehtävän päästölaskennan prosessi ja haasteet?

Miten mallipohjainen päästöjen arviointi tukee suunnittelun ohjausta?

Mitä vaaditaan, että päästölaskentaa voidaan tehdä mallipohjaisesti?

Tämä diplomityö on tyypiltään kvalitatiivinen tutkimus. Kvalitatiivinen tutkimus eli laadullinen tutkimus on tutkimusote, jonka avulla analysoidaan tutkittavan kohteen ominaisuuksia ja laatua. Laadullisen tutkimuksen vastaparina pidetään kvantitatiivista tutkimusta eli määrällistä tutkimusta, joka perustuu tutkittavan kohteen analysointiin tilastojen ja numeroiden avulla. Lähestymistavaksi valittiin kvalitatiivinen tutkimus, sillä tutkimuksen yhtenä tavoitteena on luoda ymmärrystä aiheesta. Aiheesta löytyy kansainvälisesti tehtyä tutkimusta, mutta Suomessa aihetta ei ole tutkittu infrarakentamisen näkökulmasta. Tutkimuksessa käytettiin laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelminä haastatteluja ja kokeellista testaamista. Työn teoreettinen viitekehys luotiin kirjallisuusselvityksellä.

Tässä työssä käytetään tutkimusstrategiana tapaustutkimusta. Tapaustutkimuksessa pyritään tutkimaan syvällisesti yhtä tai muutamaa kohdetta tai ilmiötä tarkastelemalla (Jyväskylän yliopisto 2025). Tässä työssä tapaustutkimusta käytetään päästölaskennan ja mallintamisen nykytilan määrittämiseen, jolloin tapaustutkimus on tyypiltään välineellinen tapaustutkimus. Tällöin tapauskohdetta käytetään välineellisenä työkaluna, jonka avulla pyritään ymmärtämään laajemmin tutkittua ilmiötä (Eriksson & Koistinen 2014). Työn tapaustutkimuskohteena käytetään yhtä infrahanketta, josta käytetään poikkileikkausasetelmaa. Poikkileikkausasetelmassa tapauskohdetta tarkastellaan tietyssä pisteessä ajallisesti (Vuori 2021). Tässä työssä tapauskohde kuvaa hankkeen toteutusajankohdan mukaista päästölaskennan prosessia infrahankkeessa, joten tapauskohdetta valittaessa hankkeen tulisi olla mahdollisimman ajankohtainen.

Työn tapauskohteena käytetään Väyläviraston hanketta Vt6 Korian kohta. Hanke on urakkamuodoltaan suunnittele ja toteuta urakka (STk), joka sisältää kehitysvaiheen. Hankkeen rakentaminen on tutkimuksen aikaan käynnissä ja se valmistuu vuoden 2025 aikana. Hankkeella on tehty päästölaskentaa sen tie- ja rakentamissuunnittelun aikana ja sen suunnittelu on toteutettu mallipohjaisesti. Tämän takia hanke soveltuu hyvin ta-

paustutkimuskohteeksi työtä varten. Päästölaskenta on kehittyvä prosessi, joten käyttämällä Korian kohdan hanketta tapaustutkimuksen aineistona, saadaan tuoreinta tietoa päästölaskennan nykytilasta.

Tapauskohdetta käytetään tässä tutkimuksessa nykyisen mallipohjaisen suunnittelun ja päästölaskennan analysoinnissa. Tapauskohteen analysoinnin avulla pyritään selvittämään mallipohjaisen suunnittelun ja päästölaskennan yhteensovituksen haasteita ja tunnistamaan mahdollisia kehityskohteita. Analysoinnin lisäksi tapauskohdetta käytetään tutkimuksessa testausalustana kirjallisuudesta saadun teorian testaamiseen. Tällöin teoriaosuudessa tunnistettuja menetelmiä ja käytäntöjä voidaan testata todellisessa toimintaympäristössä ja samalla saadaan syvennettyä ymmärrystä päästölaskennan ja tietomallintamisen yhteensovituksen toimivuudesta käytännössä.

Työn kirjallisuusosiossa kerrotaan työhön liittyvästä teoriasta ja aiheeseen liittyvistä tutkimuksista. Työn luvussa 2 keskitytään perusteoriaan, joka liittyy päästölaskentaan, mallipohjaiseen suunnitteluun ja infrarakentamisen päästöihin. Luvussa 3 selvitetään kirjallisuuden avulla päästöjen arvioinnin ja mallintamisen yhteensovittamista. Olemassa olevista tutkimuksista kiinnostaa erityisesti päästölaskennan ja tietomallinnuksen yhteensovituksesta kertovat tutkimukset. Suomessa päästölaskennan ja tietomallintamisen yhteensovitukseen liittyvää tutkimusta löytyy vähän, joten lähes kaikki kirjallisuudesta haettu teoria pohjautuu kansainvälisiin tutkimuksiin. Kirjallisuusselvityksen aineistoa haettiin pääosin Tampereen yliopiston Andor-tiedonhakupalvelusta sekä Google Scholar- ja Scopus-tiedonhakupalveluista.

Tutkimuksessa tehtiin puolistrukturoituja teemahaastatteluja, joiden avulla kerättiin tietoa aiheeseen liittyvistä käytännöistä ja haasteista. Puolistrukturoitu haastattelumenetelmä valittiin sen takia, että haastatteluiden runko pysyy johdonmukaisena, mutta haastateltavat saavat vastata mahdollisimman laajasti oman tietämyksen mukaan (Hirsijärvi & Hurme 2022). Teemahaastattelussa aihepiirit ovat ennakkoon määritelty ja samat kaikille, mutta kysymysten järjestyksessä voidaan poiketa (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Haastattelujen analyysi tehtiin teemoittelulla, jossa haastatteluaineisto ryhmitellään ja analysoidaan teemoittain. Teemoittelu on yksi laadullisen tutkimuksen tapa analysoida tutkimusaineistoa ja sen avulla aineistosta haetaan keskeisiä asiakokonaisuuksia ja usein esiintyviä piirteitä (Juhila 2021). Teemoittelulla saatuja teemoja ei tule sekoittaa teemahaastattelun aihepiireihin, koska haastattelun aihepiirit voivat olla eri kuin analyysin avulla saadut teemat (Hirsijärvi & Hurme 2022).

Haastateltaviksi tutkimusta varten valittiin ensisijaisesti asiantuntijoita, joilla on tietoa tai kokemusta päästölaskennasta, tietomallintamisesta, infrasuunnittelusta ja niihin liittyvistä käytännöistä ja ohjelmistoista. Infra-alalla päästölaskenta ja mallintaminen ovat vielä melko erillään olevia konsepteja, joten harvalla asiantuntijalla on hyvä tietämys molemmista aiheista. Haastatteluja varten oli riittävää, että haastateltava oli yhden tietyn aihepiirin asiantuntija. Haastatteluita varten valittiin myös eri taustaisia infra-alan henkilöitä eli haastateltavien joukossa on suunnittelija, tilaaja ja urakointitaustaisia henkilöitä. Näin aiheesta pyritään saamaan mahdollisimman kattava tietämys.

Tätä työtä varten haastatteluiden toteutustavaksi valittiin ryhmähaastattelut, sillä se koettiin paremmaksi toteutustavaksi. Haastattelut haluttiin pitää keskustelunomaisena tilaisuutena, jossa haastateltavat voivat vapaasti tuoda ajatuksiaan aiheisiin liittyen. Ryhmähaastattelussa haastateltavat voivat täydentää muiden vastauksia, jolloin aiheesta voidaan saada tarkempi tietämys. Ryhmähaastattelut vaativat enemmän aikatauluttamista, joten osa haastatteluista pidettiin yksilöhaastatteluina.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Elinkaariarviointi ja päästöjen arviointi voi sisältää muidenkin päästöjen arviointia kuin ilmastoa lämmittävien päästöjen arviointia. Tässä työssä tutkitaan päästöistä vain ilmastopäästöjä, joten työssä puhuttaessa päästöistä viitataan ilmastopäästöihin. Ilmastopäätöt koostuvat hiilidioksidin lisäksi muista kasvihuonekaasuista, jotka aiheuttavat ilmaston lämpenemistä.

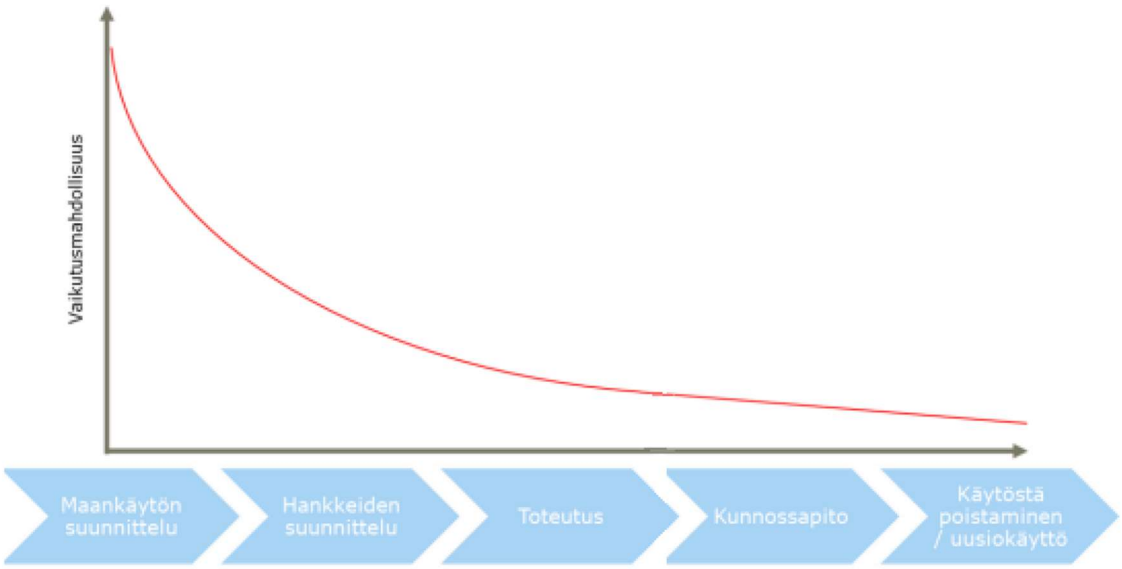
Väylävirasto on määrittänyt infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmässään, että hankkeista arvioidaan standardin EN 17472:2022 mukaisista elinkaarivaiheista ainakin rakennustuotteiden (A1-A3), kuljetusten (A4), työkoneiden (A5) ja uusimisien (B4) päästöt (Väylävirasto 2023a). Työssä rajataan tutkittavat elinkaarivaiheet koskemaan näitä vaiheita ja ensisijaisesti vaiheita A1-A5. Vaiheille A1-A5 löytyy nykyisin parhaiten olemassa olevaan päästötietoa, joten niiden tutkiminen mallintamisen näkökulmasta on helpointa.

Työssä tutkitaan tietomallipohjaista päästöjen arviointia tiehankkeiden ja suunnittelun näkökulmasta. Teoriaosuutta varten tietoa voidaan hakea muiltakin rakentamisen osa-alueilta, jotta saadaan kattava ymmärrys tietomallipohjaisesta päästölaskennasta.

2. VÄHÄHIILISEN TIEHANKKEEN SUUNNITTELU

2.1 Tiehankkeen suunnitteluvaiheet

Tiehankkeen suunnittelu on vaiheittain etenevä prosessi, joka sisältää useita eri suunnitteluvaiheita. Suunnitelmien tarkkuustaso tarkentuu suunnitteluvaiheiden edetessä. Suunnitteluprosessi voidaan jakaa neljään vaiheeseen, jotka ovat esiselvitys, yleissuunnittelu, tiesuunnittelu ja rakentamissuunnittelu. Vaiheita on myös mahdollista yhdistää tai jättää pois riippuen suunnittelukohteesta. Tiehankkeen aikana vaikutusmahdollisuudet suunnitteluratkaisuihin ovat suurimmat suunnittelun alussa. Suunnittelun edetessä mahdollisuudet vaikuttaa suunnitteluratkaisuihin pienenevät. Kuvassa 1 on esitelty vaikutusmahdollisuudet tiehankkeen edetessä. (Väylävirasto 2023b)



Kuva 1. *Vaikutusmahdollisuudet suunnitteluratkaisuihin (UUMA3 2023)*

Esiselvityksessä selvitetään tiehankkeen tarvetta ja ajoitusta. Tarkoitus on myös selvittää hankkeen kustannuksia ja vaikutuksia, jonka pohjalta voidaan tehdä päätös hankkeen edistämisestä ja muun suunnittelun aloittamisesta. Esiselvitykset voivat olla tyypiltään erilaisia. Esimerkiksi esiselvityksessä voidaan tutkia uuden hankkeen tarvetta, tai millaisia toimenpiteitä tai kehittämistarpeita olemassa olevalla kohteella on. Esiselvitys tehdään maakuntakaavan ja yleiskaavan tarkkuustasolla. (Väylävirasto 2023b)

Yleissuunnittelu vastaa tarkkuustasoltaan yleiskaava- tai asemakaavatasoista maankäytön suunnittelua. Siinä suunnitellaan tien likimääräinen sijainti ja tien liikenteelliset ja tekniset perusratkaisut. Yleissuunnittelun aikana tehdään ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA), jos sellainen on vaadittu. (Väylävirasto 2023b)

Tiesuunnittelun aikana ratkaistaan tien tarkka sijainti ja yksityiskohtaiset ratkaisut. Tiesuunnitelma vaatii hyväksymispäätöksen. Päätös antaa tienpitäjälle oikeuden ottaa haltuun tietä varten tarvittava alue. Tämän takia tiesuunnittelun aikana tulee ratkaista ne tekijät, jotka vaikuttavat maanomistajiin. Esimerkiksi tien linjaus ja pitkälti myös tasaus joudutaan määrittämään melko tarkalla tasolla tiesuunnitelmassa. (Väylävirasto 2023b)

Rakentamissuunnittelun tehtävänä on tuottaa rakentamista varten tarvittavat suunnitelmat ja asiakirjat. Rakentamissuunnittelussa tulee siis tuottaa lopulliset suunnitelma-asiakirjat, joiden perusteella rakentaminen voidaan toteuttaa. Rakentamissuunnitteluun aikana tien geometriaan vaikuttaviin suunnitteluratkaisuihin ei yleensä tehdä enää muutoksia. (Väylävirasto 2023b)

2.2 Tietomallintaminen

Rakennuksen tietomalli on digitaalinen tietojen kokonaisuus rakennuskohteesta (Volk et al. 2014). Sen avulla tuotetaan ja hallitaan rakennuksen elinkaareen liittyvää tietoa kolmiulotteisessa tietomallissa (Kaewunruen et al. 2020). Infrahankkeissa käytettävää tietomallia kutsutaan yleensä inframalliksi (Väylävirasto 2022b). Se on infrahankkeen kolmiulotteinen digitaalinen esitys, joka sisältää tietoa infrahankkeen geometriasta ja sen ominaisuuksista. Käytännössä tietomalli koostuu yleensä objekteista, joihin on tallennettu tietoa ominaisuuksista ja niiden suhteista muihin objekteihin.

Tietomalleista voidaan käyttää eri nimityksiä, niiden käyttötarkoituksen ja suunnitelmavaiheen perusteella. Suunnitelmamalli on mallimuotoinen esitys suunnitteluratkaisuista. Suunnitteluvaiheen mukaan voidaan puhua myös tarkemmin tiesuunnitelmamallista tai rakennussuunnitelmamallista. Mallit voidaan jakaa tekniikkalajien perusteella osamalleihin tai kaikkien tekniikkalajien tiedot voi olla yhdistettynä samaan yhdistelmämalliin. Toteutusmalli on rakentamisen toteutuksessa käytettävä malli, joka perustuu tarkastettuun ja hyväksyttyyn rakennussuunnitelmamalliin. Toteumamalli esittää rakenteen tai järjestelmän toteutunutta muotoa. (Väylävirasto 2022b)

2.2.1 Mallipohjainen suunnittelu

Mallipohjaisen suunnittelun avulla tuetaan suunnittelun laatua, tiedon hallintaa ja tiedon siirtymistä suunnitteluprosessin aikana. Tiedon uudelleenkäytettävyys on tärkeää suunnittelun aikana, sillä suunnittelu on vaiheittain tarkentuvaa. Mallipohjaisen suunnittelun tavoitteet ja hyödyt vaihtelevat suunnitteluvaiheittain (Väylävirasto 2022b).

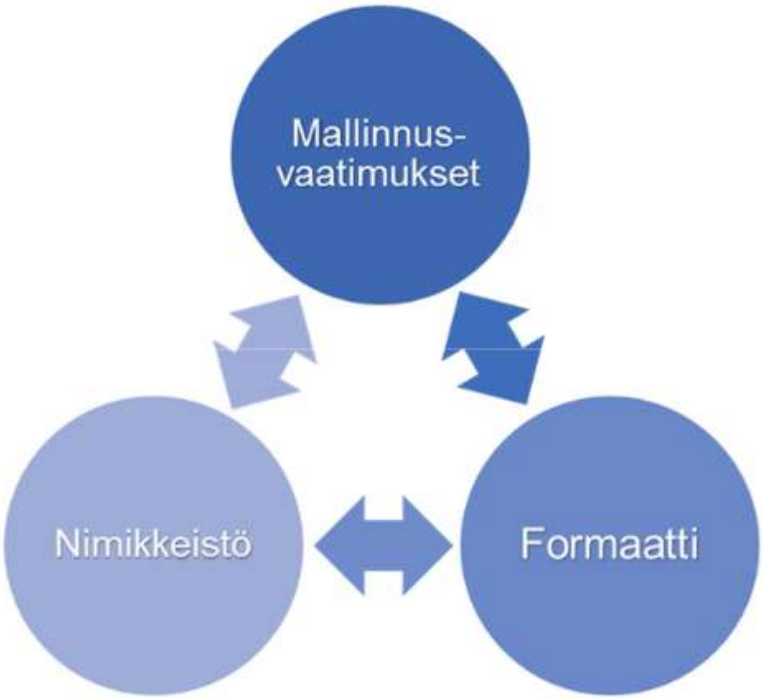
Esisuunnitteluvaiheessa mallintamisella ei saavuteta merkittäviä hyötyä, joten mallinnus on vähäistä esisuunnittelun aikana. Yleissuunnittelusta alkaen mallintamisesta saadaan

enemmän hyötyjä, jolloin mallintamisessa korostuu suunnitelmavaihtoehtojen havainnollistaminen ja visualisointi. Visualisoinnin avulla luodaan ymmärrettävyyttä ja vuorovaikutusta osapuolten kesken. Yleissuunnitelmassa mallinnettavia asioita ovat väylän ja merkittävien muiden rakenteiden vaaka- ja pystygeometria, joiden avulla voidaan arvioida väylän toteuttamiskelpoisuutta, väylän tilavarausta, sovitusta ympäristöön ja alustavaa rakentamisen massataloutta. (Väylävirasto 2022b)

Tiesuunnitelmavaiheen aikana mallintamisen avulla varmistetaan aluevarausten ja suunnitelmien yhteensopivuus. Lisäksi tiesuunnittelun aikaisessa mallinnuksessa tutkitaan eri tekniikkalajien yhteensovitusta ja suunnitteluratkaisujen toteutuskelpoisuutta. Tiesuunnitelmamallia käytetään yhä yleissuunnitelmamallin tapaan suunnitelmavaihtoehtojen havainnollistamisessa ja visualisoinnissa, mutta tiesuunnittelun aikana suunnitelmamallia pystytään käyttämään paremmin hyödyksi kustannusten ja vaikutusten arviointiin. Tämä edellyttää, että suunnitelmamallin geometria ja ominaisuustiedot ovat mallinnettu sopivalla tarkkuudella. (Väylävirasto 2022b)

Rakentamissuunnittelun tavoitteena on tarkentaa suunnitelmamalli sellaiselle tasolle, että mallinnettava kohde voidaan toteuttaa sen avulla. Suunnitelma-aineisto toimii urakkakyselyn lähtökohtana ja rakentamisasiakirjana. Rakentamissuunnittelun aikana mallintamisen avulla varmistetaan suunnitelmien yhteensopivuus ja tarkennetaan tekniset yksityiskohdat. (Väylävirasto 2022b)

Mallipohjaisen infrasuunnittelun tiedonhallinta koostuu kolmesta tekijästä, jotka ovat mallinnusvaatimukset, nimikkeistö ja formaatti. Ne muodostavat tiedonhallinnan kolmikannan, joka on esitetty kuvassa 2. Infrarakenteiden mallintamista ohjataan yleiset inframallivaatimukset-ohjeiston eli YIV avulla. Sen tavoitteena on ohjata, yhdenmukaistaa ja kehittää mallinnuskäytäntöjä infra-alalla ja kattaa infrahankkeen koko elinkaari. YIV perustuu alan tämänhetkisiin parhaimmiksi koettuihin käytäntöihin. Se koostuu yleisestä tekstistä, ohjeista ja vaatimuksista. Vaatimukset sisältävät vähimmäisvaatimukset mallintamiselle ja mallien tietosisällölle. Ohjeet eivät ole välttämättömiä vaatimuksia, mutta ne antavat suositeltuja ohjaavia käytäntöjä mallintamiselle. (buildingSMART Finland 2019a)



Kuva 2. *Inframallintamisen tiedonhallinnan kolmikanta (BuildingSMART Finland 2019a)*

InfraBIM-nimikkeistön avulla luodaan yhteinen infrarakenteiden ja inframallien numerointi ja nimeämiskäytäntö. InfraBIM perustuu Infra-rakennusosanimikkeistöön. InfraBIM-nimikkeistön käyttäminen on yleensä ehdoton vaatimus inframallintamisessa. Yhtenäisen nimeämiskäytännön avulla luodaan yhteinen käsitys terminologiasta, jolloin pystytään vähentämään väärinkäsityksiä. (buildingSMART Finland 2019a)

2.2.2 Tiedonsiirtoformaatit

Tietomallin tieto voi olla tallennettuna erityyppisissä tiedonsiirtoformaateissa. Tiedonsiirtoformaatti on tietokoneen sovelluksilla tulkittava muoto tiedon tallentamiseen, saantiin ja siirtoon. Mallinnusohjelmassa tieto on yleensä ohjelman omassa natiiviformaatissaan, joka on tietokoneohjelman oma tallennusmuoto. Tiedonsiirto mallinnusohjelmien välillä saattaa aiheuttaa haasteita ja tiedon katoamista. Avoimia tiedonsiirtoformaatteja käyttämällä tiedonsiirrosta voidaan tehdä mahdollisimman sujuvaa ohjelmistojen välillä. Lisäksi luovutettava malliaineisto tulee usein toimittaa avoimessa tiedonsiirtoformaatissa. Avoimia tiedonsiirtoformaatteja, joita käytetään inframallien käsittelyssä ovat esimerkiksi LandXML, Inframodel ja IFC. (buildingSMART Finland 2019a)

Suunnittelun aikana malleja työstetään suunnittelujärjestelmien omissa natiiviformaateissa. Suunnittelujärjestelmän pitää tukea avoimia tiedonsiirtoformaatteja, jotta tieto voidaan toimittaa hankkeen muille osapuolille tai siirtää toiseen suunnittelujärjestelmään.

Natiiviformaatin tietosisältö on yleensä laajempi kuin avoimen tiedonsiirtoformaatin ja natiiviformaatin muunnoksessa avoimeen formaattiin tapahtuu usein tiedon häviämistä. Natiiviformaatin hyödyntämiseen tai muuntamiseen toiseen tiedostomuotoon tarvitaan yleensä sama ohjelma, jolla tiedot on tallennettu natiiviformaattiin. Kaikkia rakennusosia ei ole mahdollista tallentaa avoimiin tiedonsiirtoformaatteihin, jolloin osa suunnitelma-aineistosta joudutaan luovuttamaan yleisissä tiedonsiirronformaateissa kuten dwg-formaatissa. (buildingSMART Finland 2019a)

Inframodel

Inframodel on Suomen infra-alalla yleisessä käytössä oleva LandXML-standardiin perustuva avoin tiedonsiirtoformaatti, jonka avulla voidaan siirtää tietoa infrarakenteen geometriasta ja ominaisuuksista (buildingSMART Finland 2019b). LandXML on kansainvälisesti maanrakentamisessa käytettävä XML-pohjainen tiedonsiirtoformaatti, jonka avulla voidaan tallentaa ja siirtää suunnitelma- ja mittausdataa (Kim, 2024). Inframodel on Suomessa kehitetty ja sitä käytetään laajasti Suomen infra-alalla suunnitteluohjelmissa, mittausohjelmissa ja koneohjaussovelluksissa (buildingSMART Finland 2019b).

Inframodel tiedosto koostuu objekteista, jotka voivat olla pisteitä, viivoja, geometrioita tai kolmioituja pintamalleja. Inframodel on XML-formaatin tapaan tekstimuotoinen eli sitä on mahdollista muokata tekstinmuokkausohjelmalla, mutta tiedoston muokkaus on suositeltavaa tehdä suunnitteluohjelmassa. Inframodelin avulla voidaan myös siirtää LandXML-standardin sallimalla tavalla sellaista tietoa, mitä LandXML-formaatissa ei ole mahdollista siirtää, esimerkiksi kohteiden nimikkeisiin liittyvää tietoa. Viimeisin versio formaatista on Inframodel4-versio. Formaattia kehitetään yhä ja sen tietosisältöä tullaan laajentamaan seuraavissa versioissa. (buildingSMART Finland 2019b)

IFC – Industry Foundation Class

IFC eli Industry Foundation Class on buildingSMART Internationalin kehittämä ja hallinoima kansainvälinen avoin tiedonsiirron standardi, jota käytetään rakennusalalla tietomallien tallentamiseen ja tiedonsiirtoon. IFC-standardi on julkaistu kansainvälisenä ISO-standardina, joka on ISO 16739-1. IFC on yleisesti käytössä Suomessa talonrakennusalalla ja infrahankkeiden taitorakenteissa tiedonsiirron formaattina, mutta väylärakenteissa käytetään vielä LandXML-pohjaista Inframodel formaattia. Tulevaisuudessa IFC:tä olisi myös tarkoitus käyttää väylärakenteiden tiedonsiirrossa. (buildingSMART Finland 2019a)

IFC-standardin viimeisin versio on IFC 4.3 (Trimble 2024). Se toi merkittävän laajennuksen infrahankkeiden mallintamiseen, jonka myötä IFC soveltuu paremmin myös infrahankkeiden mallintamiseen. Esimerkiksi IFC 4.3-versioin lisättiin 63 uutta entiteettiä ja 294 uutta ennalta määriteltyä tyyppiä väylähankkeiden kuvaamiseen (Trimble 2024).

2.2.3 Mallipohjainen määrälaskenta

Tietomallia voidaan hyödyntää määrälaskennan tekemisessä. Määrälaskennan avulla määritetään rakennushankkeeseen tarvittavat materiaalit ja työsuoritukset. Niiden avulla voidaan arvioida hankkeen kustannuksia ja päästöjä. Laskentaa voidaan tehdä hankeosa- tai rakennusosatarkkuudella. Hankeosatarkkuudella tehtävä laskenta sopii hankkeen aikaisissa vaiheissa tehtävään määrälaskentaan. Rakennusosalaskentaa varten tarvitaan tarkempaa tietoa hankkeen rakenneosista, jolloin laskenta sopii paremmin myöhäisempiin suunnitteluvaiheisiin, jolloin suunnitelmat ovat tarkempia.

Esi- tarve- ja yleissuunnitteluvaiheessa määrälaskentaa tehdään hankeosatarkkuudella ja laskenta perustuu usein ainakin osittain ilman suunnitelmaa tehtäviin asiantuntija-arvioihin. Tiesuunnitteluvaiheessa määrälaskennan tavoitteena on, että lähes kaikki määrätiedot ovat määritelty rakennusosalaskennan tarkkuustasolla, jolloin kustannusarvio voidaan tehdä perustuen rakennusosalaskentaan. Rakennussuunnitelman kustannusarvion tarkoituksena on arvioida rakentamisen kustannukset luotettavasti ja suunnitelmien valmistuessa kaikki määrät olisi laskettu rakennusosatarkkuudella. (buildingSMART Finland 2019a)

Tietomallintamisen yhtenä hyötynä on nopeampi ja tarkempi määrä- ja massatiedon tuottaminen. Mallipohjainen suunnitelma on perinteistä karttoihin, pituusleikkauksiin ja poikkileikkauksiin perustuvaa suunnitelmaa havainnollisempi, jolloin määrätiedon oikeellisuus voidaan varmistaa helpommin. Tehokkaamman määrälaskennan avulla suunnittelijat ja urakoitsijat voivat keskittyä enemmän työsuoritusten ja suunnitelmavaihtoehtojen optimointiin. Mallipohjaista määrälaskentaa voidaan hyödyntää esi- ja tarveselvityksestä lähtien, vaikka mallien hyödyntäminen laskennassa alkaa yleensä vasta yleissuunnitteluvaiheessa. Toisaalta määrälaskennan tekeminen mallipohjaisesti vaatii tiettyä mallinnustarkkuutta, joten aikaisissa suunnitteluvaiheissa määrälaskennan tekeminen mallipohjaisesti ei ole välttämättä kannattavaa. (buildingSMART Finland 2019a)

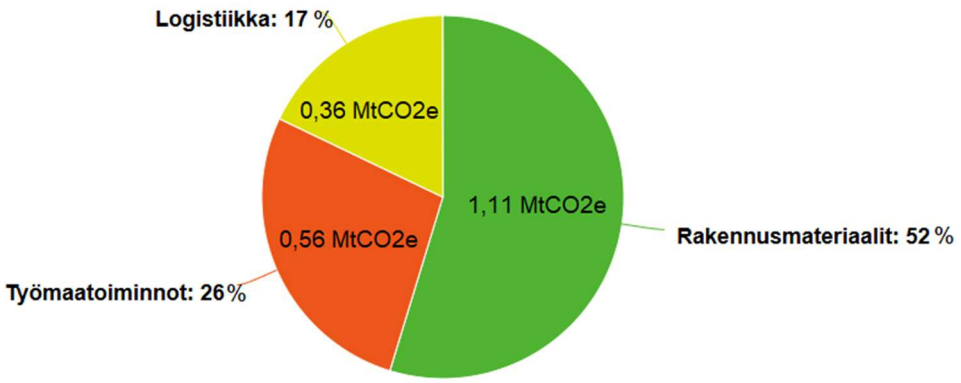
2.3 Tiehankkeen päästöt

Tiehankkeessa päästöjä syntyy sen rakentamisen, käytön ja käytöstä poistamisen aikana. Tämän takia tarkasteltaessa tiehankkeen päästöjä, pitää sen koko elinkaari ottaa

huomioon. Tiehankkeen elinkaari alkaa raaka-aineiden hankinnasta ja päättyy rakenteiden purkamiseen ja käytöstä poistoon.

Tiehankkeen ilmastovaikutuksia voidaan kuvata hiilijalanjäljellä, joka on määrällinen mittari ilmastopäästöille. Hiilijalanjälki ilmoitetaan yleensä hiilidioksidiekvivalenttina massana. Yksikkö voi tällöin olla esimerkiksi kilogramma hiilidioksidiekvivalenttia (kg CO2e) tai tonni hiilidioksidiekvivalenttia (t CO2e) riippuen päästöjen suuruusluokasta. Hiilijalanjälkeen on laskettu yleensä muitakin kasvihuonepäästöjä kuin hiilidioksidi (UUMA3, 2020). Tällöin muut kasvihuonepäästöt pitää muuttaa hiilidioksidiekvivalenttiin muotoon, jotta ne voidaan ottaa huomioon hiilijalanjäljessä. Ilmastolle positiivisia vaikutuksia voidaan kuvata hiilikädenjäljen avulla (Malabadi Eberhardt et al. 2024). Sen yksikkönä käytetään hiilijalanjäljen tapaan hiilidioksidiekvivalenttia. Rakennushankkeessa sen avulla kuvataan hankkeen elinkaaren aikana muodostuvat päästövähennykset, jotka saavutetaan hankkeen rakentamisen myötä.

Infrarakentamisen päästöille on pyritty muodostamaan erilaisia arvioita. Laine et al. (2024) on arvioinut infrarakentamisen hiilijalanjäljen olleen Suomessa vuonna 2021 2,14 MtCO2e, josta rakennusmateriaalien osuus oli 52 %, työmaatoimintojen osuus 26 % ja logistiikan osuus 17 % (Laine et al. 2024). Hämäläinen (2022) on arvioinut kuljetusten ja työmaatoimintojen osuuden kaikista Suomen rakennustoiminnan päästöistä olevan noin 1,1 MtCO2e, joka on noin neljännes kaikesta rakennustoiminnan päästöistä (Hämäläinen 2022). Kuvassa 3 on esitettynä infrarakentamisen päästöt ja niiden jakautuminen.



Kuva 3. *Laine et al. 2024 arvio infrarakentamisen päästöistä*

2.3.1 Rakennusmateriaalit

Tiehankkeessa käytettäviä materiaaleja ovat kiviainekset, betoni, teräs ja asfaltti, jotka yleensä aiheuttavat suurimman osan materiaalien tuotannon päästöistä. Näistä materiaaleista etenkin teräksen, sekä betonin raaka-aineena käytettävän sementin valmistus

on päästöintensiivistä. Betonin, asfaltin ja kiviaineksen suhteellisen suuri osuus tiehankkeiden päästöistä johtuu niiden isoista käyttömääristä. Toisaalta betonin ja teräksen käyttöön vaikuttaa taitorakenteiden, kuten siltojen tai paalulaattojen määrä hankkeella. (Green building council 2021)

Taulukossa 1 on esitelty tyypillisten infrarakentamisen materiaalien keskimääräisiä päästökertoimia. Kalliomurskeen päästökerroin on selvästi pienempi kuin muiden materiaalien päästökertoimet, mutta sen osuus kokonaispäästöistä korostuu sen suurissa käyttömäärissä ja kuljetuksissa. Kuljetuksen päästöihin vaikuttaa kaluston kuormausaste ja ajopaikka, eli onko kyseessä maantieajo vai katuajo (CO2data 2025).

Taulukko 1. *Tyypillisiä infrarakentamisen materiaalien päästökertoimia (CO2data 2025)*

Materiaali	Päästökerroin
Valmisbetoni C30	0.048 – 0.13 kgCO2e/kg
Sementti	0.435 – 0.745 kgCO2e/kg
Asfaltti AB	0.047 kgCO2e/kg
Kalliomurske, KaM 0/63	0.006 kgCO2e/kg

Infrahankkeen materiaaleista aiheutuvien päästöjen vähentämiseen on olemassa useita eri keinoja. Vähähiiliset materiaalivalinnat ovat yksi keino vähentää materiaalin tuotannosta syntyviä päästöjä. Esimerkiksi betoni- ja terästeollisuus ovat kehittäneet tuotteistaan vähähiilisempiä vaihtoehtoja (Tompuri 2024). Betonille on kehitetty vapaaehtoinen kansallinen BY-vähähiilisyysluokitus, jonka avulla betonilaadut voidaan luokitella hiilidioksidipäästöjen perusteella viiteen eri vähähiilisyysluokkaan. BY-luokituksessa betonin päästöjä verrataan referenssitasoon, joka on keskimääräinen päästötaso tietylle betonilaadulle. Esimerkiksi GWP.85 vähähiilisyysluokitus betonilla tarkoittaa, että betonin päästöt ovat enintään 85 % referenssitason päästöistä. (Suomen betoniyhdistys 2024)

Perinteisiä rakennustuotteita on mahdollista korvata vähähiilisemmillä uusiomateriaaleilla. Uusiomateriaaleja saadaan esimerkiksi teollisuuden prosesseista, purkujätteenä tai käytöstä poistetuista tuotteista. Uusiomateriaaleilla voidaan korvata luonnonmateriaaleja tierakenteissa ja pohjanvahvistuksissa esimerkiksi betonimurskeella, energiantuotannon tuhkilla tai käytöstä poistetuista autonrenkaista valmistetulla rengasleikkeellä. Rakeiset uusiomateriaalit voivat olla teknisiltä ominaisuuksiltaan erilaisia kuin korvattavat vastaavan rakeiset luonnonkiviainekset. Eroja voi olla materiaalin kiintotiheydessä,

sitoutumiskyvyssä, routimisherkkyydessä, paisumisalttiudessa ja lämmöneristyskyvyssä, joten niiden tekninen soveltuvuus tulee tarkistaa ennen niiden käyttämistä (Väylävirasto 2022a).

Jäteperäisten uusiomateriaalien käyttöön tarvitaan lähtökohtaisesti ympäristölupa. Uusiomateriaalien hyödyntämistä maarakentamisessa on pyritty edistämään MARA-asetuksen avulla, joka on valtioneuvoston asetus 843/2017. Asetuksen avulla joitakin uusiomateriaaleja voidaan käyttää ilman ympäristölupaa ja pelkkä ilmoitus uusiomateriaalin hyödyntämisestä riittää (VNa 843/2017). MARA-asetuksessa on säädetty materiaali- ja käyttökohdekohtaisesti, että milloin pelkkä ilmoitus uusiomateriaalin käytöstä on riittävä. Uusiomateriaalien käytössä tulee silti varmistaa, että materiaali on teknisesti soveltuvat käyttökohteeseen (Väylävirasto 2022a).

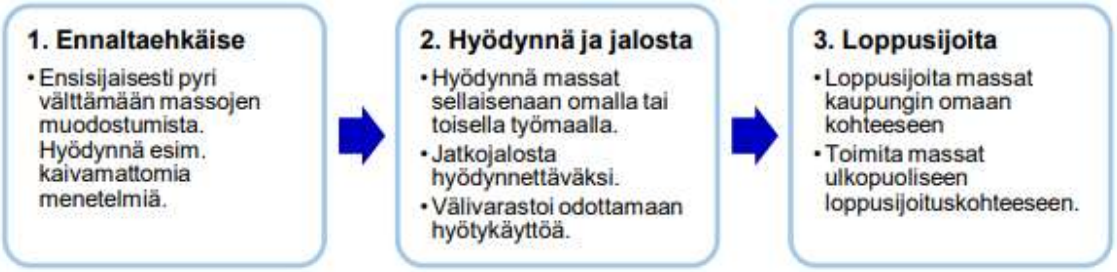
Päästöjen kannalta materiaalivalinnoissa tulee ottaa huomioon infrahankkeen koko elinkaari, sillä materiaalivalinnoilla voi olla vaikutuksia päästöihin myös muissa elinkaarenvaiheissa kuin materiaalin valmistamisessa. Esimerkiksi kulutusta kestävämpi asfaltti vaatii vähemmän uudelleenpäällystyksiä, jolloin myös päästöjä syntyy vähemmän pitemmällä aikavälillä (Rodriguez-Alloza & Garrain 2025).

2.3.2 Kuljetusmatkat

Infrahankkeissa kuljetusmatkat koostuvat rakennusmateriaalin kuljettamisesta työmaalle ja ylijäämämassojen siirtämisestä. Kuljetusmatkojen optimointi on yksi tapa vähentää infrahankkeen päästöjä. Kuljetuksista aiheutuvien päästöjen vähentämisen kannalta rakennusmateriaalit pitäisi saada mahdollisimman läheltä työmaata ja ylijäämämassat pitäisi saada hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. Massakoordinaatio on maa- ja kiviainesten hallintaa, jonka avulla tunnistetaan rakennushankkeessa tarvittavat ja syntyvät massat. Suunnitelmallinen massakoordinaatio on yksi merkittävä keino vähentää infrahankkeen päästöjä, etenkin kuljetuksista syntyviä päästöjä (Helsingin kaupunki 2024). Onnistuneen massakoordinaation varmistamiseksi isoilla kaupungeilla on erikseen omia massakoordinaattoreita, joiden tehtävänä on kerätä tietoa syntyvistä massoista ja mahdollisista hyödyntämiskohteista (UUMA4 2023).

Kuvassa 4 on esitetty massojen hallinnan hierarkia ympäristön kannalta. Massojen hallinnassa ensisijaisesti pyritään välttämään ylijäämämassojen muodostumista. Jos massoja syntyy, niin ne pyritään hyödyntämään sellaisenaan samalla työmaalla tai toisella lähellä olevalla työmaalla. Tiehankkeissa ylijäämämassoja voidaan hyödyntää pengerrysmateriaalina tai luiskatäytöissä. Lisäksi ylijäämämassoja voidaan käyttää tiehank-

keessa meluvallien rakentamiseen tai maisemointiin, mikäli massat eivät sovellu pengertäyttöihin (Väylävirasto 2021a) Hankkeen rakentamisen aikaan on hyvä ottaa huomioon muut lähellä olevat rakennushankkeet, joilta voidaan saada hyödynnettäviä maamassoja tai joissa ylijäämämaat on mahdollista hyödyntää. Massoja voidaan tarvittaessa jatkojalostaa paremmin hyödynnettäväksi tai ne voidaan välivarastoida odottamaan hyötykäyttöä. Viimeisin vaihtoehto massojen hallinnalla on massojen loppusijoitus. (Helsingin kaupunki 2024)

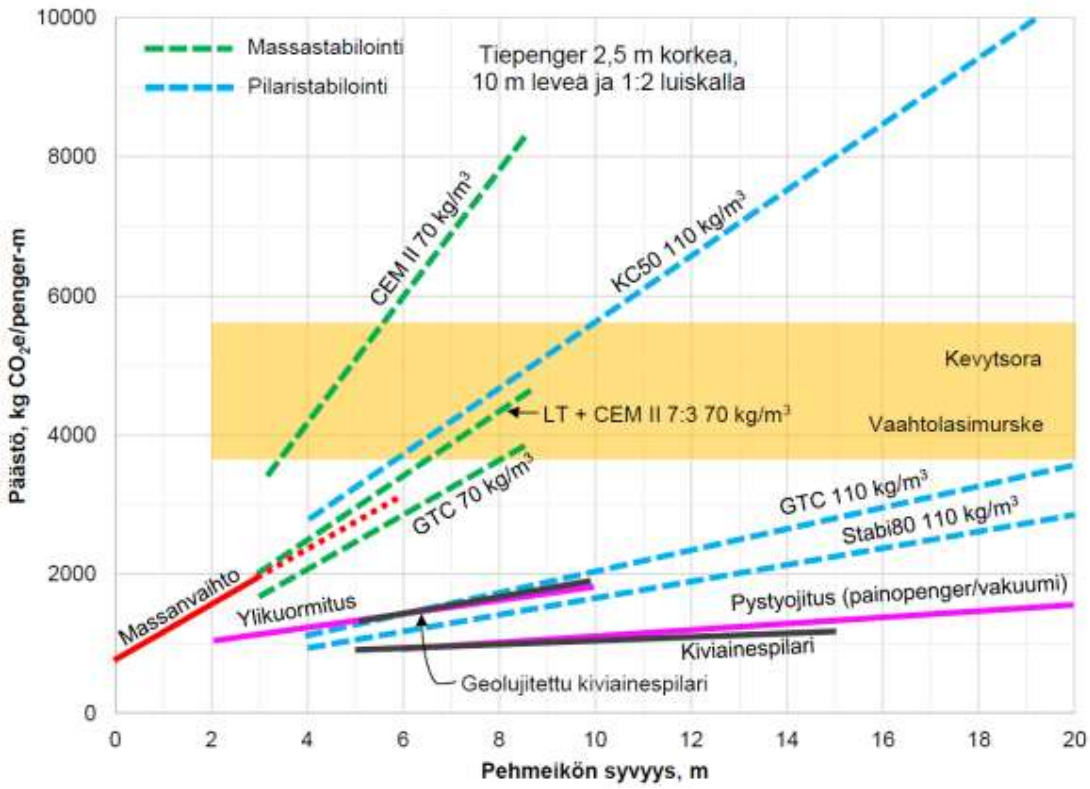


Kuva 4. *Massojen hallinnan hierarkia (Helsingin kaupunki, 2024)*

Kuljetusmatkoja voidaan vähentää pyrkimällä mahdollisimman hyvään massatasapainoon maa- ja kallioleikkausten sekä täyttöjen kanssa. Tien tasaus ja linjaus määrittää pitkälti massojen syntymisen ja tarpeet, joten niiden suunnittelulla voidaan vaikuttaa merkitsevästi massojen hallintaan. Lisäksi rakennusmateriaalien valinnalla on merkitys kuljetusmatkojen suhteen. Mitä kauempaa materiaalit tuodaan työmaalle, sitä enemmän syntyy päästöjä materiaalin kuljettamisesta.

2.3.3 Rakennusmenetelmät

Rakennusmenetelmien valinnalla voi olla suuri vaikutus hankkeen päästöihin. Pohjanvahvistukset ja pohjarakennusmenetelmät voivat olla merkittävä päästölähde infrahankkeella riippuen pohjaolosuhteista ja käytetystä pohjanvahvistusmenetelmästä, joten niiden valinnassa rakennusmenetelmien vertailu päästöjen kannalta on kannattavaa. Etenkin pehmeiköille tehtävässä pohjanvahvistuksessa menetelmän valinnalla voi olla suuri vaikutus päästöihin. Karkearakeisten maalajien pohjanvahvistusmenetelmät ovat ominaisuuksiltaan vähäpäästöisempiä kuin pehmeiköillä käytettävät menetelmät, joten päästöjen kannalta menetelmän valinta karkearakeisilla mailla ei ole yhtä merkitsevä. Pohjanvahvistusmenetelmän valintaan vaikuttaa menetelmän tekninen soveltuvuus ja rakentamisen aikataulu. Käytettäviin pohjanvahvistusmenetelmiin voidaan vaikuttaa suunnittelemalla tien linjaus kulkemaan mahdollisimman hyvissä pohjaolosuhteissa. (UUMA4 2023).



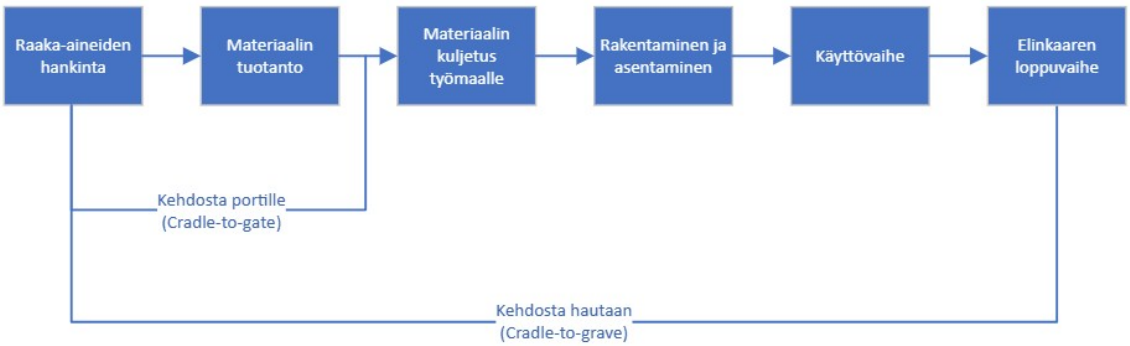
Kuva 5. *Pohjanvahvistus ja pohjanrakennusmenetelmien hiilidioksidipäästöjen vertailu (UUMA4 2023)*

Pehmeiköillä voidaan käyttää pohjanvahvistukseen pilari- ja massastabilointia, massanvaihtoa ja esi- ja ylikuormitusta. Kuvassa 5 on vertailtu pehmeiköllä käytettävien pohjanvahvistusmenetelmien päästövaikutuksia keskenään. Massanvaihto on päästövaikutusten kannalta paras ratkaisu, kun massanvaihdon kaivusyvyys on matala ja ylijäämämaat voidaan sijoittaa lähelle. Massanvaihdon päästöjä voidaan myös vähentää käyttämällä vähäpäästöisiä täyttömateriaaleja. Esi- tai ylikuormitus on vähäpäästöinen menetelmä, mutta sen rajoittavana tekijänä on pitkä esikuormitusaika. Esi- ja ylikuormituksessa kuljetusmatkoilla on suurempi merkitys päästöjen kannalta kuin muissa menetelmissä. (UUMA4 2023)

2.4 Elinkaariarviointi infrarakentamisessa

Elinkaariarviointi on menetelmä, jonka avulla arvioidaan tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia. Menetelmä on määritetty kansainvälisissä standardeissa ISO 14040 ja 14044. Elinkaariarviointia voidaan käyttää laajasti erilaisissa käyttökohteissa rakennuskohteiden lisäksi. Arviointi voidaan tehdä tuotteen tai palvelun koko elinkaarelle tai tietylle elinkaaren osalle. Yleisesti koko elinkaari koostuu raaka-aineiden hankinnasta ja tuotannosta, käytöstä ja käytöstä poistosta. Tästä koko elinkaaren kattavasta arvioinnista käytetään nimitystä kehdosta hautaan (cradle-to-grave). Muita arviointijaksoja on

esimerkiksi kehdosta portille (cradle-to-gate), jossa arvioidaan raaka-aineiden hankinnasta ja tuotannosta aiheutuvia vaikutuksia. Arviointijaksot ovat esitetty kuvassa 6. (SFS-EN ISO 14040:2006)



Kuva 6. *Elinkaaren arviointijaksot*

Elinkaariarvioinnissa tarkasteltavia ympäristövaikutuksia ovat esimerkiksi ilmastonmuutos, rehevöityminen, happamoituminen ja luonnonvarojen ehtyminen. Useita ympäristöluokkia sisältävän elinkaariarvioinnin tekeminen vaatii paljon lähtötietoja, joten arvioinnissa voidaan tehdä yksinkertaistuksia esimerkiksi vähentämällä arvioitavien ympäristöluokkien määriä tai rajaamalla arviointi koskemaan tiettyä osaa kohteen elinkaaresta. Hiilijalanjälki on yksinkertaistettu tapa tehdä elinkaariarviointi, jossa arvioidaan vain ilmastonmuutosluokkaa eli kasvihuonepäästöjä. (UUMA3 2023)

Elinkaariarvioinnissa arvioitavaa tuotetta tai palvelua käsitellään omana tuotejärjestelmänä. Tuotejärjestelmä sisältää useita yksikköprosesseja, joihin tulee ja lähtee perusvirtoja ja tuotevirtoja. Perus- ja tuotevirta ei siirry tuotejärjestelmän sisällä, vaan se tulee järjestelmään sen ulkopuolelta tai poistuu järjestelmästä. Tuotejärjestelmän prosessiin tuleva perusvirta on materiaalia tai energiaa, jota ihminen ei ole jalostanut. Järjestelmästä poistuva perusvirta on materiaalia tai energiaa, jota ihminen ei enää käsittele. Tuotevirta on tuotteita, jotka siirtyvät eri järjestelmien välillä. (SFS-EN ISO 14040:2006)

Tuotejärjestelmään syötettävä perusvirta voi olla esimerkiksi maaperässä oleva raaka-öljy ja järjestelmästä poistuva perusvirta voi olla esimerkiksi ilmastopäästöjä. Tuotevirta voi olla esimerkiksi kierrätettävät tuotteet, jotka voidaan uudelleen käyttää toisessa järjestelmässä. Tuotejärjestelmän sisällä siirtyvät tuotteet ovat välivalmisteita ja ne siirtyvät järjestelmän yksikköprosessien välillä. Järjestelmäraja määrittää, mitkä yksikköprosessit kuuluvat analysoitavaan tuotejärjestelmään. (SFS-EN ISO 14040:2006)

Esimerkiksi infrahankkeen elinkaariarvioinnin tapauksessa infrahanke käsitellään omana tuotejärjestelmänä. Hankkeelle tulee syötteenä perusvirtaa kuten raaka-aineita ja energiaa. Hankkeesta poistuu perusvirtana päästöjä ja rakennusjätettä. Hankkeelle

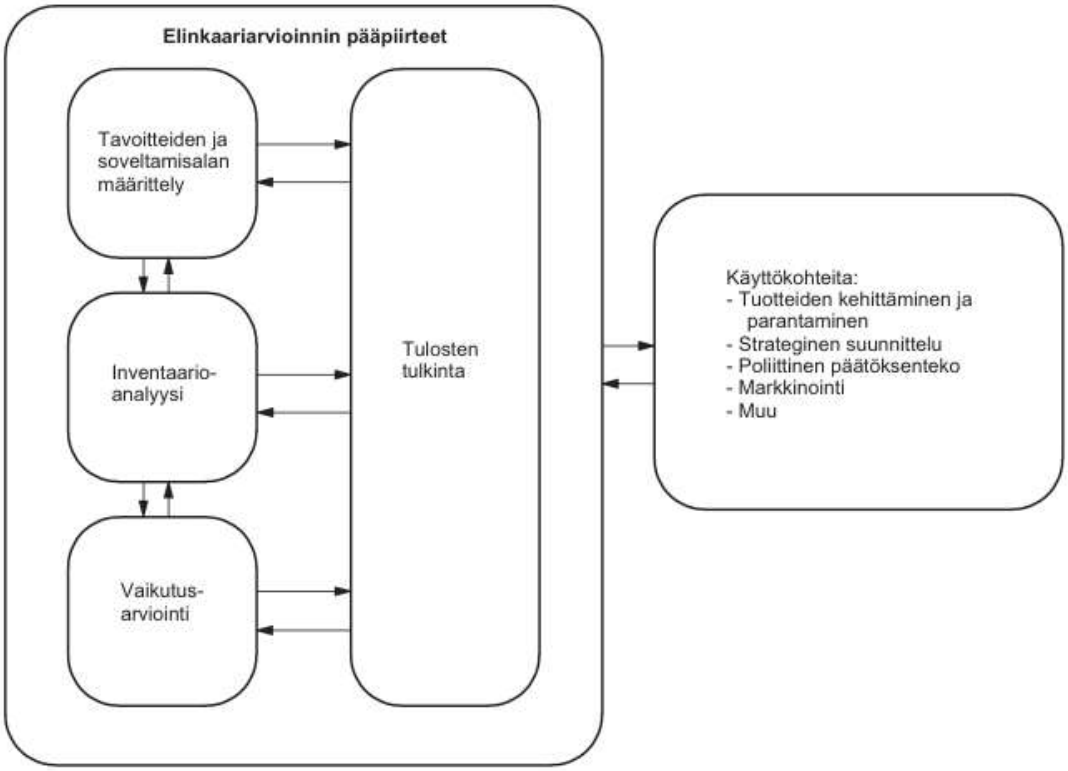
voi tulla tuotevirtana esimerkiksi kierrätettyä materiaalia tai hankkeelta voidaan viedä tuotevirtana kierrätettyä materiaalia toiseen tuotejärjestelmään.

Elinkaariarviointi on alun perin kehitetty teollisten tuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin, joten arvioinnin soveltaminen infrahankkeissa sellaisenaan voi tuottaa haasteita ja virheellisiä tuloksia. Infrarakentamisen projektit ovat tyypiltään erilaisia kuin teolliset tuotteet. Ne ovat kooltaan merkittävästi suurempia ja niiden elinkaari on pitempi. Infrahankkeen elinkaaren pituuden takia elinkaariarviointi rajataan yleensä tietylle aikavälille. Lisäksi infrahankkeen elinkaaren käytöstä poistoon liittyvät päästöt eivät ole yhtä yksiselitteisiä kuin tavallisen kulutustavaran. Esimerkiksi käytöstä poisto voi olla infrahankkeessa osittain sen alussa, koska rakentamista varten alueelta voidaan joutua poistamaan nykyisiä rakenteita. (Saxe & Kasraian 2020)

Elinkaariarviointi koostuu neljästä vaiheesta, jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta (Crawford 2011). Vaiheet ovat esitetty kuvassa 7. Elinkaariarviointi on iteroituva prosessi (Crawford 2011). Arvioinnin edetessä prosessista voidaan saada uutta tietoa, jonka avulla edellisiä vaiheita voidaan täydentää.

Elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe on tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely. Tarkoituksena on määrittää arvioinnin käyttötarkoitus ja syyt, miksi arviointi tehdään. Soveltamisalan perusteella määritetään ainakin tutkittava tuotejärjestelmä, arvioitavat ympäristövaikutusluokat ja järjestelmän rajat eli mitkä elinkaaren vaiheet ja prosessit otetaan arviointiin mukaan (Crawford 2011). Tällöin voidaan esimerkiksi päättää, että arvioidaan ainoastaan tiehankkeen rakentamisen aikaisia ilmastopäästöjä. Iteratiivisen prosessin takia tavoitteita ja soveltamisalaa voidaan joutua muuttaman arvioinnin aikana (SFS-EN ISO 14044:2006). Muutokset tavoitteisiin ja soveltamisalaan pitää dokumentoida elinkaariarvioinnin aikana (Klöpffer & Grahl 2014).

Inventaarioanalyysi-vaihe sisältää tiedon keräämisen sekä tuotejärjestelmän syötteiden ja tuotoksien muuntamisen laskettavaan määrälliseen muotoon. Inventaarioanalyysi on yleensä elinkaariarvioinnin eniten aikaa vievä vaihe (Crawford 2011). Kerättävän tiedon tyyppi riippuu paljon arvioitavasta tuotejärjestelmästä ja arvioinnin laajuudesta (Crawford 2011). Tiehankkeissa inventaarioanalyysi vaihe tarkoittaa käytännössä suunnitelmista tehtävää määrälaskentaa.



Kuva 7. *Elinkaariarvioinnin vaiheet (SFS-EN ISO 14040:2006)*

Kolmas vaihe on vaikutusarviointi, jonka tarkoituksena on arvioida inventaarioanalyysistä saatujen tuloksien perusteella tuotejärjestelmän ympäristövaikutuksia. Inventaarioanalyysista saadut tiedot muutetaan sellaiseen muotoon, josta ympäristövaikutusta pystytään arvioimaan paremmin. Vaikutusluokkia ovat esimerkiksi ilmastonmuutos, rehevöityminen ja happamoituminen. Ilmastonmuutos luokka koostuu esimerkiksi hiilidioksidi, metaanin ja dityppioksidin päästöistä. Eri kasvihuonekaasujen päästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalentti muotoon kertomalla se kyseisen kasvihuonekaasun vaikutuskertoimella, jolloin ilmastopäästöille saadaan yksittäinen vertailtava arvo. (Crawford 2011)

Tulosten tulkinta on elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe. Siinä tunnistetaan ympäristövaikutusten kannalta tärkeimmät tekijät tuotejärjestelmässä. Käytännössä voidaan esimerkiksi arvioida mitkä materiaalit osoittautuvat merkittävimmiksi kokonaisvaikutusten kannalta. Lisäksi vaiheessa voidaan arvioida tulosten luotettavuutta ja analyysin puutteita. Herkkyystarkastelun avulla voidaan kokeilla, miten muutokset keskeisissä oletuksissa tai tiedoissa vaikuttavat tuloksiin. Lopuksi tulosten ja analyysin perusteella tehdään johtopäätökset, joiden avulla päätetään suositeltavat toimenpiteet. (Crawford 2011)

Suomessa kestävää rakentamista ja rakentamisen elinkaariarviointia ohjaavat eurooppalaiset standardit. Standardi SFS-EN 15643:2021 luo yleiset puitteet rakennusten ja

infrarakenteiden kestävän rakentamisen arviointiin. Standardissa rakennushankkeen elinkaari on jaettu A-D vaiheisiin. Elinkaaren vaiheet ovat esitetty kuvassa 8. Tarkemmin infrahankkeen elinkaaren laskentamenetelmiä ohjaa standardi SFS-EN-17472:2022.

Elinkaaren vaihe																		
A1-A3			A4-A5		B1-B8								C1-C4				D	
Tuotevaihe			Raken-tamis-vaihe		Käyttövaihe								Elinkaaren loppuvaihe				Potenti-aaliset hyödyt ja haitat	
Raaka-aineiden hankinta	Kuljetus	Valmistus	Kuljetus	Rakentaminen ja asentaminen	Käyttö	Kunnossapito	Korjaaminen	Uusiminen	Laajamittainen korjaaminen	Energian käyttö	Veden käyttö	Käyttäjien hyödyntäminen	Purkaminen	Kuljetus	Käsittely	Loppusijoitus	Tuotejärjestelmän ulkopuoliset hyödyt ja haitat, uudelleen-käyttö, kierrätys, energiakäyttö ja muu talteenotto	Hyödykkeiden vieminen toiseen tuotejärjestelmään
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2

Kuva 8. *Rakennusprojektin elinkaaren vaiheet (Väylävirasto 2023a)*

Vaiheet A0 – A5 kuvaavat käyttöä edeltäviä vaiheita. Ne koostuvat rakentamista edeltävistä ja rakentamisen aikaisista vaiheista. A0-vaihe kuvaa ei fyysisiä prosesseja kuten hankkeella tehtävää suunnittelua ja tutkimuksia. A1-A3 vaiheet ovat rakennustuotteiden tuotantovaiheita. A4- ja A5-vaiheet kuvaavat työmaalla tapahtuvia toimintoja. A4-vaihe kuvaa rakentamisen aikaista materiaalien ja rakennusosien kuljetuksia. A5-vaihe sisältää työmaalla tapahtuvia rakentamisen toimintoja. (SFS-EN 15643:2021)

Elinkaarivaihe B kuvaa käytön aikaisia vaiheita. B1-B5-vaiheet sisältävät käytöstä, kunnossapidosta, korjauksista, osien vaihdoista ja uusimisista, sekä kunnostuksista aiheutuvat vaikutukset. B6- ja B7-vaiheet kuvaavat energian ja veden käytön vaikutuksia. B8-vaihe sisältää käytöstä aiheutuvien hyötyjen vaikutukset. (SFS-EN 15643:2021)

Elinkaaren loppuvaiheita eli käytön jälkeisiä vaiheita kuvataan C-vaiheilla. C1 vaihe sisältää tiedon purkamisesta tai käytöstä poiston vaikutuksista. C2-C4-vaiheet sisältävät

tiedon purkujätteen käsittelystä, kuljetuksesta ja loppusijoituksesta aiheutuvista vaikutuksista. (SFS-EN 15643:2021)

Elinkaarivaihe D sisältää tiedon rakennushankkeen elinkaaren ulkopuolella tapahtuvista vaikutuksista. D1-vaihe kuvaa uudelleenkäytöstä, kierrätyksestä, energiankäytöstä ja muusta talteenotosta saatavien hyötyjen vaikutuksia. D2-vaihe kuvaa ulkopuolisissa järjestelmissä saavutettavien hyötyjen vaikutuksia. (SFS-EN 15643:2021)

Elinkaariarvioinnissa otetaan huomioon ainoastaan ympäristövaikutukset. Kestävässä infrarakentamisessa ympäristönäkökulman lisäksi pitäisi arvioida elinkaaren taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia (Green building council 2021). Elinkaaren kestävyysarvioinnilla (LCSA) on pyritty huomioimaan ympäristövaikutusten lisäksi kustannusvaikutukset ja sosiaaliset vaikutukset ja se koostuu elinkaariarvioinnista (LCA), elinkaarikustannusten arvioinnista (LCC) ja sosiaalisten vaikutusten arvioinnista (S-LCA) (Llatas et al. 2022).

Prideaux et al. 2024 on tunnistanut kolme eri tapaa tehdä elinkaariarviointi rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa. Yksityiskohtainen elinkaariarviointi on menetelmistä tarkin ja se vaatii eniten lähtötietoja arvioinnin tekemiseen. Se soveltuu parhaiten rakennushankkeen lopullisista suunnitelmista tehtävään elinkaariarviointiin. Yksityiskohtainen elinkaariarviointi edellyttää yleensä päästölaskentaan perehtyneen asiantuntijan, joka tekee arvioinnin ja tulkitsee sen tulokset. Toinen menetelmä on yksinkertaistettu elinkaariarviointi, jossa tarkan tiedon sijasta käytetään keskimääräistä tai arvioitua tietoa. Yksinkertaistetussa elinkaariarvioinnissa voidaan myös jättää tiettyjä asioita arvioinnista pois. Menetelmä sopii parhaiten aikaisiin suunnitteluvaiheisiin, jolloin laskennan lähtötietojen tarkkuus on matala. Kolmas menetelmä on inkrementaalinen elinkaariarviointi, jossa arviointia tehdään koko hankkeen suunnitteluvaiheen ajan. (Prideaux et al. 2024)

Kasvihuonepäästöjen arvioinnista käytetään usein termiä päästölaskenta. Päästölaskenta on laajempi käsite ja sillä voidaan tarkoittaa muitakin elinkaariarvioinnin tyyppejä, joissa huomioon otettavat päästöt voivat vaihdella tapauskohtaisesti (UUMA3 2023). Tässä työssä päästölaskennasta puhuttaessa viitataan kasvihuonepäästöjen arviointiin.

2.5 Päästöjen arviointi tiehankkeessa

Päästöjen arviointi ei ole infrarakentamisessa nykyisin pakollista. Talonrakentamisessa kasvihuonepäästöjen arviointi on tullut pakolliseksi uudisrakennuksille vuonna 2025 uuden rakentamislain myötä (Rakentamislaki 751/2023). Infrarakentamiselle on kuitenkin laadittu ohjeistusta päästöjen arviointia varten. Väylävirasto ja Suomen ympäristökeskus ovat yhdessä kehittäneet infrarakentamiselle vähähiilisyyden arviointimenetelmän, jonka avulla pyritään yhdenmukaistamaan tapaa laskea infrarakentamisesta muodostuvat

CO2-päästöt (Väylävirasto 2023a). Vuonna 2023 julkaistu vähähiilisyyden arviointimenetelmä on ensimmäinen versio menetelmästä ja sitä tullaan täydentämään ja kehittämään palautteen ja käyttökokemusten perusteella (Väylävirasto 2023a).

Vähähiilisyyden arviointimenetelmässä huomioidaan ainakin rakentamisen aikaiset päästöt eli A1-A5-vaiheiden päästöt ja käytön aikaisista päästöistä huomioidaan rakennustuotteiden vaihtojen ja uusimisten päästöt eli B4-vaiheen päästöt. Raportoinnissa päästöt jaetaan elinkaarivaiheittain tuotteiden valmistukseen (A1-A3), kuljetuksiin työmaille (A4), työmaatoimintoihin (A5) ja rakennustuotteiden vaihtoihin ja uusimisiin (B4). Arviointimenetelmän nykyisestä versiosta on jätetty vielä pois päästöjen kannalta oleellisia arvioitavia vaiheita. Kunnossapidon ja peruskorjausten vaikutusten arviointi ei sisälly menetelmään niiden arvioinnin haastavuuden takia. Peruskorjaukset vaativat tarkempaa suunnittelua ja niiden tarpeita on hankala arvioida hankkeen alussa. Kunnossapidon vaikutuksia ei pystytä vielä arvioimaan tarkasti tiedon puutteen takia. (Väylävirasto 2023a)

Arvioinnissa infrakohteen käyttöjakso määritetään 50 vuoden pituiseksi. Arvioitavan kohteen elinkaari on yleensä pitempi kuin 50 vuotta, mutta elinkaariarvioinnin tarkkuus pienenee, mitä pitemmälle tulevaisuuteen arviointia jatketaan. Joillekin kohteille kuten silloille voidaan tarvittaessa tehdä pitempi 100 vuoden käyttöjakson arviointi, jotta kohteen erityispiirteet saadaan huomioitua. Väliaikaisille rakenteille voidaan käyttää lyhyempää käyttöjaksoa. Käyttöjakson pituus vaikuttaa erityisesti B4-vaiheen päästöihin eli rakennustuotteiden uusimisiin ja vaihtoihin. (Väylävirasto 2023a)

Kuljetuksista aiheutuvien päästöjen arviointi vaatii määrätiedon lisäksi tietoa kuljetusmatkoista. Kuljetusmatkoista voidaan käyttää oletuskuljetusmatkoja tai hankekohtaisia kuljetusmatkoja. Taulukossa 2 on esitelty arviointimenetelmän mukaisia oletuskuljetusmatkoja. Kuljetusmatkat suositellaan arvioimaan hankekohtaisesti, sillä kuljetusten etäisyydellä on merkittävä vaikutus päästöihin. Oletuskuljetusmatkoja käytetään yleensä hankkeen aikaisissa vaiheissa, kun tarkempaa tietoa kuljetusmatkoista ei ole vielä saatavilla. Kuljetusten päästökertoimet ilmoitetaan tonnikilometriä kohden. Päästökerroin kerrotaan tällöin panoskohtaisella määrällä ja kuljetusmatkalla. (Väylävirasto 2023a)

Taulukko 2. *Vähähiilisyden arviointimenetelmän oletuskuljetusmatkat (Väylävirasto 2023a)*

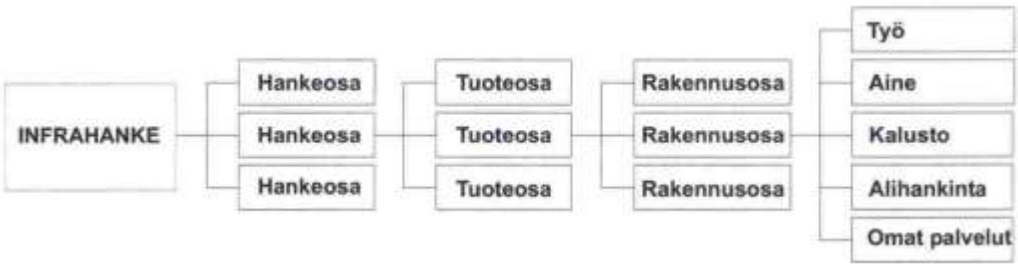
Maamassojen kuljetusmatkat	Oletusarvo
Välivarasto	5 km
Läjitys	5 km
Loppusijoitus	20 km
Sisäiset	5 km
Tuotavat	50 km

Muiden tuotteiden kuljetusmatkat	Oletusarvo
Betoni, tiilet, elementit yms. rakennusmateriaalit	101 km
Raakateräs, rautaharkot, metallilevyt, -tangot ja -putket yms. puolivalmisteet	180 km
Ratakiskot	1600 km
Raidesepeli	300 km
Muut	84 km

Työmaatoiminnoista aiheutuvien päästöjen arviointia varten tarvitaan tietoa työkoneiden päästökertoimista ja työsuoritteen kestosta. Laskennassa voidaan myös käyttää panoskohtaisia keskimääräisiä työsaavutuksia, jolloin laskenta yksinkertaistuu. (Väylävirasto 2023a)

Uusittavien ja vaihdettavien rakenneosien laskennassa otetaan huomioon uusien materiaalien A1-A5-vaiheet, sekä vanhan osan purkamisesta syntyvät päästöt. Purettavien rakenteiden osalta pitää ottaa huomioon purkamisesta, kuljetuksesta ja jätteenkäsittelystä aiheutuvat päästöt. Purkamisesta ja jätteenkäsittelystä aiheutuvat vaikutukset voidaan jättää arvioinnista pois, jos niiden vaikutus todetaan vähäiseksi. B4-vaiheen päästöihin vaikuttaa arviointijakson pituus ja rakenneosien vaihto- ja uusimisväli. (Väylävirasto 2023a)

Tiehankkeen päästölaskentaa tehdään panospohjaisesti. Panospohjaista laskentaa varten tiehanke jaetaan kuvan 9. mukaisesti hankeosiin, tuoteosiin ja rakennusosiin. Rakennusosat voidaan vielä jakaa panoksiin. Panoksilla tarkoitetaan hankkeen toteuttamiseen tarvittavien materiaalien ja työn määrää. Hankeosa voi olla esimerkiksi väylä tai kuivatusjärjestelmä. Rakennusosa voi olla esimerkiksi tien kulutuskerros, jakava kerros tai pengertäyte. Panoksia voivat olla esimerkiksi jakavan kerroksen tapauksessa sen rakentamiseen tarvittava kalliomurske, kuljetuskalusto, työkoneet, rakennustyömiehet sekä rakentamisessa käytetyt polttoaineet. (Lindholm & Montin 2000)



Kuva 9. *Tiehankkeen jakaminen osiin. (Lindholm & Montin 2000)*

Panospohjaisessa laskennassa infrarakenteiden toteuttamiseen tarvittavat osat lasketaan suunnitelmista ja kirjataan määrälaskentaohjelmaan, johon on laadittu valmiita panosrakenteita. Laskentaa varten panoksille on määritelty päästökertoimia. Panospohjaista päästölaskentaa voidaan tehdä hanke- tai rakennusosatasolla. Hankeosatasoinen laskenta on vähemmän tarkkaa kuin rakennusosalaskenta, mutta se ei vaadi yhtä tarkkaa tietoa hankkeesta, jonka takia se soveltuu paremmin varhaisissa suunnitteluvaiheissa tehtävään laskentaan (Väylävirasto 2021b).

Rakennusosiin liittyvää päästökerroin-tietoa on avoimesti jaettuna esimerkiksi CO2data -palvelussa, joka on Suomen ympäristökeskuksen ja Väyläviraston ylläpitämä ja kehittämä. Päästötietokannan kehittämisen tavoitteena on tuottaa puolueettomasti päästötietoa, jonka myötä mahdollistetaan vertailukelpoinen ja avoimeen tietoon perustuva päästöjen arviointi infrahankkeissa. Palvelusta löytyy keskimääräisiä panoskohtaisia päästökertoimia rakennusmateriaaleille, kuljetuskalustolle ja työkonekalustolle. Kuvassa 10 on esitetty esimerkkinä kalliomurskeen KaM 0/63 päästötiedot infrarakentamisen päästötietokannassa. Keskimääräisten panoskertoimien käyttö soveltuu hyvin suunnittelun aikana tehtävään päästölaskentaan, jolloin ei vielä tiedetä, minkä tuotevalmistajan tuotteitta tullaan käyttämään. (SYKE 2025)

Tarkempaa päästötietoa on saatavilla rakennustuotekohtaisista ympäristöselosteista. Ympäristöseloste on standardin SFS-EN-15804:2012 mukainen kolmannen osapuolen verifioima asiakirja rakennustuotteen ympäristövaikutuksista. Selosteessa on ilmoitettu ainakin elinkaarivaiheiden A1-A3 päästöt eli tuotteen valmistuksesta aiheutuvat päästöt, mutta selosteessa voi olla ilmoitettu muitakin vaiheita (SFS-EN-15804 2012). Joissain selosteissa on ilmoitettu ilmastopäästöjen lisäksi myös muiden ympäristöindikaattoreiden tietoja. Tuotekohtaisen ympäristöselosteen päästötietoja voidaan käyttää päästölaskennassa, jos on varmistettu, että rakentaminen tullaan toteuttamaan kyseisellä tuotteella (Väylävirasto 2023a).

murske, kalliomurske, KaM 0/63 crushed rock, KaM 0/63 krossad sten, KaM 0/63	0.006 kg CO_2e /kg TYYPILLINEN ARVO, GWP (A1-A3 FOSSIL)

TYYPILLINEN ARVO, GWP kg CO_2e /kg (A1-A3 Fossil)	0.006 kg CO_2e /kg
HUKKAKERROIN Hukka rakennustyömaalla	1.05
KIERRÄTYSMATERIAALIEN OSUUS (%)	0
MUUNNOSKERROIN	-

Kuva 10. *Kalliomurskeen KaM 0/63 päästötiedot infrarakentamisen päästötietokannassa (CO2data 2025).*

Ympäristöselosteen päästökertoimet ovat yleensä pienempiä kuin päästötietokannan päästökertoimet. Tämä johtuu siitä, että päästötietokantojen päästökertoimien arvioinneissa on käytetty konservatiivisia ja keskimääräisiä arvoja. Tämä kannustaa laskijoita käyttämään ympäristöselosteen mukaisia päästökertoimia, mikä taas kannustaa rakennusteollisuutta laatimaan kattavammin ympäristöselosteita tuotteilleen ja kehittämään tuotteita vähäpäästöisemmiksi. (Kinnunen et al. 2023)

Päästöjen arvioinnin tavoitteet vaikuttavat siihen, mitä elinkaaren vaiheita arviointiin sisällytetään. Tavoitteena voi olla arvioida mahdollisimman tarkasti päästövaikutuksia, jolloin arvioinnissa pitää ottaa kattavasti huomioon eri elinkaaren vaiheet. Päästöjen arvioinnin tavoitteena voi olla myös vertailla eri suunnitteluratkaisujen vaikutuksia päästöihin, jolloin tarkastelussa voidaan keskittyä arvioimaan esimerkiksi vain tuote ja rakennusvaiheen päästöjä tai rajata vertailu koskemaan vain tiettyä rakennusosaa. Päästöjen arvioinnin tarkkuus riippuu siitä, missä vaiheessa arviointi tehdään. Suunnittelun edetessä suunnitelmat tarkentuvat, jolloin arviointi voidaan tehdä myös tarkemmin. (UUMA3 2020)

3. PÄÄSTÖJEN ARVIOINTI MALLIPOHJAISESTI

3.1 Tietomallintamisen hyödyntäminen päästölaskennassa

Rakennushankkeen toteuttamiseen tarvittavien materiaalien ja panosten päästövaikutusten arviointi vaatii tarkkaa tietoa suunnitelluista rakenteista ja standardoitua menetelmää elinkaaren päästöjen arviointiin. Tietomallintaminen ja elinkaariarviointi ovat keskeisiä työkaluja näiden tavoitteiden saavuttamisessa. Tietomallien avulla mahdollistetaan keskitetty tiedonhallinta, määrätietojen automaattinen laskenta ja tietojen visualisointi. Elinkaariarviointi tarjoaa menetelmän arvioida rakennusosien ja prosessien päästövaikutuksia rakennushankkeen elinkaaren ajalta. Yhteensovittamalla nämä kaksi menetelmää paremmin toistensa kanssa voidaan päästöjen arviointi ottaa paremmin osaksi varhaista suunnittelua ja päätöksentekoa. (Palumbo et al. 2020)

Tietomallintamisen ja päästölaskennan yhteensovittamisen tavoitteena on siirtää rakennusosien määrätiedot ja ominaisuudet tietomallista päästölaskentaohjelmaan tai työkaluun mahdollisimman automaattisesti ja virheettömästi. Paremmalla menetelmien yhteensovituksella voidaan tehostaa laskentaprosessia vähentämällä manuaalista työtä ja parantaa laskennan tulosten tarkkuutta (Zheng et al. 2025). Etenkin elinkaariarvioinnin inventaarioanalyysivaihe vaatii paljon tietoa ja aikaa, mitä olisi mahdollista tehostaa käyttämällä tietomallia hyödyksi (Palumbo et al. 2020).

Päästölaskennan tekeminen tietomallin perusteella edellyttää, että tietomalli sisältää tarpeeksi tarkkaan määriteltyä tietoa. Päästölaskenta vaatii muun muassa tietoa rakennusosien materiaaleista, käyttöiästä, teknisistä ominaisuuksista. Ilman näitä tietoja tietomalli on usein liian puutteellinen laskennan kannalta. (Guignone et al. 2023)

Yhteensovituksen avulla voidaan mahdollistaa päästötietojen lisääminen tietomalliin omaksi tiedokseen. Tällöin tieto liikkuisi tietomallin ja päästölaskentaohjelman välillä molempiin suuntiin. Määrä- ja ominaisuustiedot siirtyisivät tietomallista päästölaskentaohjelmaan ja päästölaskentaohjelmasta päästötiedot siirtyisivät tietomalliin. Kaksisuuntainen yhteensovitusmalli vaatii ohjelmistoilta hyvää rajapintojen toimivuutta tai avoimien tiedonsiirtoformaattien käyttöä. (van Eldik et al. 2020)

Kun päästötiedot tuodaan osaksi tietomallia, ne voidaan keskittää samaan ympäristöön muun suunnittelutiedon kanssa. Tällöin päästötietoja voidaan visualisoida esimerkiksi rakennusosakohtaisesti tai elinkaarivaiheittain. Tämä mahdollistaa päästöjen kertymisen ja vaihtelun havainnollistamisen eri suunnitteluvaihtoehtojen välillä. Suunnittelija voi tarkastella ratkaisujensa ympäristövaikutuksia suoraan mallissa, ja parhaassa tapauksessa

päästötiedot päivittyvät automaattisesti mallin muuttuessa (Hussain et al. 2023). Tämä voi auttaa tunnistamaan hiilijalanjäljen kannalta kriittiset rakennusosat ja vertailemaan vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja. Niiden pohjalta suunnitteluratkaisuja olisi helpompi optimoida vähäpäästöisimmiksi.

3.2 Tietomallintamisen ja päästölaskennan yhteensovitusmenetelmät

Kirjallisuudessa on esitetty useita eri tapoja, miten päästölaskenta ja tietomalli voidaan yhteensovittaa keskenään. Tietomallipohjainen päästöjen arviointi rakentuu tyypillisesti kolmen järjestelmän varaan. Ne ovat mallinnusohjelma, jossa tietomalli on natiiviformaatissaan, päästölaskentaohjelma, jossa päästölaskenta suoritetaan ja päästötietokanta, josta laskentaa varten tarvittavat päästökertoimet saadaan. Eri yhteensovitusmenetelmien erot syntyvät näiden järjestelmien teknisen yhteensovituksen perusteella ja millä tavoin tieto siirtyy mallin ja päästölaskentatyökalun välillä.

Yhteensovitusmenetelmät voidaan luokitella tiedonsiirtotavan mukaan manuaalisiin, puoliautomaattisiin ja automaattisiin prosesseihin. Manuaalisissa menetelmissä tiedot siirretään manuaalisesti suunnitteluohjelmasta päästölaskentatyökaluun ja määrätiedot yhdistetään manuaalisesti oikeille päästökertoimille. Puoliautomaattisissa menetelmissä osa prosessista on automatisoitu, mutta se vaatii käyttäjän ohjausta. Esimerkiksi tiedonsiirto voi tapahtua automaattisesti suunnitteluohjelmasta päästölaskentaohjelmaan, mutta määrätietojen yhdistäminen oikeille päästökertoimille pitää tehdä manuaalisesti. Automaattisissa menetelmissä tiedonsiirto ja määrätietojen linkittyminen päästökertoimille tapahtuu automaattiesti. Täysin automaattisissa menetelmissä malli ja päästölaskenta ovat yleensä vahvasti toisiinsa sidoksissa ja laskennan tulokset päivittyvät automaattisesti, jos mallia muokataan. (Obrecht et al. 2020)

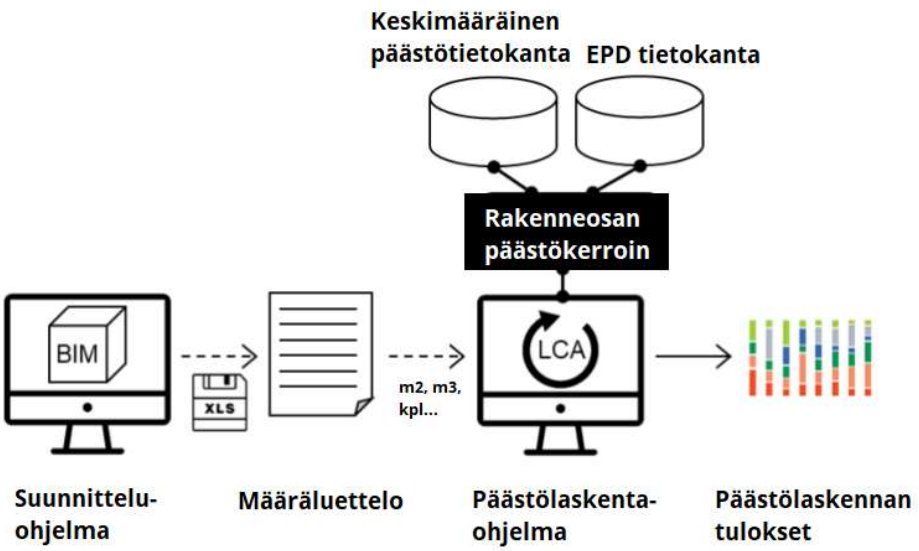
Safari ja AzariJafari (2021) ovat jakaneet tutkimuksessaan yhteensovitusmenetelmät kolmeen pääluokkaan, jotka ovat perinteinen (conventional), staattinen (static) ja dynaaminen (dynamic). Luokittelu perustuu siihen, kuinka automaattisesti ja ajantasaisesti tieto siirtyy tietomallin ja päästölaskennan välillä sekä kuinka laskennan tulokset kytkeytyvät takaisin malliin. Perinteiset menetelmät edustavat prosessia, jossa tietomalli toimii ainoastaan määrätietojen lähteenä. Tällöin laskenta suoritetaan erillisesti, eikä määrätieto päivity automaattisesti. Staattisissa menetelmissä tietomallin tiedot, kuten määrät ja geometriat viedään esimerkiksi IFC-formaatissa päästölaskentaohjelmaan. Tiedonsiirto tapahtuu puoliautomaattisesti, mutta tuloksia ei viedä takaisin malliin. Dynaamisissa menetelmissä tiedonsiirto on automatisoitu ja päästötiedot voivat olla suoraan kytkettynä mallin rakennusosiin, jolloin mallin ja päästölaskennan välillä on kaksisuuntainen

yhteys. Tällöin tulokset päivittyvät automaattisesti, kun suunnitelmia muokataan. (Safari & AfariJafari 2021)

Wastiels ja Decuypere (2019) ovat tutkimuksessaan jaotelleet yhteensovitusmenetelmät viiteen eri menetelmään, jotka ovat mallipohjainen määräluettelo (BoQ export), IFC-siirtotiedosto (IFC import), IFC-tiedosto ja BIM-katseluohjelma, päästölaskenta plugin (LCA plugin) ja päästötiedoilla rikastetut BIM-objektit (LCA enriched BIM objects). Jaottelu perustuu tiedonsiirron tapaan ja käytettyyn päästölaskentatyökaluun. Tätä viiteen yhteensovitusmenetelmään perustuvaa luokittelua käytetään laajalti muissa tutkimuksissa ja sitä käytetään myös tässä työssä menetelmien jaottelun pohjana. Menetelmät ovat selitetty tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

3.2.1 Mallipohjainen määräluettelo

Yleisin tapa yhdistää tietomallintaminen ja päästölaskenta on käyttää mallipohjaisesti luotua määräluetteloa (Obrecht et al. 2020). Menetelmässä suunnitteluohjelmassa mallista luodaan määrätuloste, joka sisältää hankkeen rakennusosat ja niiden määrät taulukkopohjaisessa muodossa. Määrät viedään sen jälkeen erilliseen päästölaskentaohjelmaan, jossa itse päästölaskenta tapahtuu. Päästölaskentaohjelmassa rakennusosakohtaiset määrät yhdistetään niitä vastaaviin päästökertoimiin. Mahdollisuus visualisoida tuloksia rakennusosilla on riippuvainen päästölaskentaohjelmiston toiminnoista (Wastiels & Decuypere 2019). Menetelmää voidaan kuvailla epäsuorana BIM–LCA-integraationa, koska tietomallin sisältö ei siirry laskentaohjelmistoon suoraan, vaan määrät toimivat välivaiheen kautta (Tam et al. 2023). Menetelmän prosessikaavio on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. *Määräluettelon tuonti päästölaskentaohjelmistoon (mukaillen Wastiels & Decuypere 2019)*

Tämä menetelmä on lähimpänä nykyistä päästölaskennan menetelmää, jota on käytetty esimerkiksi tutkimuksen tapauskohteessa ja Ihku-päästölaskentatyökalussa. Ihku-päästölaskentaohjelma toimii suunnitteluohjelmasta erillisenä ohjelmana, johon tuodaan määrätietoa hankkeesta manuaalisesti tai automaattisesti. Suunnitteluohjelmista on nykyisin mahdollista saada kattavasti tietoa hankkeen määristä määräluettelo muodossa.

Määräluettelon tuontiin perustuvan menetelmän hyötynä on sen käytön laajuus ja ohjelmistoriippumattomuus (Parece et al. 2025). Määrälaskenta on vakiintunut osa rakennusalan kustannuslaskennassa, jolloin olemassa olevia työtapoja voidaan käyttää päästölaskennassa ilman suuria muutos tarpeita. Menetelmä ei edellytä ohjelmistoista riippuvaa integraatiota tai mallin rikastamista, mikä tekee siitä helposti käyttöön otettavan.

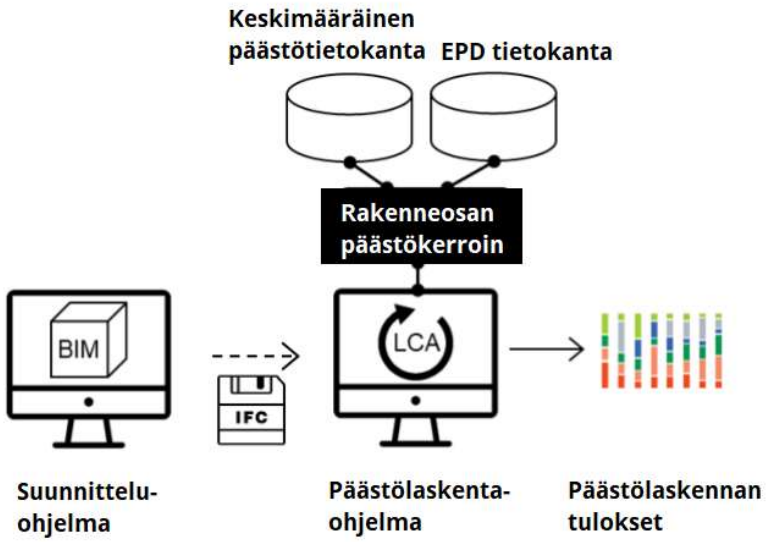
Menetelmän huonona puolena on se, että syöttäminen pitää yleensä tehdä manuaalisesti päästölaskentaohjelmaan, mikä tekee menetelmästä aikaa vievän ja alttiin virheille (Hussain et al. 2023). Sen lisäksi menetelmä tukee huonosti iteratiivista suunnittelua (Wastiels & Decuypere 2019). Tällöin määrien syöttäminen ja päästökertoimien yhdistäminen oikeille rakenneosille pitää jokainen kerta tehdä manuaalisesti, kun suunnitelmiin tehdään muutoksia.

Tiedonsiirtoa voidaan automatisoida esimerkiksi käyttämällä määräluettelossa tunnistetietoja, joiden avulla päästölaskentaohjelma yhdistää ne laskentaohjelman mukaisille päästökertoimille (Obrecht et al. 2020). Toisaalta määräluettelon tieto on sisällöltään yleensä liian puutteellinen automaattista tiedonsiirtoa varten. Käytännössä määräluettelo

sisältää usein vain määrätietoa, kuten tilavuudet tai kappalemäärät ilman tarkempia tietoja materiaalista, kuljetustavasta tai käyttöiästä. Tämän vuoksi päästölaskijan tai suunnittelijan täytyy manuaalisesti täydentää tai valita sopivat päästökertoimet laskentaohjelmassa.

3.2.2 IFC-siirtotiedosto

Toinen tapa toteuttaa päästölaskennan ja mallintamisen yhteensovitus, on käyttää IFC-tiedostoformaattia tiedonsiirron välineenä. Tällöin mallipohjaisesta suunnitelmasta tuotetaan IFC-tiedosto, joka sisältää tiedot suunnitelman geometriasta ja mahdollisesti myös muita tietoja kuten materiaalityypin. Sen jälkeen IFC-tiedosto ladataan päästölaskentaohjelmaan, jossa määrät linkitetään oikeille päästöprofiileille. Wastiels ja Decuypere (2019) käyttävät tästä menetelmästä nimitystä ”IFC import”, vaikka heidän mukaansa tiedonsiirtoon voidaan käyttää muitakin tiedostoformaatteja kuten muita avoimia tiedonsiirtoformaatteja tai mahdollisesti myös suunnittelujärjestelmän omia natiiviformaatteja. Menetelmän prosessikaavio on esitetty kuvassa 12. (Wastiels & Decuypere 2019)



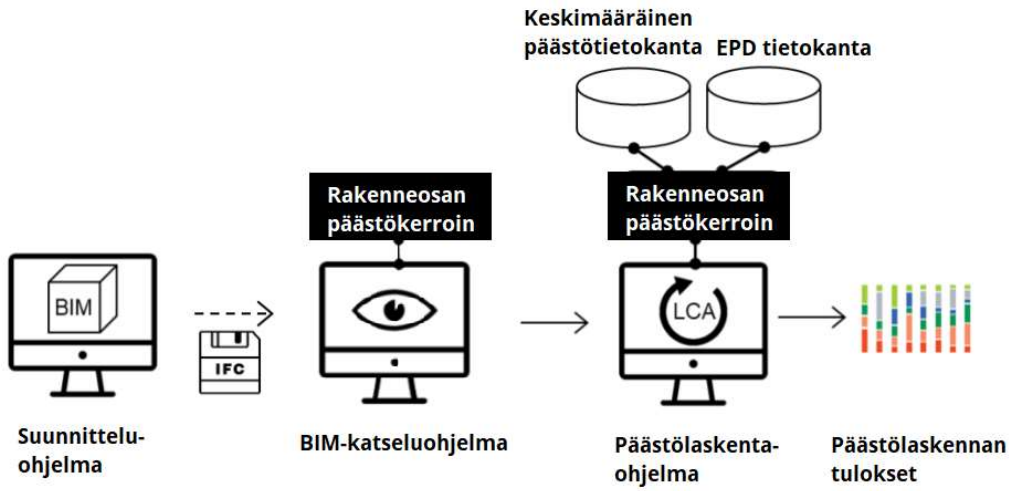
Kuva 12. *IFC-siirtotiedosto (mukaillen Wastiels & Decuypere 2019)*

IFC-siirtotiedosto-menetelmän vahvuutena on mahdollisuus luoda pysyvä linkki mallin rakennusosien ja päästölaskentaohjelman päästökertoimien välille. Rakennusosat pitää ensimmäisellä kerralla yhdistää oikeille päästökertoimille, mutta yhdistämistä ei tarvitse tehdä uudestaan, jos laskelma päivitetään. Tämän takia menetelmä antaa tuen iteratii-

viselle päästölaskennalle, jossa laskentaa päivitetään vaiheittain. Pysyvän linkin luominen perustuu IFC-tiedoston objektien GUID-tietoon. GUID eli Global Unique Identifier-tiedon avulla, jokaisella objektilla on oma yksilöllinen tunnus, jonka avulla IFC-objektit voidaan yksilöidä toisistaan. (Wastiels & Decuypere 2019)

Merkittävä haaste IFC-siirtotiedosto-menetelmässä liittyy mallin tietosisältöön ja sen luotettavaan tulkintaan laskentaohjelmassa (Guignone et al. 2023). Mikäli mallissa ei ole riittäviä tietoja esimerkiksi materiaalien määrittelyistä, ei laskentaohjelma pysty yhdistämään objekteja oikeisiin päästökertoimiin. Tällöin käyttäjän on täydennettävä puuttuvat tiedot manuaalisesti, mikä heikentää menetelmän automaatiotasoa.

IFC-pohjaisen tiedonsiirron tukena voidaan käyttää myös BIM-katseluohjelmaa, joka tarjoaa käyttöliittymän mallin tarkasteluun ja tietojen hallintaan. Wastiels ja Decuypere (2019) ovat esittäneet BIM-katseluohjelmaa hyödyntävän menetelmän erillisenä menetelmänä IFC-siirtotiedosto-menetelmästä. Katseluohjelman avulla käyttäjä voi visualisoida mallin rakennusosat ja linkittää ne päästöprofiileihin 3D-näkymässä. Varsinainen päästölaskenta suoritetaan silti erillisessä laskentaohjelmassa. Katseluohjelma ei yleensä tue mallin geometrioiden muokkausta, mutta se voi mahdollistaa tiettyjen ominaisuustietojen tai parametrien muokkaamisen ennen laskentaa. Menetelmän prosessi on esitetty kuvassa 13. (Wastiels & Decuypere 2019)

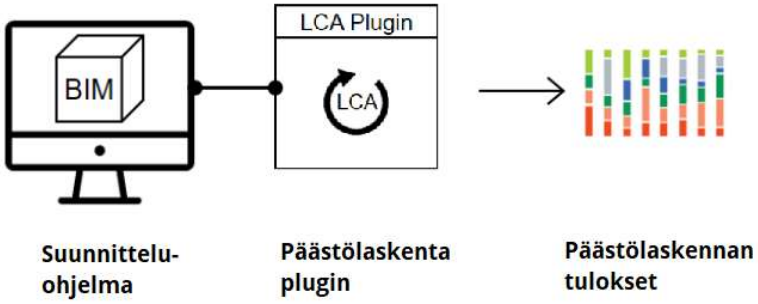


Kuva 13. *Päästötietojen linkitys BIM-katseluohjelmassa (mukaillen Wastiels & Decuypere 2019)*

BIM-katseluohjelman käytön hyötynä on sen mahdollistama parempi visualisointi, kun päästöprofiilit linkitetään rakennusosiin BIM-ympäristössä (Obrecht et al. 2020). Menetelmän huonona puolena on, että sen myötä prosessiin tulee mukaan yksi välivaihe lisää. Tämä aiheuttaa lisää tiedonsiirtoa koko prosessiin, mikä saattaa aiheuttaa tiedon häviämistä tai muita virheitä.

3.2.3 Päästölaskenta-plugin

Päästölaskenta-plugin tai -lisäohjelma menetelmässä käytetään suunnitteluohjelmaan lisättyä päästölaskenta-lisäohjelmaa tai erillistä integroitua laskentatyökalua. Päästölaskenta-lisäohjelman avulla korvataan tarve käyttää erillistä päästölaskentaohjelmaa. Menetelmän avulla pyritään pitämään mahdollisimman suuri osa päästölaskennan prosessista suunnitteluohjelman sisällä, jolloin tiedonsiirto erilliseen päästölaskentaohjelmaan ei ole tarpeen. Menetelmä mahdollistaa päästöjen arvioinnin suoraan mallinnusympäristössä, jossa suunnittelu tehdään. Lisäksi menetelmän avulla laskennan tuloksia on mahdollista visualisoida BIM-ympäristössä. Yhteensovituksen prosessi on esitetty kuvassa 14. (Wastiels & Decuypere 2019)



Kuva 14. *Mallinnusohjelman päästölaskenta-lisäosa (mukaillen Wastiels & Decuypere 2019)*

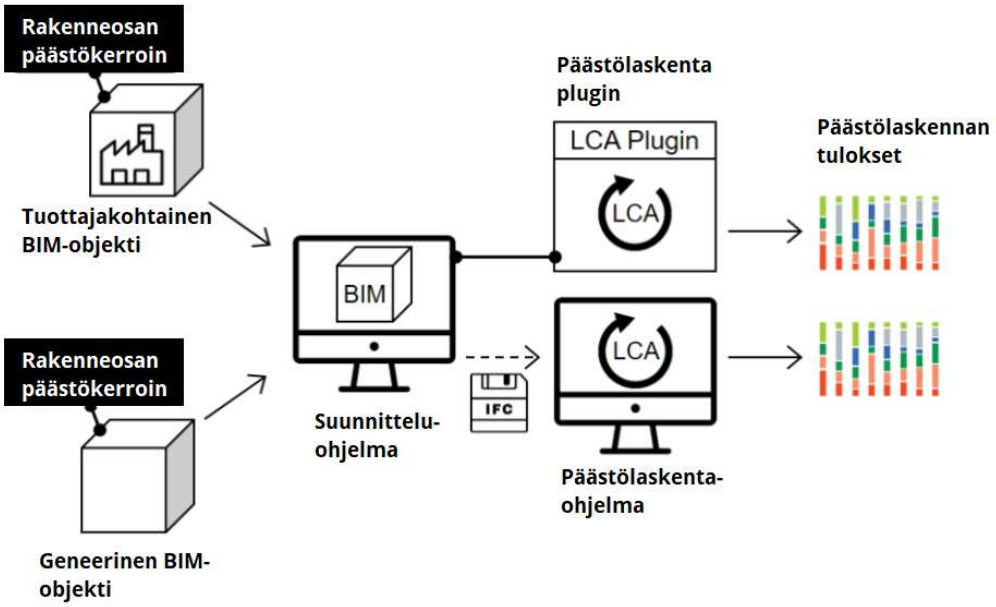
Menetelmän hyötynä on koko prosessin tapahtuminen samassa ympäristössä, jolloin voidaan välttää tiedonsiirtoon liittyvät ongelmat. Menetelmää varten tietomallin geometria ja ominaisuustiedot pitää olla mallinnettu riittävällä tasolla, jotta automaattinen tai puoliksi automaattinen yhdistäminen päästötietoihin on mahdollista. Menetelmän avulla päästölaskentaa voidaan tehdä reaaliaikaisesti, jolloin laskennan tulokset päivittyvät, kun suunnitelmia muokataan, jonka lisäksi päästövaikutukset voidaan visualisoida reaaliaikaisesti osana mallia (Parece et al. 2025).

Päästölaskenta-plugin tekee laskennasta nopean, mutta sen rajoitteena yleensä on keskimääräisten päästökertoimien käyttö (Wastiels & Decuypere 2019). Päästökertoimet ovat usein sisäänrakennettu lisäohjelmaan, jolloin niitä ei ole mahdollista muokata ja niiden alkuperästä ei ole välttämättä annettu tietoa. Lisäksi yksi menetelmän rajoitus on sen ohjelmistoriippuvuus, sillä pluginit ovat kehitetty toimimaan vain tietyille ohjelmistoille. Menetelmän laskennan läpinäkyvyys on myös yksi menetelmän rajoittava tekijä. Lisäohjelma ei välttämättä kerro millä tavalla laskenta on tehty ja millaisia oletuksia tai yleistyksiä se on käyttänyt (Zheng et al. 2025).

3.2.4 Päästötiedot suunnittelujärjestelmässä

Päästötiedot suunnittelujärjestelmässä on yhteensovitusmenetelmä, jossa rakennusosien päästökertoimet liitetään suoraan tietomallin objekteihin suunnittelujärjestelmässä. Päästötieto voi olla BIM-objektin ominaisuustietona tai viittauksena tietyn päästötietokannan päästökertoimeen. Menetelmän suurimpana erona muihin menetelmiin on se, että päästökertoimet ovat alusta asti linkitettynä rakennusosille. Muissa menetelmissä päästökertoimien yhdistäminen rakennusosille tehdään vasta myöhemmissä vaiheissa päästölaskentaa varten. (Wastiels & Decuypere 2019)

Menetelmässä päästölaskenta voidaan tehdä päästölaskenta-lisäohjelmalla tai erillisellä päästölaskentatyökalulla. Päästölaskenta-lisäohjelmalla laskentaa tehdessä päästökertoimet tulevat objekteista sen sijaan, että lisäohjelma määrittäisi ne. Erillisessä päästölaskentatyökalussa laskentaa tehdessä malli vietäisiin päästölaskentaohjelmaan IFC-tiedostona, joka sisältää tiedot päästökertoimista. Tällöin päästölaskentaohjelmassa ei tarvitse tehdä enää päästökertoimien linkittämistä ja ohjelmien tehtävänä on vain esittää laskennan tulokset ja visualisoida niitä. Menetelmän prosessikaavio on esitetty kuvassa 15. (Wastiels & Decuypere 2019)



Kuva 15. *Päästötiedoilla rikastetut BIM-objektit (mukaillen Wastiels & Decuypere 2019)*

Menetelmän vahvuutena olisi tiedon keskittäminen BIM-objekteihin, jolloin kaikki tieto löytyisi samasta paikasta. Menetelmä tekee myös päästötietojen visualisoinnista mallissa helpompaa, kun päästötiedot ovat sisällytetty mallin valmiiksi. Lisäksi menetelmän avulla päästötiedot voisi päivittyä mallia muokatessa, jolloin suunnittelija saa reaaliaikaisesti palautetta suunnitteluratkaisujen vaikutuksesta päästöihin.

Menetelmän toteuttamisen haasteena on mallintamisen tarkkuustaso. Mallintaminen pitäisi tehdä riittävällä tasolla, mikä tarkoittaa lisää suunnittelutyötä (Kinnunen et al. 2023). Toinen merkittävä rajoite on standardoinnin puute. Tällä hetkellä ei ole olemassa yhtenäistä tietorakennetta tai tietomallistandardia, jonka mukaan päästötiedot tulisi liittää BIM-objekteihin. Tämä voi johtaa siihen, että tiedot tallennetaan eri tavoin eri ohjelmistoissa, mikä vaikeuttaa niiden hyödyntämistä myöhemmissä vaiheissa (Parece et al. 2025).

Parametristä suunnittelua käyttävät työkalut ovat yksi tapa toteuttaa menetelmän mukainen yhteensovitus. Zheng et al. (2025) esittelivät menetelmän, jossa päästökertoimet liitettiin parametrisen työkalun avulla rakennusosien tietoihin. Menetelmää varten koottiin aluksi tarvittavat päästökertoimet omaan taulukkoon ja niille annettiin tunnistetieto. Tunnistetiedon avulla päästökertoimet voidaan kohdentaa oikeille BIM-objekteille. Kohdentamisen jälkeen päästölaskentaa oli mahdollista tehdä suunnittelujärjestelmässä.

3.2.5 Menetelmien vertailu

Kirjallisuudesta löytyy tutkimuksia, joissa on vertailtu eri menetelmiä keskenään. Esimerkiksi Zheng et al. 2025 oli vertaillut eri yhteensovitusmenetelmien tuloksia manuaalisesti tehtyihin tuloksiin. Heidän tutkimuksessansa vertailtavat menetelmät olivat määräluetteloon perustuva, IFC-siirtotiedostoon perustuva, pluginiin perustuva ja parametriseen työkaluun perustuva, jonka avulla päästölaskentaa voidaan tehdä suunnittelujärjestelmässä. Vertailua tehtiin menetelmien välillä niiden tehokkuudessa ja laskennan tarkkuudessa. Menetelmien tehokkuus määritettiin mittaamalla laskentaan ja laskennan valmisteluun kulunutta aikaa. Menetelmien tulosten tarkkuutta mitattiin vertaamalla niitä manuaalisesti laskettuihin tuloksiin.

Zheng et al. (2025) mukaan tarkimmat tulokset saatiin määräluetteloon perustuvalla menetelmällä ja sen jälkeen IFC-siirtotiedostoon perustuvalla menetelmällä. Seuraavaksi tarkimmat tulokset saatiin parametristä työkalua käyttävällä menetelmällä. Suurin ero manuaalisesti laskettuihin tuloksiin oli plugin-tyyppisellä menetelmällä. Toisaalta pluginilla saatiin laskettua kaikista nopeimmin. Toiseksi nopeimmin tulokset saatiin laskettua parametrisellä työkalulla. IFC-siirtotiedosto ja määräluetteloon perustuvat menetelmät olivat selkeästi hitaampia kuin plugin ja parametrinen menetelmä. Hitain menetelmä oli IFC-siirtotiedostoon perustuva menetelmä. Toisaalta tutkimuksessa ei ole kerrottu onko siinä huomioitu laskennan toistettavuus. IFC-siirtotiedoston yhtenä vahvuutena on esitetty iteratiivisuus, joten laskennan toteutus pitäisi olla nopeampi toistettaessa (Wastiels & Decuypere 2019).

4. HAASTATTELUT

Haastatteluiden tavoitteena oli saada tietoa päästöjen arvioinnin ja mallintamisen nykytilasta infrahankkeilla, sekä päästöjen ohjaavasta vaikutuksesta suunnitellussa. Lisäksi haastateltavilta kysyttiin heidän näkemyksiään mallintamisen ja päästölaskennan yhteensovitukseen liittyen. Haastattelut suoritettiin puolistrukturoituina teemahaastatteluina ja pääosin ryhmähaastatteluina.

Haastatteluita varten koottiin lista sopivista haastateltavista henkilöistä. Henkilöt jaettiin aihepiireittäin ryhmiin, jonka perusteella haastattelut pyrittiin aikatauluttamaan. Ryhmähaastatteluja pidettiin yhteensä neljä, joiden lisäksi pidettiin yksi yksilöhaastattelu. Ryhmähaastattelut pyrittiin pitämään niin, että jokaisessa ryhmähaastattelussa oli saman taustaisia henkilöitä.

Ensimmäisen ryhmähaastattelun haastateltavat olivat pääosin suunnittelijoita. Toisen ryhmähaastattelun haastateltavat olivat päästölaskennan asiantuntijoita. Kolmannessa haastattelussa haastateltavat olivat pääosin Ihku-kustannus- ja päästölaskentapalvelun asiantuntijoita ja viimeisessä ryhmähaastattelussa haastateltiin tapaustutkimuskohteen Vt6 Korian kohta STk urakoinnin edustajia. Haastatteluissa painotettiin kunkin ryhmän taustoihin liittyviä teemoja. Haastatellut ovat esitetty taulukossa 3 ja liitteessä 1. Haastattelukysymykset ovat esitetty liitteessä 2.

Taulukko 3. *Haastatellut*

Haastattelun ajankohta	Haastateltava	Ammattinimike	Organisaatio
3.4.2025	H1	Suunnittelupäällikkö	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H2	Infrasuunnittelija	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H3	Infrasuunnittelija	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H4	Infrasuunnittelija	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H5	LCA-asiantuntija	Suunnittelukonsultti
25.4.2025	H6	Vastuullisuus- ja riskienhallintapäällikkö	Suunnittelukonsultti
25.4.2025	H7	Projektipäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H8	Kehittämispäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H9	Projektipäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H10	Kustannushallinnan asiantuntija	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H11	Kehittämispäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H12	Ryhmäpäällikkö	Tutkimus- ja asiantuntijalaitos
29.4.2025	H13	Projektipäälikkö	Tilaajaorganisaation rakennuttaja
29.4.2025	H14	Työpäälikkö	Urakoitsija
29.4.2025	H15	Työmaapäälikkö	Urakoitsija
9.5.2025	H16	Kehityspäällikkö	Suunnittelukonsultti

Haastattelu aloitettiin lyhyellä esittelyllä aiheeseen, jonka jälkeen haastattelun aiheet käytiin teemoittain läpi. Teemahaastattelun aihepiirit olivat päästölaskennan ja mallintamisen nykyinen prosessi ja haasteet, päästöjen arviointi suunnittelunohjauksen näkökulmasta ja päästölaskennan ja tietomallien yhteensovitus. Jokaiseen teemaan liittyen oli määritelty 6–7 haastattelukysymystä. Ennen päästölaskennan ja tietomallien yhteensovitus teemaan läpikäyntiä haastateltaville esitettiin neljä eri yhteensovitusmenetelmää,

joihin liittyen heiltä kysyttiin kysymyksiä. Menetelmät olivat määrätulosteeseen perustuva, IFC-siirtotiedosto, päästölaskenta-lisäohjelma ja päästötiedot suunnittelujärjestelmässä.

4.1 Päästölaskennan ja mallintaminen nykytila

Päästölaskennan nykytila

Haastateltavien kokemus päästölaskennasta oli, että päästölaskentaa tehdään nykyisin usein vasta suunnitteluvaiheen lopussa tai suunnitteluvaiheiden jälkeen rakentamisen aikana tai rakentamisen jälkeen (H5, H6, H7). Osalla päästölaskijoista oli tiedossa hankkeita, joilla oli tehty päästölaskentaa myös hankearvioinnin aikana ja yleissuunnitelmavaiheessa (H5, H7).

Haastateltavien mukaan päästölaskennan tuloksilla ei ole yleensä ollut vaikutusta itse laskettavan hankkeen päästöihin, koska laskentaa tehdään niin myöhäisissä vaiheissa. Jos päästölaskennan tuloksilla on ollut vaikutusta hankkeessa, niin päästöt ovat yleensä olleet yhtenä ratkaisuun vaikuttavana tekijänä (H7). Esimerkiksi paalujen ohentamista on voitu tehdä hankkeella, mutta siinä on ollut muut tekijät enemmän vaikuttamassa kuin päästöjen vähentäminen (H7). Toisaalta vaikka päästölaskennan tuloksilla ei ole ollut vaikutusta arvioitavalla hankkeella, on siitä saatu oppeja ja ymmärrystä, joita voidaan käyttää hyödyksi seuraavilla hankkeilla (H6). Vanhojen hankkeiden laskentatuloksia voidaan käyttää esimerkkinä vähäpäästöisten ratkaisujen suunnittelussa (H7).

Elinkaarivaiheiden huomiointi päästölaskennassa vaihtelee hankkeiden välillä. Esimerkiksi osalla hankkeista on tehty päästölaskentoja, jossa on huomioitu kaikki elinkaarenvaiheet paitsi D-vaiheen päästöt ja osalla hankkeista on huomioitu vain rakentamisen aikaiset päästöt (H6, H7).

Eri elinkaarivaiheiden päästöjen arviointitarkkuus vaihtelee hyvin paljon ja tiettyjä elinkaaren päästöjä on haastava arvioida kuten kunnossapidon päästöt tai muut käytön aikaiset päästöt (H7). Rakentamisen aikaiset päästöt saadaan haastateltavien mukaan arvioitua kaikista tarkimmin, kun taas käytön aikaiset päästöt on voitu saada päästölaskentatyökalun oletusarvoilla tai karkeilla yleistyksillä (H7). Käyttövaiheen ja elinkaaren loppuvaiheen laskentaa varten on hankala saada tietoa ja saman vaiheen laskenta voi tuottaa hyvin erilaisia tuloksia, riippuen minkälaisia arvoja laskentaan on käytetty (H6).

Päästölaskennan asiantuntijoiden mielestä päästökertoimien saatavuus on parantunut huomattavasti viime vuosina. Infrarakentamisen kansallinen päästötietokanta on helpottanut päästölaskentaa paljon ja se on vähentänyt päästökertoimien arviointiin liittyvää

työtä (H7). Päästötietoja puuttuu vielä esimerkiksi erilaisiin sähkö- ja muihin teknisiin järjestelmiin liittyvistä asioista, mutta maantie- ja katuhankkeiden merkittävimmille päästölähteille on saatavissa hyvin päästökertoimia (H6). Päästökertoimien määrittäminen tulee todennäköisesti olemaan jatkuvasti kehittyvä prosessi, eikä päästötietokantaa voida tietyllä tapaa mieltää olevan koskaan ”valmis”. (H6).

Päästölaskennasta ei ole olemassa Suomessa infra-alalle omaa sovellettua ohjeistusta päästölaskennan ISO-standardin lisäksi (H6). Väyläviraston hankkeille on olemassa oma ohjeistus vähähiilisyyden arviointiin (H5). Yksi haastateltavista päästölaskijoista mainitsi, että kadunrakentamisessa laskennassa on käytetty talonrakentamisen standardia (H6). Ohjeistuksen puutteiden myötä laskentatavat eroavat toisistaan, mikä heikentää laskennan tulosten vertailtavuutta (H7). Eri suunnitteluvaiheissa tehtävälle päästölaskennalle nähtiin tarve ohjeistukselle, joka ottaisi huomioon suunnitteluvaiheen määrätiedon tarkkuuden ja sitä kautta päästökertoimien tarkkuuden (H6). Tällöin hankkeiden välinen vertailu olisi helpompaa.

Päästölaskenta työkalujen käytöstä haastateltavilla oli kokemusta One Click LCA:sta, ja Ihkusta (H5, H6, H7). Ihkun kustannus- ja päästölaskentatyökalu on tehnyt suunnitteluvaiheen päästölaskennasta helpompaa ja nopeampaa, mutta sen käyttö vaatii silti manuaalista laskemista. Ihkun sisältämistä panoksista suurimmalle osalle on määritetty panoskohtainen päästökerroin (H12).

Yhden päästölaskennan asiantuntijan mielestä päästölaskennan kehittämisessä kannattaisi mieluummin pyrkiä kehittämään laskennan automatisointia ja nopeutta, sen sijaan, että laskentaan saadaan mukaan mahdollisimman kattavasti kaikki laskettavat tiedot (H6). Laskennan laajentuminen useammalle hankkeelle luultavasti edesauttaisi päästötietokantojen kehittymistä ja päästökertoimien saatavuutta myös niille osille, joilta se puuttuu vielä (H7). Kun laskentaa tehdään enemmän, niin sitä kehitetään myös enemmän.

”Tavallaan jos laskennan saa tehtyä helpommaksi, nopeammaksi ja sujuvammaksi, niin silloin laskentaa tehdään useimmille hankkeille, myös pienemmillä projekteilla. Se tuo mun mielestä enemmän arvoa alalle kuin se, että laskennassa koitetaan ottaa huomioon mahdollisimman paljon asioita esimerkiksi sitten ne sähköjohdot.” (H6)

Päästölaskennan haasteet

Päästölaskennan asiantuntijoiden mielestä yhtenä haasteena päästölaskennassa on sen toteutus liian myöhäisissä vaiheissa hankkeissa (H5, H6, H7). Päästötiedot haluttaisiin saada mahdollisimman aikaisin selville, jotta niillä voidaan vaikuttaa mahdollisimman

paljon hankkeen suunnitteluratkaisuihin. Tämä aiheuttaa tietynlaisen ristiriidan päästölaskennan ja sen tulosten hyödyntämisen kannalta. Suunnittelun aikana tehtävän laskennan ongelmana on, ettei laskentaa varten tarvittavia tietoja ole määritelty tai niitä ei ole määritelty tarpeeksi tarkasti (H11). Suunnittelun aikana määritetään mitä hankkeessa tehdään, mutta päästölaskennan kannalta oleellisia tietoja on myös, että miten tehdään (H11). Esimerkiksi suunnittelussa ei oteta aina kantaa, että mikä on materiaalien kuljetusmatka, millä on suuri merkitys päästöjen kertymisessä.

Yhtenä haasteena päästölaskennassa on laskennan työläys. Laskentatyökaluihin tieto pitää syöttää käsin ja tietojen syötössä pitää varmistaa, ettei asioita lasketa useaan kertaan. Esimerkiksi ohjelmat voivat laskea automaattisesti kuljetusmatkat materiaaleille tai sitten ne pitää laskea itse (H5). Päästölaskijalla pitää olla tiedossa, mitkä asiat ohjelma laskee automaattisesti, jotta voidaan välttää tietojen syöttämiseltä useaan kertaan. Lisäksi manuaalista tiedonsiirtoa voidaan joutua tekemään useaan kertaan eri päästölaskentatyökalujen välillä, jotta päästöt saadaan laskettua oikein (H10).

Päästölaskija kertoi, että yhtenä haasteena on yhteistyön puute suunnittelijan ja päästölaskijan välillä (H5). Päästölaskijalla ei ole yleensä asiantuntemusta, mitä kaikkia työtehtäviin kuuluu ja mitä vaatimuksia on olemassa rakenteille ja materiaaleille. Suunnittelijalle ei taas usein ole tietämystä päästövaikutuksista.

Lisäksi yhtenä haasteena päästölaskennassa voi olla lähtötietojen tarkkuustaso. Rakentamisurakan toteutuneiden määrien perusteella tehtävällä päästölaskennalla tiedonkeruun onnistumisella ja tiedonkeräämisen tavalla on suuri merkitys päästölaskennan tuloksiin ja siihen, miten hyvin tulokset ovat vertailukelpoisia suunnitteluvaiheen laskennan kanssa (H5).

Päästölaskenta varhaisissa vaiheissa

Suurin osa haastateltavista koki, että päästölaskennan ottaminen mukaan jo aikaisemmissa vaiheissa on tärkeää, jos päästöt halutaan ottaa paremmin huomioon suunnitelmissa. Jos päästölaskenta halutaan ottaa mukaan jo aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa, pitäisi sen prosessi olla sujuvampi ja helpompi kuin, mitä se nykyisin on (H1). Päästölaskentaa ei välttämättä olisi tarve tehdä suunnitteluvaiheen aikana, vaan laskenta voitaisiin suorittaa aina tietyn suunnitteluvaiheen lopuksi. Jos esimerkiksi valmiista tiesuunnitelmasta tehtäisiin päästölaskenta, siltä olisi mahdollista saada syötteitä rakennussuunnitelmavaiheeseen (H1). Vaikka rakentamissuunnitelmavaiheessa mahdollisuudet vaikuttaa suunnitteluratkaisujen kautta päästöihin ovat pienemmät, antaisi se silti mahdollisuuden vaikuttaa niihin.

Osa päästövaikutuksista ovat sidonnaisia aikatauluun liittyen, joten aikaisissa vaiheissa tehtävällä päästölaskennalla olisi mahdollisuus vaikuttaa paremmin hankkeen aikatauluun ja sitä kautta vähentää päästöjä (H5). Esimerkkinä esikuormitus vaatii enemmän aikaa kuin moni muu pohjanvahvistusmenetelmä, mutta sen päästöt ovat yleensä pienemmät.

Oikeanlaisten päästökertoimien valitseminen voi tuottaa haasteita aikaisissa vaiheissa tehtävään päästölaskentaan, koska päästökertoimien tarkkuustaso on yleensä tarkempi, kuin suunnitelmien taso. Aikaisissa suunnitteluvaiheissa esimerkiksi betonin laatuun ei ole välttämättä ole otettu kantaa, mutta esimerkiksi Ihkun vaatimaan päästölaskentaan varten se pitää olla määritetty (H5). Aikaisten vaiheiden päästölaskentaa varten voisi olla hyvä määrittää keskimääräisiä päästökertoimia materiaaleille (H6).

Päästölaskentatyökalut vaativat usein hankkeen määrätiedot rakennusosatarkkuudella, mitä ei ole yleensä mahdollista tehdä varhaisissa suunnitteluvaiheissa. Varhaisten vaiheiden laskenta on tehty hankeosatarkkuudella, jolloin päästökerroin on määritetty tietynlaiselle tyyppipoikkileikkaukselle ja kerrottu esimerkiksi tieosuuden pituudella (H5). Tyyppipoikkileikkaus-pohjainen päästökerroin nähtiin yhtenä tärkeänä varhaisen vaiheen päästölaskennan mahdollistajana (H6, H7). Tällöin tietynlaisille tyyppipoikkileikkauksille tai rakenneratkaisuille olisi valmiiksi määritetty päästökerroin.

Varhaisen vaiheen päästölaskennassa pitää ottaa huomioon, että suunnittelun edetessä päästökertoimet ja määrätiedot tarkentuvat, mikä vaikuttaa laskennasta saatuihin tuloksiin. Suunnitteluvaiheessa on voitu tehdä ratkaisuja, jotka vähentävät päästöjä, mutta tiedon tarkentuessa lasketut päästöt voivat silti kasvaa (H6). Tämänlaiset päästöjen lisäykset tulisi tunnistaa päästölaskennan edetessä, jotta sen vaikutukset eivät johda vääriin johtopäätöksiin (H6).

Tulosten vertailukelpoisuus ja vaihtoehtotarkastelut

Infrahankkeet ovat keskenään erilaisia, joten niiden vertailu toisiinsa voi olla haastavaa. Esimerkiksi kahden saman pituisen kadun osuuden päästövaikutukset voivat olla moninkertaiset riippuen niiden pohjarakentamisesta, taitorakenteista tai nykyisistä järjestelmistä (H6). Erilaisten tunnuslukujen avulla vertailtavuutta voidaan parantaa. Tunnuslukuina voidaan käyttää esimerkiksi päästöt jaettuna tiemetri tai raidemetri. Toisaalta nekin voivat olla harhaanjohtavia hankkeiden erilaisten sisältöjen takia (H6). Yhtenä tunnuslukuna on käytetty hankkeen päästöt jaettuna investoituina kustannuksina ja sen hyvänä puolena on, että sillä voidaan ottaa huomioon hankkeen laajuus (H6). Kustannuksien

käyttäminen päästöissä tunnuslukuna voi olla myös haastavaa, koska hankkeen kustannukset voidaan laskea eri tavalla, esimerkiksi sisältyykö suunnittelu hankkeen kustannuksiin vai ei (H7).

Rakennusosien vaihtoehtotarkastelun tarve riippuu hankkeesta ja suunnitteluvaiheesta. Esimerkiksi pohjanvahvistukset ovat yksi hankkeen osa, johon liittyy paljon päästöjä ja jossa voidaan optimoida päästöjä (H5). Hankkeelta pitäisi tunnistaa isoimmat päästöjä aiheuttavat osat ja ne, joihin on suurimmat vaikutusmahdollisuudet (H1). Vaihtoehtotarkasteluja pitäisi olla mahdollista tehdä myös rajattuina kokonaisuuksina, eli laskentaa ei tehdä koko hankkeelle. Tällöin pitää olla varma, että jos sen perusteella tehdään muutoksia, niin se ei aiheuta muutoksia muihin laskennasta ulos rajattuihin rakennusosiin (H5).

Elinkaaripäästöjen tarkastelu suunnitteluvaiheessa voisi olla yksi tekijä, jota kannattaa tarkastella. Joidenkin suunnitteluratkaisujen rakentamisesta aiheutuvat päästöt tai kustannukset voivat olla isommat, mutta niiden elinkaaren aikana tulevat kustannukset ja päästöt ovat matalampia. Esimerkiksi asfaltti laatujen välillä on eroja niiden kestävyydessä, joka vaikuttaa niiden uusimisväleihin (H15).

Mallipohjainen määrälaskenta

Mallipohjaisesta suunnitelmasta tehtävään määrälaskentaan vaikuttaa paljon se, mitä kaikkea itse suunnitelmaan on määritelty. Kaikkea tietoa ei sisällytetä mallipohjaiseen suunnitelmaan, vaan osa pitää laskea käsin tai määrittää muilla tavoin (H1, H4). Yhtenä esimerkkinä on maaleikkaus, jonka määrä voidaan laskea suunnitelmasta, mutta suunnitelma ei sisällä tietoa siitä, mikä osuus leikkausmassoista menee läjitykseen tai penkereeseen (H1). Myös olemassa olevaan infraan liittyvät tiedot, kuten esimerkiksi rakenteiden purkamisten tietojen sisällyttämien mallipohjaiseen suunnitelmaan on haastavaa (H1). Määrälaskennan tekeminen mallipohjaisesti vaatii myös tarkkuutta mallintamiselta. Suunnitelmat saattavat näyttää oikeilta, mutta määrät ovat silti vääriä, joten joskus voi olla varmempaa laskea käsin kuin käyttää ohjelman laskemia määriä (H4).

Suunnittelun aikaiset määrätiedot vastaavat melko tarkalla tasolla toteutuneen hankkeen määriä (H13). Tällöin materiaalikohtaisia päästöjä pitäisi olla myös mahdollista arvioida melko tarkalla tasolla suunnittelun aikana tai etenkin rakentamissuunnittelun aikana. Lähtötietojen puutteellinen tarkkuus on yksi tekijä, joka aiheuttaa epätarkkuutta suunnitelmien määrissä. Esimerkiksi maanpintamallin tarkkuus vaikuttaa leikkauksen ja pengerryksen määrään (H15).

Haastateltujen suunnittelijoiden mukaan määrätietojen tiedonsiirto tehdään yleensä manuaalisesti ohjelmasta toiseen (H2, H3). Suunnitteluohjelmista on usein mahdollista saada tulostettua määräluettelo esimerkiksi excel-muodossa, mutta tiedot pitää syöttää käsin määräluettelosta päästölaskentaohjelmistoon. Ihkussa on mahdollisuus käyttää siirtotiedostoja, mutta haastatelluilla suunnittelijoilla oli vain vähän kokemusta niiden käytöstä (H1, H3). Siirtotiedostojen avulla määrätiedot syötetään ohjelmaan tiedostona, josta laskentaohjelma kerää automaattisesti määrätiedot ja laskee päästöt ja kustannukset niille.

Yhtenä ongelmana Ihkun siirtotiedoston käyttämisessä on suunnitteluohjelman tulostaman määrätiedoston ja Ihkun tietorakenteen yhteensopimattomuus (H11, H16). Ihkussa käytetään Infra-nimikkeistöä laskennan pohjana, joka on usein myös suunnitteluohjelmissa käytössä. Yhteensovituksen ongelma aiheutuu nimikkeistön tarkkuustasossa. Esimerkiksi suunnitelmista maaleikkaus saadaan sellaisenaan, mutta Ihkussa pitää tarkentaa, meneekö leikkaus läjitykseen tai penkereeseen (H11).

Siirtotiedostoissa ongelmia saattaa lisäksi aiheuttaa esimerkiksi suunnitelmien määrätietojen päivittäminen päästö- tai kustannuslaskentaohjelmaan, varsinkin silloin, jos laskentaohjelmassa on tehty jotain korjauksia tai annettu lisätietoa rakenneosalle (H2). Päivitettyjen tietojen tuominen siirtotiedostona saattaa aiheuttaa korjatun tiedon katoamista, joten suunnittelijat ovat kokeneet varmempana tehdä päivitykset käsin. Tiedon viemiseen käsin liittyy aina mahdollisuus väärinsyöttöön, mutta tiedoston avulla tehtävään tiedonsiirtoon liittyy myös erilaisia väärinkäsityksiä ja yksinkertaistuksia (H2). Yksi haastateltava ehdotti, että tiedonsiirto voisi tapahtua rajapinnan kautta päästölaskenta- ja suunnitteluohjelman välillä, jolloin ei tarvittaisi erillistä siirtotiedostoa (H3).

Tiedonsiirtoformaateilla tehtävään tiedonsiirtoon liittyy haasteita. Inframodel-mallit ovat geometrialinjoja ja pintamalleja ja ne eivät yleensä sisällä tilavuustietoa, joka on usein olennaista tietoa kustannus- tai päästölaskennassa (H3). Tilavuus pitää laskea kahden pinnan välisenä tilavuutena ja sitä varten tarvitaan oma ohjelmisto (H3). IFC-tiedostoon on mahdollista sisällyttää tilavuustieto, mutta sen käyttö on rajattu tiettyihin rakennusosiin.

4.2 Päästöt ja suunnittelunohjaus

Päästöt ohjaavana tekijänä

Haastateltavien mielestä päästölaskennan kehittyessä päästöillä tulee todennäköisesti olemaan suurempi ohjaava merkitys hankkeissa. Päästöjen huomioon ottaminen hankkeissa on vielä uusi asia ja nykyistä tilaa voidaan pitää tietynlaisena ”opetteluvaiheena”

(H13). Päästöt ovat olleet yhtenä tekijänä ohjaamassa päätöksentekoa, mutta tarkkaa vaatimusohjausta päästöjen kannalta ei ole vielä olemassa (H12). Jotkin kaupungit ovat asettaneet päästövähennystavoitteita, joka voi olla esimerkiksi päästöraja, johon pitää päästä tiettyyn vuoteen mennessä (H7). Päästövähennystavoitteen toteuttamiseksi on haettu erilaisia keinoja vähentää päästöjä ja pyritty tunnistamaan tekniikkalajikohtaiset keinot päästöjen vähentämiseksi. EU-tasolla ja kansallisella tasolla on lisäksi olemassa päästöihin liittyviä tavoitteita ja standardeja, mutta ne eivät ole tyypiltään määrääviä tai pakottavia (H10).

Urakoinnin puolella päästöjä vähentävien toimenpiteiden ohjaus on vielä vähäistä. Kokemusta päästöjä vähentävistä toimenpiteistä oli ainakin vähähiilisemmän polttoaineen käytöstä ja joistakin uusiomateriaaleista (H14, H15). Useat päästöjä vähentävät toimenpiteet tulevat ikään kuin vahingossa muiden toimenpiteiden mukana. Esimerkiksi kuljetusmatkoja optimoidaan ensisijaisesti kustannusten takia, mutta sen ohessa päästöt myös vähentyvät (H15). Urakan kilpailutuksessa tärkein tekijä on kustannukset, jolloin materiaaleista ja vaihtoehdoista valitaan yleensä kustannuksiltaan halvin ratkaisu eikä vähäpäästöisin (H13, H14). Tilaajalta pitäisi tällöin tulla vaatimukset, vähähiilisten materiaalien käytöstä, koska urakoitsijalla ei ole yleensä intressejä käyttää kalliimpaa vaihtoehtoa, vaikka sen päästövaikutukset olisivat pienemmät (H14).

Työkoneiden päästöluokat ovat yksi Väyläviraston käytössä oleva nykyinen keino asettaa päästöihin liittyviä vaatimuksia hankkeille (H13). Päästöluokkien vaatimuksista on kaksi eri tasoa riippuen hankkeen sijainnista. Päästöluokkien vaatimusten käyttöön ottamiseksi tarvittiin aluksi pilotointia työkoneiden päästöistä (H13). Muut päästöihin liittyvät vaatimukset tulevat todennäköisesti vaatimaan myös pilotointia ennen kuin ne voidaan ottaa vaadittavaksi tekijäksi urakkakilpailutuksessa (H13). Toinen päästöihin vaikuttava vaatimus on ollut uusiutuvan työmaasähkön käyttö, mutta muuten päästöihin liittyvät vaatimukset ovat olleet vielä vähäisiä (H15).

Lainsäädännöllä on myös vaikutuksia vähähiilisten uusiomateriaalien käyttöön. Uusiomateriaalien käyttö vaatii usein lupaprosessin, jolloin tiukalla aikataululla niitä ei ole mahdollista käyttää, vaikka materiaali olisi laadultaan ja logistisesti hankkeeseen sopiva (H13). Uusiomateriaalien käyttö pitää huomioida tarpeeksi ajoissa hankkeessa, jotta niitä voidaan käyttää. Lainsäädännön ja lupaprosessien keventäminen uusiomateriaalien kohdalla todennäköisesti tekisi niiden käytöstä rakentamisessa helpompaa (H13). Toisaalta lainsäädäntö ja lupaprosessit ovat luotu syystä uusiomateriaaleille, joten niiden keventäminen ei välttämättä ole mahdollista.

Kustannuksiltaan vähähiilisempiä vaihtoehtoja ollaan valmiita valitsemaan, jos niiden vaikuttavuus suhteessa kustannuksiin on merkittävä (H6). Etenkin sellaiset vaihtoehdot, joilla voidaan saavuttaa mittavia päästövähennyksiä. Uusiutuvien polttoaineiden käyttö on jo yleistä työmailla. Ne ovat kustannuksiltaan kalliimpia, mutta niillä saadaan merkittävät päästövähennykset ja niiden päästöjä vähentävät vaikutukset ovat helposti todennettavissa (H6). Lisäksi reunakivien ja kiveyksien valinnassa on voitu valita kalliimpi Suomessa tuotettu vaihtoehto, jolla on pienemmät kuljetuksesta aiheutuvat päästöt (H7). Esimerkiksi Kiinasta tuodut reunakivet ja muut kiveykset ovat halvempia, mutta niiden rahdista aiheutuvat päästöt ovat merkittävästi suurempia kuin Suomesta saatavien kivituotteiden (H7).

Päästöjen vähentämisen tukeminen

Rakennushankkeen tilaaja voi tukea päästöjen vähentämistä asettamalla päästöihin liittyviä vaatimuksia rakennushankkeelle tai kannustimia vähähiilisten ratkaisujen käyttämiseen (H1, H13). Vaatimusten ja kannustimien asettaminen kannustaa urakoitsijaa ja suunnittelijaa etsimään keinoja vähentää päästöjä (H1). Päästötavoitteiden asettaminen projekteille on vielä haastavaa, koska siihen vaadittavaa tietoa ei ole tarpeeksi (H13). Päästötavoitteiden asettaminen vaatii vielä laskemista ja testaamista ennen kuin sitovia tavoitteita voidaan asettaa projektille (H13).

Tilaaja voi tukea päästötiedon keräämistä vaatimalla päästölaskentaa hankkeilta. Kerätyn päästötiedon perusteella voidaan luoda vertailupohja, jolloin hankkeiden päästöt ovat paremmin vertailtavissa (H13). Vertailupohjan avulla urakoiden tarjouksissa päästöt voitaisiin pisteyttää, jonka kautta ne voitaisiin ottaa kilpailutuksessa huomioon (H13). Pisteytysjärjestelmän avulla päästöjen painotusta kilpailuttavana tekijänä voitaisiin vaihdella.

Vaatimusten ja kannustimien asettamisessa tulee myös miettiä, miten niitä voidaan valvoa tai todentaa. Niiden pitää olla mitattavissa ja mahdollisimman yksiselitteisiä ja päästöjen raportointi pitää olla mahdollisimman tarkasti ohjeistettu (H13). Tällöin eri tulokset ovat vertailukelpoisia, eikä raportointitavalla voida vaikuttaa päästöjen laskennalliseen suuruuteen. Raportointia ja päästöjen mittaamista varten pitää olla vakioidut käytänteet (H13).

Yksi haastateltava antoi esimerkin Ruotsissa käytettävistä päästötavoitteista. Ruotsin Väylävirastoa vastaava organisaatio Trafikverket, on asettanut vaatimuksia ajoneuvojen päästöihin liittyen ja maksimipäästökertoimia päästöintensiivisille materiaaleille. Materi-

aalien päästökertoimet tulee todentaa toimittajakohtaisella EPD-dokumentilla. Vaatimusten toteuttamisesta sai sakkoja tai bonuksia, sen perusteella, kuinka hyvin ne saatiin toteutettua. (H5)

Tietoisuuden lisääminen suunnittelijoille on yksi olennainen tekijä, jos halutaan tukea vähäpäästöisempiä suunnitteluratkaisuja (H6). Suunnittelijoilla on olemassa tietynlainen tietoisuus erilaisten suunnitteluratkaisujen kustannuksista, mutta heillä ei välttämättä ole tietoa niiden päästövaikutuksista (H1). Kun tiedetään, miten päästöt jakautuvat rakennushankkeessa, voidaan erilaisten suunnitteluratkaisujen tarkastelu päästöjen kannalta keskittää olennaisiin rakenneosiin. Tällöin päästöt voisi olla yksi tekijä, joka vaikuttaisi suunnittelijan päätöksiin ja suunnittelija pystyisi itse tekemään vähäpäästöisempiä suunnitteluratkaisuja (H6).

Tiedon jakamisessa suunnittelijoille pitäisi myös miettiä millaista tietoa heille jaetaan. Kaikenlainen päästötieto ei ole olennaista suunnittelijalle, kuten esimerkiksi tieto päästöjen jakautumisesta elinkaarivaiheittain tai tekniikkalajeittain. Suunnittelijalle pitäisi jakaa tietoa päästövähennyskeinoista, joihin hänellä on mahdollisuus vaikuttaa, sekä tieto suurimmista päästölähteistä. (H6)

Päästötietojen tuominen suunnittelujärjestelmään on yksi tapa, joka antaisi suunnittelijalle paremman käsityksen päästövaikutuksista (H1). Suunnittelija näkisi suoraan millaisia vaikutuksia tietyt suunnitteluratkaisut ja materiaalit aiheuttavat. Tällöin päästöt olisi helpompi ottaa yhdeksi vaihtoehtotarkastelun kriteeriksi ja päästöjen kertymistä olisi mahdollista seurata suunnittelun aikana. Nykyään päästöt näkyvät suunnittelijalle usein vasta päästölaskennan jälkeen, jos tietoa päästölaskennasta edes annetaan suunnittelijalle (H3).

Lisäksi yhteistyön lisääminen päästölaskennan-asiantuntijan ja suunnittelijan välillä voisi paremmin tukea keinoja löytää päästövähennyskeinoja. Osapuolten välillä voitaisiin järjestää työpajoja, joissa käytäisiin tekniikkalajeittain eri ratkaisuista syntyviä päästöjä ja millaisia ratkaisuja suunnittelijat voisivat tehdä vähentääkseen päästöjä. (H7)

Päästölaskennasta voisi olla lisäksi ohjeistettuna kevyempi versio, mikä ei vaatisi yhtä paljoa työtä kuin koko laskennan tekeminen (H1). Sen avulla voitaisiin tukea suunnitelmaratkaisujen valitsemista ja vertailua, sekä tehdä laskennasta helpompaa. Mitä helpompaa ja nopeampaa päästölaskennan tekeminen on, niin sitä paremmin päästöjen tarkastelu voidaan ottaa osaksi hanketta.

4.3 Päästöjen arvioinnin ja mallintamisen yhteensovitus

Mallipohjainen määräluettelo

Perinteinen manuaalinen määrätietojen siirtäminen määräluettelosta laskentaohjelmistoon on työläs prosessi (H6). Määräluetteloon perustuvan menetelmän yhtenä hyvänä puolena on, että se ei vaadi integraatiota suunnitteluohjelmiston ja päästölaskentaohjelmiston välillä (H12). Parhaimmassa tilanteessa menetelmän avulla määräluettelo saataisiin ”nappia painamalla” suunnitteluohjelmasta ja syöttämällä tiedosto päästölaskentaohjelmaan, päästöt laskettaisiin suoraan ilman manuaalista käsittelyä (H2).

Automaattinen tiedonsiirto määräluettelosta vaatii vielä kehitystä ja vakiointia. Yhtenä haasteena automaattiselle tiedonsiirrolle on litteratietojen yhteensopimattomuus (H1). Suunnitteluohjelmasta saadaan määrätulosteen tiedot liian yksinkertaisina, kun päästölaskentaohjelmaan ne pitää olla syötettynä tarkemmalla tasolla Yhtenä vaihtoehtona voisi olla, että päästölaskentaohjelmassa olisi tarjolla myös ylemmän tason rakennusosatietoja (H1). Automaattiseen tiedonsiirtoon liittyy myös riskejä virheisiin. Automaattiseen laskentaan saatetaan luottaa liikaa, jolloin tiedon oikeellisuutta ei tarkasteta (H12). Käsin laskiessa joudutaan miettimään yksitellen jokainen rivi, jolloin ollaan paremmin selvillä siitä, miten päästöt ovat laskettu.

IFC-siirtotiedosto

IFC-tiedoston laajemman käyttöönoton avulla tietomalleja olisi todennäköisesti helpompi hyödyntää päästöjen arvioinnissa (H1). IFC-formaattiin on mahdollista sisällyttää tilavuustietoa ja materiaalitietoa, kun taas Inframodel-malleissa tilavuus joudutaan yleensä laskemaan erikseen esimerkiksi kahden pinnan välisenä tilavuutena (H3). IFC-mallien tilavuuden määrittämiseen ei tarvita erillistä laskentaohjelmaa tilavuuden määrittämiseen (H3). IFC-mallien käytön yhtenä haasteena päästölaskennassa on sen vaatima määrittelytyö, jotta laskenta toimisi halutulla tavalla (H8).

Lisäksi yhtenä hyötynä IFC:n käyttämisessä on, että se mahdollistaa koneellisen tai automatisoidun laadun tarkastamisen, jolla voidaan varmentaa tiedon oikeellisuutta (H8). IDS eli information delivery specification on standardi, jonka avulla IFC-tiedoston tietosisällön vaatimukset voidaan määrittää ohjelmistojen ymmärtämään muotoon. Sen avulla suunnittelijalle voidaan viestiä, mitä kaikkea tietoa malliin pitää sisällyttää (H8). Sen lisäksi sitä voidaan käyttää tiedoston vastaanottavassa päässä tarkastamaan, että sisältö vastaa sitä, mitä on haluttu (H8).

Päästölaskenta-plugin

Päästölaskennan plugin-tyyppisiä yhteensovituksia suunnittelujärjestelmään pidettiin hyvänä vaihtoehtona toteuttaa päästölaskentaa. Sen avulla voitaisiin mahdollistaa reaaliaikainen päästöjen seuranta. Tuloksia suunnitteluratkaisujen päästöistä saataisiin heti, kun mallia aletaan muodostamaan, jolloin päästölaskennan ohjaava vaikutus on helpompi saavuttaa (H11, H12). Yhden haastateltavan mukaan talonrakennuspuolella vastaavia toteutuksia on käytetty, mutta infra-alalla menetelmän mukaisia toteutuksia ei haastateltavalla tullut mieleen (H7).

Pluginin käytön yhtenä ongelmana voi olla lokalisoinnin puute. Päästölaskentaa varten plugin hakee päästökertoimet, jostain ohjelmistokehittäjän määrittämästä päästötietokannasta. Suomen markkinat ovat pienet verrattuna muuhun maailmaan, joten esimerkiksi Väyläviraston vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaista tapaa laskea päästöjä ei ole todennäköisesti saatavilla (H12). Omassa ohjelmistossa tapahtuva päästölaskenta vaikuttaa realistisemmalta, koska silloin ei tarvita suunnitteluohjelmiston päästölaskennan lokalisointia (H16).

Päästötiedot suunnittelujärjestelmässä

Suunnittelijat pitivät parhaana yhteensovitusmenetelmänä päästötietojen tuomista suunnittelujärjestelmään, jolloin suunnittelijalle tulisi parempi tieto itselleen suunnitteluratkaisujen päästövaikutuksista (H3, H4). Päästötietojen vieminen osaksi suunnittelujärjestelmää nähtiin tietynlaisena tavoitetilana ja muut yhteensovitusmenetelmät välivaiheina tai kehitysaskelina (H1). Useat haastateltavat näkivät, että mitä vähemmän välivaiheita prosessissa on, niin sitä parempi, sillä usean välivaiheen prosesseissa on suurempi todennäköisyys virheille.

Päästölaskennan asiantuntijat pitivät tärkeänä, että päästökertoimet tulisivat verifioidusta paikasta esimerkiksi CO2data-päästötietokannasta, eikä ohjelmiston omista päästökannoista, jotta laskennan tulokset olisivat vertailukelpoisia (H6, H7). Ohjelmassa pitäisi silti olla mahdollisuus syöttää muitakin päästökertoimia, esimerkiksi materiaalitoimittaja kohtaisia päästökertoimia (H6). Tärkeintä olisi, että eri suunnitteluohjelmilla saataisiin samansuuruisia tuloksia (H6).

Päästölaskennan asiantuntija pohti, miten esimerkiksi kuljetuksista tai työmaakoneista aiheutuvat päästöt on mahdollista huomioida, jos päästöt otettaisiin osaksi mallia (H5). Pelkät materiaalin tuotannosta aiheutuvat päästöt eivät aina riitä, jos tehdään tarkastelua eri vaihtoehtojen päästövaikutuksista. Esimerkiksi joidenkin uusiomateriaalin kuljetusmatkat voivat olla pitkiä, jolloin materiaalipäästöt voivat olla pienemmät kuin perinteisellä

materiaalilla, mutta kokonaispäästöt ovat isommat (H5). Lisäksi käyttövaiheen huomioon ottaminen kuten rakenteiden uusimiset ovat yksi tärkeä näkökulma päästölaskennassa, mutta sen ottaminen osaksi mallia voi olla yksi haasteita aiheuttava tekijä (H5).

Materiaali päästöjen laskenta suunnitteluohjelmassa pitäisi olla helpoin toteuttaa, koska ne eivät vaadi päästökertoimien ja materiaalitiedon lisäksi muuta uutta sisällytettävää tietoa mallipohjaiseen suunnitelmaan (H1). Muita elinkaari vaiheiden päästöjä on luultavasti mahdollista myös laskea, mutta silloin tarvitaan enemmän tietoja suunnitteluohjelmaan. Toisaalta pelkästään materiaali päästöt suunnitteluohjelmasta voisi olla riittävää (H12). Suunnittelija saisi tällöin tietoa suunnitteluratkaisujen vaikutuksista materiaalipäästöihin, mutta lopullinen päästölaskenta tehtäisiin erikseen ja siinä laskettaisiin kaikki muut vaiheet mukaan. Esimerkiksi suunnitteluohjelmalla ei ole luultavasti järkevää laskea käyttövaiheen päästöjä, vaan niiden laskeminen kannattaa tehdä erillisessä ohjelmassa (H10).

Yhden haastatellun suunnittelijan mukaan materiaaleista muodostuvien päästöjen laskeminen suunnitteluohjelmistossa voi olla mahdollista nykyisillä parametristä suunnittelua käyttävillä suunnitteluohjelmistoilla, jossa laskentaa voidaan tehdä erilaisilla parametreillä. Parametreinä olisi päästökerroin ja esimerkiksi laskettavan kohteen tilavuus. Myös muiden vaiheiden päästöjä pitäisi olla mahdollista laskea, mutta ne tarvitsevat enemmän parametrejä. (H3)

Päästötietojen visualisointi

Haastateltavat olivat samaa mieltä, että päästöjen visualisointi helpottaisi hahmottamaan, miten päästöt jakautuvat eri suunnitteluratkaisuissa. Visualisointi voisi tapahtua 3D-näkymässä tai mallista voitaisiin ottaa poikkileikkauskuvia, joissa näkyisi päästöintensiteetti rakenneosittain (H7). Visualisointi voitaisiin tehdä esimerkiksi väriskaalalla, jossa punaisella näkyy eniten päästöjä tuottavat osat ja vihreällä vähiten (H1). Toinen tapa olisi visualisoida tavalla, jossa väreillä osoitetaan rakennusosan päästöt suhteessa tavanomaiseen ratkaisuun (H11). Tällöin tarvitaan tietoa tavanomaisten ratkaisujen päästöistä. Molemmissa tavoissa päästölaskennan asiantuntijan pitäisi määritellä väriskaalalle raja-arvot (H1).

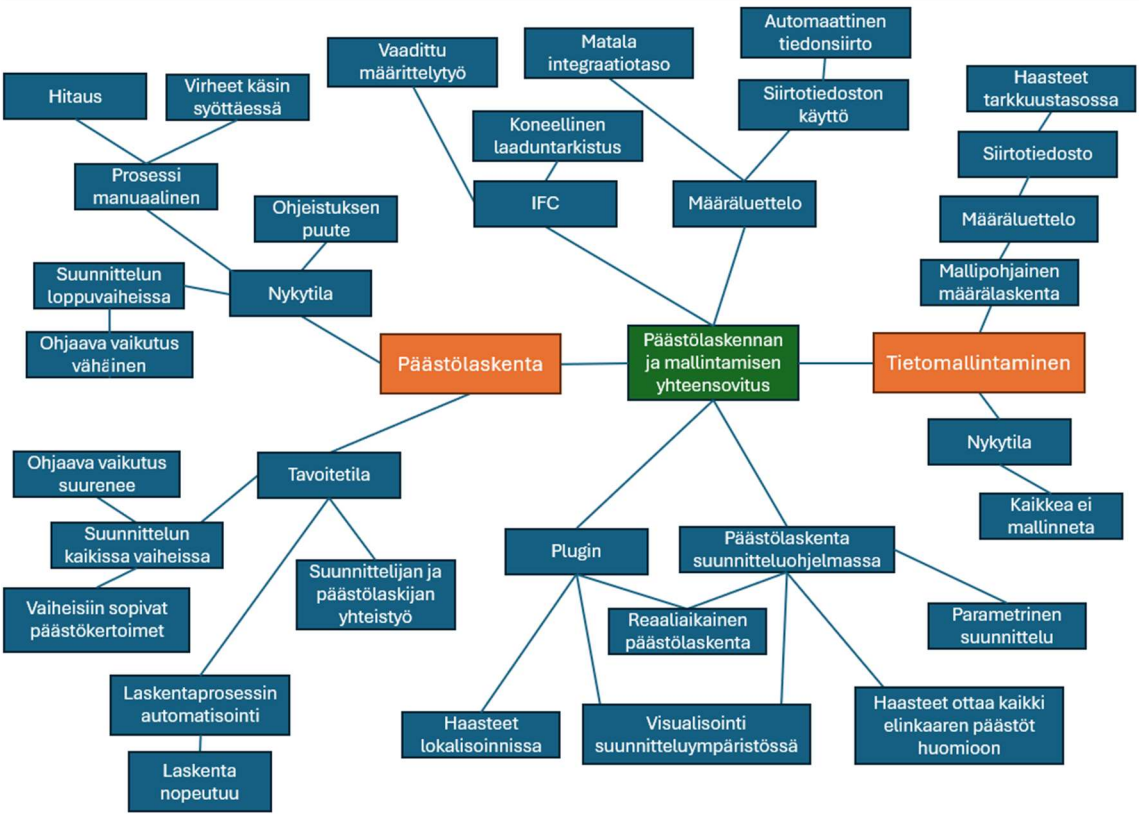
Visualisoinnissa tulee miettiä, millä rakennusosatasolla visualisointi tehdään (H1). Esimerkiksi visualisoidaanko koko silta yhtenä osana vai jokainen sillan osa omanaan. Visualisoinnissa haasteena voi olla mahdolliset rakenteiden sisäiset osat, jolloin rakenteiden pitäisi olla tietyllä tasolla läpinäkyviä (H1).

Visualisointia varten jokaisen kohteen päästöt pitäisi eritellä kohteittain. Esimerkiksi, jos rakennushankkeessa olisi useampi siltakohde, jossa käytetään samanlaista paalua, niin laskennassa pitäisi eritellä paalujen päästöt siltakohteittain, jotta tiedetään jokaisen sillan paalujen päästöt (H1). Päästölaskentaa varten erittelyä ei välttämättä tehdä, jolloin esimerkin tapauksessa saataisiin vain tieto kaikkien paalujen päästöistä (H5).

Päästötietojen visualisoinnin toteutus tulee vaatimaan lisätyötä, joten sen toteuttamisessa pitää miettiä sen tarpeellisuutta verrattuna vaadittuun työmäärään. Useat haastateltavat pitivät visualisointia perinteistä raporttia havainnollistavana aineistona, mutta osan mielestä raportti on silti riittävä (H13, H15). Päästöjen visualisoinnissa kannattaisi käyttää samoja malleja, joita käytetään myös muihin tarkoituksiin. Erillisen malliaineiston tuottaminen päästöjen visualisointia varten ei ole järkevää (H13). Päästötiedot pitäisi tällöin saada sisällytettyä samaan aineistoon, joka luovutetaan tilaajalle.

4.4 Haastatteluiden yhteenveto

Haastattelujen perusteella päästöjen arviointi on infra-alalla vielä kehittyvä prosessi. Päästölaskenta tehdään useimmiten liian myöhäisessä vaiheessa, jolloin mahdollisuudet vaikuttaa suunnitteluratkaisuihin ovat rajalliset. Päästölaskenta on nykyiseltä prosessiltaan pitkälti manuaalista. Tietomalleja hyödynnetään määrälaskennassa, mutta niiden hyödyntäminen suoraan päästölaskennassa on vielä alkeellista. Haastatellut havaitsivat jokaisessa yhteensovitus menetelmässä hyviä ja huonoja puolia. Tavoitetilana pidettiin päästötietojen sisällyttämistä suunnitteluohjelmaan. Kuvassa 16 on esitetty haastatteluissa esille tulleita teemoja ja havaintoja liittyen päästölaskentaan, tietomallintamiseen ja niiden yhteensovitukseen.



Kuva 16. *Miellekartta haastatteluissa päästölaskentaan, tietomallintamiseen ja niiden yhteensovitukseen liittyvistä asioista.*

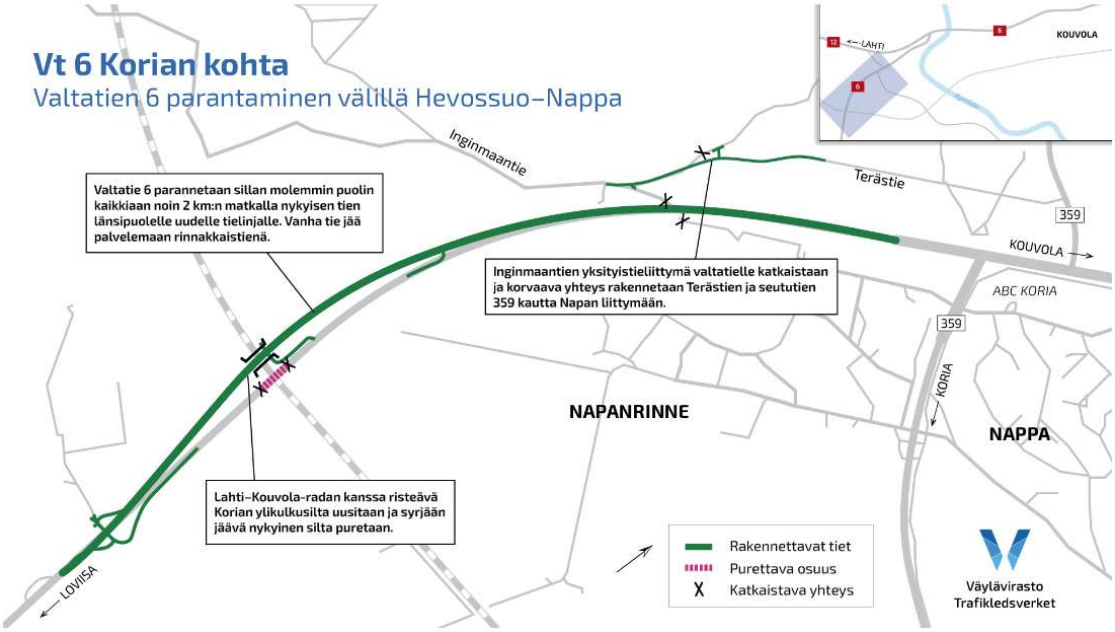
Haastattelujen perusteella päästöt eivät ole nykyisin merkittävä ohjaava tekijä suunnitteluratkaisujen valitsemisessa. Haastateltujen mukaan joissakin hankkeissa on tehty valintoja päästöt huomioon ottaen, mutta kustannukset ovat yleensä vahvin ohjaava tekijä. Tilaajalta tulevat vaatimukset ja kannustimet nähtiin tärkeimpänä tekijänä vähäpäästöisten suunnitteluratkaisujen tukemisessa. Lisäksi tietoisuuden jakaminen päästöistä, sekä suunnittelijan ja päästölaskijan välinen yhteistyö nähtiin keinoina tukea vähäpäästöisten ratkaisujen valitsemista.

5. TAPAUSTUTKIMUSKOHDE JA TEORIAN TESTAAMINEN

Tapaustutkimuskohdetta käytetään tässä tutkimuksessa päästölaskennan ja mallipohjaisen suunnittelun nykytilan analysointiin. Sen lisäksi tapauskohdetta käytetään tutkimuksessa kirjallisuudesta saadun teorian testaamisen testausalustana. Tällöin testattavia käytänteitä voidaan tutkia niiden todellisessa toimintaympäristössä. Testaamisen avulla pyritään selvittämään yhteensovituksen haasteita ja tunnistamaan mahdollisia kehityskohteita.

5.1 Tapauskohde

Tutkimuksen tapauskohteena on Väyläviraston hanke Valtatie 6 Korian kohta, joka sijaitsee Kouvolan lähellä Hevossuon ja Nappan välillä. Valtatie 6 on alueellisesti ja valtakunnallisesti tärkeä yhteys Kaakkois- ja Itä-Suomen ja pääkaupunkiseudun välillä. Tieosuus on nykyisin laatutasoltaan huono ja turvaton, sekä välin nopeusrajoitus on alhainen verrattuna valtatielle tyypilliseen nopeustasoon. Hankkeen tavoitteena on poistaa huonolaatuinen tieosuus, jonka myötä liikenteen sujuvuus ja turvallisuus paranee ja nopeusrajoituksia voidaan nostaa. Välillä sijaitsee yksi ylikulkusilta, joka ylittää Lahti-Kouvola-radan. Hankkeen tarkoituksena on rakentaa noin 2 kilometriä uutta valtatietä nykyisen tielinjauksen länsipuolelle ja rakentaa uusi ylikulkusilta rautatien kohdalle. Kuvassa 17 on esitettynä hankkeen parannustoimenpiteet kartalla. Hankkeen rakentaminen käynnistyi helmikuussa 2024 ja se valmistuu vuoden 2025 aikana. (Väylävirasto 2024)



Kuva 17. *Vt 6 Korian kohta parannustoimenpiteet (Väylävirasto 2024)*

Osa tien linjauksesta sijoittuu pehmeälle maaperälle, mikä vaatii pohjanvahvistamista ja pohjarakentamista. Hankkeessa käytettyjä pohjarakenteita ja pohjanvahvistusmenetelmiä ovat paalulaatta, pilaristabilointi, massanvaihto, kevytsora kevennys ja esikuormituspenkereet. Pohjanvahvistusmenetelmiä ja pohjarakenteita on pystytty optimoimaan rakennussuunnittelun aikana esimerkiksi laskemalla tien suunniteltua tasausta. (Destia 2025)

Kohteen mallipohjainen suunnittelu

Korian kohdan mallipohjaisten suunnitelmien tekemiseen on käytetty useita eri ohjelmistoja. Väylärakenteet ja suurin osa varusteista on mallinnettu omassa suunnittelujärjestelmässä ja taitorakenteet, kuten silta ja paalulaatat ovat mallinnettu omassa suunnittelujärjestelmässään. Suunnitelma-aineistoilla on siis useita natiiviformaatteja ja mallintamista tehdään useissa eri ohjelmistoissa. Väylärakenteet mallinnetaan pintoina ja niiden luovutusaineiston formaattina käytetään Inframodel-formaattia. Taitorakenteet mallinnetaan yleensä tilavuuksina ja niiden formaattina käytetään IFC:tä.

Päästölaskenta hankkeella

Hankkeessa on tehty päästölaskentaa sen tiesuunnitelma- ja rakentamissuunnitelmavaiheissa. Tiesuunnitelman ratkaisujen mukainen päästölaskenta toteutettiin rakentamis-

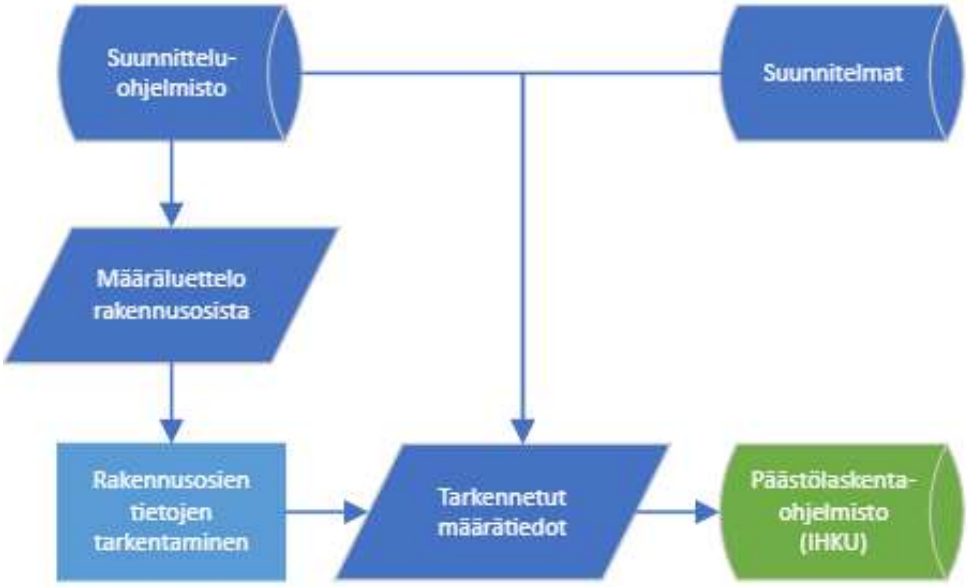
suunnitteluvaiheessa, koska päästölaskentaa ei ollut tehty tiesuunnitelmavaiheessa. Rakentamissuunnitelmaa oli jo edistetty jonkin verran, kun tiesuunnitelmasta tehtiin päästölaskenta. Rakentamissuunnitelmasta tehty laskenta tehtiin valmiista rakentamissuunnitelmasta. Tiesuunnitelmasta tehty päästölaskenta toimii vertailuna rakentamissuunnitelmasta tehtyyn päästölaskelmaan.

Päästölaskenta on tehty Väyläviraston vähähiilisyyden arviointimenetelmään perustuen eli päästöistä on määritetty A1-A5-vaiheet (tuote- ja rakentamisvaihe) ja B4-vaiheet (osien uusimiset). Päästölaskenta on tehty panospohjaisesti rakennusosatasolla. Laskentaa varten rakentamiskohteen käyttöjakson on oletettu olevan Väyläviraston ohjeistuksen mukaisesti 50 vuotta. Laskennassa kasvihuonepäästöistä on otettu huomioon vain hiilidioksidipäästöt. (Destia 2025)

Kustannusten ja päästöjen laskemiseen hankkeella on käytetty Ihku-laskentajärjestelmää. Ihkun avulla voidaan tehdä kustannuslaskentaa ja päästölaskentaa ja luoda raportteja laskentoihin liittyen. Laskentajärjestelmän kustannus- ja päästölaskenta perustuu rakennushankkeen panosmääriin. Laskentaa voidaan tehdä hanke- tai rakennusosa tasolla. Ihkun päästökertoimet perustuvat Infrarakentamisen CO2-päästötietokantaan. Päästötietokannasta ei löydy jokaiselle Ihkun panokselle sopivaa vastinparia, joten osa Ihkun panoksien päästökertoimista on määritetty muilla tavoin. Tällaisten päästökertoimien laskeminen voidaan silti perustaa Infrarakentamisen päästötietokannan painoperusteisiin päästökertoimiin, koska Ihkuun on määritetty panoksille painotietoja. (Ihku-allianssi 2023)

Päästölaskennan prosessi hankkeella

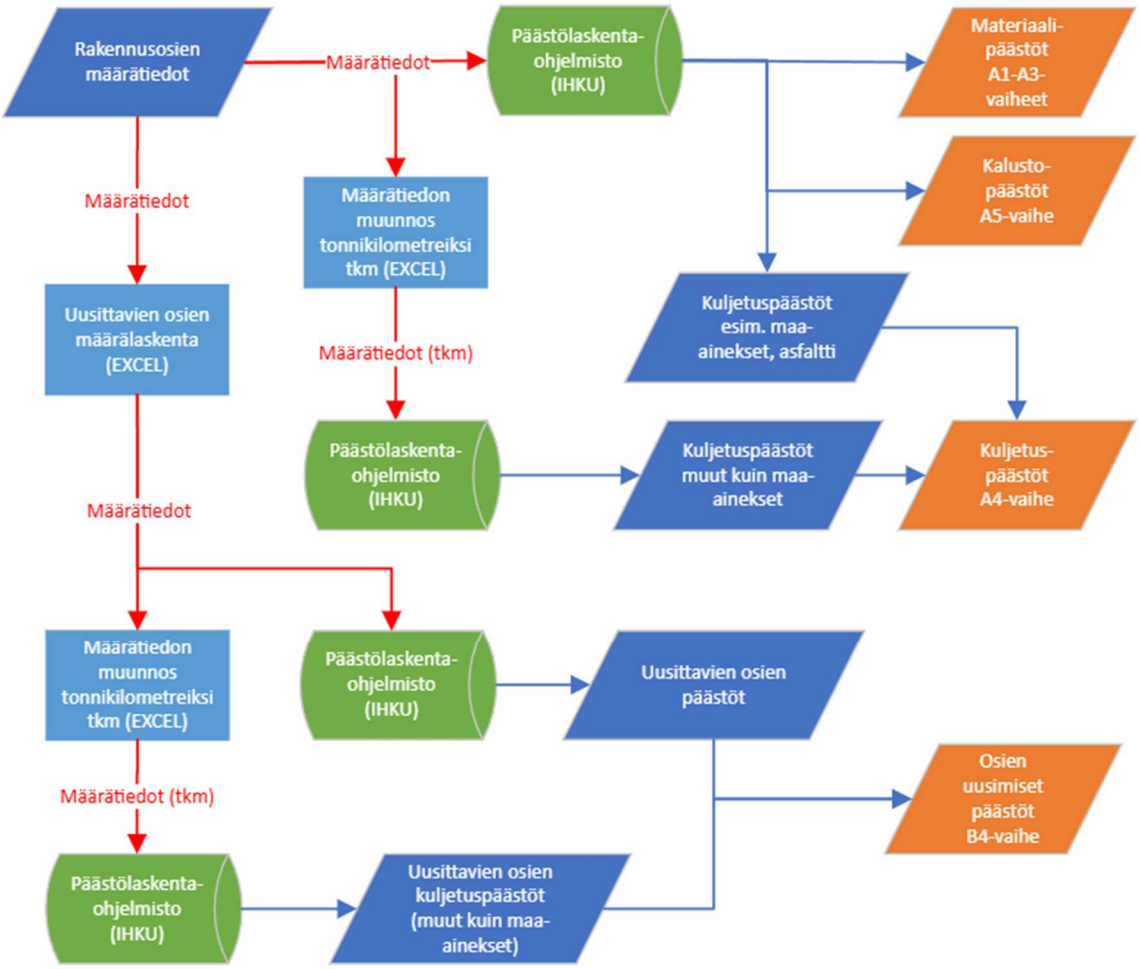
Hankkeen päästölaskentaa varten tarvitaan rakennusosien määrätiedot hankkeen rakenneosista. Määrätiedot voidaan laskea mallipohjaisesta suunnitelmasta tai muista suunnitelmista. Korian kohdan määrien laskemiseen on käytetty molempia tapoja. Mallipohjaisesta suunnitelmasta määrät voidaan yleensä laskea samassa ohjelmassa, jossa suunnitelmat ovat laadittu. Suunnitteluohjelma pystyy laskemaan määrät automaattisesti suunnitelmien perusteella ja luomaan määräluettelon rakennusosista ja niiden määristä. Rakennusosien määriä voidaan laskea mallipohjaisesta suunnitelmasta myös manuaalisesti samaan tapaan kuin suunnitelmapiirustuksista. Määrälaskennan prosessi on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. *Määrätiedon keräämisen prosessi päästölaskentaa varten.*

Jotta rakennusosien määrätiedot voidaan syöttää Ihkun-laskentapalveluun, pitää niiden tarkkuustaso olla sama, mikä Ihkussa on vaadittu. Suunnittelujärjestelmässä ei ole määritetty kaikkea vaadittavaa tietoa rakennusosille, jolloin rakennusosien määrätietoihin pitää tehdä erikseen tarkennuksia, jotta ne voidaan syöttää Ihkuun. Kun rakennusosien tiedot ovat tarkennettu, ne syötetään Ihkussa oikeille nimikkeille. Ihku pystyy laskemaan näiden tietojen perusteella päästöt A1-A3 (tuotevaiheet) ja A5 (työkoneet) vaiheille. A4-vaiheen (kuljetukset) päästöt saadaan laskettua automaattisesti maa-aineksille. Osa kuljetuksista syntyvistä päästöistä pitää erikseen määrittää, koska Ihku ei sisällä niille vaadittavaa tietoa. B4-vaiheeseen (osien uusimiset) liittyviä määriä ei saada suoraan mallipohjaisesta suunnitelmasta, vaan ne joudutaan laskemaan erikseen rakenneosien määrätietojen perusteella.

Kuvassa 19 on esitelty tapaustutkimuskohteen päästölaskenta prosessikaaviona. Punaiset nuolet kuvaavat manuaalista tiedonsiirtoa tai tietojen syöttämistä ja siniset nuolet kuvaavat ohjelmasta tai prosessista syntyvää tietoa tai tulosteita. Ihku laskee automaattisesti osan päästöistä kustannuslaskennan yhteydessä, mutta laskentaa pitää täydentää muilla tiedoilla, jotta laskenta olisi Väyläviraston ohjeistuksen mukainen.



Kuva 19. *Vt6-korian kohta päästölaskenta prosessikaaviona*

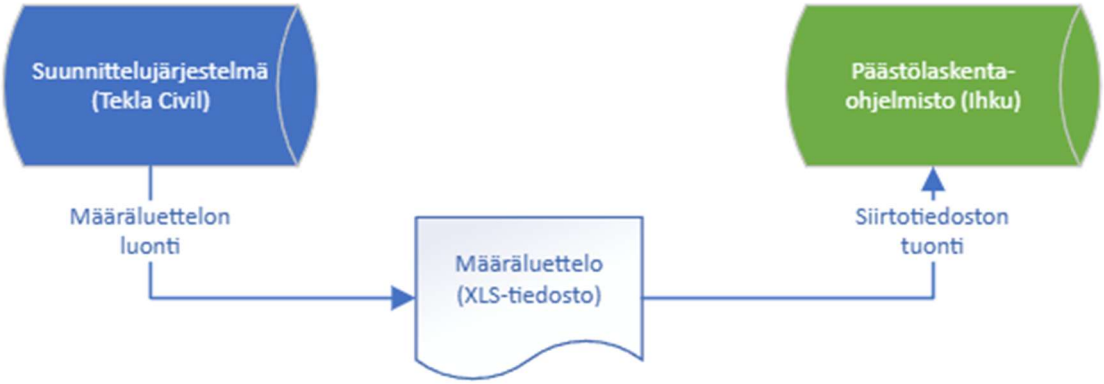
Ihkussa osalle hankkeen rakennusosien panoksista ei ollut määritelty päästökertoimia, joten niitä ei voitu sisällyttää laskentaan. Joillekin panoksille voitiin määrittää oma päästökerroin Ihkun ulkopuolisista lähteistä. Lisäksi osa Ihkun rakennusosista sisältää automaattisesti rahdista muodostuvia päästöjä, jotka eivät ole arviointimenetelmän mukaisia. Tällöin rahtipäästö piti manuaalisesti poistaa laskelmasta ja laskea uudestaan oikean mukaisella arvolla. (Destia 2025)

5.2 Kokeellinen osuus

Työn kokeellisessa osuudessa testattiin käytännössä kirjallisuudesta määritettyjä yhteensovitusmenetelmiä. Testattavia asioita ovat Ihku-laskentapalvelun siirtotiedoston toiminta, päästötiedon sisällyttäminen IFC-tiedostoihin ja päästölaskenta suunnittelujärjestelmässä. Siirtotiedoston ja IFC-tiedostojen testaamiseen käytettiin hankkeen aineistoja.

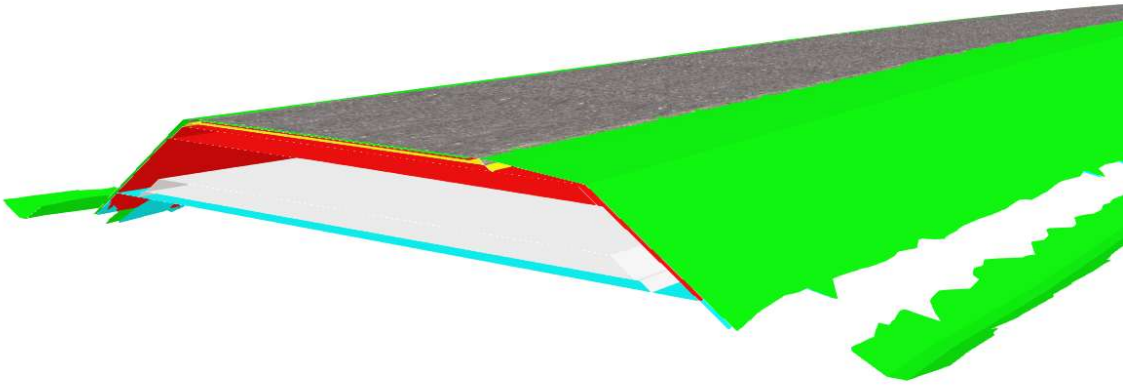
5.2.1 Siirtotiedosto

Wastiels ja Decuypere (2019) olivat kuvanneet siirtotiedoston toteuttamisen kahdella eri tavalla. Siirtotiedosto voi olla taulukko- tai tekstipohjainen tiedosto rakennushankkeen määrätiedoista tai geometria ja ominaisuustietoa sisältävä tietomallitiedosto. Ihkussa on tarjolla mahdollisuus käyttää taulukko- tai tekstipohjaista siirtotiedostoa määrätietojen tiedonsiirtoon. Korian hankkeen väyläsuunnittelussa on käytetty Tekla Civil-suunnitteluohjelmaa. Se on infrarakentamiseen tarkoitettu tietomallinnusohjelmisto, jonka avulla voidaan tehdä mallipohjaisia suunnitelmia, sekä tuottaa määräluetteloita ohjelmassa tehdyistä suunnitelmista. Siirtotiedoston prosessi on esitetty kuvassa 20. Prosessi koostuu suunnittelujärjestelmässä mallipohjaisesta suunnitelmasta luotavasta määräluettelosta ja sen tuomisesta päästölaskentaohjelmaan.



Kuva 20. *Siirtotiedoston prosessi*

Siirtotiedostoa varten määrät saadaan laskettua hankkeen mallipohjaisesta suunnitelmasta, joka on mallinnettu Tekla Civilissä. Mallintaminen perustuu ohjelmassa pääosin pintojen mallintamiseen. Kuvassa 21 on esitetty 3D-näkymä Korian kohteen yhdestä väylän mallista Tekla Civil-suunnitteluohjelmassa.



Kuva 21. *3D-näkymä hankkeen väylämallista Tekla Civil-suunnitteluohjelmassa*

Määrälaskentaa varten tarvitaan tietoa yleensä myös rakennusosien tilavuuksista, joten pelkät pintamallit eivät ole riittäviä. Sen lisäksi suunnitteluohjelmassa pinnoista ei pysty sellaisenaan laskemaan pinta-alaa vaan se pitää myös määrittää erikseen. Tekla Civilissä määrälaskentaa varten ohjelmassa on mahdollista määrittää tilavuuksia pintojen välille tai pinta-aloja tietyille pinnoille. Esimerkiksi kantavan kerroksen tilavuus voidaan määrittää kantavan kerroksen yläpinnan ja jakavan kerroksen yläpinnan välisenä tilavuutena. Ohjelma laskee näiden massa- ja pinta-ala määritysten avulla suunnitelmasta määrät. Tilavuuksien ja pinta-alojen arvot eivät tallennu itse ohjelmaan, vaan arvot joudutaan laskemaan uudestaan, jos ne halutaan selvittää.

Kun tarvittavat tilavuuksien ja pinta-alojen määritykset ovat tehty ohjelmassa, voidaan suunnitelmasta tulostaa määräluettelo. Taulukossa 4. on esimerkki Tekla Civil-suunnitteluohjelmasta saatavasta määräluettelosta. Määrät ovat ilmoitettu paaluväleittäin ja lopussa on koko väylän materiaalikohtainen määrä. Määrätuloste voidaan tehdä yksittäiselle väylälle tai koko suunnitelmalle.

Taulukko 4. *Tekla Civil-suunnitteluohjelmasta tulostettu taulukkopohjainen määräluettelo*

Paalu	paallyste I	nurmiverhous I	maapenger	maaleikkaus	jakava kerros/Sr tai M	sitomaton kantava ke
	m2	m2	m3	m3	m3	m3
0,00	0,0	8,9	0,0	8,9	8,9	1,0
20,00	87,5	54,3	4,0	71,5	90,2	15,5
40,00	100,0	87,7	14,6	51,1	101,0	17,5
60,00	95,0	84,2	14,5	47,5	95,9	16,6
	282,6	235,2	33,1	179,1	295,9	50,7

Ihkun siirtotiedostossa jokainen rakennusosa jaetaan omalle rivilleen ja siitä ilmoitetaan ainakin rakennusosan nimike, osan nimi, määrä ja yksikkömuoto. Siirtotiedostossa on mahdollista lisätä myös muita tietoja. Siirtotiedosto ladataan laskelmalle, jonka jälkeen siirtotiedoston määrät tulevat näkyviin erilliselle välilehdelle. Välilehdellä siirtotiedoston tiettyjä määrärivejä voidaan poistaa tai muokata, ennen kuin määrät siirretään varsinaiselle laskelmalle.

Siirtotiedostossa rakennusosien määrät pitää syöttää Ihkun ymmärtämässä muodossa. Tällöin suunnittelujärjestelmästä saatavat määräluettelot pitää olla tietyssä määritetyssä muodossa, jos ne halutaan suoraan syöttää Ihkuun tai muuten ne pitää muokata erikseen oikeaan muotoon. Tekla Civilissä on mahdollisuus käyttää ohjaustiedostoa, jonka avulla määrätulosteen muotoa on mahdollista muokata sopivaan muotoon.

Tekla Civilistä saatavassa määräluettelossa tietona on nimike, määrä ja sen yksikkö. Ihkun rakennusosakirjasto käyttää Infra-2015 rakennusosanimikkeistöä laskennan pohjana, jolloin siirtotiedoston nimikkeistö pitää olla myös vastaava. Tekla Civil käyttää suunnitteluohjelman omaa nimikkeistöä, joten määräluettelon nimikkeet eivät suoraan vastaa Infra-2015-nimikkeistöä. Nimikkeistö voidaan muuttaa oikeaan muotoon ohjaustiedoston avulla, jonka avulla suunnitteluohjelman nimikkeelle voidaan määrittää vastaava Infra-2015-nimike. Esimerkiksi ohjaustiedoston avulla suunnitteluohjelman mukainen rakennusosa ”paallyste I” voidaan määrittää olevan Infra-nimikkeistön mukainen ”2141 sidotut päällysrakenteet”.

Yhtenä ongelmana siirtotiedostojen käytössä on suunnittelujärjestelmän antaman määrätulosteen ja Ihkun vaatiman tiedon syötön eri tarkkuus. Esimerkiksi asfalttirakenneosan tapauksessa asfaltin materiaalia tai kerrospaksuutta ei ole suunnittelujärjestelmästä saatavassa määräluettelossa ilmoitettu. Nämä tiedot ovat yksi vaadittavista tiedoista, jotta asfaltin määrät voidaan syöttää Ihkun rakennusosalle. Ihkun asfalttirakenneosa tarvitsee tiedon nimikkeestä, materiaalista, raekoosta, kerrospaksuudesta, asfaltoitavan alueen laajuudesta ja alueen liikennöinnistä. Suunnitteluohjelman määrätulosteesta puuttuu suurin osa näistä tiedoista, mutta ne vaaditaan Ihkun kustannus- ja päästölaskentaa varten.

Taulukossa 5 on esitetty esimerkkinä Ihkussa vaadittavat asfaltin ominaisuustiedot ja Tekla-Civil suunnitteluohjelmassa mahdolliset määritettävät ominaisuudet asfalttirakenneosalle. Vaadittavat määrittelyvaatimukset ovat rakennusosakohtaisia ja asfaltti on vain yksi esimerkki siitä, mitä asioita rakennusosan määrittely vaatii Ihkussa. Rakennekerroksille on mahdollista määrittää tarkemmat materiaalitiedot suunnitteluohjelmassa, mutta määritystä ei ole yleensä tehty. Asfalttikerrokselle vaadittavaa kerrospaksuutta ei ole

määritetty suunnitteluohjelmassa, koska se mallinnetaan yleensä pintana. Teoriassa kerrospaksuus on laskettavissa kahden pinnan korkeuserona esimerkiksi asfalttikerroksen ja kantavan kerroksen yläpinnan korkeuserona.

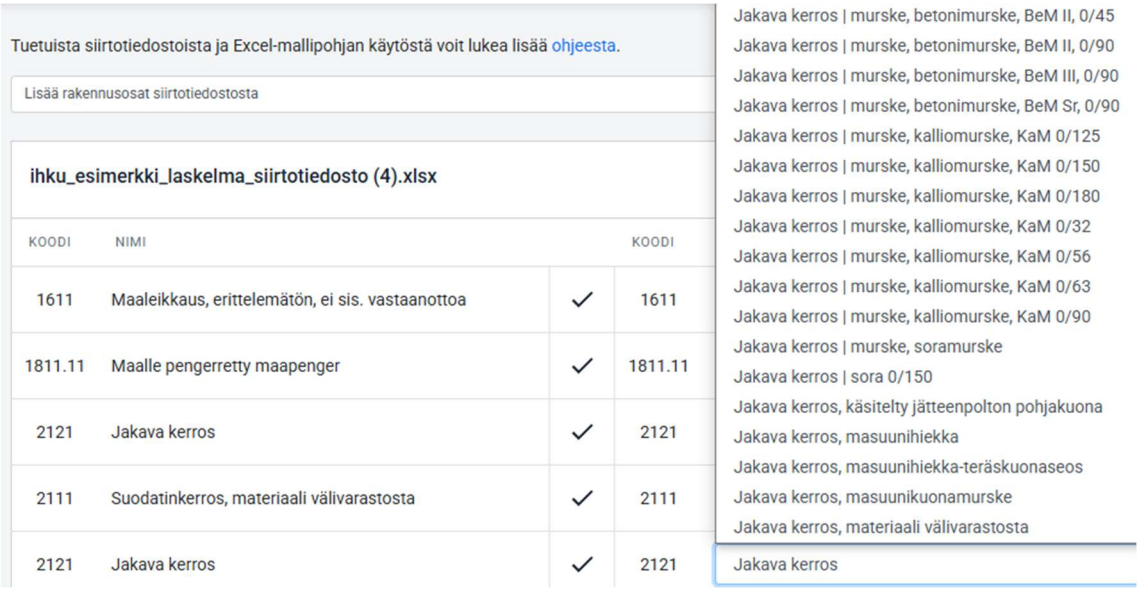
Taulukko 5. *Asfaltti rakenneosan määriteltävät tiedot suunnitteluohjelmassa ja Ihkussa*

	Tekla Civil-suunnitteluohjelman määrälaskenta päällysteelle	Ihkun asfaltti-rakennusosa
Yksikkö	m^2	m^2
Pinta-ala	Määritetään	Vaadittu
Kerrospaksuus	Ei määritetä	Vaadittu
Materiaali	Voidaan määrittää	Vaadittu
Kuljetusmatka	Ei määritetä	Vaadittu
Asfaltti alueen laajuus	Ei määritetä	Vaadittu
Liikennöity alue	Ei määritetä	Vaadittu

Vaadittavat rakennusosatiedot riippuvat rakennusosan lisäksi siitä, missä yksikkömuodossa rakennusosien määrät halutaan laskea. Asfalttikerrokset lasketaan yleensä pinta-alana, jolloin kerrospaksuus pitää erikseen ilmoittaa. Tien rakennekerrokset, kuten jakava kerros tai kantava kerros ilmoitetaan tilavuutena, jolloin kerroksen paksuutta ei tarvitse erikseen määrittää.

Ihkussa on mahdollista kohdistaa ja tarkentaa siirtotiedoston määrärivejä ennen kuin ne lisätään laskelmalle. Kohdistamisen avulla ratkaistaan tietojen yhteensopimattomuus. Ihku pystyy nimikkeistön nimiketunnuksen avulla itse kohdistamaan määrärivin tietylle Ihkun rakennusosalle, mutta käyttäjä joutuu tarvittaessa valitsemaan vielä tarkemman määrityksen. Esimerkiksi, jos siirtotiedoston rivillä olisi 2121 jakava kerros, niin Ihku osaa kohdistaa sen samalla nimikkeellä olevalle Ihkun rakennusosalle. Toisaalta samalla nimiketunnuksella on usein enemmän rakennusosia kuin vain yksi, jolloin tarkempaa kohdennusta vaaditaan. Esimerkiksi jakavan kerroksen nimiketunnuksella 2121 on yhteensä 18 erilaista rakennusosaa Ihkussa, joten käyttäjän pitää tehdä lopullinen tarkennus. Ihkun jakavan kerroksen kohdistaminen on esitetty kuvassa 22. Kuvasta voidaan nähdä,

että Ihku on kohdistanut siirtotiedoston määrät nimiketunnuksen avulla, mutta tarkempaa määrittelyä varten käyttäjän pitää valita valintataulukosta tarkempi määritys.



Kuva 22. *Ihkun jakava kerros kohdistaminen Ihku-laskelmalle*

Nimiketunnuksen avulla rakennusosaa ei ole mahdollista kohdistaa automaattisesti, vaan se vaatii käyttäjältä erillistä rakennusosan tarkentamista. Kuten jakavan kerroksen tapauksessa nähtiin, kaikilla jakavan kerroksen tyypeillä on sama 2121-nimike. Eli tällöin tarkempi jakavan kerrosten erottelu toisistaan tapahtuu muiden ominaisuuksien perusteella eikä nimikkeen. Ihkun nimikkeistö perustuu Infra 2015-rakennusosa- ja hankeosanimikkeistöön, mutta tarkemmat rakennusosien määritykset perustuvat Ihkun omaan määrittelytapaan.

Siirtotiedoston käytön testaamisessa on tärkeä myös kokeilla laskennan päivittämistä siirtotiedoston avulla. Määrätietoja joudutaan usein päivittämään laskentaohjelmaan suunnitelmien tarkentuessa, joten siirtotiedoston käytön pitäisi tukea laskennan päivittämistä. Tällöin määrätietojen päivittäminen päästölaskentaohjelmaan pitäisi olla mahdollisimman helppoa.

Kun Ihkuun tuodaan siirtotiedoston avulla määrätietoa, luo Ihku siirtotiedoston määrille uudet nimikkeet laskelmalle. Jos Ihkuun syötetään päivitetty versio siirtotiedostosta, niin Ihku luo uudet nimikkeet samoille määrille. Edelliset määrät eivät päivity, vaan ne jäävät laskelmalle, jolloin laskelmalla on kaksi eri versiota samasta määrätiedosta. Tällöin vanhat määrätiedot pitää poistaa manuaalisesti erikseen laskelmalta, ja sen lisäksi päivitetyn siirtotiedoston määrät pitää kohdentaa uudestaan laskelmalle.

Tiedon päivittäminen siirtotiedoston avulla johtaa helposti virheisiin, koska käyttäjän pitää tietää, mitkä määrärivit pitää poistaa laskelmalta, kun päivitetty versio siirtotiedosta

tuodaan laskelmalle. Muokkaukset on helpompi tehdä manuaalisesti, jolloin voidaan muokata vain tarvittavia määrärivejä. Ihkun siirtotiedoston käyttö soveltuu nykyisin parhaiten tilanteissa, jossa halutaan siirtää määrätiedot vain yhden kerran tyhjälle laskelmalle.

5.2.2 Päästötiedot ja IFC-malli

Päästötietojen viemistä IFC-mallin testattiin Korian hankkeen nykyisillä IFC-malleilla. Teoreettisesti, jos päästötiedot saadaan syötettyä mallin objekteille, niin päästötietoja olisi mahdollista visualisoida mallien avulla. Korian hankkeen IFC-mallit löytyvät siltakohteelle, pilaristabiloinnille ja paalulaatalle. Nykyisillä IFC-malleilla ei ole ominaisuutena päästötietoja. Jotta päästötieto voidaan sisällyttää IFC-malliin omaksi tiedoksi, sille pitää luoda ominaisuusluokka, johon päästötieto voidaan tallentaa. SimpleBIM on IFC-mallien käsittelyyn ja tarkasteluun tarkoitettu ohjelmisto, jonka avulla IFC-tiedoston objektien ominaisuuksia voidaan muokata tai niille voidaan luoda uusia ominaisuuksia.

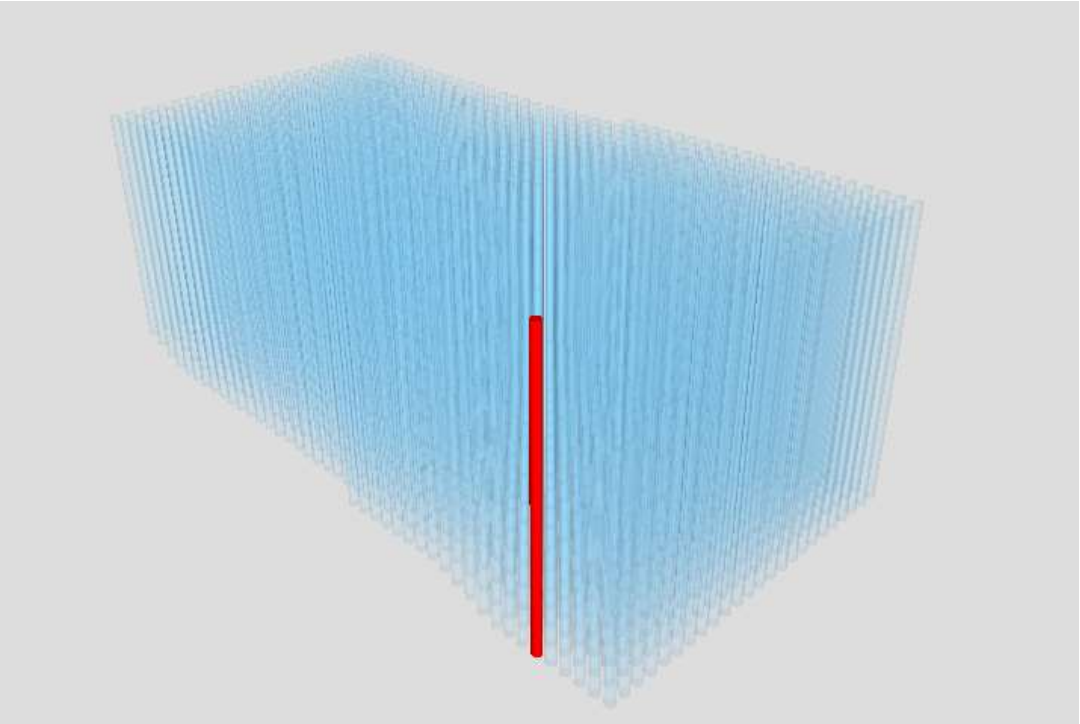
Päästötiedon tuominen IFC-malliin ei ole yksiselitteinen, koska päästötieto voidaan ilmoittaa usealla eri tavalla. Päästöt voidaan tuoda kokonaispäästönä, jossa on laskettu kaikki elinkaarivaiheet yhteen tai sitten jokainen päästötieto tuodaan elinkaarivaiheittain. Tiedon jaottelun perusteella IFC-tiedostoon luodaan objekteille ominaisuudet päästötiedoille. Esimerkiksi objektille voidaan luoda ominaisuus ”kokonaispäästö”, johon annetaan numeroarvona kokonaispäästöt tai sitten ominaisuus ”A1-A5-päästö”, johon annetaan arvona rakentamisen aikaiset päästöt.

Valmiiksi määritettyjä luokituksia tai ominaisuuksia voidaan hakea Building smart data dictionary-tietokannasta. Building smart data dictionary (bSDD) on BuildingSMART Internationalin hallinnoima avoin verkkopohjainen tietokanta standardien, luokittelujen ja ominaisuustietojen jakamiseen (buildingSMART International 2025a). Tietokannasta löytyy kansallisia ja alakohtaisia standardeja luokittelulle. Väylävirasto on esimerkiksi julkaissut palvelussa omat rakennekirjastot rata-, tie-, ja taitorakenteille.

BuildingSMART sustainability strategic group on julkaissut bSDD-tietokannassa elinkaariarviointiin liittyviä määrittelyjä. Heidän määrittelyssään jokainen elinkaarivaihe on määritetty omaksi ominaisuudeksi (buildingSMART International 2025b). Tällöin esimerkiksi elinkaariarvioinnin vaiheet A1-A3 eli materiaalista aiheutuvat päästöt pitäisi jakaa tarkemmin vielä A1, A2 ja A3-vaiheisiin. Korian hankkeen päästölaskennassa A1-A3-vaiheet ovat laskettuna yhtenä arvona, joten tämänlainen määrittely ei sovellu käytettäväksi. Tällöin testaamista varten IFC-tiedoston objekteille luodaan ominaisuudet itse määriteltynä.

Pilaristabilointi

Pilaristabiloinnin IFC-malli on tallennettu yhteen IFC-tiedostoon ja tiedoston sisällä jokainen stabilointipilari on mallinnettu omana objektinaan. Pilaristabiloinnin IFC-malli on esitetty kuvassa 23. Stabilointipilari-objekteilla on valmiina ominaisuustietoina esimerkiksi materiaali, leveys, korkeus ja tilavuus. Tiedostossa on yhteensä 976 kappaletta pilariobjekteja ja jokaisella niistä on omat ominaisuustiedot. Lisäksi jokainen stabilointipilari on pituudeltaan eri. Jos päästötiedot halutaan syöttää objekteille, niin ne pitäisi syöttää jokaiselle pilarille erikseen.



Kuva 23. *Pilaristabiloinnin IFC-malli SimpleBIM-ohjelmassa. Punaisella värillä on korostettu yksittäinen pilari*

Ihkussa pilaristabiloinnin päästöt ovat laskettu yksittäisenä arvona koko pilaristabiloinnille, joten yksittäisten pilarien päästöjä ei ole saatavissa Ihkun laskelmalta. Laskelmalla pilaristabiloinnin rakennusosa koostuu materiaalipanoksesta ja työkoneen panoksesta eli Ihkusta on suoraan saatavilla kaksi eri päästötietoa pilaristabiloinnille. Ne ovat stabiloinnin sideaineen päästöt (A1—A3) ja pilaristabilointikoneen päästöt (A5). Ihkussa on lisäksi laskettu näiden vaiheiden yhteenlaskettu päästöarvo. Ihku ei laske automaattisesti kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä stabilointiaineelle, mutta se on laskettu erikseen ja lisätty Ihkun laskelmalle.

SimpleBIM-ohjelman avulla pilaristabiloinnin IFC-tiedostoon luotiin uusi ”property set” tai ominaisuusjoukko, joka lisättiin tiedoston jokaiselle pilariobjektille. Ominaisuusjoukon nimeksi valittiin ilmastopäästöt ja sille lisättiin kolme ominaisuutta, jotka ovat A1-A3-vaiheen päästöt, A4-vaiheen päästöt ja A5-vaiheen päästöt. Taulukossa 6 on näkyvissä yksittäisen pilariobjektin ominaisuuksia, joiden joukossa on uudet päästöihin liittyvät ominaisuudet.

Taulukko 6. *IFC-mallin yksittäisen pilariobjektin ominaisuustietoja*

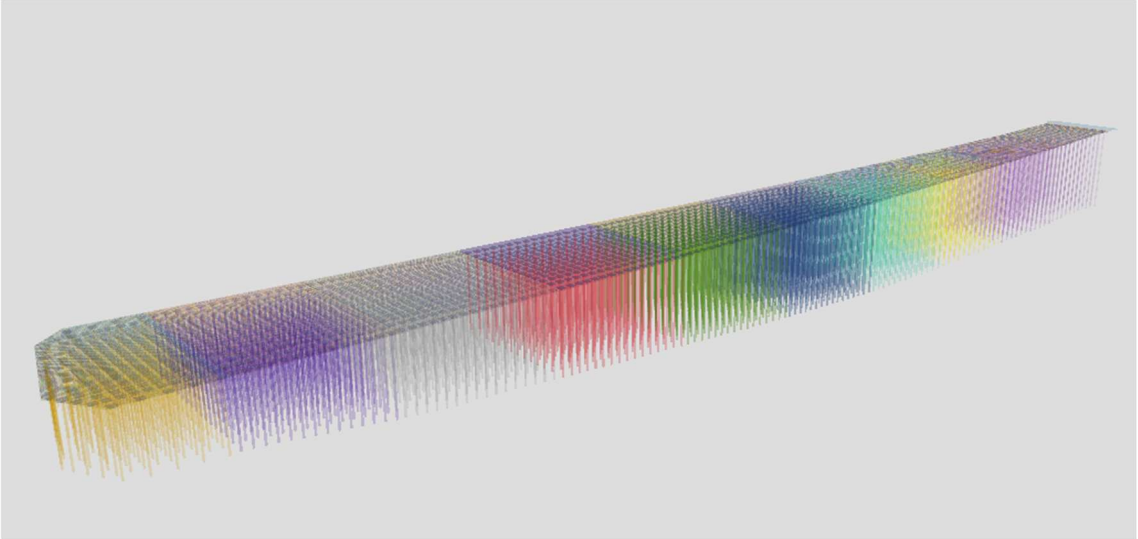
ePset_Liikennevirasto	
Etuliite	P
Lukumäärä	1
Luokka	2001
Materiaali	GTC (100kg/m3)
Mitta 1	19 421mm
Mitta 2	700mm
Mitta 3	700mm
Paino	0,0kg
Profiili	D700
Rakenneosan nimi	Pilaristabilointi
Sijainnin nimi	syvästabilointi
Sijainti	2000
Tilavuus	7,45m3
ePset_Simplebim	
Assembly Level	Single
Ilmastopäästöt	
Päästöt_A1-A3	0
Päästöt_A4	0
Päästöt_A5	0

Jotta Ihkun päästölaskennan päästötiedot voitaisiin syöttää mallin objekteille ominaisuustiedoksi, pitäisi päästölaskennassa jokainen pilari erotella omaksi laskettavaksi yksiköksi. Pilareita on niin suuri määrä, että tämänlainen erottelu ei ole järkevää, sillä käsiteltävän tiedon määrä kasvaisi hyvin paljon. Yhtenä tapana olisi jakaa kokonaispäästö pilareiden lukumäärällä ja antaa saatu arvo jokaiselle pilariobjektille. Ongelmana tässä on, että pilarit ovat eri pituisia, jolloin niiden päästöt ovat myös erilaisia.

Paalulaatta

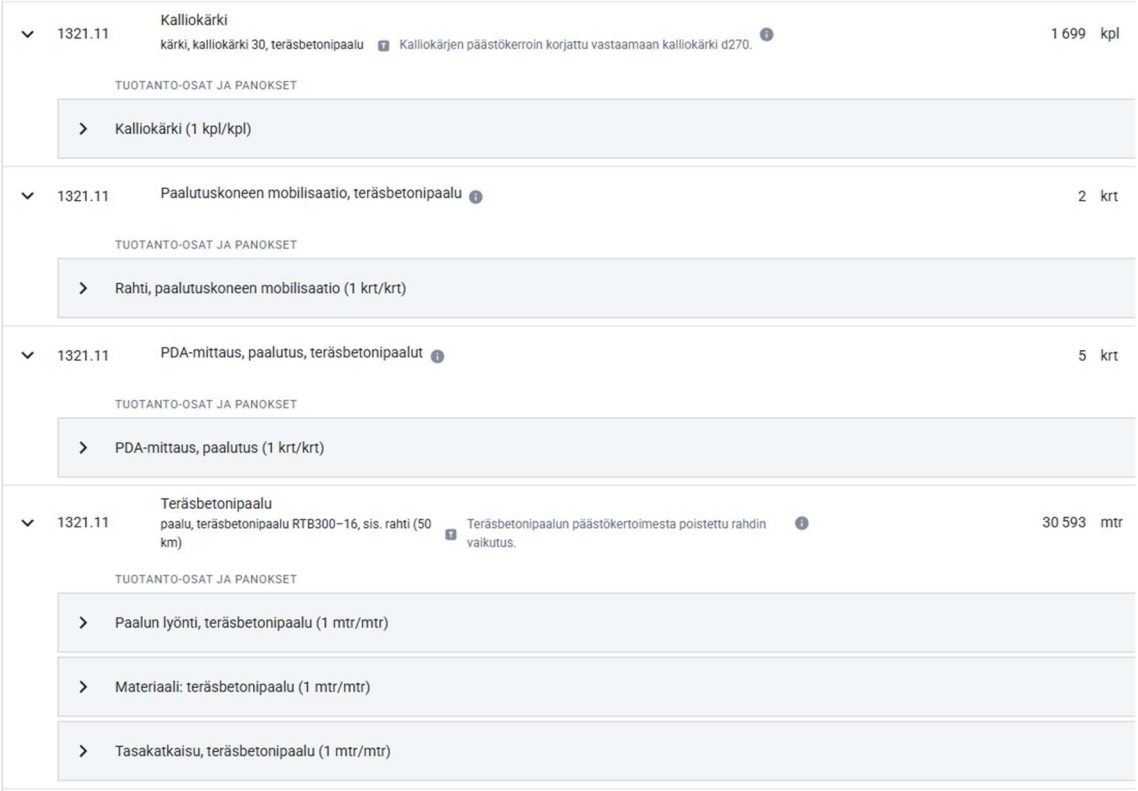
Paalulaatan IFC-malli koostuu yhteensä 23 erillisestä IFC-tiedostosta. Tiedostot ovat jaettu lohkoittain, sekä pinnat ja raudoitukset ovat omassa tiedostossaan. Pinta-tiedosto sisältää kolmen tyyppisiä objekteja, jotka ovat paalut, paalusienet ja laatat. Lohkoja tulee

yhteensä kymmenen kappaletta, eli koko laatta on jakautunut kymmeneen osaan ja yhteen siirtymälaattaan. Paalulaatan teräsbetonipaalut ovat pilaristabiloinnin tapaan omina pilariobjekteina. Paalulaatta on suunniteltu sienilaatta rakenteena, jolloin laatan ja paalun välille tulee betoninen vahvistus. Vahvistussienet ovat IFC-mallissa omina objekteinaan. Kuvassa 24 näkyy paalulaatan IFC-malli, jossa väreillä on kuvattu eri lohkot. Paalulaattaa koostuu siis 11:sta laattaobjektista, 2365:stä paaluobjektista ja 2311:sta paalusieniobjektista.



Kuva 24. *Paalulaatan IFC-malli, värit kuvaavat eri lohkoja.*

Ihkun paalulaatta-rakennusosa koostuu useista rakennusosista ja niiden panoksista. Esimerkiksi teräsbetonipaalu on esitetty IFC-mallissa yksittäisenä objektina, jossa on tietoa paalun materiaalista, painosta ja mitoista. Ihkussa teräsbetonipaalut ovat ilmoitettu kokonaismääränä. Teräsbetonipaaluihin liittyy myös Ihkussa muita rakenneosia, joita IFC-malliin ei ole mallinnettu. Muita teräsbetonipaaluun liittyviä rakennusosia Ihkussa ovat kalliokärjet. Lisäksi paalutuskoneen mobilisaatio ja teräsbetonipaalun PDA-mittaus ovat esitetty Ihkussa erillään teräsbetonipaalun rakennusosasta. Toisaalta ne muodostavat hyvin pienen osuuden koko teräsbetonipaalun päästöistä ja PDA-mittaus on merkitty Ihkussa olevan päästötön. Ihkun teräsbetonipaaluun liittyvät rakenneosat ovat esitetty kuvassa 25.

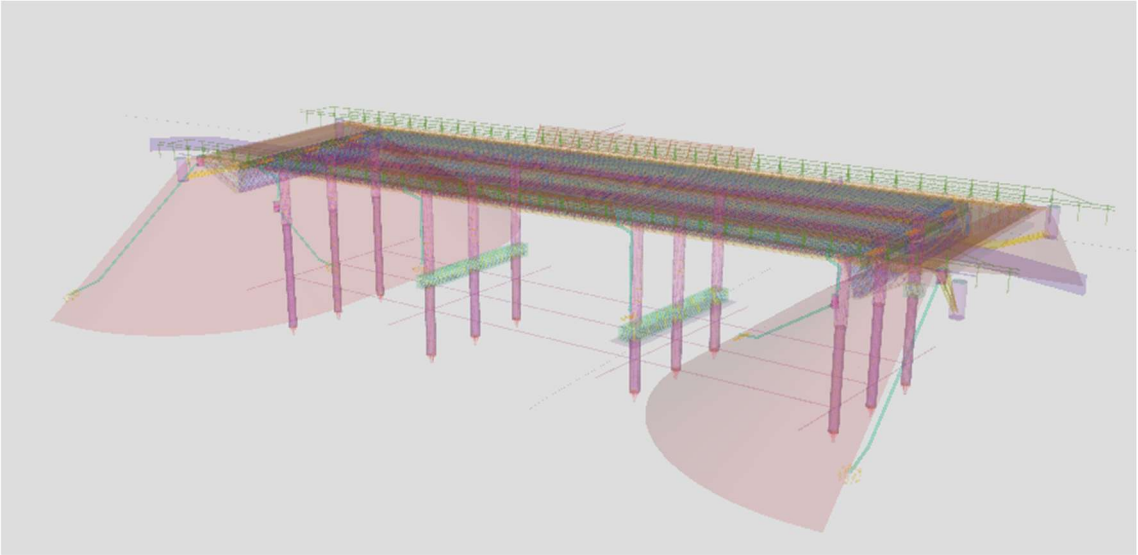


Kuva 25. *Teräsbetonipaalun rakenneosat Ihkussa*

Paalulaatan rakennusosat ovat jaettu eri tavalla mallissa kuin Ihkun päästölaskelmalla. Ihkussa paalulaatta on ilmoitettu yksittäisenä rakenneosana, joka koostuu erilaisista materiaali- ja työpanoksista. Paalulaatan IFC-malli on jaettu useaan IFC-tiedostoon lohkoittain ja sen lisäksi pinnat ja raudoitukset ovat erillisissä tiedostoissa. Sen lisäksi paalulaatan vahvistussienet ovat IFC-tiedostoissa myös erillisinä objekteina. Ihkun laskelmalta on tällöin hyvin haastava erotella rakenneosat sillä tavalla, että niiden tiedot voitaisiin viedä IFC-tiedostoon.

Silta

Sillan IFC-malli on pilaristabiloinnin- ja paalulaatan IFC-malliin verrattuna monimutkaisempi. Sen rakenneosat ovat jaettu seitsemään erilliseen tiedostoon. Esimerkiksi sillan päällysrakenne on omassa tiedostossaan ja alusrakenne omassaan. Lisäksi raudoitukset ovat omissa tiedostoissaan. Sillan päällysrakenne koostuu esimerkiksi betonisesta laattarakenteesta ja asfaltista tehdystä kulutuskerroksesta. Alusrakenne koostuu esimerkiksi perustuksista kuten tässä tapauksessa teräsputkipaaluista. Niiden lisäksi mallissa on paljon muita sillan rakenteisiin ja järjestelmiin kuuluvia asioita kuten kaiteita, kuivatusjärjestelmiä ja muita kiinnikkeitä. Sillan IFC-malli on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. *Sillan IFC-malli.*

Ihkun laskelman sillan rakennusosien ilmoitustapa eroaa IFC-mallista samalla tavalla kuten edellisissä esimerkeissä. Ihkussa rakenneosien päästöt ovat ilmoitettu suurempina kokonaisuuksina, kun IFC-mallissa rakennusosat ovat mallinnettu hyvin tarkasti objektitasolla.

5.2.3 Päästölaskenta suunnittelujärjestelmässä

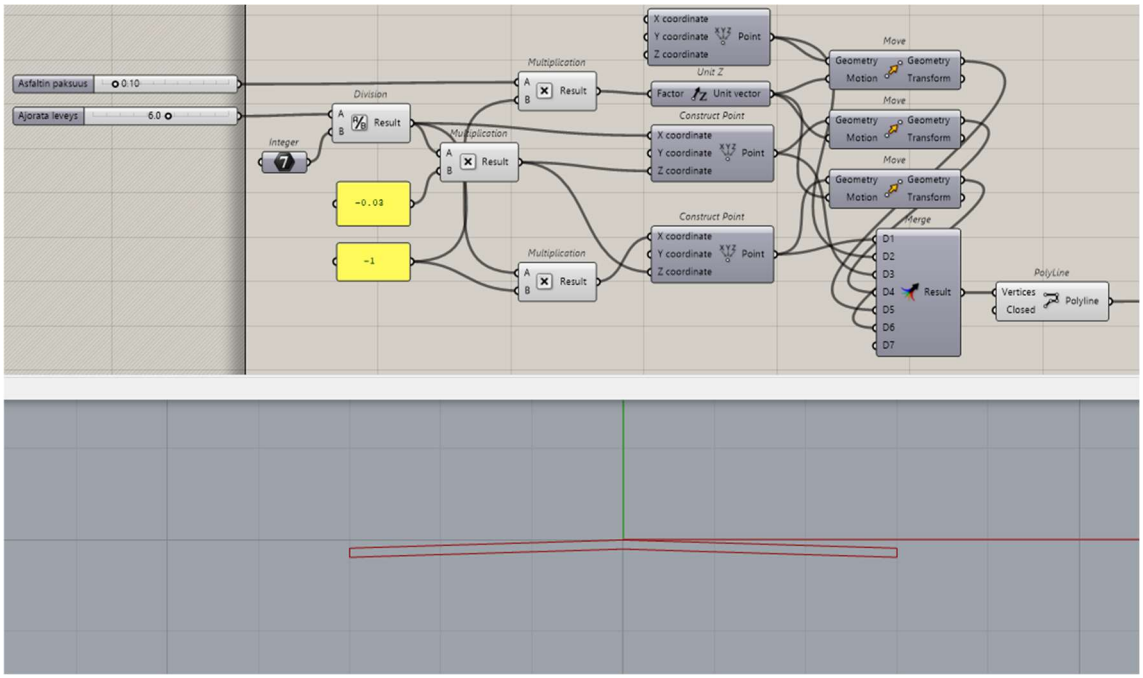
Päästölaskennan tekeminen suunnittelujärjestelmässä vaatii suunnitteluohjelmistolta tiettyjä ominaisuuksia, jotta se on mahdollista. Suunnittelujärjestelmän pitää sisältää tietoa päästökertoimista tai sillä pitää olla kyky hakea päästökertoimia muista lähteistä. Päästölaskennan toteuttamista suunnittelujärjestelmässä kokeillaan Rhinoceros 3D-suunnitteluohjelmalla. Sen yhteydessä on mahdollista käyttää Grasshopper-lisäohjelmaa, jonka avulla päästökertoimet on mahdollista tuoda suunnittelujärjestelmään. Grasshopper-ohjelman avulla voidaan myös käyttää verkkosivujen rajapintoja, jonka avulla päästökertoimet voidaan tuoda rajapinnan kautta suunnitteluohjelmaan. Testaamista varten suunnitteluohjelmaan luodaan yksinkertainen malli, jonka avulla päästölaskentaa suunnittelujärjestelmässä testataan vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisesti eli laskennassa otetaan huomioon rakentamisen aikaiset päästöt ja rakenteen uusimisista aiheutuvat päästöt.

Grasshopper-työkalu on visuaalinen ohjelmointityökalu, jonka avulla voidaan tehdä parametristä suunnittelua. Parametrinen suunnittelu on suunnittelumenetelmä, jossa mallin muoto ja ominaisuudet määräytyvät muuttujien eli parametrien avulla. Suunnittelija ei tällöin itse määrittele kaikkia muotoja tai ominaisuuksia suoraan, vaan luo sääntöjä ja

riippuvuuksia järjestelmään, joiden avulla suunnitelma muuttuu automaattisesti, kun parametrejä muutetaan. Sääntöjen ja riippuvuuksien muodostaminen tehdään Grasshopper-työkalussa visuaalisella ohjelmointikielellä, jolloin ohjelmointi tapahtuu graafisten elementtien avulla sen sijaan, että ohjelmoitaisiin tekstipohjaisesti.

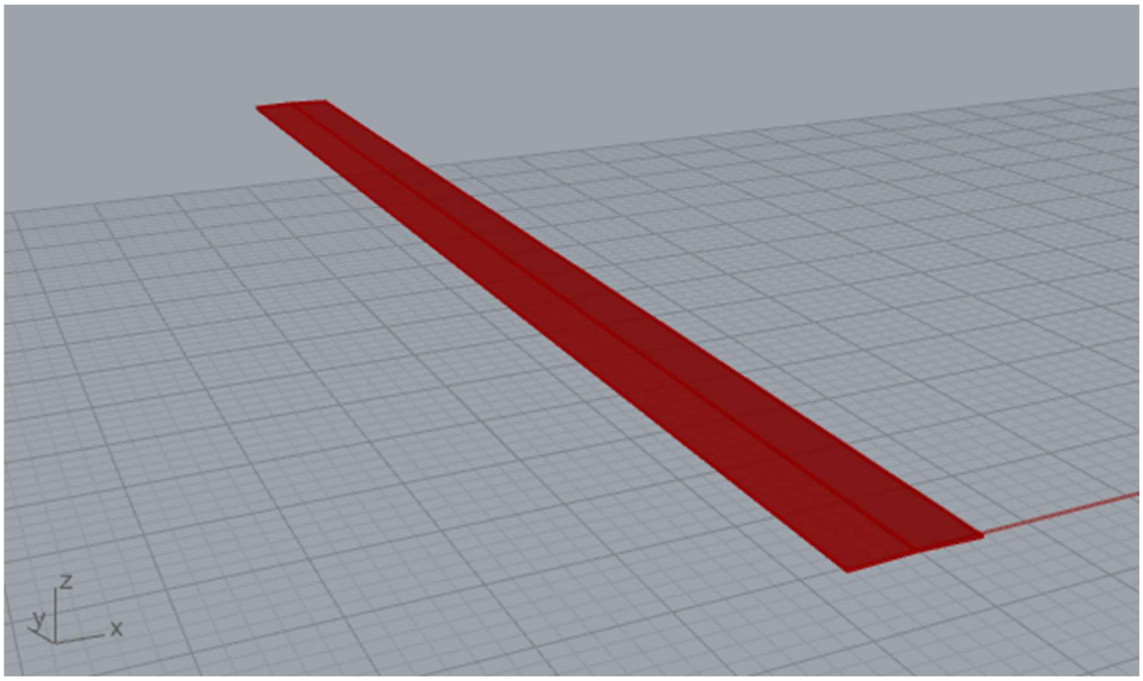
Testattavaksi rakenteeksi valittiin asfalttikerros. Testaamista varten ohjelmassa luotiin ensin poikkileikkaus ja mittalinja rakenteelle, jonka jälkeen siitä voitiin luoda kolmiulotteinen malli. Sen jälkeen rakenteesta laskettiin määrät, yhdistettiin määrät oikeille päästökertoimille ja laskettiin päästöt elinkaarivaiheittain. Lopuksi raportoitiin tulokset.

Kuvassa 27 on esitetty poikkileikkaus profiilin luominen visuaalisella ohjelmointikielellä asfalttikerrokselle Grasshopper-työkalussa. Profiilin luomista varten parametreinä annetaan asfalttikerroksen paksuus ja leveys. Sen jälkeen ohjelmaan on rakennettu sen sisältämistä komponenteista koodi, jonka avulla ohjelma piirtää poikkileikkauksen. Komponenttien avulla voidaan suorittaa tietynlaisia toimintoja antamalla niille syötteitä, jonka jälkeen komponentti antaa tulosteita. Poikkileikkausta voidaan muuttaa vaihtamalla asfaltin paksuus tai ajoradan leveys parametriä, jolloin ohjelma piirtää automaattisesti uuden poikkileikkauksen parametrien perusteella.



Kuva 27. *Poikkileikkauksen luominen Grasshopper-ohjelmalla.*

Seuraavaksi rakenteelle tehtiin mittalinja. Mittalinja voidaan piirtää itse tai tuoda toisesta ohjelmasta, mutta tämän työn tapauksessa mittalinja piirrettiin parametrien avulla. Mittalinjan pituudeksi valittiin 100 metriä, mutta sitä voidaan muokata parametriä muuttamalla. Mittalinjan ja rakenteen poikkileikkauksen avulla asfalttirakenteelle luotiin kolmiulotteinen tilavuusobjekti, joka on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. *Asfalttirakenteen 3D-esitys Rhinoceros-Grasshopper-ohjelmassa*

Seuraavaksi ohjelmassa luotiin toiminto, joka laskee objektin tilavuuden määrät, jonka jälkeen määrät muutetaan päästölaskennan kannalta oikeaan yksikköön. Laskettavien määrien yksikkö riippuu päästökertoimen yksiköstä. Esimerkiksi CO2-päästötietokannan materiaali päästöjen päästökertoimet ovat yksikössä kgCO2e/kg, jolloin ohjelmaan pitää lisätä tieto materiaalin tiheydestä. Ihkussa päästökertoimet ovat muutettu määrälaskennalle ominaiseen muotoon kuten päästöt pinta-alaa tai tilavuutta kohti. Kuljetuksista aiheutuvien päästöjen päästökertoimet on ilmoitettu CO2-päästötietokannassa kgCO2e/tkm, joten tilavuuden määrät pitää myös muuttaa sitä varten oikeaan yksikköön.

Päästölaskennan tekeminen suunnitteluohjelmassa vaatii tiedon määrittämistä ja tietojen lisäämistä suunnitteluohjelmaan. Taulukossa 7 on esitelty Väyläviraston vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisten elinkaarivaiheiden laskemista varten vaadittavia tietoja. Tietoja tarvitaan määrien laskentaan ja oikean päästökertoimen määrittämiseen. Osa taulukon 7 tiedoista on haastava määrittää tarkasti, joten niiden arviointiin käytetään oletuksia rakenneosan tai määrien perusteella. Esimerkiksi työkonekalusto on yleensä vakio rakenneosakohtaisesti, joten sitä ei tarvitse erikseen määrittää, vaan se voidaan määrittää rakenneosan perusteella. Kuorman täyttöasteelle voidaan käyttää myös oletuksia rakenneosan tyypin perusteella. Esimerkiksi kiviaineksista koostuville rakenneosille voidaan olettaa 50 % kuorman täyttöaste, jos kuljetuskalusto on lastattu täyteen menomatkalle ja tyhjennetty paluumatkalle.

Taulukko 7. *Eri elinkaarivaiheiden päästölaskentaan vaadittava tieto asfalttipäällysteelle*

	A1-A3	A4	A5	B4
Materiaali	X	X	X	X
Määrä	X	X	X	X
Kuljetuskalusto		X		
Kuorman täyttöaste		X		
Kuljetusmatka		X		
Kuljetustapa		X		
Työkonekalusto			X	
Koneiden käyttöaika			X	
Uusimismenetelmä				X
Uusimisväli				X
Elinkaariarvioinnin arviointijakso				X

Suunnitteluohjelmassa käytetyt päästökertoimet haettiin CO2data-päästötietokannasta ja Ihkusta. CO2datan kansallisella päästötietokannalla on tarjolla rajapinta, jossa tietokannan päästökertoimet ovat listattu JSON-tiedostoformaatissa. Grasshopper-ohjelmalla on mahdollista hakea verkosta rajapinnan kautta JSON-tyyppistä tietoa, joten päästökertoimet saatiin tuotua suunnittelujärjestelmään rajapinnan kautta. Rajapinnan avulla päästötietokantaan tehtävät muutokset päästökertoimiin päivittyvät suoraan myös suunnittelujärjestelmään. Tällöin voidaan varmistaa, että käytössä olevat päästökertoimet ovat viimeisimmän määrityksen mukaisia päästökertoimia.

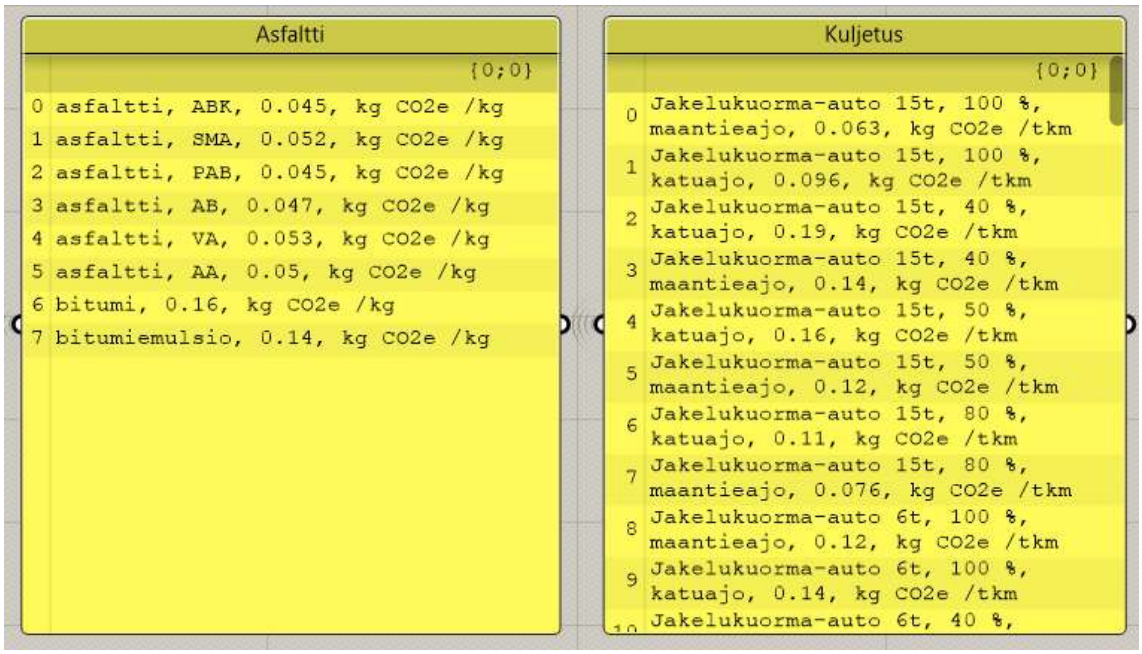
CO2datan päästötietokannan rajapinta sisältää tiedon kaikista tietokannan rakenne- ja tuotanto-osista. Tietynlaisen tiedon hakeminen rajapinnasta riippuu siitä, miten tieto on jaoteltu rajapinnassa. Päästötietokannan rajapinnan tietorakenteessa jokaiselle rakenne- ja tuotanto-osalle on määritelty luokka ja tuoteryhmä. Tämä mahdollistaa tiedon hakemisen luokittain tai tuoteryhmittäin. Grasshopper-työkalulla on mahdollista tehdä Python-ohjelmointikielellä koodi, jonka avulla voidaan hakea tietoa rajapinnasta. Kuvassa 29 on esitelty Grasshopper ohjelmaan tehty Python-koodi, joka hakee rajapinnasta kaikki tiettyyn luokkaan kuuluvat rakenneosat. Koodi tarvitsee syötteeksi luokan nimen, jonka jälkeen se tulostaa listana kaikki annetun nimen luokkaan kuuluvien osien nimet, päästökertoimet ja päästökertoimen yksikön.

```
10
11  import rhinoscriptsyntax as rs
12  import json
13
14  data = x
15
16  nimi = []
17  päästö = []
18  päästö_yksiköt = []
19
20  for resource in data['Resources']:
21  ····for category in resource['Categories']:
22  ········if category['CategorySystem'] == 'subgroup':
23  ·········if category['Title'] == y:
24  ·············nimi.append(resource['Name'])
25  ·············for datavalue in resource['DataItems']:
26  ·················if datavalue['PropertyId'] == 1:
27  ·····················for dataitem in datavalue['DataValueItems']:
28  ·························päästö.append(dataitem['Value'])
29  ·························päästö_yksiköt.append(datavalue['PropertyUnitCode'])
30  ····
31
32  a = nimi
33  b = päästö
34  c = päästö_yksiköt
```

Kuva 29. *Python-koodi rajapinnan tietojen hakuun*

Esimerkiksi rajapinnasta pystyttiin hakemaan kaikki tiedot, jotka kuuluvat ”asfaltti” tai ”kuljetus” luokkaan. Kuvassa 30 on esitetty vasemmalla puolella rajapinnan kautta haettuna kaikki ”asfaltti” luokkaan kuuluvat tiedot ja oikealla kaikki ”kuljetus” luokkaan kuuluvat tiedot. Asfaltiksi luokiteltuja rakenneosia löytyi päästötietokannan rajapinnasta yhteensä 8 kappaletta ja kuljetukseen liittyen löytyi 78 kappaletta. Asfaltti luokkaan kuuluvat asfalttipäällysteet ja asfaltin sideaineet. Nykyisen rajapinnan tietorakenteen avulla rajapinnasta ei ole suoraan mahdollista hakea pelkästään pelkkiä asfalttipäällysteitä. Kuljetus luokkaan kuuluvat kaikki kuljetustavat kuten ajoneuvoilla, laivoilla ja junalla tehtävät kuljetukset.

Rajapinnan käytön tavoitteena oli luoda ohjelmaan materiaaliluettelo, josta käyttäjä voi valita sopivan materiaalin itse. Tämänlaiseen listaan tulee asfaltin tapauksessa myös bitumiin liittyvät materiaalit, joita ei voida käyttää päällystemateriaalina. Kuljetustyypin valinnasta on mahdollista tehdä samanlainen valinta lista käyttäjälle, mutta listaan tulee paljon vaihtoehtoja, joista osa ei sovellu esimerkin tapauksessa asfaltin kuljettamiseen. Toisaalta kuljetustapa voidaan valita olevan tietty rakenneosa kohtaisesti, jolloin käyttäjän ei tarvitse itse valita kuljetustapaa.



Kuva 30. *CO2-datan rajapinnan kautta haettuja päästökertoimia*

Kun päästökertoimet ovat saatu suunnittelujärjestelmään, voidaan päästölaskennalle luoda laskentalogiikka. Materiaalipäästöt saadaan laskettua kertomalla objektin tilavuus ensin asfaltin tiheydellä ja sen jälkeen materiaali kohtaisella päästökertoimella. Asfaltin tiheytenä on käytetty arvoa 2500 kg/m3. Materiaalikohtaisen päästökertoimen määritystä varten ohjelmaan luotiin materiaaliluettelo infrarakentamisen päästötietokannan mukaisista asfalttipäällysteistä. Käyttäjä valitsee luettelosta haluamansa päällystemateriaalin, jolloin ohjelma laskee sen mukaisella päästökertoimella materiaalipäästöt.

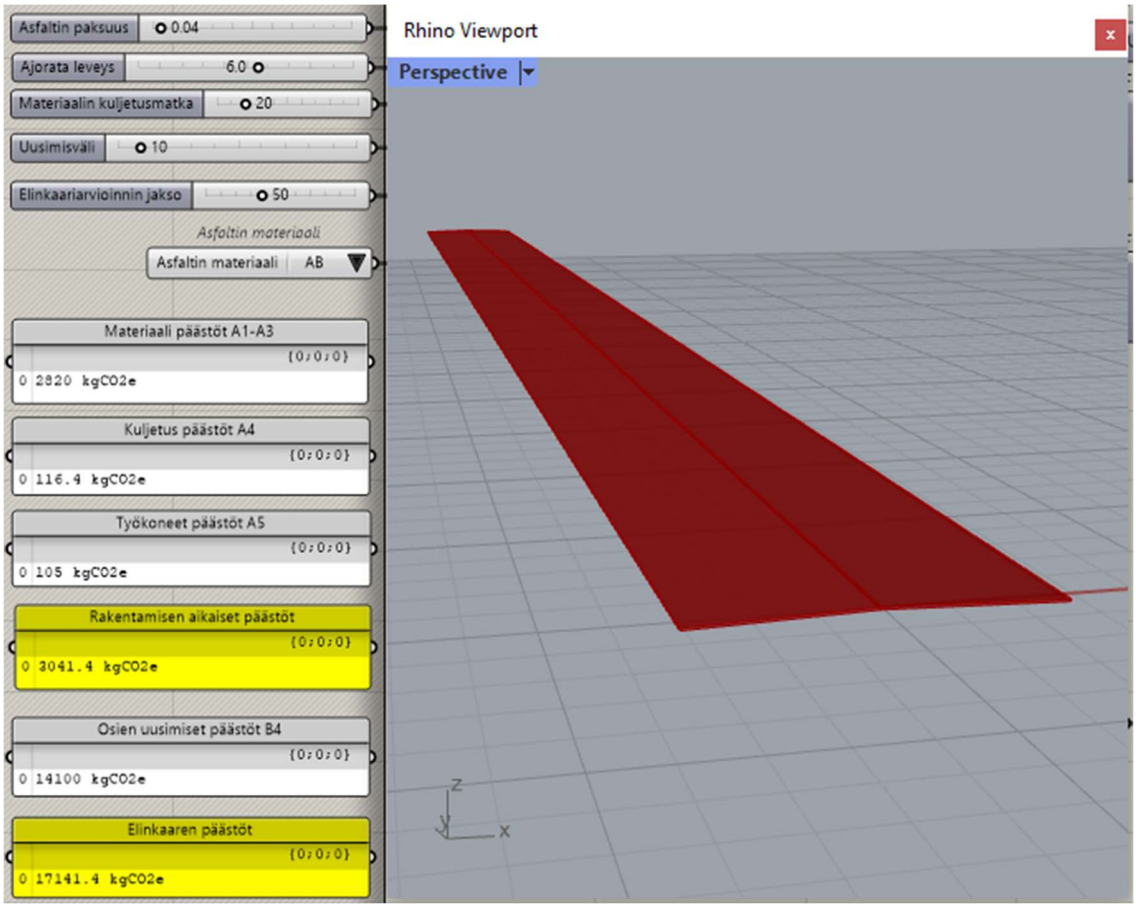
Kuljetusvaiheen päästöjä varten objektin tilavuus kerrotaan asfaltin tiheydellä ja kuljetusmatkalla, jotta määrät saadaan tonnikilometri-yksikköön. Kuljetusmatkan määritystä varten ohjelmaan luotiin liukusäädin, josta ohjelman käyttäjä voi valita oikean kuljetusmatkan. Kuljetuksen päästökertoimeksi ohjelmaan valittiin vakioksi 0,081 kgCO2e/tkm, joka vastaa infrarakentamisen päästötietokannan kuljetusnimikettä Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 50%, maantieajo. Käyttäjän valitsemilla parametreillä ei ole tällöin vaikutusta kuljetuksen päästökertoimeen. Kuljetustyypin valinnasta on toisaalta mahdollista tehdä samanlainen valintataulukko kuin materiaalin valinnasta, jolloin käyttäjä pystyy vaikuttamaan päästökertoimen suuruuteen.

Työkoneiden päästöt laskettiin perustuen vakio päästökertoimeen. Päällystekerroksen rakentamiseen liittyvistä työvaiheista on otettu huomioon asfaltin levitys ja tiivistys. Ne ovat samat vaiheet, jotka sisältyvät myös Ihkun päällystekerros-rakenneosan laskentaan. Työkoneiden päästökertoimet ovat yksiköltään tuntia kohden, jolloin se pitää kertoa työkoneen käyttöajan mukaan. Koneiden käyttöaikaa voidaan arvioida keskimääräisten

työsaavutusten avulla. Niiden avulla päästökertoimen yksikkö voidaan muuttaa määrälaskennan kannalta helpommin laskettavaan muotoon. Suunnitteluohjelmaan valittiin samat päästökertoimet työkoneille kuin mitä Ihkussa on AB 16 40 mm päällysteelle määritetty. Asfaltin levitykselle päästökertoimeksi valittiin 1,21 kgCO2e/t ja asfaltin tiivistykselle 0,54 kgCO2e/t. Ihkussa päästökertoimen suuruus vaihtelee materiaalin, päällysteen paksuuden ja muiden ominaisuuksien perusteella. Teoreettisesti päästökertoimen suuruus voisi vaihdella myös suunnittelujärjestelmässä, mutta se vaatii kattavampaa määrittelyä suunnitteluohjelmaan.

Osien uusimisiin liittyvät päästöt voidaan ottaa huomioon suunnittelujärjestelmässä, mutta niiden määrittämisessä joudutaan tekemään myös yleistyksiä ja yksinkertaistuksia. Uusimisten laskemista varten suunnittelujärjestelmään luotiin kaksi parametriä, jotka ovat elinkaariarvioinnin arviointijakso ja uusimisväli. Niiden avulla ohjelma laskee, kuinka monta kertaa päällyste uusitaan arvioitavan jakson välillä. Uusittavien osien päästöt lasketaan kertomalla rakentamisen aikaiset päästöt uusimiskerroilla. Tällöin ohjelmassa on määritetty, että jokainen uudelleenpäällystys tehdään samalla tavalla kuin ensimmäisellä päällystys kerralla. Todellisuudessa uudelleenpäällystämisen toteutusmenetelmä vaihtelee, mikä vaikuttaa päästöjen suuruuteen. Osien vaihtoon liittyy myös vanhojen osien poistaminen, mitä ei ole otettu huomioon tässä osiossa.

Laskentalogiikan luomisen jälkeen ohjelmaan luodaan tapa raportoida päästöt. Päästöt raportoidaan elinkaaren vaiheittain. Niiden lisäksi päästöistä raportoidaan rakentamisvaiheen päästöt, johon kuuluvat vaiheet A1-A5 ja koko elinkaaren päästöt, johon kuuluu lisäksi osien uusimisista aiheutuvat päästöt. Kuvassa 31 on luotu suunnitteluohjelmaan kooste, jossa näkyy vasemmassa yläkulmassa muutettavat parametrit, vasemmassa alakulmassa päästölaskennan tulokset ja oikealla 3D-näkymä rakenteesta. Käyttäjä pystyy muokkaamaan kuutta eri parametria, jotka ovat asfaltin paksuus, ajoradan leveys, materiaalin kuljetusmatka, uusimisväli, elinkaariarvioinnin jakso ja asfaltin materiaali. Niiden avulla ohjelma luo geometrian asfalttirakenteelle ja laskee siitä päästöt.

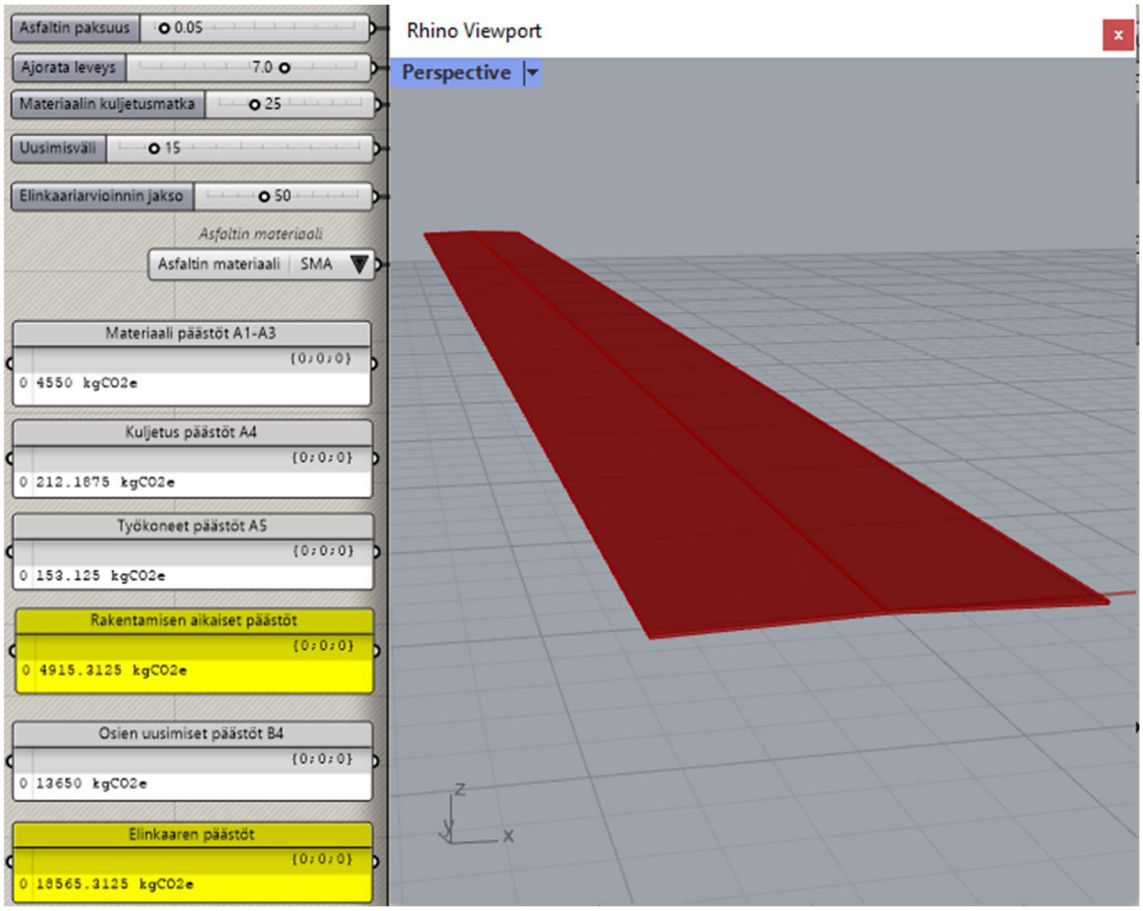


Kuva 31. *Koostenäkymä asfalttipäällysteen päästöjä laskevasta ohjelmasta.*

Kuvassa 32 on esitetty toisenlainen rakenne asfalttipäällysteestä verrattuna kuvan 31 rakenteeseen. Rakenteen geometriaa ja materiaalia on muokattu antamalla sille ohjelmassa uudet parametrit. Uusien annettujen parametrien avulla ohjelma laskee välittömästi uuden geometrian rakenteelle ja laskee siitä päästöt annetun logiikan mukaisesti.

Asfalttikerros on vai yksi esimerkki päästölaskennan tekemisestä suunnitteluohjelmassa, mutta esimerkkiä voidaan laajentaa koskemaan suurempaa määrää rakennusosia. Ohjelmaan voitaisiin teoreettisesti mallintaa esimerkiksi tierakenne, jossa olisi myös muut rakennekerrokset. Jos tierakenne saadaan mallinnettua ohjelmaan, niin teoreettisesti tuomalla maanpinnan mallin ohjelmaan, voitaisiin laskea maaleikkauksen ja täyttöjen määrä myös.

Parametrisellä työkalulla on helppo mallintaa objekteja, jotka noudattavat tiettyä kaavaa. Todellisuudessa asfaltin tai tierakenteen leveys voi vaihdella tai rakennekerrosten paksuus vaihdella. Tämänlaisten poikkeuksien mallintaminen ohjelmassa on haastavaa. Parametrinen mallintaminen voisi tällöin soveltua parhaiten varhaisiin suunnitteluvaiheisiin, jolloin rakenteiden yksityiskohdilla ei ole niin väliä. Lisäksi sen avulla on helppo tehdä erilaisten vaihtoehtojen tarkastelua, sillä parametrejä muuttamalla päästöt saadaan laskettua reaaliaikaisesti.



Kuva 32. *Koostenäkymä asfalttipäällysteen päästöjä laskevasta ohjelmasta.*

Materiaalipäästöt saadaan oletettavasti laskettua ohjelmassa tarkemmalla tasolla kuin muut päästöt, koska niiden laskemisessa on tehty vähiten oletuksia ja yksinkertaistuksia. Sen lisäksi materiaalipäästöihin liittyvä päästökerroin on ainoa päästökerroin ohjelmassa, jota voidaan muokata parametrien valinnalla. Tällöin materiaali päästöjen laskentatarkkuus riippuu lähes täysin vain siitä, kuinka tarkkaan rakenne on mallinnettu. Muiden vaiheiden päästökerroin on vakio riippumatta annetuista parametreistä, jolloin niiden suuruuteen ei vaikuta, jos rakenteen geometriaa tai materiaalia muokataan ohjelmassa. Todellisuudessa muutokset rakenteessa tai materiaalissa voivat vaikuttaa päästökertoimen suuruuteen.

Toisaalta muiden vaiheiden päästökertoimien valinta on teoreettisesti mahdollista rakentaa ohjelmaan niin, että ne vaihtuvat annettujen parametrien perusteella. Esimerkiksi yksinkertaisimmillaan kuljetuksen päästökerroin voidaan määrittää niin, että käyttäjä valitsee listasta sopivan kuljetustavan materiaalille, jonka perusteella ohjelma määrittää automaattisesti kuljetustavan mukaisen päästökertoimen.

6. PÄÄSTÖJEN ARVIOINNIN KEHITTÄMINEN

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksen keskeisiä tuloksia ja vastataan asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Tulokset perustuvat kirjallisuustutkimukseen, puolistrukturoituihin teemahaastatteluihin ja kokeelliseen testaamiseen. Luvussa arvioidaan päästölaskennan nykyistä prosessia, päästöjen roolia suunnittelun ohjauksessa ja tietomallipohjaisen päästöjen arvioinnin toteuttamisen hyötyjä ja haasteita.

Työn tutkimuskysymys oli:

Miten suunnitteluprosessin aikaista tietomallipohjaista päästöjen arviointia voidaan kehittää tiehankkeessa?

Tutkimuskysymyksen tueksi apukysymyksiä olivat:

Mikä on nykyisin tehtävän päästölaskennan prosessi ja haasteet?

Miten mallipohjainen päästöjen arviointi tukee suunnittelun ohjausta?

Mitä vaaditaan, että päästölaskentaa voidaan tehdä mallipohjaisesti?

6.1 Päästölaskennan prosessi

Tämän työn päästölaskennan nykyinen prosessi kuvattiin Väyläviraston Vt6 Korian kohdan STk hankkeen ja haastatteluiden avulla. Päästölaskenta painottuu nykyisin myöhäisiin suunnitteluvaiheisiin, jolloin suunnitteluratkaisut ovat suurimmalta osin jo päätetty. Nykyinen päästölaskenta on prosessiltaan pääosin manuaalista tietojen syöttämistä päästölaskentaohjelmaan.

Tapauskohdehankkeella päästölaskenta oli tehty Väyläviraston vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisesti ja laskennan työkaluina oli käytetty Ihku-laskentapalvelun päästölaskentatyökalua. Ihkun käyttö on tehostanut päästölaskennan tekemistä, mutta se ei kokonaisuudessaan tue vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaista laskentaa vielä, joten osa laskennasta jouduttiin tekemään erillisenä taulukkolaskentana. Esimerkiksi osa rakennusosien kuljetuksiin liittyvistä päästöistä pitää erikseen määrittää, koska Ihku ei laske niitä automaattisesti. Erillinen Ihkun ulkopuolella tapahtuva taulukkolaskenta hidastaa päästölaskentaa, joten Ihkun yhtenä kehityskohteena olisi lisätä puuttuvat päästökertoimet niille rakenneosille, joilta se vielä puuttuu.

B4-vaiheen päästöjen laskeminen eli osien uusimisista ja vaihtamisista aiheutuvien päästöjen laskeminen sisältyy vähähiilisyyden arviointimenetelmän pakollisiin laskettaviin vaiheisiin, mutta niiden laskemista varten tarvitaan erillistä Ihkun ulkopuolella tehtävää määrälaskentaa. Ihkun kehityksessä olisi hyvä ottaa huomioon B4-vaiheen päästöjen huomiointi Ihkun rakenneosissa. Esimerkiksi Ihkun rakenneosiin voisi olla valmiiksi määritelty tietty B4-vaiheen päästökerroin, jolloin ei tarvitse erikseen laskea rakenneosan uusimisiin ja vaihtamisiin liittyviä määriä. B4-vaiheen päästöille olisi myös hyvä olla olemassa oma kohta Ihkun rakenneosassa, johon ne tulevat näkyviin.

6.2 Päästöt suunnittelunohjauksessa

Päästöillä ei nykyisin ole merkittävää suunnittelun aikaista ohjaavaa vaikutusta. Hankkeen tilaajapuolella on tärkeä vastuu siinä, kuinka suuressa roolissa päästöjen vähentäminen on hankkeen suunnittelussa ja muutenkin hankkeen aikana. Päästöjen vähentämisen tukemiseksi tilaajan tulisi antaa tavoitteita tai vaatimuksia päästöjen vähentämiseksi, mikä pakottaisi hankkeen kaikki osapuolet tavoittelemaan päästövähennyksiä.

Päästölaskennan vaatiminen hankkeelta on yksi tapa, jolla voidaan tukea vähäpäästöisempää infrarakentamista. Sen tuloksia voidaan käyttää päätöksenteon tukena vähäpäästöisempien tuotteiden tai rakenteiden valinnassa. Lisäksi päästölaskennan avulla saadaan yhä parempi tietoisuus eri suunnitteluratkaisujen päästövaikutuksista, jolloin tilaajan on helpompi asettaa päästötavoitteita ja kannustimia hankkeille.

Päästötiedon jakaminen suunnittelijalla on yksi tapa vaikuttaa siihen, että päästöt otetaan paremmin huomioon suunnittelun aikana. Jos suunnittelijalla ei ole tietoa suunnitteluratkaisujen päästöistä, niin päästöjä on haastava ottaa huomioon eri suunnitteluratkaisujen tarkastelussa. Tässä tapauksessa päästötietojen sisällyttäminen suunnittelujärjestelmään olisi tehokas tapa viestiä suunnittelijalle eri suunnitteluratkaisujen vaikutuksista päästöihin. Varsinkin silloin, jos päästöt voidaan laskea reaaliaikaisesti, kun suunnitelmia muokataan. Toisaalta suunnittelijalle voidaan myös muilla tavoin viestiä eri suunnitteluratkaisujen päästövaikutuksista. Tärkeintä olisi, että suunnittelijalla olisi tietoisuus niistä päästöjä vähentävistä suunnitteluratkaisuista, joihin hän voi itse vaikuttaa.

Lisäksi yksi toimenpide, jolla päästöt voitaisiin ottaa paremmin huomioon suunnittelu aikana, on päästölaskijan ja suunnittelijan laajempi yhteistyö. Päästölaskijalla on oletettavasti paras tietoisuus infrahankkeen rakenteiden päästöistä ja suunnittelijalla niiden teknisestä soveltuvuudesta, jolloin suunnitteluratkaisuja olisi hyvä miettiä yhdessä.

Päästölaskennalla itsessään ei ole yleensä ohjaavaa vaikutusta hankkeen suunnittelun aikana, sillä päästölaskenta tehdään usein liian myöhäisissä hankkeen vaiheissa. Jotta

päästölaskennalla saataisiin merkittävämpi ohjaava vaikutus hankkeisiin, tulisi se ottaa osaksi aikaisempia suunnitteluvaiheita, jolloin suunnitteluratkaisuihin on suuremmat vaikutusmahdollisuudet. Aikaisempien suunnitteluvaiheiden laskentaa varten olisi hyvä laatia ohjeistusta, jossa otetaan huomioon suunnitteluvaiheen suunnitelmien tarkkuustaso ja riittävän kattava laskennan taso suhteessa vaiheeseen. Tällöin pitäisi määritellä, mitkä elinkaarenvaiheet pitää ottaa huomioon missäkin suunnitteluvaiheessa ja millä tarkkuudella. Määrittely pitäisi luultavasti tehdä rakennusosakohtaisesti, sillä tietyt elinkaarivaiheet korostuvat tietyissä rakenneosissa.

Eri rakennusosille pitäisi myös olla olemassa riittävän keskimääräiset päästökertoimet tarkkojen päästökertoimien lisäksi. Nykyiset päästökertoimet ovat usein tarkkuudeltaan samaa tasoa, mitä esimerkiksi rakentamissuunnitelmavaiheessa tarvitaan. Aikaisempia vaiheita varten olisi hyvä olla olemassa keskimääräisempiä päästökertoimia, jotta päästölaskentaa varten tehty rakennusosan yksityiskohtainen valinta ei lähtisi perusteettomasti ohjaamaan suunnittelua yksityiskohtaisemman suunnittelun aikana. Tämä helpottaisi päästökertoimien valitsemista varhaisemmissa suunnitteluvaiheissa. Esimerkiksi betonille voisi olla olemassa keskimääräinen päästökerroin, jossa ei oteta kantaa betonin laatuun.

6.3 Päästöjen arviointi mallipohjaisesti

Työssä esiteltiin neljä eri menetelmää toteuttaa päästölaskennan ja tietomallintamisen yhteensovitus. Menetelmät olivat mallipohjainen määräluettelo, IFC-tiedostoon perustuva siirtotiedosto, suunnitteluohjelman päästölaskenta-lisäohjelma ja päästötietojen sisällyttäminen suunnittelujärjestelmään. Yhteensovitusmenetelmistä ei voida määrittää selkeää parasta menetelmää, sillä jokaisessa menetelmässä on hyviä ja huonoja puolia ja ne sopivat eri tarkoitukseen.

Nykyisin tehtävän päästölaskennan voidaan kuvata olevan tietyllä tapaa jo mallipohjaista, sillä tietomalleista tuotetaan määrätietoa, jota käytetään päästölaskennassa. Toisaalta sitä voidaan pitää vielä alkeellisena tapana hyödyntää tietomalleja päästöjen arvioinnissa verrattuna kirjallisuudessa esitettyihin tapoihin hyödyntää tietomallia päästöjen arvioinnissa.

Mallipohjainen siirtotiedosto

Ihkun siirtotiedoston käytössä havaittiin olevan useita haasteita. Taulukko- tai tekstipohjaisen siirtotiedoston täysin automaattinen tiedon siirtyminen laskentaohjelmaan vaatii

hyvin paljon lisämäärittämistä. Automaattista kohdentamista ei voida tehdä pelkän nimikkeistön nimikekoodin avulla, koska samalla nimikekoodilla on Ihkussa yleensä enemmän kuin vain yksi rakenneosa. Siirtotiedostossa pitäisi tällöin olla tarkempia ominaisuuksia, joiden avulla automaattinen kohdentaminen voidaan tehdä. Kohdentaminen tapahtuisi nimikekoodin lisäksi muiden ominaisuuksien perusteella. Ihkussa tehtävä erillinen käyttäjän tekemä kohdentaminen on kuitenkin hyvä tapa ratkaista tietojen yhteensopimattomuus ja mahdollistaa siirtotiedoston käyttö.

Suurempi ongelma siirtotiedoston käytössä liittyy tapauksiin, kun siirtotiedostoa käytetään päivitettävälle laskelmalle. Näissä tapauksissa laskelmalta pitää manuaalisesti poistaa edelliset määrätiedot ja määrätietojen kohdentaminen pitää tehdä uudestaan. Tässä tapauksessa määrätietojen muokkaaminen manuaalisesti on nopeampaa, kun siirtotiedostoa käytettäessä joudutaan kuitenkin muokkaamaan laskelmaa manuaalisesti.

Taulukkopohjainen siirtotiedosto toimii parhaiten tapauksissa, jossa laskelma ei sisällä vielä siirtotiedoston tietoja. Yhtenä ratkaisuna päivitettävän siirtotiedoston käyttöön olisi luoda uusi tyhjä laskelma, kun määrätiedot päivitetään. Tässä tapauksessa ongelmana on, että laskelmalle pitää lisätä uudestaan muut määrät, jotka eivät ole siirtotiedostossa. Siirtotiedosto sisältää määrätietoa vain yhdestä suunnittelujärjestelmästä, mutta suunnittelua voidaan tehdä myös muissa ohjelmissa, joten määrätietoja pitää tuoda useasta eri ohjelmasta. Sen lisäksi siirtotiedostojen avulla on haastava saada kaikki tarvittavat määrätiedot laskelmalle, koska tällöin kaikki laskentaan kuuluvat osat pitäisi olla mallissa jollakin tapaa mukana. Esimerkiksi poistettavat rakenteet sisällytetään yleensä laskelmalle, mutta niiden mallintaminen on haastavaa, joten niiden tiedot on helpompi syöttää laskelmalle manuaalisesti. Tällöin uuden laskelman luominen laskelmaa päivitettäessä ei ole varteen otettava vaihtoehto, vaan laskelman päivitys pitäisi pystyä tekemään olemassa olevalle laskelmalle.

Määräluetteloon perustuvan siirtotiedosto menetelmän kehityksessä tulisi selvittää, miten kohdentamista voidaan automatisoida. Päästölaskentaohjelman rakenneosien ja määräluettelon rakenneosien pitäisi olla tarkkuustasoltaan mahdollisimman lähellä toisiaan, jotta päästölaskentaohjelmisto pystyy yhdistämään ne automaattisesti. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että Ihkussa pitäisi olla tarjolla vähemmän tarkkoja rakenneosia tai mallintamisen tarkkuustaso pitäisi olla tarkempi.

Tekoälyn käyttäminen kohdentamisessa voisi olla yksi mahdollisuus ratkaista kohdentamiseen liittyvät ongelmat. Sen avulla kohdentaminen voitaisiin tehdä esimerkiksi myös

muiden tietojen perusteella kuin pelkän nimikekoodin. Tekoäly voisi etsiä Ihkun rakenneosista sopivan vastaavan rakenneosan esimerkiksi määräluettelon rakenneosan nimikekoodin ja nimen perusteella.

Toinen kehitettävä asia siirtotiedostoon liittyen on se, miten laskelmaa päivitettäessä saadaan poistettua vanhat tiedot automaattisesti. Laskentaa päivitettäessä päästölaskentaohjelman pitäisi pystyä tunnistamaan laskelmalta ne rivit, johon muokkaukset pitää tehdä. Esimerkiksi siirtotiedostossa ja laskelmalla pitäisi olla jokaisella määrärivillä yksilöllinen tunnus, jonka avulla ohjelma tunnistaisi oikeat päivitettävät rivit.

IFC-siirtotiedosto ja -mallit

IFC-tiedostoa ei ole mahdollista käyttää siirtotiedostona Ihkussa, mutta se sopisi teoreettisesti paremmin siirtotiedosto käyttöön. IFC-tiedostossa objekteilla on yksilöllinen tunniste GUID (globally unique identifier), jonka perusteella objektit voidaan yksilöidä toisistaan. Sen avulla on mahdollista luoda yhteys IFC-tiedoston objektien ja laskentajärjestelmän välillä, jos laskentajärjestelmä voisi tallentaa tiedon IFC-tiedoston GUID-tiedoista. Kohdennus pitäisi tehdä ensimmäisellä kerralla siirtotiedoston määrien ja laskentajärjestelmän rakennusosien välillä. Tietoa päivitettäessä siirtotiedoston avulla laskentajärjestelmä voisi tunnistaa GUID-tiedon avulla päivitettävät rivit. IFC-tiedoston käytön avulla olisi myös mahdollista käyttää IDS-standardia, jonka avulla mahdollistetaan automaattinen tiedon laadun tarkastaminen. Sen avulla voidaan antaa vaatimukset IFC-tiedostolle, jotta sen tietosisältö vastaa päästölaskennan ohjeistuksen mukaista muotoa, kun se tuodaan päästölaskentajärjestelmään.

Työssä tutkittiin myös päästötiedon sisällyttämistä IFC-tiedostoon, jolloin IFC-malleja voitaisiin käyttää teoreettisesti päästöjen visualisoinnissa. Työssä huomattiin, että Ihkun ja IFC-mallien rakennusosat ovat määritelty eri tavalla, jolloin Ihkusta saatavia laskelmia ei voida suoraan viedä IFC-mallien objektien ominaisuuksiksi. Rakenneosat pitäisi olla ilmoitettu Ihkuun samalla tasolla kuin IFC-mallien tiedostot ja objektit ovat jaoteltu, jotta tiedot voitaisiin viedä malleihin ilman erillistä laskemista.

IFC-mallit sisältävät yleensä tiedon rakenteen määrästä kuten tilavuudesta tai pintaalasta ja materiaalista. Tällöin materiaalipäästöt olisi helpoin laskea antamalla objektille tieto sen materiaali kohtaisesta päästökertoimesta. Objektilla olisi tällöin kaikki tarvittava tieto sen materiaali päästöjen laskemiseen. Objektitasolla päästökertoimen tuominen malliin vaikuttaa olevan helpompi toteuttaa kuin valmiiksi lasketun päästötiedon tuominen. IFC-malli koostuu yleensä suuresta määrästä objekteja, jotka ovat eri kokoisia, jol-

loin niiden päästötiedot ovat myös erilaisia. Päästökerroin olisi sama kaikilla saman rakenneosan objekteilla riippumatta niiden geometriasta. Esimerkiksi pilaristabiloinnin tapauksessa jokaiselle IFC-mallin pilariobjektille annettaisiin stabiloinnin sideaineen päästökerroin, jolloin päästöä ei tarvitsisi laskea jokaiselle stabilointipilarille erikseen. Teoreettisesti ohjelma voisi laskea päästökertoimen ja objektin painon tai geometrian perusteella päästön objektille.

IFC-tiedostojen käyttö siirtotiedostona ei ole vielä ajankohtaista infra-alalla, koska IFC-standardi ei ole vielä kattavasti käytössä väylärakenteiden tiedonsiirtoformaattina. Toisaalta IFC 4.3 version myötä IFC-formaatti soveltuu paremmin myös infrarakentamiselle. Jatkossa, jos IFC-standardi tulee olemaan laajemmin käytössä, niin IFC-siirtotiedostomenetelmä voisi olla yksi realistinen tapa siirtää tietoa mallinnusohjelmasta päästölaskentaohjelmaan. Tässä tapauksessa Ihkun päästölaskentaohjelmaan olisi hyvä kehittää tukemaan IFC-pohjaisia siirtotiedostoja. IFC-tiedoston käytössä päästölaskentaan tarvitaan myös standardisointia ja muuta määrittelyä esimerkiksi Väyläviraston tai BuildingSmartin toimesta, jotta ohjelmat pystyvät lukemaan IFC-tiedostoja halutulla tavalla.

Päästölaskenta suunnittelujärjestelmässä

Päästötietojen viemisellä suunnittelujärjestelmään mahdollistetaan reaaliaikainen päästölaskenta, kun suunnitelmia muokataan. Sen lisäksi päästötietoja on mahdollista visualisoida suunnitteluympäristössä. Toisaalta päästölaskennan tekeminen suunnittelujärjestelmässä samalla tasolla kuin sen tekeminen erillisessä päästölaskentatyökalussa kuten Ihkussa on haastavaa, sillä kaikkia arvioitavia rakenteita ei mallinneta. Kattavan päästölaskennan tekeminen vaatii myös paljon lisämäärittelyä suunnittelujärjestelmässä. Tiedon määrittämisen tarvetta voidaan vähentää käyttämällä oletuksia ja yksinkertaistuksia, mikä toisaalta vähentää päästölaskennan tarkkuutta.

Yhtenä haasteena suunnittelujärjestelmään integroidussa päästölaskennassa on sen kehityksen riippuvaisuus ohjelmistokehittäjistä. Suunnitteluohjelmistot ovat yleensä kansainvälisesti kehitettyjä ohjelmistoja, joten vaikka niissä olisi tarjolla päästölaskentaan liittyviä ominaisuuksia, niillä ei välttämättä pysty tekemään päästölaskentaa maakohtaisen ohjeistuksen mukaisesti. Esimerkiksi Ihku on Suomessa kehitetty päästölaskentaohjelma, jolloin sitä voidaan kehittää paremmin soveltumaan Suomessa käytettävän ohjeistuksen mukaiseen laskentaan kuten Väyläviraston vähähiilisyyden arviointimenetelmän perusteisesti. Toisaalta parametristä suunnittelua käyttävissä suunnittelutyöka-

luissa suunnittelija pystyy itse luomaan päästölaskentakoodin ohjelmaan, mutta parametrisellä suunnittelulla on haastavampi tehdä tarkkoja suunnitelmia, mitä perinteisillä mallinnusohjelmilla on mahdollista tehdä.

Materiaalikohtaiset päästöt eli vaiheiden A1-A3 päästöt ovat mahdollista laskea rakenteen geometrian ja materiaalin avulla. Materiaalitieto määritetään suunnittelujärjestelmässä nykyisin myös monelle rakenteelle, joten A1-A3-vaiheiden päästöjen laskenta ei vaadi isoja muutoksia nykyisiin mallinnuskäytänteisiin. Muiden vaiheiden sisällyttäminen laskentaan vaatisi uusien ominaisuuksien lisäämistä objekteille, esimerkiksi kuljetusvaiheen laskemiseksi mallinnusobjektilla pitäisi olla merkittynä kuljetusmatka. Toisaalta kaikkea tietoa ei ole pakollista sisällyttää suoraan objekteihin, vaan ne voidaan liittää projektin yleistietoihin. Esimerkiksi kuljetusmatkat tietynlaisille tuotteille voitaisiin lisätä yleistiedoksi projektille, jolloin sitä ei tarvitse syöttää erikseen jokaiselle objektille.

Suunnittelujärjestelmässä tehtävän päästölaskennan toteutuksessa tulisi myös miettiä kuka laskentaa tekee. Suunnittelijalla ei ole samanlaista tietämystä päästölaskentaan vaikuttavista tekijöistä kuin päästölaskennan asiantuntijalla. Jos suunnittelija tekee ohjelmassa päästöjen arviointia, niin laskennan pitäisi tapahtua mahdollisimman automaattiesti, ilman että suunnittelijan pitää määrittää päästölaskennalle liittyviä ominaisuuksia tai parametrejä. Päästölaskennan asiantuntijan tehdessä päästöjen arviointia, suunnitteluohjelmassa voitaisiin tarjota enemmän ominaisuuksia, joilla voidaan vaikuttaa päästölaskennan parametreihin.

Vaikka suunnittelujärjestelmässä tehtävällä päästölaskennalla ei päästä samaan tarkkuuteen kuin erillisessä päästölaskentaohjelmassa tehtävällä, soveltuu se silti suunnittelun aikana päästöjen arviointiin. Aikaisissa vaiheissa päästölaskentaan vaadittavat lähtötiedot eivät ole yhtä tarkkoja ja laskennassa joudutaan tekemään oletuksia ja yksinkertaistuksia. Tällöin suunnittelujärjestelmässä tehtävällä päästölaskennalla päästään todennäköisesti lähelle samaa tarkkuustasoa kuin mitä se olisi erillisessä päästölaskentaohjelmassa. Toisaalta yhtenä haasteena suunnitteluohjelmassa tehtävällä päästölaskennalla on myös se, että suunnittelua tehdään usein monessa eri suunnitteluohjelmassa. Jos päästölaskentaa halutaan tehdä koko hankkeen suunnitelmasta suunnitteluohjelman sisällä, niin kaikki mallit pitäisi koota yhdistelmämalliksi yhteen suunnitteluohjelmaan.

Eri yhteensovitusmenetelmät soveltuvat eri suunnitteluvaiheisiin ja erilaiseen päästölaskentaan. Menetelmät, joissa suurin osa päästölaskennan prosessista tehdään suunnittelujärjestelmässä, soveltuvat parhaiten suunnittelun aikaiseen päästöjen arviointiin. Toisaalta näissä vaiheissa vaatimuksena on se, että mallin rakenneosat ovat mallinnettu

sillä tasolla, että niistä voidaan laskea määrät. Todennäköisempää on, että kaikista aikaisimpien suunnitteluvaiheiden laskenta tullaan tekemään hankeosalaskentana, jossa käytetään erillistä päästölaskentaohjelmaa. Sitten kun, suunnitelmien mallinnustaso on sillä tasolla, että niistä voidaan laskea rakennusosien määrät, voidaan päästöjen arvioinnissa käyttää suunnitteluohjelmaan integroituja päästölaskentatyökaluja. Kattava päästölaskenta joudutaan todennäköisesti tekemään erillisessä päästölaskentaohjelmassa kuten Ihkussa, jotta päästölaskennassa voidaan ottaa kaikki huomioon.

7. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä tarkasteltiin, miten tietomallipohjaista päästöjen arviointia voidaan kehittää tiehankkeen suunnitteluprosessin aikana. Työn taustalla on tarve edistää vähähiilistä infrarakentamista Suomessa tukemalla ilmastotavoitteiden saavuttamista. Tällä hetkellä päästölaskenta painottuu usein suunnittelun loppuvaiheisiin, jolloin vaikutusmahdollisuudet suunnitteluratkaisuihin ovat vähäiset. Lisäksi päästölaskenta on erillinen ja osittain manuaalinen prosessi, mikä vaikeuttaa sen hyödyntämistä suunnittelun ohjauksessa. Tietomallipohjainen päästöjen arviointi tarjoaa mahdollisuuden automatisoida ja nopeuttaa laskentaa, sekä tukea päästövaikutusten huomioon ottamista jo suunnitteluprosessin aikana.

Tutkimus perustui kirjallisuusselvitykseen, teemahaastatteluihin ja kokeelliseen testaamiseen. Kirjallisuudessa tarkasteltiin elinkaariarvioinnin menetelmiä, tiehankkeen päästöjä ja mallipohjaisen suunnittelun käytäntöjä. Lisäksi työn kirjallisuusosiossa tarkasteltiin eri tapoja yhteensovittaa tietomallintaminen ja päästölaskenta. Työssä esitetyt yhteensovitusmenetelmät olivat mallipohjainen määräluettelo, IFC-tiedostoon perustuva tiedonsiirto, suunnitteluohjelman päästölaskenta-lisäohjelma ja päästötietojen sisällyttäminen suunnittelujärjestelmään.

Työn teemahaastatteluilla selvitettiin päästölaskennan nykytilaa, tietomallintamisen nykytilaa, päästöjen ohjaavaa vaikutusta tiehankkeessa, sekä päästölaskennan ja tietomallintamisen yhteensovittamisen haasteita ja mahdollisuuksia. Haastattelut osoittivat, että päästöjen huomiointi tiehankkeissa on vielä alkeellisella tasolla, vaikka kehitystä sen suhteen on tapahtunut. Tapaustutkimuskohteessa tehdyn päästölaskennan analysointi osoitti, että päästölaskenta vaatii paljon manuaalista tiedonsiirtoa laskentatyökalujen välillä, jotta päästölaskentaa voidaan tehdä ohjeistuksen mukaisesti.

Kokeellisessa osiossa tutkittiin käytännössä, miten päästölaskennan ja tietomallintamisen prosessit toimivat käytännössä. Tutkimuksessa huomattiin, että määräluetteloon perustuvan siirtotiedoston käyttöön liittyy useita ongelmia. IFC-tiedosto voisi toimia teoreettisesti paremmin siirtotiedoston käytössä, jos se otetaan laajemmin käyttöön infrarakenteiden mallintamisessa. Kokeellisessa osuudessa testattiin myös päästölaskennan tekemistä suunnittelujärjestelmässä hyödyntämällä parametristä suunnittelutyökalua. Sen avulla pystyttiin laskemaan päästöt reaaliaikaisesti, kun suunnitelmaa muutettiin.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tietomallipohjaisen päästöjen arvioinnin avulla voidaan tukea suunnittelun aikaista päätöksentekoa. Tietomallia voidaan hyödyntää eri tavoilla päästöjen arvioinnissa, mutta sen laajempi hyödyntäminen edellyttää vielä kehitystä. Tässä työssä käsiteltiin useaa eri päästölaskennan ja tietomallintamisen yhteensovitusmenetelmää, joten jatkotutkimuksissa olisi hyvä keskittyä syvemmin jokaiseen työssä esitettyyn menetelmään. Mallipohjaisen määräluetteloon liittyen olisi hyvä tutkia tarkemmin, miten kohdistamiseen ja laskelman päivittämiseen liittyvät ongelmat voidaan ratkaista. Suunnittelujärjestelmässä tehtävän päästölaskennan kannalta olisi hyvä tutkia laajempaa rakenneosa kokonaisuutta ja päästötietojen visualisointia suunnittelujärjestelmässä, koska tässä työssä käsiteltiin vain yksittäistä rakenneosaa ilman päästötietojen visualisointia. Lisäksi IFC-tiedostojen nykyistä tietosisältöä olisi hyvä tutkia tarkemmin päästölaskennan kannalta, eli kuinka hyvin IFC-mallien tietosisältö vastaa päästölaskennan vaatimaan tietosisältöön.

LÄHTEET

BuildingSMART Finland. (2019a). Yleiset inframallivaatimukset YIV 2019. Saatavissa: https://wiki.buildingsmart.fi/fi/04_Julkaisut_ja_Standardit/YIV.

BuildingSMART Finland (2019b). Inframodel 4 käyttöohje. Saatavissa: https://wiki.buildingsmart.fi/fi/04_Julkaisut_ja_Standardit/Inframodel.

BuildingSMART International (2025a). buildingSMART Data Dictionary. Verkkosivu. Viitattu 20.7.2025. https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary-old/.

BuildingSMART International (2025b). buildingSMART Data Dictionary. buildingSMART Sustainability Strategic Group LCA properties. Viittattu 20.7.2025. https://search.bsdd.buildingsmart.org/uri/LCA/LCA_properties/0.1/class/LCA_properties.

CO2data. (2025). Infrarakentamisen päästötietokanta. Verkkosivu. Vittattu 1.6.2025. https://co2data.fi/infra/.

Crawford, R. (2011). Life Cycle Assessment in the Built Environment. Life Cycle Assessment in the Built Environment /, vol. 9780203868171. Spon Press.

Destia. (2025). Infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointiraportti. VT6 Korian kohta STK, Rakentamissuunnitelmavaihe. Julkaisematon selvitys.

van Eldik, M., Vahdatikhaki, F., dos Santos, J., Visser, M., Doree, A. (2020). BIM-Based Environmental Impact Assessment for Infrastructure Design Projects. Automation in Construction. vol. 120. 103379.

Eriksson, P., Koistinen, K., (2014). Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskus. Tutkimuksia ja selvityksiä 11.

Green building council Finland. (2021). Kestävä infra määritelmä. Saatavissa: https://figbc.fi/julkaisut/kestava-infra-maaritelma.

Guignone, G., De Wolf, C., & Hollberg, A. (2023). BIM and LCA integration methodologies: A critical analysis and proposed guidelines. Journal of Building Engineering, 73, 106780.

Helsingin kaupunki. (2024). Kaivumaiden, kiviaineksen ja uusiomateriaalien hyödyntämisen periaatteet maarakentamisessa. Kaupunkiympäristön aineistoja 2024:12.

Hirsjärvi, S., Hurme, H. (2022). Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. [2. painos]. Gaudeamus.

Hussain, M., Bakhshi, A., Hafeez, M., Basha, N.K., & Kim, J. (2023). Automated and continuous BIM-based life cycle carbon assessment for infrastructure projects. Resources, Conservation and Recycling, 190, 106848.

Ilmastolaki 423/2022. Annettu Helsingissä 10.6.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423.

Ihku-allianssi. (2023). Päästökertoimien kohdistaminen Ihku-laskentapalvelun rakennusosakirjaston panoksille. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2025. https://ihkuallianssi.fi/paastokertoimien-kohdistaminen-ihku-laskentapalvelun-rakennusosakirjaston-panoksille/.

Juhila, K. (2021). Teemoittelu. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. < https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/teemoittelu/ >. [Viitattu 28.05.2025.]

Jyväskylän yliopisto. (2025). Tutkimusstrategiat Tapaustutkimus. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2025. https://sites.app.jyu.fi/mehu/fi/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus.

Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., Zhou, Z. (2020). Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM. Sustainability, 12(6), 2436.

Kim, J. (2024). A Study on Improving LANDXML Interoperability. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, vol. 15, no. 4.

Kinnunen, E., Lindqvist, E., Laasonen, S., Karjalainen, P. & Matveinen, M. (2023). Automaatiotason nostaminen rakennusten LCA-laskennassa. *Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja Sarja C. Raportteja 127.*

Hämäläinen, I. (2022). INFRA kuljetukset. CO2-data. Saatavissa: https://co2data.fi/infra/reports/INFRA%20kuljetukset%20R01.00.pdf.

Laine, A., Pohjalainen, S., Mäntylä, I., Eloranta, A., Lehtomäki, J., Raivio, T. (2024). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 – tiekartan päivitys.

Lindholm, M., Montin, P. (2000). Panospohjainen kustannuslaskenta ja suhdanneseuranta tienrakennushankkeissa. Tielaitoksen selvityksiä 37/2000.

Llatas. C., Soust-Verdauger. B., Hollberg. A., Palumbo. E., Quinones. R. (2022). BIM-Based LCSA Application in Early Design Stages Using IFC. *Automation in Construction*, vol. 138, 104259.

Malabadi Eberhardt, L., C., Kuittinen, M., Häkkinen, T., Moine, C., Nibel, S., Birgisdottir, H. (2024). Carbon Handprint - a Review of Potential Climate Benefits of Buildings. Building Research and Information : The International Journal of Research, Development and Demonstration, vol. 52, no. 6, 2024, pp. 708–23

Suomen ympäristökeskus. (2025). Infrarakentamisen päästötietokanta. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi/ymparistotieto/laskurit-ja-tyokalut/co2data-palvelu/infrarakentamisen-paastotietokanta

Obrecht. T., Röck. M., Hoxha. E., Passer. A. (2020). BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. Sustainability, vol. 12, no. 14, 5534.

Palumbo, E., et al. (2020). How to Obtain Accurate Environmental Impacts at Early Design Stages in BIM When Using Environmental Product Declaration. A Method to Support Decision-Making. Sustainability. vol. 12, no. 17.

Parece, S., Mokkath, M., & Stadel, A. (2025). Current Trends and Challenges in BIM–LCA Integration. Swarm Intelligence Applications for the Cities of the Future. pp. 187–218.

Prideaux. F., Allacker. K., Crawford. R., Stephan. A. (2024). Integrating life cycle assessment into the building design process – a review. Environmental Research, Infrastructure and Sustainability: ERIS. vol. 4. no. 2, 022001.

Rodriguez-Alloza. A., Garrain. D. (2025). Comparative Life Cycle Assessment of Rubberized Warm-Mix Asphalt Pavements: A Cradle-to-Gate Plus Maintenance Approach. Coatings (Basel). vol. 15. no. 8, 899.

Saaranen-Kauppinen. A., Puusniekka. A. (2006). Luku 6.3.2 Teemahaastattelu. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>. (Viitattu 28.05.2025.)

Safari, H. & AzariJafari, H. (2021). Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. Sustainable Cities and Society, vol. 67. 102728

Saxe. S., Kasraian. D. (2020). Rethinking Environmental LCA Life Stages for Transport Infrastructure to Facilitate Holistic Assessment. Journal of Industrial Ecology, vol. 24, no. 5, pp. 1031–46

SFS-EN 17472:2022. Sustainability of construction works. Sustainability assessment of civil engineering works. Calculation methods

Suomen betoniyhdistys. (2024). BY-vähähiilisyysluokitus osa 1: Taustaraportti. 2. versio 01/2024

Tam, V.W.Y., Le, K.N., & Wang, L. (2023). Optimal BIM and LCA integration approach in infrastructure projects. Journal of Cleaner Production, 385, 135605.

Tompuri, V., (2024). Vähähiilisyys muuttaa betonia ja terästä. Rakennustaito 16.1.2024. Viitattu 3.6.2025. https://rakennustaito.fi/vahahiilisyys-muuttaa-betonia-ja-terasta/

Trimble. (2024). Adopting IFC 4.3 for infrastructure projects. Trimble. Verkkosivu. Viitattu 22.7.2025. https://www.trimble.com/blog/construction/en-US/article/adopting-ifc-4-3-for-infrastructure-projects

Väylävirasto. (2021a). Teiden ja ratojen meluesteiden suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 34/2021

Väylävirasto. (2021b). Väylähankkeiden kustannushallinta. Väyläviraston ohjeita 39/2021

Väylävirasto. (2022a). Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Väyläviraston ohjeita 20/2022

Väylävirasto. (2022b). Väyläviraston inframallivaatimukset. Väyläviraston ohjeita 32/2022

Väylävirasto. (2023a). Infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Väyläviraston ohjeita 43/2023

Väylävirasto. (2023b). Hankkeiden suunnittelun vaiheet. Verkkosivu. Viitattu 10.2.2025. https://vayla.fi/suunnittelu-rakentaminen/hankkeiden-suunnittelu/hankkeiden-suunnittelun-vaiheet

Väylävirasto. (2024). Vt6 Korian kohta. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2025. https://vayla.fi/vt-6-korian-kohta

Rakentamislaki 751/2023. Annettu Helsingissä 21.4.2023. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230751#Lidm46263583086816

UUMA3. (2020). Uusiomaarakentamisen päästölaskenta. UUMA3-hanke. Saatavissa: https://uusiomaarakentaminen.fi/aineisto/uusiomaarakentamisen-paastolaskenta/

UUMA4. (2023). Vähähiilinen esirakentaminen opas. UUMA4-hanke. Saatavissa: https://uusiomaarakentaminen.fi/aineisto/vahahiilinen-esirakentaminen-opas/

VNa 843/2017. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Annettu Helsingissä 7.12.2017. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoskokoelma/2017/843

Vuori, J. (2021). Tapaustutkimus Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. < https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/tapaustutkimus/ >. [Viitattu 28.05.2025.]

Volk, R., Stengel, J., Schultman, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings — Literature Review and Future Needs. Automation in Construction, vol. 38. pp. 109–27

Wastiels, L., Decuypere R. (2019). Identification and Comparison of LCA-BIM Integration Strategies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. vol. 323. no. 1

Zheng, B., Hussain, M., Yang, Y., Chan, A., Chi, H. (2025) Trade-offs between accuracy and efficiency in BIM-LCA integration. Engineering, Construction, and Architectural Management. vol. 32, no. 1. pp. 237–58

LIITE 1 - HAASTATELTAVAT

Haastattelun ajankohta	Haastateltava	Ammattinimike	Organisaatio
3.4.2025	H1	Suunnittelupäällikkö	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H2	Infrasuunnittelija	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H3	Infrasuunnittelija	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H4	Infrasuunnittelija	Suunnittelukonsultti
3.4.2025	H5	LCA-asiantuntija	Suunnittelukonsultti
25.4.2025	H6	Vastuullisuus- ja riskienhallintapäällikkö	Suunnittelukonsultti
25.4.2025	H7	Projektipäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H8	Kehittämispäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H9	Projektipäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H10	Kustannushallinnan asiantuntija	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H11	Kehittämispäällikkö	Tilaajaorganisaatio
28.4.2025	H12	Ryhmäpäällikkö	Tutkimus- ja asiantuntijalaitos
29.4.2025	H13	Projektipäälikkö	Tilaajaorganisaation rakennuttaja
29.4.2025	H14	Työpäälikkö	Urakoitsija
29.4.2025	H15	Työmaapäälikkö	Urakoitsija
9.5.2025	H16	Kehityspäällikkö	Suunnittelukonsultti

LIITE 2 - HAASTATTELUKYSYMYKSET

Aihepiirit ja kysymykset

Tausta

1. Mikä on kokemuksesi infrarakentamisesta?
   - Missä rooleissa olet ollut infrahankkeissa?
   - Millaisissa hankkeissa olet ollut mukana?
2. Oletko käyttänyt tietomalleja tai tehnyt mallipohjaista suunnittelua?
3. Miten päästöjen arviointi näkyy roolissasi?

Käytännön kokemukset päästölaskennasta ja tietomallintamisesta

4. Mitkä ovat nykyisin tehtävän päästölaskennan haasteita?
   - Mistä laskentaa varten tarvittavat tiedot saadaan?
   - Tiedonkerääminen haasteet
   - Millaisia työkaluja käytetään?
   - Työkalujen käytön haasteet
   - Onko päästölaskennan ohjeistus selkeää?
   - Mitkä ovat nykyisen prosessin haasteita?
5. Missä infrahankkeen vaiheissa päästölaskentaa on tehty?
   - Onko päästölaskenta tyypiltään erilaista eri suunnitteluvaiheiden välillä?
   - Kuinka tarkkaan laskenta pitää tehdä missäkin vaiheessa?
6. Mitä elinkaarivaiheiden (rakentamisen, käytön, käytön jälkeiset) päästöjä on tarkasteltu infrahankkeissa?
7. Millaisia vaikutuksia päästölaskennan tuloksilla on ollut suunnitteluratkaisuihin?
   - Missä rakenneosissa?
8. Mitä kehitystä tarvitaan, että päästölaskennan tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään?
   - Miten varmistetaan, että päästöjen vertailu eri vaihtoehtojen välillä on vertailukelpoista?
9. Miten kattavasti määrätiedot saadaan mallipohjaisesta suunnitelmasta päästölaskentaohjelmistoon ja kuinka automatisoitu prosessi on?
   - Kuinka kattavasti määrätiedot saadaan mallinnusohjelmasta
   - Mitä rakenneosia ei saada mallipohjaisesti laskettua?
   - Missä tiedosto muodossa määrätiedot siirretään?
10. Millaisia haasteita mallipohjaisessa määrälaskennassa on?
    - Ohjelmissa
    - Tiedonsiirto

Suunnittelun ohjaus päästönäkökulmasta

11. Miten päästöt otetaan huomioon infrahankkeissa?
    - Suunnittelun aikana ja rakentamisen aikana
    - Otetaanko tarjousten kilpailutuksessa huomioon?
    - Kenen vastuulla päästöjen ohjaus on?
12. Millaisia ratkaisuja ja ohjauskeinoja nykyisin käytetään päästöjen vähentämiseksi?
    -Ovatko toimet riittäviä?
    -Onko jotain haasteita?
13. Millä keinoilla päästöt voitaisiin ottaa paremmin huomioon hankkeissa?
    - Miten tilaaja/suunnittelija/urakoitsija/päästölaskija voi tukea päästöjen vähentämistä?
14. Missä infrahankkeen vaiheissa päästöjen arviointia tulisi tehdä?
    - Millä tavalla saadaan vaikutettua parhaiten suunnitteluratkaisuihin?
    - Mitä hyötyjä saavutetaan, jos päästöt otetaan huomioon aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa?
15. Millä rakenneosilla tarvitaan vaihtoehtotarkasteluja päästöjen kannalta?
16. Miten suunnittelunohjauksella voidaan tukea päästöjen vähentämistä?
17. Mitä muutoksia tarvitaan suunnitteluprosessiin, että päästöjen arviointi voidaan paremmin ottaa osaksi suunnittelua ja vaihtoehtotarkasteluja?
18. Kuinka paljon kustannuksista voidaan joustaa, jos voidaan valita vähähiilisempi vaihtoehto?

Päästölaskennan ja mallintamisen yhteensovitus / tulevaisuuden näkymät

19. Minkälaisessa roolissa näet tietomallin osana päästöjen arviointia ja päästölaskentaa?
    - Yhteensovitusmenetelmät
    - Tulisiko päästötiedot viedä tietomalliin omaksi tiedokseen?
20. Mitä hyötyjä ja haasteita eri yhteensovitusmenetelmien välillä on?
21. Millä tavalla tiedonsiirto mallinnusohjelman ja päästölaskentaohjelman välillä kannattaisi toteuttaa?
    - Määräluettelo
    - Avoin tiedonsiirtoformaatti kuten IFC
    - Plugin, lisäohjelma
    - Rajapinta
22. Mitä vaaditaan, että tietomallin ja päästölaskentaohjelman välistä tiedonsiirtoa voidaan parantaa?
    -Mallinnusohjelmaan
    -Päästölaskentaohjelmaan
23. Onko päästötietojen vienti malliin omaksi ominaisuustiedoksi kannattavaa? Mitä hyötyjä ja haittoja?
24. Mitä hyötyjä saavutetaan päästötietojen visualisoinnilla tietomallissa?
    -Hyödyt tilaajalle, suunnittelijalle, päästölaskijalle
    -Millä tasolla päästöt pitäisi visualisoida? (Rakenneosan taso)
    -Mitä haasteita?