



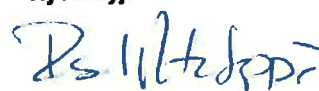
CO₂E?



Tietomallipohjainen ympäristövaikutuslaskenta

Kirjoittajat: Sirje Vares, Tarja Häkkinen, Kristiina Sulankivi

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Tietomallipohjainen ympäristövaikutuslaskenta		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Ilkka Romo, Skanska Oy, Markku Laine, Saint-Cobain Weber Oy Heikki Sarin / Jouni Punkki Parma Oy Petteri Lautso, Ruukki Construction Oy Jukka Suomi, Tekla Oy	Asiakkaan viite	
Projektin nimi Tietomallipohjainen tuotetiedonhallinta teollisen rakentamisen toimitusketjussa	Projektin numero/lyhytnimi 82521/ WP3 BIMCON	
Tiivistelmä <p>PRE-ohjelman BIMCON ('BIM based product data management in industrialized construction supply chain') -projektin tavoitteena on luoda kattava teollisen talonrakentamisen tuotetiedon hallintamenettely, joka perustuu rakennuskohteen tietomallin (BIM) hyödyntämiseen toimitusketjun osapuolikohtaisten tietojen yhdistämisessä ja hallinnassa.</p> <p>Tietomallipohjainen ympäristövaikutuslaskennan raportti käsittelee ympäristövaikutusten hallinnan kannalta oleelliset tehtävät, tärkeät indikaattorit ja menetelmät rakennuksen suunnittelun ja toteuttamisen tarpeeseen. Näkökulma painottaa ohjaamisen ja tavoitevertailujen mahdollisimman hyvää hallintaa virtuaalisesti jo suunnittelun ja rakentamisen aikana tietomalleja monipuolisesti hyödyntäen. Suunnitteluprosessin kestävään rakentamiseen tähtäävät tehtävät kuvataan hiilijalanjälkiesimerkin kautta. Ehdotettu menetelmä soveltuu kaikkien ympäristövaikutusindikaattorien BIM-pohjaiseen käsittelyyn ja laskentaan.</p> <p>BIM-pohjaisen laskennan helpottamiseksi raportti kuvaa arkkitehtimallista saatavien tietojen laatua ja yksityiskohtaisuutta, esittää asuinrakennuksien hiilijalanjäljen tyyppiarvot, ohjerakenteiden arvot sekä rakennusaineiden geneeriset hiilijalanjälkiarvot käytettäväksi Suomessa. Lisäksi raportti luettelee ympäristövaikutusten laskennan tietolähteitä, joissa on esitetty niin geneerisiä kuin tuotevalmistajakohtaista tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista.</p> <p>Tapaustutkimukset käsittelevät valmistajakohtaisten ohjerakenteiden hiilijalanjäljen käyttöä suunnittelussa ja arkkitehtimallissa, tuotevalmistajakohtaisen hiilijalanjälkitiedon jakelua hajautetussa tietohallintajärjestelmässä sekä rakennuksen hiilijalanjälkiarvon laskemista BIM -prosessien eri vaiheissa.</p> <p>Tärkeänä tavoitteena on varmistaa, että rakennuksen ympäristövaikutusten hallintaa voidaan toteuttaa riittävän aikaisessa vaiheessa, läpi rakennusprosessiin ja tulos voidaan todentaa.</p>		
Espoo, 2.3.2015 Laatija  Sirje Vares, erikoistutkija	Tarkastaja  Markku Kiviniemi, projektipäällikkö	Hyväksyjä  Isabel Pinto-Seppä, tiimipäällikkö
VTT:n yhteystiedot		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaja ja VTT		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	3
1. Johdanto	5
2. Määritelmiä, standardeja ja prosessikuvauksia	6
2.1 Hiilijalanjälki	6
2.2 Rakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnin standardit	7
2.3 Tietomallikäsitteet	9
2.4 Suunnittelun vaiheet	10
2.5 Kestävän rakentamisen tehtävät hankkeen eri vaiheissa	12
2.5.1 Hankesuunnittelu	13
2.5.2 Ehdotussuunnittelu	14
3. Hiilijalanjäljen laskenta suunnitteluprosessin eri vaiheissa	17
3.1 Johdanto	17
3.2 Hiilijalanjäljen laskennan tasot	17
3.3 Geneerinen ja spesifinen materiaalitieto ja tuotetieto	18
3.4 Ehdotus hiilijalanjäljen käsittelystä suunnittelussa	19
3.4.1 Ehdotus hiilijalanjäljen käsittelystä hankesuunnittelussa	19
3.4.2 Hiilijalanjälki suunnittelukilpailussa	20
3.4.3 Hiilijalanjälki ehdotussuunnittelussa	20
3.4.4 Hiilijalanjälki yleissuunnittelussa	20
3.4.5 Hiilijalanjälki toteutussuunnittelussa	21
3.4.6 Hiilijalanjälki rakentamisen valmistelussa	23
3.4.7 Hiilijalanjälki rakentamisessa	23
3.4.8 Yhteenveto hiilijalanjälkilaskennasta suunnitteluprosessissa	24
4. Rakennusten tyyppiarvot	24
5. Ohjerakenteiden arvoja	27
6. Geneerisen ja spesifisen tiedon lähteet, katsaus geneerisen tiedon vaihtelurajoihin	29
6.1 Tiedon lähteet	29
6.2 Geneerisen tiedon vaihtelurajat	29
6.2.1 Sementti	29
6.2.2 Betoni	31
6.2.3 Puutuotteet	33
7. Tietomalleista saatavan tiedon laatu ja yksityiskohtaisuus	35
7.1 Johdanto	35
7.2 Arkkitehtimalli	37
7.2.1 Rakenteet	37
7.2.2 Rakennustuotteet (kappaletavara):	39
7.2.3 Pinnat:	41
7.2.4 Suosituksia mallinnusvaatimukseen ja jatkokehitykseen	42
7.3 Rakennemalli	43

8. Tapaustutkimus 1 – valmistajakohtaisten ohjerakenteiden hiilijalanjäljen käyttö suunnittelussa ja arkkitehtimallisissa	45
9. Tapaustutkimus 2 – tuotevalmistajakohtaisen hiilijalanjälkitiedon jakelu hajautetussa tietohallintajärjestelmässä.....	47
10. Tapaustutkimus 3 – rakennuksen hiilijalanjälkiarvon laskeminen prosessin eri vaiheissa	49
10.1 Hiilijalanjälkityökalu ILMARI.....	49
10.2 Case-kohteen hiilijalanjälkiarvot	50
11. Johtopäätökset ja yhteenveto	52
Liitteet /Lähdeviitteet	54

1. Johdanto

BIMCON-projektin tavoitteena oli luoda kattava teollisen talonrakentamisen tuotetiedon hallintamenettely. Menettely perustuu rakennuskohteen tietomallin hyödyntämiseen toimitusketjun osapuolikohtaisten tietojen yhdistämisessä ja hallinnassa.

Tietomallivaatimusten ympäristölaskennan osa käsittelee ympäristövaikutusten hallinnan kannalta oleelliset tehtävät, tärkeät indikaattorit ja menetelmät rakennuksen suunnittelun ja toteuttamiseen tarpeeseen.

Näkökulma painottaa ohjaamisen ja tavoitevertailujen mahdollisimman hyvää hallintaa virtuaalisesti jo suunnittelun ja rakentamisen aikana tietomalleja monipuolisesti hyödyntäen.

Tärkeänä tavoitteena on varmistaa, että rakennuksen ympäristövaikutusten hallintaa voidaan toteuttaa riittävän aikaisessa vaiheessa ja läpi rakennusprosessiin ja että tulos voidaan todentaa.

Rakennuksen ympäristövaikutukset lasketaan elinkaariarvioinnin menetelmällä. Keskeinen osa menetelmää on elinkaaren aikaisten materiaalimäärien inventointi ja eri materiaalien ympäristövaikutustiedon selvittäminen. Materiaalien ympäristövaikutustiedon lähteenä käytetään yleensä tietokantoja, jotka sisältävät joko ns. geneeristä tietoa - esimerkiksi tuotteiden eurooppalaisia keskiarvotietoja - tai tuotteiden ympäristöselosteisiin pohjautuvia tietoja. Sekä tuotteiden ympäristövaikutusten arvioinnin että rakennusten arvioinnin avuksi on tarjolla runsaasti erilaisia työkaluja, jotka helpottavat inventaation tekemistä ja inventoidun tiedon yhdistämistä materiaali- ja tuotekohtaisiin ympäristövaikutustietoihin.

Eurooppalainen standardointijärjestö on myös julkaissut standardeja, jotka määrittävät arvioinnin periaatteita. Standardien tarkoituksena on parantaa arviointitulosten ymmärrettävyyttä ja vertailukelpoisuutta.

Rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnin standardit, työkalut ja tietokannat eivät kuitenkaan auta ratkaisemaan sitä ongelmaa, että arviointi on suhteellisen työläs ja suunnittelusta irrallinen tehtävä. Pääosa tarjolla olevista työkaluista on tarkoitettu suunnittelun jälkeiseen arviointiin, jolloin arviointi on luonteeltaan toteavaa ja sen avulla ei pystytä suunnittelun aikana tutkimaan vaihtoehtoisia ratkaisuja ja pyrkimään ympäristön kannalta parempaan tulokseen.

BIMCON-projektin tavoitteena oli vastata näihin haasteisiin kuvaamalla menettelytapa, jonka avulla rakennuksen ympäristövaikutusten arviointia voidaan tehdä suunnitteluprosessin osana ja suunnittelutyökalujen avulla laaditun mallin avulla. Hankkeen tavoitteena oli myös kuvata ympäristövaikutusten arviointi asteittaisena prosessina, jossa valintoja ja johtopäätöksiä voidaan tehdä vähitellen tarkentuvan tiedon avulla.

2. Määritelmiä, standardeja ja prosessikuvauksia

2.1 Hiilijalanjälki

Elinkaariarviolla tarkoitetaan tiedon kokoamista tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisista syötteistä ja päästöistä ja niiden potentiaalisista ympäristövaikutuksista¹. Kasvihuonekaasu- (KHK-) päästöjen ja niiden potentiaalisten ilmastonlämpenemisvaikutusten (GWP, global warming potential) arviointi on yksi elinkaariarvioiden osa.

IPCC Guidelines esittää luettelon kasvihuonekaasuista². Rakentamiseen liittyvien elinkaariarvioiden näkökulmasta keskeisimmät päästöt, jotka potentiaalisesti vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen ovat hiilidioksidi CO₂, metaani CH₄ ja typpioksiduuli N₂O.

Hiilijalanjälki on kasvihuonekaasujen nettosumma. ISO/TS 15067-1 Carbon footprint of products — Part 1: Quantification määrittelee seuraavasti:

Hiilijalanjälki

carbon footprint, CF

net³ amount of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals, expressed in CO₂ equivalents

The CO₂ equivalent is calculated using the mass of a given GHG multiplied by its global warming potential.

Kasvihuonekaasu

greenhouse gas, GHG

gaseous constituent of the atmosphere, both natural and anthropogenic, that absorbs and emits radiation at specific wavelengths within the spectrum of infrared radiation emitted by the earth's surface, the atmosphere, and clouds

GHGs include among others carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs) and sulphur hexafluoride (SF₆).

Hiilidioksidiekvivalentti

carbon dioxide equivalent, CO₂ equivalent, CO₂e

unit for comparing the radiative forcing of a GHG to carbon dioxide

The carbon dioxide equivalent is calculated using the mass of a given GHG multiplied by its global warming potential.

Ilmastonlämpenemisvaikutus

global warming potential, GWP

factor describing the radiative forcing impact of one mass-based unit of a given GHG relative to an equivalent unit of carbon dioxide over a given period of time

¹ life cycle assessment LCA: compilation and evaluation of the inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle. ISO 14040 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. 2006

² 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 1: Introduction to the 2006 Guidelines p. 1.5 http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf

³ Including greenhouse gas emission (GHG emission) total mass of a GHG released to the atmosphere over a specified period of time and greenhouse gas removal (GHG removal) total mass of a GHG removed from the atmosphere over a specified period of time

Ilmastonmuutos

climate change

change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods.

Tässä raportissa käytetään ISO TS 15067-1:n määritelmää, jonka mukaan hiilijalanjälki on kasvihuonekaasupäästöjen ja niiden poistumien tai talteenottojen summa ilmaistuna CO₂-ekvivalentteina. CO₂-ekvivalentit lasketaan käyttäen khk-päästön massaa ja kertomalla se ko. päästön potentiaalilla.

2.2 Rakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnin standardit

CEN:in työryhmä TC 350 laatii standardeja kestävän rakentamisen arvioinnista ja raportoinnista. Ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta keskeisimmät standardit ovat seuraavat:

- EN 15804 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products
- EN 15942 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Communication format business-to-business
- EN 15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method

Näissä standardeissa annetaan myös ohjeita parametreista ja vaikutusluokista, joiden avulla rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset arvioidaan ja ilmoitetaan. Standardin EN 15804 mukaan ympäristövaikutukset arvioidaan seuraavien vaikutusluokkien avulla:

- ilmaston lämpeneminen
- otsonikato
- happamoituminen
- rehevöityminen
- fotokemiallisten oksidanttien muodostuminen
- eloperäisten resurssien niukkeneminen
- fossiilisten ja mineraalisten resurssien niukkeneminen.

Kussakin vaikutusluokassa päästöille käytetään ELCD:n (European Reference Life Cycle Database / European Commission – DG Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability) karakterisointikertoimia⁴.

Standardissa esitetään taulukko parametreista, joiden avulla esitetään tuotteen ympäristövaikutukset, ja taulukko parametreista, joiden avulla esitetään resurssien kuluminen (Taulukko 1). Kun tuloksia arvioidaan rakennustasolla, niin materiaaleista aiheutuvia vaikutuksia voidaan arvioida käyttäen samoja indikaattoreita kuin tuotetasolla ja käyttäen arvion lähtötietona tuotekohtaisia arviointituloksia.

⁴ Resurssien suhteen määritellään kuitenkin seuraavasti: *The characterisation factor for ADP (elements and fossil) shall be taken from CML (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science University of Leiden, Netherlands). The characterisation factors for ADP-fossil fuels are the net calorific values at the point of extraction of the fossil fuels.*

Taulukko 1. EN 15804:n mukainen taulukko ympäristövaikutuksien parametreista.

Vaikutusluokka	Parametri	Parametrin yksikkö ilmaistuna funktionaalista tai ilmoitettua yksikköä kohden
Ilmaston lämpeneminen	Ilmastonlämpenemispotentiaali	kg CO ₂ ekv
Otsonikato	Potentiaalinen vaikutus stratosfääriseen (yläilmakehän) otsonin katoon	kg CFC 1 ekv
Happamoituminen (maa ja vesi)	Happamoittamispotentiaali	kg SO ₂ ekv
Rehevöityminen	Rehevöitymispotentiaali	kg PO ₄ ³⁻ ekv
fotokemiallisten oksidanttien muodostuminen	Troposfääriseen (alailmakehän) otsonin muodostumispotentiaali	kg eteeni ekv
Abioottisten resurssien kulumisen (muut kuin fossiiliset)	Potentiaali abioottisten ei-fossiilisten resurssien kulumiseen	kg Sb ekv
Fossiilisten resurssien kulumisen (abioottiset resurssit, fossiiliset)	Potentiaali fossiilisten resurssien kulumiseen	MJ (alempi lämpöarvo)

Näiden lisäksi parametreihin kuuluvat uusiutuvien ja uusiutumattomien primääri-energiaressurssien käyttö mukaan lukien sekä energian lähteenä käytettävät resurssit että raaka-aineena käytettävät energiaressurssit, sekundäärimateriaalien käyttö, uusiutuvien ja uusiutumattomien sekundääripolttoaineiden käyttö sekä veden käyttö.

EN 15804 käyttää seuraavan taulukon (Taulukko 2) mukaista jäsentelyä rakennuksen elinkaaren eri vaiheille. Standardin mukaan vaiheet A1 – A3 ovat pakollisia huomioon otettavia vaiheita silloin, kun tuotteen ympäristövaikutukset ilmoitetaan ko. standardin mukaisesti.

Taulukko 2. Rakennuksen elinkaaren vaiheiden jäsentely standardin CEN 15804 mukaisesti. EPD-tyypit: EPD 1: kehdosta tehtaan portille, EPD 2: kehdosta tehtaan portille optioin, EPD 3: kehdosta hautaan. EPD = environmental product declaration, tuotteen ympäristöseloste

		Moduuli				
Rakennustason arviointi	Rakennuksen elinkaari	Tuotevaihe		Pakollinen kaikissa EPD-tyypeissä		
		A1	Raaka-aineiden hankinta			
		A2	Kuljetus valmistukseen			
		A3	Valmistus			
				Rakentamisvaihe		Valinnaisia moduuleja tyypissä EPD 2 Pakollisia tyypissä EPD3
		A4	Kuljetus työmaalle			
		A5	Tuotteen asennus			
				Käyttövaihe		
		B1	Asennetun tuotteen käyttö			
		B2	Kunnossapito			
		B3	Korjaus			
		B4	Vaihto			
		B5	Laajamittaiset korjaukset			
		B6	Toiminnallinen energiankäyttö			
		B7	Toiminnallinen vedenkäyttö			
				Rakennuksen käytöstäpoistovaihe		
		C1	Purkaminen			
		C2	Kuljetus jätteen käsittelyyn			
		C3	Jätteen käsittely			
	C4	Jätteen loppusijoitus				
		Hyödyt ja kuormat järjestelmärajan ulkopuolella		Voidaan ilmoittaa kaikissa EPD tyypeissä		
D	Uudelleenkäyttö, hyödyntäminen ja kierrätys					

2.3 Tietomallikäsitteet

Seuraavassa esitetään tämän raportin kannalta keskeisin rakentamisen tietomalleihin liittyviä määritelmiä.

Rakennuksen tietomalli (BIM)

BIM on rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa.

IFC ('Industry Foundation Classes')

IFC on tuotetietojen siirron kansainvälinen standardi.

Tuotteen elinkaaren hallinta, PLM (product Lifecycle Management)

PLM pyrkii ohjelmistokokonaisuuksien avulla hallitsemaan kaikki tuotteeseen liittyvät tiedot ja suunnitteluprosessit. Tuotteen elinkaari käsittelee suunnittelua, tuotantoa, huoltoa, käyttöä ja käytöstä poistoa.

Tuotetiedon hallinta, PDM (Product data Management)

PDM tarkoittaa ohjelmistoympäristöä, jolla hallitaan keskitetysti yrityksen tuotteisiin liittyvää tietoa ja tiedostoja. PDM on osa tuotteen elinkaaren hallintaa (PLM).

buildingSMART data dictionary (bSdd, aiemmalta nimeltään IFD)

IFD (International Framework for Data Dictionaries) is a classification framework where each individual property and term used in the building and construction industry will have a clear and unique definition in multiple languages. Such a definition is called a concept in IFD terminology. [buildingSMART]

buildingSMART processes (IDM)

IDM (Information Delivery Manual) consists of Process Maps (PM) that describes the purpose of a process and the relation and dependencies towards other processes. IDM defines the need for information flow to and from each individual process, using Exchange Requirements (ER's). [buildingSMART]

Exchange Requirements (ER's)

ER is a set of information that needs to be exchanged to support a particular business process in a stage of a project. [buildingSMART]

Process maps (PM)

A process map describes the purpose of a process and the relation and dependencies towards other processes. [buildingSMART]

BIM manuals

BIM manuals are generally used as a collective term for documents designed to give guidance on methodologies and requirements for the implementation of BIM in projects.

2.4 Suunnittelun vaiheet

Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelon (HJR12)⁵ mukaisesti hankkeen tehtävät sisältävät seuraavat vaiheet:

- Tarveselvitys: Tarveselvityksessä perustellaan tilanhankinnan tai muutostyön tarve, määritetään keskeiset asetettavat vaatimukset, tutkitaan vaihtoehdot ja niiden edullisuus. Vaiheen lopussa tehdään hankepäätös.
- Hankesuunnittelu: Hankesuunnittelussa asetetaan laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, ajoituksia ja ylläpitoa koskevat tavoitteet. Tuloksena syntyy hankesuunnitelma, ja vaihe päättyy investointipäätöksen tekemiseen.
- Suunnittelun valmistelu: Suunnittelun valmistelussa organisoidaan suunnittelu, pidetään mahdolliset kilpailut, käydään tarvittavat neuvottelut, valitaan suunnittelijat ja tehdään sopimukset. Vaihe päättyy suunnittelupäätökseen.
- Ehdotussuunnittelu: Ehdotussuunnittelussa laaditaan vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut tavoitteiden täyttämiseksi. Vaiheen lopussa käsillä on valittu ehdotussuunnitelma.
- Yleissuunnittelu: Yleissuunnittelussa ehdotussuunnitelmaa kehitetään toteutuskelpoiseksi. Vaiheen lopussa on olemassa hyväksytty yleissuunnitelma ja pääpiirustukset.

⁵ Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR12, RT 10-11107. Ohjeet maaliskuu 2013

- Rakennuslupatehtävät: Rakennuslupatehtävissä selvitetään ja tehdään hankkeen edellyttämät lupamenettelyt ja haetaan rakennuslupa.
- Toteutussuunnittelu: Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelma kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi ratkaisuiksi. Vaiheen lopussa on olemassa hyväksytyt toteutussuunnitelmat.
- Rakentamisen valmistelu: Rakentamisen valmistelussa organisoidaan rakentaminen, kilpailutetaan rakentamistehtävät ja tehdään sopimukset. Vaihe päättyy rakentamispäätökseen.
- Rakentaminen: Rakentamisessa tehdään tavoitteet toteuttava lopputulos. Valmistuminen todetaan vastaanotossa. Vaihe päättyy vastaanottopäätökseen.
- Käyttöönotto: Käyttöönotossa varmistetaan järjestelmien toiminta ja annetaan käytön opastus. Vaiheessa rakennus otetaan käyttöön.
- Takuuaika: Takuuaikana seurataan toimivuutta, tehdään takuuajan säädöt, tarkastukset ja korjataan mahdolliset puutteet.

Suunnittelun vaiheet jaetaan suomalaisissa tehtäväluetteloissa (HJR12 ja ARK12⁶) hyvin samantyyppisesti kuin esimerkiksi RIBA:n Plan of work (2013)⁷ -jäsentelyssä seuraavasti (Taulukko 3).

⁶ Arkkitehtisuunnittelun tehtäväluettelo ARK12. RT 10-11109. Ohjeet toukokuu 2013

⁷ RIBA Plan for work. Overview 2013. www.ribaplanofwork.com. Editor: Dale Sinclair. Published by RIBA, 66 Portland Place, London, W1B 1AD. ISBN 978 1 85946 519 6

Taulukko 3. Arkkitehtisuunnittelun vaiheet (RIBA plan of work 2013).

RIBA PLAN OF WORK 2013	
Strategic definition	<i>A project is strategically defined before a detailed brief is created. Particularly relevant in the context of sustainability, when a refurbishment or extension, or a rationalised space plan, may be more appropriate than a new building.</i>
Preparation	<i>This stage develops project objectives, including quality objectives, sustainability targets, and project budget and develops initial project brief. Feasibility studies and review of site information are done.</i>
Concept design	<i>The initial concept design is produced in line with the requirements of the initial project brief. In addition, cost information, a construction strategy, maintenance and operational strategy and a health and safety strategy are developed. The stage agrees alterations to brief and issues final project brief.</i>
Developed design	<i>The concept design is further developed; the design work of the core designers is progressed until the spatial coordination exercises have been completed. This process may require a number of iterations of the design and different tools may be used, including design workshops.</i>
Technical design	<i>The architectural, building services and structural engineering designs are further refined to provide technical definition of the project and the design work of specialist subcontractors is developed and concluded. Project strategies are reviewed and updated.</i>
Construction	<i>During this stage, the building is constructed on site in accordance with the construction programme.</i>
Handover and Close out	<i>The objective is the handover of building and conclusion of building contract</i>
In use	<i>Undertaking in use services in accordance with schedule of services.</i>

2.5 Kestävän rakentamisen tehtävät hankkeen eri vaiheissa

Nykyiset tehtäväluettelot eivät anna järjestelmällistä ohjeistusta kestävän rakentamisen näkökulmien (tai erityisesti hiilijalanjäljen) hallinnasta hankkeen eri vaiheissa. Suosituksia esitetään eurooppalaisen tutkimusprojektin SuPerBuildings⁸ ja suomalaisen SUSPROC-hankkeen⁹ julkaisuissa. Seuraavassa esitetään kestävän rakentamisen prosessikuvaus hankesuunnittelussa ja ehdotussuunnittelussa SUSPROC-hankkeen tulosten pohjalta muokattuna.

⁸ Häkkinen, Tarja, Ed. Sustainable refurbishment of exterior walls and building facades. Final report, Part A - Methods and recommendations. 2012.VTT,Espoo.303 p. + app. 40 p. VTT Technology 30 ISBN 978-951-38-7845-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

⁹ Häkkinen, Tarja and Nykänen, Veijo. Sustainable building process. <http://www.sb11.org>. Helsinki World Sustainable Building Conference SB11, Helsinki, 18 - 21 October 2011. Proceedings. ISBN 978-951-758-534-7 ISSN 0356-9403. RIL; VTT. Helsinki (2011), 8 p. + extended abstract 2 p.

2.5.1 Hankesuunnittelu

Tarveselvityksen dokumentit muodostavat lähtökohdan hankesuunnittelulle. Hankesuunnitteluun kuuluvat seuraavat tehtävät:

1. Tavoitemäärittäminen

Tavoitemäärittäminen ohjaa koko kestävästä rakentamisesta hankesuunnitteluprosessia. Siinä esitetään tilaajan tavoitteet, joiden toteutumista konsultti valvoo koko prosessin ajan. Jos tavoitteet eivät jossain vaiheessa toteudu, niin suunnitelmaa korjataan tai muuttuneet tavoitteet perusteluineen dokumentoidaan ja otetaan lähtökohdiksi prosessin myöhemmissä vaiheissa.

2. Vaihtoehdot ja arviot

Kestävään hankesuunnitteluun kuuluvat tilaohjelman laadinta, toteutusvaihtoehtojen laadinta, arviot ja tavoitteiden tarkennus (kiinteistönpito, suunnitelmavaihtoehtojen tarjoamat mahdollisuudet ja rajoitukset sekä muut selvitykset) ja vertailu tavoitteiden toteutumiseen. Lopulta tehdään perusteltu valinta kehityskelpoisista vaihtoehdoista, joiden pohjalta suunnittelu voidaan käynnistää. Tuloksena syntyy hankemäärittäminen ja uusi yhteenveto jäljellä olevista vaihtoehdoista.

3. Kiinteistönpidon tavoitteet

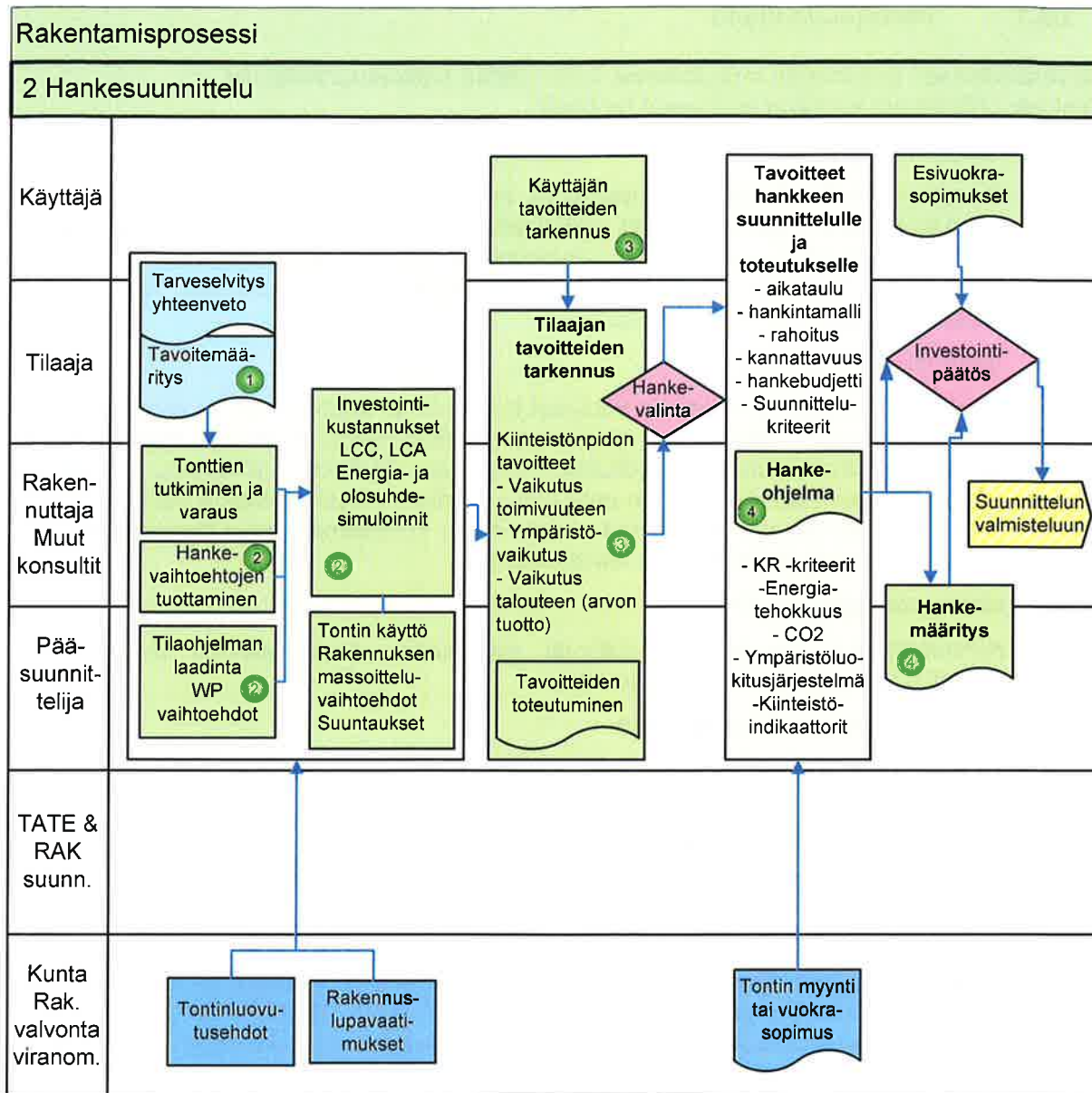
Kiinteistönpidon tavoitteisiin sisältyvät näkökulmat ovat vaikutus toimivuuteen, ympäristöön ja talouteen (arvontuotto).

4. Hankemäärittäminen ja kilpailuohjelma

Tavoitemäärittämisessä esitetyt ja tarvittaessa korjatut tavoitteet siirtyvät hankemäärittämiseen.

Kilpailuohjelma määrittelee kestävästä rakentamisesta kriteerit, jotka suunnitteluohjeiden täytyy täyttää ja jonka mukaan kilpailuehdotukset arvioidaan JURI:n toimesta.

Tässä vaiheessa on tärkeää käyttää jäsenliityä lähestymistapaa joka sisältää keskeiset näkökulmat ja indikaattorit. Käyttökelpoista lähdemateriaalia ovat esimerkiksi ISO 21929 – 1 standardi sekä SuPerBuildings hankkeen loppuraportti⁸. ISO 21929-1 esittää neljätoista kohtaa kestävästä rakentamisesta näkökohdista. Hankesuunnittelun tavoitteet tulee esittää mahdollisemman täsmällisessä ja seurattavassa muodossa. Hiilijalanjälki kuuluu kestävästä rakentamisesta ydinindikaattoreihin. Merkityksellistä on sekä rakennuksen käytön että itse rakennuksen hiilijalanjälki.



Kuva 1. Rakentamisprosessi, hankesuunnittelu.

2.5.2 Ehdotussuunnittelu

Kestävää ehdotussuunnittelua ohjaavat pääasiat esitetään hankemäärityksessä, jossa esitetään kestävä rakentamisen tavoitteet sekä yhteenveto vaihtoehdoista. Ehdotussuunnitteluun kuuluvat seuraavat vaiheet:

1. Suunnittelutiimin valintakriteerit

Tavoitteiden pohjalta määritetään valintakriteerit suunnittelutiimille. Kriteereinä ovat kestävä rakentamisen vaatimukset. Lähtökohtana on eteneminen toimivuuksajattelun pohjalta, jossa tilaaja kuvaa haluamansa toimivuustavoitteet sekä ympäristövaikutusten ja taloudelliset tavoitteet rajaamatta ratkaisuja.

2. Järjestelmätason suunnittelu

Suunnittelu alkaa järjestelmätason suunnitteluna, jossa olennaista on koko tarvittavan asiantuntemuksen mukaan ottaminen ja yhteistyö.

3. Järjestelmätason mitoitust ja arviot

Järjestelmätason suunnittelutulosta arvioidaan koko ajan, ja arviointitulos vaikuttaa koko ajan suunnittelun kulkuun. Käyttäjä osallistuu myös tähän vaiheeseen, jotta varmistetaan käyttäjätarpeiden muistaminen ja huomioon ottaminen.

4. Tulos

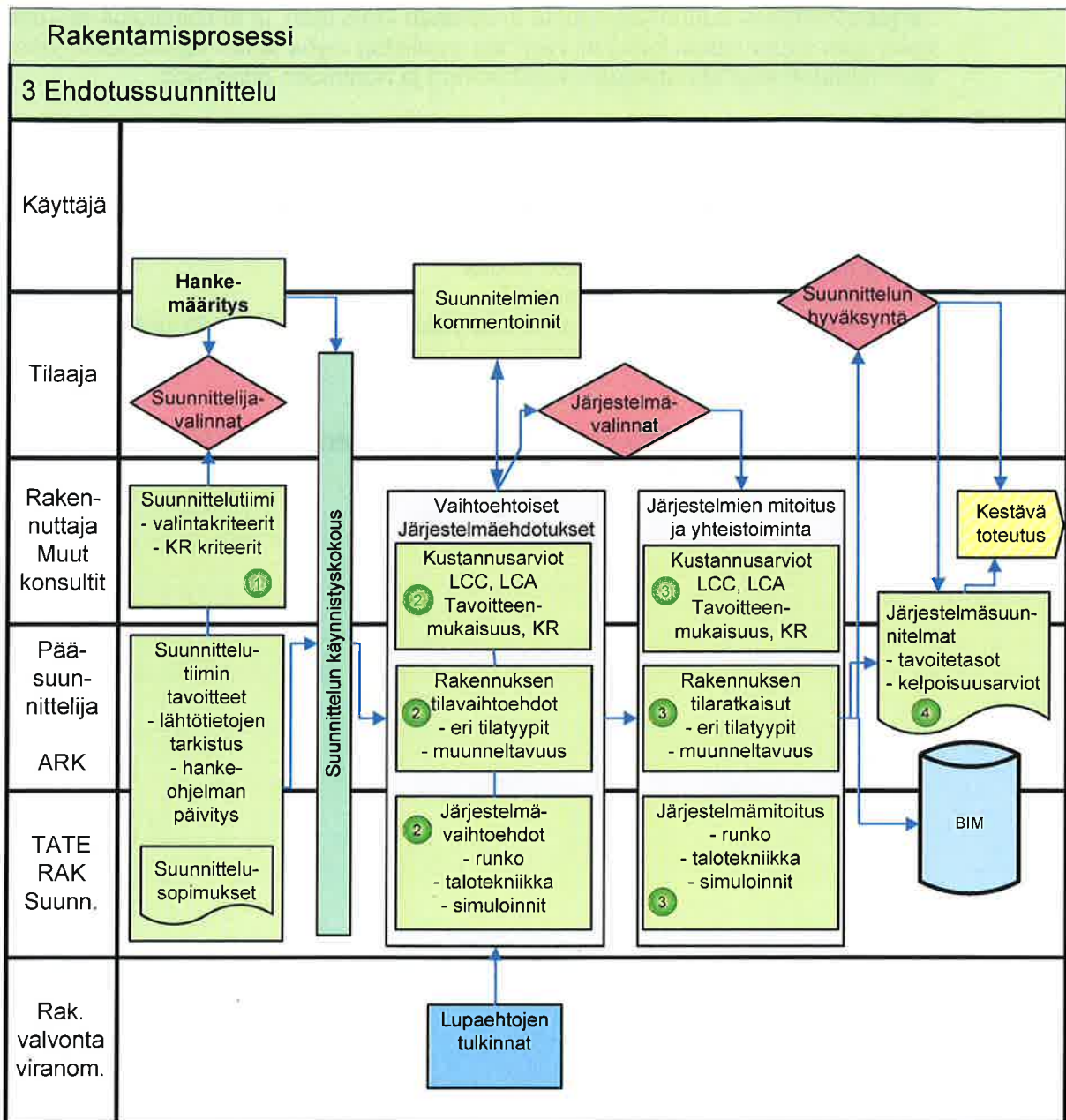
Tuloksena on järjestelmätason suunnitelma, tavoitetasot ja sen arviointitulos.

Ehdotussuunnittelun yhteydessä voidaan käyttää seuraavia ydinindikaattoreita ja menetelmiä:

- energiankulutus suunnittelutyökalun avulla
- käytön aikaisen energian hiilijalanjälki¹⁰
- rakennuksen tuotteisiin sitoutunut hiilijalanjälki esimerkiksi ILMARI-työkalun ja tämän raportin ohjeiden mukaisesti
- veden käyttö.

Vaihtoehtoiset ehdotukset arvioidaan kuitenkin kaikkien niitten indikaattorien mukaisesti, joita on käytetty hankesuunnittelun tavoiteasetannassa.

¹⁰ Käytönaikaisen energian hiilijalanjälki voidaan laskea esimerkiksi MECOREN-raportin avulla <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T26.pdf> (s. 53) ja käyttämällä esimerkiksi ArchiCAD 16 ohjelmaa. Laskenta käsitelty myös raportissa Vares, S., Sulankivi, K et al 2013 Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta. VTT-R-01180-13



Kuva 2. Rakentamisprosessi, ehdotussuunnittelu.

3. Hiilijalanjäljen laskenta suunnitteluprosessin eri vaiheissa

3.1 Johdanto

Tässä luvussa esitetään ehdotus hiilijalanjäljen laskennalle suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Luvussa tarkastellaan vain rakennusmateriaaleihin liittyvää hiilijalanjälkeä (ns. embodied carbon footprint).

Hankkeen vaiheet kuvataan seuraavien lähteiden pohjalta:

- Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR12 Maaliskuu 2013
- Arkkitehtisuunnittelun tehtäväluettelo ARK12 Toukokuu 2013
- RIBA Plan of Work 2013

Taulukko 4. Suunnittelun vaiheen ARK12 ja RIBA Plan of Work 2013 –määritelmien mukaisesti.

(A) Tarveselvitys	0 Strategic Definition
(B) Hankesuunnittelu	1 Preparation
(C) Suunnittelun valmistelu	
(D) Ehdotussuunnittelu	2 Concept design
(E) Yleissuunnittelu	3 Developed design
(F) Rakennuslupatehtävät	
(G) Toteutussuunnittelu	4 Technical design
(H) Rakentamisen valmistelu	
(I) Rakentaminen	5 Construction
(J) Käyttöönotto	6 Handover and Close out
(K) Takuu aika	7 In use

3.2 Hiilijalanjäljen laskennan tasot

Hiilijalanjäljen laskenta-arvoille esitetään seuraavat ehdotukset termeistä ja niiden määritelmistä.

Taulukko 5. Hiilijalanjäljen laskenta-arvot.

TYYPPIARVO	Keskimääräinen tai tyypillinen arvo
TAVOITEARVO	Tyyppiaron suhteen asetettu tavoite
OHJEARVO	Arvo, joka on laskettu ohjerakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
MÄÄRÄARVO	Arvo, joka on laskettu määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
TUOTEARVO	Arvo, joka on laskettu määritellyillä rakenteilla ja valmistajakohtaisilla materiaaliarvoilla

3.3 Geneerinen ja spesifinen materiaalitieto ja tuotetieto

Suunnittelun eri vaiheissa suunnitelman hiilijalanjäljen arviointiin tarvitaan erilaisia taustatietoja materiaalien ja tuotteiden hiilijalanjäljestä.

Seuraavassa määritellään geneerisen ja spesifisen materiaalitiedon merkitystä:

- Materiaalien suhteen voidaan puhua yleisestä, geneerisistä ja valmistaja- tai tuotekohtaisista arvoista.
- Geneerisiä arvoja on laskettu muoveille ja metalleille siten, että tausta-aineisto on suuri, monelta valmistajalta ja monesta maasta koottu tieto. Tuloksia on saatavilla julkisissa tietokannoissa ja kaupallisten elinkaarilaskentaohjelmien tietokannoissa.
- Elinkaariarvioissa geneerisenä tietona käytetään kuitenkin myös sellaisia eri tietokannoissa olevia materiaalitietoja, joiden tausta-aineisto todellisuudessa on peräisin suppeahkolta määrältä valmistajia tai maita. Geneerinen tieto määritellään usein tietokantalähteensä mukaan.
- On olemassa erilaista tuote-, valmistaja- ja valmistajaryhmäkohtaista tietoa sen mukaan minkälaisen ryhmän keskiarvoa tieto edustaa. Erona geneeriseen on kuitenkin aina, että tieto edustaa määriteltyä ja rajatumpaa kohdetta kuin geneerinen.
- Tuote- ja valmistajakohtainen tieto voi olla erilaista myös sen mukaan, kuinka suuri osa tämän tiedon tausta-aineistosta on spesifistä tietoa. Usein spesifistä tietoa ovat
 - Koostumus (materiaalivirtojen määrät ja laadut)
 - Tieto tehdaskohtaisesta energiankulutuksesta ja energialähteiden laaduista
 - Tehdaskohtaiset prosessipäästöt, hukat ja jätteet
 - Osa-aineiden kuljetusmatkat

- Osa-aineiden, energialähteiden ja kuljetusten ympäristövaikutukset ovat yleensä geneeristä tietoa.

3.4 Ehdotus hiilijalanjäljen käsittelystä suunnittelussa

Hankesuunnittelussa asetetaan rakennushankkeelle laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, ajoitusta ja ylläpitoa koskevat tavoitteet.

Hankesuunnittelussa rakennushankkeeseen ryhtyvälle luodaan päätöksenteon perusteet ja kaikille suunnittelijoille tavoitteet, joihin suunnittelua verrataan koko suunnittelun ajan.

Hiilijalanjäljen kokonaisvaltaista hallintaa varten tarvitaan kvantitatiivinen tavoite seuraaville asioille:

- energiankulutus
- energiankulutuksen hiilijalanjälki
- rakennuksen (ja tontin rakentamisen) sitoutunut hiilijalanjälki

Tässä raportissa tarkastelun kohteena on kuitenkin materiaaleihin liittyvä hiilijalanjälki (ns. embodied carbon footprint).

Raportin kohdassa 7.2.4 esitetään suosituksia mallinnusvaatimukseen. Nämä ovat olennaisen tärkeitä asioita huomioon otettavaksi tulosten laadun ja vertailukelpoisuuden kannalta, kun arviot tapahtuvat mallien pohjalta.

3.4.1 Ehdotus hiilijalanjäljen käsittelystä hankesuunnittelussa

Hankesuunnittelussa asetetaan hiilijalanjäljen tavoitearvo tyyppiarvoa koskevan tiedon avulla (g/brm^2 , g/brm^3 tai $\text{g}/\text{rakennus}$).

Vertailua varten hankesuunnittelussa pitää asettaa myös täsmälliset tavoitteet toimivuuden keskeisille osatekijöille, joita ovat

- sisäympäristö
- turvallisuus
- muuntojousto
- esteettömyys
- käyttöikä.

Jos hankkeessa järjestetään suunnittelukilpailu, jossa hiilijalanjälki halutaan laskettavaksi, niin hankesuunnittelussa määritellään keskeiset laskentasäännöt:

- Systemin rajaus (esimerkiksi viitaten standardiin EN 15978, esimerkiksi kattaen vaiheet A 1 – A 5 ja B4)
- Tietokanta (geneerinen tiedon lähde)
- Rakenteet, jotka otetaan laskennassa huomioon.

Taulukko 6. Hankesuunnitelman esittämä arvo hiilijalanjäljelle.

HANKESUUNNITTELMA	TAVOITEARVO
-------------------	-------------

3.4.2 Hiilijalanjälki suunnittelukilpailussa

Mahdollisessa suunnittelukilpailussa määritetään joko

- ohjearvo (perustuen ohjerakenteisiin ja ohjerakenteille määritettyihin geneerisiin materiaalitietoihin) tai
- määrääarvo (perustuen määritellyille rakenteille laskettuun geneerisiin materiaalitietoihin pohjautuvaan arvoon)

Laskennassa käytetään kilpailussa ohjeistettua geneeristä tietokantaa ja systeemin rajoituksia.

3.4.3 Hiilijalanjälki ehdotussuunnittelussa

Ehdotussuunnittelussa laaditaan vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Tuloksena saadaan valittu ehdotussuunnitelma.

Ehdotussuunnittelun aluksi laaditaan kestävän rakentamisen strategia, jonka avulla pohditaan keskeisiä keinoja kestävän rakentamisen tavoitteiden saavuttamiseksi. Nämä voivat koskea tilaratkaisun periaatteita ja päämateriaalien valintaa.

Ohjerakenteisiin perustuvien ohjearvojen avulla arvioidaan eri valintojen vaikutusta.

Ehdotussuunnitelmalle lasketaan ohjearvoihin pohjautuva rakennuskohtainen ohjearvo ottaen huomioon yläpohja-, alapohja-, välipohja ja seinärakenteet.

Tulos kattaa suuruusluokaltaan puolet koko rakennuksen laskennallisesta arvosta.

Jos arkkitehtimallisissa on saatavilla tietoja myös muista rakenteista, niin laskentaan voidaan sisällyttää arviot myös näistä. Tässä vaiheessa mahdollisesti huomioon otettavia voivat olla seinien ja pohjien lisäksi esimerkiksi portaat, hissikuilut, hormit, kalusteet ja pintarakenteet.

Taulukko 7. Ehdotussuunnittelun esittämä arvo hiilijalanjäljelle.

EHDOTUSSUUNNITTELU / EHDOTUSSUUNNITTELMA	OHJEARVO	Ohjearvo on laskettu ohjerakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
--	----------	---

3.4.4 Hiilijalanjälki yleissuunnittelussa

Yleissuunnittelussa ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi.

Yleissuunnitelma voi sisältää erilaisia vaihtoehtoja tilaratkaisuksi.

Tuloksena saadaan hyväksytty yleissuunnitelma ja pääpiirustukset

Yleissuunnittelussa arvioidaan hiilijalanjäljen MÄÄRÄARVO, joka kattaa osan rakenteista.

Laskennassa otetaan huomioon seuraavat osat:

- Yläpohjat, välipohja, alapohjat
- Seinät
- Ikkunat ja ovet.

Täsmennetään käyttöikätaivoite ja otetaan huomioon arviossa. Tulos edustaa noin 60 % koko rakennuksen hiilijalanjäljestä.

Yleissuunnitelman osittaista MÄÄRÄARVOA verrataan hankesuunnitelman TAVOITEARVOON. Jos arkkitehtimallissa on saatavilla tietoja myös muista rakenteista, niin laskentaan voidaan sisällyttää arviot myös näistä. Tässä vaiheessa mahdollisesti huomioon otettavia voivat olla seinien ja pohjien lisäksi esimerkiksi portaat, hissikulut, hormit, kalusteet ja pintarakenteet.

Jos todennäköiset valmistajat ovat tiedossa, niin joidenkin rakenteiden suhteen MÄÄRÄARVO voidaan korvata oletuksena käytettävillä TUOTEARVOILLA. Esimerkiksi ontelolaattatoimittajista ja ikkunavalmistajista voi olla tieto jo tässä vaiheessa.

Taulukko 8. Toteutussuunnittelun esittämä arvo hiilijalanjäljelle.

YLEISSUUNNITTELU / YLEISSUUNNITELMA	osittainen MÄÄRÄARVO	Arvo, joka on laskettu määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
-------------------------------------	----------------------	--

3.4.5 Hiilijalanjälki toteutussuunnittelussa

Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelma kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi suunnitelmiksi ja tuotemäärittelyiksi. Toteutussuunnitteluun sisältyy tuote- ja järjestelmäosasuunnittelu.

Toteutussuunnittelussa lasketaan rakennuksen hiilijalanjäljen kattava MÄÄRÄARVO.

Jos todennäköiset valmistajat tiedossa, niin joidenkin rakenteiden suhteen MÄÄRÄARVO voidaan korvata oletuksena käytettävillä TUOTEARVOILLA.

Kattavaa MÄÄRÄARVOA verrataan hankesuunnitelman TAVOITEARVOON.

Toteutussuunnittelun laskenta kattaa osat, jotka on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 9).

Taulukko 9. Hiilijalanjäljen laskenta toteutussuunnittelussa.

Maa-ainekset
Paalutus
Perustukset
Alapohjat
Erillinen, kantava rakennusrunko
Ulkoseinät
Väliseinät
Välipohjat
Yläpohjat
Parvekkeet
Hissikuilut
Hormit
Portaat
Ei-kantavat väliseinät
Ikkunat, ovet, lasitukset
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit
Rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalmäärät
Talotekniset järjestelmät
Uusimiset



Ilmanvaihtojärjestelmä
Lämmitysjärjestelmä
Jäähdytysjärjestelmä

Vesi- ja viemärijärjestelmä
Sprinkler-järjestelmä
Sähköasennukset ja kaapeloinnit
Hissi
Aurinkopaneelit
Aurinkokeräimet

Taulukko 10. Yleissuunnittelun esittämä arvo hiilijalanjäljelle.

TOTEUTUSSUUNNITTELU / TOTEUTUSSUUNNITELMA	kattava MÄÄRÄARVO	Arvo, joka on laskettu määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
--	----------------------	--

3.4.6 Hiilijalanjälki rakentamisen valmistelussa

Rakentamisen valmistelun yhteydessä määritellään tuotetoimittajilta vaadittavan ympäristötiedon muoto ja toimitus.

Muoto voi olla osatieto CEN 15948 – standardin määrittelemässä ympäristöselosteessa (esimerkiksi valmistuksen kasvihuonekaasut (khk), gCO₂e).

3.4.7 Hiilijalanjälki rakentamisessa

Rakennukselle lasketaan hankinnassa vaaditun ja saadun tuotekohtaisen khk-tiedon perusteella tuotekohtainen, kattava TUOTEARVO.

TUOTEARVOA verrataan rakennuksen TAVOITEARVOON.

Taulukko 11. Rakentamisen aikainen arvo hiilijalanjäljelle.

RAKENTAMINEN	kattava TUOTEARVO	Arvo, joka on laskettu toteutetuilla rakenteilla ja valmistajakohtaisilla materiaaliarvoilla
--------------	----------------------	---

3.4.8 Yhteenveto hiilijalanjäkilaskennasta suunnitteluprosessissa

Seuraavassa taulukossa esitetään yhteenveto hiilijalanjäljen laskennasta suunnitteluprosessissa.

Taulukko 12. Hiilijalanjäljen arvot suunnitteluprosessin eri vaiheissa.

VAIHE	HIILIJALAN-JÄLJEN ARVO	Selitys
HANKESUUNNITTELU	TAVOITEARVO	Tavoitearvo määritellään tyyppi-arvon avulla
EHDOTUSSUUNNITTELU	OHJEARVO	Ohje-arvo on laskettu ohjerakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
YLEISSUUNNITTELU	osittainen MÄÄRÄARVO	Arvo, joka on laskettu määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
TOTEUTUSSUUNNITTELU	kattava MÄÄRÄARVO	Arvo, joka on laskettu määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
RAKENTAMINEN	kattava TUOTEARVO	Arvo, joka on laskettu toteutetuilla rakenteilla ja valmistajakohtaisilla materiaaliarvoilla

4. Rakennusten tyyppi-arvot

Rakennusten hiilijalanjäljen tyyppi-arvot esitetään tässä pääasiassa olemassa olevan aineiston pohjalta. Tyyppi-arvona voidaan pitää aineistossa useimmin esiintyvää arvoa kun mittaus on tehty tietyllä luokitteluasteikolla.

Hiilijalanjäkilaskennassa tyyppi-arvon määrittäminen ei ole yksinkertainen asia. Riippuen siitä mikä on ollut laskennan tarkoitus, eri lähteissä esitetyt hiilijalanjäljen laskennat eroavat lähtötietojen tarkkuuden, käsiteltävien rakennusosien sekä käsiteltävien elinkaaren vaihteiden osalta.

ISO 15978¹¹ mukaan rakennuksen elinkaari alkaa raaka-aineiden hankinnasta ja loppuu rakennuksen loppukäsittelyyn. Kuitenkin usein rakennuksen elinkaari käsittelee vain tuotevaihetta (A1-A3) tai vaihtoehtoisesti sekä tuotevaihetta että käyttövaihetta, jossa on mukana materiaalien uusimiset ja korjaukset (B1-5). Sen sijaan rakennuksen käytöstä poisto jää usein tarkastelun ulkopuolelle. Syy siihen on usein skenaarioperusteinen käsittely, jossa ratkaisuja käytölle, korjauksille ja loppukäsittelylle voi olla useita.

Tyyppi-arvon määrittämiseksi olemassa olevasta kirjallisuudesta poimittua lähdeaineistoa jouduttiin muokkaamaan yhteismitalliseksi lisäämällä puuttuvat tiedot esimerkiksi keskimääräisistä perustuksista, materiaalimenekeistä ja hiilijalanjäljestä. Jotta lähdeaineistoa

¹¹ EN 15978:2011 Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method

päätöksentekoon olisi runsaammin, laskettiin lisäksi vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja ja rakennuksia.

Lähteinä käytettiin seuraavaa aineistoa:

- Ruuska, A; Häkkinen, T. The significance of various factors for GHG emissions of buildings, 2014. International Journal of Sustainable Engineering.
- Ruuska, Antti, Häkkinen, Tarja, Vares, Sirje, Korhonen, Marja-Riitta ja Myllymaa, Tuula. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 8 2013. ISBN 978-952-11-4154-6
- Rekola, M. Ekopassi hanke. Tulokset esitetty Kaskinen, Hannu, 2011, Rakentajan ympäristöjälki, TM Rakennusmaailma, nro 6, 2011
- Vares, S. Pulakka, S., Häkkinen, T. Assessment of refurbishment concepts of concrete sandwich elements and windows in Finland. 7th framework programme SUSREF (Sustainable Refurbishment of Building Facades and External Walls), Deliverable D 3.5 from 20th May 2011.
- Proceedings of the 3rd Workshop on sustainable building projects in steel - case studies for a new design approach: January 29, 2013, Timisoara, Romania. edited by V. Ungureanu, A. Ciutina, H. Koukkari. - Timișoara: Orizonturi Universitare, 2013. ISBN 978-973-638-526-1, p 318 (CHAPTER III, CASE STUDY: STEEL INTENSIVE MULTI-STOREY OFFICE BUILDING. ADAPTATION FOR TWO CLIMATIC REGIONS)

Tässä laskennassa tyyppiarvo määritettiin seuraavaan jaon mukaisesti:

- Asuinrakennus
 - Kerrostalo, rivitalo, omakotitalo
 - A 1 – 5 + B 1 - 5
 - g/brm².

Tyyppiarvon määrittämisessä käytettiin avuksi Suomen rakennuskannan tilastoa. Tämän mukaan kerros- ja erillistalot yhdessä muodostavat isoimman osan asuinrakennuskannasta, ja rivitalojen osuus on vain 12 % (Taulukko 13). Kantavan rakenteen mukaan suurin osa kerrostaloista on betonirakenteisia, sen sijaan rivi- ja erillistalot ovat pääasiassa puurakenteisia (

Taulukko 14). Julkisivumateriaalin mukaan jaoteltuna kerrostaloissa on pääasiassa betonijulkisivu, rivitaloissa tiili- ja erillistaloissa puu (Taulukko 15). Taulukossa 16 (Taulukko 16), annetaan tyyppiarvot asuinrakennuksille.

Taulukko 13. Suomen rakennuskanta talotyyppin mukaan.

Talotyyppi	Kerrosala m ²	osuus
Kerrostalo	88 591 973	33 %
Rivitalo	32 132 585	12 %
Erillistalo	148 147 806	55 %

Taulukko 14. Suomen rakennuskanta kantavan rakenteen materiaalityypin mukaan.

Talotyyppi	Betoni	Tiili	Teräs	Puu	Ei tiedossa
Kerrostalo	83 %	13 %	0,3 %	3 %	1 %
Rivitalo	30 %	7 %	0,2 %	63 %	0,7 %
Erillistalo	5 %	5 %	0,1 %	88 %	2 %

 Taulukko 15. Suomen rakennuskanta julkisivumateriaalityypin mukaan¹².

Talotyyppi	Betoni (elementti ja harkko)	Tiili	Teräs	Puu	Ei tiedossa
Kerrostalo	20 % + 43 %	26 %	ei määritetty	4 %	7 %
Rivitalo	6 % + 6 %	56 %	ei tietoja	30 %	3 %
Erillistalo	1 % + 8 %	37 %	ei tietoja	47 %	6 %

Taulukko 16. Asuinrakennuksen tyyppiärvot (elinkaaren vaiheet A1-5 +B1-5).

	CO ₂ e kg/m ²	Kantava materiaali puu	Kantava materiaali betoni
Asuinrakennus	Noin 250		
Kerrostalo			300
Omakotitalo		200	
Rivitalo		180 (225 tiilijulkisivu)	

¹² Vainio, T., Lehtinen, E., Nuuttila, H. Julkisivujen uudis- ja korjausrakentaminen. VTT

5. Ohjerakenteiden arvoja

Seuraavaksi esitetään esimerkkinä ohjerakenteiden ja rakennusaineiden CO₂e geneerisiä arvoja elinkaarivaiheilla (A1-5) käytettäväksi Suomessa.

Ulkoseinä:¹³

- Puu – 14 kg/m² (200 mm)
- Tiiliverhous - 44 kg/m² (200 + 85 mm tiili)
- Kevytbetoniharkko – 52 kg/m² (425 mm)
- Betoniseinä – 150 kg/m² (460 mm)
- Kevytsoralämpöharkko – 82 kg/m² (380 mm)

Julkisivuverhous ilman eristeitä (SUSREF- D3-5 paitsi puu ja teräs):¹⁴

- Puu – 1,5 kg/m² (Ilmari)
- Betonilaatta (30 mm) 11 kg/m²
- Klinkkerilaattapintainen betonielementti, ulkokuori (80 mm + laatta) – 50kg/m²
- Tiili (85 mm) - 32 kg/m²
- 3-kerrosrappaus (teräsverkolla) – noin kg/m²
- Teräskasetti ¹⁵ – 11 kg/m²

Välipohja ja yläpohja (ilman eristeitä ja katemateriaalia)

- Ontelolaatta 265 mm – 64 kg/m² (Ilmari)
- Puupalkit ¹³ – 17 kg/m²,
- Betoni 200 mm – 74 kg/m² (265 mm = 98 kg/m²) (Ilmari)

Vesikatemateriaali

- Huopa 18 kg/m² (ei alusrakenteita, Ilmari)
- Pelti – 7,3 kg/m² (ei alusrakenteita, Ilmari)

¹³ Rekola, M. Ekopassi hanke. Tulokset esitetty Kaskinen, Hannu, 2011, Rakentajan ympäristöjälki, TM Rakennusmaailma, nro 6, 2011

¹⁴ Vares, s. Pulakka, S., Häkkinen, T. Title: Assessment of refurbishment concepts of concrete sandwich elements and windows in Finland. 7th framework programme SUSREF (Sustainable Refurbishment of Building Facades and External Walls), Deliverable D 3.5 from 20th May 2011.

¹⁵ Proceedings of the 3rd Workshop on sustainable building projects in steel - case studies for a new design approach : January 29, 2013, Timisoara, Romania. edited by V. Ungureanu, A. Ciutina, H. Koukkari. - Timișoara: Orizonturi Universitare, 2013. ISBN 978-973-638-526-1, p 318 (CHAPTER III, Case study: Steel Intensive Multi-storey office building adaptation for two climatic regions

- Tiili 7,4 kg/m² (ei alusrakenteita, Ilmari)

Alapohja

- Ontelolaatta 265 mm – 64 kg/m² (Ilmari)
- Puupalkisto – 7 kg/m²,¹³
- Betoni 200 mm – 74 kg/m² (265 mm = 98 kg/m²) (Ilmari)

Väliseinä

- Kipsilevy – 8.5 kg/m² (Ilmari)
- Tiili – 42,9 kg/m² (Ilmari)

Eristeet¹⁶ (U-arvo 0,14 W/m²K)

- Selluvilla – 1,80 kg/m²
- Mineraalivilla (kivivilla 250 mm, 80 kg/m³) - 21 kg/m²
- Mineraalivilla (kivivilla 243mm, 30 kg/m³) – 8 kg/m²
- Polystyreeni (250 mm, 30 kg/m³) – 26 kg/m²
- Polyuretaani (160 mm, 35 kg/m³) – 30 kg/m²

¹⁶ SUSREF projektin laskenta, paitsi selluvillan tiedot perustuvat Termex eristeen EPD:hen VTT-CR-00477-14 | 28.2.2014.

6. Geneerisen ja spesifisen tiedon lähteet, katsaus geneerisen tiedon vaihtelurajoihin

6.1 Tiedon lähteet

Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten tietokantoja on useita. Niissä tiedot ovat joko maakohtaisia keskiarvoja tai geneerisiä tietoja, jotka on laadittu esimerkiksi alan järjestöjen toimesta vastamaan tietyn tuoteryhmän keskimääräisiä vaikutuksia. Tunnetuimpia on eurooppalaisen muoviteollisuuden laatima muovien ympäristövaikutusten tietokanta, jossa lähtötietona on käytetty useamman eurooppalaisen muovivalmistustehtaan tietoja ja joka sisältää paljon erilaisia muovilaatuja (saatavilla PlasticsEurope -sivuilla).

Seuraavassa esitetään joitakin rakennusmateriaalien LCA tietokantoja:

- Suomalainen tietokanta (VTT) [ILMARI](#) työkalun yhteydessä
- Ruotsalainen LCA tietokanta [SPINE@CPM](#)
- Eurooppalainen LCA tietokanta, JRC:n laatima [ELCD](#)
- Kansainvälinen LCA tietokanta, JRC:n laatima, ILCD
- Yhdysvaltalainen [NREL](#) (National Renewable Energy Laboratory) tietokanta (United States Database Project)
- Sveitsiläinen LCI tietokanta [EcoInvent](#) (maksullinen)
- [Kanadalainen raaka-aineitten tietokanta](#) (Canadian Raw Material Database)
- [Norjalainen EPD tietokanta](#)
- Saksalainen EPD tietokanta [IBU-Umwelt Produktteklarationen](#)
- [International EPD system](#)
- Englantilainen [ICE tietokanta](#)

Edellä mainituissa tietokannoissa on sekä tuotevalmistajakohtaista, maakohtaista, eurooppalaista että geneeristä alkuperää olevaa lähtötietoa niin datana kuin myös ympäristöseloste muodossa.

6.2 Geneerisen tiedon vaihtelurajat

Tässä esitetään katsaus geneerisen tiedon vaihtelurajoista tarkastelemalla joidenkin keskeisten rakennusmateriaalien tietoja tärkeimmissä tietokannoissa ja laskemalla tiedot vertailukelpoiseen muotoon.

6.2.1 Sementti

Massiivirakenteisen kerrostalon merkittävä materiaali on betoni, jota käytetään seinissä, pilareissa, palkeissa, laatoissa ja muissa rakenteissa. Betonielementtien CO₂ päästöistä yli 70 % syntyy sementin käytöstä. Betoniteräksen käytöstä ja valmistusprossin energiankulutuksesta syntyy kummastakin vähän yli 10 %, ja runkoaineesta vain alle 3 % päästöistä.

Sementin valmistuksen suurimmat ympäristövaikutukset syntyvät kalkkikiven poltosta ja polttoaineiden käytöstä. Sementtiklinkkerin valmistus edellyttää korkeiden lämpötilojen käyttöä, joten energian käytön oleellinen pienentäminen nykyisillä tekniikoilla ei ole enää mahdollista. Päästöjen pienentämiseksi sementtiteollisuus korvaa osittain fossiilisia polttoaineita kierrätys- ja biopolttoaineilla. Lisäksi polttoaineiden käyttömäärä riippuu sementin valmistusmenetelmästä; tunnetaan ns. 'kuivamenetelmä' sekä 'märkämenetelmä', jotka eroavat valmistusmenetelmän lisäksi myös aiheuttamiensa päästöjen osalta.

Tämän mukaan vaikuttamalla sementin käytön määrään tai käyttämällä sementtiä, jonka valmistuksessa syntyy vähemmän päästöjä, voidaan betonirakennuksen päästöjä pienentää. Toisaalta, käyttämällä sementtiä, jonka valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat pienempiä, voi aiheutua tarve käyttää suurempaan sementtimäärää betonikuutiota kohden tai syntyy betonin lisälämmitystarve, joko työmaalla tai sitten elementtitehtaalla.

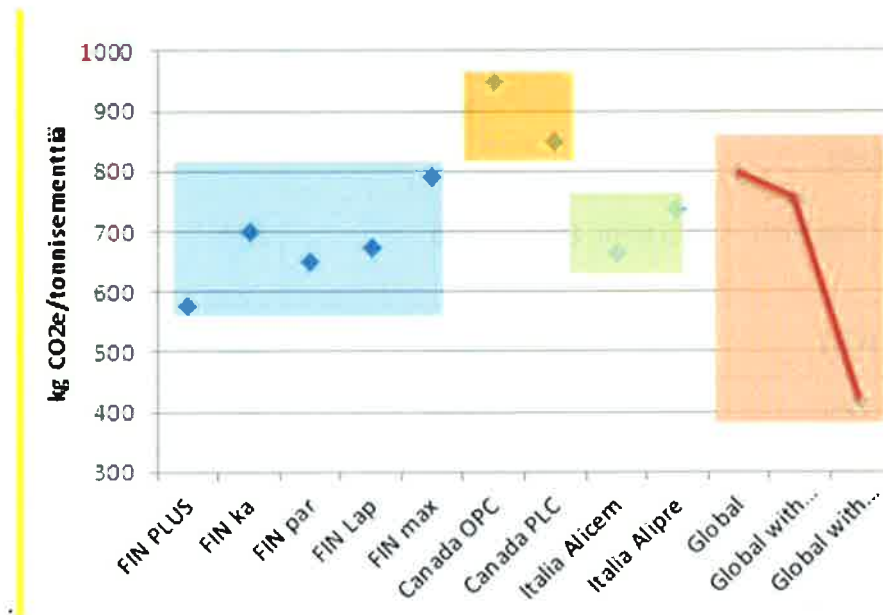
Seuraavassa taulukossa (Taulukko 17) esitetään esimerkkinä joidenkin sementtien hiilijalanjälkiarvoja. Kuvassa 3 esitetään vaihteluvälejä.

Taulukko 17. Sementin hiilijalanjälki.

Lähde	Sementtilaatu	Maa	CO ₂ e, g/kg
Ruotsalainen LCA tietokanta SPINE@CPM		Ruotsi	814
IEA Cement ¹⁷		GLO	800
Norge EPD	CEM II, Standard FA-sement, Norcem AS, Heidelberg cement group	Norja	719
Norge EPD	CEM I, Industrisement, Norcem AS, Heidelberg cement group	Norja	859
Norge EPD	Rapid cement, CEM I 52,5 N (LA), Aalborg Portland A/S	Norja	911
Norge EPD	Bases sement, CEM II 52,5 R (LA), Aalborg Portland A/S	Norja	858
Norge EPD	CEM I, Anlegg, Norcem AS, Heidelberg cement group	Norja	748
Norge EPD	CEM I, Standard, Norcem AS, Heidelberg cement group	Norja	758
Norge EPD	Miljösement, CEM II B-S 52,5 N CEMEX, Ost sement	Saksa	569
Norge EPD	Rapid cement, CEM I 52,5 R CEMEX, Ost cement	Saksa	780

¹⁷ <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cement.pdf>

Finnsementti	Keskiarvo	Suomi	700
Finnsementti	Keskiarvo, Parainen	Suomi	650
Finnsementti	Keskiarvo Lappeenranta	Suomi	675
Finnsementti	Plus	Suomi	578
Lafarge Canada	PLC	Kanada ¹⁸	850
Lafarge Canada	OPC	Kanada	950
Lafarge Canada	Keskiarvo (PLC ja OPC)	Kanada	900
	Alicem	Italia	665
	Alipre	Italia	738
	keskiarvo (Alicem ja Alipre)	Italia	700



Kuva 3. Sementtien hiilijalanjäljen vaihteluvälit.

6.2.2 Betoni

Taulukossa (Taulukko 18) esitetään eri lähteistä koottuja valmisbetonin hiilijalanjälkilukuja.

¹⁸ Technical Brief, An Environmental Life Cycle Assessment of Portland-Limestone and Ordinary Portland Cements in Concrete. January 2014, Authors: Lindita Bushi and Jamie Meil. Prepared for: Cement Association of Canada <http://www.rediscoverconcrete.ca/assets/files/sustainability/CAC-PLCvsOPC-Final-Technical-Brief-Jan232013.pdf>

On hyvin tavallista, että vaikka maakohtainen tai valmistajakohtainen tieto perustuu tuotevalmistuksen osalta primääritietoon, kuitenkin raaka-aineiden valmistuksista ja kuljetuksien osalta joudutaan nojamaan geneerisiin lähtötietoihin. Esimerkiksi alla olevassa taulukossa sveitsiläisen valmisbetonin ympäristövaikutukset sisältävät joidenkin kemikaalien osalta globaalisia valmistuksen lähtötietoja; voiteluaineiden osalta eurooppalaista tietoa; koostumuksen, sementin ja runkoaineen osalta sveitsiläistä tietoa; maakaasun, NaOH:n, rikkihapon, metallien, muovien ja pehmenneen veden osalta eurooppalaista tietoa. Kuljetuksien osalta tiedot perustuvat eurooppalaiseen laivakuljetuksen ja autokuljetuksen osalta sveitsiläiseen maakuljetuksen vaikutuksiin.

Taulukko 18. Betonien hiilijalanjälki.

Tietokanta	Tuotenimi tietokannassa	Sijanti	CO ₂ e kg/m ³
Ecolinvent	concrete, exacting, at plant	CH	325
ELCD data	Pre-cast concrete; minimum reinforcement; production mix, at plant; concrete type C20/25, without consideration of casings	RER (Eurooppa)	118 g/kg => 287 kg/m ³
EPD Norge	Fredigbetong B25 M60	NO	190
EPD Norge	Fredigbetong B30 M60, 180 Skedsmo Betong	NO	195
EPD Norge	Fredigbetong B30 M60, < 200 m/m, Sola betong	NO	244
ILMARI	Valmisbetoni K30	FIN	150
ILMARI	Valmisbetoni K80	FIN	210

Betonituotteiden hiilijalanjälki vaihtelee paljon. Seuraavassa laskennassa CO₂e vertailuesimerkki on laskettu 1 m² betonielementtiä kohden käyttämällä pieni- ja suuripäästöistä sementtilaattua (sisältää ulkokuoribetonin ja sisäkuoribetonin raudoituksineen, mutta ei eristystä).

Taulukko 19. Betonin kasvihuonekaasuvaikutukset riippuvat käytetystä sementtimäärästä sekä sementtilaadusta.

Sementin CO ₂ e (pieni...suuri päästö)	Sementin määrä betonissa	Betonin CO ₂ e	Päästöjen kasvu (käyttämällä sementtiä, jonka päästöt korkeita)
600 ... 900 g/kg	350 kg/m ³	160...210 kg/m ² (0,25 m ³)	+31 %
600... 900 g/kg	500 kg/m ³	205...270 kg/m ² (0,25 m ³)	+31 %

Taulukko 20. Betonituotteen paino ja hiilijalanjälki osuudet.

Betonin koostumus	Paino %	CO ₂ e %
Sideaineet (sementti)	15 – 20 %	60 – 70 %
Runkoaine	75 – 85 %	< 3 %
Teräs	1 – 2 %	10 – 15 %
Valmistus		10 – 15 %

Valmistuksen osuus betonielementtien kasvihuonekaasupäästöistä on noin 10 – 15 %. Toisaalta siihen vaikuttavat myös tarvittava muottikierto, betonikoostumus, tehtaan energiatehokkuus ja käytetyt polttoainelaadut.

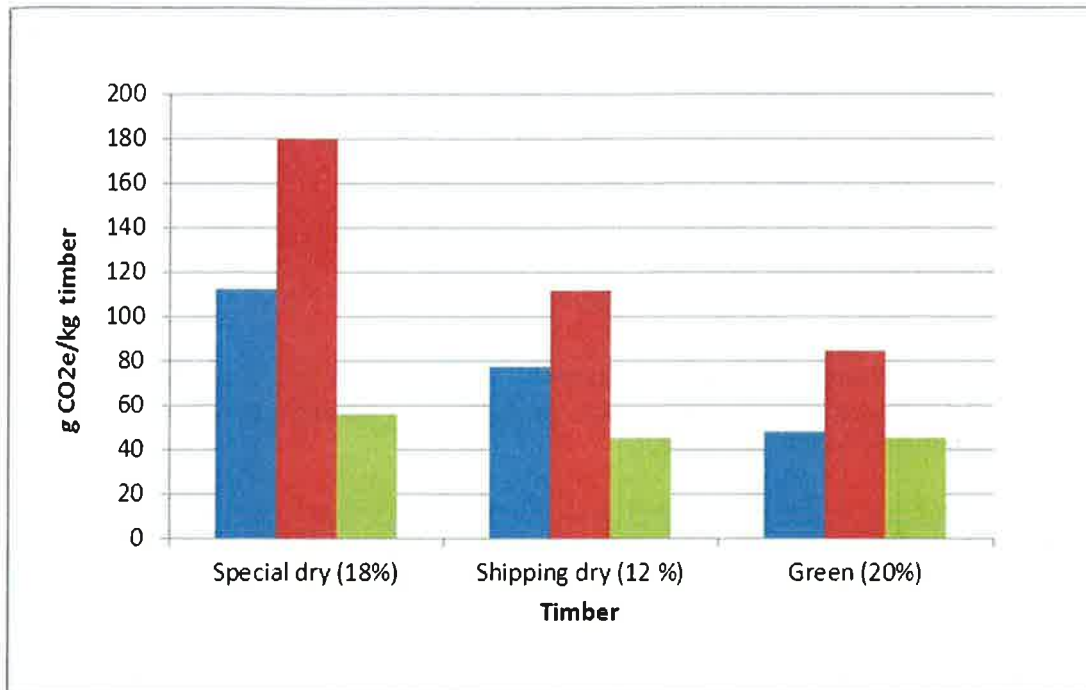
Edellisistä syistä johtuen energiankulutuksen erot elementtivalmistuksessa voivat olla jopa kaksinkertaiset. Jos lähtökohtana on, että betonielementin CO₂e päästö on 200 kg/m² ja valmistuksen osuus on 15 % (30 kg/m²) ja kun valmistuksen energiankulutus kasvaa 50 % (+15 kg/m²), silloin koko elementin CO₂e-päästöt kasvavat vain noin 8 %.

Toisaalta jos valmistuksen energialaatu on biopohjainen, niin betonin CO₂e pienenee noin 15 %.

6.2.3 Puutuotteet

Pientaloissa, joissa puutuotteiden määrä on suuri, on myös puutuotteiden ympäristövaikutusten suuruudella merkitystä. Sen sijaan betonirunkoisissa kerrostaloissa puutuotteiden osuus on niin pieni, että päästöjen suuruudella (vähyydellä) ei ole paljonkaan merkitystä koko rakennuksen hiilipäästöihin.

Puutuotteiden isoa vaihteluväliä on raportoitu useassa aiemmassa tutkimuksessa. Puunkorjuun ja sahatavaran valmistuksessa CO₂e päästöjen ero saattaa olla jopa yli 2-kertainen (200 %). Eroja tulee myös sahatavaran kuivatukseen mukaan. Kuvassa (Kuva 4) esitetään sahatavaran hiilijalanjälki eri kosteuteen kuivatetuille sahatavaralaaduille. Tulos on esitetty yrityskohtaisesti, sekä yksittäisen sahan ja energiatehokkaan sahan toiminnalle.



Kuva 4. Sahatavaran hiilijalanjälki (sininen – yritystaso, punainen - yksittäinen saha ja vihreä – energiatehokas saha.¹⁹

¹⁹ Vares, S. Sawn timber manufacturing and carbon footprint. Section 5.3 in Wood in Carbon Efficient Construction - Tools, methods and applications. ISBN 978-9-0820-9081-9. Ed. Matti Kuittinen, Alice Ludvig, Gerhard Weiss. 2013. p. 64 – 68.

7. Tietomalleista saatavan tiedon laatu ja yksityiskohtaisuus

7.1 Johdanto

Tässä luvussa tarkastellaan eri malleista prosessin eri vaiheissa saatavan tiedon yksityiskohtaisuutta ja kattavuutta hiilijalanjäljen laskennan kannalta. Luvussa esitetään myös ehdotus vaadittavalle tiedolle silloin, kun malleja on tarkoitus käyttää materiaaleihin sitoutuneen hiilijalanjäljen laskentaan.

BIM-pohjaisen hiilijalanjälkilaskennan tarpeisiin käytetään suunnitteluprosessin aikana pääasiassa arkkitehtimalleja. Tyypillisesti malleista pyritään ottamaan rakennusosien materiaalimäärittelyt ja määrätiedot muissa ohjelmissa tapahtuvaan CO₂-laskentaan, koska ei ole tavallista, että mallien rakennusosat tai materiaalit sisältävät sitoutuneen hiilijalanjäljen ominaisuustietona. Sen sijaan rakennuksen käytön aikaisen energiankulutuksen ja siitä aiheutuvan hiilijalanjäljen laskenta arkkitehtimallin peru steella mallinnusohjelman työkaluilla on jo mahdollista hiilijalanjäljen kokonaisvaltaista hallintaa varten. Myös tässä hyödynnetään mallin sisältämiä rakennetyyppi- ja materiaalimäärittelyjä, sekä lisäksi ominaisuustietona eri materiaaleille määritellyjä lämpöominaisuuksia (esim. ArchiCAD mallinnusohjelman sisältämällä Energia-arvio työkalulla).

Rakennemalleja ei käytetä vielä juuri ollenkaan ympäristövaikutusten laskentaan. Käyttömahdollisuuksia olisivat kuitenkin suunnittelun alkuvaiheessa runkorakennejärjestelmävaihtoehtojen karkea vertailu ja myöhemmin pelkän arkkitehtisuunnitelman pohjalta laskettua arvoa kattavampi ja tarkempi hiilijalanjäljen laskenta osin rakennemallin ja osin tarkentuneen arkkitehtimallin tiedoilla noudattaen suunnittelun vastuurajoja (hiilijalanjäljen kattava määräarvo). Hankkeen lopussa toteutunut hiilijalanjälkilaskenta (kattava tuotearvo) tulisi perustua lopullisiin rakennemalleihin siltä osin kuin rakentaminen ja esivalmistuskin perustuvat rakennesuunnitelmiin. Luonteeltaan rakennemallin perusteella suoritettava laskenta on kuitenkin jossain määrin toteavaa, ja suunnitteluratkaisujen ohjaaminen ympäristöystävälliseen suuntaan tapahtuu käytännössä pääasiassa jo arkkitehtisuunnitelmien pohjalta.

Arkkitehti- ja rakennemallit konkretisoituvat elinkaarivaikutuksiksi talotekniikkamallien avulla. Talotekniikkamalleja käytetään suunnitteluratkaisujen energiatehokkuuden ja elinkaarikustannuksien arviointiin. Rakennuksen tietomallit auttavat toteuttamaan käytönaikaista energia ja hiilidioksidilaskentaa (elinkaarivaihe B6). Sitä varten on Graphisoft sisällyttänyt ArchiCAD 16 versioon integroituun Energia arvio työkalun. BIMCON raportissa, Vares et al. 2013²⁰, on esitetty mallipohjainen energia-arvio esimerkki.

LVIS-järjestelmät, jotka kuuluvat TATE-suunnittelun vastuualueeseen, aiheuttavat ympäristövaikutuksia myös raaka-aineiden, hankinnan ja valmistuksen osalta. Toistaiseksi talotekniikkamallit eivät käsittele niiden tuotteiden ympäristövaikutuksia. Jos LVIS järjestelmien ympäristövaikutukset halutaan laskea suunnittelun alkuvaiheessa, arkkitehdin on saatava alustavat tiedot ratkaisusta TATE-konsultilta. Toisaalta, taloteknisten laitteiden ja järjestelmien määrä (kg:na) on pieni koko rakennuksessa käytettyjen rakennusmateriaalien ja tuotteiden nähden ja näin olleen vaikutukset jäävät kokonaisuudessa pieneksi. Ainoa merkittävä vaikutus talotekniikan osalta saattaa aiheutua jäähdytysnesteiden käytöstä, täydennyksistä ja vuodoista. Toisaalta, myös jäähdytysnesteiden osalta ollaan siirtymässä ympäristöystävällisimpiin ratkaisuihin.

Mallien tietosisällön nykyistä laatua, yksityiskohtaisuutta ja kattavuutta hiilijalanjäljen laskennan kannalta on arvioitu analysoimalla todellisten rakennuskohteiden tietomalleja.

²⁰ Vares, S., Sulankivi, K., Palos, S. et al. 2013. Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta. VTT-R-01180-13

Analysointi painottui arkkitehtimalleihin, ja talotekniikkamalleja ei analysoitu ollenkaan. Pääosa esitettävistä tietosisällön parannusehdotuksista koskee mallien hyödynnettävyyttä yleisesti esim. BIM-pohjaisessa määrälaskennassa. Ympäristölaskennan erityispiirre kuitenkin on, että materiaaleista voidaan tarvita täsmällisempää määrittelyä kuin muissa käyttötapauksissa. Esimerkiksi eristeiden kohdalla on tarpeen tietää minkä tyyppinen eriste on kyseessä (mineraali-, puu- vai muovipohjainen), kun puolestaan hankinnalle hinnan ohella määräävä ominaisuus voi olla esim. U-arvo ja soveltuvuus kohteeseen ja rakennusosaan, eikä niinkään materiaalipohja.

7.2 Arkkitehtimalli

Hiilijalanjäljen ohjearvon laskenta ehdotussuunnitteluvaiheessa: Ehdotussuunnitteluvaiheessa arkkitehtimallista saadaan tavallisesti vain rakennusosapohjaista määrätietoa, eli rakennetyypimäärittelyjä materiaalitietoineen ei tavallisesti ole vielä otettavissa hiilijalanjälkilaskentaan suoraan mallista. Päägeometrian osalta vaadittavia mallinnettavia osia, joiden määrätietoa voidaan hyödyntää hiilijalanjäljen ohjearvon laskentaan (käyttäen ohjerakenteita ja geneerisiä materiaaliarvoja) ovat seinät, ikkunat, väli- ja yläpohja, sekä vesikatto (YTV 2012, osa 3 Arkkitehtisuunnittelu).

Hiilijalanjäljen osittaisen määrääron laskenta yleissuunnitteluvaiheessa: Yleissuunnitteluvaiheessa arkkitehdilta yleisesti vaadittavia mallinnettavia osia ovat edellisten lisäksi mm. perusmuurit, alapohjalaatat, väestönsuojaan liittyvät rakennusosat, palkit ja pilarit, portaat ja lepotasot, ulko-ovet, parvekkeet (laatta- ja katosrakenteet, kaiteet), lasikatot ja kattoikkunat, lasiväliseinät ja väliovet, sisäkattorakenteet, vakiolaitteet ja kiintokalusteet sekä savuhormit. **Rakennetyypimäärittelyt vaaditaan kuitenkin vain ulkoseinille ja kantaville sisäseinille.** Muilta osin mallista voidaan edelleen odottaa saatavan tavallisesti vain rakennusosatasoista päägeometriaan perustuvaa määrätietoa neliöinä ja kuutioina, jos hankekohtaisesti ei ole sovittu mallinnuksesta kattavammin rakennetyypeillä jo tässä vaiheessa.

Hiilijalanjäljen kattavan määrääron laskenta toteutussuunnitteluvaiheessa: Toteutussuunnitteluvaiheessa arkkitehtimalli sisältää jo suurimman osan materiaalien hiilijalanjäljen määrääron laskentaan tarvittavasta materiaalitiedosta. Osa kattavaan laskentaan tarvittavasta tiedosta saadaan kuitenkin vasta rakennesuunnittelun tuloksena rakennemallista (esim. perustukset). Arkkitehtimallien tietosisällön nykyinen laatu, yksityiskohtaisuus ja kattavuus toteutussuunnitteluvaiheen hiilijalanjälkilaskentaan on kuvattu seuraavassa (luvut 7.2.1 – 7.2.3) jäseneltynä kolmeen ryhmään: 1) **rakenteet**, joista pääosa määritetään ja mallinnetaan rakennetyypeinä, 2) **rakennustuotteet**, jotka ovat kappaletavaraa ja myös usein mallinnetaan niin kutsuttuina BIM-objekteina, ja 3) **pintamateriaalit**, jotka kuuluvat periaatteessa osaksi rakennetyypimäärittelyjä, mutta jätetään usein nimeämättä tai kyseinen rakennekerros kokonaan pois arkkitehtimallin rakennetyypimäärittelyistä. Tällöin täsmälliset kauppatuotteet tai vaatimukset esitetään vain perinteisissä dokumenteissa kuten rakennusselityksessä ja huonekorteissa.

Hiilijalanjäljen kattavan tuotearvon laskentaan rakentamisen aikana tai päättyessä arkkitehtimallista ei saada yleensä enää mitään lisäarvoa, koska rakennusmateriaaleja koskevaa toteumatietoa (as-built- -tietoa) ei viedä malleihin käytännössä juuri ollenkaan.

7.2.1 Rakenteet



Perinteisessä suunnitteluprosessissa ja myös mallissa rakenteille määritellään rakennetyypit, tai materiaali, jos rakenne koostuu vain yhdestä materiaalista. CO₂-laskennan kannalta rakennetyyppien oleellisin tietosisältö liittyy materiaalitunnisteisiin, -nimikkeisiin ja ainevahvuuksiin, joidenka perusteella rakenteiden sisältämien eri materiaalien määrätieto saadaan mallista.

Toteutussuunnitteluvaiheen arkkitehtimallissa rakennetyypit on yleensä määriteltä seuraaville rakenteille sisältäen materiaalinimikkeet ja niiden ainevahvuudet:

- perusmuurit
- ala-, väli- ja yläpohjat sekä vesikatto
- lasikattorakenteet

- **ulko- ja väliseinät** (sisältäen sekä kantavat että kevyet, ja myös lasiväliseinät)
- **parvekerakenteet** kuten parvekelaatat, katot ja seinät (rakennetyypit tai materiaali kuten esim. teräsbetoni)
- **väestönsuojien rakenteet**

Täsmällistä tietoa kuten raudoituksen määrää ja betonilaatua ei kuitenkaan saada laskentaan vielä arkkitehtimallista, koska nämä määritellään vasta rakennesuunnittelussa, mutta ne voidaan ottaa mukaan CO₂-laskentaan keskimääräisinä tyyppi-arvoina (esim. prosenttiosuus rakennusosan betonin tilavuudesta).

Analysoitujen arkkitehtimallien rakenteissa **havaittuja tyypillisiä tietosisällön puutteita ja heikkouksia olivat rakennusosan tunnisteen puuttuminen** (minkä seurauksena mallista tuotetuissa määrälistoissa on osia, joita ei pystytä tunnistamaan ilman mallin manuaalista analysointia), **rakennetyypimäärittelyn ja sitä kautta kaikkien materiaalikerrosten määrittelyn puuttuminen, sekä materiaalinimikkeen puuttuminen tai epämääräisyys** (materiaalitieto ei ollut riittävän täsmällinen hiilijalanjäljen määrittämiseen). Seuraavassa on esitetty esimerkkejä eri malleissa havaituista puutteista ja heikkouksista. Tarkoituksena on konkretisoida mallien tyypillisiä epätarkkuuksia, ja joukossa on myös yksittäistapauksia:

- Yksittäistapauksissa päärakennusosien **rakennetyypimäärittely puuttui**. Näin esim. yläpohjassa, jonka rakennetyypitunnus oli YP01 (löytyi myös laatan ID-kentästä), mutta rakennetyyppi oli kokonaan määrittelemättä. Mallinnus oli toteutettu laattana, jonka kokonaispaksuus oli 1200 mm ja rakennusaine ”Yhtenäinen”.
- Samoin erilaisilta pienemmiltä katosrakenteilta esim. rappukäytävien pääovien yläpuolella puuttui rakennetyypimäärittely. Myöskään **tietoa päämateriaalista ei löytynyt mallista** (rakennusaine ”Tyhjä”).
- **Osien tunnistamiseen ja materiaalin määrittämiseen tarvittiin mallin manuaalista analysointia:** Näin esimerkiksi parvekkeen lasituksen / lasiseinien kohdalla, koska parvekekaiteiksi nimettyjen osien materiaalitiedon pystyi päättelemään vain mallin visuaalisella tarkastelulla ja 3D-esitystavan määrittelevän pintamateriaalin nimen perusteella.



Kuva 5. Parvekekaiteiksi nimettyjä lasituksia arkkitehtimallissa.

- Joissain tapauksissa **rakennetyypiiä ei ole kokonaisuudessaan määritelty, vaan jokin rakennekerros puuttuu kokonaan**. Esimerkiksi alakattorakenteena on usein pelkkä pintamateriaali kuten kipsilevy tai puupaneeli. Kannatussysteemiä vastaava rakennekerros kuten ranka voi puuttua kokonaan. Jos rankakerros on mukana/eritelty, materiaalinimike saadaan mukaan materiaalityypin määrittämiseen.

Toinen esimerkki on saunan seinät. Näissä arkkitehtimalleista puuttuu järjestelmällisesti alumiinipaperia vastaava rakennekerros ja nimike, vaikka se mainitaan rakennesuunnittelijan vastaavissa perinteisissä A4-rakennetyyppi-määrittelyissä, joihin arkkitehdin CAD-rakennetyypit perustuvat. Tavallisesti nk. nollakerroksia, eli materiaaleja, joiden ainevahvuus on alle 1 mm, ei määritellä rakennetyyppeihin, mutta mallien tietosisällön suora hyödyntäminen erilaisiin laskentatarkoituksiin (ja mahdollinen as-built-tiedon käyttö tulevaisuudessa) edellyttävät kattavampaa materiaalitietoa niin, että esim. kaikki rakentamisessa tarvittavat materiaalit saadaan listattua suoraan mallista ilman tarvetta manuaalisesti tarkistaa ja lisätä puuttuvia rakennusaineita.

- **Useita materiaaleja sisältävien rakennekerrosten materiaalinimikkeissä esiintyy usein vain yksi kyseisen materiaalikerroksen materiaaleista.** Tyypillistä tämä on eristetyissä rankarunkoisissa väliseinissä. Usein vain jompikumpi, eriste tai ranka on mainittu. Tästä seuraa, että toinen materiaalinimikkeistä puuttuu myös materiaalihajaisista määräluetteloista.
- **Materiaalinimike puuttuu tai ei ole riittävän täsmällinen hiilijalanjälkilaskentaan.** Nimike voi olla liian yleinen, kuten "Eriste", kun materiaalihajon mukaan esim. puu-, mineraali- ja muovipohjaisten eristeiden hiilijalanjäljillä on suuri vaihteluväli. Kun rakennusainetta ei ole ollenkaan määritelty, materiaalihajaiseen listaukseen tulee nimikkeeksi esim. "tyhjä" tai jokin piirustusmerkintöihin viittaava nimi.
- **Samoja materiaaleja esiintyy eri rakennetyypeissä hieman eri tavoin nimettyinä tai eri paksuisina.** Nimen vaihtelun taustalla on, että käytännössä ei ole olemassa yhtä kaikkien osapuolien systemaattisesti käyttämää materiaalinimikkeistöä. Eri suunnittelijoiden aiemmissa projekteissa laatimia rakennetyyppejä myös kopioidaan, ja eri suunnittelijat voivat nimetä samankin yrityksen sisällä materiaaleja hieman eri tavoin suunnitelmiin.

Arkkitehtimalleista kokonaan puuttuvia osia ovat tyypillisesti **perustukset** sokkelista alaspäin. Anturat ja paalut puuttuvat kokonaan, ja ellei kyseessä ole kellarillinen rakennus, sokkeli mallinnetaan tyypillisesti noin metrin korkuisena tietyllä rakennetyypillä. Kellarikerroksista mallinnetaan seinät, alapohja sekä mahdollisesti alapuolisia perustuksia osittain, mutta pääsääntöisesti hyödynnettävissä oleva luotettava tieto rajoittuu sokkelin (ja alapohjan) rakennetyyppitietoihin. Perustukset saadaan CO₂-laskelmiin siten vasta rakennemallista.

7.2.2 Rakennustuotteet (kappaletavara):

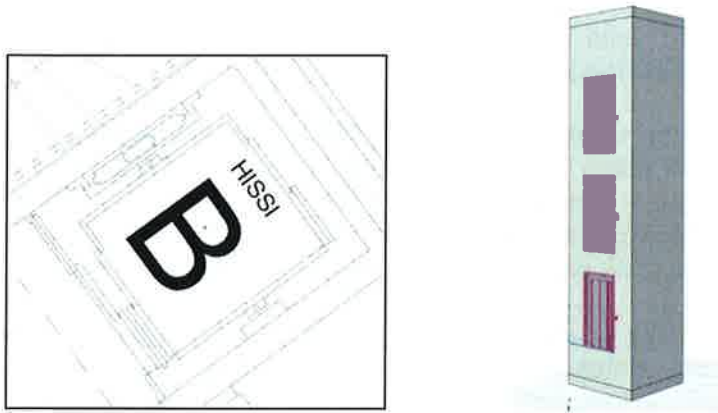


Niin kutsuttu kappaletavara mallinnetaan tavallisesti hyödyntäen valmiita BIM-objekteja. Myös näihin liittyen mallin sisältämää oleellista tietoa ovat nimikkeet ja materiaalitunnisteet sekä päägeometria, joka määrittelee ainetilavuuden, jos hiilijalanjälkeä ei ole ilmoitettu kpl-pohjaisena.

Toteutussuunnitteluvaiheen arkkitehtimallista saatavat rakennustuotteita koskevat tiedot, sekä analysoiduissa malleissa havaittuja puutteita:

- **Ulko- ja sisäovet sekä ikkunat määritellään niin, että tyypit, kpl-määrät ja pinta-alat saadaan suoraan mallista.** 3D-mallinnusobjekteissa ei ole kuitenkaan hiilijalanjälkitietoa, eikä materiaalmääriä saada mallista automaattisesti myöskään eriteltynä puuhun (karmit) ja lasiin manuaalista laskentaa varten.

- **Portaat ja lepotasot:** mallin geometriasta saadaan ainetilavuus, ja materiaalimäärittelyt ovat usein objektien parametreja. Tutkitussa mallissa geneerinen tuotetunniste ja materiaalimäärittely kuitenkin puuttuivat. Portaiden tunnistus tapahtui käytännössä kuvatason (AR1237 Runkoportaat) avulla ja materiaalitieto pääteltiin mallin 3D-esityksestä ja tuotenimestä. Toisessa tapauksessa runkoportaiden tunnistamisessa ei ollut ongelmaa, mutta koneellisesti listattavissa oleva materiaalitieto puuttui.
- **Hissit olivat malleissa 2D-objekteja,** jotka palvelevat vain piirustustuotantoa. Kun hissejä ei ole mallinnettu kolmiulotteisesti edes 3D-tilavaraukuskappaleina, ne eivät tule esim. IFC:stä tuotettuihin määrälistauksiin, ja jäävät pois puhtaasta BIM-pohjaisesta CO₂-laskennasta.



Kuva 6. Tyypillinen 2D-esitys hissistä arkkitehtimallissa, sekä 3D-hissiobjekti (Graphisoft).

- **Tilavarusteet:** Arkkitehti mallintaa asuntovarusteista mm. kiintokomerot ja märkätilojen varusteet (WC-istuin, altaat, hanat, suihkut, yksityiskohtia kuten naulakot jne.). Mallinnus toteutetaan objekteina eli "kappaleina". Hiilijalanjälkitieto voitaisiin liittää näihin geneerisenä keskiverto-arvona (tai valmistajakohtaisena tuotearvona jos objektikin edustaa tietyn valmistajan tuotetta) ja ottaa näin mukaan CO₂-laskentaan.

Keittiökalusteita ei ole aina tarkasti arkkitehtimallissa, vaan kyseisessä kohdassa voi olla esim. pelkkiä 2D-piirustusobjekteja tai 3D tilavarauus-objekti esittäen kiintokalusteiden hahmon. Keittiökalusteet voivat olla kuitenkin mallinnettuna tarkemmin erilliseen malliin, jolloin tieto on tarvittaessa käytettävissä mallimuodossa myös CO₂-laskentaan. Kalusteobjekteissa ei kuitenkaan tavallisesti ole hiilijalantietoa valmiina.



Kuva 7. Esimerkkejä arkkitehtimallin tilavarusteista: märkätilakalusteita sekä keittiökalusteiden tilavarauusobjekti.

- **Tekniikkaosat:** LVIS -tilavaraukset esim. hormeille ja vaakavedoille mallinnetaan arkkitehtimallissa umpinaisina 3D-kappaleina tai koteloina, mutta materiaalitietoa on

vaihtelevasti. Materiaalina voi olla esim. "ELPO" viitaten betoniin, mutta ainoa mallinnetusta osasta löytyvä tieto voi olla myös esim. "kotelo" tms., jolloin materiaalia on mahdoton päätellä ilman mallin manuaalista tarkastelua (esim. kotelon sijainnin perusteella voi olla mahdollista päätellä/olettaa, että kyseessä on kipsilevykotelo).

7.2.3 Pinnat:



Arkkitehti määrittelee tilapinnat ja julkisivupinnat, mutta näitä tietoja ei viedä kattavasti malliin. (Kuvaesimerkki lattian parkettipinnasta arkkitehtimallissa.)

Arkkitehtimallin sisältövaatimukseen kuuluu tilapinnoista sisäkattorakenteet ja -pinnat, mutta seinien ja lattioiden pintarakenteiden ja pintojen mallinnus on vapaaehtoinen, hankekohtaisesti sovittava valinnainen mallinnustehtävä (YTV 2012, osa 3 Arkkitehtisuunnittelu). Pintoja löytyykin malleista melko vähän. Käytännössä **pintamateriaalikerros löytyy arkkitehtimallin lattia-, seinä- ja kattorakenteiden rakennetyypimäärittelyistä yleensä vain silloin, kun materiaalilla on selkeästi jokin fyysinen paksuus**, kuten esimerkiksi lattiapintana "parketti" tai seinäpintana "vesieriste ja laatoitus". Eri kohteiden malleissa on kuitenkin vaihtelua, eli systemaattisesti näitä fyysistä tilaa vaativiakaan pintoja ei malleista löydy. Muita pintojen mallinnusta koskevia havaintoja analysoiduissa tapauksissa ovat seuraavat:

- Pintakerroksen rakennusaineen nimenä on CAD-rakennetyypimäärittelyissä usein yleisesti "Pintamateriaali" vaikka paksuus olisi määritetty. Rakennusainetieto on haettava esim. rakennusselityksestä tai huonekortista.
- Maalattavista pinnoista mallissa on vain "tyhmää tietoa". Tyypillisimmin esim. seinälle on pelkkä värin määrittely mallin 3D-esitystä varten (esim. "Maali valkoinen" tai "Tehosteseinä"), jolloin ei voida olla täysin varmoja edes siitä, onko kyse maalattavasta pinnasta. Jonkun verran käytetään kuitenkin esim. Tikkurilan värinmäärittyssovellusta, jolla mallin 3D esityksiin saadaan mahdollisimman todenmukainen värisävy, ja samalla 3D-pinnan nimeksi valitun värin todellinen Tikkurila-värikoodi. Varsinaista koneellisesti tulkittavissa olevaa tuotetietoa maaleista ei kuitenkaan arkkitehtimalleista löydy.
- Julkisivujen tehoste/koristealueet esitetään arkkitehtimalleissa. Hyvin tavallinen mallinnustapa on lisätä ko. kohtaan 3D-kappale/levy, joka on mallinnettu seinätyökalulla päällekkäin varsinaisen seinän kanssa. Fyysisen 3D-kappaleen ansiosta erilaisten pintakäsittelyjen määrätieto on listattavissa suoraan mallista. Käytännössä tunnisteissa ilmenee kuitenkin puutteita, joiden vuoksi pintakäsittelyalueiden tunnistaminen ei aina onnistu pelkän määrälistan avulla, vaan lisäksi tarvitaan mallin manuaalista analysointia. Mallinnustapa (tehostealue ja varsinainen seinä sisäkkäin) ja tunnistusongelmat aiheuttavat helposti virheitä määriin, kun tehostealueen määrä neliöinä tulee mukaan sekä varsinaisen seinän pinta-alaan että erillisenä mallinnettavan koristealueen määrään. Seuraavassa kuvassa on esitetty kaksi esimerkkiä pintakäsittelyiden mallinnuksesta. Ensimmäisessä tapauksessa betonielementtien pintakäsittelyt tulevat puutteellisen tunnisteiden vuoksi määrälistaan betoniseinäin, ilman tietoa, että kyseessä on betonielementin pintakäsittely jota ei tule lisätä betonimääriin. Toisessa tunniste (ID) on selkeästi "Rappaustehoste", mutta pintarappauksen määrä tulee tältä kohdalta kahteen kertaan mukaan

määrälaskentaan, jos erilaisten pintojen erittely halutaan, mutta rappaustehosteiden määrää ei vähennetä seinän pääosin valkoisesta rappauksesta manuaalisesti.



Kuva 8. A) Pintakäsittelyltä (uritettu betoni) puuttuu toimiva tunniste B) Pintakäsittelyn tunniste on kunnossa ("Rappaustehoste"), mutta määrä pitää vähentää pääpintakäsittelystä.

7.2.4 Suosituksia mallinnusvaatimuksiin ja jatkokehitykseen

Seuraavassa on esitetty ehdotuksia arkkitehtimallin sisältövaatimuksiin, jos rakennushankkeessa on tarkoitus tehdä BIM-pohjaista materiaalien hiilijalanjälkilaskentaa. Tiedon kattavuuden ja hyödynnettävyyden parantamisehdotukset koskevat erityisesti toteutussuunnitteluvaihetta:

- **Hissien mallinnus** 3D-objekteina arkkitehtimalliin
- **Rakennusosille tunnisteet systemaattisemmin** ja esim. ID-kenttien sisällön tarkistukseen menetelmä tai tarkistus ohjelmallisesti. Mallinnusvälineissä olisi mahdollisuuksia kehittää tunnisteiden antamista automaattisemmin oikein tai suunnittelijaa ohjaten.
- **Rakennetyyppien määrittely samalla tarkkuudella kuin perinteiset rakennetyypitkin määritellään**, jotta materiaalinimikkeet saadaan kattavammin suoraan mallista.
 - Esimerkiksi alle 1 mm paksuiset materiaalikerrokset pyöristettyinä 1 mm paksuuteen, jotta niistä ei tule ongelmaa mallin muissa käyttötarkoituksissa.
 - Kahdesta materiaalista koostuvien rakennekerrosten nimikkeessä tulisi näkyä molemmat (esim. eriste- ja runkomateriaali).
 - Alakattojen rakennetyyppiin kannatusratkaisu sillä tarkkuudella kuin tiedossa (esim. ripustimet/ranka/puuranka/teräsranka sen mukaan kuin tiedossa)
- **Toteutussuunnitteluvaiheen mallista pois kaikki tyhjinä mallinnetut osat**, ellei materiaalitiedon puuttumisen syynä ole esim. päätöksien puuttuminen.
- **Pintatiedot kattavammin malliin**
- **Mallinnusohjelmien materiaalinimikkeistön kehittäminen** niin, etteivät suunnittelijat käytä samoille materiaaleille eri rakennetyypeissä ja rakennuskohteissa erilaisia nimikkeitä.

7.3 Rakennemalli

Rakennemallin avulla hiilijalanjäkilaskennan kattavuus ja tarkkuus paranevat arkkitehtimallin perusteella laskettuun arvioon nähden, koska laskentaan saadaan mukaan rakennusosia ja niiden sisältämiä kokoonpanoja ja tarvikkeita, joiden suunnittelu ja mallinnus ovat rakennesuunnittelijan vastuulla. **Toteutussuunnitteluvaiheessa rakennemallista saadaan hiilijalanjäljen määräärvon laskentaan:**

- **Perustukset:** Erityisesti paalutetuissa kohteissa perustusten osuus kokonashiilijalanjäljestä on tavallisesti merkittävä. Yksi tähän liittyvä kysymys kuitenkin on, missä vaiheessa perustusten osuus pitäisi ottaa huomioon, jotta sillä on suunnittelua ohjaavaa vaikutusta. Kun rakennuspaikka on valittu, ei perustusten hiilijalanjälkeen enää voida merkittävästi vaikuttaa, vaan kyse on enemmänkin toteavasta laskennasta.
- **Betonirakenteiden raudoitukset ja betonilaatu:** betonin ja betoniterästen todellinen määrä ja laatu tarkentuvat rakennesuunnitelmissa.
- **Kantavat teräsrakenteet:** määrät ja materiaalilaadut tarkentuvat.
- Pilarit ja palkit saadaan joissain tapauksissa vasta rakennemallin myötä mukaan CO₂-laskentaan, koska arkkitehtimallinnuksessa ei yleisesti vaadita näiden osalta muuta kuin päägeometrian mallinnus, ja esim. materiaalitieto voi siksi puuttua.
- **Kantavat puurakenteet** esim. kattorakenteista saadaan mukaan. Näiden hiilijalanjälki on kuitenkin yleensä pieni ja kokonaisuuden kannalta näillä ei ole paljoa merkitystä betoni- tai teräsrunkoisissa rakennuksissa.

Kaiken kaikkiaan rakennemallista saatavia yleisiä materiaali- ja määrätietoja on mahdollista hyödyntää hankkeen ja suunnittelun edetessä periaatteessa neljällä eri tarkkuustasolla CO₂-laskentaan:

1. **Eri runkovaihtoehtojen hiilijalanjälki karkeasti:** Eri runkovaihtoehtoista tarvitaan alustavat suunnitelmat ja mallinnus, jotta määrät ja hiilijalanjälki voidaan karkeasti arvioida. Sama mallinnus ja määrälaskenta palvelevat myös mm. kustannuslaskentaa ja muuta vaihtoehtoverailua.
2. **Toteutussuunnittelun käynnistyttyä, urakkalaskentavaiheessa elementtien ja kokoonpanojen kokonaismäärä sekä rakennesuunnittelijan tyyppielementtien perusteella määritetyt keskimääräiset hiilijalanjäljet:** Suunnitteluprosessin edettyä urakkalaskentavaiheeseen, hiilijalanjäkilaskentaan saadaan rakennemallista osien (esim. betonielementtien) kokonaismäärä ja suunniteltujen tyyppielementtien avulla alustavat keskimääräiset materiaalien määrätiedot. Näillä tiedoilla voidaan tarvittaessa laskea ko. osien hiilijalanjäljen määräärvon käyttäen geneerisiä materiaaliarvoja, tai pyytää suoraan vaihtoehtoisilta toimittajilta valmistajakohtaiset tuotearvot. Toimittajat voivat siis alustavan rakennemallin määrätietoihin perustuen antaa tarjouksessaan hinnan rinnalla omien tuotteidensa valmistajakohtaisen hiilijalanjälkitiedon.
3. **Päärakennesuunnittelun valmistuttua hiilijalanjälki voidaan laskea mallipohjaisesti tarkemmin kaikkien rakennesuunnittelijan vastuulla olevien rakennusosien osalta** käyttäen geneerisiä materiaaliarvoja. (Periaatteessa samaa määrätietoa voidaan käyttää kahteen kertaan, eli ensin geneerisillä arvoilla laskentaan, ja hankintojen toteuduttua päivittää laskelma valmistajakohtaisilla arvoilla, jos tuotevalmistajat eivät vastaa projektikohtaisten tuotteiden tarkasta suunnittelusta).

4. Jos tuotevalmistajat kuten betonielementtitoimittaja tai teräsrunkotoimittaja vastaa myös elementtien / runko-osien tarkasta suunnittelusta tai esittää vaihtoehtosuunnitelman, lasketaan hiilijalanjälki tältä osin tarkemmin toimittajan rakennemallin perusteella.

Hankkeen lopussa rakennuskohteen kattava tuotearvo lasketaan joka tapauksessa rakennemallin pohjalta siltä osin kuin esivalmistus ja rakentaminenkin on tapahtunut rakennesuunnitelmien perusteella, käyttäen valmistajakohtaisia materiaaliarvoja. Tätä täydentää arkkitehtimallin pohjalta laskettavien osien hiilijalanjälki, koska esimerkiksi kevyet väliseinät ja tilavarusteet kuten kiintokomerot ja märkätilakalusteet ovat arkkitehdin suunnittelu- ja mallinnusvastuulla. Kohteen toteutunut kokonaishiilijalanjälki lasketaan siis BIM-pohjaisessa prosessissa osittain tarkan rakennemallin ja osittain tarkan arkkitehtimallin sekä mahdollisesti osittain myös talotekniikkamallin perusteella suunnittelun vastuurajoja noudattaen.

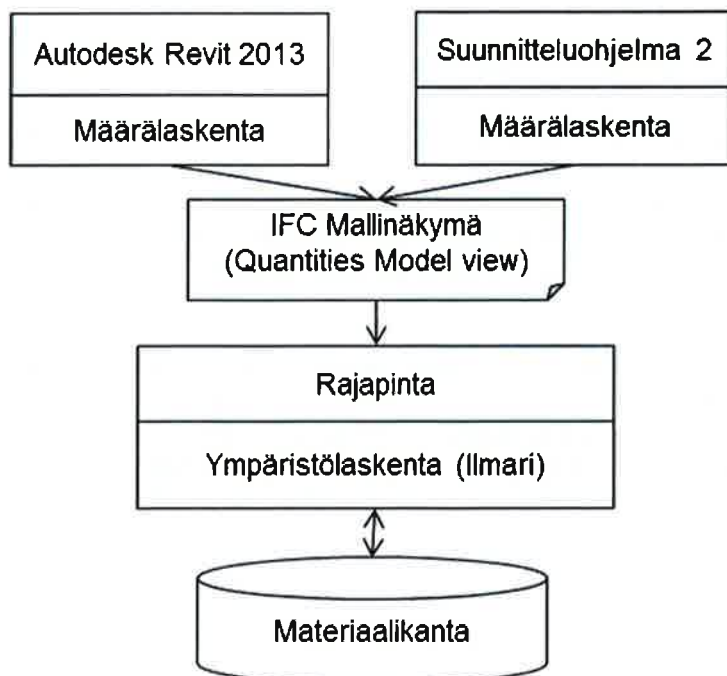
8. Tapaustutkimus 1 – valmistajakohtaisten ohjerakenteiden hiilijalanjäljen käyttö suunnittelussa ja arkkitehtimallisissa

Tapaustutkimuksessa 1 tavoitteena oli selvittää ILMARI-laskentapalvelulla tehtävän hiilijalanjälkiarvion yksinkertaistamista.

VTT:n ILMARI on verkossa toimiva arviointipalvelu, jonka avulla lasketaan suunniteltavalle rakennukselle hiilijalanjälki (eli kasvihuonekaasujen nettosumma). Hiilijalanjälki lasketaan määrittämällä rakennuksessa käytetyt rakennetyypit käyttäen Ilmarin materiaalitietokannassa olevia materiaalitietoja. Ilmarin materiaalitietokanta sisältää suuresta joukosta materiaaleja kasvihuonekaasujen päästöarviot massayksikköä kohden.

Hiilijalanjäljen laskua varten ILMARI tarvitsee tiedon rakennetyyppien pinta-aloista tai tilavuuksista, jotka saadaan laskettua BIM-mallista määrälaskentaohjelman avulla. Käytössä oleva versio ILMARISTA käyttää määrälaskentaan erillistä määrälaskentaohjelmaa, jonka tuottaman Excel-tiedosto luetaan Ilmariin. Ilmari yhdistää Excel-tiedostosta saatavat eri rakennetyyppien määrätiedot Ilmarin materiaalikannan sisältämään massayksikkökohtaiseen hiilijalanjälkitietoon, jolloin saadaan laskettua koko rakennuksen hiilijalanjälki.

Tapaustutkimuksessa yksinkertaistettiin Ilmarin tiedonsiirtoa kehittämällä Revit 2013-ohjelmiston määrälaskentaa hyödyntävä laajennusohjelman prototyyppi, joka laskee määrätiedot ilman erillistä määrälaskentaohjelmaa. Revitin laajennusohjelma kirjoittaa määrälaskennan tuloksen IFCXML-tiedostoksi, joka noudattaa määrätiedon siirtoon tarkoitettua IFC:n mallinäkömää ja tapaustutkimuksessa kehitetty Ilmarin rajapinta lukee määrätiedot IFCXML-tiedostosta (Kuva 9).

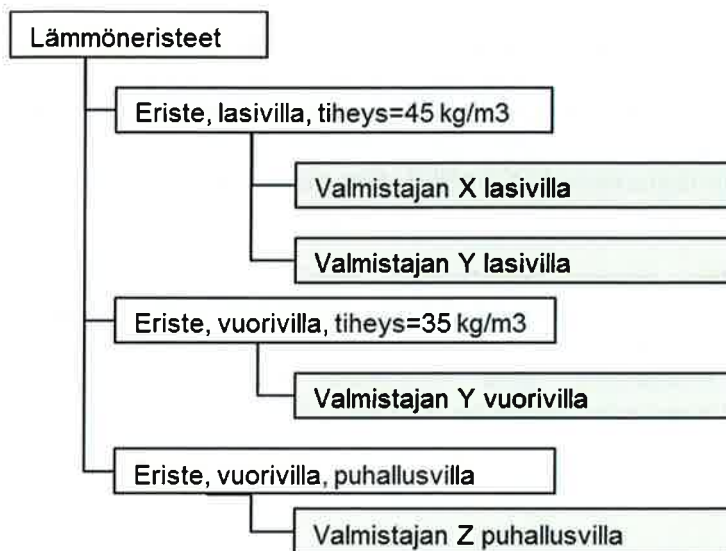


Kuva 9. Tiedonsiirto suunnitteluohjelman ja Ilmarin välillä.

Tapaustutkimuksessa käytettiin Revitillä suunniteltua kerrostalon BIM-mallia, jossa seinäelementteinä oli käytetty Weberin elementtejä ja Revitin rakennetyypit oli nimetty Weberin nimeämiskäytännön mukaan. Ilmariin luotiin samoin nimetyt rakennetyypit, joiden

materiaalikerrokset määriteltiin käyttäen Ilmarin materiaalikannassa olevia materiaalitietoja. Rakennetyyppikohtaiset määrät (tilavuudet ja pinta-alat) laskettiin Revitin laajennus-ohjelmalla ja määrätiedot tallennettiin IFCXML-formaatissa.

Ilmarissa laskenta tehdään käyttäen geneerisiä tuotenimikkeitä, joille on laskettu keskimääräiset hiilijalanjäljet. Tuotekohtaisen tiedon hyödyntäminen mahdollistaisi suunnittelun edetessä tarkentuvan hiilijalanjäljen laskennan: suunnittelun alkuvaiheessa laskenta tehtäisiin geneerisellä tiedolla ja suunnittelumallin tarkentuessa saataisiin tarkempi, tuotekohtaiseen tietoon perustuva laskelma. Vaikka kaikista tuotteista ei olisi olemassa tuotekohtaista hiilijalanjälkitietoa, saadaan geneeristen ja tuotekohtaisten tietojen muodostaman hierarkian (Kuva 10) avulla laskettua hiilijalanjälki lähinnä vastaavan geneerisen tuotteen tietojen avulla.



Kuva 10. Geneeristen ja tuotekohtaisten nimikkeiden hierarkia.

Mitä paremmin suunnitteluohjelmat ja laskentaohjelmat saadaan integroitua, sitä kustannustehokkaammin hiilijalanjäljenlaskenta tehdään. Edellä kuvatussa tapaustutkimuksessa Ilmarin laskennassa tarvittavat rakennetyypit tehtiin manuaalisesti, valiten Ilmarin materiaalikannasta suunnittelussa käytettyjä materiaaleja lähinnä vastaavat materiaalit. Jos suunnittelumallissa olisi käytössä yksikäsitteiset, standardoidut nimikekoodit, voitaisiin manuaalista työtä vähentää ja jopa kokonaan poistaa.

Tapaustutkimus toteutettiin Revit 2013-ohjelmiston laajennusrajapintaa käyttäen, eikä toteutettu ohjelmisto siis ole suoraan käytettävissä muiden suunnitteluohjelmien kanssa. Tiedon siirto Ilmariin kuitenkin tehtiin IFC-standardin mukaisesti, eli kun muista suunnitteluohjelmista saadaan määrätiedot tallennettua samassa formaatissa, voidaan samaa menetelmään käyttää hiilijalanjäljen laskentaan myös muiden tietomallipohjaisten suunnitteluohjelmien kanssa.

9. Tapaustutkimus 2 – tuotevalmistajakohtaisen hiilijalanjälkitiedon jakelu hajautetussa tietohallintajärjestelmässä

Tapaustutkimus 3 oli Ruukin pilotti, jossa rakenteiden sisältämä hiilijalanjälki laskettiin BIM mallista saatavien määrätietojen ja Ruukin tuotetietokannasta saatavien CO₂ (raaka-aineiden hankinnasta tehtaan portille) arvojen avulla.

BIM mallin ja tuotetietokannan linkitys tehtiin ohjelmoidulla Tekla-raportilla, joka ensin listasi rakenteet ja niiden määrät (m², kg) Tekla-mallista, haki sen jälkeen rakenteiden CO₂ arvot (g/m², / g/kg) tuotetietokannasta ja laski lopuksi rakenteiden hiilijalanjäljen.

Pilotissa esitetyllä tavalla tuotetiedot on mahdollista hakea tuoteosavalmistajan omasta tietokannasta missä ne ovat keskitetyksi ja ajan tasalla.

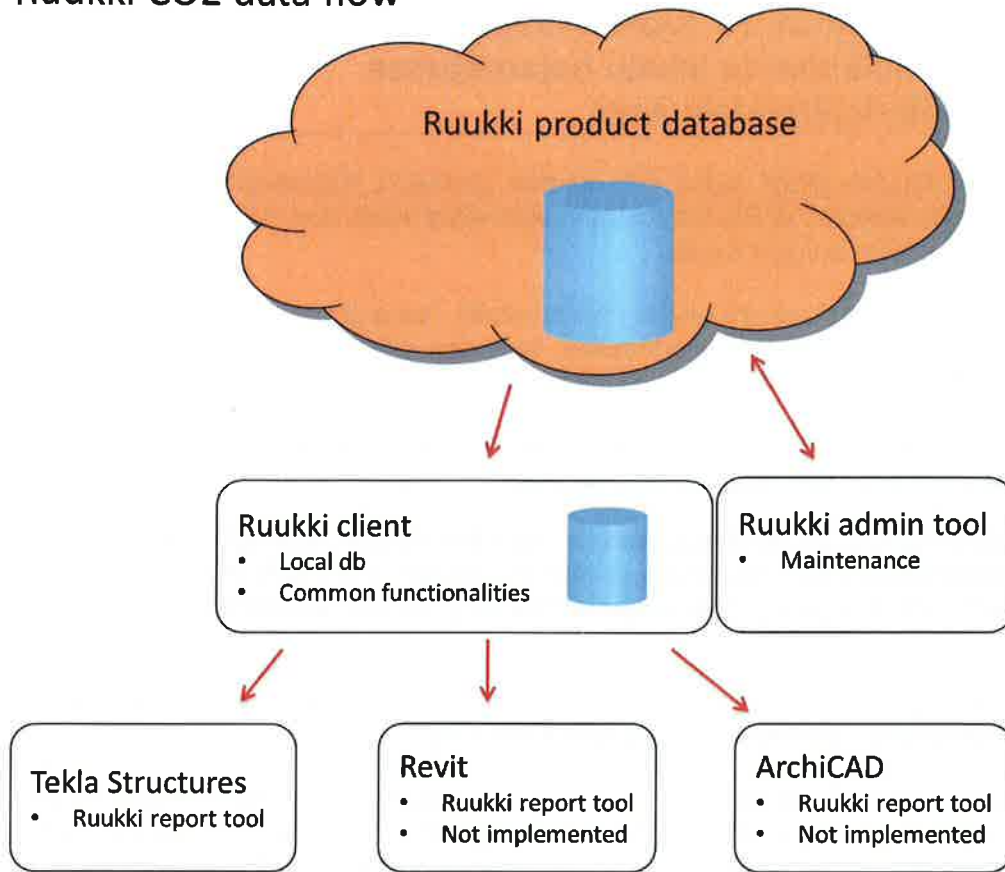
Tulevien tuotetieto parametrien laskentaa varten raporttiin lisättiin käyttäjille mahdollisuus parametrien ja laskentakaavojen lisäykseen ja muokkaukseen. Näin BIM malliin ei tarvitse jatkossakaan sisällyttää tietoa joka jo löytyy ajantasaisena yhdessä keskitetyssä paikassa.

Pilotissa linkitys mallitiedon ja tuotetietokannan välillä perustui Ruukin standardoituihin tuotenimiin. Geneeristen tuotteiden linkittäminen toimittajakohtaisiin parametreihin vaatii erilaisen linkitysmenetelmän, eikä sitä tässä pilotissa käsitelty.

Nyt pilotoitu menetelmä mahdollistaa yhden tuoteosavalmistajan tuotteiden hiilijalanjäljen laskennan. Myös uudet parametrit (esim. CO₂ parametrit koko elinkaaren vaiheille) on pilotin menetelmällä mahdollista laskea sitä mukaan kun parametreja lisätään tuotetietokantaan.

Haasteena on vielä eri tuotevalmistajien tietojen linkittäminen toisiinsa ja geneerisiin tuoterakenteisiin.

Ruukki CO2 data flow

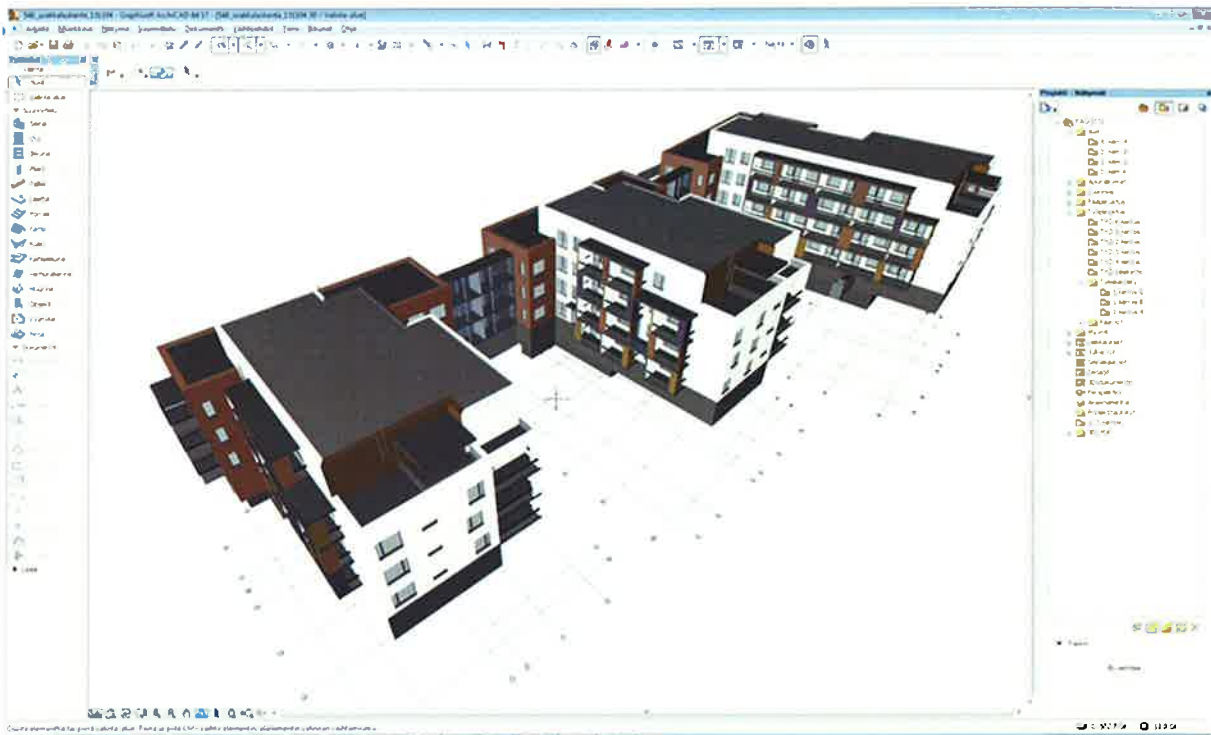


Kuva 11. Ruukin hiilijalanjälkilaskennan tietovirrat hajautetussa tietohallintajärjestelmässä.

10. Tapaustutkimus 3 – rakennuksen hiilijalanjälkiarvon laskeminen prosessin eri vaiheissa

Tapaustutkimukseksi valittiin Skanskan oma asuinkerrostalokohde (kohteen kuva alla, Kuva 12), jolle laskettiin hiilijalanjälkiarvot käyttämällä ILMARI-työkalua.

Kohde koostuu kolmesta talosta A, B ja C, joiden bruttoala on yhteensä 6 753 m² ja tilavuus on 22 489 m³. Päätoteuttajalta saatiin kohteen arkkitehtimalli (ArchiCAD 16), IFC-malli sekä sijaintipohjainen määräluettelo (pdf).



Kuva 12. Näkymä Case- kohteen arkkitehtimallista (ArchiCAD 16).

10.1 Hiilijalanjälkityökalu ILMARI

Web-pohjaisen ILMARI työkalun avulla laskettiin suunnitellulle rakennukselle hiilijalanjälki eli kasvihuonekaasupäästöjen yhteisvaikutusta kuvaava ilmastonlämpenemispotentiaali.

Kohteen hiilijalanjälkilaskentaa varten laskentaohjelmaan (ILMARI-laskentapalveluun) määritettiin käytetyt rakennetyypit ja ladattiin IFC-mallista tuotettu Excel-pohjainen määräluettelo.

Rakennetyypin määrittelyn yhteydessä nähdään ILMARI-ohjelman sille laskema hiilijalanjälki. Samalla voidaan nähdä rakennetyypin koostumuksen vaikutus rakennetyypin hiilijalanjälkeen päivittämällä tyyppiä vaihtoehtoisilla koostumuksilla. Laskenta suoritettiin tutkimalla myös ympäristöä enemmän kuormittavan sementtilaadun sekä ikkunatyypin vaikutusta tulokseen.

Laskenta keskittyi kasvihuonekaasupäästöiltään merkittävimpiin rakennusosiin, kuten perusmuuriin (näkyvässä perustukset), rakennusrunkoon, julkisivuihin, seiniin ja päällysteisiin. Arkkitehtimallin perusteella laskentaa tarkennettiin niiden rakennusosien osalta, joiden tietoja ei saatu suoraan IFC-mallista.

Tulokset esitetään luettelona, joka sisältää rakennusosakohtaisen määrätiedon ja hiilidioksidiekvivalenttimäärän, rakennuksen yhteenlasketun hiilijalanjäljen sekä kerrosalaa ja rakennustilavuutta kohden lasketun tuloksen.

10.2 Case-kohteen hiilijalanjälkiarvot

Tarkastellun kohteen hiilijalanjälkiarvot esitetään seuraavan jaon mukaisesti:

- tyyppiarvo
- tavoitearvo
- määrääarvo ja
- tuotearvo.

Kohde edustaa asuinrakennusta, jonka hiilijalanjäljen tyyppinen arvo on noin 250 kg/m². Toisaalta kun kyseessä on betonirakenteinen kerrostalo, niin sen hiilijalanjäljen TYYPPIARVO on 300 kg/m². Tässä kuitenkin tavoitellaan parempaa hiilijalanjälkeä ja TAVOITEARVOKSI asetetaan esimerkinomaisesti 250 kg/m². Tavallisesti OHJEARVO laskettaisiin ohjerakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla, mutta tässä tapaustutkimuksessa ohjearvoa ei laskettu. MÄÄRÄARVO saadaan kun hiilijalanjälki lasketaan määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla ja tämä on ILMARI työkalulla lasketun tuloksen mukaan 313 kg/m² (Taulukko 21).

Taulukko 21. Case-kohteen hiilijalanjälkilaskennan tulos.

ID	Rakennusosa	Määrä	Hiilijalanjälki, CO ₂ e	Yksikkö
121	Perustukset	36 m ³	12 534	kg
123	Runko	8215 m ³	961 473	kg
124	Julkisivut	8395 m ²	770 866	kg
131	Tilan jako-osat	7881 m ²	370 995	kg
Koko rakennuksen hiilijalanjälki:			2 115 868	kg
Rakennuksen hiilijalanjälki per pinta-ala:			313	kg / m ²
Rakennuksen hiilijalanjälki per tilavuus:			94	kg / m ³

Kohteen laskennan tulos rakennusosittain sekä laskennan tarkkuuden mukaan esitetään taulukossa (Taulukko 22). Tuloksena esitetään laskennan perustapaus arkkitehtimallin mukaan, jota on sitten täydennetty.

Täydennetyissä tapauksissa ikkunoiden ympäristölaskennassa on otettu huomioon myös ikkunan puitteet (Puu/Al), betonielementin valmistuksessa on käytetty ympäristökuormittavampaa sementtiä, huomioon on otettu myös lattiapinnat (parketti) ja huomioon on otettu myös varusteet ja kiinteät kalusteet.

Taulukko 22. Fagotti laskennan hiilijalanjälkitulos rakennetyypin ja osuuden mukaan.

Rakennetyyppi	kg CO ₂ e, perus	kgCO ₂ e, ikkuna	kgCO ₂ e, betoni	kgCO ₂ e, parketti	kgCO ₂ e, varusteet
Alapohjat	98 808	98 808	98 808	106196	98 808
Hormi	49 251	49 251	49 251	49 251	49 251
Välipohjat ja alakatot	556 095	556 095	556 095	557 150	556 095
Parvekkeet	136 227	136 227	136 227	136 227	136 227
Yläpohja	169 899	169 899	169 899	169 899	169 899
Ulkoseinät	676 319	676 319	885 978	676 319	676 319
Ikkunat	18 470	55 410	55410	18 470	18 470
Ovet	35 850	35 850	35 850	35 850	35 850
Väliseinät	350 827	350 827	350 827	350 827	350 827
Muut	22 322	22 322	22 322	22 322	22 322
Varusteet					22 000
Yhteensä	2 115 868	2 151 008	2 323 727	2 122 511	2 136 068
	100 %	102 %	110 %	100,3 %	101 %

11. Johtopäätökset ja yhteenvedo

Raportti käsittelee rakennuksen tietomallipohjaista ympäristövaikutusten laskentaa. Selvityksen kohteena on rakennuksen tuotteisiin sitoutuneen ympäristövaikutuksen (ns. embodied environmental impact) arviointi suunnitteluprosessin eri vaiheissa tietomallin avulla. Raportissa asiaa on konkretisoitu käyttämällä esimerkkinä hiilijalanjälkilaskentaa, mutta prosessi soveltuu myös muiden ympäristövaikutusten indikaattorien (Taulukko 1) BIM-pohjaisen laskentaan.

Jotta ympäristövaikutusten laskennalla olisi suunnittelua ohjaava vaikutusta, laskentaa täytyy toteuttaa mahdollisimman varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Toisaalta, mitä aikaisemmassa vaiheessa suunnittelua ollaan, sitä epätarkempi on suunniteltava kohde, ja sitä vähemmän oikeita, loppuratkaisussa käytettyjä tietoja on mallinnettu. Eri vaiheessa tehdyille laskennalle raportin laatijat ovat ehdottaneet seuraavia nimityksiä: tyyppi-arvo, tavoitearvo, ohje-arvo, määrää-arvo ja tuote-arvo. Nämä arvot kuvaavat suunnittelun tasoa (määrää-arvo tai oikea tuote-arvo), määrittävät käytetyn tiedon laadun (tyyppi-, tavoite- vai ohje-arvo) sekä myös ympäristövaikutusten lähtötietojen alkuperän (geneerinen / spesifinen tieto). Tämä jako selventää rakennusten ympäristövaikutusten laskennan tarkkuustasoa sekä tuo tuloksen käsittelyyn selvyttä verratessaan ei vaiheessa toteutettuja laskentoja.

	Hiilijalanjäljen arvo	
Hankesuunnittelu	TAVOITEARVO	Määritetään rakennustyyppin TYYPPIARVON avulla
Ehdotussuunnittelu	OHJEARVO	Lasketaan ohjerakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
Yleissuunnittelu	Osittainen MÄÄRÄARVO	Lasketaan määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
Toteutussuunnittelu	Kattava MÄÄRÄARVO	Lasketaan määritellyillä rakenteilla ja geneerisillä materiaaliarvoilla
Rakentaminen	Kattava TUOTEARVO	Lasketaan määritellyillä rakenteilla ja valmistajakohtaisilla materiaaliarvoilla

Ympäristövaikutusten laskennan helpottamiseksi raportti esittää rakennusten hiilijalanjäljen tyyppi-arvot kerrostaloille, erillistaloille sekä rivitaloratkaisulle. Tyyppi-arvon määrittämisessä on käytetty Suomen rakennuskantaa, jossa laskennan arvo on painotettu tyypillisten materiaaliratkaisujen mukaan. Asuinrakennusten suhteen tyyppi-arvoiksi määritettiin seuraavat arvot (elinkaaren vaiheet A1-5 +B1-5):

- asuinrakennus 250 kg CO_{2e}/m²
- kerrostalo 300 kg CO_{2e}/m²
- omakotitalo kg CO_{2e}/m²
- rivitalo 180 kg CO_{2e}/m² (tai 225 kg CO_{2e}/m² jos tiilijulkisivu).

Raportti sisältää myös hiilijalanjälkiarvoja ohjerakenteille ja rakennusaineille käytettäväksi Suomessa. Nämä geneeriset arvot käsittävät rakennuksen elinkaarivaiheet A1-5 (Taulukko 2).

Raportti esittää myös geneerisen ja spesifisen tiedon lähteet sekä katsauksen geneerisen tiedon vaihtelusta eri lähteiden pohjalta käyttäen esimerkkinä hiilijalanjälkiä. Tiedon lähteinä esitetään useita tietokantoja, joissa esitetään tuotevalmistajakohtaista, maakohtaista, eurooppalaista ja yleistä alkuperää olevaa lähtötietoa data- ja ympäristöselostemuodossa. Tuloksen konkretisointia varten esitetään tyypillisille rakennusmateriaaleille, kuten betonille ja puulle, tulokseen vaikuttavien tekijöiden suuruusluokka-arvioita.

Raportissa käsitellään myös tietomalleista saatavan tiedon laatua. BIM-pohjaiseen hiilijalanjälkilaskentaan käytetään suunnitteluprosessin aikana tällä hetkellä pääasiassa arkkitehtimalleja.

Tyypillisesti näistä saadaan ensin rakennusosien määrätiedot ja myöhemmin myös rakennusosien rakennetyypit ja materiaalmäärittelyt muissa ohjelmissa tapahtuvaan CO₂-laskentaan, koska ei ole tavallista, että mallien rakennusosat tai materiaalit sisältävät sitoutuneen hiilijalanjäljen ominaisuustietona.

Suunnitteluratkaisuja tulee ohjata ympäristöystävälliseen suuntaan koko suunnitteluprosessin ajan, mutta käytännössä vasta toteutussuunnitteluvaiheessa arkkitehtimalli sisältää materiaalien hiilijalanjäljen laskentaan tarvittavat materiaalitiedot.

Malleissa esiintyviä tyypillisimpiä puutteita ja heikkouksia ovat, että rakennusosan tunniste puuttuu ja tunnistamiseen vaaditaan mallin manuaalista tarkastelua, sekä rakennetyypimäärittelyn tai materiaalinimikkeen puuttuminen tai epätarkkuus ja tarve hakea lisätietoa perinteisistä suunnitelmadokumenteista.

Kehittämistarpeet ja -mahdollisuudet koskevat mallien tietosisällön hyödynnettävyyttä yleisesti, mutta erityisesti materiaalien CO₂-laskentaa varten malleihin tarvittaisiin nykyistä kattavammin ja täsmällisemmin nimettyinä kaikki rakenteiden sisältämät materiaalinimikkeet, mukaan lukien pinnat. BIM-pohjaisen laskennan ulkopuolelle jäävät tällä hetkellä myös mm. hissit, koska ne löytyvät arkkitehtimalleista tavallisesti 2D-muodossa palvelien vain piirustustuotantoa.

Rakennemalleja ei käytetä vielä juuri ollenkaan ympäristövaikutusten laskentaan, mutta näistä saataisiin rakennuskohteen hiilijalanjäljen kattavan määrääron laskentaan mm. arkkitehtimallista puuttuvat perustukset. Muidenkin rakenteiden osalta saadaan täsmällisempää määrä- ja materiaalitietoa, kuten esim. betonirakenteiden todelliset rauditusmäärät ja betonin laatu. Luonteeltaan rakennemallin perusteella suoritettava laskenta on kuitenkin jossain määrin toteavaa, ja suunnittelunohjaus ympäristöystävälliseen suuntaan tapahtuu käytännössä pääasiassa arkkitehtisuunnitelmien pohjalta. Hankkeen lopussa rakennuskohteen kattava tuotearvo tulee laskea rakennemallin pohjalta siltä osin kuin esivalmistus ja rakentaminenkin on tapahtunut rakennesuunnitelmien perusteella. Tätä täydentää mm. arkkitehtimallin kevyet väliseinät ja tilavarusteet, jotka ovat arkkitehdin suunnittelu- ja mallinnusvastuulla. Laskentaan käytetään tulevaisuudessa mahdollisesti myös talotekniikkamallia?

Raportin loppukappaleet 8, 9 ja 10 sisältävät tapaustutkimuksia, jotka selventävät BIM-pohjaista hiilijalanjälkilaskentaa prosessin eri vaiheissa eri toimijoiden näkökulmista ja esittelevät kehitystyötä, jota toteutettiin BIM-pohjaisen ympäristölaskennan parantamiseksi.

Liitteet /Lähdeviitteet

Arkkitehtisuunnittelun tehtäväluettelo ARK12. RT 10-11109. Ohjeet toukokuu 2013

CEN 15948

EN 15804 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products

EN 15942 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Communication format business-to-business

EN 15978:2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method

Häkkinen, Tarja, Ed. Sustainable refurbishment of exterior walls and building facades. Final report, Part A - Methods and recommendations. 2012.VTT,Espoo.303 p. + app. 40 p. VTT Technology 30 ISBN 978-951-38-7845-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Häkkinen, Tarja and Nykänen, Veijo. Sustainable building process. <http://www.sb11.org>. Helsinki World Sustainable Building Conference SB11, Helsinki, 18 - 21 October 2011. Proceedings. ISBN 978-951-758-534-7 ISSN 0356-9403. RIL; VTT. Helsinki (2011), 8 p. + extended abstract 2 p

Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR12, RT 10-11107. Ohjeet maaliskuu 2013

ISO 14040 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. 2006

ISO/TS 15067-1 Carbon footprint of products — Part 1: Quantification

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 1: Introduction to the 2006 Guidelines

Rekola, M. Ekopassi hanke. Tulokset esitetty Kaskinen, Hannu, 2011, Rakentajan ympäristöjälki, TM Rakennusmaailma, nro 6, 2011

RIBA Plan for work. Overview 2013. www.ribaplanofwork.com. Editor: Dale Sinclair. Published by RIBA, 66 Portland Place, London, W1B 1AD. ISBN 978 1 85946 519 6

Ruuska, A; Häkkinen, T. The significance of various factors for GHG emissions of buildings, 2014. International Journal of Sustainable Engineering.

Ruuska, Antti, Häkkinen, Tarja, Vares, Sirje, Korhonen, Marja-Riitta ja Myllymaa, Tuula. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 8 2013. ISBN 978-952-11-4154-6

Vares, S. Pulakka, S., Häkkinen, T. Assessment of refurbishment concepts of concrete sandwich elements and windows in Finland. 7th framework programme SUSREF (Sustainable Refurbishment of Building Facades and External Walls), Deliverable D 3.5 from 20th May 2011.

Vares, S., Sulankivi, K., Palos, S. et al. 2013. Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta. VTT-R-01180-13

Vares, S. Sawn timber manufacturing and carbon footprint. Section 5.3 in Wood in Carbon Efficient Construction - Tools, methods and applications. ISBN 978-9-0820-9081-9. Ed. Matti Kuittinen, Alice Ludvig, Gerhard Weiss. 2013. p. 64 – 68.

Proceedings of the 3rd Workshop on sustainable building projects in steel - case studies for a new design approach: January 29, 2013, Timisoara, Romania. edited by V. Ungureanu, A. Ciutina, H. Koukkari. - Timișoara: Orizonturi Universitare, 2013. ISBN 978-973-638-526-1, p 318 (CHAPTER III, CASE STUDY: STEEL INTENSIVE MULTI-STOREY OFFICE BUILDING. ADAPTATION FOR TWO CLIMATIC REGIONS)

Termex eriste, EPD. 2014. VTT-CR-00477-14. 28.2.2014.

YTV Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 3. Arkkitehtisuunnittelu. Saatavilla <http://buildingsmart.fi/8>

