

VTT Technical Research Centre of Finland

Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta

Vares, Sirje; Sulankivi, Kristiina; Palos, Salla; Kojima, Jun; Kiviniemi, Markku; Tuomisto, Mikko

Published: 26/03/2013

Document Version
Publisher's final version

[Link to publication](#)

Please cite the original version:

Vares, S., Sulankivi, K., Palos, S., Kojima, J., Kiviniemi, M., & Tuomisto, M. (2013). *Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti, No. VTT-R-01180-13

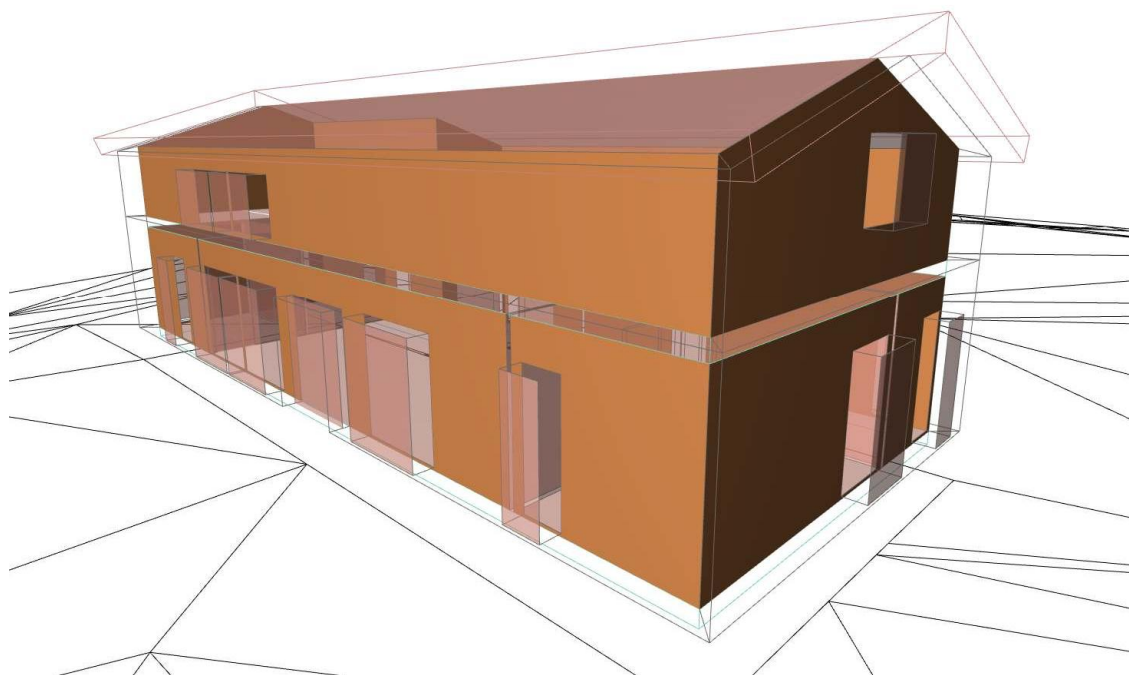


VTT
<http://www.vtt.fi>
P.O. box 1000FI-02044 VTT
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta

Kirjoittajat:

Sirje Vares, Kristiina Sulankivi, Salla Palos, Jun Kojima, Markku Kiviniemi, Mikko Tuomisto

Luottamuksellisuus:

julkinen

Raportin nimi Tuotetiedon käyttö tietomallinnuksessa esimerkkinä ympäristövaikutusten laskenta		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Ilkka Romo, Skanska Oy, Markku Laine, Saint-Cobain Weber Oy Heikki Sarin, Parma Oy Petteri Lautso, Ruukki Construction Oy Jukka Suomi, Tekla Oyj		Asiakkaan viite
Projektin nimi Tietomallipohjainen tuotetiedonhallinta teollisen rakentamisen toimitusketjussa		Projektin numero/lyhytnimi BIMCON
Raportin laatijat Sirje Vares, Kristiina Sulankivi, Salla Palos, Jun Kojima, Markku Kiviniemi, Mikko Tuomisto		Sivuja/liitesivuja 75/2
Avainsanat Tietomallinnus, tuotetieto, ympäristövaikutukset, BIM, arkkitehtisuunnittelu		Raportin numero VTT-R-01180-13
<p>Tiivistelmä</p> <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>Raportti keskittyy tuotetiedonhallintaan rakennusten tietomallipohjaisessa arkkitehtisuunnittelussa sekä arkkitehtityökalujen hyödyntämiseen rakennuksen ympäristövaikutusten laskennassa. Tämä edustaa vain osaa rakentamisessa tarvittavasta tuotetietojen käsittelystä, mutta näin kehitystarvetta voidaan lähestyä rajatulla aineistolla ja periaatteet ovat laajennettavissa usempiin muihin tuote- ja ominaisuustietoihin. Ympäristölaskennan tarpeisiin esimerkiksi arkkitehtisuunnitteluun mallinnustyökaluja tarjoavat ohjelmakehittäjät ovat alkaneet kehittää laskentatyökaluja, joilla tietomalleja pyritään hyödyntämään analysoinneissa. Tarjolla olevista ympäristövaikutusten laskentaohjelmista löytyi eroja mm. ohjelmien käyttöperiaatteessa, käytön helppoudessa ja laskennan kattavuudessa. Tietomallipohjainen ympäristölaskenta tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää suunnitteluprosessissa syntyviä malleja tehokkaasti myös ympäristönäkökulmien huomioon ottamiseen suunnittelussa. Työssä tunnistetut haasteet ja jatkokehitystarpeet liittyvät mm. osaamisen kehittämiseen, suunnitteluprosessiin, ohjelmistojen käytettävyyteen sekä laskennan lähtötietoihin ja tuloksien tulkintaan.</p> <p>Sovellusesimerkkeinä esitetään pientalon hiilijalanjälkilaskennat käyttämällä käytönaikaisen vaikutuksen laskentaan arkkitehtisuunnitteluun tarkoitettua ohjelman ArchiCAD 16 sisältämää Energia-arvio sovellusta (Ecodesigner perusversio) sekä materiaaleihin sitoutuneen vaikutuksen laskentaan VTT:n hiilijalanjälkityökalua Ilmari.</p>		
Luottamuksellisuus	luottamuksellinen	
Espoo 18.4.2013		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Sirje Vares, erikoistutkija	Markku Kiviniemi, erikoistutkija	{Nimenselvennys, asema}
VTT:n yhteystiedot		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaaja ja VTT		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Abstract

The study is part of the BIMCON research project (BIM based product data management in industrialized construction supply chain), the objective is to develop a comprehensive product data management procedure for industrialized construction process that is based on usage of the building information model (BIM). The procedure aims to develop a systematic management of product data as part of the building information model based on the design and construction. In practice, this defines the product requirements and the product information in the BIM-based design as well as the use of this product data, which is saved in or linked into the model. This is done for the purpose of collecting and managing discipline-specific information in supply chains, as well as completing building product information in the entire supply chain.

The report focuses on the product data management in BIM-based architectural design and on the use of architectural tools for calculating the environmental impact of the building. Indeed these represent only a part of the product information required to be processed in the construction project however, this way the development needs can be approached with limited information and the principles can be further extended to other product and property information. In addition, this creates procedures for carrying out environmental analyses which are more dynamic than in the past and to some extent as part of design work.

For example, software developers who provide architectural modelling tools have started to develop their tools also for environmental analyses, aiming to take advantage of building information models. Differences identified in the available environmental calculation tools were related to the way/principle they can be used, ease of the use, and scope/coverage of the calculation. The BIM-based environmental calculation provides an opportunity to take advantage of the building information models created in the design process, and to efficiently take into consideration also the environmental aspects in the design. The identified challenges and future development needs are related to the development of skills/knowledge, the design process itself, the usability of the software, as well as to the data needed for the calculation and interpretation of the results.

A single-family house is used as a case example for the calculation of the carbon footprint resulting from the use of the building and the environmental impacts concerning the building materials. Carbon footprint is calculated by using the Energy evaluation tool included in the architectural modelling software ArchiCAD 16 (basic version of Ecodesigner), while the environmental impacts of the building materials are calculated by using VTT's carbon footprint tool Ilmari.

The BIMCON research project is part of a broad Finnish Built Environment Process Re-engineering (PRE) -research program, led by RYM Oy. In addition to VTT, Skanska Oy, Parma Oy, Ruukki Construction Ltd, Saint-Cobain Weber Ltd, Tekla Oy and Aalto University are involved in the BIMCON-work package. Steering of this study especially involved the representatives of Saint-Cobain Weber.

Espoo, Finland,

March 26, 2013

Alkusanat

Tutkimus on osa BIMCON-hanketta, jonka tavoitteena on kehittää tuotetietojen systemaattista hallintaa osana rakennusten tietomallipohjaista suunnittelua ja rakentamista. Menettelyn tavoitteena on tuotevaatimusten ja -tietojen määrittely mallintavassa suunnittelussa ja näiden tietomalliin tallennettujen tai linkitettyjen tietojen sähköinen hyödyntäminen ja täydentäminen koko toimitusketjussa.

Tutkimuksessa on keskitytty rakentamisen ja rakennusten ympäristövaikutusten laskennassa tarvittavien tuotetietojen hallintaan tietomallintamisen avulla. Nämä edustavat vain osaa rakentamisessa tarvittavasta tuotetietojen käsittelystä, mutta näin kehitystarvetta voidaan lähestyä rajatulla aineistolla ja periaatteet ovat laajennettavissa useimpiin muihin tuote- ja ominaisuustietoihin. Samalla syntyy menettelytapoja kuinka ympäristöindikaattorien laskentaa voitaisiin tehdä entistä dynaamisemmin ja osin osana muuta suunnittelutyötä.

BIMCON-hanke on osa laajaa RYM Oy:n johtamaa Built Environment Process Re-engineering (PRE) -tutkimusohjelmaa. BIMCON-työpakettiin osallistuvat VTT:n lisäksi Skanska Oy, Parma Oy, Ruukki Construction Oy, Saint-Cobain Weber Oy, Tekla Oy ja Aalto-yliopisto. Tähän tutkimuksen ohjaukseen ovat osallistuneet erityisesti Saint-Cobain Weberin edustajat.

Espoossa, 18.4.2013

Tekijät

Sisällysluettelo

Abstract	2
Alkusanat.....	3
Sisällysluettelo.....	4
1 Johdanto.....	5
1.1 Lähtökohta	5
1.2 Tavoitteet ja rajaukset	6
2 Tuotetiedon käsittely mallinnussovelluksissa.....	7
2.1 Yleistä	7
2.2 Graphisoft ArchiCAD.....	9
2.3 Revit Architecture.....	15
3 Tuotetiedon hyödyntäminen ympäristölaskennassa	20
3.1 Uudet vaatimukset	20
3.2 Rakennustuotteiden ympäristövaikutusten laskenta	20
3.3 Ekokriteerit.....	23
3.4 Tarvittava tuotetieto	24
3.5 Tietomallipohjaisen ympäristölaskennan haasteet.....	25
4 Laskentaohjelmat	27
4.1 Yleistä	27
4.2 ArchiCAD 16 Energia-arvio.....	27
4.3 Autodesk Ecotect Analysis.....	32
4.4 Ilmari	40
4.5 Muut ohjelmat	43
4.6 Laskentaohjelmien vertailu.....	46
5 Sovellusesimerkit.....	49
5.1 Perustiedot.....	49
5.2 Ympäristölaskenta käyttäen ArchiCAD 16 Energia arvio – työkalua.....	51
5.3 Ympäristölaskenta käyttäen VTT:n Ilmaria.....	60
6 Yhteenveto	66
Lähdeviitteet	71

LIITE 1 Energiatohokkuusarvio ja käytön aikainen hiilijalanjälki (esimerkkitulo)

1 Johdanto

1.1 Lähtökohta

Tietomallintamiseen perustuva suunnittelu on yleistymässä ja vakiintumassa talonrakennusalalla. Eri suunnittelualoilla on hieman erilainen kehitystilanne, mutta edelläkävijäyritykset tekevät kaikilla aloilla mallintavaa suunnittelua. Myös tietomallien hyödyntäminen rakennustuotannossa ja osavalmistuksessa etenee nopeasti.

Perustoimintamalli on kuitenkin se, että tietomallintaminen ovat suunnittelutoimiston sisäinen suunnittelumenetelmä ja mallista tuotetaan perinteiset piirustukset sekä laaditaan muut dokumentit ja nämä ovat sitovia suunnitelmadokumentteja. Vaikka tietomalli joissakin tapauksissa luovutetaan tuotannon käyttöön, on mallin tietosisältö usein suppea ja mallin käyttö rajoittuu tavallisesti visualisointiin ja määrätiedon tuottamiseen.

Tietomallien käyttö suunnittelijoiden välisessä sekä suunnittelijoiden ja tuotannon välisessä tiedonvaihdossa painottuu rakennuksen 3D-geometrian hyödyntämiseen ja eri mallien yhteensopivuuden varmistamiseen. Vaikka tietomallissa määritellään rakenteiden sisältöjä tai materiaaleja, eivät nämä määrittelyt ole vakioituja ja sähköisesti tulkittavissa vaan lähinnä tekstiä, jota tiedon käyttäjä ymmärtää. Vastaavasti tuotteiden ominaisuuksien tai niitä koskevien vaatimusten käsittelyssä tietomallissa on kehittämistarvetta sekä ohjelmien että toimintatapojen osalta. Tietomallista saatavien tuotetietojen perusteella ei vielä pystytä esimerkiksi hakemaan markkinoilta tuotevaatimukset täyttäviä vaihtoehtoja, vaan mallin lisäksi tähän tarvitaan vielä rakennusselostuksiin ja muihin erillisiin dokumentteihin tallennettua tietoa.

Talotekniikan malleissa määrittelyyn voi sisältyä myös LVI-koodi tai sähkökoodi, jonka perusteella tuotetieto on tulkittavissa ja sen perusteella voidaan toteuttaa tuotantoa palvelevia toimintoja esim. urakoitsijan kustannuslaskenta- tai hankintajärjestelmissä. Lisäksi voidaan toteuttaa linkkejä Talotekniikka-alan vakiintuneisiin tuotetietopankkeihin, joissa voisi olla ajantasaiset tuotetiedot käytettävissä.

Ympäristölaskennassa mallipohjaista suunnittelua (BIM) ei ole pystytty vielä juurikaan hyödyntämään. Yksittäisiä kokeiluja rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten laskentaan on kuitenkin tehty ja näitä kuvataan yksityiskohtaisemmin myös tässä raportissa:

Esimerkiksi kiviteollisuuden ArchiCAD objektien taustalle on kehitetty kivituoiteiden valmistuksesta aiheutuvat energiankulutus, hiilijalanjälki sekä raaka-aineiden kulutuslaskenta. Tämän avulla suunnittelija näkee suunnittelun edetessä objektikohtaiset tulokset reaaliaikaisesti. Kuitenkin kaikkien rakennustuotteiden osalta vastaava ratkaisu olisi liian raskas toteuttavaksi.

Lisäksi esim. uuteen ArchiCAD 16 versioon on sisällytetty karkea käytönaikainen energia- sekä hiilidioksidilaskenta, mutta materiaaleihin sitoutuneet vaikutukset puuttuvat edelleen.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Raportti keskittyy tuotetiedonhallintaan rakennusten tietomallipohjaisessa arkkitehtisuunnittelussa sekä arkkitehtityökalujen tai niillä tuotettujen mallien hyödyntämiseen rakennuksen ympäristövaikutusten laskennassa.

Tutkimuksessa on arvioitu ympäristöarviointien lähtökohtia, tietotarpeita ja tietomallipohjaista rakennussuunnittelua hyödyntäviä ympäristölaskennan työkaluja, jotka ovat joko varsinaiseen suunnittelusovellukseen sisältyviä laskentatoimintoja tai erillisiä ohjelmia. Tarkastelu on kohdistunut helppokäyttöisiin sovelluksiin, joita tavanomaiset suunnittelijat voisivat käyttää. Erityisosaamista vaativia simulointi- tai analysointiohjelmia ei ole käsitelty.

Tärkeimpänä näkökulmana on ollut tietomallimuotoisen rakennusta kuvaavan tiedon käyttämällisyydet laskennan lähtötietona, sekä selvittää miten hyvin mallien tietosisältöä voidaan eri sovelluksissa hyödyntää. Erityisesti tarkasteltiin voidaanko 3D-geometriaan perustuvan rakennusosien määrätiedon lisäksi hyödyntää tietomallissa määriteltäviä materiaali- tai tuotetietoja sekä onko niille määriteltäviä ympäristöominaisuuksia tai voidaanko ne helposti linkittää ympäristölaskentasovelluksen tietokantaan. Lisäksi on tarkasteltu tarjolla olevien ohjelmien käytettävyyttä ja eri ohjelmilla saatavien ympäristövaikutuslaskentojen kattavuutta.

Työssä on tunnistettu minkä ympäristöindikaattoreiden arvoja ohjelmat laskevat ja arvioitu niiden tarkoituksenmukaisuutta sekä verrattu indikaattoreita koskevaan standardointiin ja kansallisiin suosituksiin. Lisäksi osin on arvioitu sovelluksiin sisältyviä ympäristöominaisuuksien ilmoitettuja arvoja ja verrattu niitä suomalaisiin lähteisiin.

Tutkimus on luonteeltaan aihealueen kehittyneen nykytilanteen selvitys ja laskentasovellusten kuvaus. Työ on tutkimuskokonaisuuden ensimmäinen vaihe ja sitä jatketaan tavoitteena kehittää Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ympäristöominaisuuksiin perustuvaa tietomallipohjaista ympäristölaskentaa.

2 Tuotetiedon käsittely mallinnussovelluksissa

2.1 Yleistä

Geometria-, tunniste- ja ominaisuustieto: Tietomalleihin tallennettava tuotetieto voidaan periaatteessa jakaa geometria, tunniste- ja ominaisuustietoon. Kolmiulotteinen geometriatieto palvelee piirustusten tuottamista, 3D-visualisointia sekä määrälaskentaa lukumääräisesti, pinta-aloina ja tilaavuuksina. Kun rakennusosien ja tuotteiden tunnistet saadaan määrämuotoisina ja oikein mallista tuotettaviin listauksiin, voidaan määrätietoa hyödyntää esimerkiksi kustannuslaskennassa ja tuotannon suunnittelussa. Rakennusosien ja tuotteiden ominaisuustiedon lisääminen puolestaan mahdollistaa suunnitelman tietomallipohjaisen analysoinnin kuten rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnin.

Tietomallintamiseen soveltuvia rakennusosien tunnistetietoja ovat Talo 2000 nimikkeistön rakennusosakoodaus, tyyppitunnisteet ja yksilötunnisteet. Rakennustuotteisiin liittyviä tunnistetietoja ovat puolestaan Talo 2000 rakennustuotenimike, jälkimmäistä tarkentavat RT Tarviketietojärjestelmän ja Rasi – järjestelmän koodaus, sekä kauppatuotteen määrittelevinä tunnisteinä valmistajan tuotenimi ja numero tai EAN/LVI – koodi. Kansallisten luokitusjärjestelmien rinnalle on ollut pyrkimyksenä kehittää myös rakennusalan kansainvälinen luokitus, mutta käytännössä mitään yhteisesti hyväksyttyä luokittelujärjestelmää ei ole vielä käytössä. Erityisesti tietomallipohjaisen rakennusprosessin tuotetiedon hallintaa pyritään tukemaan Building Smart'in puitteissa kehitteillä ja testausvaiheessa olevalla IFD-järjestelmällä (International Framework for Dictionaries), jota on viime aikoina alettu kutsua nimellä bSDD (buildingSMART Data Dictionary). Käytännön tavoitteena on saada tietomalleihin tallennettavat tuotetiedot hallintaan ja tunnistettavuus toimimaan niin, että kansallisista nimikkeistöistä, käytetystä kielestä ja mallinnohjelma-riippumatta mallin rakennusosien ja -tuotteiden sekä niiden ominaisuuksien tunnistamisen onnistuu eri ohjelmissa ja järjestelmissä.

Rakennustuotteiden ominaisuustietoja tallennetaan malleihin vielä melko vähän, mutta ominaisuustiedon tarve kasvaa koko ajan mallien hyödyntämisen kasvaessa ja uudenlaisten mallia hyödyntävien analysointien lisääntyessä, esimerkkinä ympäristövaikutusten arviointi. Esimerkkejä arkkitehtimalliin nykyisin tyypillisesti tallennettavista tuotetiedoista ovat rakennusosan kuten seinän päämateriaali, joka voi olla esim. betoni, ja ääneneristysvaatimus, esimerkiksi 48 dB. Rakennemalliin vastaava materiaali määritellään tarkemmin, esimerkiksi betoniseinän kohdalla betonin lujuusluokka.

Tuotetiedon tarkentuminen: Tuotetiedot voivat tarkentua tietomallipohjaisessa rakennussuunnittelussa toteutusmuodoltaan erilaisissa hankkeissa eri tavoin. Esimerkiksi urakoitsijan omassa asuntotuotannossa urakoitsija ohjaa suunnitteluprosessia ja tuotevalintoja ja voi halutessaan valita esimerkiksi kohteessa käytettävät rakennetyypit jo ennen arkkitehtisuunnittelun ja mallintamisen alkamista. Perinteisessä tilaajan suunnitelmilla toteutettavassa rakentamisprosessissa saatetaan tilaratkaisuja ja rakennuksen ulkomuotoa suunnitella pidemmälle ennen kuin rakenneratkaisusta päätetään. Tuotetiedot jäävät kuitenkin yleensä molemmissa tapauksissa geneerisiksi tietomalleissa, ja tarkat tuotevaatimukset ja esimerkit vaatimukset täyttävistä kauppatuotteista esitetään hankintaa ja työmaatoteutusta varten tavallisesti rakennusselostuksessa (kutsutaan myös rakennustyöselitykseksi). Kun

tuotetoimittajat on valittu, tarkkaa valmistajakohtaista tuotetietoa ei tavallisesti viedä tietomalliin, mutta tilanne on muuttumassa ja toteumatiedon (as-built-tiedon) tallennus tai linkitys malleihin lisääntyy, kun kiinnostus tietomallien käyttöön rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana kasvaa. Tuotevalmistajakohtainen tuotetieto löytyy tietomallista vielä nykyisin tyypillisesti silloin, kun tietyn rakennusosan mallintamiseen on tarjolla parempia valmiiksi mallinnettuja 3D-objekteja valmistajakohtaisina kirjastoina kuin yleisinä (geneerisinä) objekteina/komponentteina. Jos tietomallia hyödynnetään hankkeessa muuhunkin kuin piirustusten tuottamiseen, tuotevalmistajakohtaista tietoa tulisi löytyä mallista vain todellisia tuotevalmistajavalintoja vastaavasti.

Rakenteet ja kappaletavara: Eri mallinnusohjelmissa käytetään hieman erilaisia termejä erilaisista rakennusosista ja niiden mallinnukseen käytettävistä työkaluista ja menetelmistä. Arkkitehtimallinnusohjelmissa rakennusosat ovat kuitenkin periaatteessa rakenteita (esim. seinä) ja kappaletavaraa eli objekteja/komponentteja/tuoteperheitä (family) mallinnusohjelmasta riippuen. Lisäksi arkkitehtimalleihin mallinnetaan tilat tilaobjekteina (esim. ArchiCADissa vyöhykkeitä), jotka rajautuvat ympäröiviin rakenteisiin ja käyttäjän määrittelemiin tilarajoihin.

Rakenteita kuten seinä tai laatta mallinnetaan CAD-muotoon määritellyillä rakennetyypeillä, joiden avulla mallista pystytään tuottamaan perinteiset piirustukset esim. rakennusluvan hakemiseen, sekä määrätietoa rakennetyypeittäin esim. kohteen erilaisista seinistä ym. rakenteista ja niiden sisältämistä materiaaleista. Mallintamiseen on tarjolla valmiita ohjelmakohtaisesti määriteltäviä rakennetyyppejä, joita käyttäjä voi muokata tarpeen mukaan tai luoda tarvittaessa kokonaan uusia. Rakennetyypin nimen alussa näkyy tavallisesti minkä rakenteiden mallintamiseen ne soveltuvat, ja esimerkiksi kaikki VS-alkuiset väliseinärakennetyypit järjestyvät mallinnusohjelman rakennetyypilistassa peräkkäin, mikä helpottaa käytännön mallinnusta. Rakennushankkeissa mallintamiseen käytettävät rakennetyypit nimetään projektissa sovitulla tavalla. Ominaisuustietojen tallennusmahdollisuuksissa rakennetyypeille ja näiden sisältämille materiaaleille/rakennustuotteille on merkittäviä eroja eri sovellusten välillä.

Objektit ovat tyypillisesti kappaletavaraa kuten ikkunat, ovet ja kalusteet. Valmiiksi mallinnettuja objekteja on paljon tarjolla useissa eri lähteissä sekä yleisinä että tuotevalmistajakohtaisina, ja sekä yksikertaisina että pitkälle parametrisoituina 3D-objekteina. Näin ollen myös BIM-objektien ominaisuustietosisällöissä ja käyttöliittymissä on laaja kirjo.

Tuotetietojen kattavuus malleissa: Arkkitehtimallien rajoitteita määrälaskennan ja sitä kautta myös erilaisten analyysien kannalta ovat usein esim. puuttuvat maanrakennustyöt, perustukset (sokkelista alaspäin), ulkopuoliset rakenteet ja varusteet, vesikaton puutyöt ja varusteet, listat, kittaukset, heloitukset, alakattojen otsapinnat, pintarakenteet ja kaikki detaljit ja liittymät. Pintamateriaaleja kuten seinälaatoituksia ei yleensä mallinnetta, vaan ne lasketaan esim. tietomallin vyöhykkeistä, ja vyöhykkeet puuttuvat malleista valitettavan usein (Kiviniemi et al. 2008). Toisaalta, kuten edellä on mainittu, malleissa ei yleensä esitetä myöskään tarkkaa tuotetietoa, vaan kohteen rakennusselostus/rakennustyöselitys täydentää mallipohjaista tietoa. Tulevaisuudessa näiden tiedot kehittynee yhdenmukaisiksi, eli rakennustuotteet ja niiden ominaisuus- ja laatuvaatimukset viedään esim. malliin ja rakennusselostus perustuu mallista tuotettuihin tietoihin. Rakennusselostuksen laatiminen hyödyntämällä suoraan tietomallia onnistuu jo nyt ainakin Rakennustiedon Rakennusselostus Net –

sovelluksella, mutta täsmennyksiä joita rakennusselostukseen lisätään, ei voi päivittää ohjelman avulla tietomalliin.

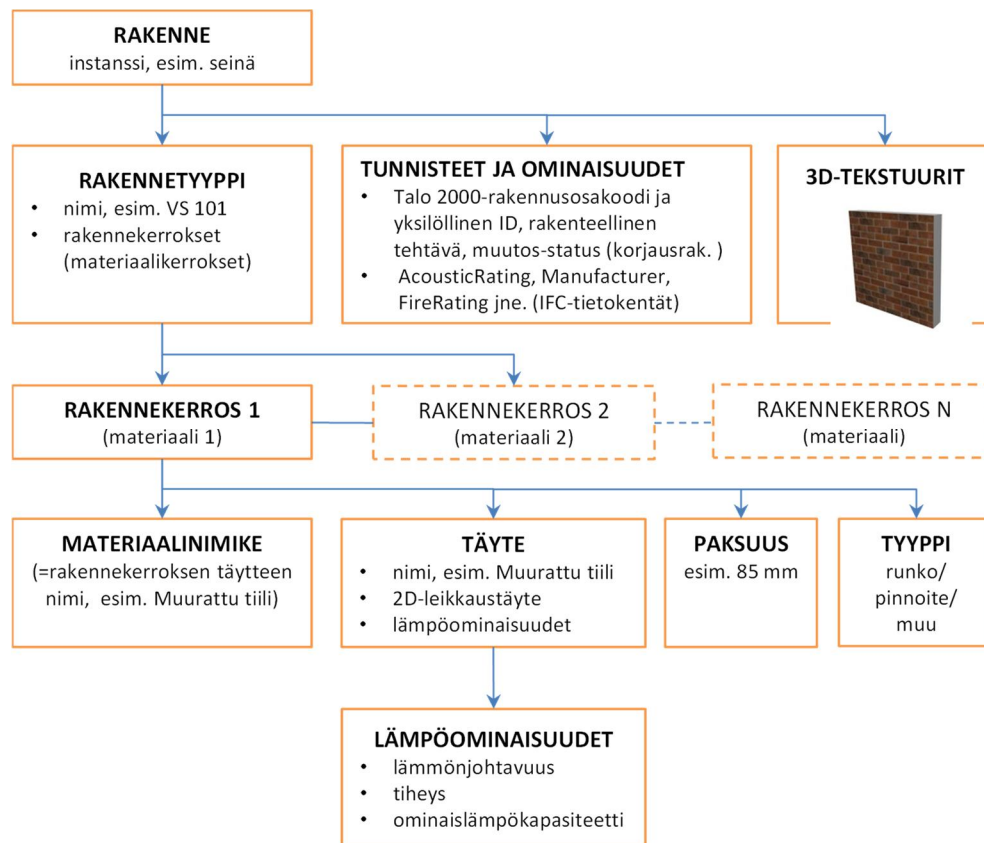
Seuraavassa on kuvattu tarkemmin tuotetiedon tallentamista arkkitehtimalleihin, esimerkkeinä Suomessa paljon käytetyt Graphisoft ArchiCAD ja Autodesk Revit mallinnusohjelmat.

2.2 Graphisoft ArchiCAD

ArchiCADissa tuotetietoa (tunniste- ja ominaisuustietoa) voidaan tallentaa malliin koko rakennusosan tasolla, eli kappaletavaralle kuten ikkuna tai rakenteelle kuten seinä kokonaisuudessaan. Lisäksi tuotetietoa voidaan tallentaa rajoitetusti myös rakennetyypille sekä sen sisältämien eri kerrosten materiaaleille. Seuraavassa kuvataan tarkemmin tuotetietojen tallennusmahdollisuuksia ja rajoitteita Graphisoftin ArchiCAD 16 arkkitehtimallinnusohjelmassa.

Tunniste- ja ominaisuustietojen tallennus rakenteille:

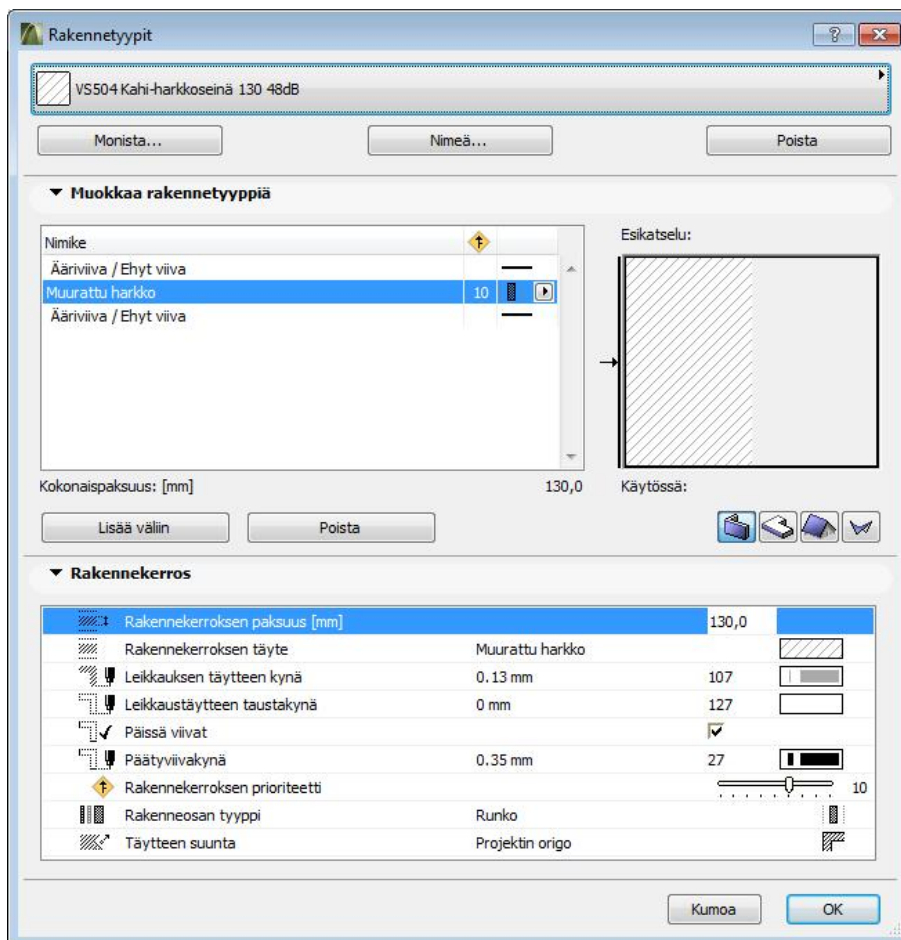
Rakenteet kuten esimerkiksi seinä voidaan mallintaa luonnosvaiheessa tyhjällä rakenteella, mutta viimeistään piirustustuotantoa varten mallinnus on tehtävä tietyllä rakennetyypillä. Rakennetyypimäärittely sisältää rakennetyypin nimeämisen sekä sen eri materiaalikerroksien määrittelyn materiaalimerkeineen, paksuussineen, tyyppimäärittelyineen (runko, pinnoite tai muu) ja (piirto)täytteineen. Edelleen, *Täytteelle* on nimen lisäksi määritelty 2D-piirtotäyte (yksivärinen, vektori- tai kuviotäyte) sekä lämpöominaisuudet lämmönjohtavuus, tiheys ja ominaislämpökapasiteetti (vrt. seuraava kuva, Kuva 1).



Kuva 1. Periaatekuva rakennetyypillä mallinnettavan rakennusosan tietorakenteesta ArchiCADissa, esimerkkinä seinä.

Rakennetyypin lisäksi seinälle voidaan määrittää ja tallentaa tunnisteita ja ominaisuuksia, jotka koskevat koko mallinnettavaa seinää. Tämä koskee myös luonnosvaiheessa mahdollisesti tyhjällä rakenteella mallinnettavia seiiniä. Talo 2000 rakennusosakoodin rakenteet kuten seinät, pilarit, palkit, laatat, katto ja portaat saavat mallinnettaessa sen perusteella, mille kuvatasolle ne sijoitetaan (esim. kaikki ulkoseinät mallinnetaan tasolle AR1241 Ulkoseinät). 3D-esityksessä seinä on yksi fyysinen 3D-kappale, jonka eri pintoihin voidaan valita ”materiaali” (3D-tekstuuri), joka on käytännössä osan pintaan visualisointeja varten liitettävä kuva.

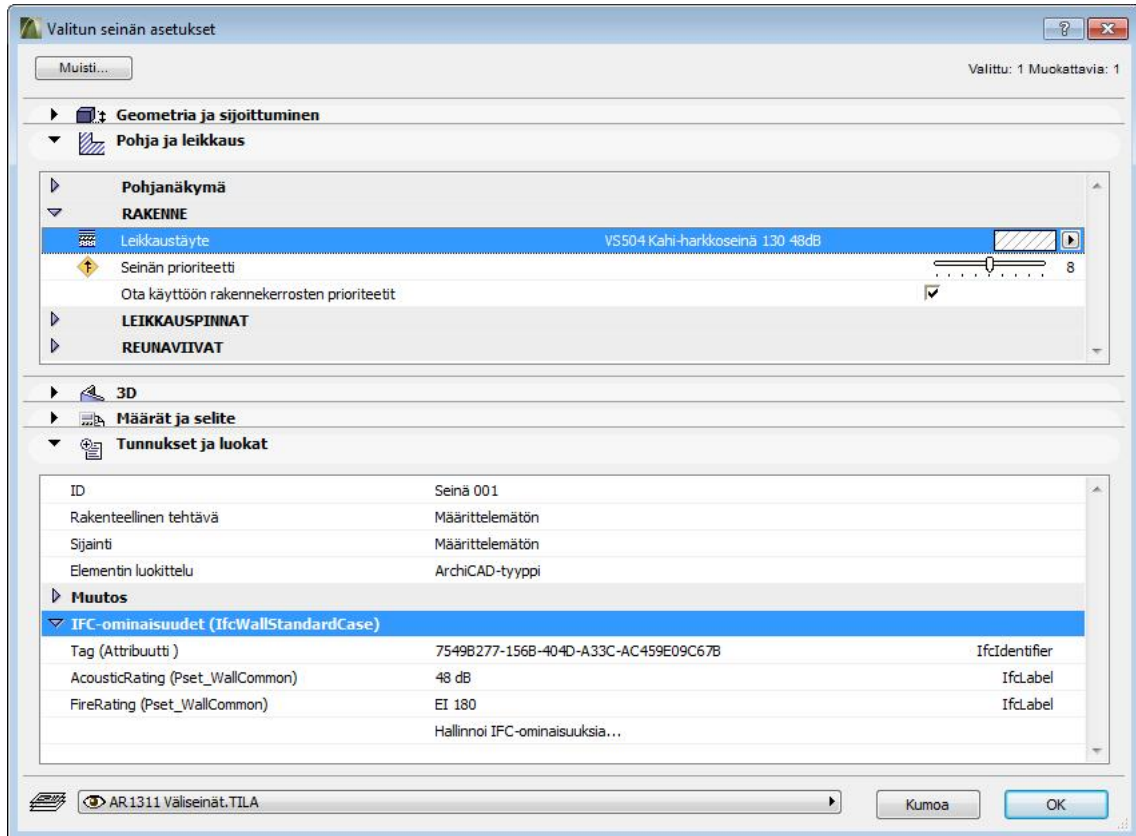
Seuraavassa kuvassa on esitetty mallinnukseen käytettävän rakennetyypin määrittelyikkuna (Kuva 2). Rakennusosan ominaisuudet voivat ilmetä jossain määrin jo rakennetyypin nimestä, kuten ääneneristävyys esimerkissä VS504 Kahi-harkkoseinä 130 48 dB, mutta ominaisuustiedon tallennusmahdollisuudet rakennetyypitasolla ovat hyvin rajoittuneet, kun vain nimi-kenttä on tiedon tallennuspaikkana käytössä. Nimen lisäksi rakennetyypimäärittelystä ilmenee kuitenkin myös sen kokonaispaksuus, sekä eriteltyinä kunkin rakennekerroksen paksuus ja tyyppi (Runko/Pinnoite/Muu).



Kuva 2. Rakennetyypin määrittelyikkuna esimerkkinä Kahi-seinä ArchiCAD 16 FIN aloitus pohjassa, sekä ja 2D-esitys kyseisellä rakennetyypillä mallinnetusta seinästä. Rakennetyypin nimeen on tallennettu seinätyypin ominaisuus ääneneristävyys 48 dB.

Laajemmat mahdollisuudet tuotetiedon tallennukseen kokonaiselle seinälle avautuvat, jos tiedot tallennetaan mallinnetun seinän ominaisuuksina sen IFC-tietokenttiin. IFC-tieto on ohjelmaversiosta 16 alkaen osa ArchiCADin tietokantaa ja esim. seinän ominaisuustiedot pääsee tallentamaan avaamalla seinän asetukset ja edelleen IFC-ominaisuuksien hallinointi-ikkunan. IFC-ominaisuusryhmiä ja -kenttiä on paljon

valmiina ja lisäksi käyttäjä voi luoda uusia, mutta vain ne IFC-kentät, joille on talletettu jokin arvo, tulevat näkyviin käyttäjälle suoraan kyseisen osan kuten seinän asetuksiin (vrt. seuraava kuva, Kuva 3). IFC-tietokenttiin määritetyt ominaisuudet voidaan sisällyttää myös mallista tuotettaviin listauksiin, tai hyödyntää ominaisuuksiltaan tietynlaisten osien etsimiseen mallista.



Kuva 3. Seinälle tallennettuja ominaisuustietoja IFC-tietokenttiin tallennettuina.

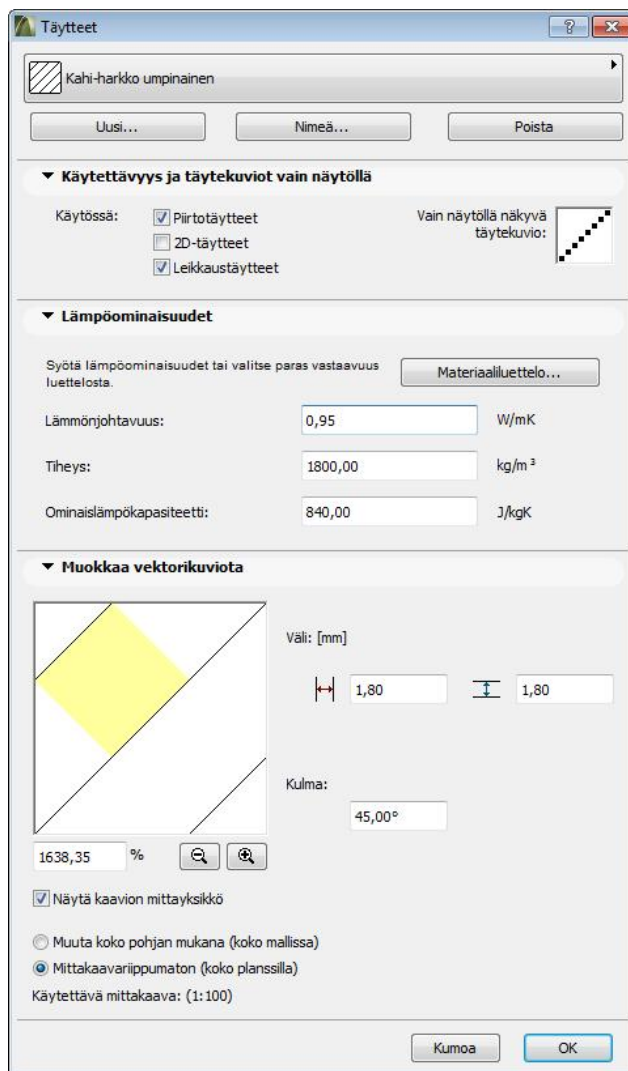
Ominaisuuksien määrittäminen mallin sisältämille materiaaleille (rakennetyyppien eri materiaalikerroksille):

ArchiCADissa rakennetyyppien eri rakennekerroksien materiaalinimikkeet ovat käytännössä 2D-piirtotäytteitä, ja niitä myös kutsutaan ”Täytteiksi” (”Fill Types” ohjelman International-versiossa). Kuten edellä mainittiin, Materiaali-termiä ohjelmassa käytetään puolestaan tällä hetkellä 3D-esitystä varten esim. seinän pintaan liitettävästä tekstuurista. Täytteitä voi luoda lisää ja niihin voi liittää ominaisuustietoja lämpöominaisuuksien osalta. Tämä tapahtuu syöttämällä arvot ko. täytteen valmiisiin tietokenttiin tai valitsemalla paras vastaavuus materiaaliluettelosta (valmis tietokanta ohjelman sisällä). Lämpöominaisuuksia ovat lämmönjohtavuus, tiheys ja ominaislämpökapasiteetti. Muita ominaisuustietoja rakennetyyppien sisältämille eri materiaaleille (täytteille) ei voi vielä tallentaa.

ArchiCAD 16 FIN aloituspohjan mukana käyttöön tulevien täytteen materiaaliominaisuuksien oletusarvot löytyvät kyseisistä tietokentistä valmiina. Nämä materiaalit edustavat yleistuotteita kuten esimerkiksi *Muurattu harkko*. Oletusarvoiset materiaaliominaisuudet kannattaa kuitenkin tarkistaa niin, että linkitys on varmasti haluttuun materiaaliin. Ominaisuudet eivät välttämättä ole tarkasti oikein esimerkiksi silloin, jos käytettävä kauppatuote on jo valittu ja täsmälliset ominaisuustiedot tiedossa. Tällöin tiedossa olevat oikeat arvot voidaan päivittää malliin.

Esimerkki materiaalien ominaisuustietojen (lämpöominaisuuksien) määrittämisestä, ArchiCAD 16 FIN:

Esimerkkirakennetyypiksi otetaan ArchiCAD 16 aloituspohjan (ArchiCAD 16 Aloitus.tpl) sisältämä rakennetyyppi **VS504 Kahi-harkkoseinä 130 48dB**. Kyseisessä rakennetyypissä kivi-materiaalikerros on Muurattu harkko, johon voidaan viitata muissakin rakennetyypeissä. Oletetaan, että rakennushankkeessa on jo valittu harkoksi Weberin Kahi-harkko 130 mm umpinainen, joka täyttää ääneneristysvaatimuksen 48 dB, ja muokataan rakennetyypin vastaavasti vaihtamalla kiveksi oikea/täsmällinen nimike. Koska Kahi-harkkoa vastaavaa materiaalia ei löydy valmiina, lisätään attribuuttilistaan ”Täytteet” uusi täyte **”Kahi-harkko umpinainen”**. Tähän linkitetään materiaaliluettelon Kivi-ryhmästä ”Kalkkiahiekkakivi”, jolloin luodulle uudelle täytemateriaalille saadaan tyypilliset/keskimääräiset kalkkiahiekkakiven lämpöominaisuudet. Näistä vain ensimmäistä eli lämmönjohtavuutta täsmennetään Weberin Kahi-harkkoa vastaavasti syöttämällä arvo 0,95 W/mK suoraan kyseiseen tietokenttään (vrt. Kuva 4).



Kuva 4. Uuden täyteen ”Kahi-harkko umpinainen” määrittely lämpöominaisuuksineen. Materiaaliluettelosta on valittu kalkkiahiekkaharkko ja täsmennetty lämpöominaisuuksien arvoja valittua kauppatuotetta vastaavasti.

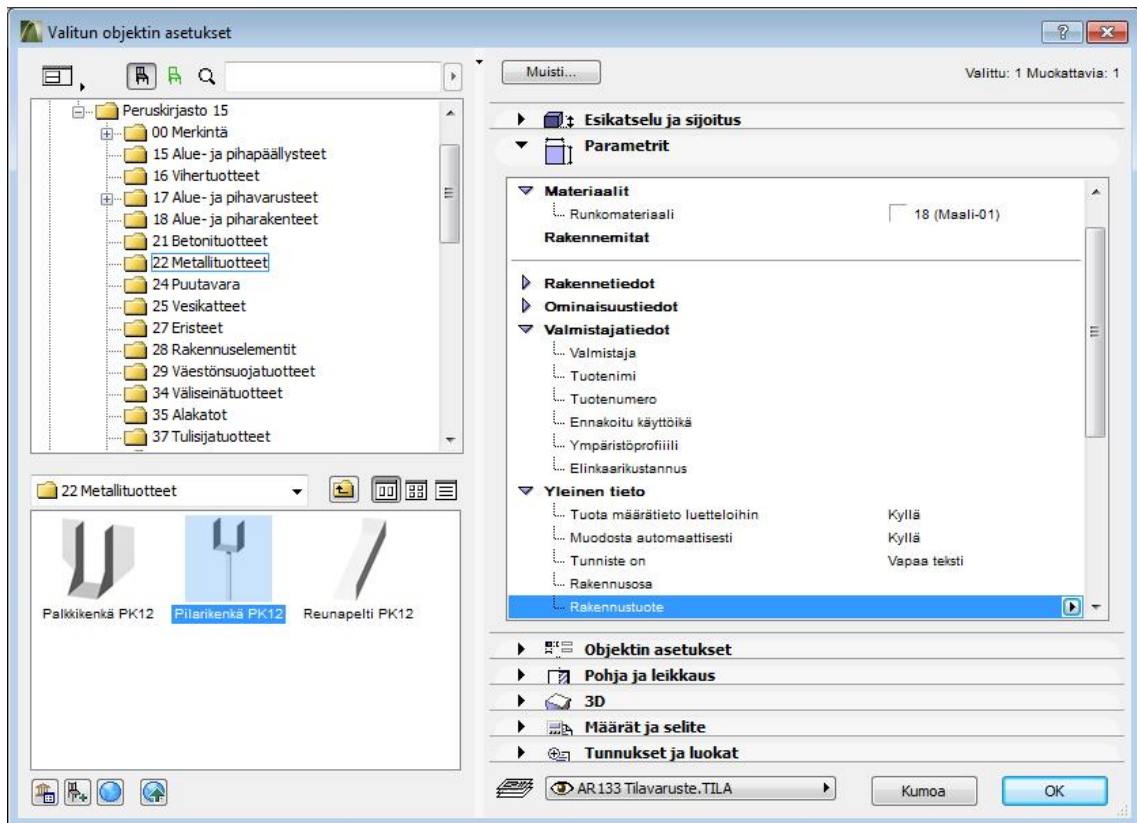
Tämän jälkeen luodaan uusi rakennetyyppi muokkaamalla alkuperäistä (VS 504...) niin, että kivi-kerroksen nimikkeeksi tulee ”Kahi-harkko umpinainen”, ja rakennetyyppi nimetään uudella nimellä, esim. ”VS1 Kahi-harkkoseinä 130 48dB”.

Oikeat lämpöarvot voi siis tallentaa rakennetyyppien täytemateriaaleille poimimalla täytteelle oikean materiaalin eli tässä tapauksessa *Kalkkahiiekkakivi* lämpöominaisuuksineen valmiista materiaaliluettelosta, tai syöttämällä itse oikeat arvot suoraan tietokenttiin. Näin esim. silloin, jos lämpöominaisuuskentät ovat tyhjä tai väärin, ja oikeaa materiaalia ei löydy myöskään valmiista listasta. Jos kyse on toistuvasti suunnitelmissa esiintyvistä materiaalista kannattaa arvot tallentaa aloituspohjan täytteelle. Vaihtoehtoisesti kyseinen materiaali tallennetaan lämpöominaisuusarvoineen kerran suoraan materiaalitietokantaan (MaterialCatalog.xml).

ArchiCAD version 16 Energia-arvio –työkalu (entinen EcoDesigner integroituna ArchiCADin työkaluihin) käyttää tietomallin rakennetyyppejä ja materiaalien ominaisuustietoja mm. rakennuksen vaipparakenteiden (ulkoseinien, ylä- ja alapohjan) U-arvon eli lämmönläpäisykerroksen laskentaan, ja sitä kautta energiankulutuksen arviointiin. Toisin sanoen energiatehokkuuden laskentaan käytetään geometria- ja määrätiedon ohella mallista löytyviä rakennetyyppejä, ja edelleen näiden eri materiaalikerrosten paksuuksia ja lämpöominaisuuksia. Täytteitä on mm. tästä syystä käytettävä mallinnettaessa johdonmukaisesti viittaamaan aina samaan materiaaliin ominaisuuksineen. Materiaalien (Täytteiden) lämpöarvojen määrittely, tarkistus ja korjaus tapahtuu attribuuttien hallinnan kautta (Attribuuttien hallinta -> Täytteet -> Lämpöominaisuudet/Thermal properties). ArchiCAD 16 Energia-arvio/EcoDesigner käsitellään tarkemmin luvussa 4 Laskentaohjelmat (4.2 ArchiCAD 16 Energia-arvio) sekä luvussa 5 Sovellusesimerkit (5.2 Ympäristölaskenta käyttäen ArchiCAD 16 Energia arvio –työkalua).

Ominaisuustietojen tallennus objektina mallinnetulle rakennusosalle:

Kappaletavaran mallinnukseen käytettävien 3D-objektien ominaisuustietojen tallennusmahdollisuudet ovat käytännössä rajattomat. Esimerkiksi tuotevalmistajien objekteihin pystytään tallentamaan kaikki tarvittava (valmistajan haluama) tuotetieto joko vakiotietona tai tarjoamalla tietyt ominaisuusarvot joista käyttäjä voi valita siinä määrin kuin tuote on räätälöitävissä asiakkaan tarpeisiin. ArchiCADin mukana tulevat objektit ovat yleisiä eikä tiettyjen valmistajien tuotteita, ja nämä ovat mallintamisen näkökulmasta tyypillisesti myös joustavampia ja käyttöliittymältään yhdenmukaisempia kuin tuotevalmistajien objektit. Suunnittelijat ovat mallintaneet objekteja myös itse omiin tarpeisiinsa. Tällöin objektille voidaan luoda tarvittavat parametrit ominaisuustiedon tallennustarpeita vastaten. Seuraavassa esimerkki yleisestä objektista, eli käyttöliittymä ArchiCAD Peruskirjaston pilarikenkä-objektiin (Kuva 5).



Kuva 5. Esimerkki ArchiCAD Peruskirjaston on objektista (pilarikenkä) ja sen parametreista. Talo 2000 rakennusosa- ja rakennustuotekoodit valitaan valmiista listasta.

Tuotetiedon käsittelyn kehitystarpeita ja mahdollisuuksia, ArchiCAD:

Uusimmassa saatavilla olevassa ohjelmaversiossa (ArchiCAD 16) rakennetyyppien yksittäisen rakennekerroksen materiaalinimike valitaan täytteiden listasta, ja täytteeseen liitetään materiaaliominaisuuksia (vain lämpöominaisuudet toistaiseksi). Mallien tietosisällön kasvaessa ja ominaisuustietojen tallennustarpeiden lisääntyessä termistöä tulisi selkeyttää: Nykyisin hallitaan 2D-Täytteitä, joihin liitetään materiaaliominaisuuksia. Tuotetiedon hallintaa palvelisi ja selkeyttäisi termien kääntö niin, että hallitaan Materiaaleja, joille valitaan 2D-piirtotäyte sekä liitetään ominaisuudet kuten lämpöominaisuudet.

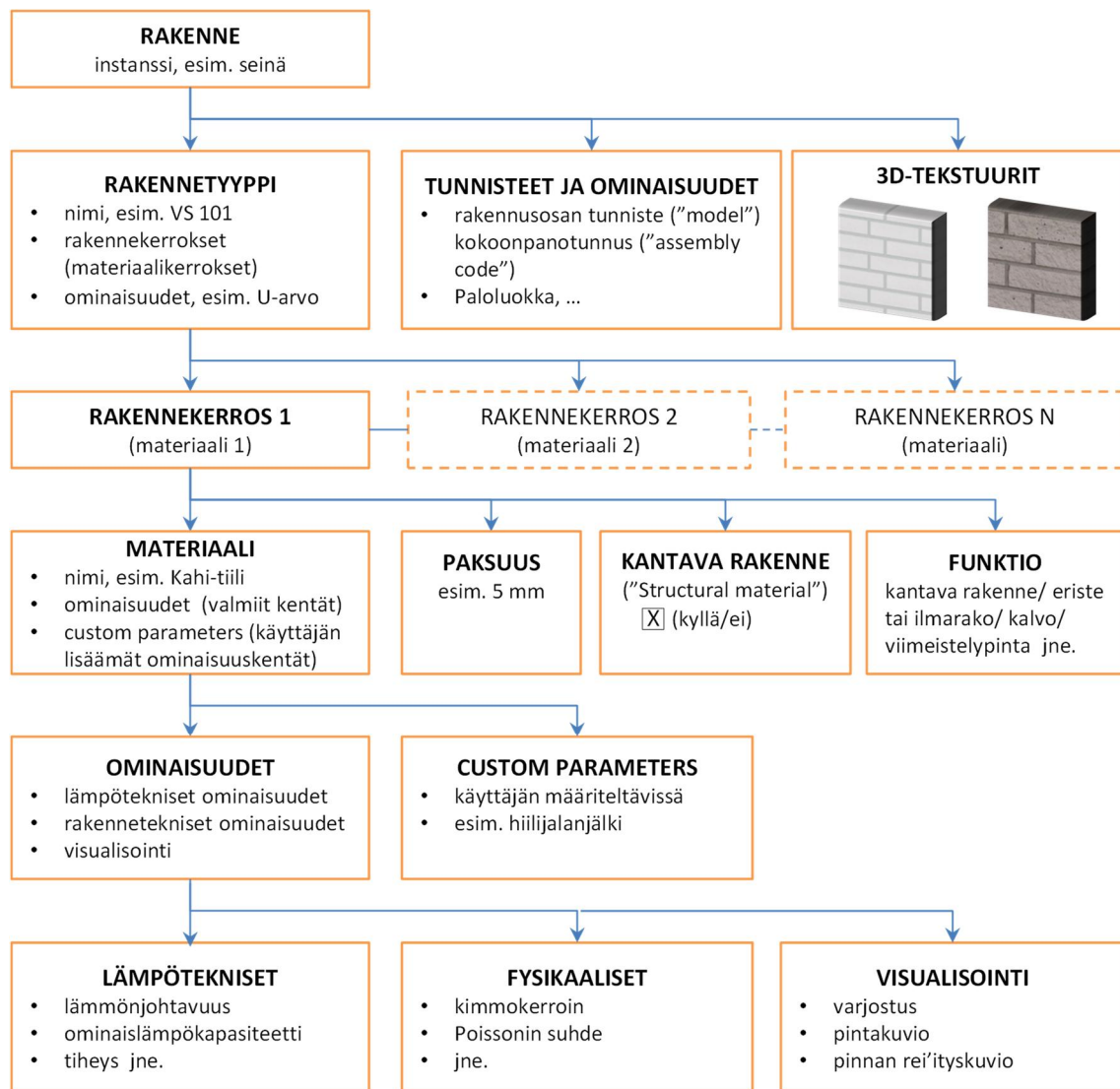
Käyttäjä ei voi lisätä vielä versiossa 16 rakennusmateriaaleille muita ominaisuustietoja kuin edellä käsitellyt lämpöominaisuudet, eikä luoda myöskään uusia parametreja. Materiaalitiedon hallinta kehittynee kuitenkin lähivuosina kattamaan muidenkin ominaisuustietojen hallinnan valmiiden tietokenttien avulla ja/tai tarjoamalla käyttäjälle mahdollisuus luoda myös uusia parametreja. Lämpöominaisuudet eivät vielä versiossa 16 myöskään siirry valmiiden IFC-kääntäjien avulla tallennettujen IFC-mallien mukana muihin BIM-pohjaisiin ohjelmiin.

2.3 Revit Architecture

Revitissä tuotetietoa (tunniste- ja ominaisuustietoa) voidaan tallentaa malliin rakennusosa-tasolla, rakennetyyppi-tasolla, tai rakenteen sisältämien eri kerrosten materiaaleille. Seuraavassa kuvataan tarkemmin tuotetietojen tallennusta Autodesk Revit Architecture 2013 arkkitehtimallinnusohjelmassa.

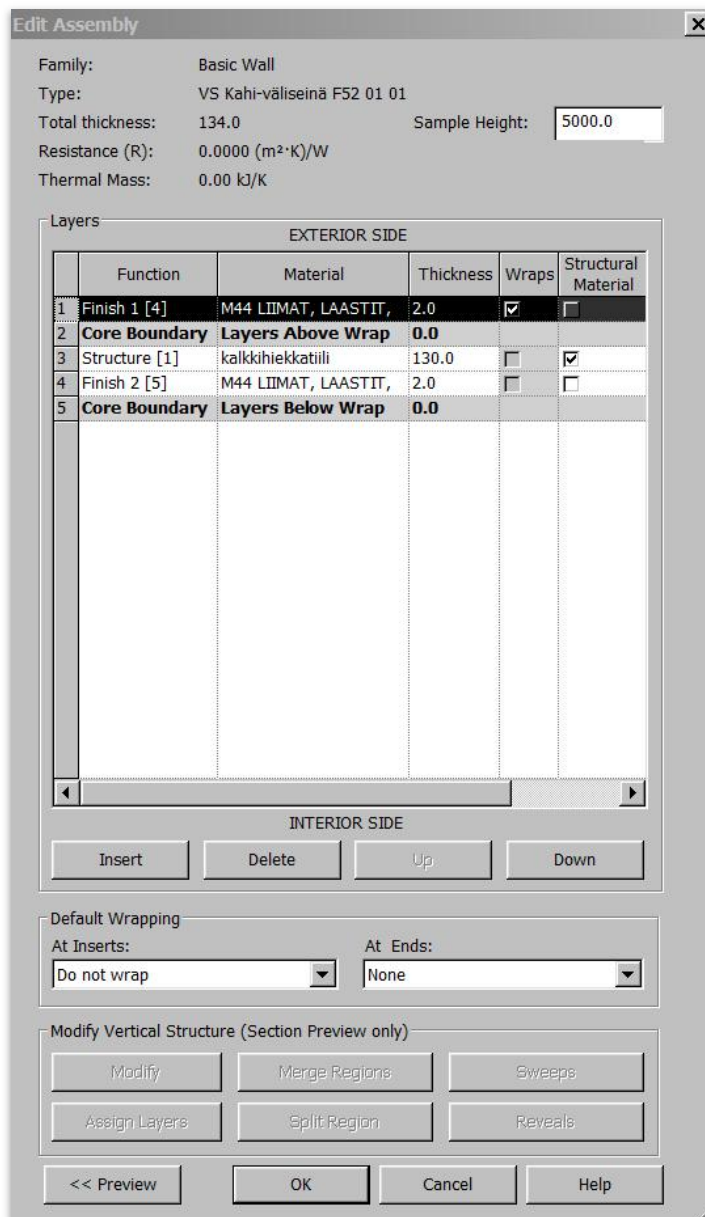
Tunniste- ja ominaisuustietojen tallennus rakenteille (rakennetyypillä mallinnetulle rakennusosalle):

ArchiCAD:n tavoin, Revitissä rakenteiden mallintamisen avuksi löytyy valmiita rakennetyypimäärittelyjä rakenteiden kuten seinä, laatta tai katto mallintamiseen. Rakennetyypimäärittelystä ilmenee sen eri materiaalikerrokset paksuuksineen ja materiaalinimikkeineen. Rakennetyyppejä voi myös muokata tai luoda kokonaan uusia, ellei rakennuskohteeseen soveltuvaa löydy valmiina (rakennetyypin määrittelyikkuna kuvassa 7).



Kuva 6. Periaatekuva rakennetyypillä mallinnettavan rakennusosan tietorakenteesta Revitissä.

Aivan kuten ArchiCAD:ssä, rakennetyypillä mallinnetun rakennusosan ominaisuustietoja voi ilmetä jo rakennetyypin nimestä. Rakennetyypin nimi on vapaasti ohjelman käyttäjän muokattavissa. Revit kuitenkin mahdollistaa tuotetiedon tallentamisen käytännössä kolmella tasolla: yleisesti rakennetta (esim. seinä) koskevana asiana, rakennetyyppiä koskevana asiana, ja rakennusmateriaaleja koskevana ominaisuustietoina materiaalikirjaston kautta. Materiaalikirjaston kautta on mahdollista määrittellä lisää räätälöityjä parametreja materiaaleille Custom Parameters-painikkeen kautta. Lisäksi Revitissä on mahdollista määrittää tuotetietoja myös malliin syötettyjen tuotetietojen pohjalta laskettuina arvoina, eli määrittäen taulukoinnissa erilaisia laskutoimituksiin perustuvia parametreja, joiden laskenta perustuu malliin tallennettuun tuotetietoon.



Kuva 7. Rakennetyypin määrittelyikkuna Autodesk Revit Architecture 2013, esimerkkinä Weberin Kahi-seinän määrittely.

Koko rakennetta koskien (esim. seinä) Revit tarjoaa oletusarvoisesti parametrikentät paloluokka, valmistaja, kuvaus, tyyppi. Käyttäjä luo itse lisää räätälöityjä tietokenttiä

Project Parameters kautta. Ominaisuustieto siirtyy näistä tietokentistä IFC-muotoisen mallin mukana muihin ohjelmiin, kun IFC-malli tuotetaan Revit:stä Export-toiminnon kautta. Autodesk tarjoaa Revit:iin erityisesti IFC-pohjaista tiedonsiirtoa tukevia aloituspohjia aloituspohjakirjastonsa kautta. Näissä parametrikentät ja jaetut parametritiedosto on nimetty IFC-standardin mukaisesti. Pohjien tietorakenne noudattaa paremmin IFC-rakennetta ja tiedonsiirtoa, mutta IFC-aloituspohjaa ei ole välttämätöntä käyttää IFC-tiedoston tuottamiseen.

Ominaisuuksien määrittäminen mallin sisältämille materiaaleille (rakennetyyppien eri materiaalikerroksille):

Revitissä materiaaliin on mahdollista kytkeä tuotetietoa ominaisuuskokoelmina, property set, ja ne välittyvät rakennetyypin (esim. seinän rakennetyyppi), rakennusosan (monoliittinen, esim. pilari) tai objektin (kappaletavara) kautta tietomalliin. Yksi property set voidaan kytkeä useampaan eri materiaaliin, mikä mahdollistaa esim. teknisiltä ominaisuuksiltaan identtisten tuotevariaatioiden ominaisuuksien hallinnan yhden property setin avulla.

Revit Architecture:ssa rakennetyyppien eri materiaalikerrokset ovat todellisuutta vastaavia materiaaliparametreja, ja niihin sisältyy sekä rakennusfysikaalisia että visualisointiin liittyviä ominaisuuksia. Materiaaleja voi luoda lisää ja liittää niihin soveltuvat ominaisuudet materiaaliluettelosta, joka on valmis tietokanta ohjelman sisällä. Esimerkiksi, oletuskentät lämpöominaisuuksille ovat käyttäytyminen (behaviour) – isotrooppinen (isotropic)/orthotrooppinen (orthotropic), lämmönjohtavuus (thermal conductivity), ominaislämpökapasiteetti (specific heat), tiheys (density), säteilykyky (emissivity), läpäisevyys (permeability), huokoisuus (porosity), heijastuskyky (reflectivity) ja sähkövastus (electrical resistivity). Lämpöominaisuuksien lisäksi materiaaleille voidaan määrittää rakennusfysikaalisia ominaisuuksia, joiden määrä riippuu materiaalista ja rakennesuunnittelijan määrittelemistä tietokentistä ja arvoista Revit Structural-ohjelmiston kautta.

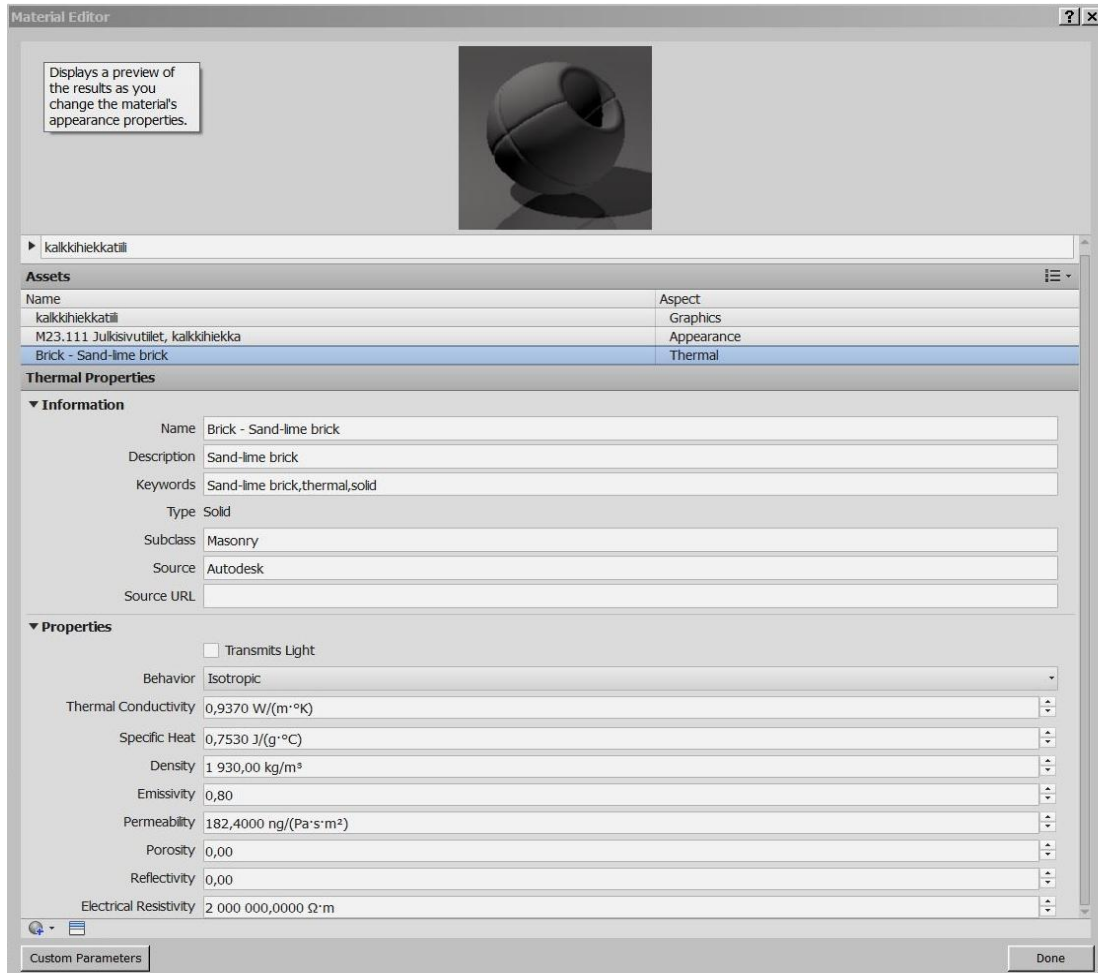
Esim. Revit Architecture 2013 aloituspohjan mukana käyttöön tulevien materiaalien ominaisuuksien oletusarvoja löytyy ko. tietokentistä valmiina, jolloin Revit laskee automaattisesti rakenteen lämmönjohtavuuden (resistance) R ja terminen massa (thermal mass). Työ materiaalikirjastojen kehityksessä on kuitenkin vielä kesken, eikä parametreja ole annettu suurimmalle osalle materiaalikirjaston materiaaleista. Valmiina löytyvät oletusarvoiset materiaaliominaisuudet eivät myöskään välttämättä vastaa suunnitelman tarkkuustasoa ja ole siten tarkasti oikein esimerkiksi silloin, jos käytettävä kauppatuote on jo valittu ja täsmälliset ominaisuustiedot tiedossa. Tällöin tiedossa olevat oikeat arvot voidaan syöttää malliin.

Esimerkki ominaisuustietojen määrittämisestä, Revit Architecture 2013:

Esimerkkinä käytetään kehityshankkeessa testikäytössä olevan rakennetyyppikirjaston sisältämää rakennetyyppiä *VS Kahi-väliseinä F52 01 01*. Kivi-materiaalikerrokseen on linkitetty materiaaliksi kalkkihiekkatiili, jota voidaan käyttää muissakin soveltuvissa rakennetyypeissä. Edelleen, visualisointimateriaaliksi on linkitetty *M23.111 julkisivutiilet, kalkkihiekka*.

Revit tarjoaa käyttäjälle materiaalikirjaston, joka sisältää lämpötekniisiä ja rakennusfysikaalisia tietoja materiaaleista. Materiaalikirjasto on kattava, mutta kuitenkin rajallinen. Lokalisoinnin kautta materiaalikirjastoon saa suomenkielisiä materiaaleja, mutta materiaalien tekniset ominaisuudet täytyy linkittää sisäisen tietokannan kautta erikseen. Tietokannassa on tällä hetkellä puutteita ja joillekin

materiaaleille ei ole oikeita tietoja. Lisäksi teknisten tietojen tietokanta ei ole lokalisoitu. Esimerkissä materiaalin lämpötekniset ominaisuudet haettiin tietokannasta palotiilen kohdalta, joka on materiaalina kahi-tiili ja siten lämpötekniset ominaisuudet ovat oikein. Käyttäjän täytyy kuitenkin päivittää itse materiaalin nimi, kuvaus sekä avainsanat. Seuraavassa kuvassa (Kuva 8) lämpöominaisuuksien määrittelyikkuna, kun materiaaliluettelosta on poimittu haluttu materiaali oletusarvoillaan.



Kuva 9. Kahi-seinän rakennetyypimäärittelyssä käytetyn materiaalin (kalkkhiiekkatiili) lämpöominaisuudet, kun materiaaliluettelosta on valittu Brick – Siliceous ja nimikenttiin (name, description, keywords) on kirjoitettu tiedot koskien oikeata tuotetta.

Lämpöarvot voi syöttää myös suoraan kyseisen materiaalin/täytteen tietokenttiin, jos lämpöominaisuuskentät ovat tyhjä tai väärin, ja oikeaa materiaalia ei löydy myöskään valmiista listasta. Jos kyse on toistuvasti suunnitelmissa esiintyvistä materiaalista, voidaan kyseinen materiaali tallentaa lämpöominaisuusarvoineen materiaalitetokantaan uutena materiaalina tai vanhan kopiona.

Revitissä tuotetietojen tallennusmahdollisuudet materiaaleille ovat Custom parametrien kautta erittäin laajat, ja edellä mainittujen lämpöominaisuuksien lisäksi materiaaleihin voidaan linkittää myös esim. käyttö- ja huolto-ohjeita tai ympäristöselosteita.

Autodesk Revit Architecture 2013 ohjelmassa määritettyjä tietomallin rakennetyyppejä ja materiaalien ominaisuustietoja voidaan hyödyntää lähtötietoina rakennuksen ympäristöarvioiden kuten energiankulutuksen ja energian tuotannosta syntyvien

hiilidioksidipäästöjen laskentaan. Revit Architecture 2013-ohjelmasta löytyy esim. suora linkki, jonka kautta lisenssin haltija voi ladata mallinsa internetin yli käytettävään Autodesk Green Building Studio-palveluun. Mallin siirto tapahtuu Green Building XML-formaatissa (gbXML), ja mallintaja saa raportin suunnitelman energiatehokkuudesta mallia vastaavasti. Tarkempi kuvaus Autodeskin ympäristöarvioinnin työkaluista luvussa 4.

Ominaisuustietojen tallennus kappaletavaralle (Family:na mallinnetulle rakennusosalle):

Revit Architecture -ohjelmassa kappaletavara mallinnetaan joko rakennusosien mallinnukseen tarkoitetuilla työkaluilla, valmiiksi tiettyihin kokoihin mallinnettuina objekteina tai parametrisina objekteina. Objektina mallinnettaessa tuotetieto voidaan kytkä suoraan objektiin. Materiaalille määritelty tuotetieto tulee objektin osaksi samalla tavalla kuin rakennetyyppeihin.

Revitissä kaikki malliin lisättävät objekti-tyyppiset osat luodaan Revit family-kirjastoissa sijaitsevien tietojen avulla. Kirjastoja on suljettuja ohjelmiston sisäisiä kirjastoja (system), ladattavia (loadable) sekä projektikohtaisia (in-place). Tuotetiedosta osa sijaitsee ohjelmiston sisäisissä kirjastoissa ja loppu tuotetieto viedään ohjelmaan työaseman tai lähiverkossa sijaitsevalta kovalevyiltä ladattavien kirjastojen kautta tietomalliin.

Kappaletavaran mallinnukseen käytettävien 3D-objektien ominaisuustietojen tallennusmahdollisuudet ovat riippuvaisia family:sta, eli onko kappale tyyppiä ikkuna, ovi, kaappi jne. Aivan kuten ArchiCAD:ssä, tuotevalmistajien objektikirjastoihin pystytään tallentamaan kaikki tarvittava (valmistajan haluama) tuotetieto joko vakiotietona tai tarjoamalla tietyt ominaisuusarvot joista käyttäjä voi valita siinä määrin kuin tuote on räätälöitävissä asiakkaan tarpeisiin. Revit:n perusversion mukana tulevat objektit ovat yleisiä eikä tietyn valmistajan tuotteita. Revit2013FIN-lokalisoinnin mukana tulee käyttöön FIN_OBJEKTIT, ja nämä tyyppillisesti ovat suomalaisten valmistajastandardien mukaisia. Sekä tuotevalmistajat että suunnittelijat ovat mallintaneet myös itse objekteja omiin tarpeisiinsa, mallintamalla alusta asti ja räätälöimällä objektille tarvittavat lisäparametrit ominaisuustiedon tallennustarpeita vastaten.

Tuotetiedon käsittelyn kehitystarpeita ja mahdollisuuksia, Revit:

Uusimmassa saatavilla olevassa ohjelmaversiossa (Autodesk Revit Architecture 2013) rakennetyyppien yksittäisen rakennekerroksen materiaalinimike valitaan materiaalikirjaston listasta, ja materiaaliin liitetään materiaaliominaisuuksia rakennusfysikaaliselta listalta tai lämpötekniseltä listalta. Kaikilla materiaaleilla ei ole näitä tietoja ja kirjasto on osin puutteellinen. Lisäksi Autodesk Revit Architecture ei mahdollista kaikkien arvojen muuttamista tai lisäämistä, koska rakennusfysikaaliset ja lämpötekniset ominaisuudet ovat rakennussuunnittelun oppituolin ulkopuolella. Revit Architecture ja Revit Structure ohjelmissa tietojenmuokkausmahdollisuudet ja käytäntö ovat siis suunnittelualakohtaisia vaikka käytettävä tietokanta on kaikille sama.

Mallien tietosisällön kasvaessa ja ominaisuustietojen tallennus- ja hallintatarpeiden kehittyessä kirjaston käytettävyyttä voisi kehittää niin, että ohjelman mukana tarjotaan yleisiä rakenteita tai rakennusmateriaaleja, joille voidaan antaa lisätietoina valmistajakohtaisia ominaisuuksia. Valmistajakohtaisen tiedon lisääminen malliin palvelisi toteumatietona (as-built-tietona) esim. kiinteistön ylläpitoa.

3 Tuotetiedon hyödyntäminen ympäristölaskennassa

3.1 Uudet vaatimukset

Rakennustuoteasetuksessa (Construction Product Regulation), joka tulee voimaan kaikissa EU-maissa 1.7.2013 korvaten aikaisemman rakennustuotedirektiivin, on esitetty rakennustuotteiden perusvaatimukset sekä säädetty CE-merkin käyttämisestä rakennustuotteissa. Vaatimukset kattavat nyt selkeämmin rakennustuotteiden ympäristönäkökohdat.

Asetuksen mukaan tuotteiden perusvaatimukset ovat:

- mekaaninen lujuus ja vakaus,
- paloturvallisuus,
- *hygienia, terveys ja ympäristö,*
- käyttöturvallisuus ja esteettömyys,
- meluntorjunta,
- energiansäästö ja lämmöneristys sekä
- *luonnonvarojen kestävä käyttö*

Asetuksessa on tarkennettu hygienia, terveys ja ympäristövaatimuksia. *Rakennuskohteella ei saa olla koko elinkaarensa aikana (sen rakentamisen, käytön ja purkamisen aikana) liiallisen suurta vaikutusta ympäristön tai ilmastoon,* (mainitaan esim. *kasvihuonekaasujen päästöt*). Energiansäästö ja lämmöneristysvaatimuksessa painotetaan rakennuskohteiden energiatehokkuutta ja asetukseen on lisätty uusi perusvaatimus koskien luonnonvarojen kestävä käyttöä. Tässä painotetaan:

- rakennuskohteen, sen materiaalien ja osien uusiokäyttöä tai kierrätettävyyttä purkamisen jälkeen;
- rakennuskohteen kestävyyttä sekä;
- *ympäristöystävällisten raaka-aineiden ja uusiomateriaalien käyttöä.*

Jotta rakennuskohde voi täyttää sille asetetut oleelliset vaatimukset, tarvitaan vastaava tuotekohtaista tietoa suunnittelijoiden käyttöön:

§ tuotekohtaista tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista, vaarallisten aineiden käytöstä, kestävyydestä, kierrätettävyydestä jne.

§ tuotekohtaista määrätietoa,

§ tietoa rakennuksen energiatarpeesta ja energiaratkaisuista,

§ tietoa energialaatuojen ympäristövaikutuksista.

Tuotekohtaisen tiedon olemassaolo ja sen hyödyntäminen jo rakennussuunnittelun alkuvaiheessa auttaa parantamaan suunniteltavien rakennuksien laatua, auttaa suunnittelija valitsemaan oikeat tuotteet oikeisiin kohteisiin sekä mahdollistaa materiaalivalintoja ympäristö-, kustannus-, kestävyys tai muun vastaavan parametrien avulla.

3.2 Rakennustuotteiden ympäristövaikutusten laskenta

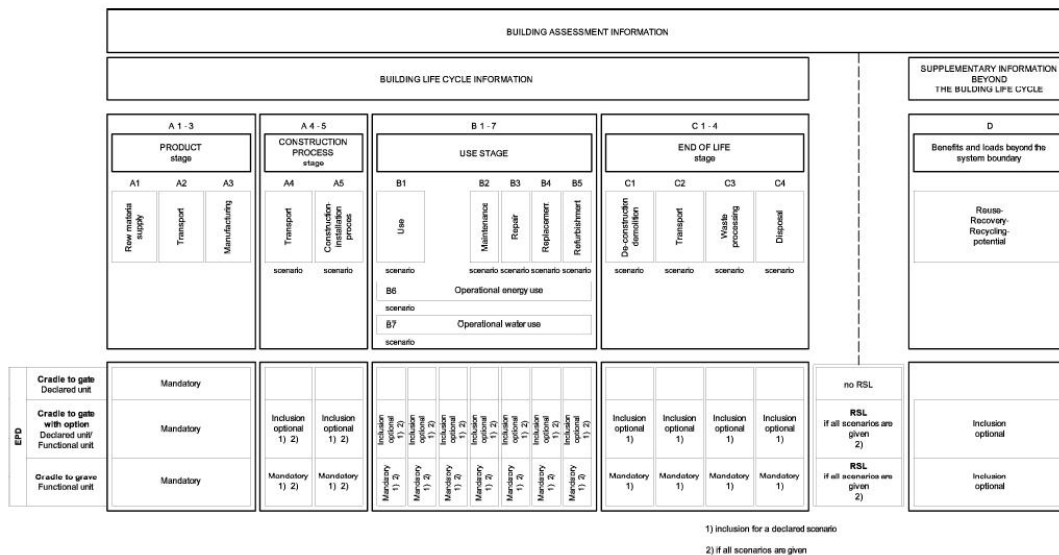
Rakennustason elinkaarilaskennassa tarvitaan tietoa kaikkien rakennuksessa käytettyjen materiaalien ja tuotteiden valmistamisen vaikutuksista ympäristöön. Tuotteiden

ympäristövaikutusten selvittämisessä käytetään ns. elinkaariarviomenetelmää (LCA). Laskenta perustuu yleisiin ohjeisiin sekä vaatimuksiin, jotka on kuvattu ISO 14040 ja ISO 14044 standardeissa.

Koko kestävä kehityksen näkökulman huomioon ottamiseksi ISO ja CEN ovat kehittäneet rakennuslalle ohjeardeja, joka sisältävät ekologisten vaikutusten lisäksi myös taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten kenttää. Nämä standardit on jaettu kolmeen lohkoon: yleinen osa koskee metodologian kehystä, seuraava taso koskee rakennuksia ja alin taso koskee rakennusmateriaaleja ja tuotteita.

Esimerkiksi ISO 21930¹ ja EN 15804² mukaan tuotteita koskevat elinkaarenaikaiset ympäristöominaisuudet (“kehdosta hautaan” tarkastelu) jaetaan neljään elinkaaren päävaiheeseen sekä lisäksi tuoterajauksen ulkopuolisiin hyötyihin ja ympäristökuormiin (Kuva 10). Nämä vaiheet sekä tarvittavat tuotetiedot ovat:

- Tuotevaihe (tunnettu myös nimellä “kehdosta tehtaan portille”/”gradle to gate”)- sisältää rakennustuotteen raaka-aineiden hankinnat, kuljetukset sekä tuotteen tuotannon
- Rakentamisprosessi - sisältää rakennusmateriaalien kuljetukset rakennustyömaalle, rakentamisen sekä tuotteiden asentamisen
- Käyttövaihe - sisältää tuotteiden kunnossapidon, hoidon, korjauksen, uusimisen sekä siihen liittyvät materiaalien kuljetukset
- Elinkaaren päättymisvaihe (“end-of-life stage”) - sisältää purkuvaiheen, purkumateriaalien kuljetuksen, jätteen käsittelyn sekä hävittämisen
- Tuoterajauksen ulkopuolelle jäävä vaihe - sisältää tuotteen uudelleenkäytön ja kierrätyksen vaikutuksen.



Kuva 10. Rakennuksen elinkaari sekä modulit rakennuksen ympäristövaikutusten arvioon (EN 15804).

Rakennustuotteiden ympäristöselosteet on kehitetty tuotetiedon elinkaari-informaation julkaisemista varten. Tuotteiden ympäristövaikutustietoja tarvitaan rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnissa. Tuotetasolla ympäristövaikutusten laskennan tulos

¹ EN 21930 Sustainability in building construction — Environmental declaration of building products

² EN 15804 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products

yleensä koskee tuotteen elinkaarta raaka-aineiden hankinnasta valmistukseen asti. Kuitenkin rakennustason laskenta pitää toteuttaa koko elinkaarelle ja näin ottaa huomioon myös rakennuksen käyttö, ylläpito ja käytöstä poisto. Koko elinkaarentarkastelu tai vain osavaiheen tarkastelu vaikuttaa rakennustuotteista tarvittavien lähtötietojen laajuuteen.

Standardin mukaisessa selosteessa voidaan ilmoittaa elinkaariarviometodiikalla tuotettua tietoa tuotteen valmistuksesta: raaka-aineiden hankinta ja käsittely, kuljetukset valmistajalle ja valmistus (standardin mukaiset vaiheet A1 – A3, kuva 1). Tällainen seloste kattaa ns. vaiheet kehdestä portille. Mahdollista on myös laatia selosteita, jotka joko kattavat koko elinkaaren tai valittuja lisäosia (kuva 1, koko elinkaaren osat ovat: A1 – A5, B1 – 7, C1-4 ja D).

Tuotevalmistajalla on täsmällistä tietoa vain tuotteen valmistusvaiheesta, sen sijaan tuotteen käyttö rakennuksessa riippuu esim. suunnitteluratkaisusta, rakentamisen laadusta, tehdyistä tai laiminlöydyistä huoltotoimeenpideistä, tekijöistä joihin tuotevalmistaja ei voi suoraan vaikuttaa. Kuitenkin koko elinkaaritarkastelua varten tuotevalmistajan on kyettävä ilmoittamaan tuotteen käyttöikä, huolto- ja kunnosapitovaatimukset sekä myös ehdotus tuotteen loppusijoituksesta, käytöstä poistamisen jälkeen. Näin oleen skenaarioperusteiset arviot koko rakennuksen elinkaarelle voidaan toteuttaa tuotteiden tarkoituksenmukaisille käytöille.

Tyyppin III mukaisissa ympäristöselosteissa (ISO 14025)³, ennalta asetettujen parametriluokkien avulla, ilmoitetaan määrällisesti tuotteen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset. EN 15804 esittää ohjeet rakennustuotteiden ns. tyyppin III mukaisten ympäristöselosteiden laadintaan. Standardin tarkoituksena on yhdenmukaistaa tuotteiden ympäristöparametrien esittämisen tapaa sekä varmistaa että tulokset on laskettu ja todennettu yhdenmukaisia menettelyjä noudattaen. Standardin esittämät ohjeet koskevat mm. seuraavia asioita:

- ympäristöparametrit, joiden avulla tulos esitetään
- tuotteen elinkaaren vaiheet, jotka otetaan huomioon arvioinnissa
- menettelytavat skenaarioiden laadintaan
- tiedon laatu ja arviossa käytettävät laskentatavat
- täydentävien tietojen raportointi ja
- tuotteiden vertailu.

Parametrit, jonka mukaan tuotteen vaikutukset ilmoitetaan ympäristöselosteessa, voidaan jakaa neljään osaan: ympäristövaikutukset, resurssien käyttö, jätteiden määrä sekä muut ominaisuudet.

Ympäristövaikutuksia kuvaavat parametrit ovat:

- potentiaalinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen (GWP)
- potentiaalinen vaikutus otsonikatoon (ODP)
- potentiaalinen vaikutus happamoitumiseen (AP)
- fotokemiallisen oksidanttien muodostumisen vaikutus, (POCP)
- potentiaalinen vaikutus rehevöitymiseen (EP)

Resurssien käyttöä kuvaavat parametrit ovat:

- vaikutus abioottisten resurssien kulumiseen (muut kuin fossiiliset, ADP other)

³ ISO 14025:2006. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures

- vaikutus fossiilisten energiaresurssien kulumiseen (ADP fossil)

Lisäksi selosteessa ilmoitetaan elinkaari-inventaarion pohjalta seuraavat resurssitiedot:

- uusiutuva energia
- erikseen uusiutuva energia, joka käytetään materiaaliressurssina
- uusiutumaton energia
- erikseen uusiutumaton energia, joka käytetään materiaaliressurssina
- sekundäärimateriaalien⁴ käyttö
- uusiutuvien sekundääripolttoaineiden⁵ käyttö
- uusiutumattomien sekundääripolttoaineiden käyttö
- veden käyttö⁶

Jätteiden osalta ilmoitetaan:

- haitallinen jäte
- radioaktiivinen jäte
- muu jäte.

Muut tiedot ovat:

- komponentit uudelleenkäyttöön
- materiaalit kierrätykseen
- materiaalit energiakäyttöön
- energia muuhun käyttöön⁷.

Edellä mainitujen indikaattorien lisäksi tunnetaan myös hiilijalanjälki sekä vedenjalanjälki termejä, jotka ovat viimeaikoina olleet yhä enenevässä määrin käytössä niin tuote, energia kun rakennuksien arvioissa.

Hiilijalanjälki on kasvihuonekaasujen nettosumma. Esimerkiksi rakennustuotteiden hiilijalanjälkilaskentaa on käsitelty PAS 2050, ISO/DIS 14067⁸ sekä ISO 16485 (kehitteillä)⁹ olevissa standardeissa.

Vesijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteiden ja palveluiden koko elinkaarenaikaista kokonaisvedenkulutusta ja vaikutuksia veden laatuun, vesistöjen tilaan ja muihin vedenkäyttäjiin.

3.3 Ekokriteerit

Rakennuksen ympäristövaikutusten laskentaa tarvitaan kun kohteen suunnittelulle on asetettu vastaavia ekokriteerejä. Ekokriteerit ovat yleensä suunnitteluvaatimuksia, jotka ohjaavat suunnittelua esimerkiksi rakennuksen hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

Ekokriteerit voivat käsittää useita osa-alueita kuten esimerkiksi kestävien rakennusmateriaalien käyttöä, rakennuksen energiatehokkuutta, materiaalitehokkuutta, ympäristövaikutuksia (useat indikaattorit), paikallisten tuotteiden käyttöä, jätteiden synnyn ehkäisyä, tehokasta vedenkäyttöä, sisäolosuhteita, otsonikadon torjumista ym.

4 material recovered from previous use or from waste which substitutes primary materials

5 fuel recovered from previous use or from waste which substitutes primary fuels

6 fresh net

7 recovered energy

8 ISO/DIS 14067. Carbon footprint of products -- Requirements and guidelines for quantification and communication.

9 EN 16485 Round and sawn timber - Product category rules for wood and wood based products for Environmental Product Declaration

Kun suunniteltavana on koko kortteli tai alue, silloin rakennuskohtaisten ekokriteeristöjen lisäksi voidaan määrittää myös aluetason vaatimuksia, jotka esim. ohjaavat saasteettomampiin liikkumismuotoihin, pyöräilyyn, sähköautojen käyttöön, paikalliseen energiatuotantoon. LEED¹⁰, BREEAM¹¹ ja PROMISE luokitukset sisältävät useita kriteeristöjä, joita voidaan käyttää rakennuksen tai aluesuunnittelun vaatimusten laadinnassa.

Ekokriteerit voivat olla vaatimuksia, vertailuperusteita tai tavoitteita. Yksittäisen ekokriteerin todentamisessa voidaan käyttää lausuntoa, raporttia tai piirustusta riippuen kriteerin laadusta.

Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten arvio on kvantitatiivinen laskenta, joka on toteutettu perinteisesti käyttäen erillistä laskentaohjelmaa kuten esim. Gabi:a, Athena:a, SimaPro:ta, KCL Eco:a (nykyinen SULCA). Rakennuksessa käytetyt materiaalityypit ja määrät syötetään ohjelmaan käsin. Niissä tuotekohtaiset ympäristövaikutustiedot on usein sisälletty ohjelmaan tai vastaava tietokanta voidaan liittää osaksi laskentaohjelmaa. Elinkaarianalyysi (ISO 14040) painottaa laskennan tarkoituksen merkitystä, joten mittarit laskentaan (vaikutusparametrit) valitaan käyttötarkoituksen mukaan (esim. vaatimustenmukaisuuden osoittaminen).

3.4 Tarvittava tuotetieto

Jotta rakennuskohde voi täyttää sille asetetut perusvaatimukset, tarvitaan tuotekohtaista tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista, vaarallisten aineiden käytöstä, kestävydestä, kierrätettävyydestä, tuotekohtaista määrätietoa, tietoa rakennuksen energiatarpeesta ja energiaratkaisuista, sekä energiatuotannon ympäristövaikutustietoa.

Tuotteiden ympäristövaikutusten tiedot voivat perustua:

- rakennusmateriaalien ympäristöselosteisiin (tuotevalmistajakohtainen tieto)
- yleisiin geneerisiin tietoihin
- tuoteryhmäkohtaisiin tietoihin (esim. suomalainen sahatavara, europalainen keskiarvo etc).

Materiaalikohtaiset tiedot eri laskentatarkoituksiin pitäisi löytyä tietomallista tai sitten nämä pitäisi linkittää malliin ominaisuustietokannoista.

Rakennustuotteiden ympäristövaikutuksien tiedot (energian ja raaka-aineiden kulutus, päästöt sekä jätteet) löytyvät kansallisesta rakennustuotteiden RT ympäristöselosteista (EPD). RT ympäristöselosteet ovat kuitenkin tällä hetkellä uudistusvaiheessa ja julkisesti saatavilla olevien tuotetietojen tarjonta on suppea.

Yksi kansainvälisesti tunnetuin rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten tietokanta on EcoInvent. Siinä materiaalikohtaiset tiedot perustuvat suurilta osin Saksan ja Sveitsin tuotevalmistustietoihin ja näin ollen eivät välttämättä sellaisenaan sovellu käytettäväksi Suomessa.

Rakennuksien hiilijalanjälkilaskentaan VTT on kehittänyt työkalun, Ilmari, jossa taustatietona laajahko rakennusmateriaalien hiilijalanjälkitietokanta käytettäväksi Suomessa.

¹⁰ LEED - Leadership in Energy and Environmental Design (<http://new.usgbc.org/leed>)

¹¹ <http://www.breeam.org/>

Suunnitteluohjelmiin ollaan kehittämässä lisäosia tai integroimassa ympäristölaskenta osaksi suunnittelutyökaluja, mutta toistaiseksi nämä eivät vielä sisällä rakennuksen kaikkia elinkaarivaikutuksia.

3.5 *Tietomallipohjaisen ympäristölaskennan haasteet*

Ympäristövaikutusten laskenta arkkitehtisuunnitelmien perusteella käyttäen tietomallintamista on toistaiseksi haastava tehtävä johtuen erilaisista syistä. Seuraavassa on kuvattu tunnistettuja alaan ja osaamiseen liittyviä, suunnitteluprosessiin liittyviä, ohjelmistoihin liittyviä sekä laskennan lähtötietoihin ja tuloksiin liittyviä haasteita.

Alaan ja osaamiseen liittyvät haasteet:

- Tietomallintaminen ei vielä ole alan yleinen käytäntö. Suunnittelussa tapahtuvaa mallintamista pitää ohjata, jotta päästölaskenta suunnittelumallien pohjalta olisi luotettavaa tai ylipäättään mahdollista (mm. RT 10–11068 LVI 03–10490 ”Yleiset tietomallinnusvaatimukset 2012” on kehitetty apuvälineeksi)
- Tyypillisten yritysten pieni koko ei tarjoa riittäviä resursseja kehitystoimintaan ja mm. tietomallintamisessa saatetaan käyttää ulkopuolisia konsultteja
- Arkkitehtien koulutus ei anna riittäviä valmiuksia erilaisten analyysiohjelmien syvälliseen käyttöön.

Suunnitteluprosessiin liittyvät haasteet:

- Ympäristölaskennan lähtötiedoksi tarvitaan tyypillisesti alustava rakennusosamalli, jossa on mallinnettuna rakennuksen vaippa aukotuksineen sekä tilat. Myös yksinkertaisemman mallin perusteella on mahdollista laskea ympäristövaikutuksia, mutta ei ole tarpeeksi tietoa kuinka suuri kompromissi tehdään tarkkuuden suhteen ja vielä ei myöskään ole olemassa käytäntöjä kuinka alkuvaiheen suunnittelumalleilla tehdään ympäristövaikutusten laskentaa vertailukelpoisesti.
- Rakennuksen käytön aikaisten ympäristövaikutusten laskennassa vaaditaan tietoja LVIS-järjestelmistä, jotka kuuluvat TATE-suunnittelun vastuualueeseen. Arkkitehti joutuu joko tekemään valintoja toiseen suunnittelualaan kuuluvista asioista, näiden tietojen tuottamiseen tarvitaan TATE-konsultti tai on muuten annettava talotekniikkaa koskevat lähtötiedot. Tämä joko asettaa rajoituksia sille kuinka aikaisin laskentaa voidaan tehdä tai on tehtävä järjestelyjä lähtötietojen suhteen. Talotekniikan asettamat vaatimukset olisi mahdollista jättää pois alkuvaiheen laskennasta keskittymällä rakennuksen vaipan ja muiden rakenteiden lämmöneristävyyteen. Käyttämällä sovittuja vakioarvoja talotekniikalle olisi teoriassa mahdollista laskea vaipan vaikutus energiatehokkuuteen ja saada odotettavissa oleville päästöille vertailukelpoiset tiedot.
- Rakennetyyppien määrittäminen asettaa myös TATE:a vastaavalla tavalla omat rajoitteensa ympäristövaikutusten laskennan aloittamisen ajankohdalle prosessissa, koska ne kuuluvat rakennesuunnittelijan vastuualueeseen. Ilman rakennesuunnittelun panosta on riskinä, että rakennepaksuudet, rakennettavuus ja rakenteiden hinta eivät ole realistisia.

Ohjelmistojen käytettävyyteen ja työskentelyyn liittyvät haasteet:

- Rivisuunnittelijan kannalta on helpompaa, jos analyysit voi tehdä suoraan suunnitteluohjelmistossa ilman työlästä materiaali-kohtaisten tietojen syöttämistä erilliseen analyysiohjelmaan.

- Jos käyttäjän pitää laskennan lähtötietoina määritellä tai lisätä paljon yksittäisiä tietoja virhemahdollisuus on suurempi kuin esim. käytettäessä yleisesti tunnustettua tietokantaa

Laskennan lähtötietoihin ja tuloksiin liittyvät haasteet:

- Jotta ympäristövaikutusten laskentaa voidaan arkkitehtimallin perusteella toteuttaa, tarvitaan tietoa rakennukseen suunnitelluista materiaaleista: materiaalityypeistä ja niiden massoista. Riippuen siitä, mikä ympäristöindikaattori on valittu tarkastelun kohteeksi, tarvitaan lisäksi materiaali-kohtaista elinkaaritietoa energiankulutuksesta, päästökomponeenteista (kasvihuonekaasupäästöt, happamoittavat päästöt jne.), raaka-aineiden kulutuksista, rakennuksen pystytysmenetelmäkohtaisista tuotehukista sekä muuta tuotekohtaista spesifistä tietoa (katso kohta 3.3 ympäristöindikaattorit).
- Varsinkin alkuvaiheessa tehtävät analyysit vaativat kompromissia tulosten tarkkuuden ja mallinnustarkkuuden välillä. Toteutus suunnitelman perusteella voidaan tehdä kattava ympäristövaikutusten laskenta, sen sijaan yleissuunnitteluvaiheen sekä ehdotussuunnitteluvaiheen perusteella tehty laskenta, kun kaikkia rakennusosia ei ole vielä mallinnettu, laskenta on tarkkuudeltaan suuntaa antava/karkea.
- On tärkeää olla tiedossa mitä lähtötietoja käytetään ja mihin analyysin tulokset perustuvat. Esim. sisältyvätkö kuljetukset, hukat, hoidot ja kunnossapidot, korjaukset laskentaan vai ei?

4 Laskentaohjelmat

4.1 Yleistä

Ympäristövaikutusten laskentaa toteutetaan perinteisesti käyttämällä konsulttipalveluja. Konsulteille on tarjolla useita erillisiä työkaluja, tietokantoja ja painotusmenetelmiä. Seuraavassa osoitteessa esitetään eräs yhteenvedo elinkaarilaskennan työkaluista ja tietokannoista: <http://www.buildingecology.com/sustainability/life-cycle-assessment/life-cycle-assessment-software>.

Yleensä nämä perinteiset LCA ohjelmat eivät käytä automaattisesti tietomallipohjaisia lähtötietoja kohteen materiaaleista, laajuudesta sekä massoista, vaan suunniteltava rakennus mallinnetaan LCA-ohjelmiin rakennuksessa käytettyjen materiaalien pohjalta. Lisäksi ohjelmaan usein vain syötetään käytönaikainen energiankulutus, joka sitten linkitetään käytettävään energiamuotoon. Viime vuosina esim. arkkitehtisuunnittelun mallinnusohjelmia edustavat ohjelmakehittäjät ovat kuitenkin alkaneet kehittää myös tietomalleihin perustuvia ympäristöarviointien työkaluja. Seuraavassa esitetään esimerkkejä tarjolla olevista tietomallia hyödyntävistä ympäristövaikutusten arviointiohjelmista.

4.2 ArchiCAD 16 Energia-arvio



Perustiedot ja toiminnallisuus

ArchiCAD 16 Energia-arvio on ollut aiemmin saatavilla erillisenä Graphisoft Ecodesigner – ohjelmalaajenuksena, joka on vaatinut erillisen ohjelma-asennuksen, mutta kuuluu ArchiCAD 16 ohjelmaversiosta alkaen mallinnusohjelman vakiotyökaluihin. EcoDesignerista on kuitenkin olemassa kaksi eri versiota: perusversio, joka asentuu osana ArchiCAD 16 ohjelma-asennusta, ja tarkempaan analysointiin kykenevä maksullinen EcoDesigner Star, joka on kirjoitushetkellä vasta tulossa myyntiin. Erona on mm., että ilmaisessa perusversiossa koko rakennuksen tilavuutta käsitellään yhtenä tilana, kun Star-versiossa jokainen tila käsitellään erikseen (Virolainen 2012). Tässä raportissa käsittelemme ensin mainittua perussovellusta ja Energia-arvion tekemistä ArchiCADillä osana mallintavaa rakennussuunnitteluprosessia, jolloin arkkitehti voi vaikuttaa suunnittelullaan rakennuksen ympäristövaikutuksiin esimerkiksi seuraavien tekijöiden kautta: rakennuksen suuntaaminen ilmansuuntiin nähden, rakennuksen muoto ja aukotukset sekä vaipparakenteiden lämpöfysikaaliset ominaisuudet.

EcoDesigner on tarkoitettu erityisesti suunnitteluprosessin alkuvaiheeseen ja sitä käytetään ArchiCADin normaalin käyttöliittymän kautta Energia-arvio –toimintona, kohdistuen laskenta ja analysointi kulloinkin käsillä olevaan eli mallinnusohjelmassa avoimena olevaan ArchiCAD-tietomalliin. BIMiin perustuvan energiasimuloinnin (BIM-integrated Energy Modeling) vaiheet ovat tällöin karkeasti: mallinna, arvioi, raportoi (Graphisoft 2012). Energia-arviointi perustuu tietomallin geometrian analysointiin ja rakennuksen sijainnin mukaiseen säädätaan, rakenteiden, ikkunoiden ja ovien

lämpöominaisuuksiin sekä käyttäjän määrittelemiin lisätietoihin. Energia-analyysi tehdään tunnetulla sertifioidulla VIPCore laskentamoottorilla. Se käyttää tarkkaa dynaamista laskenta-algoritmia, joka arvioi lämmönsiirtoa rakennuksen vaipan rakenteiden läpi vuoden jokaisena päivänä ja vuorokauden jokaisena tuntina (Khemlani 2012). Laskennan ja arvioinnin päätulokset ovat suunniteltua rakennusta vastaava vuosittainen energiankulutus, rakennuksen käytön aikainen hiilijalanjälki ja kuukausikohtaiset energiataseet. Lisäksi tulosraportti sisältää kootusti perustiedot kohteesta ja sen keskeisimmistä energia-analysoinnin tuloksista sekä tulokseen vaikuttavista tekijöistä (esim. sijainti, käyttötarkoitus ja laajuustietoa, sekä vaipan keskimääräinen U-arvo, lämmitys- ja jäähdytysenergian tarve jne.). Analyysin tulosta voidaan hyödyntää suunnitteluratkaisujen kuten esimerkiksi aurinkosuojien ja käytettävien rakennetyyppien optimointiin, kun tavoitteena on käytön aikaisen energiankulutuksen ja hiilijalanjäljen minimointi. Tulosraportin eli *Energiatehokkuusarvion* voi tallentaa ArchiCAD:sta pdf-muotoon, ja suunnitelmien päivittyessä tai tarkentuessa analysointi suoritetaan uudelleen. Laskentaan käytettävä nk. energiamalli (Building Energy Model, BEM) päivittyy kuitenkin mahdollisimman automaattisesti suunnittelu-mallin (BIM) kehittyessä.

Laskentaan tarvittavat tiedot

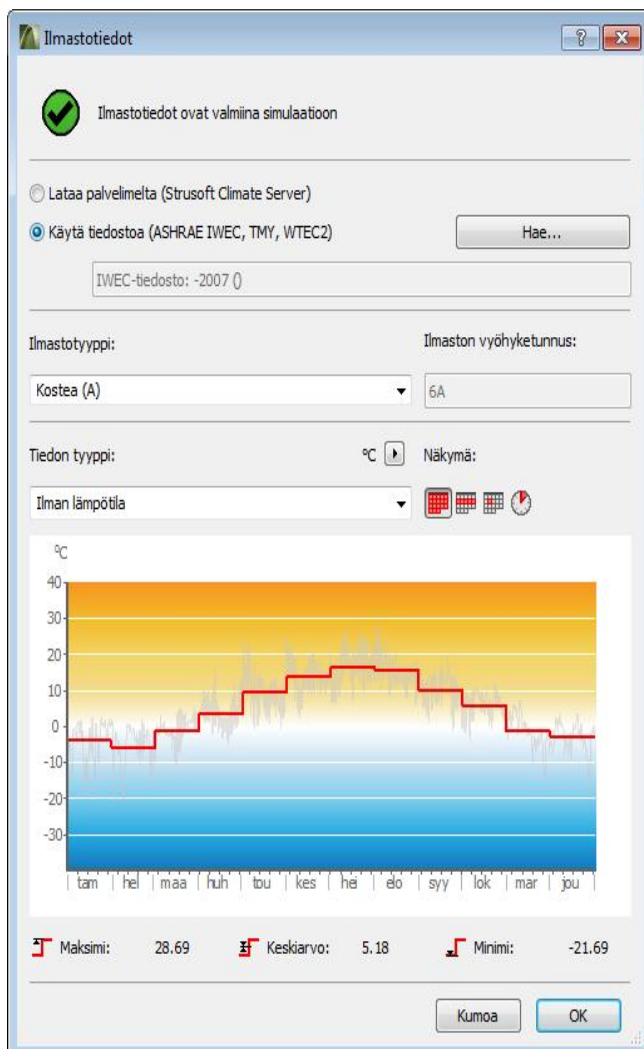
Tarvittavat geometria- ja tuotetiedot otetaan tietomallista, mikä aiheuttaa vaatimuksia sekä 3D-mallinnukselle että mallin tietosisällölle. Lisäksi käyttäjä syöttää lisätietoa rakennuksen energiankulutukseen ja hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä, joihin on kuitenkin apuvälineitä kuten valmiita valintalistoja.

1. Vaatimukset tietomallille (rakennuksen geometrian mallinnukselle):
 - Vähintään rakennuksen vaippa mallinnettava, mutta suositeltavaa olisi mallintaa myös kaikki lämmön varaamisen kannalta merkittävät väliseinät yms. rakenteet
 - Mallinnus suositellaan tehtäväksi rakennetyypeillä (composite structures), ja näiden materiaalikerroksiin linkitettyjä täytteitä tulee käyttää johdonmukaisesti vastaamaan aina tiettyä materiaalia
 - Tietomallissa on oltava tilamäärittelyt eli ArchiCAD vyöhykkeet, ja niiden tulee rajautua ympäröiviin rakenteisiin kuten lattiaan, seiniin ja kattoon
 - Maanpinnan mallinnus pitää tehdä Pinta-työkalulla (Mesh-tool)
2. Materiaaliominaisuudet, joita laskentaan tarvitaan:
 - Lämmönjohtavuus λ [W/m K]
 - Tiheys [kg/m³]
 - Ominaislämpökapasiteetti [J/kg K]
3. Lisätiedot, jotka sovellus pystyy hyödyntämään ja käyttäjä määrittelee kattavaan energiatehokkuusarvioon:
 - Rakennuksen ympäristöä koskevaa tietoa (ympäristön asetukset)
 - Käyttötarkoitukset
 - Talotekniikkaratkaisut
 - Energialähteen kertoimet
 - Energiakustannukset hankintahintoina

Sovellus sisältää lämmönläpäisykertoimen eli U-arvo-laskurin, joka hyödyntää tietomallin rakennetyyppejä, ja niiden eri materiaalikerrosten lämpöominaisuustietoja. Rakenteille kuten seinä on kuitenkin mahdollista määrittellä nk. Energiamallin tarkasteluvaiheessa myös suoraan haluttu U-arvo korvaamalla laskettu arvo tilapäisesti toisella arvolla. Tämä U-arvojen ”päällekirjoitus” on perusteltua lähinnä vertailtaessa eri rakennetyyppivaihtoehtojen vaikutusta energiatehokkuuteen, tai jos kyse on

luonnossuunnittelusta ja rakennetyypejä ei ole vielä valittu (tarkemmin sovellusesimerkissä jäljempänä).

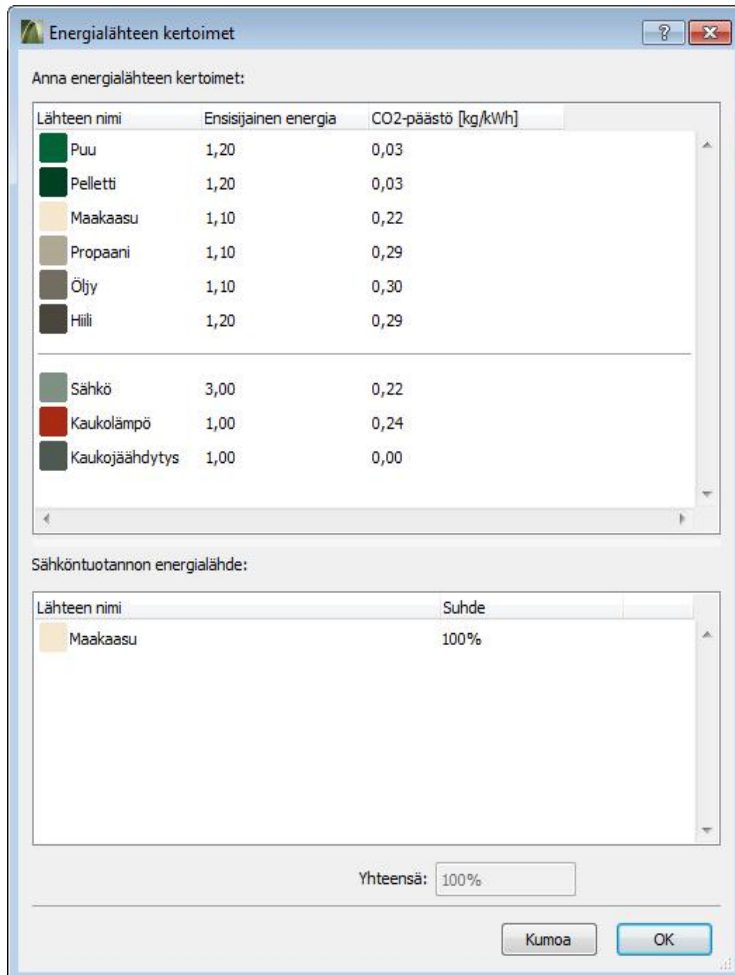
Lisätiedot, jotka sovellus tarvitsee kattavaan energiatehokkuusarvioon, sisältää rakennuksen ympäristön asetukset, joita ovat sijainti ja ilmasto, maanpinnan taso, maaperän laatu (esim. sora tai kallio), sekä tuulisuojaisuus (suojainen/osin suojainen/suojaamaton) ja ympäristön antama varjo ilmansuunnittain (ei varjostava, osittain varjostettu, varjostava, paljon varjostava). Ympäristön säätiedot (lämpötila, kosteus, tuulen nopeus ja auringon säteily) EcoDesigner saa automaattisesti käyttäjän tekemän rakennuksen sijaintimäärittelyn perusteella. Määrittely tehdään kaupunkien/paikkakuntien listasta, minkä jälkeen valitaan sovelluksen säätietokannaksi joko Strusoft-palvelimen tietokanta tai tiedosto ASHRAE, IWEC, TMY tai WTEC2 (Kuva 11).



Kuva 11. Ilmastotietonäkymä ArchiCAD 16 ohjelmassa.

Muita keskeisiä lisätietoja, joita sovellus pystyy hyödyntämään ja käyttäjä määrittelee, ovat käyttötarkoitus, jolloin voidaan määritellä pääasiallinen/primääri käyttötarkoitus ja myös muut käyttötarkoitukset suhteellisina osuuksina (esim. asuntona 100 % tai pääasiallinen käyttö luokkahuoneena 80 % ja muu käyttö kokoushuoneena 20 %). Talotekniikkaa koskien määritellään lämmitys-, jäähdytys, ilmanvaihto- ja

vedenlämmitysratkaisut sekä vihreät järjestelmät kuten aurinkokeräin, lämmön talteenotto ja lämpöpumppu. Hiilijalanjälkilaskentaa varten ohjelma sisältää myös energiamuodoittain energia- ja päästökertoimia (Kuva 12), joita voidaan käyttää sellaisenaan tai manuaalisesti syöttää omia tietoja. Myös käytettyjen energiamuotojen hankintahinta voidaan syöttää valmiisiin tietokenttiin, jolloin arviointiraporttiin saadaan myös arvio rakennuksen käyttökustannuksista.



Kuva 12. Energialähteiden kertoimet ArchiCAD 16 ohjelmassa.

Laskenta- ja arviointiprosessin eteneminen

Kun rakennuksesta on olemassa tietomalli, energia-arvion laatiminen etenee karkeasti vaiheittain seuraavasti: Mallin valmistelu energiatarkesteluun -> Energiamallin rakenteiden tarkastelu ja lisätietojen syöttö -> Laskenta eli energiasimulointi -> Tulosten raportointi ja analysointi sekä vertailu, jos analysoidaan vaihtoehtosuunnitelmia.

Energialaskentaan voidaan periaatteessa käyttää samaa mallia kuin suunnitteluunkin, jos mallinnuksessa on noudatettu edellä kuvattuja periaatteita (energiasimuloinnin vaatimukset tietomallille). Jotta päästäisiin mahdollisimman oikeaan/tarkkaan tulokseen, erityistä huolellisuutta tarvitaan kuitenkin esim. tilojen mallintamisessa. (Kukin tila suositellaan mallinnettavan omana vyöhykkeenään, ja vyöhykkeiden pitää täsmätä vyöhykerajojen kanssa eli täyttää koko tila. Usean kerroksen korkuisetkin tilat tulisi mallintaa kerroksittain.) Laskenta kohdistetaan vain tietomallin näkyvissä oleviin osiin, ja ennen energiasimuloinnin suorittamista, mallin valmisteluun kuuluu energiasimuloinnin kannalta epäoleellisen tiedon piilottaminen (esim. kalusteet), sekä simulointiin soveltuvien 2D- ja 3D-näkymien tallennus. Näkymät luodaan sen mukaan, mitkä osat halutaan yhteen simulointiin mukaan, ja miten tuloksia halutaan tarkastella ja visualisoida.

Energiamallin tarkastelussa tietomallin rakennusosat jaotellaan erilaisiin rakenteisiin kuten ulkoseiniin, ala- ja välipohjiin, rakennuksen sisäpuolisiin osiin jne. Samassa yhteydessä jaotellaan myös ulkoseiniä aukot oviin ja ikkunoihin. Energiamallin tarkastelun tuloksena saadaan listat rakenteista ja aukoista energiasimuloinnin kannalta relevantteine tietoineen. Aukkoja koskien sovellus listaa onko kyseessä ikkuna vai ovi, sekä esim. kullekin ilmansuunnan, pinta-alan, U-arvot, mahdolliset aurinkosuojat jne. (Oletusarvoisesti esimerkiksi ikkunoille ei ole mitään aurinkosuojauksia, mutta alaspudotusvalikosta voidaan suojaukseksi määrittellä esim. sälekaihtimet.) Rakenteista (esim. seinistä) listattavia tietoja ovat puolestaan mm. pinta-ala, rakennetyypin nimi ja yhteenlaskettu paksuus sekä U-arvo. Jos materiaalien ominaisuustietoja puuttuu, ohjelma ei pysty laskemaan U-arvoa ja ilmoittaa siitä. Tietojen lisäämiseen on useampia tapoja (kuvataan tarkemmin sovellusesimerkissä luvussa 5.2). Tarkastelun tulosta Graphisoft kutsuu Energiamalliksi (Building Energy Model, BEM), eli Tietomallista tulee Energiamalli. Käyttäjä voi tarkastella nk. BEM-mallia erilaisten visualisointityökalujen avulla.

Malli-pohjainen laskenta käynnistetään komennolla *Aloita energiasimulaatio*, jonka suoritettuaan ohjelma tulostaa näytölle määrämuotoisen energiatehokkuus-raportin. Raportin sisältö jakautuu seuraaviin osioihin: Perustiedot (kohteen perustiedot ja tunnusluvut sekä yhteenvetona avainlukuja energiatehokkuudesta ja CO₂-päästöistä), Energiankulutus lähteittäin (energiamäärät ja – kustannukset sekä CO₂-päästöt lähteittäin ja yhteenlaskettuina), Energiankulutus kohteittain, sekä Kuukausittaiset energiataseet (energian tuotto/saanti ja käyttö kuukausittain). Liitteenä tulosraportti-esimerkki (Liite 1). Energiatehokkuusarvio-raportin ulkoasua voi vielä hieman säätää ylä- ja alatunnisteen osalta ennen sen tallennusta pdf-dokumentiksi ja eteenpäin toimitusta.

Tulosten analysointi ja arviointi voi tarkoittaa käytännössä paitsi yksittäisen suunnitelman arviointia, myös vaihtoehtosuunnitelmien vertailua energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten näkökulmasta. Suunnittelun edetessä tarkentuessa analysointi suoritetaan uudelleen. Energia-mallin on tarkoitus päivittyä automaattisesti mallinnuksen ohella, jolloin energia-arvionkin päivitys on helppoa ja nopeaa, mutta

päivitystilanteissa on kuitenkin muistettava suorittaa päivityskomento Energiamallille ja vyöhykkeille, sekä materiaalien ominaisuustiedoille ja muille lähtötiedoille, jotka ovat muuttuneet ja vaikuttavat laskennan tuloksiin.

Energia-arvioprosessin eteneminen esitetään tarkemmin sovellusesimerkkinä luvussa 5.2. (Ympäristölaskenta käyttäen ArchiCAD 16 Energia-arvio –työkalua), ja lisää tietoa sovelluksesta tarjoaa esimerkiksi ohjelmistokehittäjä Graphisoft osoitteessa <http://www.graphisoft.com/>.

4.3 Autodesk Ecotect Analysis

Perustiedot ja toiminnallisuus

Autodesk Ecotect Analysis on suunnitteluohjelmista erillinen useita eri laskentavaihtoehtoja sisältävä analyysiohjelmisto, jolla voidaan laskea rakennuksen käytön aikainen energiankulutus ja sen tuottamisesta syntyvät hiilidioksidipäästöt (kg CO₂ eq), sekä eri rakennetyyppien sisältämien materiaalien tuottamisesta syntyvät hiilidioksidipäästöt ja rakenteisiin sitoutunut energia. Myös rakenteiden ylläpitoon kuluva energia on mahdollista laskea rakennetyypeille ilmoitettujen ylläpidon energiankulutustietojen avulla. Energiankulutus on mahdollista laskea vuositasolla, päivä- tai tuntikohtaisena. Ohjelman muita ominaisuuksia ovat olosuhde-, valaistus-, melu-/ääniolosuhde-, ja luonnonvaloanalyysit sekä määrälaskenta.

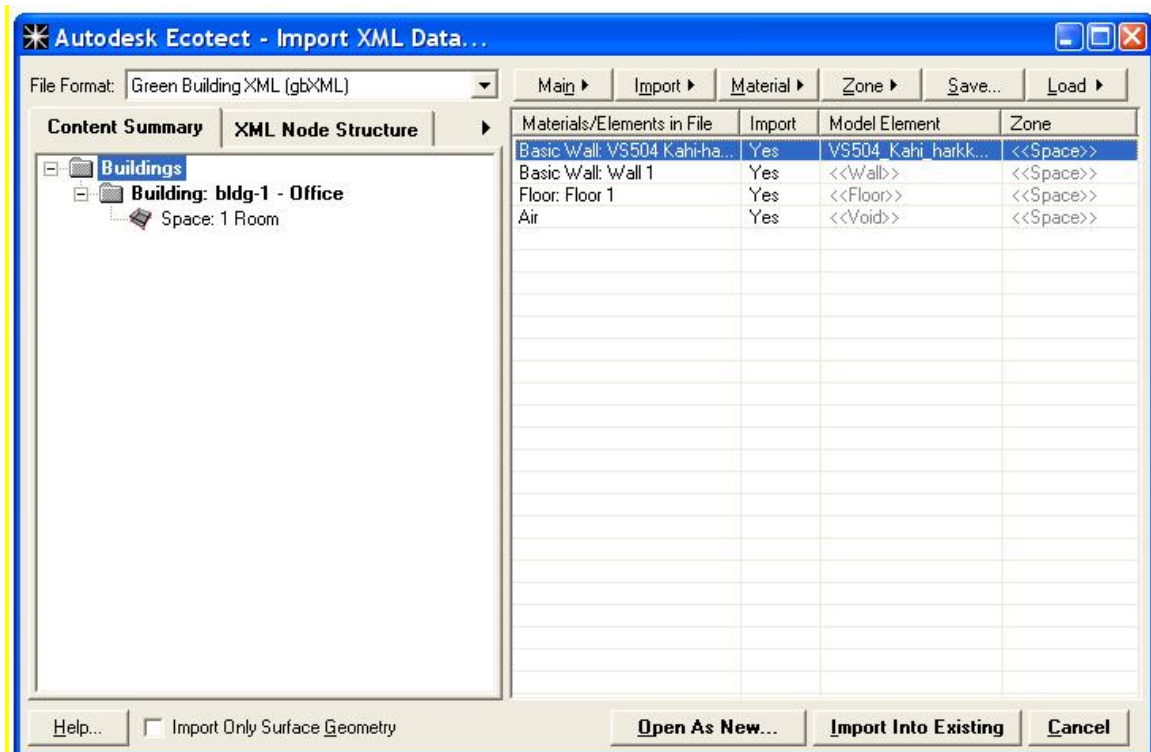
Päästölaskentaan tarvittavat tiedot

1. Rakennuksen malli:

Laskennat perustuvat joko Ecotectissa piirustusten pohjalta mallinnettuun, 3D-geometrian pohjalta luotuun analyysimalliin tai Autodesk Revitissä mallinnettuun ja gbXML-formaatissa tuotuun rakennuksen malliin, jonka mukana tulevat tilat sekä niitä rajaavat pinnat (space boundary). Ecotectiin vietävälle tietomallille (gbXML Revit:sta) on seuraavia vaatimuksia:

- Vähintään rakennuksen vaippa on mallinnettava, koska kaikki rakenteet vaikuttavat mm. lämmönläpäisyn ja lämmönvarauksen kautta laskentatuloksiin. Myös väliseinät on hyvä mallintaa.
- Tilat on mallinnettava Revitissä siten, että asetukseksi on valittu sekä pinta-alojen että tilavuuden laskenta.
- Jotta laskentatulokset olisivat luotettavia tilaobjektien on rajauduttava ympäröiviin rakenteisiin kuten väli- tai yläpohjaan (suositellaan varmistettavaksi pitämällä leikkausnäkyviä auki tiloja mallinnettaessa)

Suoritettujen testauksen perusteella Revit-mallin rakenteille valitut rakennetyypit eivät siirry gbXML-muotoisen mallin mukana. Tilaobjektit ja niitä rajaavat rakennusosat pintakappaleina (space boundaries), jotka muodostuvat Revitin seinistä, siirtyvät Ecotectiin, mutta Revitissä määritetyt seinien rakennetyypit eivät siirry. Tuonnissa on kuitenkin mahdollista tehdä linkitys Revit-rakennetyyppien ja Ecotect-rakennetyyppien välille, jolloin Ecotect:ssä tehdyt rakennetyyppimääritykset kytkeytyvät Revit-rakennetyyppien perusteella tuotuihin objekteihin (vrt. seuraava kuva). Tuonnissa ei ole ID-pohjaista versiohallintaa, joka mahdollistaisi muuttuneiden rakennusosien päivittämisen.



Kuva 13. Ecotect-rakennetyyppien kytkeminen Revit-rakennetyyppeihin

IFC-muotoista tiedonsiirtoa ei voida hyödyntää tietomallien siirroissa Ecotectiin, koska IFC-tuonti ei vielä toimi.

Jos rakennuksen mallia ei tuoda Ecotectiin, se voidaan mallintaa joko piirustusten pohjalta käyttäen ohjelmiston mallinnusominaisuuksia tai lisäämällä tilaobjektit ja rakennusmateriaalitiedot esim. 3DS- formaatissa tuotuun 3D-geometriaan. Jotta 3D-geometriaa voidaan hyödyntää on sen oltava jaoteltuna rakennetyyppien mukaisiin kappaleisiin. Ecotect Analysis tukee seuraavia arkkitehtisuunnitteluohjelmissa yleisimmin käytettyjä tiedostoformaatteja:

- gbXML (Revit)
- 3DS
- 3D DXF
- Lightscape
- 2D DXF

Tiedostojen vienti Ecotect:sta mm. Energy Plus -formaattiin on mahdollista, mutta ei tarpeellista arkkitehtisuunnittelun kannalta. Tallennus Energy Plus -muotoon palvelee lähinnä tietojen vientiä muihin analyysiohjelmiin.

2. Rakennetyypit, materiaalit ja materiaaliominaisuudet:

Laskentaa varten tiloja rajaaville rakennusosille (space boundary -objekteille) täytyy määrittää Ecotectissa rakennetyypit, jotka sisältävät laskennassa käytettävät tiedot. Rakennetyypit määritellään rakennekirjastoon. Rakennetyypeille määritetään materiaaliominaisuuksia sekä rakennetyyppikohtaisesti että rakennekerroskohtaisesti (rakennetyyppi- tai materiaali-tasolla). Rakennekerrokset voidaan joko valita materiaalikirjastosta tai määrittää rakennetyyppikohtaisesti niin että rakennekerroksen materiaali esiintyy vain yhdessä rakennetyypissä. Esim. rappauslaasti voidaan valita

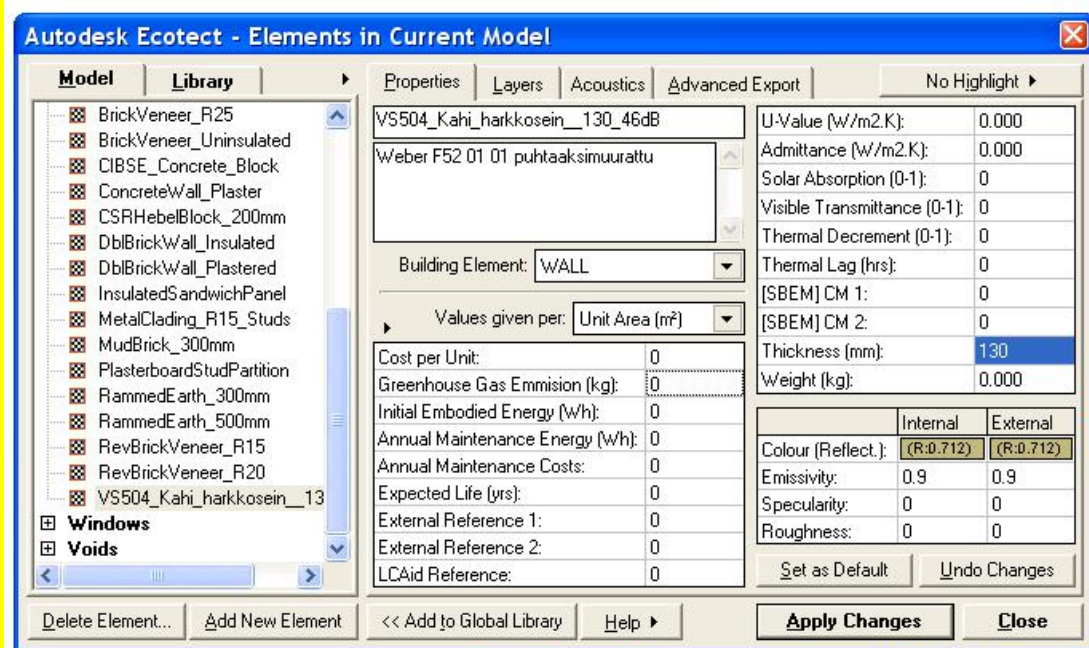
etukäteen määritellyistä vaihtoehdoista tai ominaisuudet voidaan yhden rakennetyypin sisällä Osassa rakennetyypeistä ja materiaaleista on valmiina oletusarvoja. Seuraavassa listattu rakennetyyppikohtaiset ja rakennekerros-kohtaiset parametrit (oletusarvoja sisältävät ominaisuudet lihavoitu).

Rakennetyyppikohtaiset ominaisuudet (vrt. Kuva 14):

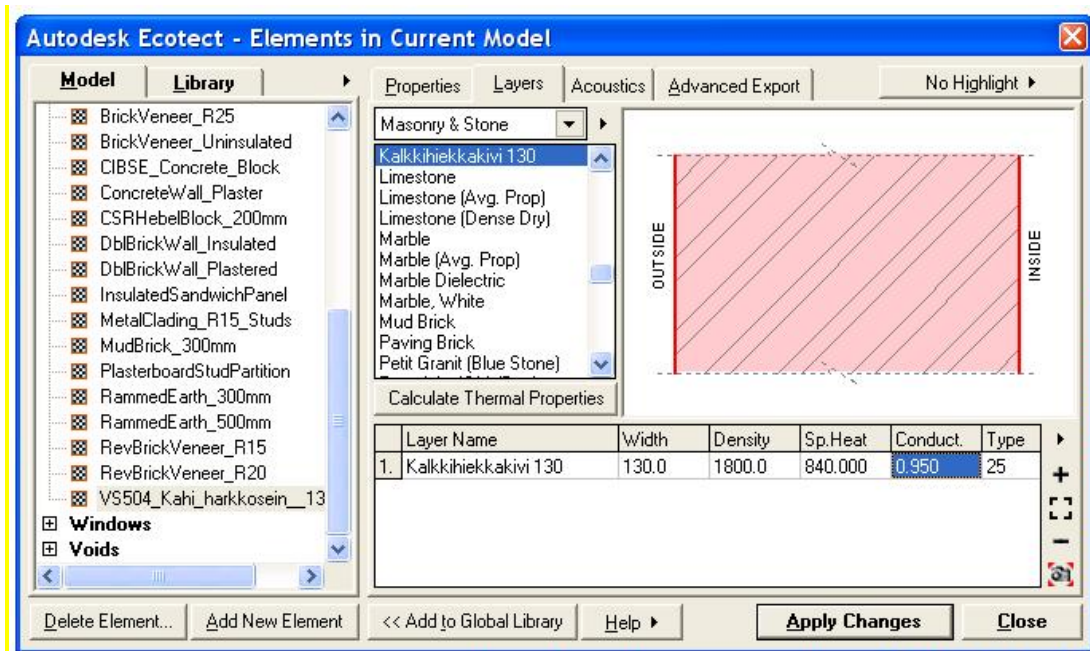
- Rakennetyypin nimi
- Paksuus
- Yksikköpaino
- Yksikkökustannus
- Kasvihuonekaasupäästöt
- Sitoutunut energia
- Ylläpitoon vuosittain kuluva energia
- Vuosittainen ylläpitokustannus
- Käyttöikä
- U–arvo
- Lämmönjohtavuus (W/m^2K)
- Auringon valon absorptio (0–1)
- Lämpövaimennussuhde (thermal decrement – lukuarvo 0–1 väliltä)
- Lämpöviive (thermal lag – yksikkönä tunti)

Rakennekerroskohtaiset ominaisuudet (vrt. Kuva 15):

- Rakennekerroksen nimi
- Paksuus
- Tiheys
- Ominaislämpökapasiteetti ($J/kg^{\circ}C$)
- Lämmönjohtavuus ($W/m^{\circ}C$)



Kuva 16. Rakennetyypin ominaisuudet.



Kuva 17. Rakennekerroksen materiaaliominaisuudet.

Rakennetyypeille syötetään rakennetyyppiin liittyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrä valittua rakennetyypin yksikköä kohti (Greenhouse Gas Emission (kg), vrt Kuva 18), jota tarvitaan rakennusmateriaalien päästöjen laskemiseen. Rakennetyypin yksiköksi voidaan valita esim. neliometri, jolloin päästöt lasketaan kilogrammoina jokaista rakennetyypillä mallinnettua neliometriä kohti. Kasvihuonepäästöjen määrää syötettäessä käyttäjällä on oltava tieto mistä ne muodostuvat ja, jotta tietojen perusteella tehtävä laskenta olisi luotettava, niiden on oltava yhdenmukaiset koko rakennetyypikirjastossa.

Energiankulutukseen ja sitä kautta syntyviin päästöihin vaikuttavat materiaaliominaisuudet määritetään sekä rakennetyyppi- että rakennekerroskohtaisesti: Rakennetyypikohtaisesti määritetään auringon säteilyn absorptiokerroin (Solar absorption) ja U-arvo. Rakennekerroskohtaisesti määritellään, paksuus, tiheys, ominaislämpökapasiteetti (J/kg°C) ja Lämmönjohtavuus (W/m°C).

3. Talotekniikka, sekä tilat ja niiden käyttö:

Ecotectissa lämmitysjärjestelmä määritellään valitsemalla erilaisista lämmönlähde- ja lämmönjakotapakombinaatioista. Vaihtoehdot sisältävät myös maasta tai vedestä sekä ilmasta lämmön ottavat lämpöpumput. Lisäksi voidaan määritellä ilmastoinnille lämmönlähteenotto ja eri järjestelmien tehokkuuksia. Vastaavasti voidaan määritellä jäähdytysjärjestelmät.

Tiloja koskien määritellään niissä tapahtuvan toiminnan, lämpöviihtyvyyden, käyttöaikojen sekä ilmastoinnin ja lämmityksen tiedot. Tiloissa tapahtuva toiminta määritetään henkilöluvulla sekä toiminnan ruumiillisella aktiviteettitasolla, joka määrittää syntyvän lämmön. Henkilöluvu voidaan määrittää joko suoraan lukuna tai valita valikosta tilatyypin, jolle on esim. toimistolla kolme vaihtoehtoa: Avotoimisto, tyypillinen, ahdas. Valittaessa valikosta tilatyypin Ecotect määrittää henkilöluvun sisäisten sääntöjen mukaan. Toiminta valitaan valikosta, jossa on joko ruumiillisen rasituksen luokkia tai vaihtoehtoisesti joitakin työtehtäviä, jotka määrittävät

ruumiillisesta rasituksesta syntyvän lämpöenergian. Lämpöviihtyvyyden tiedoiksi tiloille määritetään käyttölämpötilojen raja-arvot, jotka vaikuttavat lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutukseen. Ilmastoinnin ja lämmityksen tyypit valitaan alavetovalikosta sekä tilojen käyttöajat määritellään lämpötilaominaisuudetvälilehdellä (Thermal properties).

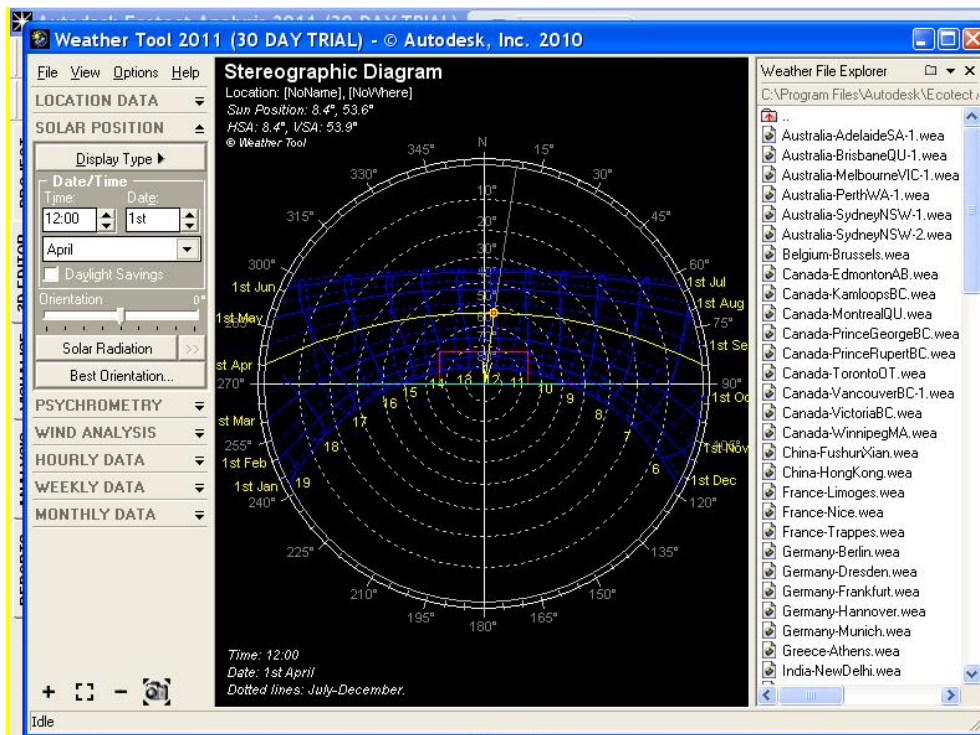
Ecotectissa voidaan myös tuottaa energiankulutustietoja brittiläisen kansallisen standardin mukaisesti. Niitä varten tiloille ja järjestelmille määritetään erikseen tarkemmat tiedot SBEM profiileihin.

4. Sääolosuhteet:

Rakennuksen sijainnin mukaiset sääolosuhteet määritellään joko hakemalla sijainnin mukainen tiedosto tai Weather Manager –työkalulla, johon syötetään paikalliset tiedot.

Valmiita suomalaisten paikkakuntien mukaisia tiedostoja ei ole valmiina, mutta Helsingille ja Tampereelle on Yhdysvaltain energiaviranomaisten tuottamia tiedostoja, jotka vaativat konvertoinnin erillisellä ohjelmalla Ecotectille sopivaan *.WEA-tiedostomuotoon. Muiden paikkakuntien sijaintitiedot on syötettävä käsin, jolloin tarvitaan seuraavat tiedot:

- Nimi
- Aikavyöhyke
- Korkeuspiiri
- Leveyspiiri
- Korkeus merenpinnasta
- Hajavallo taivaalta



Kuva 19. Säätiöjen määrittäminen rakennuksen sijainnin mukaan.

Laskenta- ja analysointiprosessin eteneminen

Kuten edellä mainittu, analysointi tehdään Ecotectissa joko Revitissä mallinnetulle ja Green Building XML-formaatissa tuodulle mallille, tai jos malli puuttuu, CAD-piirustusten (DWG) pohjalta tehdylle analyysimallille, tai täydentämällä pelkän 3D-geometrian sisältävä malli analyysimalliksi. Kun puhutaan ympäristöarvioinnista osana mallintavaa arkkitehtisuunnittelua, on tavoitteena hyödyntää suunnittelijan Revit-mallia.

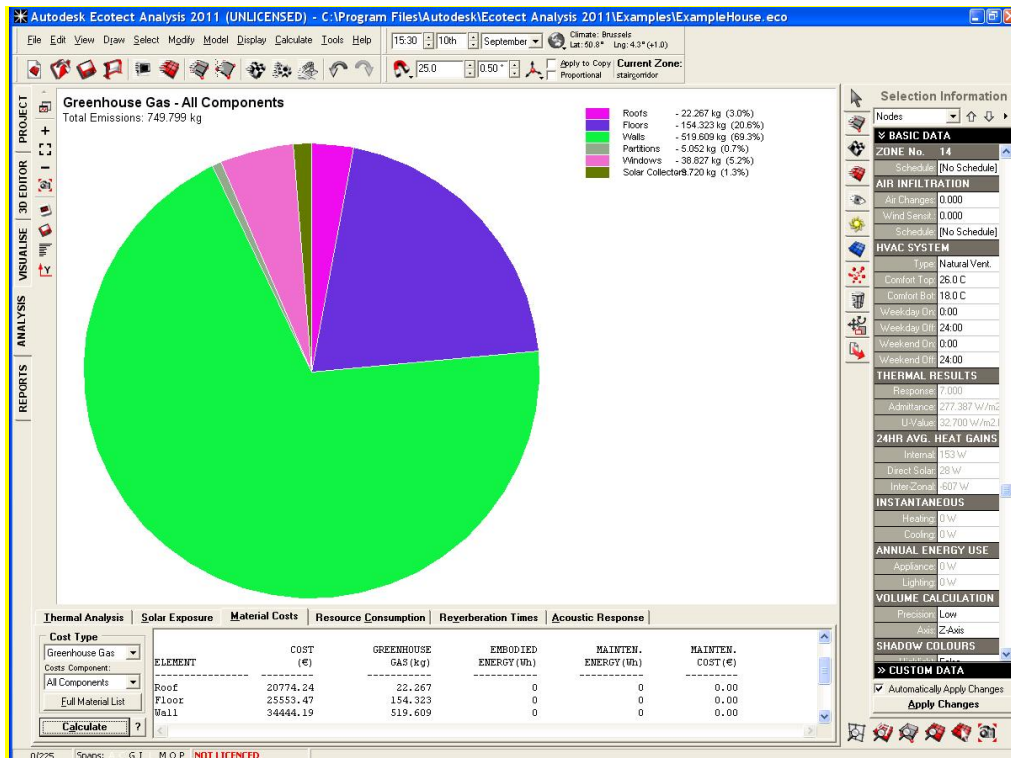
Revitissä malli valmistellaan analysointia varten tarkastamalla, että tilaobjektit rajautuvat ympäröiviin rakenteisiin. Tämä koskee erityisesti pystysuuntaista rajautumista väli- ja yläpohjiin. Tämän jälkeen malli tallennetaan gbXML-tiedostoksi, joka viedään Ecotectiin analyysimalliksi. Tuotaessa gbXML-malli Ecotectiin, sen sisältämät rakennetyypit kytketään Ecotectissa määriteltyihin rakennetyyppeihin. Jos tätä ei tehdä, Ecotect asettaa rakennetyypeiksi oletusrakennetyyppejä, jotka pitää vaihtaa jälkikäteen. Revitistä siirtyneet tilat käydään läpi ja niille on määriteltävä edellä tarkemmin esitetyt talotekniikkaan, olosuhteisiin sekä käyttöön liittyvät tiedot.

Analyysit on jaettu useaan eri osioon analyysien tyyppin mukaan. Energiankulutus on resurssien kulutus-osiossa ja rakennusmateriaalien päästöt ovat materiaalikustannus-osiossa. Molempien osioiden alla on mahdollista tehdä päästöihin liittyvien analyysien lisäksi useita muita erilaisia laskentoja kuten esim. olosuhdesimulaatioita.

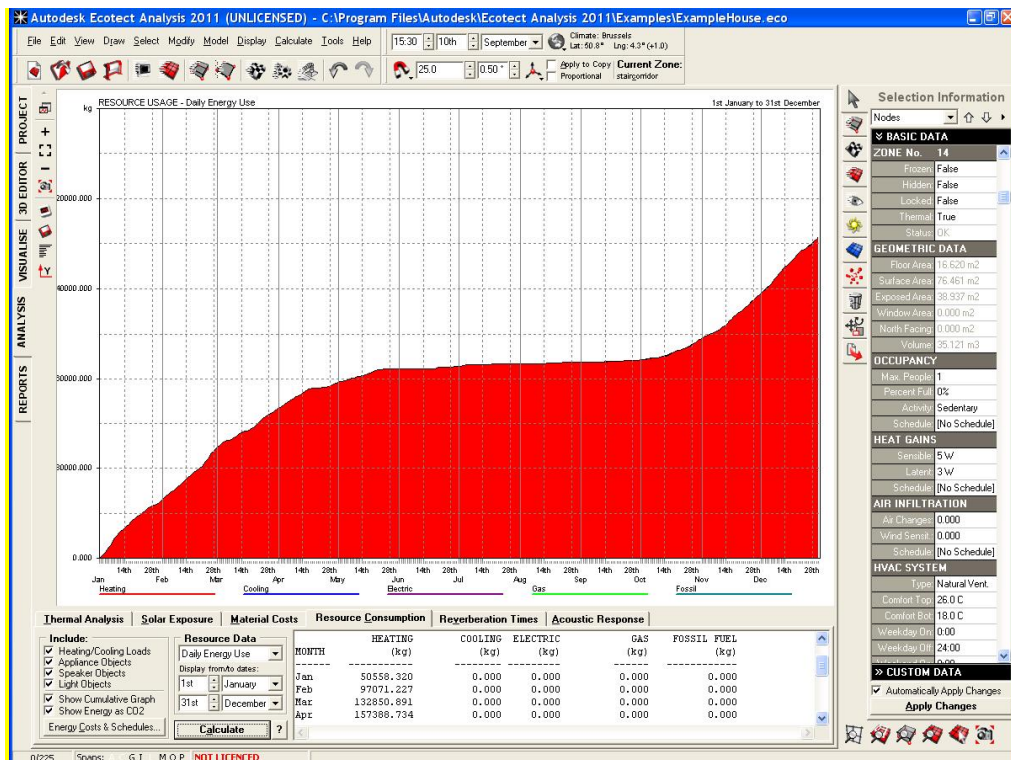
Energiankulutuksen laskenta käynnistetään Calculate-valikon komennolla ”Resource Consumption...”. Avautuvassa laskentadialogissa valitaan näytettäväksi energian kulutus sen tuotannossa syntyvinä hiilidioksidipäästöinä (kg) sekä lähtötiedoiksi päivittäinen energiankulutus. Laskennan tulos on myös mahdollista näyttää kulutettuna energiana (Wh) ja lisäksi on mahdollista laskea myös rakennuksen eri toimintojen energiankulutusta – mm: sähkön-, kaasun-, öljyn- ja vedenkulutus.

Rakennusmateriaalien tuottamien päästöjen laskenta käynnistetään Calculate-valikon komennolla ”Material Costs...”. Avautuvassa laskentadialogissa valitaan kustannustyyppiä kasvihuonekaasut ja laskentaan mukaan haluttavista rakennusosista kaikki tai jokin pääryhmä. Myös rakennusmateriaaleihin sitoutunut energia tai niiden ylläpitoon kuluva energia on mahdollista laskea vastaavalla tavalla.

Lisäksi on mahdollista laskea Iso-Britannian rakennusmääräysten mukainen energiankulutusraportti (SBEM). Ohjelmiston valmistajan mukaan ohjelmistolla on mahdollista myös luoda erilaisia käyttäjän määrittämiä raportteja, joihin voidaan koota analyysituloksia sekä näkymiä analyysimallista. Valmiita raporttipohjia ei kuitenkaan tule ohjelmiston mukana Yksittäisten analyysien tuloksia hallitaan Data Manager toiminnolla, joka mahdollistaa tulosten tallentamisen tiedostoihin ja niiden vertailun sekä uudelleen laskennan.



Kuva 20. Esimerkki rakennusmateriaaleista syntyvien hiilidioksidipäästöjen arviosta rakennusosittain.



Kuva 21. Energiankulutus ilmoitettuna syntyvän hiilidioksidin määrinä.

Autodesk Ecotect Analysis 2011 (UNLICENSED) - C:\Program Files\Autodesk\Ecotect Analysis 2011\Examples\ExampleHouse.eco

File Edit View Draw Select Modify Model Display Calculate Tools Help 15:30 10th September Climate: Brussels Lat: 49.8° Long: 4.3° (+1.0)

REPORT GENERATOR EFORMAT... Show Summary Page on Startup

PROJECT: ExampleHouse.eco :: JKJUN :: ESPVM5K978 :: Thu Sep 20 17:12:16 2012
HTML "SAP Worksheet (Version 9.90)" © 2006 SQUARE ONE research
[Open All] [Close All] [Highlight Required Input]

3D EDITOR VISUALISE ANALYSIS REPORTS

+ 1. OVERALL DWELLING DIMENSIONS (COMPLETE)
+ 2. VENTILATION RATE (COMPLETE)
+ 3. HEAT LOSSES AND HEAT LOSS PARAMETER (COMPLETE)
- 4. WATER HEATING ENERGY REQUIREMENTS (COMPLETE)

	kWh/year
Energy content of hot water used from Table 1 column (b)	10 (39)
Distribution loss from Table 1 column (c)	10 (40)
If instantaneous water heating at point of use, enter '0' in boxes (40) to (45)	
For community heating use Table 1 (c) whether or not hot water tank is present	
Water storage loss:	
a) If manufacturer's declared loss factor is known (kWh/day):	10 (41)
Temperature factor from Table 2b	10 (41a)
Energy lost from water storage, kWh/year	$(41) \times (41a) \times 365 =$ 36500 (42)
b) If manufacturer's declared cylinder loss factor is not known:	
Cylinder volume (litres) including any solar storage within same cylinder	10 (43)
If community heating and no tank in dwelling, enter 110 litres in box (43)	
Otherwise if no stored hot water (this includes instantaneous combi boilers) enter '0' in box (43)	
Hot water storage loss factor from Table 2 (kWh/litre/day)	10 (44)
If community heating and no tank in dwelling, use cylinder loss from Table 2 for 50 mm factory insulation in box (44)	
Volume factor from Table 2a	10 (44a)
Temperature factor from Table 2b	10 (44b)
Energy lost from water storage, kWh/year	$(43) \times (44) \times (44a) \times (44b) \times 365 =$ 3650000 (45)

0/225 Snaps: G I M O P NOT LICENCED

Kuva 22. Esimerkki energiankulutusraportista (SBEM-raportti).

Kehitystarpeita ja mahdollisuuksia, Ecotect Analysis

Koska Ecotect on suunnitteluohjelmista erillinen ohjelma ja siinä ei testauksen sekä puutteellisen dokumentaation perusteella ole rakennusosien ID-pohjaista muutostenhallintaa, suunnitelmamuutokset on joko tehtävä suunnittelumallin lisäksi erikseen Ecotect Analysis-malliin tai tuotava päivittynyt suunnittelumalli uudestaan ja määritettävä samalla uudestaan myös tilakohtaiset tiedot, mikä lisää suunnitteluprosessin eri vaiheissa tapahtuvaa päällekkäistä työtä.

Koska rakennetyypit tai niiden nimet eivät testauksen perusteella siirry gbXML-muotoisessa tiedonsiirrossa Ecotectiin, joudutaan mallia tuotaessa Revit- ja Ecotect-rakennetyypit kytkemään toisiinsa. Linkitykseen on automaattinen arvaus-toiminto, joka testauksessa ei kuitenkaan tunnistanut samannimisiä Revit- ja Ecotect-rakennetyyppejä toistensa vastineiksi. Toimiessaan tämän tyyppinen automatiikka nopeuttaisi työskentelyä. Käytettäessä samannimisiä rakennetyyppejä jatkuvasti eri projekteissa hyöty kertautuisi.

Itse ohjelman käyttöä hidastaa se, että kaikkia talotekniikkaan liittyviä valintoja ole mahdollista tehdä koko rakennukselle niin, että ne koskisivat kerralla kaikkia tiloja tai tiettyä tilaryhmää (esim. palvelualue). Jokaiselle yksittäiselle tilalle on siis tehtävä valinnat erikseen, mikä lisää työtä ja heikentää hallittavuutta suuremmissa kohteissa.

Päästölaskentaan vaikuttavista tuotetiedoista osa on määritelty rakennekerroskohtaisesti, mutta osa rakennetyypikohtaisesti. Rakennetyypikohtaisten ominaisuuksien

automaattinen määrittäminen sen sisältämien rakennekerrosten ominaisuuksien perusteella helpottaisi tietojen hallintaa. Ainakin seuraavat ominaisuudet olisi hyvä olla määritettävissä tarvittaessa rakenne-/materiaalikerroskohtaisesti:

- Kasvihuonekaasujen päästöt
- Sitoutunut energia
- Lämpöominaisuudet (-> U-arvon laskenta automaattisesti rakenteen materiaalikerrosten perusteella)

Esim. U-arvo on nyt toteutettu siten, että rakennekerrosten lämmönjohtavuudet eivät vaikuta rakennetyypin U-arvoon. Toisin sanoen, kun U-arvo syötetään lukuarvona rakennetyypille, ja vaikka rakennekerroksien lämpöominaisuuksia säätää, niin U-arvo ei muutu, ellei sitä muuta manuaalisesti.

Pienempänä puutteena testauksissa todettiin myös skandinaavisten merkkien tuen puutteellisuus ja siitä johtuva skandinaavisten kirjainten (ä,ö) muuttuminen alaviivoiksi (Esim. Kahi harkkosein_ 130 46dB).

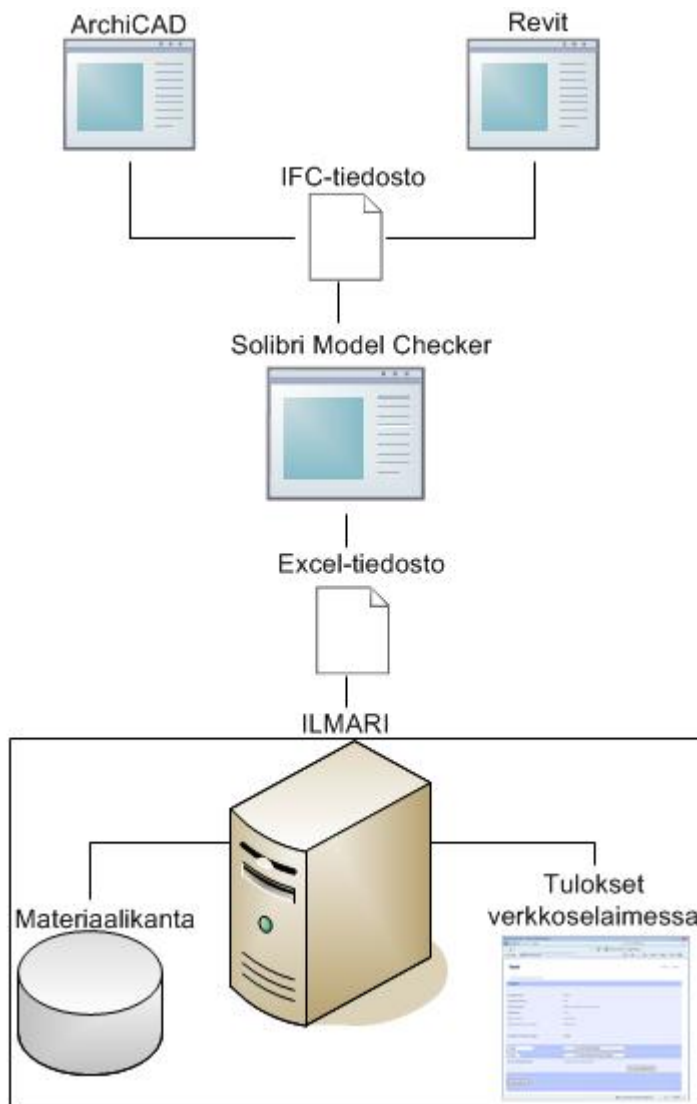
4.4 Ilmari

Perustiedot

Ilmari¹² on VTT:n kehittämä rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen laskeva web-pohjainen arviointipalvelu, jota pääsee käyttämään käyttäjätunnuksin lisenssiin perustuvan käyttäjätilin kautta osoitteessa: <http://ilmari.vtt.fi/>. Eriolaisten rakennetyyppien määriin perustuen suunniteltavalle rakennukselle lasketaan hiilijalanjälki eli kasvihuonekaasupäästöjen yhteisvaikutusta kuvaava ilmastonlämpenemispotentiaali (hiilijalanjälki, CF). Laskenta keskittyy kasvihuonekaasupäästöiltään merkittävimpiin rakennusosiin, kuten perustuksiin, rakennusrunkoon, julkisivuihin, seiniin, päällysteisiin sekä piharakenteisiin. Laskentaa voidaan tarkentaa projektin eri vaiheissa lähtötietojen tarkennuttua. Tulokset raportoidaan havainnollisena luettelona, joka sisältää rakennusosakohtaisen määrätiedon ja hiilidioksidiekvivalenttimäärän. Tuloksena annetaan myös koko rakennuksen yhteenlaskettu hiilijalanjälki, sekä kerrosalaa ja rakennustilavuutta kohden laskettu tulos.

Laskentaan käytetään materiaalitietokantaa, joka sisältää materiaalikohtaiset päästötiedot VTT:n tutkimuksiin ja yleisesti mm. RT-ympäristöselosteista saatavaan tietoon perustuen. Materiaalitietokanta sijaitsee VTT:n palvelimella, ja koska Ilmaria käytetään internetin kautta, päivitykset ovat välittömästi käytössä kaikille käyttäjille. Ilmarin web-palveluun on mahdollista tallentaa useita eri projekteja ja niihin liittyviä rakennetyyppitietoja. Materiaalitietokanta on yhteinen kaikille projekteille ja myös vaihtoehtoisten tietokantojen käyttö on kehitteillä. Laskentatuloksia on mahdollista verrata edellisellä kerralla syötettyjen määrien perusteella tehtyyn laskentaan, mikä mahdollistaa eri vaihtoehtojen tai versioiden vertailun.

¹² Ilmari arviointipalvelu <http://ilmari.vtt.fi/> Ilmari käyttöohje <http://www.vtt.fi/files/sites/ilmari/kayttoohje.pdf> . Ilmari taustamateriaalit <http://www.vtt.fi/files/sites/ilmari/hiilijalanjalki.pdf>



Kuva 23. Tuotemallista laskettavan hiilijalanjäljen prosessi Ilmari-hiilijalanjäkilaskurin avulla

Laskentaan tarvittavat tiedot

Laskentaan käytetään Ilmarissa määritettäviä rakennetyyppien laskentareseptejä sekä rakennetyyppien määriä, jotka tuotetaan Ilmarin ulkopuolella esim. tietomallista. Rakennetyyppikohtaiset määrät saadaan esim. IFC-muotoisesta tietomallista Solibri Model Checker ohjelmiston määrälaskentatoimintoja käyttäen. Määrät on mahdollista tuottaa myös perinteisellä tavalla piirustuksia apuna käyttäen.

Määrätiedot syötetään Ilmariin Excel-tiedostona, jossa on eriteltyinä rakennetyypeittäin rakennuksen sisältämien rakennetyyppien määrät. Ilmariin syötettäviä määriä on kolmea tyyppiä:

- Pinta-aloina mitattavat useammasta rakennekerroksesta koostuvat rakennetyypit, mm: yläpohjat, välipohjat, ulkoseinät
- Pinta-aloina mitattavat rakenteet: ikkunat, ovet, lasiseinät, kaiteet, lattiapinnat ja verhoilut
- Tilavuutena mitattavat rakenteet mm: palkit, pilarit, paalut, runkoportaat, perustukset ja pohja- ja piharakentamisen materiaalit

Ilmari muuntaa laskentaprosessin aikana rakennetyyppien määrät rakennusmateriaalien massoiksi ennalta määriteltyjen rakennetyyppien laskentareseptien perusteella ja laskee hiilidioksidipäästöt rakennusmateriaalien massojen ja Ilmarin tietokannassa olevien, VTT:n tutkimuksiin perustuvien materiaalien päästötietojen perusteella.

Useammasta rakennekerroksesta muodostuvien rakennetyyppien laskentareseptit määritellään web-lomakkeella Ilmarin projektikohtaiseen tietokantaan valitsemalla rakennusmateriaalikantaan määritellyistä materiaaleista rakennetyypin rakennekerrokset. Web-lomakkeena toteutetussa käyttöliittymässä rakennetaan laskennassa käytettävä resepti seuraavasti:

- Valitaan halutut rakennekerrosten materiaalit valikosta rakennetyypille relevanttien vaihtoehtojen joukosta (esim. välipohjalle näkyy eri valikoima materiaaleja kuin kevyelle väliseinälle).
- Annetaan rakennekerroksen paksuus
- Määritellään mahdollinen rakennejako ja sen mitat – esim. pystypuiden jako ja leveys (paksuus saadaan rakennekerroksen paksuudesta)
- Määritellään rakennekerroksen tuotteen käyttöikä



vtt | Logout

< Palaa takaisin

Luo rakennetyyppi (Ulkoseinät, m²)

Rakennetyypin nimi:

Rakennetyypin selite:

Materiaalikerros:		Runko:		
Materiaali	Paksuus	Runkomateriaali	Jako	Leveys
1. Rappaus, kolmikrs. (30 mm)	25 mm.	-empty-	<input type="text"/> mm.	<input type="text"/> mm. <input type="text"/> v.
2. Eriste, lasivilla, tiheys=45 kg/m3	200 mm.	-empty-	<input type="text"/> mm.	<input type="text"/> mm. <input type="text"/> v.
3. Betoniulkokuori 100 mm+ruostum (sis.raud.26 kg/m3)	100 mm.	-empty-	<input type="text"/> mm.	<input type="text"/> mm. <input type="text"/> v.
4. Eriste, lasivilla, tulensuoja	40 mm.	-empty-	<input type="text"/> mm.	<input type="text"/> mm. <input type="text"/> v.
5. Betoniulkokuori 100 mm+ruostum (sis.raud.26 kg/m3)	100 mm.	-empty-	<input type="text"/> mm.	<input type="text"/> mm. <input type="text"/> v.

Kuva 24. Näkymä rakennetyypin laskentareseptin syöttämiseen käytettävästä web-lomakkeesta. Rakennekerroksien materiaalit valitaan VTT:n kokoamasta tietokannasta alasvetovalikkojen avulla.

Pinta-aloina mitattaville rakenteille määritellään materiaali ja mm. pintakäsitellyille rakenteille kuten maalatuille paneeleille on mahdollista määrittää kaksi materiaalia. Tilavuuksina mitattaville rakenteille määritellään päämateriaali ja lisäksi on mahdollista määrittää toinen materiaali osuutena päämateriaalista. Esim. raudoitetuille betonirakenteille on Ilmarin materiaalitietokannassa määritelty oletuksena tietty teräsmäärä, mutta poikettaessa tästä määritellään päämateriaaliksi betoni ja teräs toisena materiaalina, jonka määrä lasketaan kilogrammoina kuutiossa (kg/m³) Koska Ilmaria kehitettäessä oletuksena on ollut, että IFC-tietomallissa ristikko- ja putkirakenteiden

tilavuus määräytyy niiden ulkomittojen mukaan, määritetään niiden päämateriaaliksi ilma ja materiaaliksi 2 teräs tai muu materiaali kuten esim. puu.

Laskentaprosessin eteneminen

Määräluettelon sisältävä Excel-tiedosto, jossa on Ilmariin syötettyjä rakennetyyppejä vastaavat rakennetyyppien määrät, liitetään laskentaan web-lomakkeen avulla. Laskenta suoritetaan, kun tiedosto on ladattu palvelimelle. Sovellus suorittaa laskennan syötetyn määräluettelon ja määriteltyjen rakennetyyppien pohjalta, ja tuloksena saadaan rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset rakennusosittain Talo 2000-nimikkeistön mukaisesti. Tuloslistauksessa on mahdollista valita tulokset rakennetyyppikohtaisesti eriteltynä tai ilman erittelyä valintanapilla. Myös vertailu edelliseen syötettyyn määrälistaan on mahdollista valintanapin avulla.

123	Runko	3780 m ²	447000 CO ₂ eq kg
124	Julkisivut	2984 m ²	372838 CO ₂ eq kg
131	Tilan jako-osat	2082 m ²	108036 CO ₂ eq kg
Koko rakennuksen hiilijalanjälki:			927874 CO ₂ eq kg
Rakennuksen hiilijalanjälki per pinta-ala:			379 CO ₂ eq kg / m ²
Rakennuksen hiilijalanjälki per tilavuus:			3711 CO ₂ eq kg / m ³
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> Laajenna lista Vertailu edelliseen tiedostoon </div>			

Kuva 25. Esimerkki laskentatuloksesta Ilmarissa.

4.5 Muut ohjelmat

Seuraavassa on kuvattu lyhyesti muutamia muita ympäristöarviointiin markkinoilta löytyviä ohjelmavaihtoehtoja, jotka kaikki kykenevät jollain lailla hyödyntämään rakennuksen suunnittelun tuloksena saatavaa tietomallia. Näiden lisäksi myös joillain yrityksillä on omia laskentapohjia ja sovelluksia ympäristövaikutusten laskentaan. Näistä ei ole kuitenkaan saatavilla julkista tietoa, ja toisaalta myös niiden tarpeellisuus vähenee samalla kun kaupallisten sovellusten kuten esim. suunnittelijoiden mallinnusohjelmien ympäristövaikutusten laskentaan tarkoitetut työkalut kehittyvät.

Autodesk Green Building Studio

Autodesk Green Building Studio on internetin yli käytettävä web-palvelu, jolla voidaan arvioida rakennuksen käytön aikaista energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä (<http://usa.autodesk.com/green-building-studio/>). Lisäksi palvelussa voidaan arvioida

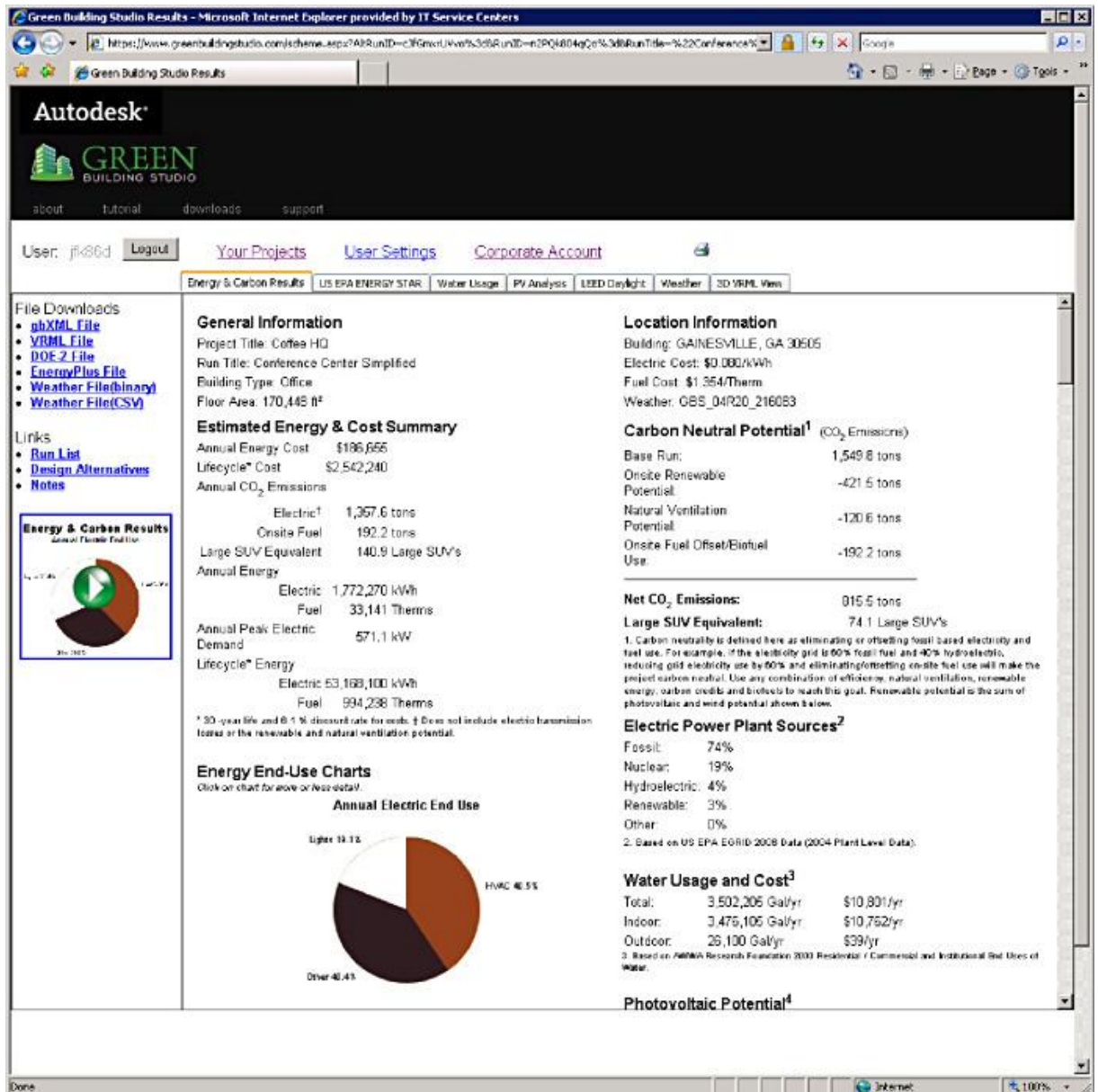
vedenkulutusta ja sen kustannuksia, laskea Energy Star pisteytys, luonnon valon riittävyys LEED luonnonvalo-luokitukseen nähden sekä arvioida painovoimaisen ilmastoinnin käyttömahdollisuuksia.

Lähtötietoina toimii Autodesk Revit-ohjelmassa tehty luonnosmalli, joka tallennetaan Green Building XML-formaattiin (gbXML) ja ladataan Green Building Studio palvelimelle, jolle on luotuna maksullinen käyttäjätili. Luonnosmallissa on oltava mallinnettuna kerrokset, rakennuksen vaippa sekä välipohjat, jotka voidaan tehdä Revitissä esim. massamallista määrittämällä kerroskorkeudet.

Jollei rakennetyyppejä ole etukäteen määritelty, palvelu määrittää sijaintiin ja paikallisiin määräyksiin perustuvat oletusrakennetyypit. Eri maiden paikallisten määräysten kattavuudesta ei kuitenkaan ole tietoa. Web-selaimen kautta hallitaan analysoinnissa käytettäviä luonnosrakennetyyppejä. Rakennetyyppien läpikäynnin jälkeen luonnosmallin avulla on mahdollista laskea karkealla tasolla rakennuksen vuosittainen energiankulutus sekä energian tuotannosta syntyvät hiilidioksidipäästöt. Lisäksi palvelussa on mahdollista tutkia aukotusvaihtoehtoja ja niiden vaikutusta energiankulutukseen ja päästöihin. Lisäksi rakennukselle on mahdollista laskea EnergyStar-luokitus sekä pisteitä LEED päivänvaloluokitukseen.

Green Building Studio -palveluun on mahdollista luoda useita projekteja ja käyttää yhteisiä oletusarvoja näiden laskentoihin¹³.

¹³ BIM and Green Building Studio (1-2-3 Revit Tutorial) <http://www.cadalyst.com/aec/bim-and-green-building-studio-1-2-3-revit-tutorial-3755>



Kuva 26. Esimerkki Green Building Studio –raportista (lähde: <http://bldgsim.files.wordpress.com/2009/06/gbs.jpg>).

Riuska

Riuska on Insinööritoimisto Granlundin DOE 2.1E –simulointiohjelman päälle Lawrence Berkeley National Laboratoryn kanssa yhteistyössä kehittämä olosuhte- ja energiasimulointiohjelmisto. Se laskee rakennuksen tietomallin avulla rakennuksen ja sen tilojen lämpöteknisen käyttäytymisen erilaisissa kuormitus- ja sääolosuhteissa. Riuskalla ei lasketa hiilijalanjälkeä, mutta sillä voidaan vaikuttaa tilojen olosuhteiden simulointiin ja energiankulutuksen laskemisen kautta rakennuksen energiataloudellisuuteen ja syntyviin päästöihin. Riuska pystyy hyödyntämään IFC-tietomalleja (import/export). Riuska-ohjelmaa voidaan käyttää mm. seuraaviin tehtäviin ja arviointeihin:

- Tavoitteenmukaisuuden varmistus
- Tilojen lämpötilat kesällä ja talvella
- Sisäilmaston laatutasojen vertailu
- Arkkitehtiratkaisujen vertailu (Ikkunat, ikkunasuojaukset, julkisivuratkaisut)
- Järjestelmien vertailu ja mitoitus
- Ongelmatilojen analysointi
- Rakennuksen ja taloteknisten järjestelmien energiankulutus
- Ylläpidon tavoitekulutus

Granlund tarjoaa myös konsultointipalveluna räätälöitävää hiilijalanjälkilaskentaa, jonka yhtenä optiona on rakennuksen rakennusmateriaaleihin liittyvien hiilidioksidipäästöjen laskeminen, jota on tehty tarjous- ja suunnittelukilpailuihin. Lisää tietoa sovelluksesta löytyy osoitteesta <http://www.granlund.fi/ohjelmistot/riuska/>, <http://www.granlund.fi/konsultointi/ymparisto/>.

Elodie

Elodie on ranskalaisen CSTB:n kehittämä analyysisovellus, jonka avulla voidaan laskea useamman eri tyypin ympäristövaikutuksia mallin avulla (mm. hiilijalanjälki). Rakennuksen lähtötietoina toimii IFC-tietomallista muunnettu XML-tiedosto. Lisäksi rakennuksen osille ja tiloille määritellään mm. käyttöikä, rakennusvaiheen kesto, sijainti, käyttöajat ja henkilömäärät. Ympäristövaikutusten pohjana toimii tuotevalmistajien toimittamiin ympäristötietoihin (EPD / ESD) perustuva tietokanta, jota kootaan parhaillaan. Laskenta tuottaa käyttöveden sekä energian kulutustiedot, sekä rakennusmateriaalien määrät, joiden pohjalta lasketaan ympäristövaikutukset sekä rakennuksen käytön ajalle että rakennuksen materiaaleille¹⁴. Lisää tietoa sovelluksesta löytyy osoitteesta <http://www.elodie-cstb.fr/default.aspx>.

4.6 Laskentaohjelmien vertailu

Seuraavaan taulukkoon on koottu yhteenveto edellä esiteltyjen rakennusten ympäristöarviointiin tarjolla olevien ohjelmien ominaisuuksista (Taulukko 1). Vertailu kattaa ArchiCAD 16, Ecotect Analysis, Green building studio sekä Ilmari ohjelmat, kuvaten lyhyesti näiden ominaisuuksia sekä niillä suoritettuja ympäristövaikutusten laskentatuloksia.

¹⁴ Needs, levels and potentials of integrating SB assessment and benchmarking with BIMs
http://cic.vtt.fi/superbuildings/sites/default/files/D3.3_Needs_levels_and_potentials_of_integrating_SB_a_sessment_and_benchmarking_with_BIMS.pdf

Taulukko 1 Ohjelmien ominaisuuksien vertailu.

Ohjelma	ArchiCAD 16 Energia-arvio	Ecotect Analysis	Green building studio	Ilmari
Perustietoa	EcoDesigner'in perusversio, joka liitetty ArchiCAD:in työkaluihin versiosta 16 alkaen. Lisäksi erillinen EcoDesigner Star tulossa myyntiin (Public beta jakelussa 2/2013).	Autodesk:in erillinen analyysiohjelmisto, jossa mallinnus-ominaisuuksia	Web- selaimella käytettävä suunnittelun alkuvaiheen analyysipalvelu	Web-selaimella käytettävä sovellus
Analyysi-tulokset (laskettavat ympäristö-vaikutukset)	<ul style="list-style-type: none"> – Rakennuksen käytön aikaiset CO₂-päästöt (kokonaisuudessaan sekä lähteittäin ja kohteittain eriteltynä) – Vuosittainen energiankulutus (kokonaiskulutus sekä lähteittäin ja kohteittain eriteltynä) – Kuukausittainen energiatase 	<ul style="list-style-type: none"> – Rakennuksen käytön aikaiset hiilidioksidi-päästöt (kg CO₂eq). – Rakennetyyppeihin liittyvät hiilidioksidi-päästöt (kg CO₂eq) – Sitoutunut energia – Ylläpitokorjauksiin kuluva energia rakennetyypeille ilmoitettujen ylläpidon energiankulutustietojen perusteella <ul style="list-style-type: none"> – Päivittäinen tai tuntikohtainen energiankulutus – Vuosittainen energiankulutus (kumulatiivinen) 	<ul style="list-style-type: none"> – Rakennuksen käytön aikaiset CO₂-päästöt (kg CO₂eq). – Vuosittainen energiankulutus – EnergyStar-pisteitys 	Rakennus-materiaalien valmistukseen, kuljetukseen ja asennukseen liittyvät hiilidioksidi-päästöt (kg CO ₂ eq) ryhmiteltynä Talo 2000 mukaan.
Lähtötiedot – rakennus	<ul style="list-style-type: none"> – ArchiCAD-malli (tai IFC-malli ArchiCAD:iin tuotuna), sekä rakennetyypit rakenne-/materiaalikerroksineen. – Analysointiin käytettävä Energiamalli (BEM) päivittyy suunnittelutyön edetessä lähes automaattisesti. 	<ul style="list-style-type: none"> – 3D-geometria, 2D-piirustukset, tai Revitistä tallennettu gbXML-malli (IFC-tietomalleja ei vielä pystytä hyödyntämään). – Analysointiin käytettävä malli ei päivity suunnittelun edetessä, vaan vaatii kokonaan uuden laskennan. 	gbXML-muotoon viety suunnittelun alkuvaiheen Revit-tietomalli (kerrokseen jaettu massamalli)	Rakenne-tyypeittäin järjestetyt määrätiedot taulukkomuodossa (excel)
Lähtötiedot – materiaaliominaisuudet	Muokattava materiaali-kirjasto, jossa valikoima materiaaleja oletusarvoisilla lämpöominaisuuksilla	Ohjelman oma muokattava rakenne- ja materiaalikirjasto, jossa osassa rakennetyypeistä osa tiedoista valmiina	Palvelun oletamat ja käyttäjän läpikäymät luonnosrakennetyypit ja palvelun käyttämä tietokanta	Muokattava rakennekirjasto ja VTT:n tutkimuksiin perustuva materiaali-kohtainen ympäristövaikutusten tietokanta
Muita sovelluksen ominaisuuksia	Määrälaskenta (esim. rakennusosien ja aukkojen pinta-alat), ja energiakustannuslaskenta syötetyillä energian hankintahinnoilla	<ul style="list-style-type: none"> – Olosuhdesimulointi – Valaistus – Ääni, – Luonnonvalo, – Kustannuslaskenta rakennetyyppeihin syötettyjen yksikkökustannusten ja määrien perusteella 	Lämmitys- ja jäähdytyskuormat	

Arkkitehtisuunnitteluun tarjolla olevista ympäristövaikutusten laskentaohjelmista löytyy eroja mm. ohjelmien käyttöperiaatteessa, käytön helppoudessa ja laskennan kattavuudessa. Tarkastelluista ohjelmista parhaiten käytönaikaisten ympäristövaikutusten huomioonottoa mallintavassa arkkitehtisuunnitteluprosessissa palvelee ArchiCAD 16 Energia-arvio, joka on integroitu osaksi suunnittelussa käytettävää mallinnusohjelmaa. Sovellus on myös melko helppokäyttöinen ja mahdollistaa suunnitelman analysoinnin suunnittelutyön rinnalla ilman tarvetta viedä mallia tai syöttää tietoja erilliseen ohjelmaan. Luotettavien laskentatulosten aikaan saamiseksi esim. rakennetyyppien sisältämien materiaalien lämpöominaisuuksien tarkistaminen ja tilojen mallintaminen vaatii kuitenkin suurta huolellisuutta ennen ensimmäistä laskentakierrosta. Samoin lisätietojen syöttö voi tuntua aluksi työläältä, mutta laskentatuloksen päivitys esim. suunnitelman päivittyessä tapahtuu helposti ja nopeasti. ArchiCAD 16 Energia-arvion merkittävin heikkous on, että laskenta kattaa vain käytön aikaiset ympäristövaikutukset (käytön aikaisen energiankulutuksen ja siitä seuraavan hiilijalanjäljen), mutta ei millään lailla esimerkiksi rakentamiseen käytettävien materiaalien sisältämiä CO₂-määriä.

Autodeskin mallinnusohjelmien rinnalla käyttöön tarkoitettujen Ecotect Analysis ja Green building studio – ohjelmien vahvuuksia on puolestaan mahdollisuus kattavampaan laskentaan, kun myös rakennusmateriaalien valmistuksesta ja ylläpidosta aiheutuvat ympäristövaikutukset voidaan analysoida. Lähtötietojen syöttäminen koettiin kuitenkin testauksissa työlääksi ja epäselväksi. Suunnittelijan työkaluna käyttöä vaikeuttaa myös se, että analysointi tapahtuu erillisessä ohjelmassa tai palvelussa eikä suunnittelijan ”omilla suunnitteluvälineillä”, jolloin analysointi on selkeästi erillinen tehtävä, jota ei ole helppoa tehdä useaan kertaan rakennuksen suunnittelun edetessä.

Myös VTT:llä kehitettyä Ilmaria käytetään Internetin yli selaimen avulla, eli laskenta on erillinen toimenpide ja vaatii myös oman ohjelmalienssin. Lisäksi ohjelma laskee pelkästään materiaaleihin sitoutuneet CO₂-päästöt, eli ei kata rakennuksen käytöstä aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Ilmarin vahvuuksia ovat kuitenkin helppokäyttöisyys ja materiaalien koko elinkaaren kattavien laskentojen pohjautuminen puolueettomasti selvitettyihin suomalaisiin lähtötietoihin (materiaalikohtaiseen ympäristövaikutusten tietokantaan).

5 Sovellusesimerkit

5.1 Perustiedot

Tietomallipohjaista ympäristölaskentaa testattiin kehityshankkeessa yksinkertaisella harjakattoisen pientalon ArchiCAD 16 – tietomallilla. Seuraavassa kuvassa (Kuva 27) on yleisnäkymä käytetystä mallista, jolle tehdään esimerkeissä ensin rakennuksen käytön aikaisen energiankulutuksen ja sitä seuraavan hiilijalanjäljen laskenta ArchiCAD 16 Energia-arvio työkalulla, ja sen jälkeen materiaaleihin sitoutuneen hiilijalanjäljen laskenta käyttäen VTT:llä kehitettyä web-pohjaista Ilmari-sovellusta tietokantoinen.



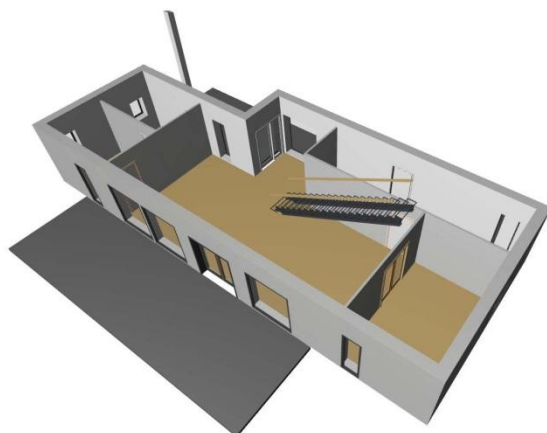
Kuva 28. Esimerkkinä käytetty ArchiCAD 16 – tietomalli.

Ulkoseinät ja sokkelit on mallinnettu testikäytössä olevalla Weberin rakennetyyppikirjaston rakennetyypillä ”weber US: Leca-eristeharkkoseinä, LTH 380 F24 08 02” ja väliseinät tyypillä ” weber VS: Kahi-harkkoseinä, Väliseinäponti 85, F52 01 06 ”. Alapohja ja yläpohja mallinnettiin hieman muokatuilla ArchiCAD 16 aloituspohjan tyypeillä ”AP 4172 betonilaatta+EPS maanvarainen, reuna-alue U=0,18” ja ”YP 706 puupalkisto, mineraalivilla, vesikattorakenne + pelti”. Alkuperäisten rakennetyyppien alle 1 mm paksut rakennekerrokset on muutettu 1 mm paksuisiksi ja muokatut rakennetyypit on tallennettu testimalliin uudella nimellä. Esimerkkimallin rakennetyypit on esitetty tarkemmin seuraavassa taulukossa (Taulukko 2**Error! Reference source not found.**).

Taulukko 2. Demomallin rakennetyypit, niiden rakennekerrokset paksuuksineen, sekä energia-analyyssissä käytetty U-arvo (U-arvolaskurilla saatu tai manuaalisesti syötetty).

Rakenne	Rakennetyypin nimi (Demo-mallissa)	Rakennekerrokset (leikkaustäytteet)	Paksuus mm	U-arvo
Ulkoseinät	weber US: Leca-eristeharkkoseinä, LTH 380 F24 08 02	Leca Design harkko Eriste Leca Design harkko	130 160 90	0,16
Yläpohja	YP1 Puupalkisto	Peltikate Vaimennuskaista Havuvaneri, pontattu pitkiltä sivuilta Ilmarako Tuulensuojapintainen kivivilla Kattokannattajat + kivivilla 250 Ilman- ja höyrynsulku Rakennuslevy	1 5 15 100 50 250 1 9	0,17
Alapohja	AP1 Betonilaatta+EPS maanvarainen	Teräsbetoni EPS EPS	80 80 80	0,22
Välipohja	VP 409 massiivilaatta 270 53 dB	Teräsbetoni	270	9,26
Väliseinät	weber VS: Kahi-harkkoseinä, Väliseinäponti 85, F52 01 06	Kahi Väliseinäponttiharkko	85	11,18

Väliseiniä on mallinnettu vain kaksikerroksisen rakennuksen alakertaan ja yläkerta on yksi yhtenäinen tila, johon voidaan ajatella rakennettavan kevytrakenteisiä väliseiniä. Näillä ei ole merkittävää lämmönvarauskykyä, jolloin myös niiden merkitys olisi melko vähäinen laskentatuloksen kannalta. Yleissääntö kuitenkin luonnollisesti on, että mitä tarkempi malli, sitä tarkempi laskentatuloks. Seuraavassa kuvassa on esitetty Demomallin alakerta väliseinineen.



Kuva 29. Esimerkkimallin alakerta ilman kalusteita.

5.2 Ympäristölaskenta käyttäen ArchiCAD 16 Energia arvio – työkalua

Vaihe 1: Mallinnus ja mallin valmistelu energiatarkasteluun

Energialaskentaan voidaan periaatteessa käyttää samaa mallia kuin suunnitteluunkin, jos mallinnuksessa on noudatettu edellä kuvattuja periaatteita (energiasimuloinnin vaatimukset tietomallille, Luku 4.2). Erityistä huolellisuutta tarvitaan kuitenkin esimerkiksi tilojen mallintamisessa. Kukin erikseen ilmastoitu tila suositellaan mallinnettavan omana vyöhykkeenään, ja vyöhykkeiden pitää täsmätä vyöhykerajojen kanssa eli täyttää koko tila. Usean kerroksen korkuisetkin tilat tulisi mallintaa kerroksittain (Graphisoft 2012).

Ympäristölaskenta kohdistetaan vain tietomallin näkyvissä oleviin osiin, ja koska mallissa voi olla paljon myös energiasimuloinnin kannalta epäoleellista tietoa ja osia kuten kalusteet, täytyy nämä osat piilottaa ennen simuloinnin suorittamista (Graphisoft 2012). Esimerkissä energia-arviointiin sopiva kuvatasoyhdistelmä tallennettiin nimellä ”BEM - energiamallin tasot”. Koska lisäksi simulointi on tarkoitus tehdä useaan kertaan suunnitellun edetessä, mallista tallennettiin ohjelmakehittäjän suositellun työtavan mukaisesti simulointeja varten myös soveltuvat 2D- ja 3D-näkymät, jotka nimettiin ”BEM Kerrokset” ja ”BEM Perspektiivi”. Näissä näkyy vain simulointiin mukaan haluttavat elementit, ja Pinta-työkalulla mallinnettu maanpinta rautalanka-esityksenä.

Eri rakennekerrosten materiaalien linkitys ohjelman valmiin materiaalilistan materiaaleihin lämpöominaisuuksineen tarkistettiin yksitellen. Ulkoseinä LTH 380 koostuu rakennekerroksista Leca Design harkko 130 mm, Eriste 160 mm, Leca Design harkko 90 mm. Leikkaustäyte ” Leca Design harkko” linkitettiin materiaaliluettelon Leca-harkkoon, mutta ”Eriste” on linkitetty ArchiCAD-aloituspohjassa valmiiksi puukuitueristeeseen. Tätä linkitystä ei korjattu, koska ”Eriste” – leikkaustäytettä voi olla käytetty muissakin rakennetyypeissä ja linkityksen vaihtaminen voisi aiheuttaa ristiriitoja ja virheitä muiden rakenteiden materiaalimäärittelyihin. Weberin LTH 380 rakennetyypille päädyttiin käyttämään energia-arvioinnissa suoraan valmistajan ilmoittamaa lämmönläpäisykerrointa $U=0,16$ ($U= 0,15/0,16$ työtavasta riippuen tälle seinärakennetyypille). Toinen vaihtoehto olisi ollut muokata kyseistä rakennetyypistä yksilöimällä eristekerros esim. ”Leca-eriste” ja määrittelemällä tälle oikeat lämpöarvot, jolloin leikkaustäyte vastaa yksiselitteisesti tiettyä materiaalia lämpöarvoineen ja näitä voidaan käyttää ohjelman sisältämässä U-arvolaskurissa.

Vaihe 2: Energiamallin tarkastelu

Ympäristölaskenta toteutetaan Energia-arvio nimisellä suunnittelutyökalulla (ArchiCADissa Suunnittelu -> Energia-arvio), ja laskentaprosessin ensimmäinen vaihe on **Energiamallin tarkastelu**. Energiamallin tarkastelussa ohjelma erittelee tietomallin rakenteet sijainnin (esim. etelä/länsi/pohjoinen/itä), kategorian (esim. sisäpuolinen/ulkoinen/maanalainen), tyypin (esim. seinä/katto jne.), ja rakennetyypin nimen perusteella erilaisiin rakenteisiin. Samassa yhteydessä jaotellaan myös ulkoseinien aukot oviin ja ikkunoihin. Ohjelma tekee tämän automaattisen luokittelun analysoimalla mallin geometrian ja rakennetyypit, ja hyödyntää tässä vaiheessa mallin tilamäärittelyjä (vyöhykkeitä). Energiamallin tarkastelun tuloksena saadaan yksi lista rakenteista ja toinen aukoista energiasimuloinnin kannalta relevantteine tietoineen.

Rakenteista (esim. seinä) listattavia tietoja ovat mm. pinta-ala, rakennetyypin nimi ja yhteenlaskettu paksuus sekä U-arvo (vrt. seuraava kuva).

Sijainti	Kategoria	Tyyppi	Julkisivu...	Nimi	Pinta-ala [m ²]	Paksuus...	U-arvo [W/...]	Ilmavuodot [l/sm ²]	Pintamateriaali
Yläpäin	Ulkoinen	Katto		YP1 Puupalkisto	112,02	431,0	0,17	Keskimääräinen (1,10)	Metalli - keskiävy
Sisäpuolinen	Sisäpuolinen	Laatta		VP409 massiivilaatta 270 53d8	104,56	270,0	9,26	-----	-----
Maanpäällinen	Lattia (maanpinnan yläpuolella)	Laatta		AP1 Betonilaatta+EPS maanvarainen	60,56	240,0	0,22	-----	-----
Maanpäällinen	Lattia (maanpinnan yläpuolella)	Laatta		AP1 Betonilaatta+EPS maanvarainen	44,00	240,0	0,22	-----	-----
Sisäpuolinen	Sisäpuolinen	Seinä		weber VS: Kahi-harkkoseinä, Väliseinäpotti 85, F52 01 06	53,94	85,0	11,18	-----	-----
Pohjoinen	Ulkoinen	Seinä	suora	weber US: Leca-eristeharkkoseinä, LTH 380, F24 08 02	72,84	380,0	0,16	Keskimääräinen (1,10)	Rappaus - Vaalea
Etelä	Ulkoinen	Seinä	suora	weber US: Leca-eristeharkkoseinä, LTH 380, F24 08 02	55,62	380,0	0,16	Keskimääräinen (1,10)	Rappaus - Vaalea
Länsi	Ulkoinen	Seinä	suora	weber US: Leca-eristeharkkoseinä, LTH 380, F24 08 02	29,22	380,0	0,16	Keskimääräinen (1,10)	Rappaus - Vaalea
Itä	Ulkoinen	Seinä	suora	weber US: Leca-eristeharkkoseinä, LTH 380, F24 08 02	29,16	380,0	0,16	Keskimääräinen (1,10)	Rappaus - Vaalea

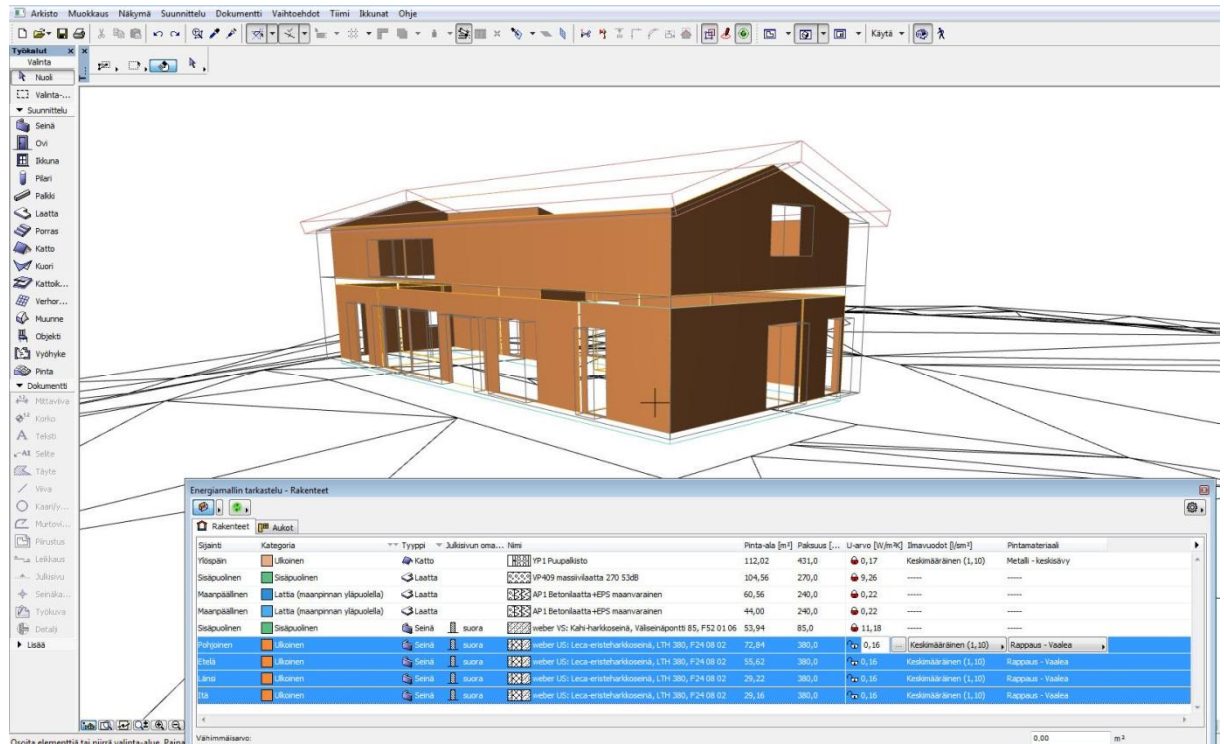
Kuva 30. Mallin rakenteet täydennetyillä tiedoilla. Katot peltikattoja, ulkoseinissä vaalea rappaus. Alapohja näkyy listauksessa kahdella rivillä, koska ohjelma laskee siitä reuna-alueen ja keskialueen pinta-alan erikseen.

Ennen energiamallin tarkastelu -ikkunan esilletuloa ArchiCAD käy läpi mallin näkyvät osat, rakenteet ja aukot, niiden suunnat ja sijainnit suhteessa sisätilan vyöhykkeisiin sekä luo tilarajat (M.A.D. Oy 2013). Jos materiaalien lämpöominaisuustietoja puuttuu, ohjelma ei pysty laskemaan U-arvoa ja ilmoittaa siitä huomio-merkillä. Rakennekerrosten (leikkaustäytteiden) puuttuvat ominaisuustiedot voidaan tässä vaiheessa täydentää liittämällä näille valmiin materiaaliluettelon lähimmät vastineet lämpöarvoineen. Tämä tapahtuu avaamalla U-arvon laskenta ko. riviltä luettelosta ja valitsemalla rakennetyypin haluttu materiaalikerros ja edelleen avaamalla lämpöominaisuuksien liittämiseksi materiaalilistasta. Halutun U-arvon voi syöttää myös suoraan koko rakennetyypille ”päällekirjoituksella” avaamalla punaisen lukkosymbolin, minkä jälkeen aukeaa mahdollisuus tallentaa laskurin U-arvon päälle toinen arvo. Esimerkissä näin tehtiin ulkoseinärakennetyypille (LTH 380). Kaikki manuaalisesti syötetyt (tiedonhallinnan kannalta riskialttiit) rivit erottaa kuitenkin Energiamallin tarkastelu -ikkunassa aukinaisesta lukosta. Jos käyttäjä yrittää lukita itse syöttämänsä arvon, niin alkuperäinen U-arvolaskurin laskema arvo tulee takaisin käsin syötetyn tilalle.

Aukkoja koskien sovellus listaa onko kyseessä ikkuna vai ovi, sekä esim. kullekin ilmansuunnan, pinta-alan, U-arvot, mahdolliset aurinkosuojat jne. Aukkolistassa on myös tietokenttiä, joihin mallintajan on tarkoitus määrittellä arvoja. Oletusarvoisesti esimerkiksi ikkunoille ei ole mitään aurinkosuojasta, mutta alaspudotusvalikosta voidaan valita suojaustapa. Esimerkkitapauksessa kaikkiin ikkunoihin määritetään aurinkosuojiksi sälekaihtimet. Lisäksi lasitusten oletusarvoinen U-arvo 2,8 vaihdetaan kaikille ikkunoille ja ovilasituksille lähimpään Suomalaisiin olosuhteisiin soveltuvaan vaihtoehtoon: Lasitus 3-kertainen, U=0,7 (listasta ei löydy U-arvoa 1,0 vastaavaa ikkunamäärittelyä). Muita muutoksia oletusarvoihin ei tehdä.

Tarkastelun tulosta eli tietomallia tarvittavine lämpö- ja ympäristötietoineen Graphisoft kutsuu Energiamalliksi (Building Energy Model, BEM), eli Tietomallista BIM tulee Energiamalli BEM. Käyttäjät voi tarkastella nk. BEM-mallia erilaisten visualisointien

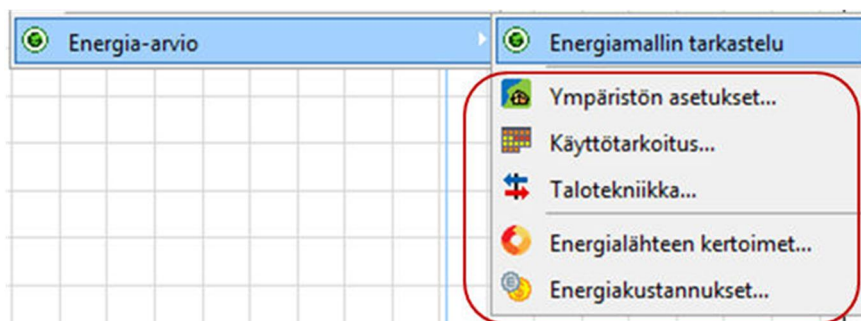
avulla. Esimerkiksi valittu ovi tai seinä korostettuna rautalankamallista, tai koko energiamalli väritettynä niin, että kuhunkin kategoriaan kuuluvat osat näkyvät tietyn värisinä. Seuraavassa kuvassa esimerkin energiamalli esitetään oletusarvoisilla väreillä (vrt. Kuva 31). Oletusarvoisesti Kategoria-sarake on kuitenkin piilossa käyttöliittymästä ja se pitää valita näkyviin ennen visualisointeja. Eri kategorioilla on oletusarvoisesti myös tietyt värit (esim. ulkoseinillä oranssi, alapohjalla sininen ja sisäpuolisilla rakenteilla kuten väliseinillä vihreä), mutta käyttäjä voi halutessaan säätää värityksiä ja tarvittaessa palauttaa oletusarvoiset värit myös takaisin.



Kuva 31 Esimerkin Energia-mallin (BEM) tarkastelua ja visualisointia. Rakennelistasta valittujen ulkoseinien sisäpinnat oletusarvoisesti oranssilla.

Vaihe 3: Lisätietojen syöttö:

Käyttäjällä on laskentaa ja analysointia varten lisätietoja, joita laskentatyökalu ei saa suoraan tietomallista. Lisätiedot liittyvät rakennuksen ympäristöön, ilmastoon, käyttötarkoituksiin, talotekniikkaan, käytettäviin energialähteen kertoiimiin ja energian hankintakustannuksiin (vrt. Kuva 32).



Kuva 32 Laskentaan määriteltävissä olevat lisätietoryhmät.

Esimerkissä lisätiedot on määritelty seuraavalla tavalla:

A. Ympäristön asetukset:

- Ilmastotiedon lähde: Strusoft Server, jolloin tiedot haetaan Strusoftin ilmastotietopalvelimelta. (Vaihtoehtoisesti ohjelmalle voidaan osoittaa käytettävä tiedosto omalta tietokoneelta).
- Projetin sijainti: Helsinki, eli sijainnin määrittäminen paikkakunnan tarkkuudella valmiista kaupunkien listasta. (Osoitekin olisi mahdollista syöttää. Lisäksi tarjotaan suoran linkin GoogleMaps'iin, eli näyttää sijainnin yhdellä klikkauksella määritellyn sijainnin mukaan kartalla.)
- Maaperä: salaojasora (Muita vaihtoehtoja ovat salaojahiekka, savi, siltti, hiekka, sora, kallio ja kalliomurske.)
- Tuulisuojaisuus: käytetään oletusarvoja, eli kaikkien pää- ja väli-ilmansuuntien suhteen ”osin suojainen”
- Ympäristön antama varjo: käytetään oletusarvoja, eli kaikkien pää- ja väli-ilmansuuntien suhteen ”ei varjostava”
- Ilmastotyyppejä: Valitaan vaihtoehto A kostea, jonka jälkeen voidaan tarkastella lähtötietoina käytettäviä ilmastotietoja kuvaajina kuukausi-, viikko-, päivä- tai tuntitasolla (ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, auringon säteily ja tuulen nopeus).

B. Käyttötarkoitus: Tässä voidaan määrittellä pääasiallinen käyttötarkoitus ja muut mahdolliset käyttötarkoitukset suhteellisina osuuksina. Esimerkissä rakennuksen käyttötarkoitus on Asunto 100 %. Valaistus otetaan mukaan laskentaan vaihtoehdolla Miniloisteputki, jonka teho $3,0 \text{ W/m}^2$ tulee kyseiseen tietokenttään valinnan jälkeen automaattisesti (vrt. seuraava kuva). Käyttöprofiili, eli käyttötarkoitus ja käyttöasetukset (miten rakennuksen käyttö ajoittuu) määrittelevät laskennassa käytettävän sisälämpötilan, lämpimän käyttöveden kulutuksen ja ilmankosteuskuorman sekä henkilöistä, valaistuksesta ja laitteista aiheutuvan sisäisen lämpökuorman. Näitä tietoja ei pääse muokkaamaan, vaan ne vastaavat määrityksiä standardissa DIN 18599 - Rakennusten energiatehokkuus (M.A.D. 2013).

Käyttötarkoitus

Valitse rakennuksen primäärikäyttö:

Asunto (100%) Lisää käyttötarkoituksia...

Sisävalaistus: Miniloisteputki Teho: 3,00 W/m²

Primäärikäytön tiedot: Asunto

Käyttötyyppi: Asuminen Ihmisten tuottama lämpö: 100,00 W per henkilö

Lämpimän käyttöveden kulutus: 100,00 l/päivä per henkilö

Ilmankosteuskuorma: 5,00 l/päivä

Käyttöasetukset:

Käyttöasetukset	Toisto	Ajanjakso	Käytössä [tuntia]
asuminen	Joka päivä	1/1 - 31/12	8760

Sisälämpötila: °C

Sisäinen lämpökuorma: W/m²

Legend: ■ Lämpötilan sallittu vaihteluväli ■ Henkilö ■ Valaistus ■ Laite

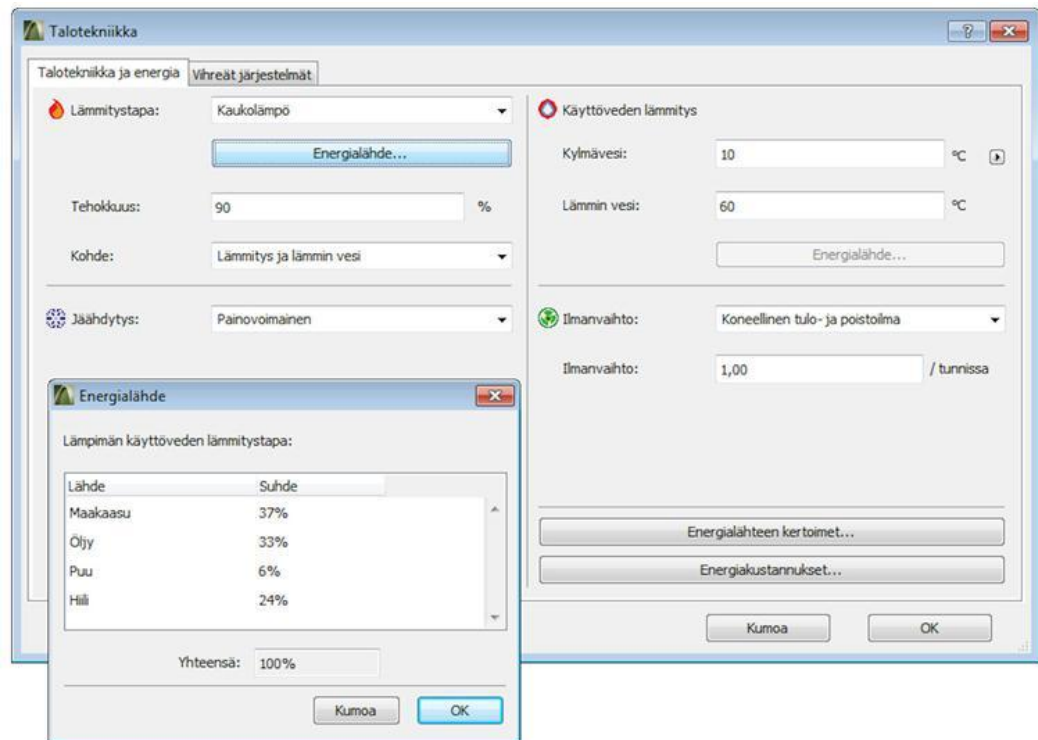
Kumoa OK

Kuva 33 Käyttötarkoituksen määrittely. Esimerkissä asunto 100%.

C. Talotekniikka: (vrt. seuraava kuva)

- Jäähdytys: painovoimainen
- Ilmanvaihto: koneellinen tulo- ja poistoilma, lisäksi Vihreät järjestelmät –välilehdellä on määritelty lämmön talteenotto Kiinteä levy –tyyppisenä ja 75 % hyötysuhteella.
- Lämmitystapa ja Käyttöveden lämmitys: Esimerkissä valitaan kaukolämpö, jonka energialähteet määritellään prosenttiosuuksina (vrt. Energialähde-ikkuna seuraavassa kuvassa).

Lämmitystavan voi valita kolmesta vaihtoehdosta, jotka ovat Luonnollinen lämmitys, Paikallinen vedenlämmitin tai Kaukolämpö. Luonnollinen lämmitys -vaihtoehto on kehitetty lämpimän ilmanalan maita varten. Lämmityslaitteiston rakentaminen ei ole välttämätöntä, joten tarvittaessa myös energialaskenta sallii muutaman viileän yön. Vaihtoehto Paikallinen vedenlämmitin soveltuu käytettäväksi, jos ainoa rakennus järjestelmässä on se, josta ollaan tekemässä energia-arviota. Kaukolämpö-vaihtoehdossa oletetaan, että rakennuksen lämmitys ja/tai lämmin vesi tuotetaan suoraan jostain suuremmasta yksiköstä. (M.A.D. 2013)



Kuva 34 Lisätietojen syöttöä talotekniikan osalta, joka jakautuu kahteen osaan: talotekniikka ja energia sekä vihreät järjestelmät.

- D. **Energialähteen kertoimet:** Energialähteiden kertoimet riippuvat rakennuspaikasta, joten tämän keskusteluikkunan avulla projektille voidaan määrittää mahdollisimman oikeat kertoimet kaikille käytetyille energialähteille. Oletusarvot perustuvat standardiin DIN V 18599. (M.A.D. 2013)

Esimerkissä oletusarvoisia energialähteen kertoimia täsmennettiin käyttäen sähkölle CO₂-päästönä 0,33 kg/kWh (oletusarvo 0,24, kun sähköntuotannon energialähde tuntematon) ja kaukolämmölle 0,25 kg/kWh (ohjelman laskema arvo syötetyillä energian lähteen osuuksilla 0,28). Käytetty arvo on Suomalainen 5 vuoden keskiarvo (VTT). Jos sähköntuotannon energialähde olisi ydinvoima, tuulivoima tai aurinkoenergia, tulisi hiilijalanjäljeksi laskentaan 0,00 kg/kWh.

Energialähteen kertoimet

Anna energialähteen kertoimet:

Lähteen nimi	Ensisijainen energia	CO ₂ -päästö [kg/kWh]
Puu	1,20	0,03
Pelletti	1,20	0,03
Maakaasu	1,10	0,22
Propani	1,10	0,29
Öljy	1,10	0,30
Hiili	1,20	0,29
Sähkö	3,00	0,33
Kaukolämpö	1,00	0,25
Kaukojäähdytys	1,00	0,99

Sähköntuotannon energialähde:

Lähteen nimi	Suhde
Tuntematon	100%

Yhteensä: 100%

Kumoa OK

Kuva 35 Energialähteen kertoimet esimerkki-analyysissä.

- E. **Energiakustannukset:** Käytettyjen energiamuotojen hankintahinta voidaan syöttää valmiisiin tietokenttiin. Esimerkissä sähkön hankintahintana käytettiin 0,12 €/kWh ja kaukolämmön 0,06 €/kWh.

Vaihe 4: Laskenta eli energiasimulaatio

Tietomalli-pohjainen laskenta käynnistetään komennolla *Aloita energiasimulaatio*, jonka suoritettuaan ohjelma tulostaa näytölle määrämuotoisen energiatehokkuusraportin. Raportin sisältö jakautuu seuraaviin osioihin:

- Perustiedot: Kohteen perustiedot ja tunnusluvut ja avainluvut energiatehokkuudesta ja käytön aikaisesta hiilijalanjäljestä
- Vuosittainen energiankulutus lähteittäin sekä vastaavat käytön aikaiset CO₂-päästöt ja kustannukset syötetyillä energian hankintahinnoilla
- Vuosittainen energiankulutus kohteittain sekä vastaavat käytön aikaiset CO₂-päästöt ja kustannukset syötetyillä energian hankintahinnoilla

- Kuukausikohtaiset energiataseet: saatu energia kuukaudessa lähteittäin ja käytetty energia kuukaudessa kohteittain.

Vaihe 5: Tulosten raportointi ja analysointi

Energiatehokkuusarvio-raportin ulkoasua voi hieman säätää ylä- ja alatunnisteen osalta ennen sen tallennusta pdf-dokumentiksi. Käytävissä on kaksi ylätunnisteriviä, joista ensimmäiseen tulee raportin nimi, joka on oletusarvoisesti *Energiatehokkuusarvio*, ja toiseen voi halutessaan määritellä tarkentavaa tietoa kuten esim. oletusarvoisesti projektin nimi ja numero. Esimerkissä raportin nimeksi laitettiin ”Energiatehokkuusarvio & käytönaikainen hiilijalanjälki”, ja tarkentavaksi tiedoksi ”BIMCON Demo (2 kerroksinen pientalo kaukolämmöllä)”.

Laskentatulos: Esimerkkinä käytetylle kaksi kerroksiselle asuintalolle saatiin vaipan keskimääräiseksi U-arvoksi 0,28 W/m²K ja seuraavat yhteenlasketut energiankulutuksen ja hiilijalanjäljen arviot:

- Vuosittainen kokonaisenergiankulutus suhteutettuna pinta-alaan: 283,87 kWh/m²
- Vuosittainen energiankulutus kokonaisuudessaan: 59 MWh/v
- Vuosittainen käyttökustannus (energia) suhteutettuna pinta-alaan: 16,42 €/m²v
- Vuosittainen käyttökustannus kokonaisuudessaan: 3 465 €/v
- Vuosittainen CO₂-päästö suhteutettuna pinta-alaan: 61,18 kg/m²v
- Vuosittainen CO₂-päästö kokonaisuudessaan: 12 915 kg/v

Analyysin tulosraportti (Energiatehokkuusarvio & käytönaikainen hiilijalanjälki) on esitetty kokonaisuudessa raportin liitteenä (Liite 1).

Tulosten päivitys suunnittelun edetessä:

Suunnittelun edetessä ja tarkentuessa analysointi suoritetaan uudelleen. Energia-mallin on tarkoitus päivittyä automaattisesti mallinnuksen ohella, jolloin energia-arvionkin päivitys on helppoa ja nopeaa, mutta päivitystilanteissa on kuitenkin muistettava tehdä vaiheen 2 (Energiamallin tarkastelu) alussa päivityskomento energiamallille ja sen vyöhykkeille, sillä suunnittelumallin vyöhykkeiden päivitys ei automaattisesti päivitä energiamallin vyöhykkeitä. Lisäksi tarkistetaan ja tarkennetaan myös materiaalien ominaisuustiedot ja muut lähtötiedot, jos niissä on tapahtunut muutoksia, eli esimerkiksi jos rakennetyyppejä on muutettu.

Tulosten analysointi ja arviointi voi tarkoittaa käytännössä paitsi yksittäisen suunnitelman arviointia, myös vaihtoehtosuunnitelmien vertailua energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten näkökulmasta. Lisäksi esimerkiksi aurinkosuojauksien ja muiden lisätietoina syötettyjen arvojen vaikutusta pystyy vertailemaan nopeasti ja helposti suoraan mallinusuohjelmassa käsillä olevalle suunnitelmalle. Tällöin on kuitenkin lisätietojen muuttamisen jälkeen muistettava tehdä päivityskomento energiamallille ennen laskentakäskyä. Koska lisätiedot, joihin laskenta perustuu, eivät sisälly itse tietomalliin, on lisäksi suunnitteluprosessin kannalta tärkeää varmistaa, että päätöksenteon pohjana olleet tiedot eli ympäristövaikutusten laskentaan käytettävä data säilyy ja siirtyy suunnitteluprosessissa myös eteenpäin.

Testauskokemuksia ja huomioita:

Mallinnus on tehtävä huolellisesti, jotta analyysin suoritus ei tuota virheilmoituksia. Esimerkiksi mallin perustarkistus Solibri Model Checkerillä auttaa mallin geometrian tarkistuksessa ennen analyysin tekemistä.

Erityisesti vyöhykkeiden mallintaminen monimuotoisissa hankkeissa vaatii suurta huolellisuutta kuten ohjelmakehittäjän ohjeissa ja esittelyissäkin on mainittu.

Energiamallin tarkastelussa automaattisesti tuotettavassa rakennelistassa rakenteiden pintamateriaali on oletusarvoisesti ”Rappaus – Tumma” kaikille vaipparakenteille. Ohjelma ei saa pintatietoa suoraan mallista vaan tämä täytyy määrittää manuaalisesti. Esimerkissä ulkoseinille valittiin ”Rappaus – Vaalea” ja katoille ”Metalli - Keskisävy”.

Kaikilta testikäytössä olleilta Weber rakennetyypeiltä puuttui ennalta määrätyt lämpöarvot ja esimerkissä suoritettiin U-arvon päällekirjoitus määrittelemällä $U=0,16$ kaikille (LTH 380) ulkoseinille. Päällekirjoitettu U-arvo ei pysy tallessa seuraavia hankkeita varten, eli päällekirjoituksen joutuu tekemään seuraavassa projektissa uudelleen, jos U-arvolaskurilla ei ole käytettävissä tarvittavia materiaalikerrosten lämpöarvoja (lämmönjohtavuus, tiheys, ominaislämpökapasiteetti). Lisäksi jättämällä pois lämpöarvojen tarkemman määrittelyn ja syöttämällä rakennetyyppikohtaiset arvot käsin energia-arvion tekeminen kyllä nopeutuu, mutta samalla tulos on jonkin verran epätarkempi (M.A.D. 2013).

Kun rakennetyyppien eri kerrosten materiaalit (leikkaustäytteet) nimetään yksiselitteisesti viittaamaan aina tiettyyn materiaaliin, niille voidaan tallentaa myös valmiiksi täsmällisesti oikeat lämpöominaisuusarvot. Esimerkkitapauksessa Leca Design Harkon (LTH) eristerokseksi oli leikkaustäyte ”Eriste”, jolle on ArchiCAD 16 aloituspohjassa tehty valmis linkitys materiaalilistan puukuitueristeeseen lämpöarvoineen. Yleisesti, kun kyse on valmistaja/toimialakohtaisista rakennetyypeistä, lämpöominaisuudet olisi hyvä määrittää etukäteen/valmiiksi mahdollisimman tarkasti oikein suunnittelijoille jaettavaan rakennetyyppitietokantoihin, jolloin jokaisen suunnittelijan ei tarvitse syöttää itse arvoja ja ne tulevat myös varmemmin oikein (valmistaja vastaa niiden oikeellisuudesta).

Muita rakennetyyppisiin liittyviä huomioita energia-analyysitestauksessa oli esimerkiksi, että sovellus ei hyväksy laskentaan rakennetyyppejä, joissa jokin rakennekerros on määritelty alle yhden millimetrin paksuiseksi. Jos alle millimetrin paksuisia materiaalikerroksia on käytetty, käyttäjä saa Energiamallin tarkastelussa ilmoituksen, että rakennekerroksen paksuus pitää olla enemmän kuin nolla.

Laskentaprosessi vaikuttaa helpolta ja tapahtuu nopeasti sen jälkeen kun malli on saatu kerran kuntoon eli mallin valmistelu-vaihe ja lisätietojen syöttö valmiiksi. Esimerkiksi pienten muutosten ja vaihtoehtoratkaisujen kokeilu ja vertailulaskelmat on nopeaa tehdä ensimmäisen laskennan jälkeen.

Lisätietojen kuten talotekniikan ja energialähteiden määrittelyt voivat kuitenkin vaatia tietoa, jota arkkitehtien ei ole perinteisesti tarvinnut suunnittelun alkuvaiheessa pohtia. Työkalun käytön alkuvaiheessa lähtötietojen oikeaan määrittelyyn tarvitaan ohjeistusta, koska ilman erityistä ympäristölaskennan asiantuntijaa on melko vaikea tietää, mitä oletusarvoista pitäisi säätää oikean laskentatuloksen aikaansaamiseksi. Hyvä ohje on esim. ArchiCAD käsikirja

Energia-analyysi (M.A.D. 2013) sekä englanninkielellä tarjolla olevat Graphisoftin opetusvideot (<http://www.graphisoft.com/products/archicad/green.htm>). Käytönaikainen hiilijalanjälkitulos (kulutettavasta energiasta aiheutuva CO₂) on kuitenkin hyvin herkkä energianlähteen kertoimien määrittelyn suhteen, ja tähän voisi olla tarjolla enemmän sijaintikohtaista (Suomalaista) tietoa. Esim. kun veden lämmitystavaksi määriteltiin testauksessa sähkö, ja sähkön tuotannon hiilijalanjäljen oletusarvoa 0,22 muutettiin 0,33 kg/kWh, kohteen CO₂-päästö kasvoi merkittävästi.

Yleisesti ottaen ohjelman käyttö on erittäin helppoa, havainnollista ja nopeaa. Mallinnusohjelmaan integroituna työkalu on koko ajan käytettävissä suunnittelutyön rinnalla, mikä helpottaa myös käytön opettelua. Tietoja ei tarvitse syöttää toiseen erilliseen ohjelmaan, vaan käsillä oleva tietomalli pystytään hyödyntämään lähes sellaisenaan arviointiin.

Ohjelman visualisointimahdollisuudet ja nopea laskentamoottori tukevat hyvin suunnitelman perustarkastelua ja analysointia käytön aikaisen energiankulutuksen ja siitä aiheutuvan hiilijalanjäljen kannalta. Merkittävin tunnistettu sovelluksen heikkous on, että laskenta ei kata materiaaleihin sitoutuneen hiilijalanjäljen laskentaa eli kokonaisvaltaista tietomallipohjaista ympäristölaskentaa, joka olisi jatkokehitysmahdollisuus.

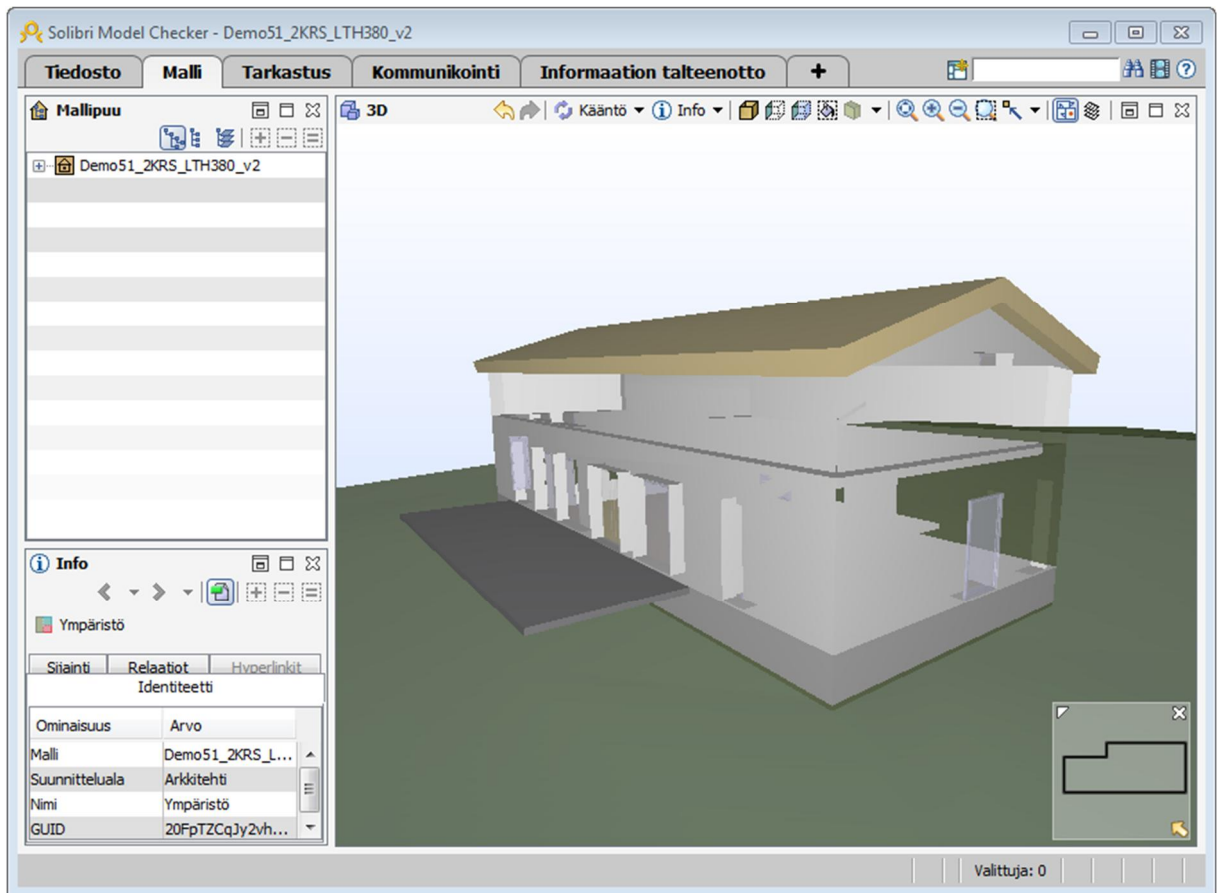
Mikäli ArchiCAD 16 Energia-arvion (EcoDesignerin perusversion) toiminnallisuus ei tarjoa suunnittelijalle riittävän tarkkaa analysointia energia-arviointeihin, on markkinoille tulossa monipuolisempi erillinen maksullinen versio EcoDesigner Star, josta on kirjoittamishetkellä saatavilla betaversio ilmaiseksi testaukseen Graphisoftin sivuilta (<https://edstarbeta.graphisoft.com>).

5.3 Ympäristölaskenta käyttäen VTT:n Ilmaria

Laskentaan tarvittavat tiedot

Laskentaan käytetään Ilmarissa määritettäviä rakennetyyppien laskentareseptejä sekä rakennetyyppien määriä, jotka tuotetaan Ilmarin ulkopuolella esim. tietomallista. Rakennetyyppikohtaiset määrät saadaan esim. IFC-muotoisesta tietomallista Solibri Model Checker ohjelmiston määrälaskentatoimintoja käyttäen. Määrät on mahdollista tuottaa myös perinteisellä tavalla piirustuksia apuna käyttäen.

Käytämme tässä esimerkissä apuna määräluettelon tuottamiseen Solibri Model Checker –ohjelmistoa, jolla tuotamme IFC-mallista määräluettelon. Käyttämämme IFC-malli on kaksikerroksinen melko yksinkertainen demotalo, jonka 3D-visualisointi näkyy seuraavassa kuvassa (Kuva 36).



Kuva 36. ArchiCAD tietomallista tuotetun IFC-tiedoston havainnointi Solibri Model Checker -ohjelmistossa

Määrätiedot syötetään Ilmariin Excel-tiedostona, jossa on eriteltyä rakennetyypeittäin rakennuksen sisältämien rakennetyyppien määrät. Ilmariin syötettäviä määriä on kolmea tyyppiä:

- Pinta-aloina mitattavat useammasta rakennekerroksesta koostuvat rakennetyypit, mm: yläpohjat, välipohjat, ulkoseinät
- Pinta-aloina mitattavat rakenteet: ikkunat, ovet, lasiseinät, kaiteet, lattiapinnat ja verhoilut
- Tilavuutena mitattavat rakenteet mm: palkit, pilarit, paalut, runkoportaot, perustukset ja pohja- ja piharakentamisen materiaalit

Ilmari muuntaa laskentaprosessin aikana rakennetyyppien määrät rakennusmateriaalien massoiksi ennalta määriteltyjen rakennetyyppien laskentareseptien perusteella ja laskee hiilidioksidipäästöt rakennusmateriaalien massojen ja Ilmarin tietokannassa olevien, VTT:n tutkimuksiin perustuvien materiaalien päästötietojen perusteella.

Useammasta rakennekerroksesta muodostuvien rakennetyyppien laskentareseptit määritellään web-lomakkeella Ilmarin projektikohtaiseen tietokantaan valitsemalla rakennusmateriaalikantaan määritellyistä materiaaleista rakennetyypin rakennekerrokset. Web-lomakkeena toteutetussa käyttöliittymässä rakennetaan laskennassa käytettävä resepti seuraavasti:

- Valitaan halutut rakennekerrosten materiaalit valikosta rakennetyypille relevanttien vaihtoehtojen joukosta (esim. välipohjalle näkyy eri valikoima materiaaleja kuin kevyelle väliseinälle).
- Annetaan rakennekerroksen paksuus
- Määritellään mahdollinen rakennejako ja sen mitat – esim. pystypuiden jako ja leveys (paksuus saadaan rakennekerroksen paksuudesta)
- Määritellään rakennekerroksen tuotteen käyttöikä

Luo rakennettyyppi (Yläpohjat, m²)

Rakennettyyppi: 45.9 CO₂eq kg/m²

Rakennetyypin nimi:

Rakennetyypin selite:

Materiaalikerros:		Runko:		
Materiaali	Paksuus	Runkomateriaali	Jako	Leveys
1. Kate, teräs, sinkitty ja maalattu	1 mm.	-empty-	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
2. Verhoilu, vaneri	15 mm.	-empty-	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
3. Ilmakerros	100 mm.	-empty-	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
4. Eriste, vuorivilla, tuulensuoja	50 mm.	-empty-	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
5. Kosteussulku	1 mm.	-empty-	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
6. Levy, kipsilevy	9 mm.	-empty-	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
7. Kuitukangas	5 mm.	-empty-	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
8. Eriste, vuorivilla, tiheys=100 kg/m ³	250 mm.	Puu	600 mm.	100 mm.

Kuva 37. Näkymä rakennetyypin laskentareseptin syöttämiseen käytettävästä web-lomakkeesta, johon on syötetty demorakennuksen yläpohjan YP1:n rakennetyypin kerrokset.

Pinta-aloina mitattaville rakenteille määritellään materiaali ja mm. pintakäsitellyille rakenteille kuten maalatuille paneeleille on mahdollista määrittää kaksi materiaalia. Tilavuuksina mitattaville rakenteille määritellään päämateriaali ja lisäksi on mahdollista määrittää toinen materiaali osuutena päämateriaalista. Esim. raudoitetuille betonirakenteille on Ilmarin materiaalitietokannassa määritelty oletuksena tietty teräsmäärä, mutta poikettaessa tästä määritellään päämateriaaliksi betoni ja teräs toisena materiaalina, jonka määrä lasketaan kilogrammoina kuutiossa (kg/m³) Koska Ilmaria kehitettäessä oletuksena on ollut, että IFC-tietomallissa ristikko- ja putkirakenteiden tilavuus määräytyy niiden ulkomittojen mukaan, määritetään niiden päämateriaaliksi ilma ja materiaaliksi 2 teräs tai muu materiaali kuten esim. puu.

Demomallin hiilijalanjäljen määrittelyssä Ilmari-ohjelmaan syötettiin seuraavassa taulukossa (Taulukko 3) esitetyt rakennetyypit, joihin määriteltiin rakennekerrosten materiaalit ja niiden paksuudet.

Taulukko 3. Ilmariin syötetyt demomallin rakennetyypit, niiden rakennekerrokset paksuuksineen, Ilmari-ohjelmaan syötetyt kerrosrakenteiden vastaavuudet, sekä rakenteiden määrit.

Rakenne	Rakennetyypin nimi (Demomallissa)	Rakennekerrokset (leikkaustäytteet)	Rakennekerrokset (Ilmari-sovelluksessa)	Paksuus mm (Ilmari-sovelluksessa)	Pinta-ala (m ²)
Ulkoseinät	US1: Weber US; Leca-eristeharkkoseinä, LTH 380 F24 08 02	<ul style="list-style-type: none"> Leca Design Harkko Eriste Leca Design Harkko 	<ul style="list-style-type: none"> Muuraus, lämpöharkko+E PS 	380	267
Yläpohja	YP1: Puupalkkisto	<ul style="list-style-type: none"> Peltikate Vaimennuskaista Havuvaneri, pontattu pitkiltä sivuilta Ilmarako Tuulensuojapintainen kivivilla Kattokannattajat + kivivilla 250 Ilman- ja höyrynsulku Rakennuslevy 	<ul style="list-style-type: none"> Kate, teräs, sinkitty ja maalattu Kuitukangas Verhoilu, vaneri Ilmakerros Eriste, vuorivilla, tuulensuoja Eriste, vuorivilla, tiheys=100 kg/m³ Kosteussulku Levy, kipsilevy 	1 5 15 100 50 250 1 9	168
Alapohja	AP1: Betonilaatta+EPS maanvarainen	<ul style="list-style-type: none"> Teräsbetoni EPS EPS 	<ul style="list-style-type: none"> Kantava alapohja (sis. raud. 12 KG/m²) Eriste, EPS, polystyreeni, tiheys=40 kg/m³ Eriste, EPS, polystyreeni, tiheys=40 kg/m³ 	80 80 80	107
Väliopohja	VP1: 409 massiivilaatta 270 53 dB	<ul style="list-style-type: none"> Teräsbetoni 	<ul style="list-style-type: none"> Laatta, betonit + teräkset 	270	100
Väliseinät	VS1: Weber VS: Kahi-harkkoseinä, Väliseinäponti 85, F52 01 06	<ul style="list-style-type: none"> Kahi Väliseinäponttiharkko 	<ul style="list-style-type: none"> Muuraus, kalkkihiekka 	85	55
Ikkuna	IK1: Ikkuna 6	<ul style="list-style-type: none"> 3 kertainen lasi 	<ul style="list-style-type: none"> Ikkuna, 3 lasikerrosta, 4 mm. 	-	34
Ovi	OV1: Ovi	<ul style="list-style-type: none"> puu 	<ul style="list-style-type: none"> Ovi, sisä 	-	11
Ovi	OV2: Pariovi	<ul style="list-style-type: none"> lasi 	<ul style="list-style-type: none"> Ovi, lasi 	-	7

Laskentaprosessin eteneminen

Määräluettelon sisältävä Excel-tiedosto, jossa on Ilmariin syötettyjä rakennetyyppejä vastaavat rakennetyyppien määrät, liitetään laskentaan web-lomakkeen avulla. Laskenta suoritetaan, kun tiedosto on ladattu palvelimelle. Sovellus suorittaa laskennan syötetyn määräluettelon ja määriteltyjen rakennetyyppien pohjalta, ja tuloksena saadaan rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset rakennusosittain Talo 2000–nimikkeistön mukaisesti. Tulostauksessa on mahdollista valita tulokset rakennetyyppikohtaisesti eriteltynä tai ilman erittelyä valintanapilla. Myös vertailu edelliseen syötettyyn määrälistaan on mahdollista valintanapin avulla. Kuva 38 esittää demorakennuksen hiilijalanjäljen laskennan tulokset, rakennetyyppeihin eriteltynä listana, Ilmari-sovelluksessa. Demorakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa ei otettu huomioon rakennuksen elinkaaren aikana tapahtuvien materiaalien uusimisia, mutta materiaalien uusiminen olisi ollut mahdollista myös huomioida määrittämällä materiaaleille materiaalien uusimisjaksot.

Laskenta				
Tiedosto				
Quantities_BIMCO_V2.xls				
122 Alapohjat				
	AP1:	53 CO ₂ eq kg/m ²	107 m ²	5613 CO ₂ eq kg
	VP1:	100 CO ₂ eq kg/m ²	100 m ²	9950 CO ₂ eq kg
	YP1:	46 CO ₂ eq kg/m ²	168 m ²	7707 CO ₂ eq kg
	Yhteensä:		374 m²	23270 CO₂eq kg
124 Julkisivut				
	US1:	82 CO ₂ eq kg/m ²	267 m ²	22039 CO ₂ eq kg
	IK1:	21 CO ₂ eq kg/m ²	34 m ²	689 CO ₂ eq kg
	OV1:	35 CO ₂ eq kg/m ²	11 m ²	400 CO ₂ eq kg
	OV2:	10 CO ₂ eq kg/m ²	7 m ²	74 CO ₂ eq kg
	Yhteensä:		320 m²	23202 CO₂eq kg
131 Tilan jako-osat				
	VS1:	22 CO ₂ eq kg/m ²	55 m ²	1217 CO ₂ eq kg
	Yhteensä:		55 m²	1217 CO₂eq kg
	Koko rakennuksen hiilijalanjälki:			47690 CO₂eq kg
	Rakennuksen hiilijalanjälki per pinta-ala:			199 CO₂eq kg / m²
	Rakennuksen hiilijalanjälki per tilavuus:			89 CO₂eq kg / m³
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Supista lista Vertailu edelliseen tiedostoon </div>			

Kuva 38. Demorakennuksen laskentatulokset Ilmarissa

6 Yhteenveto

Mallipohjainen ympäristövaikutusten laskenta

Jotta rakennuskohde voidaan suunnitella siten, että se täyttää Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa esitetyt, ympäristönäkökulmaan liittyvät, 'oleelliset perusvaatimukset', tarvitaan suunnittelijoitten käyttöön tietoa: rakennustuotteiden ympäristövaikutuksista, vaarallisten aineiden käytöstä, kestävyydestä, kierrätettävyydestä, tuotekohtaista määrätietoa, tietoa rakennuksen energiatarpeesta ja energiaratkaisuista, tietoa energialaatuojen ympäristövaikutuksista.

Rakennuksen ympäristövaikutusten laskennan menetelmät ovat olemassa ja rakennuksien vaikutusarviot konsulttien toimesta ovat yleistyneet. Tietomalleja ei kuitenkaan ole pystytty tehokkaasti hyödyntämään laskennoissa, kun yleisesti käytettävät ohjelmat eivät ole usein tietomallien kanssa yhteensopivia ja nykyinen mallinnuskäytäntö vaikeuttaa ympäristövaikutusten laskentaa tietomallipohjaisesti, kun rakennustuotteiden ominaisuustietoja tallennetaan malleihin vielä melko vähän. Ominaisuustiedon tarve kasvaa koko ajan mallien hyödyntämisen kasvaessa ja uudenlaisten mallia hyödyntävien analysointien lisääntyessä. Erityisesti paine energiankulutuksen arviointiin luo paineita kehittää myös ominaisuustiedon tallennuskäytäntöjä ja ohjelmien ominaisuuksia analyysien tehokkaaseen tekemiseen.

Tuotteita koskevat elinkaarenaikaiset ympäristöominaisuudet jaetaan standardoiduissa menetelmissä neljään elinkaaren päävaiheeseen: 1) Tuotevaihe, sisältäen rakennustuotteen raaka-aineiden hankinnat, kuljetukset ja tuotteen tuotannon, 2) Rakentamisprosessi, sisältäen rakennusmateriaalien kuljetukset rakennustyömaalle, rakentamisen sekä tuotteiden asentamisen, 3) Käyttövaihe, sisältäen tuotteiden kunnossapidon, hoidon, korjauksen, uusimisen sekä siihen liittyvät materiaalien kuljetukset, ja 4) Elinkaaren päättymisvaihe, sisältäen purkuvaiheen, purkumateriaalien kuljetuksen, jätteen käsittelyn sekä hävittämisen. Tuoterajauksen ulkopuolelle jäävä vaihe sisältää tuotteen uudelleenkäytön ja kierrätyksen vaikutuksen. Riippuen ympäristövaikutusten laskennan käyttötarkoituksesta laskentaa voidaan toteuttaa koko rakennuksen elinkaarelle tai elinkaaren vaiheelle, ja tarkastelun kattavuus suhteessa tuotteen elinkaareen vaikuttaa rakennustuotteista tarvittavien lähtötietojen laajuuteen.

Tuotetasolla tietomalli tarjoaa mahdollisuuksia erityisesti vaiheiden 1 (Tuotevaihe) ja 4 (Elinkaaren päättymisvaihe) laskentaan, kun tietomallista on mahdollista saada esim. materiaalikohtaiset määrätiedot sekä rakennukseen asennettavien että siitä purettavien materiaalien ja tuotteiden osalta. Lisäksi tietomalli tukee rakennuskohteen tasolla mm. käytön aikaisen energiankulutuksen ja sitä seuraavan hiilijalanjäljen arviointia ja vaihtoehtoratkaisujen vertailua ympäristönäkökulmista.

Tarjolla olevista ympäristövaikutusten laskentaohjelmista löytyi eroja mm. ohjelmien käyttöperiaatteessa, käytön helppoudessa ja laskennan kattavuudessa. Mikään nykyisin tarjolla olevista arkkitehtisuunnitteluun soveltuvista ympäristölaskennan ohjelmista ei pysty tietomallipohjaisesti laskemaan rakennuskohteen ympäristövaikutuksia tuotteen koko elinkaaren osalta, vaan kattavaan laskentaan tarvitaan useita erillisiä laskentatyökaluja. Esimerkiksi VTT:llä kehitetyn Ilmari-sovelluksen avulla voidaan laskea rakennusmateriaalien valmistukseen, kuljetukseen ja asennukseen liittyvät hiilidioksidipäästöt, mutta ei voida arvioida rakennuksen käytöstä aiheutuvia päästöjä. ArchiCAD 16 Energia-arvio työkalun kattavuus on toisin päin, eli sillä voidaan arvioida tietomallipohjaisesti rakennuksen käytön aikainen energiankulutus kustannuksineen ja

hiilijalanjälkitietoineen, mutta sovellus ei laske materiaaleihin sitoutunutta hiilijalanjälkeä. Esimerkiksi näitä kahta sovellusta voidaan käyttää yhdessä kattavaan laskentaan, mutta mallin rakennetyyppi-määrittelyt pitää tällä hetkellä syöttää Ilmariin manuaalisesti, kun ihannetapauksessa ohjelma pystyisi hyödyntämään (analysoimaan ja listaamaan) määrätietojen lisäksi myös rakennetyyppitiedot suoraan esim. IFC-muotoisen mallin perusteella. Autodeskin ohjelmilla mallinnettuja kohteita voidaan analysoida kattavasti, mutta näiden heikkoutena puolestaan on mm. tarve siirtää suunnitelma erilliseen ohjelmaan/laskentapalveluun, ilman aitoa mahdollisuutta analyysiin osana mallintavaa arkkitehtisuunnitteluprosessia.

Ympäristölaskennan tekeminen helpottuu oleellisesti, jos mallinnuksessa käytetään vähintään kansallisesti sovittuja rakenteiden ja tuotteiden tunnisteita, jolloin tuotetietojen hakeminen ja linkittäminen on mahdollista (edellyttäen että vastaavasti koodattuja tuotetietoja löytyy ohjelmien ymmärtämässä muodossa helposti). Kun mallinnus tehdään oikein ja tarjolla on oikeat lähtötiedot, ei laskennan tekeminen ole lisäkustannus vaan aidosti suunnittelua ohjaava toiminto.

Jotta ympäristövaikutukset voisivat olla suunnittelun kriteerinä, täytyy hallita myös lähtötietojen kattavuus. Mitä enemmän rakennusosia on mallinnettu sitä tarkempi on myös ympäristövaikutusten materiaali-kohtainen lopputulos. Ellei kaikkia rakenteita mallinneta, tulee tämä ottaa laskennassa huomioon, jos tavoitteena on ympäristövaikutuksen absoluuttinen taso eikä esim. samalla mallinnustarkkuudella tehtyjen vaihtoehtojen keskinäinen vertailu.

Tällä hetkellä esimerkiksi ArchiCAD-malliin voidaan määrittellä rakennusmateriaalien tuotetiedoista lämpöominaisuudet niin, että niitä pystytään suoraan hyödyntämään tietomallipohjaiseen energialaskentaan ohjelman sisällä, mutta muille materiaaliominaisuuksille ei ole valmiita tietokenttiä eikä käyttäjä voi myöskään itse luoda uusia parametreja. Esimerkiksi Autodesk Revit mallinnusohjelmassa ominaisuustietojen tallennus mallin sisältämille rakennusmateriaaleille on puolestaan hyvin joustavaa, mutta laskentatyökalut ja tiedon käyttömahdollisuudet ohjelman sisällä rajoittuneet.

Arkkitehdin tulee keskeisimpänä rakennussuunnittelijana olla tietoinen sekä energialaskennan että ympäristölaskennan perusteista. Voidaan olettaa, että arkkitehdit tulevat olemaan keskeisiä vaikuttajia myös kestävä kehityksen mukaisen rakentamisen edistämisessä ja myös arkkitehtuurin tavoitteet tulevat osittain määräytymään sen mukaisesti.

Tuotetietojen tarjonta

Tarjolla olevissa sähköisissä tuotekirjastoissa on toistaiseksi vähän valmistajakohtaista ominaisuustietoa, koska alalla ei ole sovittua standardia tai tapaa määrittellä ja jakaa tuotetietoa. Valmistajien tuottaman tiedon määrä sinänsä kehittyy kokoajan eteenpäin, kun uudet vaatimukset luovat paineen luovuttaa suunnittelijoille tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista tai energiatehokkuudesta.

Tuotekirjastojen tietosisältöjen tuottaminen ja ylläpitäminen suunnitteluohjelma-kohtaisesti on vaativaa työtä. Eri suunnitteluohjelmistoissa ja järjestelmissä käytetään usein eri tuotetiedon formaattia joka rajoittaa tuotetiedon saumatonta siirtoa eri ohjelmistojen välillä. Haasteeksi tuotekirjastojen tuottamiselle, tietosisältöjen laatimiselle ja hallinnalle muodostuu myös tietomallintamisen nopea kehitys, jolloin ohjelmistotuottajat keskittyvät omien tuotteidensa uusien toimintojen kehittämiseen.

Toinen haaste on tietosisältöjä koskevan standardin puuttuminen, minkä vuoksi kahden eri valmistajan vastaavia tuotteita ei voida arvioida ja verrata toisiinsa. Ympäristövaikutusten laskennan ja ilmoittamisen osalta löytyy usean parametrin indikaattorilista, jota voidaan tuotekohtaisesti ilmoittaa tai jättää ilmoittamatta, kun nämä eivät ole toistaiseksi pakolliseksi määritettyä tuotetietoa. Lisäksi tuotekohtainen indikaattorien laskentaproseduuri saattaa olla pienille tuotevalmistajille raskas toteutettavaksi, jolloin tietoa löytyy enemmän isoilta valmistajilta.

Ohjelmistojen käytettävyyden näkökulmasta standardin puuttuminen tekee eri ohjelmistojen välisten attribuutti- ja parametrikenttien vertailusta vaikeaa. Saman tietosisällön sisältävät kentät ovat todennäköisesti erinimiset kahden eri ohjelmistotuottajan välillä, mikä hidastaa tuotetietojen tarkistamista ja tiedonsiirtoa. Ohjelmistot mahdollistavat tuotetietokenttien räätälöinnin ja uusien kenttien määrättömän määrän tuottamisen. Näiden haasteiden ja mahdollisuuksien vuoksi kehittyneet käyttäjät ja suunnittelutoimistot tuottavat mielellään omia tarpeita palvelevia tuotekirjastoja.

Tuotetietokenttiin voidaan sisällyttää numeerista tai tekstitietoa. Tiedot tulee kuitenkin syöttää käsin tai hakea ohjelmistokohtaisesta tietokannasta. Molemmissa tapauksissa inhimillisen virheen mahdollisuus on suuri, minkä vuoksi tietomallin pohjalta tehdyt simuloinnit voivat tuottaa virheellisen tuloksen. Tuotetiedon käsittelijän täytyy olla erittäin hyvin tietoinen raja-arvoista, suureista ja englanninkielisestä terminologiasta, jotta mahdollinen virhe löydetään ajoissa. Tämän vuoksi on ensiarvoista, että tuotekohtaisen tuotetiedon hallinta on valmistajan vastuulla ja tietomallien tuotetietokenttien päivittäminen luotettavaa.

Tietomallitekniikan kehittäminen on perusluonteeltaan kansainvälistä. Kuitenkin tarvittavien laskentamenetelmien ja lähtötietojen kehittämistä on tehtävä myös kansallisella tasolla, jotta menettelyt yleistyisivät toimialalla ja laskentatulokset olisivat uskottavia ja vertailukelpoisia.

Tietomalliyhteensopiva suunnittelumenettely

Mallinnusohjelmat lokalisoidaan maakohtaisesti ja lokalisoinnin yhteydessä jaetaan maakohtaiset objektkirjastot ja aloituspohjat. Tämä mahdollistaisi myös kansallisten tuotetietojen päivittämisen kirjastoihin.

Ohjelmavalmistajat voivat luoda valmiit parametrikentät tiedoille, joihin voitaisiin syöttää geneeriset eli yleiset ympäristöominaisuustiedot. Tuotevalmistajan näkökulmasta lokalisoidut ja yhteisesti sovitut parametrikentät on helppo korvata valmistajakohtaisilla tiedoilla, kun parametrikentät olisivat kaikille samat ja siten vertailukelpoiset. Valmistajat pystyisivät erottautumaan kilpailijoihinsa nähden omien tuotteiden paremmilla ominaisuuksilla, eikä valmistajan tarvitse ylläpitää kansallisia tavoitearvoja omissa kirjastoissaan. Samalla valmistajakohtaiset riskit mallipohjaisen tuotetietojen jakelussa pienenevät, koska valmistaja ei joudu käyttämään omia resurssejaan maakohtaisten tavoitearvojen ylläpitämiseen vaan keskittyy omien tuotteiden ominaisuuksien ylläpitoon tuotekirjastoissa.

Toisaalta, koko suunnittelujärjestelmän tiedonhallintaa pitäisi kehittää eteenpäin, jotta myös kaikki muut geneeriset tuotevaatimustiedot saataisiin suoraan tietomalliin tai linkitettyinä malliin esim. tuotekirjastojen avulla. Geneeristen tuotekirjastojen kehittäminen sekä laadinta ja jakelu voisi olla myös pohjana myös uudelle liiketoiminnalle.

Yhteenvedona voidaan todeta, että:

- § Tietomallintaminen ei vielä ole alan kattava yleinen käytäntö ja sen käytännön tavoitteena on piirustustuotanto – ei tietosisältöjen hallinta. Suunnittelussa tapahtuvaa mallintamista pitää ohjata, jotta päästölaskenta suunnittelumallien pohjalta olisi luotettavaa tai ylipäättään mahdollista.
- § Suunnittelijan kannalta on helpompaa, jos erinäiset analyysit voi tehdä suoraan suunnitteluohjelmistossa ilman työlästä materiaali-kohtaisten tietojen syöttämistä.
- § Ei ole olemassa kattavia tuotetietokirjastoja vaan usein tuotetietokirjasto on vain 3D- tuoteobjekti, josta puuttuu tuotetietosisältö.
- § Suunnittelun alkuvaiheessa tehtävät analyysit vaativat kompromissia tulosten tarkkuuden ja mallinnustarkkuuden välillä.

Tuotekohtaisen tiedon olemassaolo ja sen hyödyntäminen jo rakennussuunnittelun alkuvaiheessa auttaa parantamaan suunniteltavien rakennuksien laatua, auttaa suunnittelija valitsemaan oikeat tuotteet oikeisiin kohteisiin sekä mahdollistamaan materiaalivalintoja ympäristö-, kustannus-, kestävyys tai muun vastaavan parametrien avulla. Valitettavasti tällaista kattavaa tuotekohtaista suunnittelijoitten käyttöön tarkoitettua keskitettyä tuotetietokantaa eikä yleisiä tietomallivaatimuksia ympäristölaskentaan ole vielä olemassa.

Lähdeviitteet

- AIMCC, 2012. L'Association des Industries de Produits de Construction. [Online] Saatavilla: <http://www.aimcc.org/> [Haettu: 17. elokuuta 2012].
- Autodesk Ecotect Analysis - <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/> Ohjelmiston demoversio mukana toimitettava dokumentaatio (help)
- Autodesk, 2012. Autodesk Seek [Online] Saatavilla: <http://seek.autodesk.com/> [Haettu: 19. marraskuuta 2012]
- Autodesk, 2012. Autodesk Green Building Studio. [Online] Saatavilla: <http://usa.autodesk.com/green-building-studio/> [Haettu: 14. marraskuuta 2012].
- Berard, O. & Karlshoej, J., 2012. Information delivery manuals to integrate building product information into design. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), XVII, pp.63-74.
- BIMObject.com, 2012 [Online] Saatavilla: <http://bimobject.com/> [Haettu: 20. marraskuuta 2012]
- BIM Task Group, 2012. COBie UK 2012. [Online] Saatavilla: <http://www.bimtaskgroup.org/cobie-uk-2012/> [Haettu: 28. marraskuuta 2012].
- BSI, 2012. BS EN 15804:2012. [Standard] British Standards Institution (February 2012) Saatavilla: <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=000000000030259256> [Haettu: 14. marraskuuta 2012].
- BSI, 2012. EN 16485. [Standard] British Standards Institution (12 Oct 2012) Saatavilla: <http://drafts.bsigroup.com/Home/ExternalIdentifier/MzAyNjgyNjk=> [Haettu: 17 elokuuta 2012].
- buildingSMART, 2012. IFD Library. [Online] Saatavilla: <http://www.ifd-library.org/> [Haettu: 14. marraskuuta 2012].
- Cadalyst BIM and Autodesk Ecotect (1-2-3 Revit Tutorial) - <http://www.cadalyst.com/aec/bim-and-autodesk-ecotect-1-2-3-revit-tutorial-3775?print=1>
- Delem, L. et al., 2011. SuperBuildings - Report on the selection of case studies. [Online] Saatavilla: http://cic.vtt.fi/superbuildings/sites/default/files/D7.1_Report_on_the_selection_of_case_studies.pdf .
- DTHX, 2012. Format de données techniques pour la construction. [Online] Saatavilla: <http://www.dthx.org> [Haettu: 17. elokuuta 2012].
- East, E.W., 2007. Construction Operations Building Information Exchange (COBIE) - Requirements Definition and Pilot Implementation Standard. [Online] Saatavilla: http://www.wbdg.org/pdfs/erdc_cerl_tr0730.pdf [Haettu: 13. helmikuuta 2012].
- EDIBATEC , 2012. Facilitateur d'échange de données BTP. [Online] Saatavilla: <http://www.edibatec.com/> [Haettu: 17. elokuuta 2012].
- Graphisoft, 2012. BIMcomponents.com. [Online] Graphisoft Saatavilla: <http://bimcomponents.com/> [Haettu: 19. marraskuuta 2012].

- Graphisoft, 2012. EcoDesigner. [Online] Graphisoft Saatavilla: <http://www.graphisoft.co.za/ecodesigner.html> [Haettu: 5. syyskuuta 2012].
- Graphisoft, 2012. Energy Evaluation. [Online] Graphisoft Saatavilla: <http://www.graphisoft.com/products/archicad/green.html> [Haettu: 6. syyskuuta 2012].
- Helms, R.W., 2002. Master's Thesis: Product Data management as enabler for concurrent engineering. Eindhoven, the Netherlands: Technische Universiteit Eindhoven.
- Hvam, L., 1999. Procedure for building product models. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 15, No. 1, p.77–87.
- Ibrahim, M. & Krawczyk, R., 2003. The Level of Knowledge of CAD Objects within the Building Information Model. In Connecting Crossroads of Digital Discourse. Indianapolis, USA, 2003. Association for Computer-Aided Design in Architecture.
- ISO, 2012. ISO/DIS 14067.2. [Standardi] International Organization for Standardization (40.20 (2012-10-04)) Saatavilla: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=59521 [Haettu: 17. elokuuta 2012].
- Khemlani, L. 2012. AECbytes Product Review, ArchiCAD 16, June 22 2012. Available on-line: http://aecbytes.com/review/2012/ArchiCAD16_pr (last visit 14.1.2012)
- Kiviniemi, Markku; Sulankivi, Kristiina; Tikkanen, Arto. 2008. Talonrakentamisen toimitusketjun tehostaminen tietotekniikan avulla. 130 s. + liitt. 3 s. VTT; VTT-R-09954-08
- LEED, 2012. Leadership in Energy and Environmental Design. [Online] Saatavilla: <http://www.leed.net/> [Haettu: 17. elokuuta 2012].
- LVI-INFO, 2012. LVI-INFO tuotetietopankki. [Online] Saatavilla: <http://www.lvi-info.fi/portal/> [Haettu: 14. marraskuuta 2012].
- M.A.D. Oy, 2013. Energia-analyysi, ArchiCAD käsikirja. Saatavilla: <http://www.mad.fi/mad/kasikirjapdf.html> [Haettu: 17. helmikuuta 2013]
- Mittaviiva Oy, 2008. 14.11.2008 Rakennusalan yleistuotemäärittely on valmistunut. [Online] Saatavilla: <http://www.mittaviiva.fi/index.php?sivu=21&a=14> [Haettu: 14. elokuuta 2012].
- Penttilä, H. & Lindberg, R., 2008. Rakennusalan yleistuotemäärittely - kehityshankkeen loppuraportti. [Online] Saatavilla: <http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=1105&intLinkedFromObjectID=11392>.
- PRE/BIMCON hankkeen puitteissa VTT:llä tehdyt ohjelmatestaukset
- Rakennusteollisuus RT, 2009. Toimitusketjun hallinta talonrakentamisessa - KETJU yhteenveto. [Online] Helsinki: Rakennusteollisuus RT Saatavilla: <http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=1630&intLinkedFromObjectID=11392>.
- Rakennustieto, 2012. RT 10-11068, Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 3 Arkkitehtisuunnittelu. In RT-kortisto. Helsinki: Rakennustieto. pp.1-17.
- RaSi, 2012. RaSi-tuotetietopankki. [Online] Saatavilla: <http://www.rasi.fi/fi/tuotetietopankki> [Haettu: 14. marraskuuta 2012].

RevitCity.com, 2012 [Online] Saatavilla: <http://www.revitcity.com/index.php> [Haettu: 20. marraskuuta 2012]

RT, 2012. RT tarvikenimikkeistöt. [Online] Saatavilla: http://www.rakennustieto.fi/index/tietopalvelut/nimikkeistot_21.html [Haettu: 14. marraskuuta 2012].

RT, 2012. RT Tarviketieto.net. [Online] Saatavilla: <http://tarviketieto.net/> [Haettu: 14. marraskuuta 2012].

UNSPSC, 2012. The United Nations Standard Products and Services Code®. [Online] Saatavilla at: <http://www.unspsc.org/> [Haettu: 14. marraskuuta 2012].

Violainen,S. ArchiMAD-kerhon jäsenlehti ArchiMAD 3/2012.

Yang, W.Z., Xie, S.Q., Ai, Q.S. & Zhou, Z.D., 2008. Recent development on product modelling: a review. International Journal of Production Research, XLVI(21), p.6055–6085.

LIITE 1

Energiatehokkuusarvio & käytön aikainen hiilijalanjälki

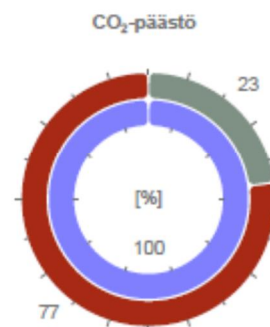
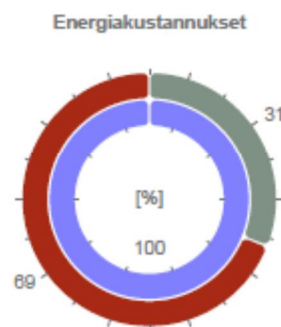
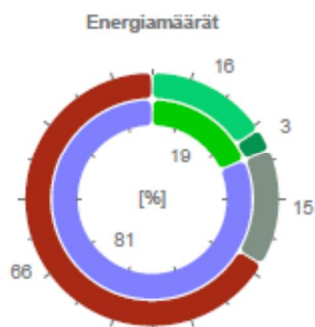
BIMCON Demo (2 kerroksinen pientalo kaukolämmöllä)

Perustiedot

Projektin tiedot			Lämmönsiirtokertoimet		U-arvo	[W/m²K]
Sijainti:	Helsinki		Vaippa keskimäärin:	0.28		
Ensisijainen käyttötarkoitus:	Asunto (100%)		Lattiat:	-		
Arviointipäivä:	22.2.2013 9:52		Ulkoisen:	0.16 - 0.22		
			Maanalainen:	-		
			Aukot:	0.79 - 1.53		
Rakennuksen geometria			Vuosittainen tarve			
Brutto lattiapinta-ala	240,61	m ²	Lämmitysenergia (netto):	52.07	kWh/m ² v	
Rakennuksen ulkovaippa:	445,98	m ²	Jäähdytysenergia (netto):	8.26	kWh/m ² v	
Ilmanvaihtotilavuus:	537,74	m ³	Energia yhteensä:	60.33	kWh/m ² v	
Lasitus:	7	%				
Ulkovaipan ominaisuudet			Energiankulutus:			
Ilmavuodot:	3.05	l/h	Polttoaineen kulutus:	231.14	kWh/m ² v	
Ulkop. lämpökapasiteetti:	-	J/m ² K	Primäärienergia:	316.09	kWh/m ² v	
			Käyttökustannukset:	16.42	EUR/m ² v	
			CO ₂ -päästö:	61.18	kg/m ² v	

Energiankulutus lähteittäin

Lähteen tyyppi	Energia			CO ₂ -päästö
	Lähteen nimi	Määrä MWh/v	Kustannus EUR/v	kg/v
Uusiutuva	Poistoilma	9	-	0
	Ympäristö	1		0
Sekundääri	Sähkö	8	1075	2958
	Kaukolämpö	39	2389	9956
Yhteensä:		59	3465	12915*



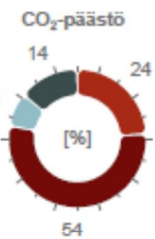
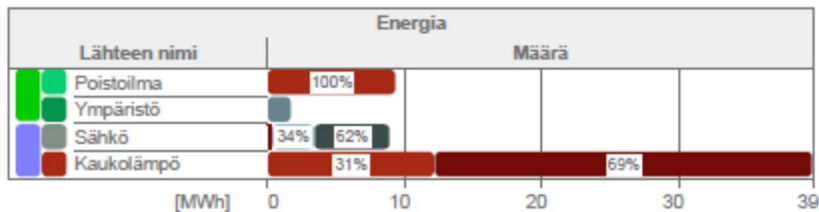
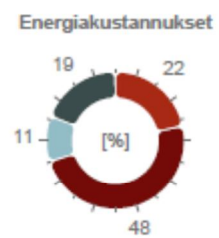
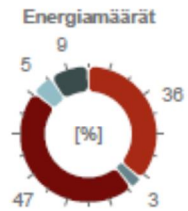
* 0.06 hehtaaria (vastaa noin 2 tenniskenttää) trooppista metsää absorpoi tämän määrän CO₂:ta vuodessa

Energiatehokkuusarvio & käytön aikainen hiilijalanjälki

BIMCON Demo (2 kerroksinen pientalo kaukolämmöllä)

Energiankulutus kohteittain

Kohteen nimi	Energia		Primääri MWh/v	CO ₂ Päästö kg/v
	Määrä MWh/v	Kustannus EUR/v		
Lämmitys	21	745	12	3087
Jäähdytys	1	0	0	0
Käyttöveden lämmitys	27	1685	28	6980
Ilmanvaihto	3	369	9	1016
Valaistus ja laitteet	5	665	16	1830
Yhteensä:	59	3465	66	12915



Kuukausittainen energiatase

