SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - **AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO**
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

RAKENNUKSEN YMPÄRISTÖ-VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

TEKIJÄ: Tanja Auresmaa

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Tanja Auresmaa	
Työn nimi Rakennuksen ympäristövaikutusten arviointi	
Päiväys 12.5.2016	Sivumäärä/Liitteet 53/7
Ohjaaja(t) lehtori Viljo Kuusela, yliopettaja Janne Repo, asiantuntija Tarmo Räty	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Luonnonvarakeskus, Savonia-ammattikorkeakoulu, rakennuttaja Aki Leskinen, Omatalo Oy	

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, millä eri tavoilla rakennusten ja kiinteistöjen ympäristövaikutuksia voidaan arvioida ja laskea, sekä pohdittiin mitkä seikat vaikuttavat rakennuksen ekologisuuteen koko sen elinkaaren aikana. PEnA (Platform for Environmental Assessment) on Luonnonvarakeskuksen kehittämä laskentakehikko ja web-sovellus, joka hyödyntää tietoja materiaalien ympäristövaikutuksista ja näin ollen tuottaa analylyyseja, joita käytetään apuna koko rakennuksen ympäristövaikutusten arviointiin. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa kohderakennuksen rakennusosien ja materiaalien ympäristövaikutuksia PEnA-sovellusta käyttäen ja eritellä, mitä kehitystarpeita ja käyttömahdollisuuksia sillä voi olla tulevaisuudessa elinkaariarvioinnin osana.

PEnA-sovelluksen toimintaa testattiin tutkimalla ja laskemalla ympäristövaikutukset Kuopion Vehmasmäessä sijaitsevan puurakenteisen pientalon ulkoseinästä, ylä- ja alapohjasta. Opinnäytetyössä selvitettiin elinkaariarvioinnin toimintaperiaate ja tutkittavat rakennusosat luotiin PEnA-laskimella, valitsemalla niille oikeat materiaalit määrätietoineen. Materiaalien ympäristövaikutukset saatiin saksalaisen Ökobau-materiaalitietokannan kautta.

Opinnäytetyön tuloksena PEnA-sovelluksesta saatiin koontitaulukko, joka osoittaa rakennusosan ja materiaalien ympäristövaikutukset, kuten valmistusprosessista aiheutuvan energiantarpeen ja eri päästöt. Lopuksi PEnA-sovellukselle laadittiin kehitysehdotuksia eri näkökulmista ja tarkasteltiin laskennan hyötyjä rakennussuunnittelun ja päätöksenteon kannalta.

Avainsanat
ekologisuus, elinkaarimittarit, elinkaariarvio, ilmastonmuutos, ympäristövaikutukset

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
Abstract

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Tanja Auresmaa			
Title of Thesis Estimating the Environmental Impact of the Building			
Date	12 May 2016	Pages/Appendices	53/7
Supervisor(s) Mr. Viljo Kuusela, Lecturer, Mr. Janne Repo, Principal Lecturer, Mr. Tarmo Räty, Researcher			
Client Organisation /Partners Natural Resources Institute Finland, Savonia University of Applied Sciences, Builder Aki Leskinen, Omatalo Ltd			

Abstract

In the thesis a number of different ways to estimate and calculate the environmental impact of a building and real estate was determined. This was achieved by investigating the factors which influence a building's ecology for the duration of its entire life cycle. PEnA (Platform for Environmental Assessment) is a calculation frame and a web-application developed by Natural Resources Institute of Finland which makes use of available information for an environmental impact of construction materials, producing analyses that can be used to support the evaluation process of the environmental impact for an entire building. The purpose of the thesis was to identify the impact of construction elements and materials using a PEnA application and to specify the development needs and potential future uses it can have as a part of a Life Cycle Assessment (LCA).

The functionality of the PEnA application was tested by researching and calculating the environmental impact of the exterior wall, roof and ground floor of a small wooden house located in Vehmasmäki, Kuopio. The thesis explored the principles of Life Cycle Assessment where the reviewed construction elements were created using a PEnA calculator,by selecting the most appropriate materials and quantifying them. Information regarding the environmental impact of the materials was obtained from the Ökobau material database.

The outcome of the thesis was the creation of an Aggregate Table, produced by using the PenA application, which demonstrates the environmental impact of an element and a material such as the embodied primary energy and various emissions caused by the production process. Finally, a list of development suggestions for the PenA application was compiled from different viewpoints, including a study conducted on the benefits of calculations regarding the construction engineering and decision making process.

Keywords
ecology, building performance indicators, life cycle assessment, climate change, environmental impact

ESIPUHE

Ihmisen aiheuttamilla kasvihuonepäästöillä ja suurella luonnonvarojen kulutuksella voi olla vakavat seuraukset, jotka näkyvät jo esimerkiksi napajäätiköiden sulamisena ja muina luonnonkatastrofeina, sekä lajien sukupuuttoon kuolemisena. Ilmastonmuutoksen rajoittaminen on noussut yhdeksi yhteiskunnan suurimmista haasteista ja myös rakennus- ja kiinteistöala on alkanut kiinnittämään entistä enemmän huomiota kestävän kehityksen mukaiseen ja ympäristötehokkaaseen ajattelutapaan.

Tähän tärkeään ja ajankohtaiseen aiheeseen liittyen sain mahdollisuuden lähteä tutkimaan ja kehittämään rakennusten ympäristövaikutusten arviointia ja siinä käytettäviä työkaluja. Haluan kiittää Luonnonvarakeskusta ja tutkija Tarmo Rätyä mielenkiintoisesta toimeksiannosta, sekä Savonia-ammattikorkeakoulun lehtori Viljo Kuuselaa tämän haastavan aiheen ohjaamisesta.

Erityiskiitos myös Aki Leskiselle, jonka omakotitaloa sain käyttää työssäni tutkimuskohteena, sekä rakennustekniikan opiskelija Kai Matilaiselle, jolta sain paljon kehitysideoita tutkielmaani varten. Haluan myös esittää kiitokset kaikille muille henkilöille ja läheisilleni, jotka ovat auttaneet ja tukeneet tämän opinnäytetyön tekemisessä.

Kuopiossa 7.5.2016

Tanja Auresmaa

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO 7

1.1 Tausta ja tavoitteet 7

1.2 Toimeksiantaja 9

1.3 Käsitteet ja määritelmät 9

2 RAKENNETTU YMPÄRISTÖ 12

2.1 Kestävän kehityksen mukainen rakentaminen 12

2.2 Rakentamisen ympäristövaikutukset 13

2.3 Ekologinen rakennus ja rakentaminen 14

3 ELINKAARIARVIOINTI 16

3.1 Rakennuksen ja rakennusmateriaalien elinkaari 17

3.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet 18

3.3 Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet 19

4 RAKENNUSTEN YMPÄRISTÖLUOKITUKSET 20

4.1 Kansainväliset ympäristöluokitusjärjestelmät 21

4.1.1 Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) 21

4.1.2 BRE Environmental Assessment Method (BREEAM) 21

4.1.3 Deutsche Gesellschaft fur Nachhaltiges Bauen (DGNB) 21

5 RAKENNUSTEN ELINKAARIMITTARIT 22

5.1 Green Building Council Finland 22

5.2 Hanke- ja käyttövaiheen mittarit 22

5.2.1 Standardit 23

5.2.2 Kiinteistöpassi 24

6 PENA - PLATFORM FOR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT 25

6.1 Laskimen toimintaperiaate 25

6.2 Laskettavat ympäristövaikutukset 27

7 SELVITYS PIENTALOKOHTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA 29
7.1 Työn vaiheet 29
7.1.1 Laskimen asennus ja käytön opettelu 29
7.1.2 Rakenneosien luominen ja ympäristökuormien laskenta 29
7.2 Pientalon perustiedot 30
7.3 Rakenneosat 31
7.4 Rakennuksen ekologisuusnäkökohdat 32
8 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET 35
8.1 PEnA –laskimesta saadut tulokset 35
8.2 Tulosten vertailu muiden laskentatapojen kanssa 36
8.3 Laskimen kehitystarpeet 39
8.3.1 Kehittäminen suomalaisiin olosuhteisiin 39
8.3.2 Visuaaliset ominaisuudet 40
8.3.3 Materiaalikustannukset 40
8.3.4 Tekniset ongelmat ja kehitysehdotukset 41
8.3.5 PEnA –laskimen käyttö tietomallinnuksessa 41
8.4 Laskennasta saatavat hyödyt 42
9 YHTEENVETO 43
LÄHTEET 44
LIITE 1: RAKENNUSOSIEN MÄÄRÄLASKUT 46
LIITE 2: SUOMENNOKSET MATERIAALEILLE 48
LIITE 3: RAKENNUSOSIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN KOONTITAULUKOT 49
LIITE 4: JULKISIVUKUVAT 50
LIITE 5: LEIKKAUSKUVAT 51
LIITE 6: POHJAPIIRUSTUS 52
LIITE 7: ENERGIATODISTUS 53

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Rakennus- ja kiinteistöala on huomattava energian kuluttaja ja kasvihuonepäästöjen tuottaja, joten sillä on myös merkittävä vaikutus ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Jopa 40 % kaikesta Euroopan energiankulutuksesta ja 36 % hiilidioksidipäästöistä aiheutuu rakennuksista ja niiden rakentamisesta, joten ei ole samantekevää minkälaisia rakennuksia tulevaisuudessa tuotamme (europa.eu). Ympäristövaikutuksia aiheutuu raaka-aineiden hankinnasta, tuotteiden valmistuksesta ja niiden kuljetuksista, sekä itse rakennusprosessista. Kuitenkin suurimmat vaikutukset ympäristöön aiheutuvat energiankäytöstä, joka syntyy rakennuksen käyttövaiheessa. Elinkaarensa lopussa rakennuksen purkamisella ja jätteiden kierrätyksellä on myös merkityksensä.

Euroopan Unionin pitkän tähtäimen tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä 80 - 95 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Tämän lisäksi jäsenvaltiot ovat sitoutuneet vuoteen 2020 mennessä vähentämään 20 % kasvihuonepäästöistään, kavattamaan uusiutuvan energian osuuden EU:n kokonaisenergiasta 20 %:iin ja saavuttamaan 20 %:n energiatehokkuustavoitteen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jatkossa on rakennettava entistä energiatehokkaampia rakennuksia: vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia ja vuoden 2018 loppuun mennessä viranomaisten käytössä ja omistuksessa olevien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiataloja. Lisäksi pyritään kehittämään toimintatapoja, joilla korjausrakentamiskohteet saataisiin muutettua lähes nollaenergiatasoa vastaaviksi. (figbc.fi.)

Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes ovat keränneet laajan asiantuntijajoukon kartoittamaan parhaat keinot energiaviisauden edistämiseen, minkä tuloksena on syntynyt toimintaohjelma ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Sen tavoitteena on saavuttaa vuoden 2020 päästötavoitteet jo vuonna 2017, sekä kehittää Suomesta ilmastonmuutoksen torjunnan kärkimaa, jossa rakentaminen on energiatehokasta, vähäpäästöistä ja laadukasta. (era17.fi.) Toimintaohjelma sisältää 31 toimenpidekokonaisuutta, joista yksi on kiinteistöjen ja alueiden ympäristöjohtamisen luokitusjärjestelmien ja työkalujen kehittäminen. Tämän seurauksena on ryhdytty kehittämään rakennusten elinkaarimittareita, joiden avulla voidaan tutkia rakennuksen ekologisuutta monelta eri osa-alueelta.

Maailmalla on jo kehitetty monipuolisia työkaluja rakentamisen ympäristövaikutusten arvioimiseen ja päästöjen laskemiseen, mutta ne sisältävät painotuksia, jotka eivät välttämättä toimi samassa suhteessa Suomen ilmastossa, rakentamistyylissä tai materiaalien osalta. Yhdenmukainen, ilmasto-olosuhteisiin ja lainsäädäntöön sopiva ympäristöluokitusjärjestelmä edesauttaa kestävän ja ekotehokkaan rakentamisen kehityksessä ja sen avulla rakennushankkeen osapuolet saavat tietoa, sekä näkökulmia ympäristöystävällisemmistä ratkaisuista. Rakennuksen hyvällä suunnittelulla voidaan saada huomattavia säästöjä niin rakentamis- kuin käyttövaiheessakin, koska ekologisesti kestävä talo säästää ympäristön lisäksi myös asukkaan kustannuksia esim. energialaskujen pienentyessä.

Suurimmat ympäristöön vaikuttavat päätökset tehdään jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jolloin apuna voitaisiin käyttää ympäristövaikutusten arviointiin kehitettyjä työkaluja, jotka tekevät analyysin esim. rakennuksen energiankulutuksesta ja rakentamisessa syntyvistä päästöistä. Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena on tutkia mitkä seikat vaikuttavat rakennuksen ekologisuuteen koko sen elinkaaren aikana, sekä selvittää millä eri tavoilla rakennusten ja kiinteistöjen ympäristövaikutuksia voidaan arvioida ja laskea.

Opinnäytetyössä esitellään kansainvälisesti tunnettuja ympäristöluokitusjärjestelmiä ja tutkitaan Green Building Council Finlandin kehittämien Rakennusten elinkaarimittareiden tarjoamia mahdollisuuksia. Työssä tutkitaan myös Luonnonvarakeskuksen kehittämää PEnA–laskentatyökalua ja pohditaan mitä kehitystarpeita ja käyttömahdollisuuksia sillä voi tulevaisuudessa olla elinkaariarvioinnin osana. PEnA-sovelluksen toimintaa testataan tutkimalla ja laskemalla rakenneosien ympäristövaikutuksia kohderakennuksesta, sekä vertailemalla tuloksia eri materiaalien osalta.

Tarkasteltavaksi kohteeksi on valittu Kuopion Vehmasmäessä sijaitseva puurakenteinen pientalo, josta tehdään analyysi PEnA–laskinta käyttäen ja tutkitaan tulosten pohjalta, millaisia ympäristövaikutuksia rakennuksella on, ja minkälaisia hyötyjä rakennuttajat ja suunnittelijat voivat saada elinkaariarvioinnista. Tulevaisuudessa ympäristöarvot kasvavat entisestään, kun luonnonvarojen jatkuvaa käyttämistä täytyy saada pienennettyä. Sen vuoksi opinnäytetyössä pyritään laajentamaan elinkaariajattelua ja arvioimaan myös, mikä on pientalokohteen vaikutus ilmastonmuutokseen.

Opinnäytetyön tuloksena PEnA-sovelluksesta saatu koontitaulukko osoittaa rakennusosan ja materiaalien ympäristövaikutukset, kuten valmistusprosessista aiheutuvan energiantarpeen ja eri päästöt. Työn lopussa PEnA-sovellukselle laaditaan myös kehitysehdotuksia eri näkökulmista ja tarkastellaan laskennan hyötyjä rakennussuunnittelun ja päätöksenteon kannalta.

1.2 Toimeksiantaja

Luonnonvarakeskus (Luke) on tutkimus- ja asiantuntijaorganisaatio, joka tekee työtä luonnonvarojen kestävän käytön ja biotalouden edistämiseksi. Luonnonvarakeskuksella on myös lakisääteisiä viranomaistehtäviä ja se huolehtii mm. luonnonvarojen seurannasta, torjunta-aineiden tarkastuksesta, kasvihuonekaasujen laskennasta, tukee luonnonvarapolitiikkaa ja tuottaa Suomen viralliset ja ruoka- ja luonnonvaratilastot. (Luke.fi.)

Luonnonvarakeskuksen tutkija Tarmo Räty on tehnyt aloitteen Savonia-ammattikorkeakoulun kanssa yhteisestä hankkeesta, jossa rakentamisen ympäristövaikutusten arviointia ryhdytään kehittämään käyttäen hyödyksi PEnA-laskinjärjestelmää. Tämän opinnäytetyön pohjalta voidaan miettiä, voitaisiinko ympäristövaikutusten laskennasta kehittää tällaista jatkohanketta. Tavoitteena on, että kiinteistö- ja rakennusala ottaisivat elinkaarimittauksen laajasti käyttöönsä, ja siitä saataisiin kehitettyä luotettava toimintamalli kuluttajalle. PEnA–laskimen toimintaa testataan tutkimalla ja laskemalla rakenneosien ympäristövaikutuksia Kuopion Vehmasmäessä sijaitsevasta puurakenteisesta pientalosta, jonka on rakentanut yksityishenkilö Aki Leskinen ja suunnitellut Omatalo Oy.

1.3 Käsitteet ja määritelmät

Ekologinen rakentaminen= Rakentamista, mikä rasittaa ympäristöä mahdollisimman vähän (rakentajanekolaskuri.fi).

Ekologinen rakennus= Rakennus, jonka rakentaminen ja käyttö aiheuttavat mahdollisimman vähän ympäristökuormituksia. Se soveltuu nykyisiin ja myös tuleviin käyttötarkoituksiin. Rakennus on viihtyisä, terveellinen, turvallinen, sekä pitkäikäinen. Sen rakennusosat ja materiaalit ovat kierrätettävissä. (rakentajanekolaskuri.fi.)

Elinkaarianalyysi (LCA = Life Cycle Assessment)= Elinkaariarviointi, mikä edellyttää tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikana syntyvien ympäristövaikutusten tutkimista (Junnila ja Saari 1997, 17).

Elinkaarikustannukset (LCC= Life Cycle Costs)= Kustannuksia, joita kohteelle syntyy tai voidaan olettaa syntyvän sille määritetyn elinkaaren aikana (ramentor.com).

Energiatehokkuus= Energian tehokasta käyttöä ja kasvihuonepäästöjen vähentämistä kustannustehokkaalla tavalla (TSK 2012,50)

Ekologinen kestävyys= Biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien toimivuuden varmistamista, sekä ihmisen toiminnan sopeuttamista siihen niin, että luonnon kestokyky ei ylity saasteiden tai luonnonvarojen liikakäytön takia (ym.fi).

Eteeniekvivalentti= Suure, joka kuvaa määrällisesti oksidanttien muodostumista (Punkki 2003, 510).

Hiilidioksidiekvivalentti (CO2-ekv.) = Suure, joka kuvastaa kasvihuonekaasujen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta (Lindroos, Ekholm ja Savolainen 2012, 14).

Hiilijalanjälki= kuvaa jonkin tuotteen, toiminnan tai palvelun ilmastokuormaa, eli kuinka paljon kasvihuonekaasuja muodostuu tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana (TSK 2012, 50).

Kestävä kehitys= Yhteiskunnallista toimintaa, jonka päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet. Päätöksenteossa ja toiminnassa otetaan huomioon taloudelliset, ekologiset, sosiaaliset ja kulttuurilliset näkökohdat. (ym.fi.)

Kestävän kehityksen indikaattorit= Osoitin, ilmaisin tai tilastollinen luku, jonka avulla seurataan ja arvioidaan kestävän kehityksen toteutumista (ym.fi).

Lähes nollaenergiarakennus= Rakennus, jonka energiatehokkuus on erittäin korkea, ja jonka tarvitsema vähäinen energia katetaan hyvin laajalti uusiutuvalla energialla (safa.fi).

Rakennuksen elinkaari = Ajanjakso maankäytön ja rakentamisen suunnittelusta, raaka-aineiden hankinnasta rakentamiseen ja aina rakennuksen purkuun, sekä purkutuotteiden lajitteluun saakka (figbc.fi).

Rakennusten elinkaarimittarit= Järjestelmä, jonka avulla arvioidaan kiinteistön ja rakennuksen ympäristötehokkuutta ja kestävän kehityksen mukaista toimintatapaa (figbc.fi).

Rikkidioksidiekvivalentti (SO2-ekv.)= Suure, joka kuvaa määrällisesti happamoitumista aiheuttavia päästöjä (Punkki 2003, 510).

Ympäristökuormitus=Ympästölle aiheutuva haitta, joka syntyy rakentamisessa energian ja raaka-aineiden kulutuksesta, sekä haitallisista päästöistä (Punkki 2003, 510).

Ympäristöluokittelu= Osoitetaan rakennuksen suorituskyky suunnitellussa toimintaympäristössä huomioiden koko elinkaaren vaatimukset (figbc.fi).

Ympäristöseloste= Elinkaaritutkimuksen raportti, joka erittelee tuotteen ympäristövaikutuksia kuvaavia ominaisuuksia (Tuoteverkosto.fi).

Ympäristösertifikaatti= Yleensä kolmannen osapuolen vahvistama todistus rakennuksen ja/tai sen käytön ympäristövaikutuksista. Sen edellytyksenä on toimiva järjestelmä, jolla ympäristövaikutuksia mitataan, kirjataan ja seurataan haitallisten vaikutusten vähentämiseksi (Melander 2010, 7).

Ympäristötehokkuus= Ominaisuus, jonka mukaan pienemmillä energia-, materiaali- ja raaka-ainemäärillä pyritään tuottamaan enemmän, vähentäen samalla tuotteen tai palvelun haitallisia ympäristövaikutuksia (TSK 2012, 50).

Ympäristövaikutus= Hankkeen tai toiminnan aiheuttamia myönteisiä tai haitallisia vaikutuksia ympäristöön, kuten ihmisen terveyteen, elinoloihin tai viihtyvyyteen, luontoon ja sen monimuotoisuuteen, yhdyskuntarakenteeseen, maisemaan ja rakennuksiin.

2 RAKENNETTU YMPÄRISTÖ

2.1 Kestävän kehityksen mukainen rakentaminen

Kestävä kehitys on maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti tapahtuvaa jatkuvaa ja ohjattua yhteiskunnallista muutosta, jonka päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet. Kestävän kehityksen politiikalle on muotoutunut neljä eri osa-aluetta: ekologinen, taloudellinen, sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys. Ekologisen kestävyyden perusehtona pyritään säilyttämään biologinen monimuotoisuus ja ekosysteemin toimivuus, jotta luonnon kestokyky säilyisi ihmisen toiminnasta ja kuluttamisesta huolimatta. Taloudellinen kestävyys on sisällöltään ja laadultaan tasapainoista kasvua, joka ei perustu pitkällä aikavälillä velkaantumiseen tai varantojen hävittämiseen, vaan siihen, että elinkeinoelämä on sopusoinnussa luonnon kanssa. Sosiaalisessa ja kulttuurisessa kestävyydessä keskeisenä periaatteena on taata hyvinvoinnin edellytysten siirtyminen sukupolvelta toiselle. (ym.fi.)

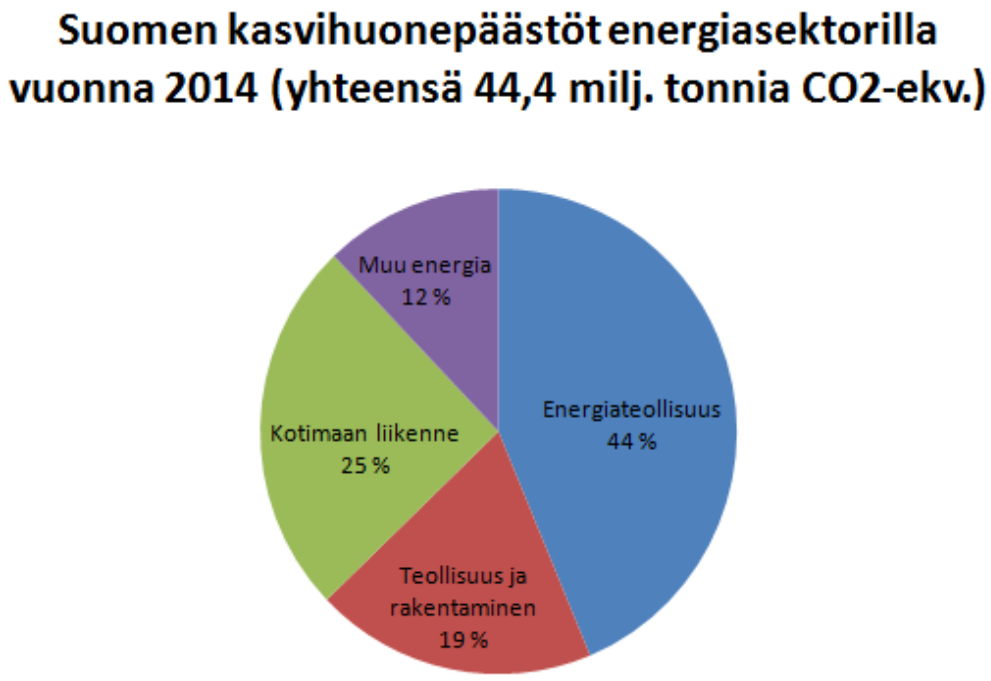
Myös rakentamisessa tulisi tähdätä kestävän kehityksen periaatteisiin, jolloin pyritään tuottamaan pitkäikäinen rakennus, jossa on oikeat materiaaleja ja energiaa säästävät ratkaisut ja työmenetelmät. Kestävä rakentaminen tukee luonnonvarojen järkevää käyttöä ja niiden riittävyyttä, minkä lisäksi tavoitellaan taloudellisia hyötyjä energia- ja materiaalisäästöjen kautta. Ekologinen kestävyys rakentamisessa tarkoittaa materiaalien, energian ja veden säästämistä, mihin pyritään ympäristöystävällisillä hankinnoilla, sekä materiaalien ja jätteiden lajittelulla, uudelleenkäytöllä ja kierrättämisellä. Taloudelliseen kestävyyteen rakentamisessa päästään esim. huolellisella ja tasokkaalla työn teolla, sekä käyttämällä laadukkaita materiaaleja, jolloin rakennus kestää pidempään ja ylimääräisiltä korjauksilta vältytään. Sosiaalinen kestävyys rakennusalalla tarkoittaa mm. työhyvinvoinnista ja turvallisuudesta huolehtimista, sekä henkilöstön tasa-arvoista kohtelua. Kulttuurisessa kestävyydessä vaalitaan rakennetun ympäristön kulttuuriperintöä, jossa pyritään esim. perinnerakentamisen ja vanhojen rakennusten säilyttämiseen. (SYKLI 2014,7.)

2.2 Rakentamisen ympäristövaikutukset

Ihmisen toiminnalla voi olla joko myönteisiä tai haitallisia vaikutuksia ympäristöön, kuten luonnon monimuotoisuuteen tai ihmisten terveyteen. Rakentamisen ja asumisen keskeisiä ympäristövaikutuksia ovat luonnonvarojen, kuten energian, materiaalien ja veden kulutus, sekä jätteiden ja päästöjen syntyminen. Rakennusten suurimmat ympäristövaikutukset muodostuvat niiden käyttövaiheen aikana, mutta ratkaisut tehdään jo suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. (ymparistoosaava.fi.)

Tekniikan tohtorin, elinkaari-insinööri Jouni Punkin (2003,510) mukaan rakentamisen ja asumisen ympäristökuormitukset voidaan jakaa neljään osakokonaisuuteen: maan käyttö ja luonnon monimuotoisuuteen kohdistuva muutospaine, luonnon materiaaliresurssien käyttö, energiaresurssien käyttö, sekä haitalliset päästöt maahan, veteen ja ilmaan. Ympäristövaikutusten arvioimisessa ja laskelmissa tarkastellaan yleensä uusiutuvan ja uusiutumattoman energian, sekä raaka-aineiden kulutusta. Sen lisäksi otetaan huomioon päästöt: ilmaston lämpeneminen (CO2-ekv.), tuotteeseen varastoitunut hiilidioksidi, happamoituminen (SO2-ekv.), sekä oksidanttien muodostus (eteeni-ekv.).

Tilastokeskuksen Kasvihuonekaasut 2014 -selvityksen (2015,1) mukaan Suomen kasvihuonepäästöt vuonna 2014 vastasivat 59,1 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia, joista 75 % syntyy energiasektorilla (kuvio 1). Energian valmistuksesta iso osa kuluu rakennusten käytössä, mikä on globaalisti suurin yksittäinen energiaa kuluttava sektori. Myös rakennusmateriaalien valmistus kuormittaa ilmastoa, esimerkiksi sementin valmistuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat 5 - 8 % kaikista kasvihuonepäästöistä. Lisäksi rakentaminen ja rakennusten purkaminen tuottaa noin 40 - 50 % jätteistä. (Ulkoasiainministeriön työryhmä 2010, 3.)



Kuvio 1. Kasvihuonepäästöjen jakauma energiasektorilla (SVT 2014)

Rakentamisen ja rakennuksen käytön ympäristövaikutukset syntyvät monista eri osatekijöistä, kuten materiaalien valmistuksesta, itse rakennusprosessista, rakennuksen lämmityksestä ja veden käytöstä, liikenteestä, sekä lopulta rakennuksen purusta ja jätteestä. Ennen vuotta 2010 valmistuneen rakennuskannan koko elinkaaren aikainen energiankulutus jakautuu suunnilleen näin: rakennus- ja tuotantovaihe 10 - 20 % ja käyttövaihe 80-90 %. Talojen energiatehokkuuden kasvaessa rakentamiseen kuluneen energian suhteellinen osuus kuitenkin kasvaa. (Safa.fi.) Näin ollen tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota myös rakennusmateriaalien valintaan ja varmistaa valinnan ekologinen kestävyys monesta eri näkökulmasta. Kaikki rakentamishankkeessa tehdyt ratkaisut muodostavat yhdessä laajan kokonaisuuden, jolla on suuret ympäristövaikutukset, joten pieniäkään päätöksiä ei voi pitää vähäpätöisinä.

2.3 Ekologinen rakennus ja rakentaminen

Ekologisesti kestävä rakentaminen säästää luonnonvaroja ja ehkäisee ilmastonmuutosta. Rakennuksen ympäristöystävällisyys koostuu monesta eri osatekijästä ja ekologisesti kestävään lopputulokseen voidaan pyrkiä esim. energiaa säästämällä tai järkevillä materiaalivalinnoilla. Perusperiaate on, että ympäristöystävällinen rakennus aiheuttaa mahdollisimman vähän ympäristökuormia sen rakentamis- ja käyttövaiheessa, mutta myös rakennuksen pitkäikäisyys lisää sen ekologista arvoa.

Ekologisesti kestävän talon ensimmäinen lähtökohta on mahdollisimman pieni energiantarve. Nykyään uudisrakennuksille lasketaan kokonaisenergian käyttöä määrittelevä E-luku eli energialuku. Alhaisen E-luvun rakennukset ovat käyttökustannuksiltaan muita edullisempia, mutta ne säästävät myös luontoa. Rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen vaikuttaa lämpimän käyttöveden kulutus, vaipan lämmöneristävyys, ilmanvaihto, rakennuksen tiiviys, sekä sen massiivisuus. (rakentajanekolaskuri.fi.)

Yhtenä alueena ympäristöystävällisessä rakennuksessa on sen muunneltavuus ja monikäyttöisyys, minkä ansiosta rakennus soveltuu hyvin nykyisiin ja tuleviin käyttötarkoituksiin, jolloin esimerkiksi tyhjilleen jääneet tilat on mahdollista varustaa uuteen käyttöön. Myös pienemmän kokoinen ja yksinkertaisen muotoinen talo kuluttaa vähemmän energiaa, koska suurissa taloissa on enemmän lämmityspinta-alaa, ja monimuotoisuus lisää ulkovaipan pinta-alaa. Asunnon viihtyvyys, terveellisyys ja turvallisuus kytkeytyvät ekologisuuteen vaikuttaviin tekijöihin, koska jos niissä ilmenee puutteita, voidaan tarvita hyvinkin vaativia korjaustoimenpiteitä. Esimerkiksi homeongelmat aiheuttavat vakavia sisäilmaongelmia, jotka on korjattava ja vaurioituneet materiaalit korvattava uusilla. Laajat korjaustoimenpiteet tuottavat uusia päästöjä ja kuluttavat myös energiaa. Toimivat ja laadukkaat materiaalit ja ilmanvaihto edesauttavat saavuttamaan viihtyvän ja terveellisen asuinympäristön, joka myös kestää pitkään. (rakentajanekolaskuri.fi.)

Ympäristöystävällisen rakennuksen rakennusosien tulee olla pääasiassa kierrätettäviä. Kierrätys voidaan luokitella uudelleenkäyttöön, jolloin esim. rakennusosa käytetään uudelleen samassa käyttötarkoituksessa, tai vaihtoehtoisesti rakennusosa tai sen sisältämä materiaali voidaan uusiokäyttää jossakin muussa kohteessa. Talo kannattaa suunnitella niin, että eri osat ja materiaalit on otettavissa helposti talteen ja ne voidaan käyttää uudelleen tai palauttaa takaisin luonnon kiertokulkuun. (rakentajanekolaskuri.fi.)

3 ELINKAARIARVIOINTI

Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment) on laskentamenetelmä, jolla ihmisen toiminnasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia voidaan arvioida. Arviointi käsittää tuotteen tai toiminnan koko elinkaaren, sisältäen raaka-aineen hankinnan ja jalostamisen, tuotteen valmistuksen, kuljetukset, käytön, uudelleenkäytön, ylläpidon, kierrätyksen ja hylkäämisen käytöstä. Elinkaariarvioinnin avulla tuotetta voidaan kehittää energiaa ja raaka-aineita säästävään suuntaan, jolloin tuotteen energiankulutus pienenee tai se on paremmin uudelleenkäytettävissä ja kierrätettävissä. Tieto tuotteen elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista soveltuu tuotteiden ympäristöominaisuuksien vertailemiseen ja niiden kehittämiseen. (Junnila ja Saari 1997, 17.)

Kustannuksia vertailessa ei voida tarkastella vain investointeja, vaan on otettava huomioon koko elinkaaren aikana kertyvät kustannukset. Elinkaarikustannuksilla (Life Cycle Costs, LCC) tarkoitetaan kaikkia niitä yhteenlaskettuja kustannuksia, joita kohteelle syntyy tai voidaan olettaa syntyvän sille määritetyn elinkaaren aikana. Elinkaarikustannuslaskennan tavoitteena on kuvastaa sitä, mitä kiinteistön omistaja todellisuudessa joutuu maksamaan rakennuksen elinkaaren aikana. Se mahdollistaa kustannusten vertailun tietyllä ajanjaksolla siten, että laskennassa huomioidaan investoinnin lähtökustannukset, tulevat toiminnalliset kustannukset, kuten huolto ja ylläpito, sekä materiaalin uusimiseen liittyvät kustannukset. (ramentor.com.)

3.1 Rakennuksen ja rakennusmateriaalien elinkaari

Ympäristö- ja kustannusvaikutuksia on tarkasteltava rakennuksen koko elinkaaren ajalta, jotta saadaan kattava käsitys rakennuksen, kiinteistön tai materiaalien ympäristöystävällisyydestä. Green Building Council Finland (GBC-Finland) on listannut rakennuksen elinkaaren eri vaiheet, minkä avulla pyritän selkeyttämään myös päästöjen jakaumaa. GBC-Finlandin laatiman luettelon mukaan rakennuksen elinkaaren vaiheet jaetaan seuraaville jaksoille (Rakennuksen elinkaarimittarit 2013, 32.):

- *Tuotantovaihe*, joka huomioi rakennustuotteiden koko valmistusketjun päästöt.
- *Kuljetukset työmaalle*, joka käsittää rakennustuotteiden ja koneiden kuljetukset, sekä niistä aiheutuvan hävikin.
- *Työmaatoiminnot*, jotka sisältävät maansiirron, varastoinnin, energiankäytön, jätehuollon ja väliaikaiset rakenteet.
- *Käyttövaihe*, jossa otetaan huomioon suorat kasvihuonepäästöt ilmakehään.
- *Kunnossapito*, mikä käsittää kiinteistön huollon, ylläpidon, siivouksen, kuljetukset ja jätehuollon.
- *Korjausvaihe*, mikä sisältää rikkoutuneiden rakennusosien korjaamiseen tarvittavat materiaalit ja niiden käsittely, sekä rikkoutuneiden osien jätteen käsittelyn.
- *Osien vaihto,* kuten ilmanvaihtokoneen tai ikkunoiden suunniteltu vaihtaminen
- *Laajamittaiset korjaukset*, mikä tarkoittaa merkittävää korjaus- tai muutostyötä.
- *Energian käyttö,* mikä sisältää kaiken rakennuksen järjestelmien kuluttaman rakennuksen ulkopuolelta tuodun energian, jota käytetään lämmitykseen, lämpimän käyttöveden tuottamiseen, ilmanvaihtoon, jäähdytykseen, valaistukseen tai rakennusautomaatioon. Sisältää myös muun tontilla kulutetun energian kuten pihavalaistukset.
- *Veden käyttö*, mikä sisältää puhtaan veden tuotannon ja tuotetun jäteveden käsittelyn päästöt käytön ajalta.
- *Purkaminen,* johon kuuluu rakennuksen purku, koneiden käyttämä energia ja koneiden kuljetukset.
- *Purkuvaiheen kuljetukset,* johon sisältyvät kaikki purkujätteestä ja työkaluista aiheutuvat kuljetukset.
- *Purkujätteen käsittely,* joka käsittää kaikki jätteen käsittelyn vaiheet.
- *Purkujätteen loppusijoitus,* johon kuuluu kaikki sellaisen jätteen käsittelystä syntyvät päästöt, jonka käsittelytapa on loppusijoitus tai energian tuotanto, ja jonka elinkaari päättyy lopullisesti.
- *Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset*

3.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet

Elinkaariarviointi (LCA) sisältää neljä eri vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi (life cycle inventory analysis, LCI), vaikutusarviointi (life cycle impact assesment, LCIA) ja tulosten tulkinta. Theseuksessa julkaistussa opinnäytetyössä (Jaakkola 2008) kuvataan näiden vaiheiden tarkoitus ja pääperiaatteet ja ne perustuvat Suomen Standardisoimisliitto (SFS) standardiin SFS-EN 14040 2006.

Elinkaariarviointi alkaa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyllä, minkä tarkoituksena on muodostaa kokonaiskuva tehtävästä tutkimuksesta ja sen käyttötarkoituksista, sekä määritellä tuotejärjestelmään liittyvät rajaukset ja toiminnallinen yksikkö. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään tutkimuksen tavoite ja tulosten myöhemmät käyttötarkoitukset, sekä kuvaillaan kokonaisuudessaan tutkittava tuote ja osoitetaan myös mihin tuotekokonaisuuteen se kuuluu. (Jaakkola 2008, 6.)

Inventaarioanalyysi on vaihe, jossa annetaan tuotteen elinkaaren aikaiset perusvirrat, eli syötteet, sekä tulokset koostetaan ja kuvataan määrällisinä. Inventaarionalyysin aineisto muodostuu kuormitustekijöistä ja siinä selvitetään tarkasteltavan tuotejärjestelmän perusvirrat, luonnonvarojen kuluminen ja niiden määrä, tuotokset, luontoon joutuvat päästöt ja niiden määrä toimintayksikköä kohden. Tiedon lähteenä voidaan käyttää saatavilla olevia elinkaaritietokantoja. (Jaakkola 2008, 8 – 9.)

Vaikutusarvioinnissa on tarkoituksena ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana. Yleensä tässä prosessissa yhdistetään inventaariotiedot tiettyihin ympäristövaikutusluokkiin ja vaikutusluokkaindikaattoreihin, jolloin ympäristövaikutuksien ymmärrettävyys paranee ja päätöksen teko helpottuu. Näin saadaan kattavampi kokonaiskuva, eikä keskitytä vain yksittäisen vaikutusten arviointiin. (Jaakkola 2008, 6 – 9.)

Tulosten tulkinta on elinkaariarvioinnin vaihe, jossa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia tarkastellaan yhdessä. Tarkoituksena on yhteismitallistaa kaikki vaikutusryhmät niin, että saadaan yksi ainoa ympäristösuorituskykyä mittaava tunnusluku systeemille. Perimmäisenä tarkoituksena on mahdollistaa tasapuolinen vertailu erilaisten prosessien, palveluiden ja tuotteiden kesken. (Saari ja Junnila 1997, 23.)

3.3 Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet

Rakenustarvikkeiden, rakennusosien ja rakennusten ympäristöselosteissa eritellään tuotteiden ympäristövaikutuksiin liittyviä ominaisuuksia ja ne tarjoavat elinkaariarviointiin perustuvaa ympäristötietoa. Ympäristöselosteen avulla selvennetään sekä tuotteen laadun, että ekologisuuden kannalta oleellisia asioita. Suomalainen RT-ympäristöjärjestelmä on rakennustuotteille kehitetty ympäristöseloste, ja se perustuu ISO 14020- ja ISO 14040 -standardien mukaiseen menetelmäohjeeseen ja elinkaariarviointiin. Ympäristöselosteet tehdään standardien mukaisilla menetelmäohjeilla ja elinkaariarvioinneilla. (Tuoteverkosto.fi.)

Ympäristöselosteissa tarkasteltavia ominaisuuksia ovat energia ja raaka-aineet: uusiutumaton energia, uusiutuva energiankulutus, tuotteisiin varastoitunut energia, uusiutuva ja uusiutumaton raaka-aine. Päästöistä tarkastelun kohteena ovat mm. ilmaston lämeneminen (CO2-ekv.), happamoituminen (SO2-ekv.) ja oksidanttien muodostuminen (eteeni-ekv.). Selosteet antavat myös kuvan siitä, miten vaikutukset ajottuvat rakennusosan tai koko rakennuksen elinkaarelle, jonka vaiheet ovat rakentaminen, käytön aikainen rakennusosien kunnossapito, sekä kiinteistönhuolto. (Saari 2001, 4.)

4 RAKENNUSTEN YMPÄRISTÖLUOKITUKSET

Erilaiset rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmät laadittu edistämään ympäristövastuullista ja resurssienkäytöltään tehokasta rakentamista ja ne ovat kansainvälisesti yleistyneet viime vuosien aikana. Rakennusten ympäristöluokitusmenetelmät määrittävät rakennuksen ympäristötehokkuuden ja niiden avulla sijoittajat, viranomaiset ja käyttäjät voivat vertailla kiinteistöjen energia- ja ekotehokkuutta yhtenäisin menetelmin. Rakennuksen toimintaympäristöön perustuva suorituskyky voidaan arvioida eri katergorioihin jaettujen osa-alueiden mukaan, riippuen luokitustavasta. Arvioitavat kategoriat sisältävät indikaattoreita, joille on asetettu raja-arvoja perustuen joko kansallisiin tai kansainvälisiin säädöksiin. Kohteen kokonaisarvosana muodostuu erilaisten painotuskerrointen mukaan. (figbc.fi.)

Ympäristöluokitukset eli sertifikaatit edesauttavat alan toimijoita kilpailemaan ympäristötehokkuudella, huomioimaan ympäristöjohtamista, parantamaan rakennusten ekologista suunnittelua, muokkaamaan kiinteistömarkkinointia ympäristötehokkaammaksi, sekä valistamaan kuluttajia ympäristötehokkaan rakentamisen eduista ja hyödyistä (Melander 2010, 10). Rakennusten ympäistöluokitusjärjestelmät ottavat energiatehokkuuden lisäksi kantaa myös mm. rakennusmateriaalien valintaan, sisäilman laatuun ja sen terveellisyyteen, rakennuspaikkaan ja sen ympäristöön, veden käyttötehokkuuteen sekä rakennuksen systemaattiseen ja tehokkaaseen toimivuuteen. Näiden arviointikriteerien avulla saadaan pisteitä ja arvosanoja sen mukaan miten paljon kriteerejä hankkeessa täyttyy. Lopuksi saavutetut pisteet lasketaan yhteen ja summan perusteella määräytyy rakennuksen ympäristöluokitus. Luokitusjärjestelmät auttavat huomioimaan tärkeimmät pääkohdat sekä suunnittelu- ja rakentamisprosessissa että kiinteistön käyttövaiheessa. (Melander 2010,2-7.)

4.1 Kansainväliset ympäristöluokitusjärjestelmät

4.1.1 Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)

LEED-luokitusjärjestelmässä rakennus saa luokituksen Certified, Silver, Gold tai Platinum sen ansaittujen pisteiden perusteella. Pisteitä ansaitaan täyttämällä ympäristöluokitusjärjestelmän asettamia kriteerejä, ja kaikissa pääkohdissa on täytettävä yksi tai useampi ehto, jotta rakennus voidaan rekisteröidä sertifioitavaksi. LEED käsittelee ympäristötehokkaan rakentamisen viisi eri pääkohtaa: kestävä maankäyttö, veden käyttötehokkuus, energian käyttö, materiaalien valinnat, sekä jätteiden määrä. Myös innovatiivisesta ja ympäristömyöteisestä suunnittelusta ja toimimisesta voi saada lisäpisteitä. Esimerkiksi rakennuksen sijainti vaikuttaa siihen, mikälaiset liikenneyhteydet alueelle on, eli voidaanko hyödyntää joukkoliikennettä, jolloin päästöjä syntyy vähemmän. (Melander 2010,32.)

4.1.2 BRE Environmental Assessment Method (BREEAM)

BREEAM-luokitus on pakollinen monissa Iso-britannian uudisrakennuksissa. Monet yhdistykset ja viranomaiset ovat päättäneet, että heidän rahoittamien ja rakennuttamien uudisrakennuksien tulee saavuttaa jokin määrätty BREEAM-luokitustaso. BREEAM ottaa kantaa kymmeneen ympäristövaikutustekijään: kiinteistöjen johtaminen, terveys ja hyvinvointi, energian käyttö, kuljetukset ja liikenne, veden käyttötehokkuus, materiaalit, maankäytön tehokkuus, ekologisuus, saastuttaminen, sekä innovatiivisuus. Näiden mukaan se antaa rakennukselle arvosanan 1-5 tähden väliltä, joista 5 tähteä on paras. (Melander 2010, 36-37.)

4.1.3 Deutsche Gesellschaft fur Nachhaltiges Bauen (DGNB)

DGNB (Deutsche Gesellschaft fur Nachhaltiges Bauen) on saksalainen yhdistys, jonka sertifiointijärjestelmän tavoitteena on kehittää kestävää rakentamista. Sillä on noin 40 eri laatuvaatimusta, jotka ottavat huomioon ympäristön, talouden, sosiokulttuuriset ja toiminnalliset näkökohdat, sekä tekniikkaprosessit ja työmaan. DGNB antaa rakennukselle arvosanaksi Platinum, Gold tai Silver, sen mukaan, miten pisteitä kertyy eri laatuvaatimuksista. DGNB-navigator on työkalu, joka arvioi rakennustuotteiden ympäristövaikutuksia ja elinkaarikustannuksia ja se auttaa suunnittelijoita, sijoittajia ja urakoitsijoita järkevissä materiaalivalinnoissa. (Dgnb.de.)

5 RAKENNUSTEN ELINKAARIMITTARIT

5.1 Green Building Council Finland

GBC Suomi ry (Green Building Council Finland / GBC Finland) on Suomeen perustettu kestävän kehityksen yhdistys, jonka keskeisimpiä tehtäviä ovat rakennettuun ympäristöön liittyvien kestävän kehityksen käytäntöjen ja kiinteistöjen ympäristöluokistusten edistäminen, sekä tiedon ja osaamisen välittäminen myös kansainvälisesti. GBC Finland on listannut kahdeksan eri elinkaarimittaria, joiden avulla voidaan arvioida ympäristövaikutuksia ja mitata elinkaaritehokkuutta. Mittareiden tunnusluvut voidaan esittää hanke- tai käyttövaiheen Kiinteistöpassissa, joka toimii visuaalisena verkkotyökaluna rakennuksen tietojen ja ympäristötehokkuuden ilmaisemisessa, sekä päätöstenteon tukena (figbc.fi). GBC Finlandin elinkaarimittarit ovat tällä hetkellä Suomen kehitetyin ja laajin työkalu ympäristövaikutuksien esittämiseen, ja niiden tavoitteena on noudattaa kansainvälisiä, hyväksyttyjä alan standardeja, sekä soveltaa niitä Suomen olosuhteisiin.

5.2 Hanke- ja käyttövaiheen mittarit

GBC-Finlandin luomat elinkaarimittarit huomioivat rakennusten ympäristö- ja energiatehokkuuden, elinkaaritalouden, sekä käyttäjien hyvinvoinnin. Elinkaarimittareiden avulla pyritään pienentämään kiinteistöjen ja rakennuksien hiilijalanjälkeä, sekä muita ympäristökuormia. Hankevaiheen mittareihin kuuluu E-luku, elinkaaren hiilijalanjälki, elinkaarikustannusten laskenta ja sisäilmaluokka. Käyttövaiheen mittareihin sisältyy energiankulutus, käytön hiilijalanjälki, tyhjäkäyttö- eli pohjateho, sekä sisäympäristöön tyytyväisten käyttäjien osuus. (Rakennusten elinkaarimittarit 2013, 3 - 8.) Kuvassa 1 on esitelty hanke- ja käyttövaiheen mittareiden tarve ja tavoitteet, sekä mitä ja miten niillä kohdetta mitataan.

VAIHE	MITTARI	MITTARIN TARVE JA TAVOITTEET	MITÄ JA MITEN MITATAAN
HANKE	E-luku	Laskennallinen energiamuotojen kertoimilla painotettu ostoenergian tarve.	Primäärienergiaa. Rakmk D3 2012.
	Elinkaaren hiilijalanjälki	Mahdollistaa vähähiilisten ratkaisujen suunnittelun, arvioinnin ja vertailun, jotta elinkaaren hiilipäästöjä voidaan hallita.	Kasvihuonekaasupäästöjä. Elinkaari rakennustuotteista käytön kautta purkamiseen, EN 15978-standardi.
	Elinkaari-kustannus	Mahdollistaa elinkaarikustannusten optimoinnin suunnittelussa, jotta pääoma ja käyttökulut ovat tasapainossa.	Rakentamis- ja käyttökustannuksia nettonykyarvona. Sis. energian hinnan kehityksen. EN 15643-4-standardi.
	Sisäilma-luokka	Asettaa tavoitteita ominaisuuksille, joilla varmistetaan käyttäjien hyvinvointi rakennuksessa.	Mm. ilmanlaatu, lämpötila, valaistus. Sisäilmastoluokitus 2008 mukaisesti.
KÄYTTÖ	Energian-kulutus	Mittaa kiinteistön ja sen käytön todellista energiankulutusta, kaikki energiamuodot.	Kiinteistössä käytettyä energiaa. Tulos voidaan sääkorjata. Rakmk D5 2012.
	Käytön hiilijalanjälki	Mittaa kiinteistön tai salkun päästötasoa vuositasolla ja toimenpiteiden vaikutusta.	Kiinteistöjen hiilipäästöjä. Voidaan sääkorjata. GHG Protocolin mukainen.
	Pohjateho	Auttaa tunnistamaan ja poistamaan tarpeetonta kulutusta kiinteistössä.	Mittaa järjestelmien sähkön kulutusta alimman käytön tai tyhjäkäytön aikana.
	Sisä-ympäristöön tyytyväiset	Auttaa tunnistamaan orastavia ongelmia käyttäjien tai rakennuksen terveydelle.	Mittaa sisäympäristön eri osa-alueisiin tyytyväisten käyttäjien osuutta.

Kuva 1. GBC-Finlandin elinkaarimittareiden esittely (figbc.fi)

5.2.1 Standardit

Elinkaarimittareiden taustalla on eurooppalainen CEN/TC 350 –Suistainability of Construction Works –standardiperhe, jonka tavoitteena on edistää kestävää rakentamista ja mahdollistaa kansainvälinen rakennustuotteiden ja rakennusten päästöjen mittaaminen yhteismitallisella menetelmällä. Standardeista hiilijalanjäljen kannalta tärkeimmät ovat (figbc.fi.):

- EN 15978 Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, ja
- EN 15804 Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.

Elinkaarikustannusten laskennan kannalta tärkeimmät standardit ja regulaatio ovat:

- EN 15643-4 Framework for the assessment of economic performance
- WI 017 (tulossa) Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods
- Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU

5.2.2 Kiinteistöpassi

Rakennusten elinkaarimittareiden tunnusluvut on tarkoitus esittää hanke- tai käyttövaiheen kiinteistöpassissa, joka on visuaalinen työkalu, jolla havainnoillistetaan kohteen ympäristötehokkuutta kuvan ja muiden perustietojen rinnalla (kuva 2). Sen tarkoituksena on toimia päätöksenteon tukena ja vertailun keinona eri kiinteistöjä tarkastellessa. Tähän tarkoitukseen GBC-Finland on luonut avoimen verkkotyökalun, jonne käyttäjä voi listata oman talonsa tietoja kiinteistöpassia käyttäen. Kiinteistöjen keskiarvotietoja voidaan hyödyntää kiinteistöjen kehittämisessä, kun tarkkaillaan kiinteistön ekologisuutta ja energiatehokkuutta. (figbc.fi.)

Kiinteistöpassi — HANKEVAIHE

NIMI	KESKUSTAKIRJASTO
Osoite	Keskustakirjastonkatu 1, 00100 Helsinki
Käyttötarkoitus	Kirjastorakennus
Rakennusvuosi	2015
Bruttoala	21 344 m²
Lämmitetty nettoala	18 083 m²
Pinta-ala käyttötarkoituksisttain	lukusalit 10 224 m², toimisto 1250 m², seminaaritilat 1856 m², muut tilat 2344 m²
Mitoitettu käyttäjämäärä	Kapasiteetti 2 500 henkilöä
Yksityiskohtaiset tiedot	www.figbc.fi

ELINKAARIMITTARI	TUNNUSLUKU
Elinkaaren hiilijalanjälki	9 840 tn CO_2e
Elinkaarikustannus	12 168 000 €
E-luku	135
Sisäilmaluokka	S2

GREEN BUILDING COUNCIL FINLAND

MALLIKAPPALE. LUVUT KUVITTEELLISIA

Kiinteistöpassi — KÄYTTÖVAIHE

NIMI	EDUSKUNTATALO
Osoite	Mannerheimintie 30, 00100 Helsinki
Käyttötarkoitus	kokous-,hallinto-, ja toimistorakennus
Rakennusvuosi	1931
Bruttoala	17 200 m²
Pysäköintiratkaisu	Pysäköintihalli
Yksityiskohtaiset tiedot	www.figbc.fi

KÄYTÖNAJAN MITTARI	TUNNUSLUKU
Seurantavuosi	2014
Energiankulutus	3 213 600 kWh
Käytön hiilijalanjälki	540 000 kg CO_2e
Pohjateho	85 kW
Käyttäjätyytyväisyys	72 %

GREEN BUILDING COUNCIL FINLAND

MALLIKAPPALE. LUVUT KUVITTEELLISIA

Kuva 2. GBC-Finlandin kiinteistöpassi (figbc.fi)

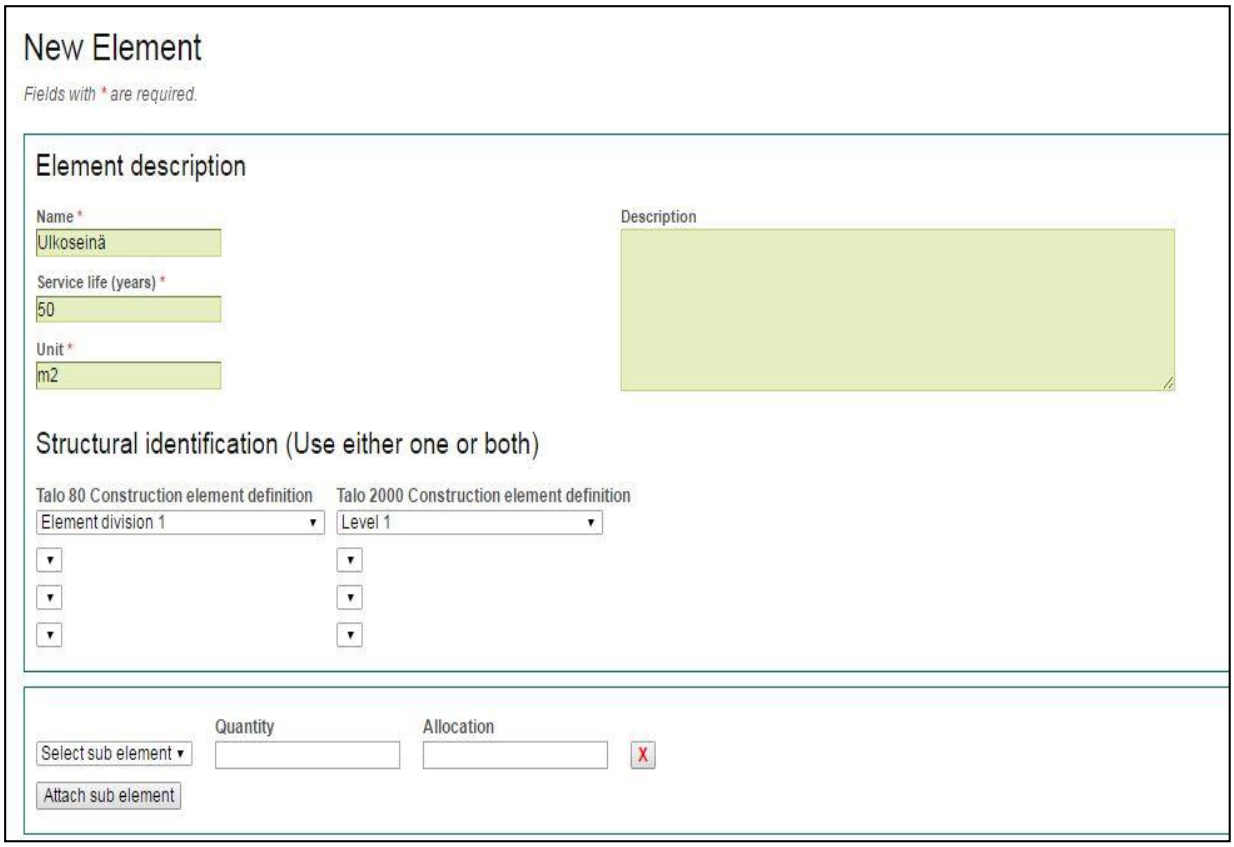
6 PENA - PLATFORM FOR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

6.1 Laskimen toimintaperiaate

PEnA (Platform for Environmental Assessment) on entisen Metsätutkimuslaitoksen (Metla), nykyisen Luonnonvarakeskuksen (Luke) kehittämä laskentakehikko ja sovellus, joka hyödyntää tietoja materiaalien ympäristövaikutuksista ja näin ollen tuottaa analylyyseja, joita käytetään apuna koko rakennuksen ympäristövaikutusten arviointiin. PEnA:n tarkoituksena on parantaa tiedon saatavuutta ja käytettävyyttä, sekä työkaluja arvioimaan rakennusmateriaalien, elementtien ja itse rakennusten ympäristövaikutuksia (metla.fi).

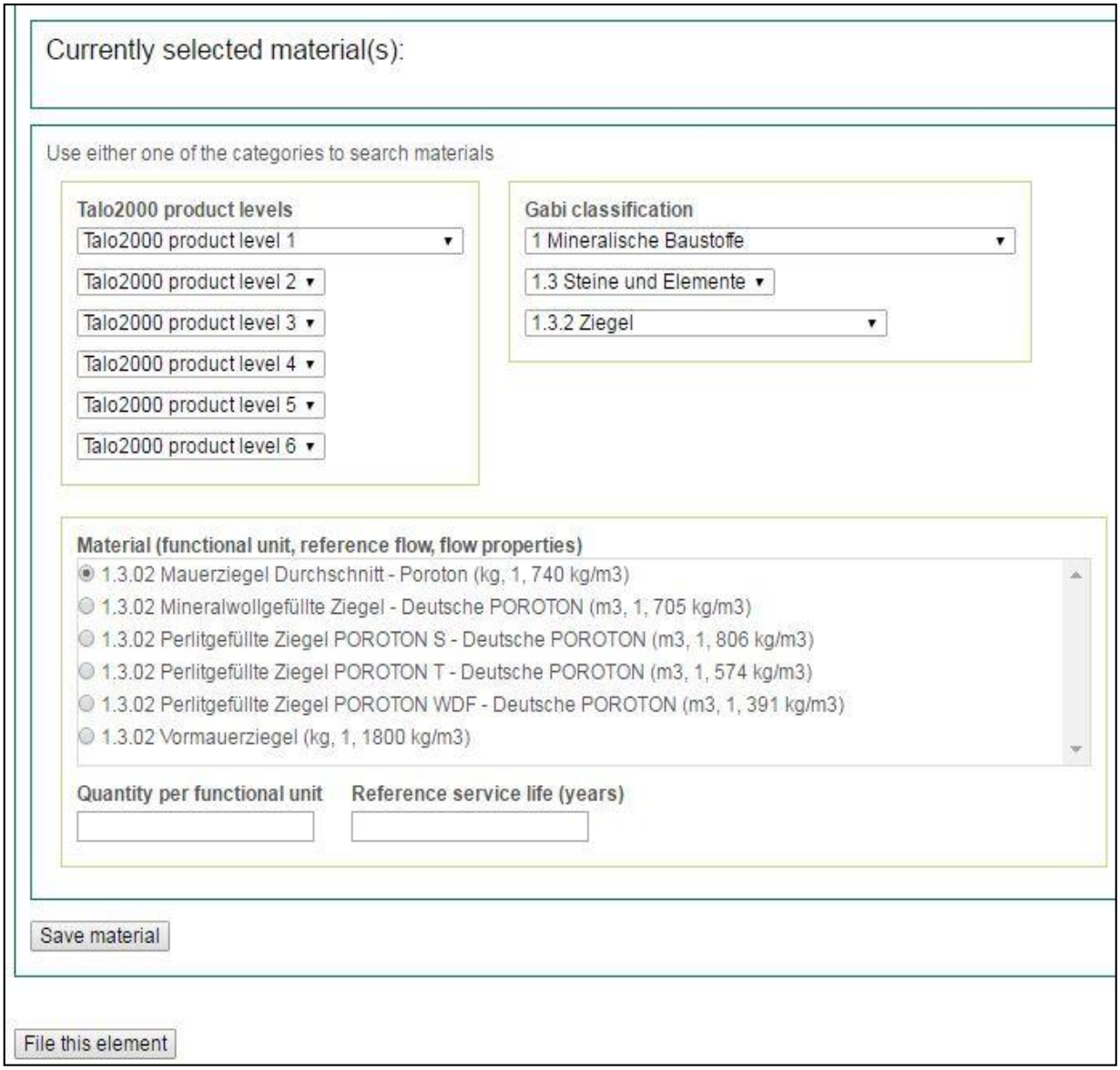
PEnA-laskimen tarkoituksena on rakennusosien ja materiaalien ympäristövaikutusten laskeminen rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Rakennuksen elinkaaren vaiheet on jaoteltu viidelle eri jaksolle: tuote- ja rakentamisprosessi, kunnossapito ja korjaus, kiinteistönhuolto, purkaminen, sekä ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta. Tällä hetkellä laskin näyttää materiaalien ympäristövaikutukset vain niiden tuotantovaiheen ajalta.

PEnA-sovelluksessa tehdään erilaisia rakennusosia, jotka tallennetaan sovelluksen rakennusosatietokantaan. PEnA:ssa ympäristövaikutukset saadaan saksalaisen Ökobau-materiaalitietokannan avulla, minkä vuoksi pudostusvalikosta valittavat materiaalit ovat saksan kielellä. Uuden rakennusosan luominen aloitetaan *Element Editor* –valikossa *Create new element* -painikkeella, jonka jälkeen rakennusosa nimetään, merkitään käyttöikä, yksikkö, sekä lisätään haluttaessa tarkempi kuvailu rakennusosasta (kuva 3). Rakennusosan voi määritellä halutessaan myös pudotusvalikosta Talo80 tai Talo2000 -nimikkeistöjen avulla. Rakennusosamäärittelyt tehdään eri alasvetovalikoilla, joista aina ylempi määrää seuraavan alapuolella olevan valikon sisällön. Tämän jälkeen valitaan rakennusosan mahdolliset alirakennusosat (sub element) alasvetovalikosta, jossa näkyvät kaikki käyttäjän siihen asti määrittelemät rakennusosat. Alirakennusosalle syötetään määrä sen yksikköä kohden, sekä allokaatio, eli kohdistaminen, jonka oletusarvo on 1.



Kuva 3. Uuden rakennusosan luominen

Uuden rakennusosan materiaalit lisätään *Pick material(s)* –painikkeella ja materiaalit poimitaan joko Talo2000-tuotemäärittelyn kautta tai Ökobaun *Gabi-classification* –kategoriavalikkojen avulla (kuva 4). Materiaalit on kategorioitu ensimmäiseen valikkoon seuraavasti: Mineraalirakennusaineet, eristävät materiaalit, puu, metalli, pinnoitteet, muovit, komponentit ikkunoihin ja seinäverhoiluihin, rakennustekniikka, sekä muut materiaalit. Valitun kategorian perusteella määräytyy alemman pudotusvalikon sisältö, josta käyttäjä valitsee halutun materiaalin. Tämän valinnan jälkeen avautuu vielä kolmas alakategoriavalikko, josta oikean materiaalin saa valittua tarkemmin. Valittuun materiaaliin syötetään tiedot materiaalimäärästä pyydetyssä yksikössä (kg tai m3), sekä käyttöikä. Kun rakennusosan kaikki materiaalit on lisätty, elementti arkistoidaan *File this element* –painikkeella, jonka jälkeen päästään tarkastelemaan rakennusosan ympäristövaikutuksia *Element Editor* –valikossa. Rakennusosaa on myös mahdollista muokata myöhemmin. Taulukon vasemmassa laidassa näkyvät rakennusosan nimi, eliniän kerroin pääosaan nähden, yksikkö, materiaalin määrä ja kohdistaminen. Taulukon oikeassa laidassa näkyvät ympäristövaikutusten tulokset.



Kuva 4. Materiaalien valinta Gabi –luokittelun avulla

6.2 Laskettavat ympäristövaikutukset

Eri kasvihuonekaasujen lämmittävä vaikutus lasketaan käytännön syistä yhdellä yksiköllä, hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilidioksidiekvivalentti (CO2-ekv.) on suure, joka kuvaa ihmisen tuottamien kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta ja se ilmaistaan massana. Yleisesti eri kaasuja verrataan ns. Global Warming Potential (GWP) –kertoimellla, joka kuvaa kaasun lämmitysvaikutuksen voimakkuutta suhteessa hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen. Mitä suurempi kerroin on, sitä voimakkaammin kaasu lämmittää ilmakehää. (Lindroos, Ekholm ja Savolainen 2012, 14.)

Hiilidioksidiekvivalentin lisäksi PEnA –sovellus laskee energiantarpeen rakentamiseen ja tilojen ylläpitoon ja se ottaa huomioon sekä uusiutuvan, että uusiutumattoman primääriienergian. Uusiutumattomat energianähteet saastuttavat ympäristöä enemmän kuin uusiutuvat ja niihin lasketaan tavallisesti fossiiliset polttoaineet, kuten kivihiili, kiviöljy ja maakaasu, sekä ydinvoima ja turve. Uusiutuvaa energiaa saadaan uusiutuvista lähteistä, kuten aurinko-, tuuli- ja vesivoima, sekä ilma- ja maalämpö. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös biologisesti syntyviä luononvaroja, kuten puuta.

Rakennusosan ympäristövaikutuksia tarkastellessa PEnA:ssa otetaan huomioon myös polttoaineiden uudelleenkäyttö, sekä veden käyttö. Jätteiden tuotossa tarkastellaan kaivostoiminnasta aiheutuvia jätteitä, kotitalous- ja teollisuus-, sekä ongelmajätteitä. Muut rakennusosista laskettavat ympäristövaikutukset ovat:

- ADP (kb sb equiv): Abiotic depletion potential= Elottomien ympäristötekijöiden ehtyminen
- EP(kg PO23 equiv): Eutrophication potential= Rehevöityminen
- ODP (kg CFC 11 equiv): Ozone Depletion potential= Otsonikato
- POPC (kg C2H4 equiv): Photochemical ozone creation potential= Fotokemiallinen otsonin muodostuminen (alailmakehän otsonin muodostuminen)
- AP (kg SO2 equiv): Acidification potential= Maaperän ja veden happamoituminen

7 SELVITYS PIENTALOKOHTEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA

7.1 Työn vaiheet

Opinnäytetyössä tehtiin ympäristövaikutusten arviointiselvitys kohderakennuksen eri rakenneosille PEnA-laskinsovellusta käyttäen. Ympäristökuormien laskennan kohteena oli pientalon kolme keskeistä rakennusosaa, jotka olivat ulkoseinä, ylä-ja alapohja. Rakennusosien rakenneratkaisut edustavat tyypillisiä aikansa pintalorakentamisessa käytettyjä suunnitteluratkaisuja. Laskennan avulla tutkittiin, kuinka kelvollinen PEnA-sovellus on materiaalien ympäristökuormien tarkastelussa ja kuinka laskentaa voitaisiin kehittää jatkossa.

7.1.1 Laskimen asennus ja käytön opettelu

PEnA-laskimen asennus oli monimutkainen prosessi, sillä se oli vielä hyvin varhaisessa kehitysvaiheessa ja sitä varten tarvittiin useita ohjelmaa tukevia sovelluksia, kuten SQL Server. PEnA on kuitenkin jatkoa varten suunniteltu web-sovellukseksi, jolloin käyttäjän ei tarvitse käydä kyseistä asennusprosessia itse läpi. PEnA-laskimen asennuksessa jouduttiin ottamaan yhteyttä IT-asiantuntijaan, jotta ohjelmat ja tietokanta saatiin asennettua oikealla tavalla.

Jotta rakennusosien ympäristövaikutukset saatiin laskettua oikealla tavalla, PEnA-laskimen käyttö oli opeteltava perusteellisesti. Apuna käytön opettelussa hyödynnettiin Tarmo Rädyn laatiimaa PEnA-sovelluksen englannin kielistä käyttöopasta. Laskentaa joutui suunnittelemaan etukäteen, sillä jotkin käyttötilanteet saattoivat aiheuttaa tietokannan korruptoitumista. Esimerkiksi samaa materiaalia ei voinut lisätä kahta kertaa yhteen rakennusosaan, vaan tällaiset rakennekerrokset luotiin erillisinä osina.

7.1.2 Rakenneosien luominen ja ympäristökuormien laskenta

Laskentakokeilut aloitettiin Alapohjan luomisella, sillä sen rakenne oli kaikista yksinkertaisin. Aluksi rakennusosalle syötettiin nimi, käyttöikä, sekä yksikkö, jonka jälkeen elementille valittiin materiaalit kategoriavalikoista. Materiaalit olivat saksan kielellä, mikä teki rakennusosan luomisesta haastavaa ja aikaa vievää. Rakennusmateriaalin nimi täytyi kääntää saksan kielestä suomeksi sanakirjan avulla ja apuna käytettiin myös Googlen kuvahakua, jotta varmistuttiin oikean materiaalin valitsemisesta. Liitteessä 2 on lueteltu rakennusosissa käytettyjen materiaalien nimet ja suomennokset.

Rakennuosasta otettiin tarkasteluun yhden neliömetrin alue, josta laskettiin materiaalimäärät rakennekerroksien paksuuksien perusteella (liite 1). PEnA-laskin kysyi materiaalimäärää esim. kiloina tai kuutiometreinä, joten määrälaskut oli tehtävä sen mukaan, mitä yksikköä kysyttiin. Materiaalien tiheystiedot saatiin joko suoraan PEnA:n materiaalitietokannasta tai tuotevalmistajien sivuilta. Osa materiaalien tiedoista saatiin Omatalo Oy:n talotoimituksen osaluettelosta, sekä rakennuspiirustuksista, mutta puutteelliset tiedot jouduttiin päättelemään itse. PEnA:n materiaalitietokannasta ei myöskään löytynyt kaikkia tarvittavia materiaaleja, kuten puhallusvillaa, joten materiaalivalinnoissa jouduttiin myös soveltamaan sen mukaan, mitä materiaaleja oli tarjolla.

Yläpohjassa ja ulkoseinässä oli käytetty samaa puumateriaalia eri rakennekerroksissa, esim. koolauksissa ja kantavassa rungossa. Tämän vuoksi kaikkia materiaaleja ei voitu valita samaan rakenneosaan, vaan ne jouduttiin luomaan erikseen. Tämä hankaloitti tulosten tarkastelua, eikä kaikkien materiaalien ympäristökuormien yhteisvaikutuksia saatu laskettua, vaan niitä jouduttiin tarkastelemaan erillisinä osina. Tämän vuoksi rakenneosien materiaalien kaikki ympäristövaikutukset koottiin Excel-taulukkoon, jonka avulla myös ympäristövaikutusten yhteenlasketut määrät saatiin laskettua helposti (liite 3). Lopuksi PEnA:sta saatuja ympäristövaikutuksia vertailtiin Sauli Schroderuksen opinnäytetyössä saatuihin rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksiin, jotta nähtiin poikkeavatko tulokset toisistaan ja ovatko ne näin ollen totuudenmukaisia.

7.2 Pientalon perustiedot

PEnA –laskimella tehdyt kokeilulaskut tehtiin Vehmasmäessä sijaitsevan pientalon ulkoseinästä, ala-, sekä yläpohjasta. Rakennus on yksityishenkilö Aki Leskisen rakentama ja Omatalo Oy:n suunnittelema yksikerroksinen ja puurakenteinen talo, joka sijaitsee loivasti laskeutuvan maaston yläpäässä, tasaisella alueella. Rakennus on yksinkertaisen muotoinen ja suurin osa oleskelutiloista on sijoitettu eteläänpäin. Tontin piha-aluille on jätetty runsaasti tilaa, eikä tontilla ei ole autotallia, mutta autopaikka on sijoitettu aivan tien viereen. Talossa on kolme makuuhuonetta, olohuone, keittiö, WC, sauna, kylpyhuone ja kodinhoitohuonetilat. Rakennuspiirustukset näkyvät liitteissä 4, 5 ja 6.

7.3 Rakenneosat

Rakennusosien ympäristövaikutukset on laskettu niin, että rakenneosasta on otettu yhden neliömetrin alue, josta ympäristövaikutukset lasketaan materiaalipaksuuksien perusteella. Näin ollen tulokset ovat vertailukelpoisempia muiden rakennusosien kanssa. Rakennuksen seinät ovat talotehtaalta tulevia puurakenteisia seinäelementtejä (kuva 5). Rakenneosat ovat seuraavat:

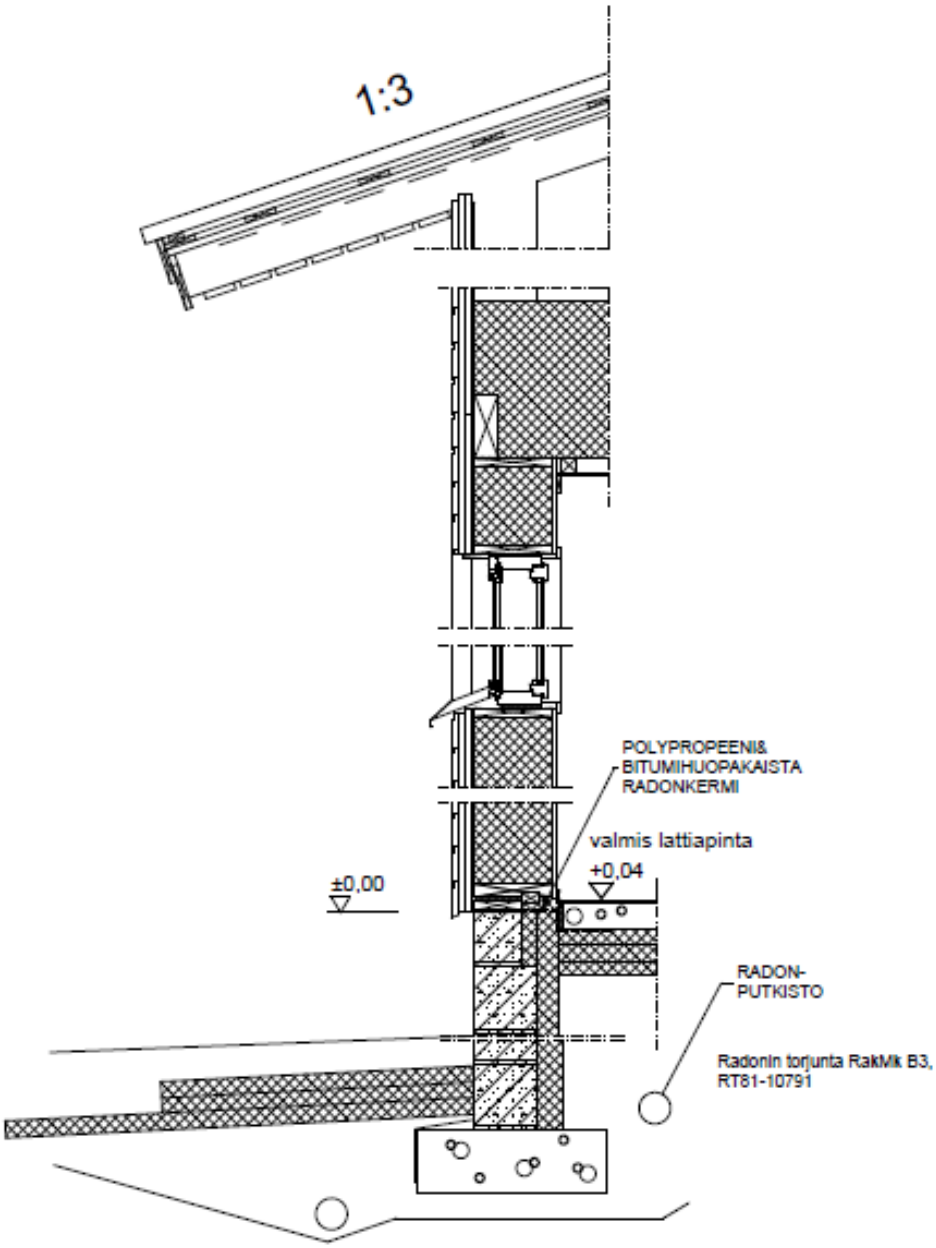
- ulkoverhouspaneeli 23 mm
- ilmaväli
- tuulensuojalevy 12 mm
- kantava runko 173 mm
- mineraalivilla 246 mm
- muovikalvo
- seinälevy 13mm.

Rakennuksen alapohja on maanvarainen paikallavalulaatta ja sen rakenneosat ovat:

- lattiapinnoite + tasoitekerros 10 mm
- teräsbetonilaatta 80 mm
- lämmöneriste EPS 200 150 mm
- kapillaarisen kosteuden eristävä soratus 300 mm.

Yläpohja on myös elementtirakenteinen ja sen rakenneosat ovat:

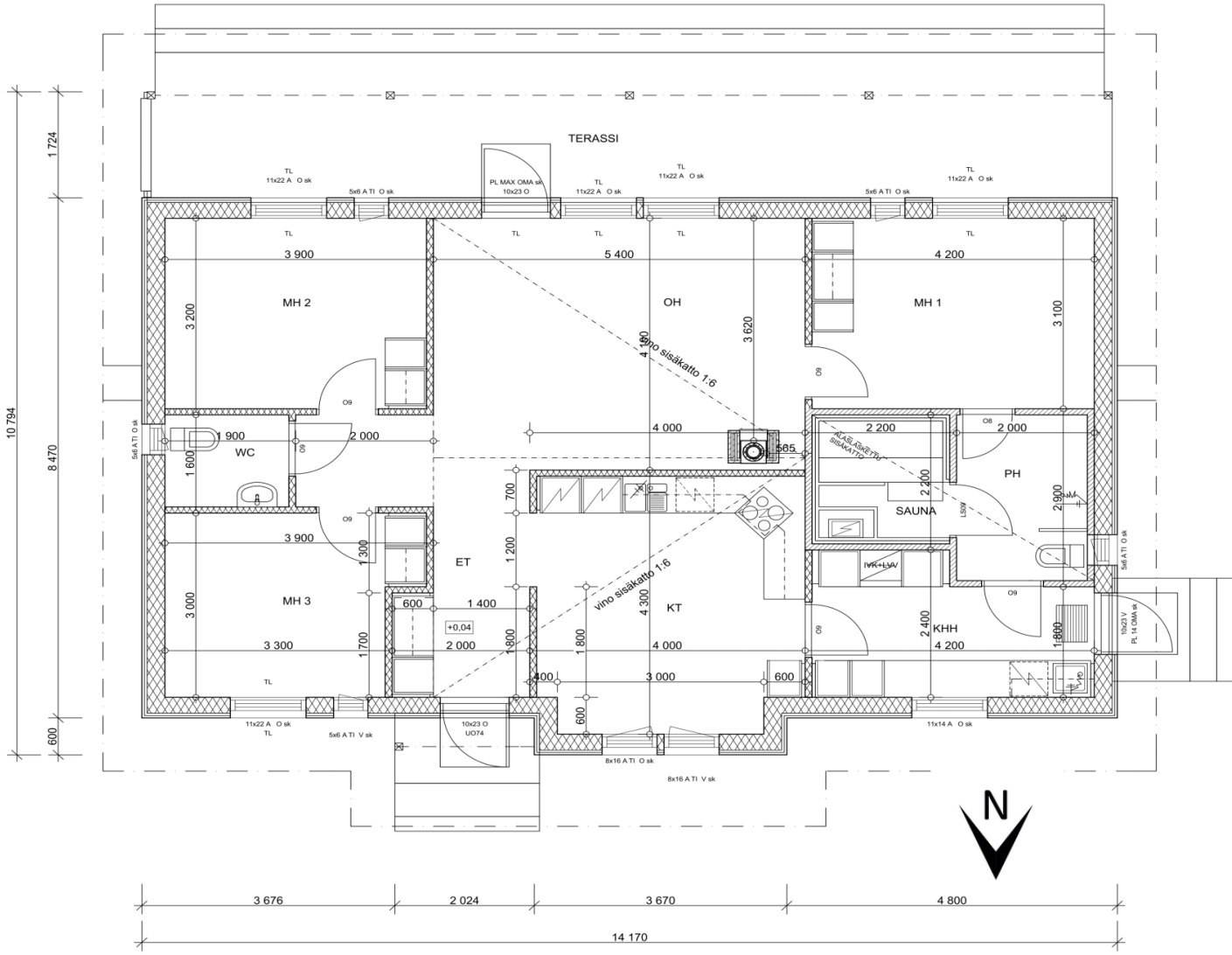
- vesikate (konesaumattu pelti)
- ruodelaudoitus
- tuuletusrimat
- aluskate
- kattoristikot 50x150
- mineraalivilla 500 mm (levyvilla 100 mm + puhallusvilla 400 mm)
- muovikalvo 0,2 mm
- harvarimoitus k600 50 x 22
- sisäkattolevy kipsilevy 12 mm.



Kuva 5. Ulkoseinäleikkaus (Omatalo Oy, 2015)

7.4 Rakennuksen ekologisuusnäkökohdat

Kompaktin muotoinen talo on energiatehokkain. Kohderakennuksessa on vain yksi ulkoneva osa, joka lisää hieman ulkovaipan pinta-alaa suhteessa pohjapinta-alaan, mutta pääasiassa talo on yksinkertaisen muotoinen. Kaksikerroksinen talo olisi kuitenkin vielä energiatehokkaampi, sillä lämpö nousee alhaalta ylöspäin. Rakennuksen etelänpuoleinen sivu on pitkä ja siihen on sijoitettu isoimmat ikkunat, jolloin hyödynnetään auringon lämpöä parhaiten. Myös suurin osa oleskelutiloista on sijoitettu etelään päin, jolloin aurinko lämmittää sisätilaa talvella. Tilat, joissa ei oleskella pitkiä aikoja, on sijoitettu järkevästi pohjois- ja itäreunoille, jonka lisäksi myös ikkunat ovat näissä tiloissa pienempiä, jolloin lämpöhukka minimoidaan. (Kuva 6.)



Kuva 6. Kohderakennuksen pohjapiirustus (Omatalo Oy)

Rakennuksen järkevä sijoittaminen tontille voi vaikuttaa rakennuksen lämmitys- ja viilennysenergian tarpeeseen. Kohderakennuksen tonttia ympäröi tiheä sekametsä, jonka ansiosta rakennus on hyvässä tuulensuojassa. Pohjoispuolella tontti puolestaan on vielä hieman avara, sillä pihasuunnitelmaa ei ole tehty. Tämän ansiosta kuitenkin hyödynnetään auringon lämpöä, sillä kauempana tontin reunoilla olevat puut eivät pääse varjostamaan taloa talvella, vaan auringonsäteet pääsevät paistamaan sisälle rakennukseen. Opinnäytetyöhön ei ole saatu käyttöön asemapiirustusta.

Suomessa puu on pientalon runkomateriaalina helppo ja järkevä ratkaisu ekologisesta näkökulmasta ja myös kohderakennuksen runko on valmistettu puumateriaalista. Puu on uusiutuva luonnonvara ja puuosien valmistus ja työstötavat kuluttavat vähän energiaa. Rakennuksessa on käytetty eristeenä mineraalivillaa ulkoseinässä ja yläpohjassa. Tässä tapauksessa esim. puukuitueristeiden valmistus kuluttaisi huomattavasti vähemmän uusiutumattomia raaka-aineita ja energiaa kuin kohteen eristysratkaisut. Alapohja on maanvastainen betonilaatta, jossa on käytetty eristeenä EPS:iä. Vaikka materiaalit eivät olisikaan kaikkein ekologisempia, talon koko alapohjarakenne on hyvän rakennustavan mukainen ratkaisu, joka kestää myös pitkän käyttöajan.

Rakennuksen ekologiseen kestävyyteen vaikuttavat monet eri näkökohdat, kuten vaipan lämmöneristyskyky ja tiiveys. Kuitenkin yksi oleellisimmista seikoista ekologisuudelle on mahdollisimman pieni energiantarve. Kohderakennuksen lämmitysjärjestelmiin kuuluu sähkölattialämmitys, takka, sekä ilmalämpöpumppu. Talossa on koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla ja käyttöveden lämmitysjärjestelmä toimii sähköllä. Määräysten mukaisesti rakennettu uudisrakennus sijoittuu uuden energiatodistuksen asteikolla C-luokkaan (liite 7). Kokonaisenergiankulutuksen laskennassa käytetään eri kertoimia eri energiamuodoille, joten rakennuksen lämmitystavalla on merkitystä. Kuitenkin myös kuluttajan omilla kuluttamistottumuksilla on merkitystä energian todelliseen kulutukseen.

8 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 PEnA –laskimesta saadut tulokset

Rakennusosan luomisen jälkeen PEnA-laskin antoi tulokseksi laskentakehikon, jossa oli eriteltynä eri materiaalien ympäristövaikutukset. PEnA-sovellus laski ympäristövaikutukset tuotteiden valmistusprosessin ajalta ja alimmalla rivillä näkyi myös materiaalien yhteisvaikutukset yhteenlaskettuna. Kuvassa 5 näkyy osa PEnA-laskimesta saadusta laskentakehikosta ja siinä on eritelty alapohjan materiaalien määrät, sekä niistä aiheutuvien kasvihuonekaasujen yhteenlaskettu ilmastoa lämmittävää vaikutus hiilidioksidiekvivalentteina, energian tarve, sekä polttoaineiden uudelleenkäyttö ja veden kulutus.

Sub element	Reference service cycles	Functional unit	Quantity	Allocation	CO2 equiv	Embodied primary energy (MJ)			
					GWP*	Nonrenewable	Renewable	Secondary fuels	Use of net fresh water
Zementestrich - IWM	1	kg	19		3.39771	29.6212	0.472539	4.53146	2.35919
Transportbeton C25/30	1	m3	0.08		19.2297	98.26	1.78912	34.6973	95.98
Bewehrungsstahl	1	kg	0.444		0.279118	4.51877	0.503021	0	517.278
EPS PS 20	1	m3	0.15		9.94077	288.291	2.46254	0.0304956	3055.53
Kies 2/32	1	kg	450		1.05165	15.0417	1.84171	0.0128617	1674.74
Impact summary for: Alapohja					33.8989	435.733	7.06892	39.2356	5345.89

Kuva 5. PEnA-laskimen laskentataulukko alapohjan materiaalien ympäristövaikutuksista.

Ympäristövaikutukset kaikista tutkittavista rakennusosista on eritelty suomen kielellä liitteessä 3. Tulosten perusteella voidaan vertailla eroavatko rakennusosat ja materiaalit ympäristökuormittajina merkittävästi toisistaan. Esimerkiksi puutuotteista aiheutuu vähiten kuormittavia vaikutuksia ympäristöön muihin materiaaleihin verrattuna ja uusiutuvan energian määrä on suurempi kun taas muissa materiaaleissa kuluu enemmän uusiutumatonta energiaa. Tuloksista voi todeta myös, että metallien valmistus tuottaa enemmän kaivostoiminnasta aiheutuvaa jätettä kuin useimmat muut materiaalit.

Kohderakennuksen suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuvat yläpohjan materiaalien valmistuksesta, jonka jälkeen suurimmat ympäristökuormat tulevat ulkoseinän materiaaleista. Tulosten perusteella rakennuksen alapohjan materiaalit tuottavat vähiten ympäristövaikutuksia. Jotta saataisiin kattavampi kuva rakennusosan ympäristöystävällisyydestä, sitä olisi järkevintä vertailla toisen tyyppisten rakennusosien kanssa, joilla on sama käyttötarkoitus, esimerkiksi puista ulkoseinäratkaisua verrattaisiin betoniseen ulkoseinään.

8.2 Tulosten vertailu muiden laskentatapojen kanssa

PEnA-laskimesta saatuja tuloksia rakennusosien ympäristövaikutuksista vertailtiin Sauli Schroderuksen vuonna 2014 tehtyyn opinnäytetyöhön: Savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaalien LCA-tarkastelu. Schroderuksen opinnäytetyössä on saatu elinkaariarvioinnin avulla savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaalien valmistamisen kokonaisenergiankulutus, sekä valmistamisesta syntyvät ympäristövaikutukset kolmelle eri ympäristö ja vaikutusluokalle, jotka ovat hiilidioksidiekvivalentti, alailmakehän otsonin muodostuminen, sekä maaperän ja veden happamoituminen. Vertailun avulla voitiin arvioida, ovatko PEnA-laskimesta saadut tulokset tarkoituksenmukaisia.

Vertailu oli hankalaa, sillä Schroderuksen opinnäytetyössä kaikki materiaalien ympäristövaikutukset oli laskettu kiloa kohti, mutta PEnA:ssa yksikkönä saattoi olla materiaalimäärän yksikkönä kuutiometri. Näin ollen vertailuun otettiin tästä opinnäytetyöstä vain sellaisia materiaaleja, joiden materiaalimäärät oli ilmoitettu kilogrammoina. Tarkasteluun otettiin myös sahatavara, jonka määrä täytyi ilmoittaa kuutiometreinä PEnA:ssa, joten sen määrä kiloa kohti täytyi muuntaa tiheyden perusteella. Taulukossa 1 näkyvät Schroderuksen opinnäytetyössä käytettävien materiaalien ympäristövaikutukset kiloa kohti ja taulukossa 2. näkyvät PEnA-laskimella saadut samat ympäristövaikutukset kiloa kohti.

Taulukko 1. Schroderuksen opinnäytetyöstä poimittujen rakennusmateriaalien ympäristö-vaikutukset kiloa kohti (Schroderus, 2014, 37)

Lähde	Materiaali	Energian kokonaiskäyttö [MJ/kg]	CO2-ekv [g/kg]	SO2-ekv [g/kg]	POCP [g/kg]
RT -ympäristöseloste, sahatavara	Sahatavara	4,3	70,25	1,65	0,69
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n ympäristöseloste, kipsilevy	Kipsilevy	5	280	1,4	0,06
RT-ympäristöseloste, Paroc kivivilla	Mineraalivilla	14,4	992,86	5,87	5,02
Ökobau.dat, Dampfbremse PE	Polyeteeni (PE)	40,97	2346,59	8,09	1,2
Ökobau.dat, Bewehrungsstahl	Betonirauta (teräs)	12,43	763,92	1,8	0,18

Taulukko 2. PEnA-laskimesta saatujen rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset kiloa kohti

Lähde	Materiaali	Energian kokonaiskäyttö [MJ/kg]	CO2-ekv [g/kg]	SO2-ekv [g/kg]	POCP [g/kg]
PEnA, Schnittholz Fichte (12% Feuchte/10,7% H2O)	Sahatavara	7955,2	0	3,8	233
PEnA, Gipskartonplatte	Kipsilevy	39,1	2314	3,8	0,47
PEnA, Steinwolle Dämmstoff, ISOVER	Mineraalivilla	29,23	1798	4,9	0,396
PEnA, Dampfbremse PE	Polyeteeni (PE)	72,7	2095,3	7,5	1,1
PEnA, Bewehrungsstahl	Betonirauta (teräs)	11,3	628,6	1,6	0,17

Schroderuksen opinnäytetyössä sahatavaran, kipsilevyn ja mineraalivillan ympäristövaikutustiedot oli otettu eri ympäristöselosteista kun taas PEnA-sovelluksesta kaikki tiedot otettiin Ökobau-materiaalitietokannasta. Tämän opinnäytetyön laskuissa oli myös käytetty jonkin tietyn valmistajan tuotemerkkiä, esim. Isover mineraalivillaa. Materiaalien ympäristövaikutusten vertailussa opinnäytetöiden tulokset poikkesivat toisistaan huomattavasti, varsinkin silloin jos materiaali oli otettu eri lähteistä, esim. kipsilevyn tarkastelussa. Vertailussa ei saatu täyttä varmuutta siitä, mistä tulosten eroavaisuudet johtuvat, mutta on mahdollista, että tuotteen valmistusprosessiin sisältyy eri osa-alueita ja vaiheita. Esim Ökobau-materiaalitietokannassa saattaa olla mukana myös jätteen käsittely tai jokin muu materiaalin elinkaarijakso, mikä vaikuttaa esim. energian käyttöön ja päästöihin.

Tarkasteluun otettiin myös polyeteeni ja betonirauta, koska myös Schroderus oli käyttänyt lähteenä Ökobau-materiaalitietokantaa näiden materiaalien osalta. Tästä huolimatta tiedot poikkesivat hieman toisistaan, mikä voi johtua esim. materiaalitietokannan päivityksistä. Huomattavimmat erot tuloksissa olivat sahatavaran osalta, sillä PEnA-laskimen tuloksissa hiilidioksidiekvivalentti oli nolla ja Shroderuksen työssä 70,25 g/kg. Tämän lisäksi sahatavaran energian kokonaiskäyttö oli paljon suurempi PEnA:lla laskettaessa kuin Shroderuksen opinnäytetyössä. Nämä huomattavat erot voivat johtua esim. eri laskumetodeista, sekä erilaisesta tuotteen valmistusprosessista. Ei myöskään tiedetä mitä materiaalin elinkaarijaksoja Ökobaun materiaalitietokanta käyttää, esimerkiksi ottaako se kuljetuksista aiheutuvat päästöt huomioon.

Vertailun johtopäätöksenä voidaan todeta, että materiaalivertailut ja arviointi ympäristövaikutuksista olisi hyvä tehdä yhdenmukaisella tavalla, esimerkiksi pelkästään PEnA –laskimen avulla, sillä laskumetodit ja tiedot materiaaleista eroavat toisistaan valmistajan, tietokantojen, sekä selosteiden mukaan. Olisi myös hyvä selvittää, minkälaisia elinkaarijaksoja materiaalin tuotantoprosessissa tarkastellaan. Voidaan kuitenkin todeta, että PEnA-sovellus laskee melko yhdenmukaisella tavalla ne materiaalit, jotka on otettu Ökobau-materiaalitietokannasta myös Shroderuksen opinnäytetyössä.

8.3 Laskimen kehitystarpeet

8.3.1 Kehittäminen suomalaisiin olosuhteisiin

PEnA –laskinsovellus on tällä hetkellä englanninkielinen, joten se olisi tarpeellista kääntää myös suomenkielelle. Suurin haaste PEnA –laskinta käyttäessä oli Ökobaun Gabi-luokituksesta luettavien oikeiden materiaalien löytäminen, koska ne olivat saksan kielellä. Eri kääntäjäsovellukset saksasta-suomeksi eivät antaneet aina tarkoituksenmukaista käännöstä, joten oikean materiaalin valinta oli epävarmaa. Kuitenkin Google-kuvahaun avulla pystyi melko hyvin tarkistamaan mistä materiaalista oli kyse. Kaikki rakennustuotteet eivät ole yhdenmukaisia suomalaisten rakennusmateriaalien kanssa ja jotkin materiaalimerkinnät jäivät arvailun varaan. EU:n sisällä tuotettujen rakennusmateriaalien valmistustavat ovat kuitenkin melko yhdenmukaisia, joten Ökobau-materiaalitietokanta soveltuu tältä osin myös Suomen olosuhteisiin. PEnA -laskimesta puuttuu kokonaan joitain Suomessa yleisesti käytettäviä rakennusmateriaaleja, esimerkiksi ontelolaatta. Tämän vuoksi siihen olisi hyödyllistä lisätä myös suomalaisten valmistajien tuotteita ympäristötietoineen, esimerkiksi Rantasalmen Ekorex.

Jos suomalaisten valmistajien tuotteita lisätään PEnA-sovellukseen suomalaisten materiaalitietokantojen tai RT-ympäristöselosteiden avulla, niin on otettava huomioon, että kaikkien materiaalien elinkaaritarkastelujaksot ovat yhdenmukaisia. Esimerkiksi on varmistettava otetaanko materiaalin ympäristövaikutuksissa huomioon myös kuljetukset työmaalle, sekä jätteiden käsittely, vai tarkastellaanko pelkästään materiaalin valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. Näin saadaan vertailukelpoisempaa tietoa materiaalien ympäristövaikutuksista ja tiedetään mitkä tuotteet ovat ympäristöystävällisempiä.

8.3.2 Visuaaliset ominaisuudet

PEnA –laskin on visuaaliselta ilmeeltään hyvin yksinkertainen ja käyttäjän on hankala hahmottaa taulukkoa, joten laskimen käyttö tuntuu aluksi monimutkaiselta. Pelkkien numeroiden perusteella on hankala ymmärtää kuinka ympäristöystävällinen rakennusosa tai -materiaali lopulta on. PEnA –sovelluksesta voisi tehdä selkeämmän ja käyttäjäystävällisemmän esimerkiksi korostefonttien, värien ja kuvien avulla. Sovellukseen voisi liittää myös selkeät sanaselitykset ja määritelmät tarkasteltaville käsitteille, kuten elinkaaren eri jaksoille ja päästöille.

Jotta materiaalien vertailu olisi käyttäjälle helpompaa, PEnA –sovellukseen olisi kehitettävä laatuluokitusjärjestelmä, jonka avulla käyttäjä näkee kuinka ympäristöystävällisiä materiaalit ja rakenneratkaisut ovat niin tuotanto- kuin käyttövaiheessakin. Materiaalien vertailua voidaan helpottaa graafisen kuvailun avulla (graphical comparison interface, GCI), jossa laskennan lopputuloksena saadut päästöt voidaan ilmaista esimerkiksi piirakkakuvion (pie) avulla, jolloin käyttäjä näkee päästöjakauman visualisesti. Näin käyttäjät ymmärtävät ja hahmottavat rakennuksen ekologisuuden paremmin. Rakennuksen ympäristökuormituksia olisi hyödyllistä pystyä vertailemaan myös saman kokoisen talon keskivertopäästöihin. PEnA –laskin on alunperin suunniteltu web-sovellukseksi, jolloin eri käyttäjät voisivat myös sen kautta vertailla omia rakenneratkaisujaan keskenään.

8.3.3 Materiaalikustannukset

Hyödyllinen lisä olisi, että käyttäjä näkisi valitsemiensa rakennusmateriaalien kustannukset yksikköhintana (approximate price per unit, PPU), sillä materiaalikustannuksilla on suuri painoarvo materiaaleja valittaessa. Tämä vaatisi kuitenkin tiivistä yhteistyötä rakennustuotteiden valmistajien kanssa, jotta hinnat pysyisivät ajantasaisina. Lisäksi hinnat saattavat vaihdella myös tilattujen materiaalimäärien mukaan, joten tämä ominaisuus olisi hyvin vaikea toteuttaa. Rakennuksen ekologisuus kasvattaa tulevaisuudessa painoarvoaan uusien ohjeistuksien ja rakennusmääräysten vuoksi. Vaikka ekologiset rakennusratkaisut ja teknisten ominaisuuksien parantaminen voi maksaa tavallista enemmän, niiden ansiosta talon koko elinkaaren aikainen energiankulutus, ympäristökuormitus ja kustannukset voivat pienentyä huomattavasti. Tämä olisi myös hyvä ottaa huomioon PEnA –laskinta kehittäessä, jotta suunnittelijat ja rakennuttajat saavat laajemman käsityksen rakennuksen kustannus- ja ympäristötehokkuudesta. Tällä hetkellä PEnA-laskimen materiaalien ja rakennusosien ympäristövaikutukset näkyvät vain tuote- ja rakentamisprosessin ajalta.

8.3.4 Tekniset ongelmat ja kehitysehdotukset

PEnA-sovelluksessa on monia teknisiä ongelmia, jotka olisi päivitettävä, jotta laskin olisi käyttökelpoinen ja esim. helpompi asentaa. Laskentaa on suunnitteltava tarkasti etukäteen, sillä jotkin käyttötilanteet saattavat aiheuttaa elementtitietokannan korruptoitumista, eli ohjelma tallentaa väärin omaa tietokantaansa, jolloin koko projekti kaatuu. Esimerkiksi samaa materiaalia ei voi asettaa rakennusosaan kahta kertaa päämateriaaliksi, vaan käyttäjän täytyy kirjoittaa toistuva materiaalikerros käyttämällä alirakennusosavalikkoa *Sub-element*. Esimerkiksi puurakenteisessa seinässä saattaa toistua sama puumateriaali eri rakennekerroksissa, jolloin rakennusosan puukerrokset täytyy luoda erikseen ja myöhemmin liittää ne yhteen *Sub-element* -valikosta. Tämä hankaloittaa laskemista ja tekee siitä monimutkaisen tuntuista.

PEnA-sovellukseen olisi järkevää tehdä kattavampi ohjeistus siitä, millä tavoilla rakennusmateriaalien ja –osien ympäristövaikutuksia olisi järkevää laskea, niin että laskenta on yhdenmukaista, eikä käyttäjän tarvitse tehdä itse monimutkaisia laskutoimituksia. Esimerkiksi materiaalimäärän yksikön voisi päättää itse, jolloin kaikille materiaaleille saisi saman yksikön halutessaan, esimerkiksi kuutiometreinä. Tämän lisäksi PEnA:ssa voisi olla myös ominaisuus, jonka avulla voisi muuntaa mittayksiköitä eri yksikköjärjestelmien välillä, esimerkiksi kilogrammoista grammoiksi.

8.3.5 PEnA –laskimen käyttö tietomallinnuksessa

Jotta PEnA –laskin saataisiin helppokäyttöisemmäksi rakennussuunnittelua varten, se olisi hyvä saada liitettyä 3D-mallinnusohjelmien yhteyteen. Rakennusinsinööriopiskelija Kai Matilaisen (2016-4-05) mukaan esimerkiksi Autodesk Revit Architecturella voidaan viedä suunnitellun rakennuksen materiaaliluettelo Microsoft Officen Excel -taulukoksi. PEnA –sovellukseen voitaisiin koodauksen avulla luoda *import* –painike, jonka avulla materiaalilistan saisi vietyä suoraan myös laskimeen, jolloin PEnA laskisi ympristövaikutukset automaattisesti suunnitellusta rakennuksesta.

Matilaisen (2016-4-05) mielestä ympäristövaikutusten laskemisen voisi mahdollisesti toteuttaa Revitissä olevien ominaisuuksien kautta tai kehittämällä erillisen plugi-painikkeen, joka suorittaa laskutoimituksen ja taulukoinnin. Plugi tarkoittaa Plug-in tai Plugin -toimintoa ja se on alkuperäisen ohjelman laajennusosa, jolla saadaan alkuperäiseen ohjelmaan parannettua tai tuotua kokonaan uusi ominaisuus. Revit Architecturea varten kehitetty plugi – painike voisi reaaliaikaisesti hakea PEnA:n tietokannasta mallinnuksessa käytettyjä materiaaleja ja laskea ympäristövaikutuksia näyttäen päästölukemat sivupalkissa. Tämän lisäksi PEnA –sovellukseen voitaisiin kehittää IFC-muotoisen mallin lukemisominaisuus, esim. IFC 2.3x muodossa, jolloin hyvin useista eri suunnitteluohjelmista voidaan tuoda valmis malli IFC -muodossa.

8.4 Laskennasta saatavat hyödyt

PEnA –sovelluksella voidaan saada kattava ympäristövaikutuskartoitus, josta saadaan tietoja rakennusosien ja koko rakennuksen aiheuttamista päästöistä. Tätä informaatiota voidaan hyödyntää rakennuksen suunnittelussa ja päätöksenteossa. PEnA -laskimen avulla rakennusmateriaaleja ja rakenneratkaisuja voidaan helposti vertailla keskenään ja ympäristövaikutusten kartoittaminen mahdollistaa kehittämään ekologisempia ratkaisuja. Tätä voidaan käyttää myös markkinointikeinona, jolloin voidaan verrata samaan tarkoitukseen käytettävien tuotteiden tai rakennusten ympäristövaikutuksia ja sen pohjalta tehdä päätöksiä siitä, minkälainen rakennus halutaan rakentaa. Ympäristövaikutusten arviointia voidaan käyttää motivointikeinona kuluttajille käyttämään entistäkin ympäristöystävällisempiä materiaaleja ja ratkaisuja. Lisäksi se luo positiivista imagoa kaikille rakennushankkeen osapuolille.

Arkkitehti ja Savonia-ammattikorkeakoulun yliopettaja Janne Revon (2016-4-15) mielestä ympäristövaikutusten laskennasta olisi hyötyä rakennuttajille ja rakennussuunnittelijoille, jos lainsäädäntö edellyttäisi rakennuksia suunnitellessa pääsemään tiettyyn ekologisuustasoon. Kuitenkin tällä hetkellä on pyritty kehittämään vain rakennusten energiatehokkuutta uudisrakentamisessa, joten ympäristöluokitusjärjestelmien ja muiden työkalujen käyttö Suomessa jää tulevaisuudessa vielä arvailujen varaan. Suurin vaikutus rakennusmateriaalien valinnalle on tällä hetkellä niiden kustannustehokkuus, mutta on olemassa myös asiakasryhmiä, jotka vaalivat ympäristöystävällisiä arvoja, sillä ekologisilla ratkaisuilla voi saada suuriakin säästöjä rakennuksen koko elinkaarta tarkastellessa.

9 YHTEENVETO

Päätavoitteena tässä työssä oli laskea ulkoseinän, ylä- ja alapohjan ympäristövaikutukset kohderakennukselle ja pohtia kehitysehdotuksia PEnA-laskimelle. Tavoite saavutettiin kartoittamalla sovituille rakennusosille ympäristövaikutukset PEnA-sovellusta hyödynäen ja kokoamalla tulokset selkeästi suomen kielellä Excel-taulukkoon. PEnA-laskimesta saatujen tuloksien paikkansapitävyys todettiin vertailemalla niitä Schroderuksen opinnäytetyön laskelmiin. Lopuksi saatiin myös koottua kehitysehdotuksia ja hyötyjä PEnA-laskinta varten monesta eri näkökulmasta.

Opinnäytetyössä opittiin käyttämään Luonnonvarakeskuksen kehittämää PEnA-laskinta ja laskemaan sillä tarkoituksenmukaisella tavalla rakennusosien ympäristövaikutukset. Laskimen käytön opettelu ja oikeiden materiaalien löytäminen kategoriavalikoista, sekä oikeiden määräarvojen laskeminen oli tämän työn haastavin osuus. Kuitenkin lopulta kaikille rakennusmateriaaleille ja niiden ympäristövaikutuksille saatiin arvot ja laskenta alkoi tuntumaan helpommalta, mitä enemmän sitä teki. Työssä opittiin myös, mitkä eri seikat vaikuttavat rakennuksen ympäristöystävälisyyteen ja millaisella rakentamisella päästään parempiin ekologisiin ratkaisuihin.

Työssä olisi voitu vertailla rakennusosia myös toisenlaisten rakennetyyppien kanssa. Se oli kuitenkin hankalaa, sillä PEnA-laskin kartoittaa ympäristövaikutukset monesta eri ympäristövaikutusluokasta ja näin ollen vertailusta olisi tullut hyvin laaja. PEnA-laskimeen olisi hyvä löytää yhteinäinen indeksiarvo, jolla pystyttäisiin yhtenäisesti vertailemaan kaikkia ympäristövaikutusluokkia antaen rakennusosalle esim. laatuluokitusarvon. Lisäksi on otettava huomioon oikeanlaiset laskentametodit, jotta kaikki käyttäjät saavat ympäristövaikutukset yhdenmukaisin menetelmin laskettua. On otettava huomioon, että tässä opinnäytetyössä on jouduttu soveltamaan itse esim. materiaalien ja laskentatavan osalta, sillä PEnA-laskin on vielä varhaisessa kehitysvaiheessa, ja materiaalitietokannat päivittyvät jatkuvasti. Elinkaariarviointi kehittyy jatkuvasti eteenpäin ja tämä opinnäytetyö on yksi kehityskokeilu kohti toimivaa ja yhdenmukaista ympäristövaikutusten arviointijärjestelmää Suomessa.

LÄHTEET

Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika [verkkoaineisto]. Sitra, Tekes ja Ympäristöministeriö.[viitattu 2016-01-30]. Saatavissa: http://era17.fi/tausta/

European Comission [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-01-30]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings

DGNB- Deutsche Gesellschaft fur Nachhaltiges Bauen [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-04-19]. Saatavissa: http://www.dgnb.de/en/DGNB-business-areas/

Green Building Council Finland. Energia ja ilmastopolitiikka [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-01-30]. Saatavissa: http://figbc.fi/tietopankki/energia-ja-ilmastopolitiikka/

Green Building Council Finland. Rakennusten ympäristöluokitukset [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-04-18]. Saatavissa: http://figbc.fi/tietopankki/ymparistoluokitukset/

Green Building Council Finland. Rakennusten elinkaarimittarit 2013.
Saatavissa: http://www.sitra.fi/julkaisut/muut/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf

JAAKKOLA, Aapo 2008. Elinkaariarviointi. Lahden ammattikorkeakoulu. Ohjelmistotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö [viitattu 2016-04-14.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11962/2008-07-21-26.pdf?sequence=1

JUNNILA, Seppo ja SAARI, Arto. 1997. Rakennusosien aiheuttamien ympäristökuormien laskenta. Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio. Raportti 150. Espoo.

LINDROOS, Tomi J, EKHOLM, Tommi ja SAVOLAINEN, Ilkka. 2012. VTT. Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen suhteellinen painotus ilmastopolitiikassa [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-4-6].
Saatavissa: http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T57.pdf

Luonnonvarakeskus [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-4-6].
Saatavissa: http://luke.fi
Polku: http://www.metla.fi/pena/

MATILAINEN, Kai 2016-04-05. Rakennusinsinööriopiskelija. [Haastattelu.] Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

MELANDER, Isa 2010. Rakennusten ympäristöluokitus. Yrkeshögskolan Novia. Byggnadsteknik. Opinnäytetyö [viitattu 2016-04-18.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39647/Rakennusten%20ymparistoluokitus_Melander.pdf?sequence=1

Pekka Hänninen ja Rakennustarkastusyhdistys RTY ry 2012. Ekorakentajan opas [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-3-17]. Saatavissa: http://www.rakentajanekolaskuri.fi/taustatietoa.php#Talon_p%C3%A4%C3%A4periaatteet
PUNKKI, Jouni 2003. Rakentamisen ekologisuus. Rakennustieto. Rakentajain kalenterin artikkelit. [viitattu 2016-3-15]. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030305.pdf

Ramentor Oy. Elinkaarikustannukset. [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-4-12]. Saatavissa: http://www.ramentor.com/etusivu/teoria/elinkaarikustannukset/

REPO, Janne 2016-4-16. Arkkitehti ja Savonia-ammattikorkeakoulun yliopettaja. [Sähköpostihaastattelu]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

SAARI, Arto 2001. Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet. Rakennustietosäätiö RTS. Kustantaja Rakennustieto Oy.

SANASTOKESKUS TSK 2012. Kiinteistöliiketoiminnan sanasto, 2.laitos. Sanasto. Julkaisija: RAKLI ry. Saatavissa: http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/Kiinteistoliiketoiminnan_sanasto2.pdf

SCHRODERUS, Sauli 2014. Savolaisen eko-pientalon materiaalien LCA-tarkastelu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö [viitattu 2016-11-5.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/84869/Schroderus_Sauli.pdf?sequence=1

SFS-EN 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. 2014. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu 2016-3-15]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2014/khki_2014_2015-12-14_tie_001_fi.html

Suomen ympäristöopisto SYKLI 2014. Rakennustyömaan kestävät käytännöt –opas. [viitattu 2016-3-12]. Saatavissa: http://sykli.fi
Polku: http://static.ecome.fi/upload/1498/RAKSA_opas%20final.pdf

Suomen arkkitehtiliitto SAFA. Energiatehokas ja ekologisesti kestävä rakennus [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-3-17]. Saatavissa: https://www.safa.fi/fin/safa/kestavan_suunnittelun_sivusto_-_eko-boxi/energiatehokas_ja_ekologisesti_kestava_rakennus/

Tuoteverkosto. Ympäristöselosteet (ISO 14025 -standardi). [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-13-4]. Saatavissa: http://www.tuoreverkosto.fi/viestinta/ymparistoselosteet-iso_14025_standardi/

Ulkoasiainministeriön työryhmä. 2010. Puurakentamisen edistäminen kansainvälisesti ilmastopoliittisin perustein. Työryhmän raportti. [viitattu 2016-3-15].
Saatavissa: http://formin.finland.fi/public/download.aspx?ID=67604&GUID=%7B2C50A967-F19D-48AA-BBC7-61BDD019E564%7D

Ympäristöministeriö. Mitä on kestävä kehitys [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-3-12].
Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-fi/ymparisto/kestava_kehitys/Mita_on_kestava_kehitys

Ympäristöosaava ammattilainen. Rakentamisen ympäristövaikutukset [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-3-12].
Saatavissa:http://www.ymparistoosaava.fi/rakennusala/index.php?k=22800

LIITE 1: RAKENNUSOSIEN MÄÄRÄLASKUT

Alapohja (maanvastainen)

Pinta-ala:	107,70 m2
U-arvo (1m:n reunakaistalla):	0,15 W/m2K
U-arvo (keskialueella):	0,11 W/m2K

- lattiapinnoite+tasoitekerros 10 mm	**0,01 m3** -> n.1900 kg/m3 x 0,01m3 =**19 kg**
- teräsbetonilaatta	80 mm -> **0,08 m3**
- lämmöneriste EPS 200	150 mm **->** **0,15 m3**
- kapillaarisen kosteuden eristävä soratus	300 mm -> **0,3 m3** -> 1500kg/m3 x 0,3 =**450 kg**

- Betonin teräsverkko B500K 6-150

➔ metripaino: 0,222 kg/m -> kaksi kerrosta: **0,444 kg**

Ulkoseinä

Pinta-ala:	93,9 m2
U-arvo:	0,16 W/m2K

- ulkoverhouspaneeli	23 mm -> **0,023 m3**
- ilmaväli + koolausrimat k600, (2kpl)	22 mm -> (0,022 m x 0,05 m x 1 m) x 2= **0,0022 m3**
- tuulensuoja	12 mm -> **0,012 m3**
- kantava puurunko k600, (2kpl)	173 mm -> (0,173 m x 0,042 m x 1 m) x 2= **0,015 m3**
- mineraalivilla	246 mm -> 0,246 m x 0,958 m x 1 m = **0,235 m3**
	-> tiheys n. 46 kg/m3 x 0,235 m3-> **10,81 kg**
- muovikalvo	0,2 mm -> **0,0002 m3** (neliöpaino n. **0,185kg**/m2)
- kipsilevy	13 mm -> **0,013 m3** (neliöpaino n. **11,1 kg**/m2)

Yläpohja

Pinta-ala:	107,70 m2
U-arvo:	0,08 W/m2K
- vesikate (Ruukki Classic, teräs)	0,6 mm -> n. 0,0006 m3
	-> tiheys (7850 kg/m3) x 0,0006 m3 = **4,71 kg**
- ruodelaudoitus 25x100 k300 (3kpl)	(0,025 m x 0,1m x 1 m) x 3 = **0,0025 m3**
- tuuletusrimat 47x47 k600 (2kpl)	(0,047 m x 0,047 m x 1 m = **0,0022 m3**
- aluskate	neliöpaino n.**0, 475 kg**/m2
- kattoristikot 50x150 (1kpl)	0,05 m x 0,150 m x 1 m = **0,0075 m3**
- mineraalivilla 500 mm	0,5 m x 1 m x 1 m = 0,5 m3
	tiheys n. 46 kg/m3 x 0,5 m3-> **23 kg**
- muovikalvo 0,2 m	0,2 mm -> 0,0002 m3 (painaa n. **0,185kg**/m2)
- harvarimoitus k600 50 x 22 (2kpl)	0,05 m x 0,022 m x 1 m = **0,0011 m3**
- sisäkattolevy (kipsilevy) 12 mm	0,12 m x 1 m x 1 m= 0,12 m3
	(neliöpaino n. **11,1 kg**/m2)

LIITE 2: SUOMENNOKSET MATERIAALEILLE

Materiaalikategoriavalikko

mineralische Beaustoffe = Mineraali rakennusaineet
dämmstoffe= eristävät materiaalit
holz= puu
metalle = metalli
beschichtungen =pinnoitteet
kunstoffe= muovit
komponenten von Fenstern und Vorhangfassaden = komponentit ikkunoihin ja seinä verhoiluihin
gebäudetechnik= rakentaminen
sonstige= muut

Alapohjassa käytetyt materiaalit

zementestrich = sementtitasoitekerros
transportbeton C25/30= betoni C25/30
bewehrungsstahl = harjateräs
EPS= EPS-eristelevy
kies= sora

Ulkoseinässä käytetyt materiaalit

schnittholz, fichte= sahatavara, kuusi -> ulkoverhoupaneelissa ja puurungossa
schnittholz, kiefer= sahatavara, mänty -> koolausrimat
glasswolle dämmstoff= mineraalivilla (lasivilla)
holzfaserdämmplatte (nassverfahren)= puukuitulevy (märkämenetelmä) ->tuulensuojalevy
dampfbremse= höyrynsulku
gibskartonplatte= kipsilevy

Yläpohjassa käytetyt materiaalit

stahl feinblech= teräslevy
unterspannbahn = aluskate
glaswolleplatte = lasivilla
dampfbremse= höyrynsulku
gipskartonplatte= kipsilevy
schnittholz, fichte= sahatavara, kuusi -> käytetään ruoteissa, rimoituksissa ja ristikoissa

LIITE 3: RAKENNUSOSIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN KOONTITAULUKOT

RAKENNUSOSIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

ALAPOHJA

			CO2-ekv.(kg)	Energiantarve (MJ)				Jätteiden tuotto			sb-ekv. (kb)	PO23-ekv (kg)	CFC-11-ekv (k	C2H4-ekv. (kg)	SO2-ekv. (kg)
Materiaali	yksikkö	määrä	GWP	Uusiutumaton energia	Uusiutuva energia	Polttoaineiden uudelleenkäyttö	Veden käyttö	Kaivostoiminta	Kotitalous- ja teollisuusjäte	Ongelmajäte	ADP (elottomien ympäristötekijöiden ehtyminen)	EP (rehevöityminen)	ODP (otsonikato)	POPC (alailmakehän otsonin muodostus)	AP (maan ja veden happamoituminen)
Tasoitekerros	kg	19	3,38	29,62	0,47	4,53	2,36	14,126	0,0002	0,002	0,013	0,001	9,50E-08	0,0008	0,0069
Betoni C25/30	m3	0,08	19,23	98,26	1,79	34,69	95,98	63,1	0,0003	0,013	0,04	0,0048	5,10E-07	0,0035	0,034
Teräs	kg	0,444	0,28	4,52	0,5	0	517,28	1,14	0	0,0003	0,001	5,90E-05	9,30E-10	7,63E-09	0,0007
EPS-eriste	m3	0,15	9,94	288,29	2,46	0,03	3055,53	4,51	0	0,002	0,136	0,0019	4,60E-08	0,003	0,02
Sora	kg	450	1,05	15,04	1,84	0,01	1674,74	135,18	0	0,001	0,006	0,0004	3,02E-09	0,0003	0,003
		Yhteensä	33,88	435,73	7,06	39,26	5345,89	218,056	0,0005	0,0183	0,196	0,008159	6,5495E-07	0,007600008	0,0646

ULKOSEINÄ

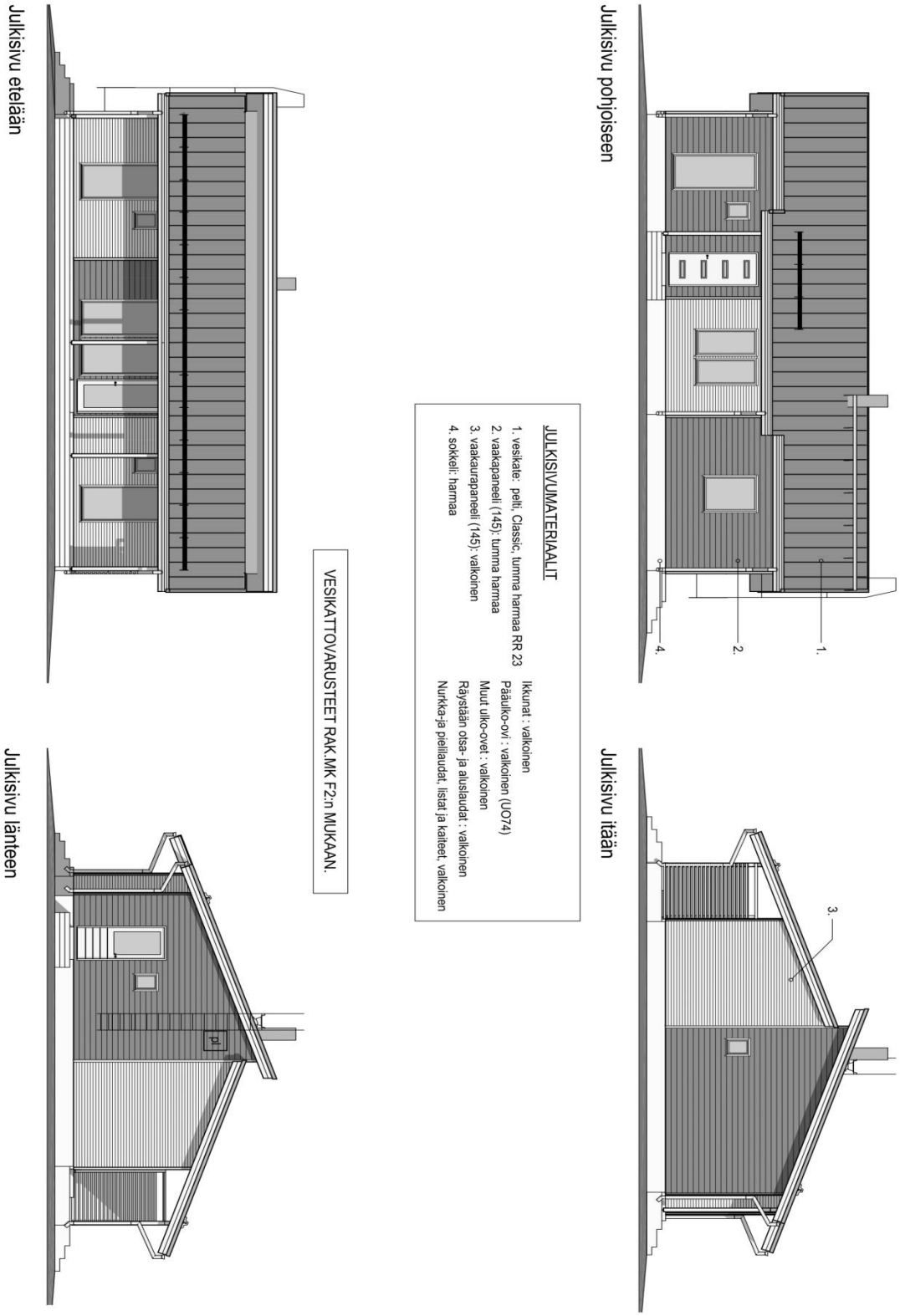
			CO2-ekv.(kg)	Energiantarve (MJ)				Jätteiden tuotto			sb-ekv. (kb)	PO23-ekv (kg)	CFC-11-ekv (k	C2H4-ekv. (kg)	SO2-ekv. (kg)
Materiaali	yksikkö	määrä	GWP	Uusiutumaton energia	Uusiutuva energia	Polttoaineiden uudelleenkäyttö	Veden käyttö	Kaivostoiminta	Kotitalous- ja teollisuusjäte	Ongelmajäte	ADP (elottomien ympäristötekijöiden ehtyminen)	EP (rehevöityminen)	ODP (otsonikato)	POPC (alailmakehän otsonin muodostus)	AP (maan ja veden happamoituminen)
Ulkoverhopaneeli	m3	0,023	0	63,05	208,13	0,007	3016,3	6,66	0	0,002	0,028	0,001	5,40E-09	0,0007	0,008
koolausrimat	m3	0,0022	0	6,77	22,68	0,0007	327,1	0,72	0	0,0002	0,003	0,0001	5,80E-10	8,65E-05	0,0008
tuulensuoja	m3	0,012	0	24,31	40,23	0,0029	1486,84	3,34	0	0,00098	0,0104	2,68E-04	2,70E-09	4,80E-04	0,0023
mineraalivilla	kg	10,8	17,13	295,05	20,66	0,04	11808	37,0742	0	0,00769	0,133	0,0117	2,46E-08	0,0039	0,0072
kantava puurunko	m3	0,015	0	41,12	135,74	0,005	1967,13	4,34	0	0,0012	0,018	0,0008	3,50E-09	0,0005	0,005
muovikalvo	kg	0,185	0,39	13,12	0,33	0,0025	186,16	0,71	0	0,0001	0,008	0,0001	6,56E-10	0,0002	0,001
kipsilevy	kg	11,1	25,68	413,59	20,36	0,84	11547,1	36,77	0	0,007	0,19	0,01	2,10E-08	0,0052	0,043
		Yhteensä	43,2	857,01	448,13	0,8981	30338,63	89,6142	0	0,01917	0,3904	0,023968	5,8436E-08	0,0110665	0,0673

YLÄPOHJA

			CO2-ekv.(kg)	Energiantarve (MJ)				Jätteiden tuotto			sb-ekv. (kb)	PO23-ekv (kg)	CFC-11-ekv (k	C2H4-ekv. (kg)	SO2-ekv. (kg)
Materiaali	yksikkö	määrä	GWP	Uusiutumaton energia	Uusiutuva energia	Polttoaineiden uudelleenkäyttö	Veden käyttö	Kaivostoiminta	Kotitalous- ja teollisuusjäte	Ongelmajäte	ADP (elottomien ympäristötekijöiden ehtyminen)	EP (rehevöityminen)	ODP (otsonikato)	POPC (alailmakehän otsonin muodostus)	AP (maan ja veden happamoituminen)
Vesikate (teräs)	kg	4,71	10,17	140,29	3,32	0	2384,65	69,23	0	0,00079	0,067	3,00E-03	5,53E-09	0,0054	0,037
Ruodelaudoitus	m3	0,0025	0	6,85	22,62	0,00078	327,86	0,72	0	0,0002	0,003	1,00E-04	5,84E-10	8,04E-05	0,00086
Tuuletusrimat	m3	0,0022	0	6,03	19,9	0,00068	288,6	0,636	0	0,00018	0,00267	1,00E-04	5,13E-10	7,08E-05	0,0007
Aluskate	kg	0,475	1,38	38,5	0,89	0,0045	568,456	1,25	0	0,0004	0,018	0,0004	4,48E-09	0,00076	0,003
Kattoristikko	m3	0,0075	0	20,56	67,87	0,0023	983	2,17	0	0,0006	0,009	0,00038	1,70E-09	0,00024	0,0025
Mineraalivilla	kg	23	36,49	628,34	43,99	0,08	25146,4	78,95	0	0,016	0,264	0,0225	5,22E-08	0,008	0,15
Muovikalvo	kg	0,185	1,85	32,57	0,41	0,007	485,6	1,99	0	0,00037	0,023	0,0004	3,22E-09	0,0005	0,0045
Harvarimoitus	m3	0,0011	0	3,01	9,95	0,00034	144,25	0,31	0	9,23E-05	0,0013	5,56E-05	2,56E-10	3,53E-05	0,00038
Kipsilevy	kg	11,1	25,68	413,59	20,35	0,84	11547,1	36,77	0	0,007	0,19	0,01	2,11E-08	0,0052	0,043
		Yhteensä	75,57	1289,74	189,3	0,9356	41875,916	192,026	0	0,0256323	0,57797	0,0369356	8,9586E-08	0,0202865	0,24194

LIITE 4: JULKISIVUKUVAT

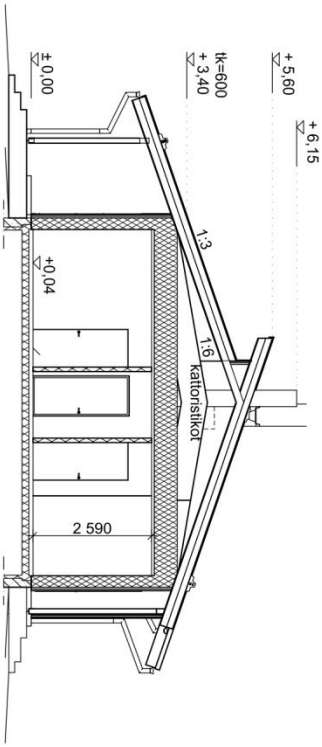
Tekijä: Omatalo Oy



LIITE 5: LEIKKAUSKUVAT

Tekijä: Omatalo Oy

LEIKKAUS A-A



RAKENTEET

YLÄPOHJA
U=0,08 W/m²K
Vesikate
Ruodelaudoitus
Tuuletusmat
Aluskate
Kattoristikot
Mineraalivilla 500 mm
(levyvilla 100 mm +
puhallusvilla 400 mm)
Muovikalvo
Haavamuotus
Sisäkattolevy

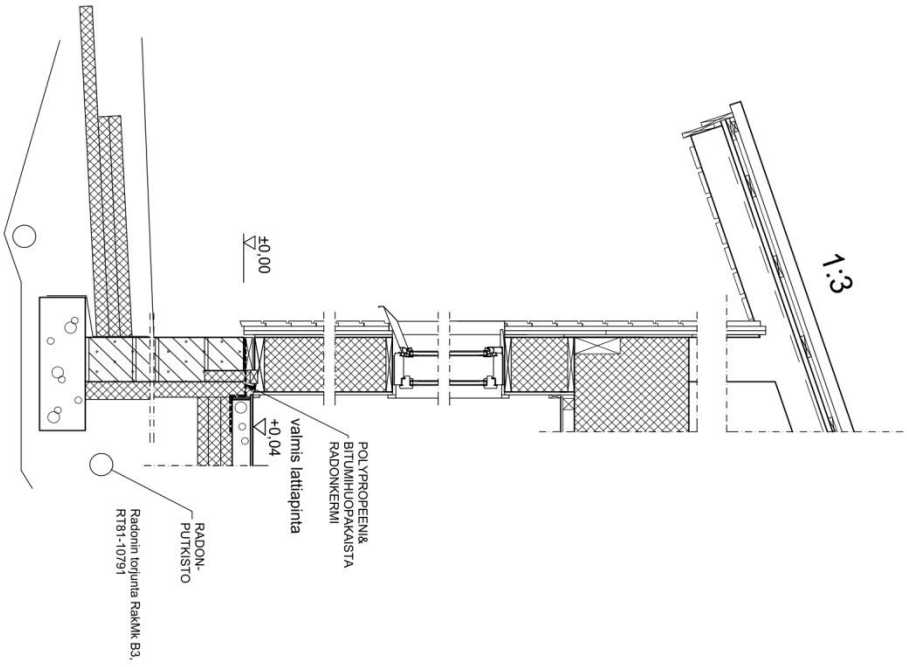
ULKOSEINÄ
U=0,16 W/m²K
Ulkoverhouspaneeli 23 mm
Ilmaväli
Ulkoseinäelementti 271 mm
-tuulensuojalevy 12 mm
-kantava runko 173 mm
-mineraalivilla 246 mm
-muovikalvo
-seinälevy 13 mm

ALAPOHJA
(MAANV. TB-LAATTA)
U=0,15 W/m²K
(1 m:n reunakaistalla)
U=0,11 W/m²K
(keskialueella)
Lattiapinnoite+
tasoitekerros 10 mm
Teräsbetonilaatta 80 mm
Lämmöneriste EPS 200 150 mm
Kapillaarisen kosteu-
den estävä soratus 300 mm

LÄMMÖNERISTYSVAATIMUKSET

RAKENNUSOSAT -ASUNTO	Perusratkaisu U-arvot W/m²K	Suunnitteluratkaisu U-arvot W/m²K
Ulkoseinä	0,17	0,16
Yläpohja	0,09	0,08
Alapohja (reunakaista)	0,16	0,15
Alapohja (keskialue)	0,16	0,11
Ikkunat	1,00	1,00
Ulko-ovet	1,00	1,00

ULKOSEINÄLEIKKAUS 1:20

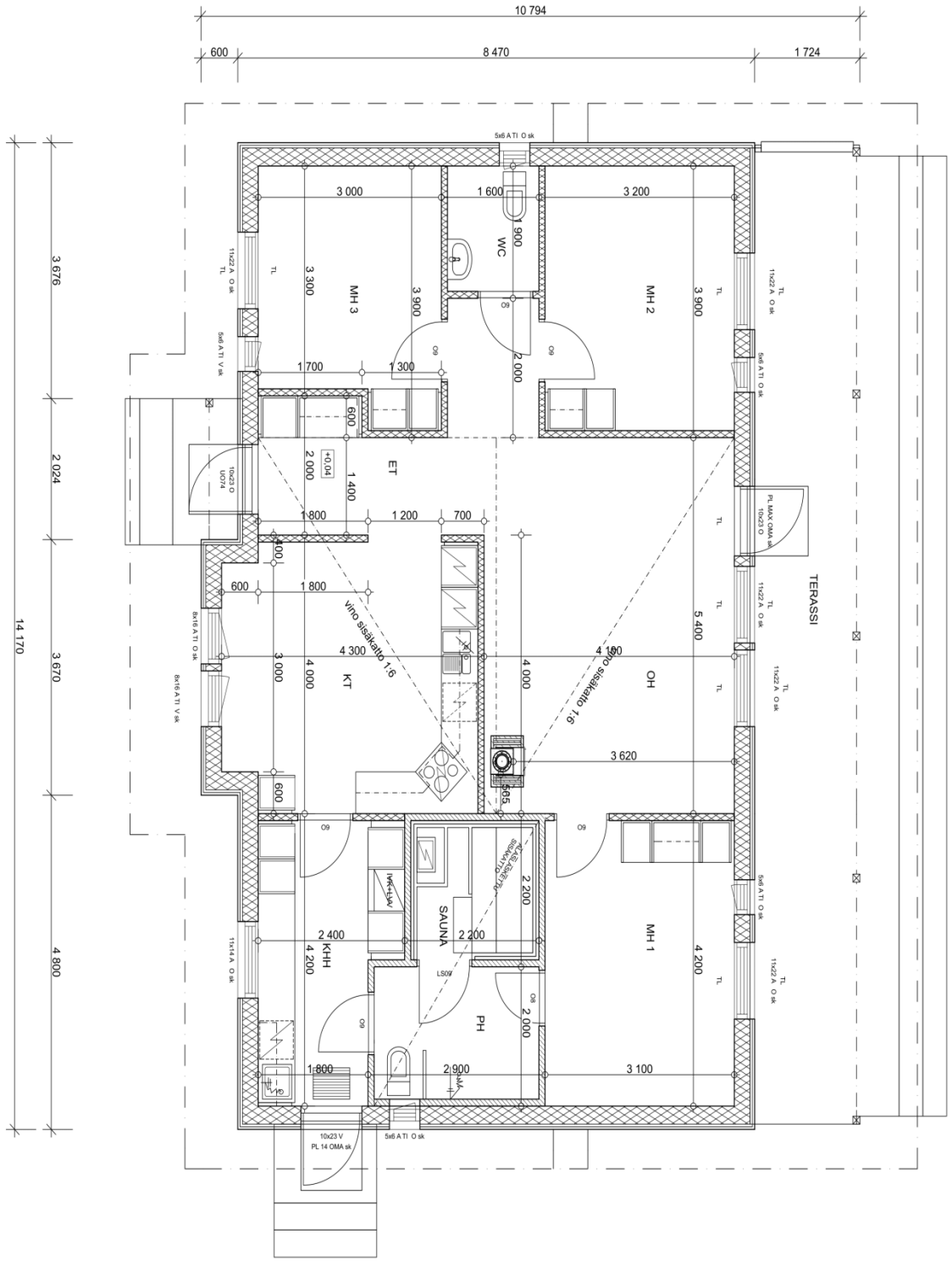


RAKENNETYYPIT JA -LIITTYMÄT SUUNNITELTAVA
TAPAUSKOHTAISESTI VALLITSEVIIN OLOSUHTEISIIN

LIITE 6: POHJAPIIRUSTUS

Tekijä: Omatalo Oy

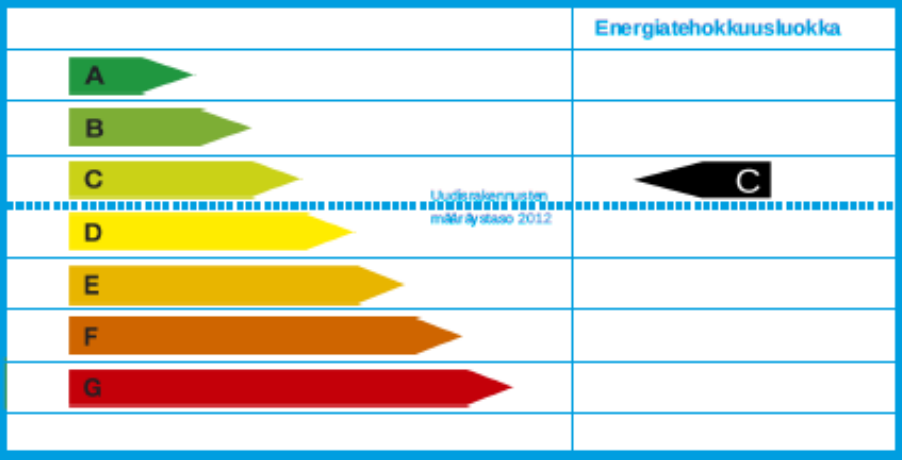
POHJA



LIITE 7: ENERGIATODISTUS

ENERGIATODISTUS

Rakennuksen nimi ja osoite:	OKT Leskinen Tähtitarhantie 70800, KUOPIO
Rakennustunnus:	435-16-13
Rakennuksen valmistumisvuosi:	2015
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:	Yhden asunnon talot
Todistustunnus:	5435



Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku) 203 $kWh_E / (m^2 vuosi)$

Todistuksen laatija: Paatero, Katri	Yritys: Insinööritoimisto Vesitaito Oy
Allekirjoitus: Digitally signed by www.energiatodistusrekisteri.fi Date: 2015.04.13 15:16:11 EEST Reason: Laatija: Paatero, Katri Location: Suomi	
Todistuksen laatimispäivä: 13.4.2015	Viimeinen voimassaolopäivä: 13.4.2025

Energiatodistus perustuu lakiin rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013).