

LASKENTAOHJELMA RAKENTEEN U-ARVON JA  
MATERIAALIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN  
MÄÄRITTÄMISEEN

Vesa-Matti Hukka  
Opinnäytetyö  
Talon- ja korjausrakentaminen  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka, Talon- ja korjausrakentaminen

---

Tekijä: Vesa-Matti Hukka

Opinnäytetyön nimi: Laskentaohjelma rakenteen U-arvon ja ympäristövaikutusten määrittämiseen

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013

Sivumäärä:26

---

Työn tavoitteena oli tehdä Ekovilla Oy:lle laskentaohjelma rakenteen U-arvon ja käytettyjen materiaalien ympäristövaikutusten laskemista ja vertailua varten. Laskurista haluttiin helppokäyttöinen, yksinkertainen ja päivitettävissä oleva.

Laskentatyökalu päätettiin tehdä Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Tällä varmistettiin helppokäyttöisyys ja mahdollisimman laaja yhteensopivuus käyttäjien tietokoneiden kanssa.

Valmis laskentaohjelma laskee valitun rakenteen U-arvon uusimman RIL 225 -laskentaohjeen mukaisesti ja ilmoittaa valitun rakenteen materiaalien valmistuksesta syntyneet hiilidioksidipäästöt. Lisäksi lasketaan käytetyt uusiutuvat- ja uusiutumattomat luonnonvarat ja energia Rakennustietosäätiön ympäristöselosteiden mukaisesti.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	3
2 RAKENTEEN LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN.....	5
2.1 Korjaamaton lämmönläpäisykerroin.....	5
2.2 Korjattu kokonaislämmönvastus.....	7
2.3.Rayleigh'n luku.....	10
3 YMPÄRISTÖSELOSTEET.....	12
4. LASKENTAOHJELMAN KEHITTÄMINEN.....	15
4.1 Esivalmistelut.....	15
4.2 Materiaalitietojen selvittäminen.....	15
4.3. Laskentatyökalun kehittäminen.....	16
5 YHTEENVETO.....	21
LÄHTEET.....	24

## LIITTEET

Liite1: Lähtötiedot ja tulokset -sivu

Liite 2: Vertailusivu

# 1 JOHDANTO

Viime vuosina on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota ihmisen toiminnan osuuteen ympäristön hyvinvoinnissa. Uudet tutkimustiedot ilmaston lämpenemisestä ja luonnonvarojen riittävydestä ovat osaltaan herättäneet ihmisiä ottamaan ympäristön hyvinvoinnin paremmin huomioon. Enenevässä määrin sekä kuluttajat ja tuottajat sekä lainsäätäjät ovat ryhtyneet omalta osaltaan toimenpiteisiin tilanteen parantamiseksi.

Rakennusalan osuus Suomen bruttokansantuotteesta on iso ja sen vaikutukset ympäristöön huomattavat sekä materiaalien käytön, kuljetusten että valmiin rakennuksen energiankulutuksen osalta. Vuonna 2010 talonrakentamisen arvo oli noin 21,5 miljardia euroa. (1.) Rakennusten käyttö ja ylläpito sekä rakentaminen vastaa noin 40% maamme energiankäytöstä ja niiden osuus hiilidioksidien päästöistä on hieman yli 30%(2). Rakentaminen ja rakennusten energian käyttö ovat siis iso tekijä Suomessa syntyvissä päästöissä ja energian kulutuksessa. Rakentamista onkin pyritty ohjaamaan ympäristöystävällisempään suuntaan tiukentamalla rakennusmääräysten vaatimuksia rakenteiden lämmöneristävyydelle.(3.) Suomessa on otettu myös käyttöön eurooppalaisen standardin mukainen laskentamalli rakenteen lämmöneristävyydelle.

Työn tilaaja Ekovilla OY on suomalaisessa omistuksessa oleva 30 vuotta vanha yritys. Liikeideana on luonnollisen ja terveellisen asumisen turvaava keräyspaperipohjainen lämmöneristäminen valmiiksi asennettuna tai itse asennettuna. Ekovilla valmistaa puhallettavia puukuitueristeitä ja levyvillaa valikoidusta kierrätyspaperista. Luonnollinen ja terveellinen asuminen sekä ympäristön hyvinvointi ovat Ekovilla Oy:n keskeisiä arvoja.

Nämä lähtökohdat mielessään Ekovilla Oy halusi teettää opinnäytetyönä Excel-pohjaisen laskentaohjelman, joka laskee valitulle rakenteelle U-arvon lisäksi materiaalien valmistuksessa syntyneet hiilidioksidipäästöt ja valmistukseen käytettyjen uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen määrät. Lisäksi haluttiin mahdollisuus

vertailla keskenään erilaisten eriste- ja rakenneratkaisujen ominaisuuksia. Suunnittelun lähtökohtina olivat käyttäjäystävällisyys, yksinkertaisuus ja päivitettävyyt. Laskentaohjeksi U-arvoille haluttiin kansainvälinen EN ISO-10456 -standardi, jota sovelletaan uusimman Rakennusinsinööriliiton ohjeen mukaisesti. Päästölaskelmien pohjaksi haluttiin voimassa olevien RT-ympäristöselosteiden ilmoittamat arvot.

## 2 RAKENTEEN LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN

Lämmönläpäisykerroin U ilmoittaa lämpövirran, joka jatkuvuustilassa läpäisee pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen. (4). Yksikkönä käytetään  $W/(m^2K)$ , eli teho watteina, jolla lämpö virtaa  $1 m^2$  suuruisen seinämän läpi, kun lämpötilaero eristeen molemmilla puolilla on  $1K$ . Tätä termiä käytetään kuvaamaan rakennuksen osan kykyä säilyttää lämpötilaero rakennuksen sisä- ja ulko-osan välillä. Rakennuksen eri osille on ympäristöministeriön asettamat vaatimukset, joita ei saa alittaa. (3.)

Lämmönläpäisykerroimen määrittäminen tapahtuu EN ISO-10456-standardin mukaisesti. Standardia noudatetaan uusimman Rakennusinsinööriliiton ohjeen mukaan.

### 2.1. Korjaamaton lämmönläpäisykerroin

Rakenteen lämmönvastus lasketaan laskentaohjelmassa lämpötekniisesti homogeenisista ja epähomogeenisista ainekerroksista koostuvan rakenneosan yksinkertaistetun laskentamenetelmän mukaan. Homogeenisen rakennekerroksen lämmönvastus lasketaan rakenteen paksuudesta ja lämmönjohtavuudesta kaavan 1 mukaisesti (5).

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

KAAVA 1

d = materiaalikerroksen paksuus rakenneosassa

$\lambda$  = materiaalin lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo

Homogeenisista kerroksista koostuvan rakenneosan kokonaislämmönvastus  $R_T$  lasketaan kaavasta 4 (5).

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad \text{KAAVA 4}$$

$R_{si}$ = sisäpuolen pintavastus

$R_1, R_2 \dots R_n$ =eri rakennekerrosten lämmönvastusten suunnitteluarvoja

$R_{se}$ =ulkopuolen pintavastus

Homogeenisista ja epähomogeenisista rakenneosista koostuvan rakenneosan kokonaislämmönvastus lasketaan lämmönvastuksen ylä- ja alalikiarvojen keskiarvona kaavan 5 mukaisesti (5).

$$R_T = \frac{(R'_T + R''_T)}{2} \quad \text{KAAVA 5}$$

Ylälikiarvo  $R'_T$  saadaan laskemalla rakenteen lämmönvastus olettamalla lämpövirta rakenteen läpi kohtisuoraan ja yksidimensionaalisenä. Eri alueet yhdistetään kaavan 6 mukaan (5).

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \quad \text{KAAVA 6}$$

$R_{Ta}, R_{Tb} \dots R_{Tq}$ =jokaisen osa-alueen kokonaislämmönvastuksia kaavan 4 mukaan

$f_a, f_b \dots f_q$ =osa-alueiden pinta-alaosuudet

Kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo  $R''_T$  saadaan vastaavasti olettamalla jokainen rakenteen ulko- ja sisäpinnan suuntainen taso omaksi isotermiseksi kokonaisuudekseen. Tällöin lasketaan rakenneosan lämpöteknisesti epähomogeenisille kerroksille kokonaislämmönvastus kaavalla 7 (5).

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}}$$

KAAVA 7

Tämän jälkeen lasketaan rakenneosan alalikiarvo kaavan 4 mukaisesti

$$R''_T = R_{si} + R_{j1} + \dots + R_{jn} + R_{se}$$

Rakenneosan korjaamaton lämmönläpäisykerroin U saadaan kokonaislämmönvastuksen käänteislukuna kaavan 8 mukaisesti (5).

$$U = \frac{1}{R_T}$$

KAAVA8

## 2.2. Korjattu kokonaislämmönvastus

Rakenneosan korjattu U-arvo  $U_c$  saadaan lisäämällä korjaamattomaan arvoon korjaustermi  $\Delta U$  kaavalla 9 (5).

$$U_c = U + \Delta U$$

KAAVA 9

Korjaustermiin  $\Delta U$  lasketaan yhtälöstä kaavalla 10 (5).

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$$

KAAVA 10

$\Delta U_g$ =ilmarakojen korjaustekijä

$\Delta U_f$ =mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä

$\Delta U_r$ =käännettyjen kattojen korjaustekijä

Ilmarakojen korjaustekijässä otetaan huomioon rakenteen rakenneosassa olevien ilmarakojen aiheuttama lisäys säteily- ja konvektiolämmönsiirtoon. Näitä saattavat aiheuttaa esimerkiksi lämmöneristetuotteen mittavaihtelut, asentamisessa tulevat ja itse rakenteessa olevat epäsäännöllisyydet ja mittatoleranssit.(5.)



Korjauskertoimessa käytetään korjaustasoja määrittämään tarvittavan korjauksen määrä. Näiden tasojen määritelmät löytyvät Standardin SFS-ENISO 6946 taulukosta D.1, joka näkyy kuvassa 1.

Korjaus-taso	Ilmaraon kuvaus	$\Delta U''$ W/(m <sup>2</sup> ·K)
0	Lämmöneristeessä ei ole ilmarakoja tai on vain vähäisiä ilmarakoja, joilla ei ole merkittävää vaikutusta lämmönläpäisykertoimeen.	0,00
1	On lämmöneristeen läpäiseviä ilmarakoja, jotka eivät aiheuta ilman kiertokulkua lämmöneristeen lämpimän ja kylmän puolen välillä.	0,01
2	On lämmöneristeen läpäiseviä ilmarakoja, jotka aiheuttavat ilman kiertokulkua lämmöneristeen lämpimän ja kylmän puolen välillä.	0,04

KUVA 1. Ilmarakojen korjauskerroin  $\Delta U'$

Korjaustason valinnan jälkeen korjaustekijä  $\Delta U_g$  lasketaan yhtälöstä

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

$R_1$ = kaavan 4 mukaisesti laskettu ilmarakoja sisältävän kerroksen lämmönvastus

$R_{T,h}$ =rakenneosan kokonaislämmönvastus, jossa ei ole otettu huomioon kylmäsiltoja

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä lasketaanlikiarvomenettelyn mukaan. Lämmöneristekerroksen läpäisevistä kiinnikkeistä, kuten muuraussiteistä, katon tai kattorakenteiden kiinnikkeistä aiheutuva korjaus saadaan kaavalla 11 (5).

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

KAAVA 11

$\alpha$ =kerroin, jonka arvo on  $0,8 * \frac{d_1}{d_0}$

$\lambda_f$ =kiinnikkeenlämmöjohtavuus

$n_f$ =kiinnikkeiden lukumäärä neliömetrillä

$A_f$ =yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala

$d_0$ =sen lämmöneristekerroksen paksuus, jossa kiinnike on

$d_1$ =lämmöeristekerroksen läpäisevän kiinnikkeen pituus

$R_1$ =lämmönvastus kerrokselle, jossa kiinnike on

$R_{T,h}$ = rakenneosan kokonaislämmönvastus, jossa ei ole otettu huomioon kylmäsiltoja

Mekaanisten kiinnikkeiden korjauskerrointa ei tarvita, mikäli kiinnikkeen lämmönjohtavuus on pienempi kuin  $1 \frac{W}{m \cdot K}$ . Mikäli kiinnikkeen pituus on suurempi kuin eristekerroksen paksuus, kertoimen  $\alpha$  arvo on 0,8.

Käännettyjen kattojen korjaustekijällä  $\Delta U_r$  otetaan huomioon ylimääräinen lämpöhäviö, joka syntyy kun sadevesi virtaa lämmöneristeen väleistä vedeneristyksen pinnalle. Tämä korjaustekijä saadaan kaavalla 12 (5).

$$\Delta U_r = p f x * \left(\frac{R_1}{R_T}\right)^2$$

KAAVA 12

$p$ =lämmityskauden keskimääräinen sateen intensiteetti mm/vrk

$f$  = korjauskerroin, jolla saadaan selville vedeneristyksen pinnalle pääsevä osuus sadevedestä

$x$  =korjauskerroin, joka kuvaa sadeveden virtauksesta vedeneristyksen pinnalle aiheututta kasvanutta lämpöhäviötä [ $W \cdot crk/m^2 \cdot K \cdot mm$ ]

$R_1$ =vedeneristyksen yläpuolella olevan lämmöneristekerroksen lämmönvastus

$R_T$ =rakenteen kokonaislämmönvastus ennen korjauksia

Lämmityskauden keskimääräinen sateen intensiteetti voidaan määrittää esimerkiksi alueella sääasemalla mitatuista keskimääräisistä sademääristä tai paikallisissa, alueellisissa tai kansallisissa määräyksissä annetuista ohjeista. Määrittämiseen voidaan käyttää myös muita mittaustuloksia, mikäli niiden paikkansapitävyys voidaan todentaa.(5.)

Kerroin  $f \cdot x$  määritetään eristyskerrosten lukumäärä, saumojen tyyppi ja eristeen yläpuolinen suojaus huomioon ottaen. Esimerkkejä kertoimen valintaan löytyy RIL 225 taulukosta 6.2 (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Esimerkki kertoimen  $f \cdot x$  valitsemiseksi (5)

Eristyskerrokset		Pintarakenne	Kerroin $f \cdot x$
Lukumäärä	Pontit		
1	Ei	Avoim	0,04
2 tai useampia	Ei	Avoim	0,03
1 tai useampia	Puoli- tai kokopontit	Avoim	0,03
1	Ei	Suljettu	0,02
2 tai useampia	Puoli- tai kokopontit	Suljettu	0,02

Avoim = maa-aineksesta tehty pinta esim. sora  
Suljettu = tiivis pinta, esim. betoni tai asfaltti

## 2.3 Rayleigh'n luku

Tietyissä tilanteissa lämpötilaero eristeen sisä- ja ulkopuolella, eristeen paksuus ja ilmanläpäisevyys saattavat aiheuttaa tilanteen, jossa luonnollinen konvektio saattaa heikentää rakenteen eristyskykyä. Luonnollisen konvektion mahdollisuutta eristyksessä tarkastellaan modifioidun Rayleigh'n luvun avulla. Tämä ei vaikuta U-arvoon ja lasketaan erillisenä tarkasteluna. Mikäli saatu luku ylittää määritellyt raja-arvot, on syytä muuttaa rakenteessa jotakin edellä mainittuja luonnolliseen konvektioon vaikuttavia tekijöitä edullisempaan suuntaan.(5.)

Modifioitu Rayleigh'n luku saadaan kaavasta 13.(5.)

$$Ra_m = 3 \times 10^6 \frac{dk\Delta T}{\lambda}$$

KAAVA 13

$\Delta T$  = lämpötilaero tarkasteltavan eristeen yli [K]

$d$  = tarkasteltavan eristeen paksuus [m]

$k$  = tarkasteltavan eristeen permeabiliteetti [m<sup>2</sup>]

$\lambda$  = tarkasteltavan eristeen lämmönjohtavuus [W/mK]

kerroin  $3 \times 10^6$  perustuu ilman ominaisuuksiin lämpötilassa 10°C

Permeabiliteetti  $k$  lasketaan kaavasta 14.(5).

$$k = \frac{\eta}{r}$$

KAAVA 14

$r$  = tarkasteltavan eristeen ilmanläpäisyn ominaisvastus standardin ISO 9053 tai EN 29053 mukaan [ $\text{kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ]

$\eta$  = ilman dynaaminen viskositeetti vakio­lämpötilassa [ $\text{Ns}/\text{m}^2$ ]

Ilman lämpötilaa  $10^\circ\text{C}$  tarkasteltaessa dynaaminen viskositeetti on  $17,5 \cdot 10^{-6} \text{Ns}/\text{m}^2$

Lämmöneristeiden valmistajat ilmoittavat tuotteiden ilmanläpäisevyysominaisuuden ilmanläpäisevyytenä  $L$  [ $\text{m}^3/(\text{msPa})$ ]. Tämä on kaavassa tarvittavan ominaisvastuksen  $r$  käänteisarvo. (5).

Rakennekohtaisesti laskettavalle Rayleigh'n luvulle määritellyt kriittiset arvot on esitetty EN ISO 10456 taulukossa 2 (taulukko 2). Mikäli näitä ei ylitetä, luonnollisesta konvektiosta johtuvia korjauksia ei tarvitse tehdä. (5).

*TAULUKKO 2. Kriittiset modifioidut Rayleigh'n luvut*

Lämpövirran suunta <sup>a</sup>	$Ra_m$
Vaakasuoraan	2,5
Ylöspäin, avoin pinta	15
Ylöspäin, tuulensuojattu	30

<sup>a</sup> Lineaarista interpolaatiota voidaan käyttää kallistetuille rakenteille ( $\cos \theta$ , missä vaakasuoraan  $\theta=0$ ).

# 3 YMPÄRISTÖSELOSTEET

RT-ympäristöselosteet noudattavat kansainvälisiä standardeja ISO 14020 ja ISO 14040 ja sisältävät vertailukelpoista ympäristötietoa rakennustuotteista. Niiden tarkoituksena on edistää ekologista ajattelua rakentamisessa antamalla tietoa eri rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista rakentajille, suunnittelijoille ja rakennusten käyttäjille. Menetelmäohjeet on kehitetty yhdessä RakennusteollisuusRy:n ja Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen sekä rakennusalan yritysten kanssa. Ympäristöselosteiden taustatiedot hyväksyy tekninen asiantuntija ja lopulliset selosteet hyväksyy Rakennustietosäätiön puolueeton Ympäristöselostetoimikunta. Seloste on voimassa kolme vuotta edellyttäen, ettei tuotantoprosessissa tai tuotteen koostumuksessa tapahdu olennaisia muutoksia. Esimerkki ympäristöprofiilista on kuvassa 2.(6.)

## 2. TUOTTEEN YMPÄRISTÖPROFIILI

Kattaa tuotteen elinkaaren vaiheet raaka-ainehankinnasta tuotteen valmistaneen tehtaan portille.  
2.1 RESURSSIEN KÄYTTÖ

Energia	MJ/kg
Energian käyttö	
Uusiutumattoman energian kulutus	6,2
Uusiutuvan energian kulutus	6,8
Energia kuljetuksissa ja prosesseissa	13,0

Kuljetusenergia *	MJ/kg
Energia kuljetuksissa	Ei eritelty

Prosessienergia *	MJ/kg
Sähköenergian kulutus prosesseissa	Ei eritelty
Fossiilisen energian kulutus prosesseissa	Ei eritelty
Bioenergian kulutus prosesseissa	Ei eritelty
Energia prosesseissa yhteensä	Ei eritelty

Raaka-aineiden energiasisältö	MJ/kg
Fossiilisen energian sisältö raaka-aineissa	0,064
Bioenergian sisältö raaka-aineissa	20
Raaka-aineiden energiasisältö	20,1

\*Vapaaehtoisia ilmoitettavia  
\*Ilmoitettu, koska raaka-ainetta käytetään myös polttoaineena

Raaka-aineet	g/kg
Raaka-aineiden kulutus	
Uusiutumattomat luonnon materiaalit	320
Uusiutuvat luonnon materiaalit	1370
Pilovirrat	Ei määritelty
Raaka-aineet yhteensä	1690

### 2.2 PÄÄSTÖT

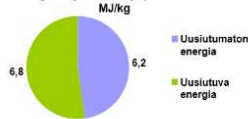
Päästöt ilmaan	g/kg
CO <sub>2</sub>	400
CO	3,7
SO <sub>2</sub>	1,1
NO <sub>x</sub>	2,3
CH <sub>4</sub>	0,74
N <sub>2</sub> O	0,021
NM VOC	0,55
PM <sub>10</sub>	0,58
Raskasmetallit (Hg, Cd, Pb, As, Cr, Zn, Ti)	0,98*10 <sup>-3</sup>
Pöly	0,028
Muut hiukkaset	Ei määritelty

Päästöt veteen	
COD	13
BOD	5,9
P <sub>tot</sub>	0,010
N <sub>tot</sub>	0,050
Kiintoaines	1,8

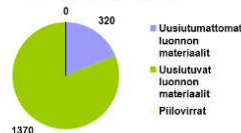
Prosessijätteet <sup>1</sup>	
Kaatopaikkajätteet	1,4
Ongeimajätteet	0,066

<sup>1</sup>Sisältävät teollisuusjätteen ja yhdyskuntajätteen.

Energia kuljetuksissa ja prosesseissa MJ/kg



Raaka-aineiden kulutus g/kg



## 3. TUOTTEEN MUUT YMPÄRISTÖNÄKÖKOHDAT

### RAKENTAMINEN

#### Tuotteen kuljetus

Hukka työmaalla

#### Sisälmaemissiot

- Suomen Kultilevy Oy:n valmistama huokoinen Leijonalevy kuuluu Rakennusmateriaalien päästöluokkaan M1. Lisätietoja [www.rts.fi](http://www.rts.fi).

### RISKIT

#### KÄYTTÖIKÄ

#### HUOLTO JA KUNNOSSAPITO

#### LOPPUSIJOTUS

##### Kierrätys

- Ehyt hyväkuntoinen levy voidaan käyttää uudelleen levytuotteena tai polttaa soveltavassa lämpökattilassa.

##### Hyödynnettävä energia

- Voidaan hyödyntää energiana
- Kultilevyn polttoarvo 20 MJ/kg

##### Jätteen käsittely

- Voidaan vietiä tavalliselle kaatopaikalle. Lisätietoja on saatavissa valmistajalta ja viranomaisilta.

#### LISÄTIEDOT

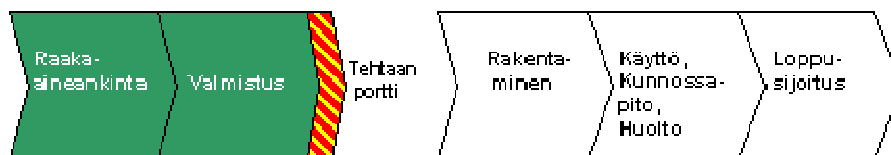
KUVA 2. Esimerkki ympäristöprofiilista

Resurssien käyttöön selosteessa kuuluvat energia ja raaka-aineet. Kuljetuksiin ja prosesseihin kulutettu energia ilmoitetaan yhteismäärinä tai vapaaehtoisesti eriteltynä. Raaka-aineiden kulutukseen ei lasketa vettä. Vesimäärä ilmoitetaan taustaraporteissa, mutta ei valmiissa ympäristöselosteessa.(6.)

Päästöissä on eriteltynä ilmaan ja veteen tuotetut päästöt sekä prosessijätteet. Määrät ilmoitetaan niin tarkkaan, että niitä voidaan käyttää vertailuun. N<sub>2</sub>O-, hiukkas- ja raskasmetallipäästöt ilmoitetaan, mikäli niitä syntyy mitattavissa oleva määrä.(6.)

Muissa selosteen ympäristönäkökohtissa otetaan kantaa rakentamiseen, riskeihin, käyttöikään, huoltoon ja kunnossapitoon sekä loppusijoitukseen. Näissä voidaan kuvata tietoja yksityiskohtaisesti yrityksen ja tuotteen kannalta. Rakentamien on eriteltynä tuotteen kuljetukseen, hukkaan työmaalla ja sisäilmaemissioihin. Nämä tiedot ovat kuitenkin vapaaehtoisia ilmoitettavia. Tuotteen riskit ovat pakollisia ilmoitettavia, mikäli tuotteella on käyttöturvallisuustiedote.(6.)

RT-ympäristöselosteen ympäristöprofiili kattaa tuotteen elinkaaren vaiheet raaka-ainehankinnasta valmiiksi tuotteeksi asti. Ympäristöprofiili eiota suoraan kantaa tuotteen kuljetuksesta työmaalle, asentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta ja loppusijoituksesta ja kierrätyksestä syntyviä päästöjä tai kuluja, vaan kattaa ainoastaan tuotteen elinkaaren tehtaan portille kuvan 3 mukaisesti.(6.)



*KUVA 3. Ympäristöselosteen kattama osa tuotteen elinkaaresta(6.)i*

RT-ympäristöselosteessa annetusta tuotteen ympäristöprofiilista löytyvät määrät on ilmoitettu valmista tuotekilogrammaa kohden. Näiden

tietojen käyttämiseksi materiaalien vertailuun on laskettava  
materiaalipaksuuden ja tiheyden perusteella paino kilogrammoina  
rakenneneiliötä kohden. Massa  $m$  saadaan kaavalla 15.(7.)

$$m = \rho * V$$

KAAVA 15

$\rho$ = aineen tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$V$ = aineen tilavuus [m<sup>3</sup>]

.

## 4 LASKENTAOHJELMAN KEHITTÄMINEN

### 4.1 Esivalmistelut

Tilaaajan toiveena oli rakenteen U-arvot ja materiaalien ympäristövaikutukset ilmoittava laskentaohjelma, jota pystytään levittämään yhteistyökumppaneille helpottamaan heidän materiaalivalintojensa vertailua. Laskurin täytyi siis olla helppokäyttöinen ja mahdollistaa nopea vertailu eri materiaaleilla saatavien lämmönläpäisyominaisuuksien ja niiden valmistuksen aiheuttamien ympäristörasituksien välillä. Tärkeää oli myös että laskuri helpottaa uusien U-arvojen laskentaohjeiden käyttöönottoa olemalla ajan tasalla tuoreimman RIL-laskentaohjeen kanssa. Olennaista oli myös, että ohjelma toimii kaikilla alustoilla, joita yhteistyökumppanit käyttävät. Tästä syystä päädyttiin tekemään ohjelma Excel-taulukoksi, joka on mahdollista avata ja käyttää lähes kaikilla nykyaikaisilla käyttöjärjestelmillä ja tietokoneilla.

Käytettäväksi U-arvon laskentastandardiksi sovittiin aloitushetkellä vielä valmisteilla ollut uusin rakennusinsinööriunionin ohje RIL 225 – Rakennusosien lämmönläpäisykertoimen laskenta. Aloitushetkellä materiaalin ympäristövaikutuksille ei ollut olemassa erityisiä laskentaohjeita, joten käytettäväksi sovittiin RT-ympäristöselosteiden pohjalta laskettavat päästö määrät rakennusneliötä kohden.

### 4.2 Materiaalitietojen selvittäminen

Valittavat materiaalit käytiin läpi tilaaajan kanssa ja valittiin sellaiset, joille löytyy voimassa oleva ympäristöseloste ja joista pystyy kokoamaan yleisimmin käytetyt pientalon rakenteet. Materiaalien ominaisuudet kerättiin RT-ympäristöselosteista sekä valmistajien ilmoittamista materiaalitiedoista. Nämä tiedot kerättiin yhteen taulukkoon, jonka päivittäminen myöhemmin on mahdollista esimerkiksi lisäämällä materiaaleja ja muuttamalla materiaalien ominaisuuksia. Esimerkkiotos materiaalitaulukosta on kuvassa 4.



MATERIAALITIEDOT

Materiaali	$\lambda$ [W/m <sup>2</sup> K]	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> [g/kg]	Ilmanläpäisevyys	Eriste? [kyllä, Ei], ZeHöyrynsulku	Uusiutuvien luonnonvarojen kulutus raaka-aineena g/kg	Uusiutumattomien luonnonvarojen kulutus raaka- aineena g/kg	Uusiutuvan energian kulutus MJ/kg	Uusiutumattoman energian kulutus MJ/kg
				x10 <sup>6</sup> (Eristeille)					
0 Materiaali	0	0	0	0		0	0	0	0
1 Ekville puhallusvillille (alkoholitt)	0,04	35	180	100		1	18,9	202	0,25
2 Ekville puhallusvillille (tasainen yläpohja)	0,039	32	180	100		1	18,9	202	0,25
3 Ekville puhallusvillille (vino yläpohja)	0,04	45	180	100		1	18,9	202	0,25
4 Ekvillelevy	0,037	28	230	100		1	18,9	202	0,25
5 Kiviälevy	0,036	30,3	970	100		1	184	1780	1,4

**KUVA 4. Esimerkki materiaalitaulukosta**

Materiaalitietotaulukkoon valittiin syötettäväksi materiaaleista seuraavat lähtötiedot laskentaa varten:

- Materiaalin nimi, jolla voidaan tunnistaa mistä materiaalista on kyse
- Lambda design -arvo, jonka materiaalivalmistaja on ilmoittanut U-arvon laskemista varten.
- materiaalin tiheys kilogrammoina kuutiometrille ympäristölaskentaa varten
- ilmanläpäisevyys (tämä tieto tarvitaan eristeille, U-arvon korjaustekijöitä ja Rayleigh'n lukua laskettaessa)
- uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen kulutus raaka-aineena ympäristölaskentaa varten
- uusiutuvan ja uusiutumattoman energian käyttö valmistuksessa ympäristölaskentaa varten.
- CO<sub>2</sub>-päästöt valmista tuotekiloa kohti ympäristölaskentaa varten
- materiaalitaulukkoon tunnisteeksi myös numerokoodilla, onko kyseessä eriste, höyrynsulku tai joku muu rakenneosa.

### 4.3.Laskentatyökalun kehittäminen

Laskentatyökaluun tehtiin ensimmäiseksi etusivu, josta voidaan valita, siirrytäänkö laskentaan vai ohjesivulle. Ohjesivulla kerrotaan laskentasisivun valinnoista ja käytetyistä standardeista sekä korjaustasojen, eristeen suojaustavan ja Rayleigh'n luvun merkitys. Tämä sivu näkyy liitteessä 1.

Laskentaan-linkki vie käyttäjän Lähtötiedot ja tulokset -sivulle, jonka tarkoitus on toimia käyttöliittymänä, josta tehdään valinnat ja nähdään tulokset suoraan. Tällä sivulla on valintalista, josta valitaan ensin, onko laskennan kohteena ulkoseinä, yläpohja vai alapohja. Tämän jälkeen voidaan valita alavetovalikon listasta materiaalitulukoon syötetyistä materiaaleista rakenne-kerroksia yhdestä kahdeksaan kappaletta. Rakennekerroksen riviltä annetaan myös paksuus ja valitaan viimeisestä alavetovalikosta, onko rakennekerros runkopuiden tai koolauksen välissä. Tämän jälkeen valitaan omista valikoistaan eristeen asennustarkkuus, onko rakenteessa eristeen läpäiseviä kiinnikkeitä ja onko rakenteessa tuulensuoja. Esimerkki aloitussivusta on kuvassa 5. Helpommin tarkasteltava suurempi kuva on liitteessä 1.

**Lähtötiedot ja tulokset**

RAKENNE:

Kohde: 1 Ulkoseinä

Materiaalit	Paksuus	Rungon sisällä
9 Tuulensuoja, kuitulevy	25	1 Ei
1 Ekovilla puhallusvilla (ulkoseinä)	173	2 Runko
E Höyrynsulku	0,02	1 Ei
1 Ekovilla puhallusvilla (ulkoseinä)	48	3 Koolaus
8 Kipsilevy	13	1 Ei
0 Materiaali	0	1 Ei
0 Materiaali	0	1 Ei
0 Materiaali	0	1 Ei

Eristeen asennustarkkuus: 2. Korjaustaso 1

Eristeen läpäisevät kiinnikkeet: Ei kiinnikkeitä

Eristyksen suojaustapa: Tuulensuojattu

Tallenna laskelma  
**Mineraalivilla**

Tallenna laskelma  
**Ekovilla**

Tallenna laskelma  
**Polyuretaani**

Vertaile laskelmia

Tulokset:

U-Arvo (Korjauskertoimilla)	0,17	W/m <sup>2</sup> K
U-Arvo (Ilman korjauskertoimia)	0,17	W/m <sup>2</sup> K

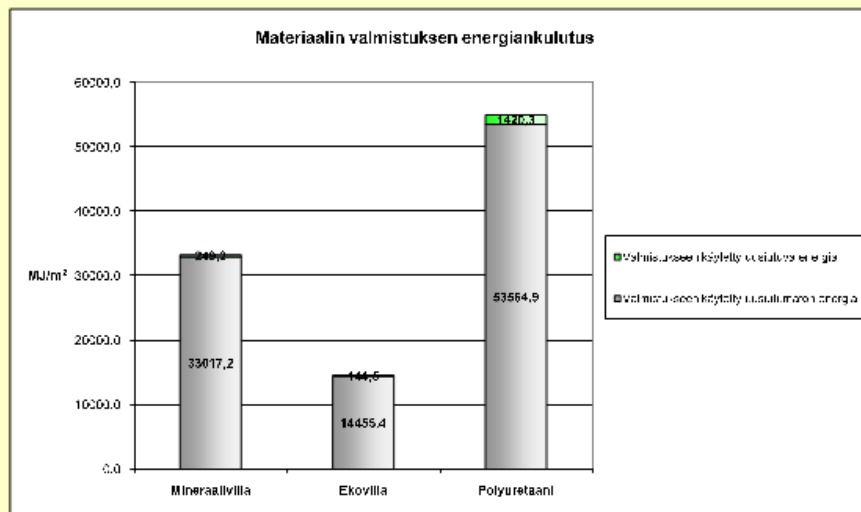
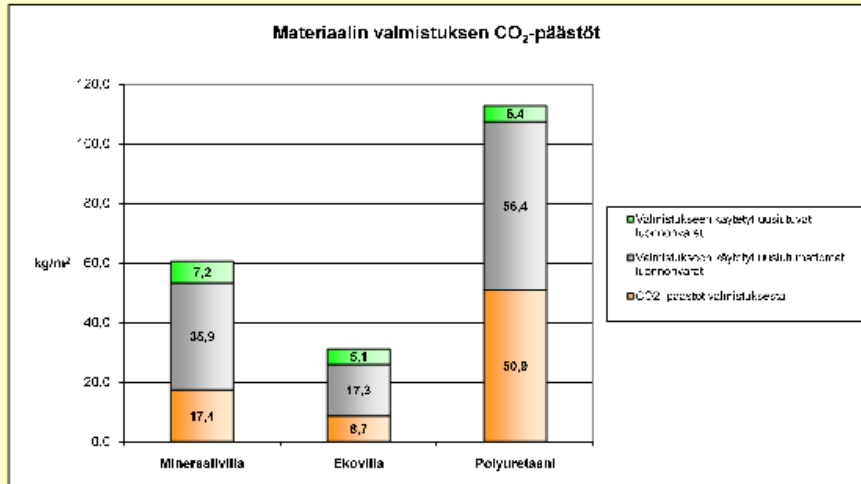
Materiaalien valmistuksen ympäristövaikutukset rakenneliötä kohden	
CO <sub>2</sub> -päästöt valmistuksesta	7,33 Kg/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetyt uusiutumattomat luonnonvarat	14,07 Kg/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetyt uusiutuvat luonnonvarat	9,67 Kg/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetty uusiutumaton energia	11953,8 MJ/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetty uusiutuva energia	122,6 MJ/m <sup>2</sup>

Rakenteen modifioitu Rayleigh'n luku	1,14	OK
Kriittinen modifioitu Rayleigh'n luku	2,5	

### KUVA5. Valmiin laskentaohjelman laskentasisi

Valintoja tehdessä tulokset päivittyvät valintalistan alapuolella joka valinnan jälkeen. Lopullisen laskelman ympäristövaikutukset voi myös tallentaa erilliselle vertailusivulle muistiin, mikäli tarkoituksena on vertailla erilaisten rakenteiden eroja. Vertailulaskelmat nimettiin eri eristetyyppien mukaan tilaajan toivomuksesta, koska tavoitteena oli herättää vertailemaan eri eristetyyppien ympäristövaikutuksia keskenään. Vertailusivulla tulokset näkyvät taulukoituna sekä palkkikaaviona, josta esimerkki on kuvassa 6. Tämä sivu on suurempana liitteessä 2.

Materiaalin valmistuksen ympäristövaikutukset rakenneliötä kohden			
	Mineraalivilla	Ekovilla	Polyuretaani
CO <sub>2</sub> -päästöt valmistuksesta	17,4	8,7	50,9
Valmistukseen käytetyt uusiutumattomat luonnonvarat	35,9	17,3	56,4
Valmistukseen käytetyt uusiutuvat luonnonvarat	7,2	5,1	5,4
	Mineraalivilla	Ekovilla	Polyuretaani
Valmistukseen käytetty uusiutumaton energia	33017,2	14455,4	53564,9
Valmistukseen käytetty uusiutuva energia	249,2	144,5	1420,3



KUVA6. Vertailusivu

Laskenta tapahtuu taulukoissa materiaalitalukon vieressä, johon kerätään tiedot käyttäjän syöttämän rakenteen materiaaleista. Ohjelmoitujen kaavojen avulla korjaamattoman U-arvon tulokset valittujen materiaalien perusteella. Erikseen lasketaan korjaustermi  $\Delta U$ , johon vaikuttavat materiaalivalinnat sekä niiden ulkopuolella omissa taulukoissaan laskettavat korjaustekijät suojaustavasta, korjaustasosta ja eristeen läpäisevistä kiinnikkeistä

riippuen. Laskentaohjeessa on määritelty myös käännetuille katoille korjaustekijä, joka jätettiin tästä laskentaohjelmasta pois. Tilaajan kanssa asiaa mietittäessä tultiin siihen lopputulokseen, ettei siihen kannata käyttää aikaa, koska se ei tule olemaan tilaajalle tarpeellinen. Korjattu ja korjaamaton U-arvo näytetään molemmat, jotta käyttäjän on mahdollista tarvittaessa vertailla myös erilaisten asennustapojen, kiinnikkeiden ja suojaustavan vaikutusta lopulliseen U-arvoon.

Rayleigh'n luku lasketaan omalla sivullaan, johon kerätään lähtötiedot valintojen perusteella. Lähtötiedot taulukoidaan tälle sivulle erikseen, jotta Rayleigh'n luvun laskemisen vaatimat seikat tulevat huomioitua. Taulukossa otetaan huomioon höyrynsulkujen sijainnit ja eristeiden sijaintikerrokset. Tulossivu hakee tältä sivulta lopullisen lasketun arvon sekä vertailuarvon rakennetyypistä riippuen. Lisäksi etusivu kertoo, onko saatu arvo laskentaohjeen hyväksytyissä rajoissa ja kehottaa kokeilemaan toisen tyyppistä rakennetta, mikäli raja-arvo ylittyy.

Omalta sivultaan löytyy myös runkolaskenta, jossa lasketaan runkojen ja koolausten pinta-alasuhteet välissä olevaan materiaaliin. Tämä tieto haetaan sivulta U-arvon laskentataulukon, jotta laskenta on mahdollisimman tarkka.

Päästölaskenta tapahtuu keräämällä käytettyjen materiaalien päästötiedot taulukon, jossa ne kerrotaan syötetyistä paksuuksista ja materiaaleille annetuista tiheyksistä lasketuilla painoilla. Tulokset ilmoitetaan etusivulla, jossa näkyvät hiilidioksidipäästöt ja luonnonvarojen käyttö grammoina rakenneliometriä kohden sekä käytetty energia tyypeittäin megajouleina rakenneliometriä kohden.

Laskentaohjelman toimintaa verrattiin RIL-225-julkaisun yhteydessä annettuihin esimerkkilaskelmiin, jotta voitiin varmistua tulosten riittävästä tarkkuudesta. Tulosten yhdenpitävyyttä esimerkkilaskelmien kanssa seurattiin yhdessä tilaajan kanssa. Esimerkkilaskelmien lähtötietoja syötettiin tekijän ja tilaajan toimesta laskentaohjelmaan, minkä jälkeen lopputuloksia vertailtiin ja välituloksia seuraamalla ilmi tulleet virheet kaavoissa ja

materiaalitiedoissa korjattiin. Tarkistuksia tehtiin koko kehitystyön ajan, jotta välttyttäisiin myöhemmästä muokkauksesta syntyviltä virheiltä. Vertailua jatkettiin, kunnes tilaaja ja tekijä olivat tyytyväisiä tulosten tarkkuuteen.

## 5 YHTEENVETO

Tavoitteena työssä oli kehittää tilaajalle U-arvojen ja materiaalien ympäristövaikutusten vertailuun soveltuva laskentaohjelma, joka on käyttöliittymältään yksinkertainen ja antaa luotettavia tuloksia. Lisäksi haluttiin mahdollisuus vertailla eri materiaalilaskelmia keskenään ja siisti ulkoasu. Laskentaohjelma oli myös toteutettava alustalla, joka toimii mahdollisimman monella käyttöjärjestelmällä. Laskentaohjelman haluttiin käyttävän uusinta, vielä keskeneräistä laskentaohjetta lämmöneristävyyksille.

Työn tavoitteet tulivat tilaajan osalta täytetyksi, edellä mainitut ominaisuudet saatiin mukaan ja uuden laskentaohjeen mukaiseksi. Alustana käytettiin Excel-taulukkoa, joka voidaan avata lähes jokaisella koneella. Ulkoasu on yksinkertainen ja siisti, laskentasivulla olevat osalle mahdollisesti tuntemattomammat valinnat selitettiin erillisellä ohjesivulla. Käyttöliittymä saatiin niin yksinkertaiseksi kuin monimutkaiselle laskentaohjelmalle on mahdollista. Ekovilla Oy on ottanut laskentaohjelman käyttöönsä ja jatkaa vielä päivitystä tarvittaessa tuotteiden ja laskentamenetelmien muuttuessa.

Työ oli mielenkiintoinen toteutettava ja vaati ajallisesti paljon panostusta. Uusien, monelle vielä laskentatyökalun valmistusvaiheessa tuntemattomien laskentaohjeiden käyttäminen asetti haasteita, mutta tällainen tilanne oli kuitenkin omiaan auttamaan omien resurssien käytön oppimisessa. Itsenäinen työskentely, tiedonhaku ja määräystekstien tulkitseminen tulivat tutuksi. Osaltaan auttoi myös loppuvaiheessa mukaan tullut ulkopuolinen tarkistaja, joka välitti Ekovilla Oyn kautta palautetta ja varmisti, että laskentaohjelma on vaatimusten mukainen.

Microsoft Excel alustana aiheutti myös haasteita. Osaltaan ohjelman ominaisuuksia täytyi kiertää useilla peräkkäisillä laskentakaavoilla, jotta haluttuun lopputulokseen päästiin. Excelin ominaisuuksien selvittäminen ja kiertäminen oli kuitenkin erittäin hyödyllistä. Taulukkolaskenta on kuitenkin erittäin yleinen työkalu ja sen perusteellinen tuntemus auttaa esimerkiksi työasioissa toistuvien laskentaprosessien nopeuttamisessa.

Työn aikataulu venyi johtuen uuden RIL 225 -ohjeen luonnosvaiheessa olemisesta johtuen. Työtä myös tarkistutettiin ulkopuolisella asiantuntijalla, joka oli perehtynyt uusiin laskentaohjeisiin, jotta välttyttäisiin tulkintavirheiltä. Aikatauluttaminen oli haastavaa paitsi luonnosvaiheessa olevan ohjeistuksen ja ulkopuolisen tarkistuksen, myös tekijän palkkatyön ja elämäntilanteen yhteensovittamisen kanssa. Tämä puoli työstä olisi voinut onnistua huomattavasti paremminkin, mutta valmista tuli ja opetti henkilökohtaisten aikaresurssien käyttöä erittäin hyvin. Laskentaohjelma saatiin tilaajalle käyttöön järkevissä ajoissa ja siten, että tilaaja oli tyytyväinen. Raportointi venyi huomattavasti, mikä toisaalta auttoi siinä, että valmiista laskentaohjelmasta ehti saada palautetta. Ohjelma koettiin onnistuneeksi, vaikka ennen käyttöönottoa tilaaja päätti kuitenkin lisätä vielä mukaan laskentaohjelman valmistumisen jälkeen tulleet ohjeistukset päästölaskentaan.

Omalta osaltani olen tyytyväinen lopulliseen laskentaohjelmaan. Siihen on saatu paljon ominaisuuksia ja vaikeita kaavoja yksinkertaisen ja helppokäyttöisen ohjelman sisään. Työn tekeminen oli erittäin opettavaista ja auttoi ymmärtämään rakennusfysiikkaa ja sen tärkeyttä rakentamisessa.

Parantamisen varaa olisi ollut työn aikatauluttamisessa sekä kaavojen monimutkaisuudessa. Jälkikäteen katsottuna laskennan työstämisessä olisi joitain vaiheita voitu ohittaa yhdistelemällä ja kiertelemällä lisää Excelin ominaisuuksia ja siten säästää jonkin verran aikaa.



## LÄHTEET

1. Tietoa rakennusalasta. Rakennuslehti.Saatavissa:  
[http://www.rakennuslehti.fi/tietoa/rakennusmarkkinat\\_suomessa](http://www.rakennuslehti.fi/tietoa/rakennusmarkkinat_suomessa). Hakupäivä 20.1.2013.
2. Rakentaminen 2012. Valtiovarainministeriö.Saatavissa:  
[http://www.vm.fi/vm/fi/04\\_julkaisut\\_ja\\_asiakirjat/01\\_julkaisut/02\\_taloudelliset\\_katsaukset/20120130Rakent/RAKSURaportti\\_02022012.pdf](http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/01_julkaisut/02_taloudelliset_katsaukset/20120130Rakent/RAKSURaportti_02022012.pdf). Hakupäivä 20.1.2013.
3. RakMkD3. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma.  
Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 30.3.2011.
4. RakMk C4. 2002. Suomen rakentamismääräyskokoelma.  
Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä 30.5.2002.
5. RIL 225-2004. 2005.Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta.  
Ohje standardien SFS-EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 soveltamiseen.  
Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y.
6. RT-ympäristöseloste. Saatavissa:[www.rts.fi/ymparistoseloste](http://www.rts.fi/ymparistoseloste).  
Hakupäivä20.05.2011.
7. Peruskoulun fysiikka. Saatavissa:  
<http://opinnot.net/fysiikka/fyperuskoulu/index.php>. Hakupäivä 27.5.2013

Liite 1, Lähtötiedot ja tulokset -sivu

Lähtötiedot ja tulokset			
RAKENNE:			
Kohde:	1 Ulkoseinä		
Materiaalit		Paksuus	Rungon sisällä
9 Tuulensuoja, kuitulevy		25	1 Ei
1 Ekovilla puhallusvilla (ulkoseinä)		173	2 Runko
E Höyrynsulku		0,02	1 Ei
1 Ekovilla puhallusvilla (ulkoseinä)		48	3 Koolaus
8 Kipsilevy		13	1 Ei
0 Materiaali		0	1 Ei
0 Materiaali		0	1 Ei
0 Materiaali		0	1 Ei
Eristeen asennustarkkuus:	2. Korjaustaso 1		
Eristeen läpäisevät kiinnikkeet:	Ei kiinnikkeitä		
Eristyksen suojaustapa:	Tuulensuojattu		
		Tallenna laskelma Mineraalivilla	
		Tallenna laskelma Ekovilla	
		Tallenna laskelma Polyuretaani	
		Vertaile laskelmia	
Tulokset:			
U-Arvo (Korjauskertoimilla)		0,17	W/m <sup>2</sup> K
U-Arvo (Ilman korjauskertoimia)		0,17	W/m <sup>2</sup> K
Materiaalien valmistuksen ympäristövaikutukset rakenneliötä kohden			
CO <sub>2</sub> -päästöt valmistuksesta		7,33	Kg/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetyt uusiutumattomat luonnonvarat		14,07	Kg/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetyt uusiutuvat luonnonvarat		9,67	Kg/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetty uusiutumaton energia		11953,8	MJ/m <sup>2</sup>
Valmistukseen käytetty uusiutuva energia		122,6	MJ/m <sup>2</sup>
Rakenteen modifioitu Rayleigh'n luku		1,14	OK
Kriittinen modifioitu Rayleigh'n luku		2,5	

Liite 2, Vertailusivu

Materiaalien valmistuksen ympäristövaikutukset rakenneliötä kohden			
	Mineraalivilla	Ekovilla	Polyuretaani
CO <sub>2</sub> -päästöt valmistuksesta	17,4	8,7	50,9
Valmistukseen käytetyt uusiutumattomat luonnonvarat	35,9	17,3	56,4
Valmistukseen käytetyt uusiutuvat luonnonvarat	7,2	5,1	5,4
	Mineraalivilla	Ekovilla	Polyuretaani
Valmistukseen käytetty uusiutumaton energia	33017,2	14455,4	53564,9
Valmistukseen käytetty uusiutuva energia	249,2	144,5	1420,3

