
**Rintamamiestalon energiatehokkuuden parantaminen
saneerauksen yhteydessä**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Hämeen ammattikorkeakoulu, Visamäki syksy 2013

Teemu Vihersalo



Visamäki
Rakennusalan työnjohto
Rakennusalan työnjohto

Tekijä Teemu Vihersalo **Vuosi** 2013

Työn nimi Rintamamiestalon energiatehokkuuden parantaminen saneerauksen yhteydessä

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia rintamamiestalojen energiatehokkuuden parantamista eri vaihtoehdoilla, kun rakennukseen suoritetaan muita teknisiä tai rakenteellisia parannuksia/korjauksia.

Opinnäytetyön kohteeseen pyydettiin toimeksiantajan toimesta tekemään kuntoarvio. Opinnäytetyön kohteena oli perinteinen 1½-kerroksinen rintamamiestalo, joka sijaitsee Vantaalla ja on rakennettu vuonna 1958.

Opinnäytetyön tavoitteena oli käydä läpi erilaisia lisäeristämisvaihtoehtoja, niin ulkovaipan kuin ala- ja yläpohjankin osalta. Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli tarkastella eri vaihtoehtoja energiatehokkuuden parantamiseksi lisäeristämällä, rakennusfysiikkaa unohtamatta.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan lisäeristystä eri menetelmien kautta, jotka perustuvat D.O.F. Tech Oy:n DOF -lämpöohjelmasta saatuihin arvoihin. Lämpöohjelman avulla tarkasteltiin myös vanhojen ja uusien rakennevaihtoehtojen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Lämpöhäviö laskelmat perustuvat myös edellä mainittuun ohjelmaan. Lämpöhäviöistä koostettu vertailutaulukko on tehty Microsoft Excelillä.

Opinnäytetyön tuloksena toimeksiantajan kohteeseen valittiin eristysvaihtoehdot, jotka olivat eristävyydeltään ja toimivuudeltaan hyviä.

Johtopäätöksenä voisi sanoa, että lisäeristäminen on kannattavaa toteuttaa osana muita remontteja/korjauksia, ei pelkästään eristämisen ilosta.

Avainsanat

Rintamamiestalo
Lisäeristys
Energiatehokkuus

Sivut 45 s. + liitteet 20 s.

Visamäki
Degree Programme in Construction Management
Option

Author Teemu Vihersalo
Year 2013

Subject of Bachelor's thesis Improving energy-efficiency of veteran houses in renovation

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine different ways to improve the energy-efficiency of veteran houses, when renovation is required.

The target building is a traditional 1,5 storey veteran house. It was built in 1958 and it is located in Vantaa. A condition evaluation was made in the building.

The goal of this thesis was to examine different supplementary insulation variations in building exterior walls, the roof and base floor. Another aim was to examine different kind of methods to improve energy-efficiency in the veteran houses. Structures were also examined in terms of building physics.

All the structures and supplementary insulation were examined through various methods which are based on the values obtained from DOF Tech Oy's DOF Therm programme. The DOF Therm programme was also used to examine the heat and moisture distributions of old and new structural solutions. The calculations of the heat losses are based on the DOF Therm programme and are compiled in an Excel-based comparison table.

As a result of the thesis good and functional insulation solutions were selected in the target building. It can be concluded that the supplementary insulation is sensible when the house really needs a renovation. Otherwise supplementary insulation is not profitable.

Keywords Veteran house, energy-efficiency, supplementary insulation

Pages 45 p. + appendices 20 p.

TERMIT JA KÄSITTEET

Aineen hygroskooppisuus - kuvaa materiaalin kykyä sitoa itseensä ilman vesihöyryä tai luovuttaa tätä sitoutunutta kosteutta takaisin kun ilman suhteellinen kosteus muuttuu

Vesihöyryn diffuusio - on höyrymolekyylien itsenäistä ja satunnaista liikkumista ilmassa tai huokoisessa materiaalissa.

Konvektio - lämmön siirtymistä ilman tai nesteen mukana

Standardikäyttö - keskimääräisestä energiankulutuksesta laskennallisesti vakioitua energiankulutusta

E-luku - on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden.

λ -arvo - materiaalin lämmönjohtavuusarvo, yksikkö W/mK

U-arvo - lämmönläpäisykerroin, yksikkö W/m²K

Kastepiste - lämpötila, jossa ilmassa oleva kaasumainen vesi muuttuu nesteeksi.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RINTAMAMIESTALON HISTORIA.....	6
3	ENERGIATEHOKKUUS	7
3.1	Rakennusten energiatehokkuus	7
3.2	Energiatehokkuuden parantaminen korjaus- ja muutostöissä	8
3.2.1	Rakennusosakohtaiset vaatimukset	8
3.2.2	Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain	9
3.2.3	E-luku-vaatimus rakennusluokittain.....	9
4	RAKENTEEN U-ARVO JA SEN LASKEMINEN.....	10
	Rakenteen U-arvon laskeminen.....	10
4.1	Käsin ja laskentaohjelmalla lasketun U-arvon vertailu.....	11
5	RAKENNUSFYSIKAALISIA KÄSITTEITÄ	12
5.1	Kosteus.....	13
5.2	Kastepiste	13
5.3	Diffuusio.....	13
5.4	Materiaalin hygroskooppisuus	14
5.4.1	Sorptiokapasiteetti	14
5.4.2	Tehollinen Sorptiokapasiteetti	14
5.5	Konvektio	14
6	RINTAMAMIESTALON TYYPILLISET RAKENNETYYYPIT	15
6.1	Yläpohja	15
6.2	Ulkoseinä.....	15
6.3	Maanvarainen alapohja	16
6.4	Tuulettuva alapohja.....	17
7	OPINNÄYTETYÖN KOHDE JA RAKENTEET	18
7.1	Yläpohja	18
7.2	Ulkoseinä.....	19
7.3	Tuulettuva Alapohja.....	20
8	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN	21
8.1	Tarkastelussa käytettävien materiaalien tekniset ominaisuudet.....	22
8.2	Yläpohja	22
8.2.1	Yläpohjan lisäeristäminen puhallusvillalla.....	23
8.2.2	Yläpohjan lisäeristäminen levyvillalla	24
8.2.3	Yläpohjan eristeen korvaaminen kokonaan puhallusvillalla	25
8.3	Ulkoseinät.....	26
8.3.1	Ulkoseinien lisäeristäminen ulkopuolelta.....	26
8.3.2	Ulkoseinien lisäeristäminen sisäpuolelta.....	28
8.3.3	Ulkoseinien eristeen vaihto ulkopuolelta	30
8.4	Tuulettuva alapohja.....	31

8.4.1	Tuulettuvan alapohjan osittainen eristäminen	31
8.4.2	Tuulettuvan alapohjan lisäeristäminen sisäpuolelta vaihtoehto 1	32
8.4.3	Tuulettuvan alapohjan lisäeristäminen sisäpuolelta vaihtoehto 2	33
8.4.4	Tuulettuvan alapohjan eristeiden vaihto 1	33
8.4.5	Tuulettuvan alapohjan eristeiden vaihto 2	34
8.5	Maanvarainen alapohja	34
8.6	Ovet ja Ikkunat	35
9	KOHTEESEEN VALITUT LISÄERISTYSMENETELMÄT	37
9.1	Yläpohja	37
9.2	Ulkoseinä	37
9.3	Tuulettuva alapohja	38
10	LASKELMAT ENERGIATEHOKKUDEN PARANTUMISESTA	40
11	LASKELMAT TARKASTELUSSA OLLEILLA RAKENTEILLA	42
	LÄHTEET	44

Liite 1	Lämpöhäviölaskelma YP alkuperäinen
Liite 2	Lämpöhäviölaskelma YP 1
Liite 3	Lämpöhäviölaskelma YP 2
Liite 4	Lämpöhäviölaskelma YP 3
Liite 5	Lämpöhäviölaskelma YP 4
Liite 6	Lämpöhäviölaskelma YP As Oy alkuperäinen
Liite 7	Lämpöhäviölaskelma YP As Oy uusi
Liite 8	Lämpöhäviölaskelma US alkuperäinen
Liite 9	Lämpöhäviölaskelma US 1
Liite 10	Lämpöhäviölaskelma US 2
Liite 11	Lämpöhäviölaskelma US 3
Liite 12	Lämpöhäviölaskelma US 4
Liite 13	Lämpöhäviölaskelma US 4.2
Liite 14	Lämpöhäviölaskelma US As Oy alkuperäinen
Liite 15	Lämpöhäviölaskelma US As Oy uusi
Liite 16	Lämpöhäviölaskelma AP alkuperäinen
Liite 17	Lämpöhäviölaskelma AP 1
Liite 18	Lämpöhäviölaskelma AP 2
Liite 19	Lämpöhäviölaskelma AP 3
Liite 20	Lämpöhäviölaskelma AP 4

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on vertailla eri mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseksi rintamamiestaloissa suoritettavien saneerauksien yhteydessä. Opinnäytetyössä käsiteltävät lisäeristysvaihtoehdot täyttävät ympäristöministeriön asetuksessa 4/13 määrittelemät rakennusosakohtaiset vaatimukset, jotka astuivat voimaan 1.9.2013.

Opinnäytetyön kohde on 1½-kerroksinen rintamamiestalo, joka on rakennettu vuonna 1958 ja sijaitsee Vantaalla. Kohde oli suurin piirtein alkuperäisessä kunnossa. Opinnäytetyöhön sain aiheen toimeksiantajaltani tehdessämme kiinteistön kuntoarvion jälkeistä läpikäyntiä. Ulkoverhouksen osittainen huono kunto ja alkuperäisen vesi- ja viemärijärjestelmän uusimisen takia avattavat rakenteet herättivät toimeksiantajassa ajatuksen lisäeristämismahdollisuudesta rakenteiden uusimisen yhteydessä. Asiasta keskusteltuamme päätimme aloittaa kartoittamisen erilaisille vaihtoehdoille lisäeristämisen saralla. Opinnäytetyön lopussa on käyty läpi eristämismenetelmiä, jotka valittiin opinnäytetyön kohteeseen ja syitä miksi näin tehtiin.

Kohteen remontit suoritetaan kolmessa vaiheessa, ensimmäinen vaihe pitää sisällään alapohjan kunnostamisen, eristämisen, vesi- ja viemärijärjestelmän uusimisen sekä ulkoseinien sisäpuolisen ilmansulun lisäämisen. Ensimmäinen vaihe toteutetaan vuoden 2013 aikana. Toisessa vaiheessa tehdään ulkoseinien eristystyöt uusine ulkoverhouksineen. Toinen vaihe toteutetaan kevään 2014 aikana. Viimeisessä vaiheessa tehdään yläpohjan eristeiden vaihto ja se toteutetaan kesällä 2014.

Opinnäytetyössä käydään ensimmäiseksi läpi rintamamiestalojen yleistä historiaa. Tämän jälkeen avataan sanan energiatehokkuus merkitystä, josta siirrytään energiatehokkuuden parantamisen korjaus- ja muutostöissä osion pariin. Tässä osiossa käsitellään luvanvaraisten korjaus- ja muutostöihin liittyvää lainsäädäntöä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käydä läpi lähinnä rakennuksen ulkovaipan, ala- ja yläpohjan lisäeristämistä koskevia vaihtoehtoja, joita tarkastellaan lämpö- ja kosteusteknisesti.

2 RINTAMAMIESTALON HISTORIA

Rintamamiestalon historia ulottuu jälleenrakentamiskaudelle, joka alkoi 1940-luvun alkupuolella ja jatkui vielä sodan päätyttyä noin vuoteen 1953. Jälleenrakennuskausi muokkasi talotyyppistä kesto suosikin ja samalla mallilla rakennettiin jopa 60- ja 70-luvun vaihteeseen asti.

Sodan jälkeisessä Suomessa materiaali- ja asuntopula oli huutava. Kaikki saatavilla olleet teräs ja betoni menivät pääsääntöisesti sotateollisuuden käyttöön ja myöhemmässä vaiheessa muun teollisuuden.

Rintamamiestalo on ensimmäinen asuinrakennukseksi tehty pientalotyyppi, joka on rakennettu niin sanottuna rankorakenteena. Sen tarkoitus oli lievittää suurta asuntopulaa sodan jälkeisessä Suomessa. Talomalli suunniteltiin helposti rakennettavaksi ilman erikoistyökaluja ja perinteisiä kirvesmiehen taitoja. Rintamamiestalon pohjaratkaisu oli hyvin muuntautumiskykyinen, toisin sanoen talo muuttui tilanteiden mukaan helposti uuteen käyttöön. Rungon rakennustapa ei ollut uusi keksintö, mutta suomessa rakenne alkoi yleistyä vasta 1930-luvun lopulla. Amerikassa vastaavanlaisella rankorakenteella toteutetut asuinrakennukset kehitettiin noin sata vuotta aikaisemmin. Suomessa rintamiestaloja valmistettiin kokonaisuudessaan noin 300 000 kappaletta, joista jäljellä on vielä noin 150 000.

Vaikka rintamamiestalot muistuttavat hyvin paljon toisiaan, on jokainen jälleenrakennuskauden aikainen talo oma yksilönsä, omine vikoineen ja ominaisuuksineen. Jokainen talo on muokattu joko rakentajan tai suunnittelijan toimesta omaan tilankäyttöön sopivaksi. Tyyppitaloista oli satoja eri variaatioita. Peruspiirustuksiin tehtiin muutoksia aina tilanteen mukaan ja materiaalipulan helpotettua käytettiin paksumpia eristeitä ja kalliimpia materiaaleja rakentamisessa. Energia-asiat eivät olleet tuon ajan asuntojen suunnittelun lähtökohtana, vaan saada rakennettua asunnot yli 400 000 kotinsa menettäneelle suomalaiselle lyhyessä ajassa. (http://spu.studio.crasman.fi/file/dl/i/O8MYfw/kd2Vt6n5iVhG9tnnj3AXpg/Erista_oikein-Rintamamiestalo.pdf)

3 ENERGIATEHOKKUUS

3.1 Rakennusten energiatehokkuus

Rakennusten energiatehokkuudella tarkoitetaan rakennusten käyttämän energian hyötysuhdetta. Toisin sanoen se tarkoittaa sitä, että kuinka tehokkaasti rakennus pystyy hyödyntämään siihen käytetyn energiamäärän. Energiatehokkuutta parantamalla pyritään energiankulutus minimoimaan asumismukavuuden kärsimättä.

Energiatehokkuus voidaan karkeasti jakaa neljään pääryhmään, jotka vaikuttavat rakennuksen kuluttamaan energiaan ja sitä kautta energiatehokkuuteen. Vanhan rakennuksen energiatehokkuutta parannettaessa tulisi rakennusta tarkastella aina kokonaisuutena, eikä pelkästään yhtä osa-aluetta kerrallaan. Keskeisimmät ryhmät, jotka vaikuttavat energiankäytön hyötysuhteeseen, ovat lämmitys, ulkovaippa, ilmanvaihto ja asumistottumukset.

3.2 Energiatehokkuuden parantaminen korjaus- ja muutostöissä

Ympäristöministeriö on antanut asetuksen 4/13, joka koskee rakennusten energiatehokkuuden parantamista luvanvaraisissa korjaus- ja muutostöissä. Asetus astui voimaan 1.6.2013 ja sen soveltaminen muihin kuin viranomaiskäytössä oleviin rakennuksiin alkoi 1.9.2013. Asetuksessa energiatehokkuudelle on määritelty vähimmäisvaatimukset luvanvaraisissa muutos- ja korjaustöissä. Luvanvaraisia töitä ovat muun muassa julkisivuun tehtävät muutokset (lisäeristys, ikkunat ym.), laajat peruskorjaukset sekä teknisten järjestelmien uusimiset.

Luvanvaraisissa korjaus- ja muutostöissä on aina parannettava rakenteita ja järjestelmiä energiatehokkaampaan suuntaan. Ympäristöministeriön asetus 4/13 antaa kolme eri vaihtoehtoa laskennan toteuttamiseksi. Laista löytyy myös seuraava kohta, joka toisaalta antaa mahdollisuuden hakea muutosta vaadittuihin energiatehokkuutta parantaviin ratkaisuihin, mikäli se ei ole mahdollista laissa määritellyin keinoin. ”*Energiatehokkuutta on parannettava rakennuksen tämän lain mukaan rakennus- tai toimenpideluvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa.*” (Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012 117 g §).

Lupakäytännöt vaihtelevat kaupungeittain ja kunnittain. Lupaviranomainen on tässä asiassa avainhenkilö vastaamaan luvanvaraisuutta koskeviin kysymyksiin. Esimerkiksi Vantaalla julkisivumuutokseen ja lisäeristämiseen tarvitaan toimenpidelupa, toisissa kaupungeissa taas rakennuslupa. Toisin sanoen lupaviranomaiselle jää tulkinnan varaa kumpaa lupaa tulee käyttää. Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012 muotoilee asian seuraavasti:

Rakennuslupa tarvitaan myös sellaiseen rakennuksen vaippaan tai teknisiin järjestelmiin kohdistuvaan korjaus- ja muutostyöhön, jolla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakennuslupaa ei kuitenkaan tarvita, jos kyseessä on rakennus, jonka energiatehokkuutta ei tarvitse 117 g §:n 2 momentin nojalla parantaa. (MRL 125 §).

Toimenpidelupa tarvitaan myös rakennuksen julkisivun muuttamiseen sekä rakennusosan tai teknisen järjestelmän vaihtamiseen silloin, kun sillä voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Jos kyseessä on rakennus, jonka energiatehokkuutta ei tarvitse 117 g §:n 2 momentin nojalla parantaa, toimenpidelupaa ei kuitenkaan tarvita. (MRL 126 §).

3.2.1 Rakennusosakohtaiset vaatimukset

Ensimmäisessä vaihtoehdossa lasketaan rakennusosakohtaisesti osien U-arvot. Rakennusosien tulee täyttää niille määritetyt nykyvaatimusten mukaiset U-arvo vaatimukset.

Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo x 0,5 kuitenkin enintään 0,17 W/(m²K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin 0,60 W/(m²K) tai parempi.

Yläpohja: alkuperäinen U-arvo x 0,5 kuitenkin enintään 0,09 W/(m²K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin 0,60 W/(m²K) tai parempi.

Alapohja: Energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.

Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava 1,0 W/(m²K) tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia korjattaessa on lämmöneristävyyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan. (Ympäristöministeriön asetus 4/13).

3.2.2 Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain

Toisena vaihtoehtona voidaan pienentää rakennukseen kohdistuvaa ja standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta. Tarkastelun ja laskennan kohteena on tällöin vuosittainen normaalikäytön energiakulutus suhteessa rakennuksen pinta-alaan.

Kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä, on rakennusluokittain noudatettava seuraavia energiankulutuksen vaatimuksia:

- 1) Pien-, rivi- ja ketjutalo $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$
 - 2) Asuinkerrostalo $\leq 130 \text{ kWh/m}^2$
 - 3) Toimisto $\leq 145 \text{ kWh/m}^2$
 - 4) Opetusrakennus $\leq 150 \text{ kWh/m}^2$
 - 5) Päiväkoti $\leq 150 \text{ kWh/m}^2$
 - 6) Liikerakennus $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$
 - 7) Majoitusliikerakennus $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$
 - 8) Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli $\leq 170 \text{ kWh/m}^2$
 - 9) Sairaala $\leq 370 \text{ kWh/m}^2$
- (Ympäristöministeriön asetus 4/13).*

3.2.3 E-luku-vaatimus rakennusluokittain

Kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa kokonaisenergiankulutusta (E-luku, kWh/m²) pienentämällä, on laskettava rakennukselle ominainen rakennusluokan mukainen kulutus seuraavien kaavojen mukaisesti:

- 1) Pien-, rivi- ja ketjutalo: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
- 2) Asuinkerrostalo: $E\text{-vaadittu} \leq 0,85 \times E\text{-laskettu}$
- 3) Toimisto: $E\text{-vaadittu} \leq 0,7 \times E\text{-laskettu}$
- 4) Opetusrakennus: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$

- 5) Päiväkoti: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
- 6) Liikerakennus: $E\text{-vaadittu} \leq 0,7 \times E\text{-laskettu}$
- 7) Majoitusliikerakennus: $E\text{-vaadittu} \leq 0,7 \times E\text{-laskettu}$
- 8) Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
- 9) Sairaala: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
(Ympäristöministeriön asetus 4/13).

4 RAKENTEEN U-ARVO JA SEN LASKEMINEN

Rakenteen U-arvolla tarkoitetaan rakenteen lämmönläpäisykerrointa, jonka määrittelyssä tarvitaan materiaalien paksuus ja lämmönjohtavuustiedot W/mK (merkitään λ). Mitä pienempi on rakenteen U-arvo sen parempi on rakenteen lämmöneristävyys.

Rakenteen U-arvon laskeminen

Lämmönläpäisykerroin lasketaan rakentamismääräyskokoelman C4 mukaisesti tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vastaavia SFS-EN -standardin mukaisesti määriteltyjä suunnitteluarvoja. (*Puurakentaminen, Unto Siikanen ja Rakennustieto, Esaprint Oy, Tampere 2008*).

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti:

$$U = 1/R_t$$

Jossa R_t tarkoittaa rakennusosan kokonaislämmönvastusta ympäristöstä ympäristöön.

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_{se}$$

R_{si} , tarkoittaa ulkopinnan pintavastusta.

R_{se} , tarkoittaa sisäpinnan pintavastusta.

Lämpövirran suunta	Vaakataso	Ylöspäin	Alaspäin
Sisäpinnan pintavastus W/m ² K	0,13	0,10	0,17
Ulkopinnan pintavastus W/m ² K	0,04	0,04	0,04

$R_1, R_2, R_3 \dots$ kuvaa materiaalien lämmönvastusta W/m²K eri kerroksissa.

$$R = \frac{\text{materiaalin paksuus } m}{\text{materiaalin lämmönjohtavuus } \lambda \text{-arvo } (\lambda)}$$

4.1 Käsin ja laskentaohjelmalla lasketun U-arvon vertailu

Vertailu esimerkkinä käytetään rintamamiestalon alkuperäistä seinärakennetta, jossa 2"x4" pystyrunko. Laskentaa varten tarvitaan materiaali- ja paksuusarvot ja niiden lämmönjohtavuusarvot W/mK.

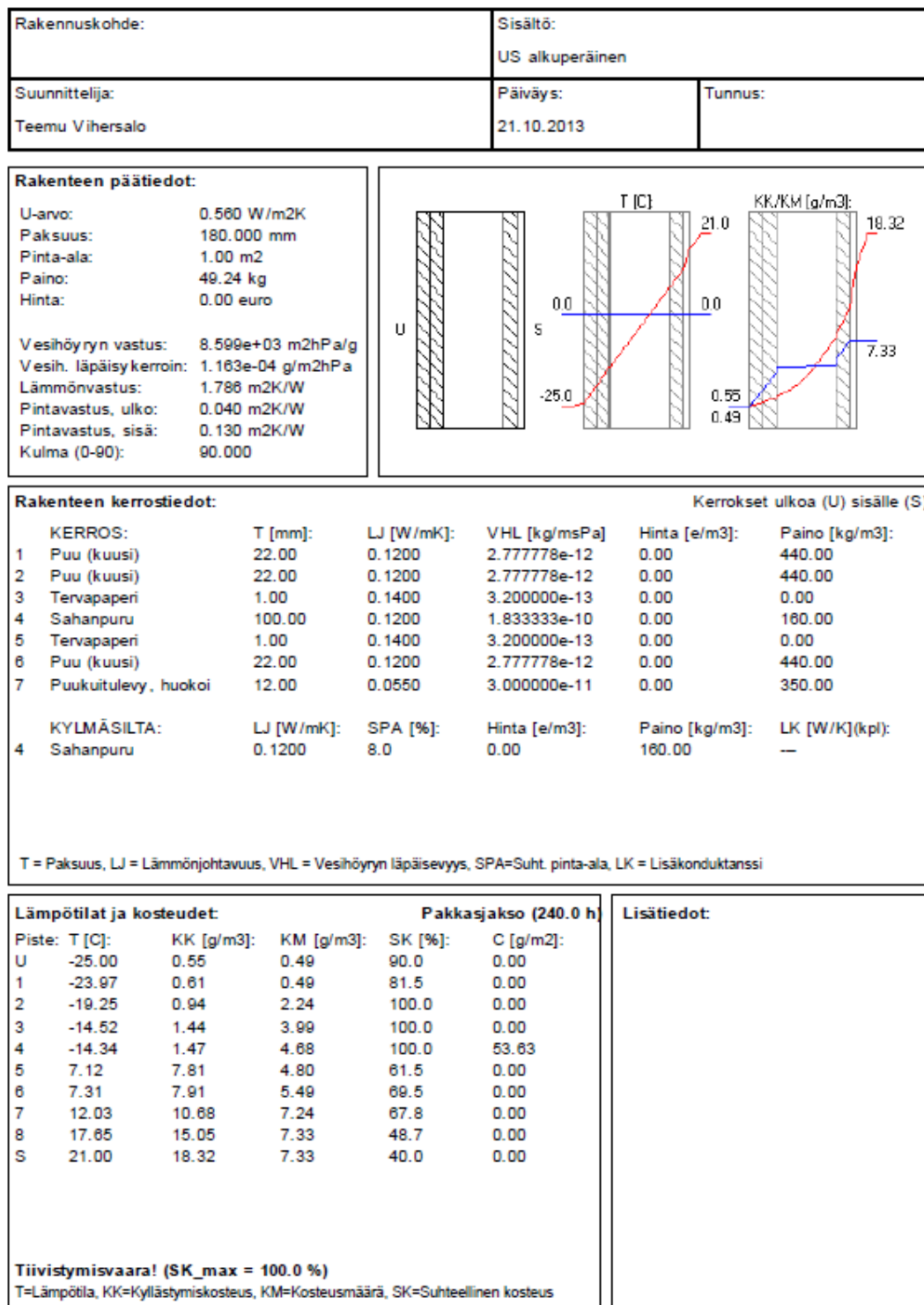
Materiaalikerros	Paksuus/m	λ -arvo	R(W/m ² K)
Ulkopinnan pintavastus			0,04
Ulkoverhouspaneeli	0,022	0,12	0,183
Vinolaudoitus	0,022	0,12	0,183
Tervapaperi	0,0003	0,12	0,0025
Sahanpurueriste	0,100	0,12	0,833
Ilmansulkupahvi	0,0003	0,12	0,0025
Vaakalaudoitus	0,022	0,12	0,183
Huokoinen puukuitulevy	0,012	0,055	0,218
Sisäpinnan pintavastus			0,13
		Yhteensä	1,775 W/m²K

$$R_t = 1,775 \text{ W/m}^2\text{K} \quad U = 1/R_t$$

$$U = \frac{1}{1,775 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0,563 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Käsin laskemalla U-arvoksi saatiin 0,56 W/m²K.

Vertailun vuoksi saman ulkoseinän tiedot syötettiin DOF -lämpö ohjelmaan, jonka tulokset nähdään seuraavassa kuvassa(kuva 1). Lämpöohjelmalla saatu U-arvo on 0,56 W/m²K joka täsmää käsin laskettuun U-arvoon riittävän tarkasti.



Kuva1

5 RAKENNUSFYSIKAALISIA KÄSITTEITÄ

Rakenteen rakennusfysikaalisen toiminnan tarkastelulla pyritään saamaan selville mahdolliset rakennekerroksien ongelmat eri olosuhteissa ja

ymmärtämään tekijät, jotka vaikuttavat rakenteen toimivuuteen. Sen takia on hyvä käydä läpi muutamia rakennusfysiikkaan liittyviä ilmiöitä.

5.1 Kosteus

Kosteus on yleisnimitys kemiallisesti sitoutumattomalle vedelle, joka voi esiintyä kolmessa eri muodossa nesteinä, jäänä ja kaasumaisena (vesihöyry). Kosteus voi olla myös fysikaalisesti sitoutuneena hygroskooppisissa aineissa.

5.2 Kastepiste

Kastepisteellä tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmassa oleva maksimi määrä vesihöyryä tiivistyy alemmassa lämpötilassa vedeksi, alemman lämpötilan kyllästymispitoisuuden ollessa maksimi määrän vesihöyryn mukainen. Esimerkiksi jos huoneen lämpötila on + 20 °C ja ilman RH on 60 %, huoneen ilma sisältää silloin 10,37 g/m³ vesihöyryä, joka tiivistyy vedeksi sellaisessa rakenteen kohdassa, jossa lämpötila on + 12 °C tai alle.(taulukko1.)

Taulukko 1. (Dick Björkholtz, lämpö ja kosteus)

t(°C)	v _s (g/m ³)	p _v (Pa)	t(°C)	v _s (g/m ³)	p _v (Pa)	t(°C)	v _s (g/m ³)	p _v (Pa)	t(°C)	v _s (g/m ³)	p _v (Pa)
-20	0,88	102	1	5,21	658	22	19,40	2640	43	59,41	8663
-19	0,95	111	2	5,58	708	23	20,54	2805	44	62,40	9128
-18	1,04	122	3	5,98	762	24	21,74	2979	45	65,52	9614
-17	1,14	135	4	6,40	818	25	23,00	3162	46	68,77	10122
-16	1,25	149	5	6,84	878	26	24,32	3355	47	72,15	10653
-15	1,38	164	6	7,31	941	27	25,71	3559	48	75,67	11207
-14	1,52	181	7	7,80	1008	28	27,17	3773	49	79,33	11786
-13	1,67	200	8	8,32	1079	29	28,70	3998	50	83,14	12390
-12	1,83	221	9	8,87	1154	30	30,31	4237	51	87,10	13020
-11	2,01	243	10	9,45	1234	31	31,99	4487	52	91,21	13677
-10	2,20	266	11	10,06	1318	32	33,75	4750	53	95,48	14362
-9	2,40	292	12	10,71	1408	33	35,60	5027	54	99,92	15075
-8	2,61	319	13	11,39	1502	34	37,54	5317	55	104,52	15818
-7	2,84	348	14	12,10	1603	35	39,56	5622	56	109,30	16592
-6	3,08	379	15	12,86	1708	36	41,68	5943	57	114,25	17397
-5	3,33	412	16	13,65	1820	37	43,90	6279	58	119,39	18234
-4	3,60	447	17	14,49	1939	38	46,21	6631	59	124,72	19105
-3	3,89	485	18	15,37	2064	39	48,63	7001	60	130,24	20010
-2	4,19	524	19	16,30	2197	40	51,16	7388	61	135,95	20951
-1	4,51	566	20	17,28	2337	41	53,79	7793	62	141,87	21928
0	4,85	611	21	18,31	2484	42	56,54	8218	63	147,99	22943

5.3 Diffuusio

”Epätasaisesti jakautuneessa kaasuseoksessa kaasumolekyylit pyrkivät liikkumaan siten, että seos tasaantuu. Tätä ilmiötä kutsutaan diffuusioksi. Vesihöyryn diffuusio on veden liikkumista vesihöyryn muodossa rakenteen läpi. Lähes kaikki materiaalit läpäisevät tietyn määrän vesihöyryä. Jos ilma sisältämän vesihöyryn osapaine on erilainen eri puolilla seinämää, vesihöyry diffusoituu seinämän läpi kohti sitä seinämän pintaa, jossa vesihöyryn osapaine on pienin. Diffuusion suunta on lähes

aina suuresta absoluuttisesta ilman kosteudesta pieneen eli yleensä lämpimästä kylmään.” (Puurakentaminen, Unto Siikanen ja Rakennustieto, Esaprint Oy, Tampere 2008,147).

5.4 Materiaalin hygroskooppisuus

Materiaalin hygroskooppisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa itseensä ilmassa olevaa vesihöyryä ja luovuttaa itseensä sitoutunutta kosteutta höyrynä takaisin ilmaan, kun suhteellinen kosteus ympäristössä muuttuu alenevasti. (www.puuinfo.fi).

Hygroskooppisella tasapainotilalla tarkoitetaan tilannetta, jossa hygroskooppinen materiaali ei sido itseensä enää kosteutta eikä myöskään luovuta sitä takaisinpäin.

5.4.1 Sorptiokapasiteetti

”Sorptiokapasiteetillä (kosteuskapasiteetti) tarkoitetaan vesihöyrymäärää, jonka hygroskooppisessa tasapainotilassa oleva ja hygroskooppiseen tasapainotilanteeseen päätyvä rakenne ja siinä olevat aineet kykenevät vastaanottamaan tai luovuttamaan, kun ympäristön suhteellinen kosteus muuttuu tietyn määrän.”
(www.puuinfo.fi)

5.4.2 Tehollinen Sorptiokapasiteetti

”Tehollisella sorptiokapasiteetilla tarkoitetaan sitä vesihöyrymäärää, jonka rakenne ja siinä olevat hygroskooppiset aineet kykenevät vastaanottamaan tai luovuttamaan, kun ympäristön suhteellinen kosteus muuttuu kulloinkin erikseen määriteltävällä tavalla. (Tehollisen sorptiokapasiteetin käsite on tarpeen siksi, etteivät rakenteet ja niissä olevat aineet yleensä ehdi saavuttaa hygroskooppista tasapainokosteutta, kun ympäristön suhteellisessa kosteudessa tapahtuu jo seuraava muutos.”
(www.puuinfo.fi).

Toisin sanoen tehollinen sorptiokapasiteetti on vain osa tasapainotilan sorptiokapasiteetista, tarkoittaen, että mitä suurempi on materiaalin hygroskooppinen tasapainokosteus ja vesihöyryn läpäisevyys sen suurempi on tehollinen sorptiokapasiteetti. (www.puuinfo.fi)

5.5 Konvektio

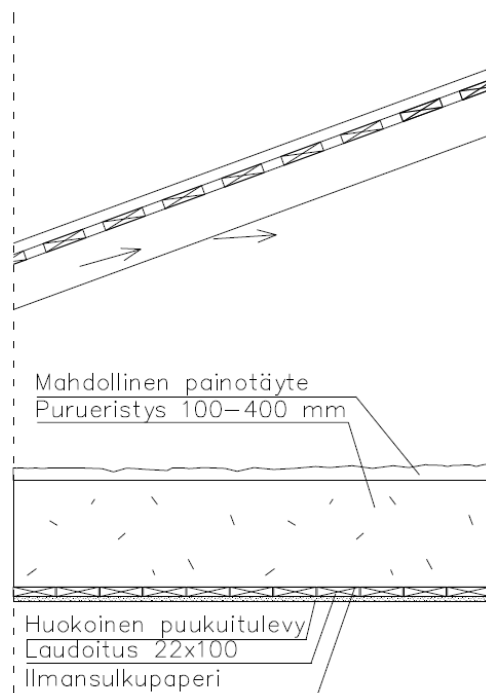
Konvektiolla tarkoitetaan ilman tai nesteen kulkeutumista. Vesihöyryn konvektio perustuu lämmön vaikutuksesta laajenevaan kaasuun (vesihöyry), joka kevenee ja nousee ylöspäin, tuoden samalla painavampaa ja viileämpää ilmaa alaspäin. Näin konvektio toimii periaatteessa itsestään. Konvektio jaotellaan kahteen ryhmään: ilmassa tapahtuvaan pakotettuun konvektioon ja luonnolliseen konvektioon.

Pakotetun konvektion saavat aikaan ilmanvaihto, ihmisten liikkeet ja tuuli. Luonnollinen konvektio tapahtuu molekyylien tiheyserosta johtuen. (Talotohtori, Panu Kaila 2000).

6 RINTAMAMIESTALON TYYPILLISET RAKENNETYYPI

6.1 Yläpohja

Yläpohjarakenne (kuva YP a) on toteutettu rintamamiestalossa tyypillisesti seuraavasti yläpohjasta alaspäin lukien: painotäytteenä käytettiin hiekkaa, savea, tiilenpaloja, oikeastaan kaikkea mitä oli rakennus hetkellä saatavilla. Kevyttäytteenä käytettiin yleisesti sahanpurua ja kutterinlastua tai näiden sekoituksia. Eristeen paksuus oli välillä 100–400 mm. Ohuimmillaan eriste oli lappeensuuntaisilla alueilla, joissa purua saattoi olla vain 100–150 mm. Eristeen alla käytettiin rakennuspaperia (oksapahvi, tervapaperi) ja tämän jälkeen tehtiin laudoitus ja sisäverhous, usein käytettiin huokoista puukuitulevyä. U-arvo vaihteli välillä 0,3-1,0 W/m²K. U-arvon suureen hajontaan vaikuttaa juurikin edellä mainittu lapeosoiden eristevahvuudet.

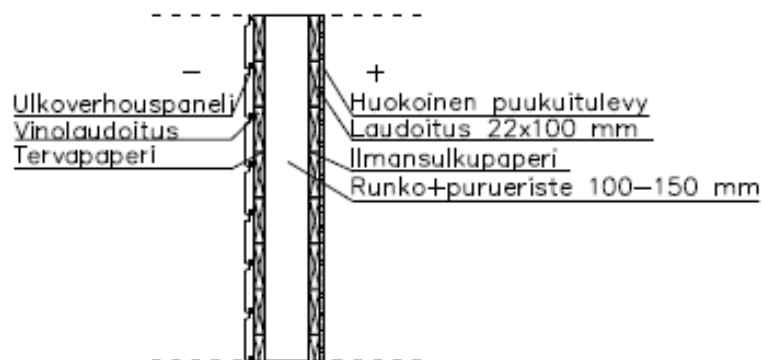


Kuva YP a.

6.2 Ulkoseinä

Rintamiestalon ulkoseinät (kuva US a) ovat tyypillisesti rakennettu seuraavin materiaalikerroksin alkaen ulkopuolelta sisään päin: ulkoverhouslauta ulkopinnassa, vinolaudoitus noin 45°:n kulmassa, rakennuspaperi (oksapahvi, tervapaperi), kantavana runkona toimi 2"x4"

tai 2"x5" sahatavara sekä niiden välissä eristeenä joko kutterinlastu tai sahanpuru. Pahimman materiaalipulan aikana käytettiin myös sammalta sekä turvepehkuu. Kantavan rungon jälkeen käytettiin taas rakennuspaperia (oksapahvi, tervapaperi), vaakalautoitus ja viimeisenä kerroksena maalattua ja tapetoitua pinkopahvia tai vaihtoehtoisesti huokoista puukuitulevyä (mm. Haltex). Edellä mainittua rakennetta kutsutaan ”hengittäväksi rakenteeksi”, joka ei suinkaan tarkoita ilman läpäisevää rakennetta vaan rakennetta, joka on ns. diffuusioavoin. Materiaalipulan helpotuttua julkisivuissa käytettiin myös rappausta. Rintamamiestalojen U-arvo oli yleisesti välillä 0,6-0,7 W/m²K.

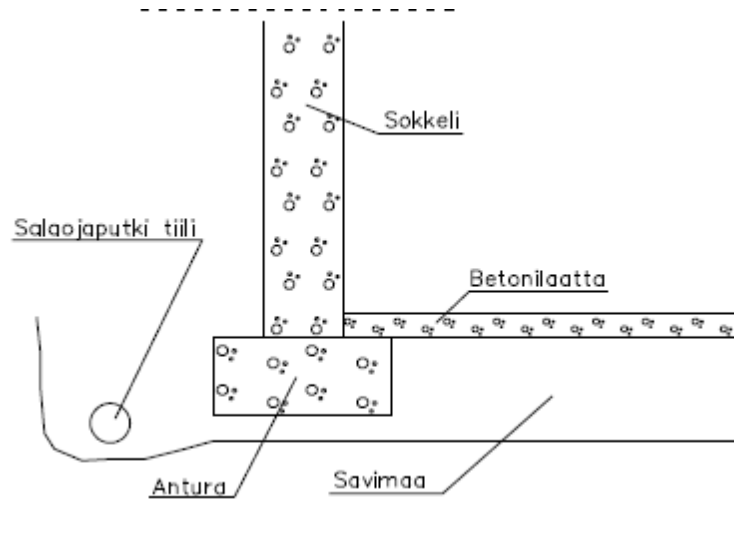


Kuva US a.

6.3 Maanvarainen alapohja

Rintamiestalojen alapohja on yleensä rakennettu osittain tuulettavana ”rossipohjana” ja osittain maanvaraisena alapohjana, jossa perinteisesti sijaitsevat rintamamiestalon pannuhuone- ja peseytymistilat.

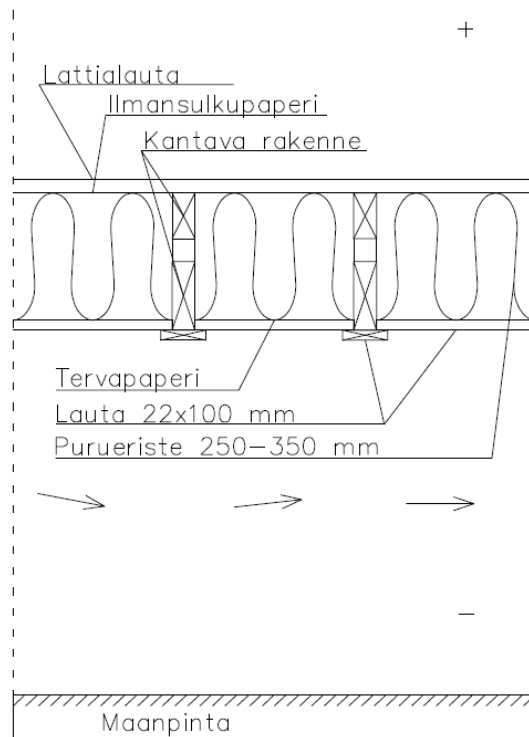
Perustamistapa maanvaraiselle alapohjalle on yleensä suoraan maanpinnan päälle ilman eristeitä. Joissakin tapauksissa valetun betonilaatan alle on laitettu jo rakennusvaiheessa sorakerros, joka toimii kapillaarikatkona ja anturan vierelle sen aikainen salaojaputki. Yleensä näin ei kuitenkaan ole, vaan perustukset ja betonilaatta on valettu suoraan saven päälle ja salaojaputketkin ovat jo lopettaneet toimintansa juurien ja hiekan ansiosta. Betonilaatasta ei välttämättä löydy yhtään rautaa vaan isohkoja kiviä, näin säästettiin rakennuskustannuksissa. Alapuolella on periaate kuva (kuva AP maanvarainen) rintamamiestalon maanvaraisesta lattiasta.



Kuva AP maanvarainen.

6.4 Tuulettuva alapohja

Tyypillinen rintamamiestalon tuulettuva alapohjarakenne on toteutettu seuraavin materiaalikerroksin alkaen ryömintätilasta; kannatuslistat kiinnitettynä kantaviin palkkeihin, täytepohjana sahalautaa ja tämän päällä rakennuspaperi (pinkopahvi, tervapaperi) sekä sanomalehtiä, kantavien palkkien välissä eristeenä purua tai kutterinlastua, näiden päällä rakennuspaperi (oksapahvi) ja viimeisimpänä kerroksena lattialauta. Alapohjan paksuus vaihteli välillä 250–350 mm riippuen rakennusaikaan saatavilla olleista materiaaleista. U-arvo oli tyypillisesti välillä 0,3-0,4 W/m²K. Alapuolella havainnollistava leikkauskuvaa alapohjasta.



Alapohjarakenne.

7 OPINNÄYTETYÖN KOHDE JA RAKENTEET

Tarkastelun kohteena oleva rintamamiestalo sijaitsee Vantaalla. Kohde on valmistunut vuonna 1958 ja oli suurin piirtein alkuperäiskunnossa oleva, lukuun ottamatta taloon myöhemmin tullutta öljylämmitystä ja kunnanvesijohtoa. Joitain pieniä pintaremontteja oli matkan varrella tehty, lähinnä maalauksia ja tapetointeja. Sokkeli oli lisäksi kunnostettu ja salaojat tarkistuskaivoineen tehty muutamia vuosia aikaisemmin, jolloin kosteuspitoisuus kellarikerroksen seinissä ja lattiassa oli laskenut huomattavasti.

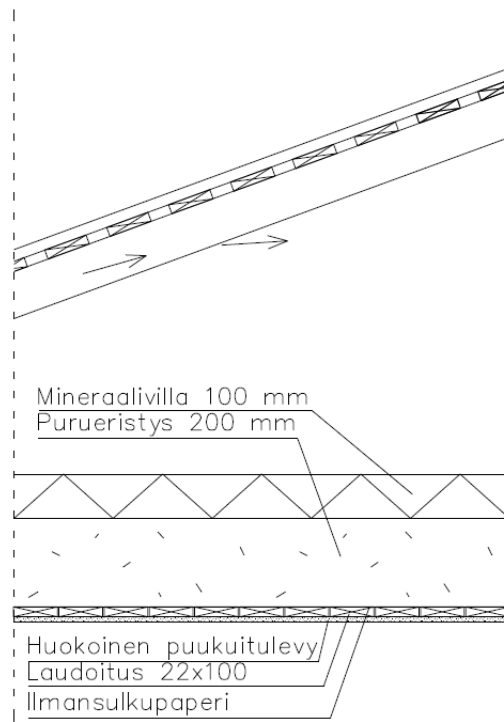
Ulkoverhous oli myös alkuperäinen, tosin jo elinkaarensa loppupuolella. Ulkoverhouksenpinta oli saanut pintaansa lateksipohjaisen maalin 1980-luvulla maalausliikkeen toimesta. Tämä aiheutti ulkoverhouksen vaurioitumisen ajan kanssa. Maalipinnan alle tiivistynyt kosteus oli aiheuttanut vaurioita ulkoverhouspaneeliin.

Talo on rakennettu hyvälle paikalle kallion päälle, jolloin maaperästä nouseva kosteus on hyvin vähäistä. Tuuletus alapohjalle tapahtuu sokkelissa olevista tuuletusventtiileistä, jotka ovat sijoitettu pohjois- ja eteläpuolelle kohdakkain, eikä niitä ole ollut mahdollista sulkea. Tästä syystä ilmavirta on päässyt liikkumaan läpi vuoden esteettömästi alapohjassa, vieden ylimääräisen kosteuden pois.

Kohteen ulkovaipan pinta-ala on 164 m^2 , josta ikkuna pinta-ala on noin 11 m^2 ja lämpöeristetyin ulkovaipan pinta-ala $146,5 \text{ m}^2$. Pohjan pinta-ala rakennuksessa on 60 m^2 . Rakennuksen tilavuus 212 m^3 .

7.1 Yläpohja

Tarkastelu kohteessa oli 70-luvun alkupuolelle tehty yläpohjaan lisäeristys sen aikaisella mineraalivillalla. Rakenteen päällimmäisenä kerroksena oli 100 mm mineraalivillakerros, jonka alapuolella oli sahanpurun ja kutterilastun sekoitus noin 200 mm kerrosvahvuudella. Näiden rakennekerroksien alla oli oksapaperi ja sen alla tukilaudoitus. Pintamateriaalina oli käytetty perinteistä huokoista puukuitulevyä. U-arvo edellä mainitulla rakenteella oli laskennallisesti noin $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja lämpöhäviö vuodessa $33,4 \text{ kWh/m}^2$. Lappeen suuntaisilla osioilla oli sahanpurueristettä vain 100 mm, jolloin U-arvo oli huomattavasti suurempi kuin tasaisella osiolla ollen noin $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämpöhäviö lappeen suuntaisilla osioilla on $103,5 \text{ kWh/m}^2$. Yläpohjan perusrakenne (kuva 1a) ja kohteesta otettu valokuva (kuva 1b.).



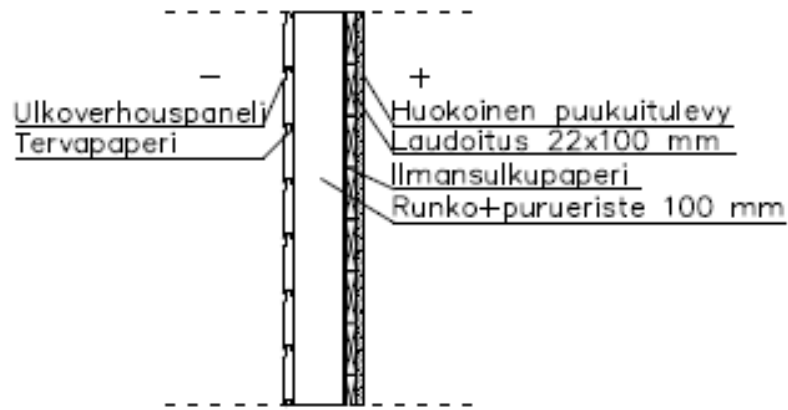
Kuva 1a.



Kuva 1b.

7.2 Ulkoseinä

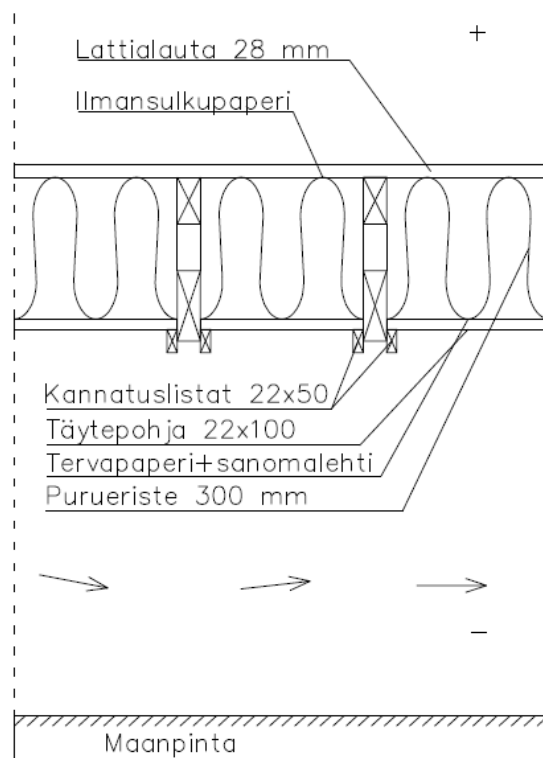
Tarkasteltavassa kohteessa ulkoseinärakenne (kuva 1c.) oli hieman erilainen kuin yllä kuvatuissa rintamamiestalon tyypillisissä rakenteissa. Rakenne ulkopuolelta alkaen sisäänpäin: ulkoverhouslauta ulkopinnassa, rakennuspaperi (tervapaperi), kantava runko sahatavara 2"x4" sekä eristeenä sahanpuru, rakennuspaperi (oksapahvi), laudoitus nurkissa oli toteutettu vinolaudoituksella 45°:n kulmassa, keskellä seinää vaakalaudoituksella ja viimeisimpänä kerroksena tapetoitu huokoinen puukuitulevy. Kohteen ulkoseinän laskennallinen U-arvo oli ennen lisäeristys- ja muutostöitä 0,62 W/m²K. Lämpöhäviö rakenteelle oli 80,3 kWh/m²/vuosi.



kuva 1c.

7.3 Tuulettuva Alapohja

Tarkastelu kohteessa rakenne (kuva 1d.) oli toteutettu seuraavasti: kannatuslistat kiinnitettynä kantaviin palkkeihin, täytepohjana sahalautaa ja tämän päällä tervapaperi sekä sanomalehtiä, kantavien palkkien välissä eristeenä purua ja kutterinlastua noin 300 mm, näiden päällä oksapahvi ja viimeisimpänä kerroksena lattialauta. U-arvo rakenteelle oli $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$, lämpöhäviön ollessa $41 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$. Kuvassa 1e lähtötilanne kohteessa.



Kuva 1d.



Kuva 1e.

8 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Energiatehokkuutta voidaan parantaa hyvin monella eri tavalla. Tässä opinnäytetyössä käsitellään sekä lisäeristämistä, että vanhan eristeen korvaamista uudenaikaisilla eristeillä. Työn tarkoituksena on tehdä ja suunnitella mahdolliset lisäeristykset ja eristeiden vaihdot rakennusfysikaalisesti oikein.

Ennen kuin siirrymme tarkastelemaan rakenteiden lisäeristämistä ja eristeiden vaihtoa, tutustumme tarkasteluissa käytettyjen materiaalien teknisiin ominaisuuksiin ja käsitellään muutamia asioita, jotka tulee huomioida rakenteiden lisäeristämisen suunnittelussa.

- Jokaisessa rakenteessa tulee olla joko ilman- tai höyrynsulkukerros tiiviisti asennettuna rakenteen lämpöiselle puolelle, yleensä pintaverhouksen alle. Käytettävien materiaalien tulee olla suunniteltu ominaisuuksiltaan toimiviksi ilman- ja höyrynsulkukerrokseksi.
- Suunniteltavan rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastuksen tulee olla 5-kertainen suhteessa ulkopinnan vesihöyrynvastukseen (5:1). Tämän lisäksi ulkopinnassa tulee olla kosteutta läpäisevä tuulensuoja.
- Jos ilman/höyrynsulkukerros ei ole asianmukaisesti tiivistetty, jää lämpöhäviöiden pienentämiseksi tehtävä lisäeristykseen hyöty minimaaliseksi. Ilmavuotokohtat aiheuttavat rakenteelle todellisen kosteusvaurioriskin, kosteus pääsee konvektion avulla siirtymään rakenteisiin.
- Kun ikkunoiden, ovien ja muiden rakenteiden tiiveyttä parannetaan, tulee myös ilmanvaihtoa parantaa niin, että vaatimuksien mukainen arvo täyttyy. Ilmanvaihtuvuutta pidetään sopivana kun rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu 0,5/h, eli koko rakennuksen ilmatilavuuden tulee vaihtua 1 kerran 2 tunnissa.

8.1 Tarkastelussa käytettävien materiaalien tekniset ominaisuudet

Puukuitueristeenä tarkasteluissa käytetään Ekovilla Oy:n puhallusselluvillaa ja levyvillaeristettä. Ekovillan tuotteet ovat tehty keräyspaperista ja ne omaavat suuren hygroskooppisuuden. Europaloluokka selluvilloilla on E, soveltuen P3-luokan rakennuksiin. Ekovillan levyeristeillä lämmönjohtavuus on $0,039 \text{ W/mK}(\lambda_D)$. Puhallusvillalla lämmönjohtavuus on $0,040 \text{ W/mK}(\lambda_D)$.

Mineraalivillana käytetään tarkasteluissa Paroc Oy:n Paroc extra kivivillalevyä. Paroc extra kivivilla kuuluu Europaloluokka A₁. Ilmoitettu lämmönjohtavuus tuotteella on $0,036 \text{ W/mK}(\lambda_D)$.

Mineraalivilla ei ole materiaalina hygroskooppinen, eikä se sido kosteutta kuitujensa sisään vaan vesi on eristeessä joko ilmassa olevana höyrynä tai kuitujen pintaan tiivistyneenä nesteinä. (Kaila, Panu. 2000. Talotohtori, WSOY Porvoo)

Polyuretaanieristeenä tarkastelussa on käytetty SPU Oy:n SPU Anselmi polyuretaanilevy jossa tehdään asentama kipsilevy. Palokäyttötymisessä SPU Anselmi kuuluu luokkaan B-s1, d0. SPU Anselmi ei ole hygroskooppinen materiaali. Tiivis materiaali toimii erittäin hyvin höyrünsulkurakenteena ja omaa yhden parhaista lämmönjohtavuusarvoista, joka on $0,027 \text{ W/mK}(\lambda_D)$.

Tuulensuoja- ja runkojäykistelevynä käytetään tarkasteluissa Suomen kuitulevy Oy:n runkoleijonalevyä. Runkoleijonalevyn lämmönjohtavuus on $0,052 \text{ W/mK}(\lambda_D)$. Runkoleijona on valmistettu puukuiduista, lisäaineina hartsia ja vaha.

8.2 Yläpohja

Yläpohjalla on suuri merkitys energiatehokkuutta parannettaessa, sillä sitä kautta saattaa poistua jopa 20 % lämmitysenergiasta. Yläpohjan kokonaislämmönläpäisykerrointa voidaan pienentää merkittävästi lisäeristyksellä. Yläpohjan lisäeristäminen on yleensä nopein ja tehokkain energiatehokkuutta parantava toimenpide. Yläpohjan lisäeristämistä puoltaa myös lyhyt takaisin maksuaika. Kohteesta riippuen se voi olla jopa 2-4 vuoden mittainen. Toimenpiteen yhteydessä on yleensä myös parannettava yläpohjan tuuletusta, joka rintamamiestalo-tyyppisissä rakennuksissa on usein ollut hyvin niukka toimivuudeltaan. Yleensä rintamamiestaloissa oli tuuletus ainoastaan päätykolmioiden osalla. On myös huomioitava, että lisäeristyksellä saadaan pienennettyä rakenteen U-arvoa helposti ja tehokkaasti, jolloin lämpövuoto pienenee yläpohjassa. Tästä saattaa seurata se, että peltikaton alapintaan alkaa kondensoitua vettä, joka kuivui aikaisemmin lämpövuotojen ansiosta kohtuullisesti.

Toisin sanoen tehokas lisäeristäminen yläpohjassa saattaa lisätä yläpohjan kosteusolosuhteita merkittävästi. Tästä syystä on varmistettava yläpohjan riittävä tuuletus muun muassa myös räystäiden osalta. Lisäeristyksenkin

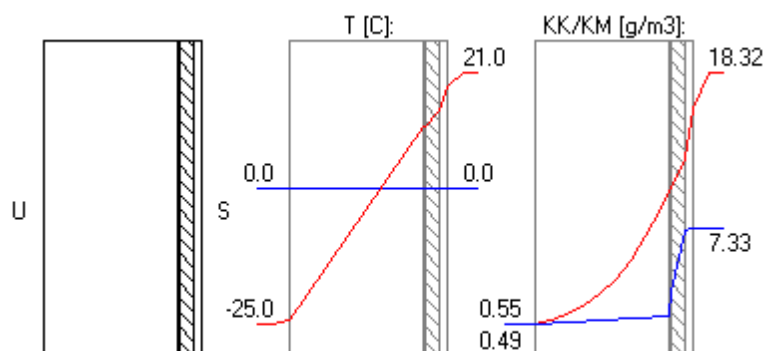
jälkeen tulee olla vapaata tuuletustilaa vähintään 100 mm eristyksen yläpuolella.

Rintamamiestalon yläpohjat ovat alun perin eristetty sahanpurulla ja kutterilastulla tai näiden sekoituksella. Tämän tyyllisen yläpohjarakenteen päälle soveltuu hyvin esimerkiksi puhallusvilla. Puhallusvilloilla saadaan aikaiseksi tasaisempi kerros kuin levyeristeillä. Tärkeintä on kuitenkin muistaa eristettä valittaessa se, että lisäeristyksen tulee olla harvempi rakenteeltaan kuin alle jäävän alkuperäisen eristeen. Mikäli alkuperäisen eristeen päälle laitetaan tiiviimpi eristemateriaali, kosteus alkaa kertymään uuden eristeen alapintaan. Pidemmällä aika välillä tämä ilmiö saattaa aiheuttaa kosteus- ja mikrobivaurioita yläpohjaan. Ennen eristämistä on tutkittava alkuperäisen eristeen kunto ja mielellään poistettava noin 3-5 cm kerros eristeen päältä, mikäli eriste muutoin on kunnossa. Tämä tehdään siksi, että alkuperäisen eristeen pintakerros saattaa sisältää mikrobikasvustoa, joka pääsee kasvamaan eristeen avoimeen pintaan.

8.2.1 Yläpohjan lisäeristäminen puhallusvillalla

Niin kuin edellä mainittiin, on puhallusvillan asentaminen nopeaa ja villa asettuu paremmin vanhan eristeen päälle yhtenäiseksi eristekerrokseksi, jolloin mahdollisia ilmavuotokohtia ei synny. Tämän vaihtoehdon tarkastelussa on käytetty Ekovilla Oy:n puhallettavaa selluvillaeristettä, jonka lämmönjohtavuus λ_D on 0,040 W/m²K.

Laskennassa käytetään perinteistä rintamamiestalon suoralla osalla olevaa yläpohjarakennetta, jossa eristeenä on sahanpurua 200 mm kerros ja jonka lämmönläpäisykerroin (U-arvo) on 0,45 W/m²K. Alla olevassa kuvassa 1a on kuvattu alkuperäisen yläpohjarakenteen lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteessa. Tarkastelun lähtökohtana on pakkasjakso pääkaupunkiseudulla, jonka kesto on 10 päivää ja lämpötila ero 46 °C. Ulkolämpötila on -25 °C ja suhteellinen kosteus RH 90 % ja sisälämpötila 21°C ja suhteellinen kosteus RH 40 %. Tällä rakenteella kokonaislämpöhäviö on 59,9 kWh/m²/vuosi.

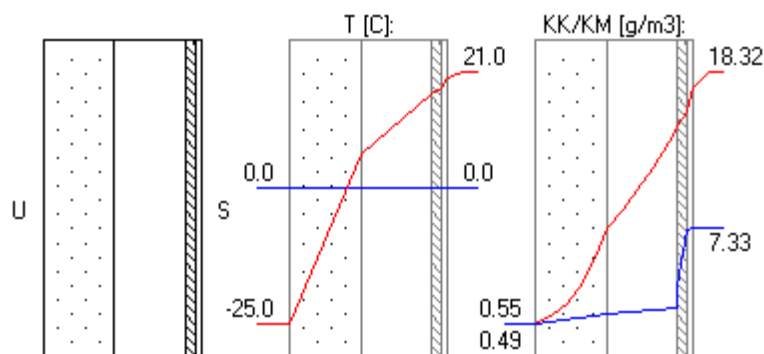


Kuva 1a.

Yläpohjan lisälämmöneristyksen jälkeinen kokonaislämmönläpäisykertoimen (U-arvo) tulisi olla $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ tai pienempi enintään kuitenkin $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tämä U-arvo saadaan laskemalla alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$. (*Ympäristöministeriön asetus 4/13*).

Alla olevassa kuvassa 1b. tarkastelussa on lisäeristetty rakenne, josta aluksi poistetaan alkuperäisestä sahanpurueristeestä 5 cm kerros ja puhalletaan 150 mm puhallusvillaa päälle. Rakenteen eristyskerroksen paksuudeksi saadaan näin 300 mm. Näillä toimenpiteillä U-arvo saadaan minimi määräystä parempaan tasoon. Rakenteen U-arvo on $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, lämpöhäviön ollessa $23,51 \text{ kWh/m}^2\text{/vuodessa}$.

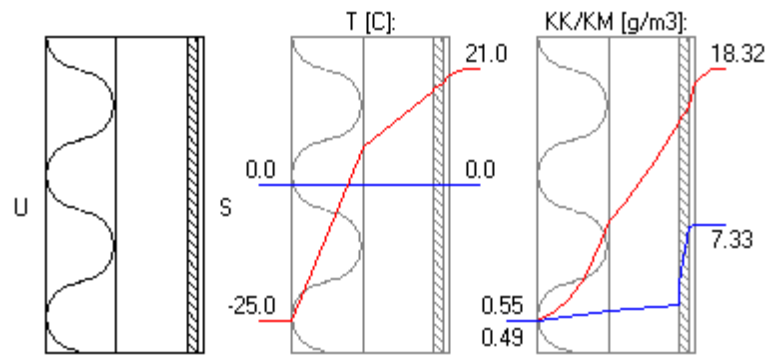
Kun verrataan alkuperäisen rakenteen lämpötila- ja kosteusjakaamaa rakenteessa, huomataan, että lämpötilajakauma muuttuu rakenteessa siten, että alle jätetty alkuperäinen purueriste säilyy myös pitkän pakkasjakson aikana lämpöasteiden puolella. Kastepiste siirtyy lisäeristyksen ansiosta hyvin lähelle eristeen yläpintaa, josta kosteus pääsee tuulettumaan pois yläpohjaan. Todettakoon kuitenkin, että kastepiste ei ollut alkuperäisessä rakenteessakaan kovin kriittisessä paikassa ja pääsi tuulettumaan sieltä pois, edellyttäen että yläpohjan ilmanvaihto on toimiva.



Kuva 1b.

8.2.2 Yläpohjan lisäeristäminen levyvillalla

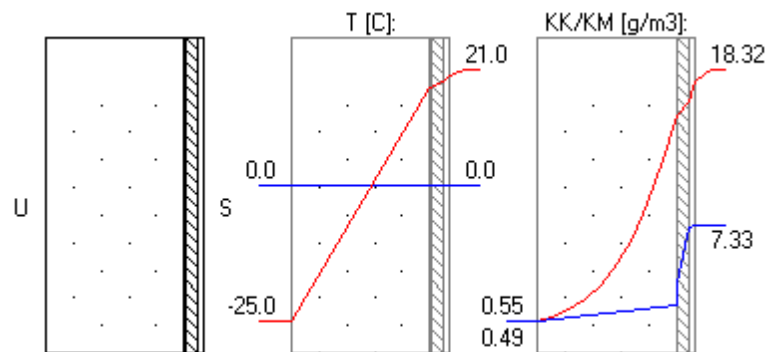
Yläpohjan lisäeristäminen voidaan suorittaa myös levyeristeillä, tosin työmäärä on paljon suurempi kuin puhallettuna suoritettuna lisäeristämällä. Myös asennus levyeristeillä on vaativampaa ja tarkempaa, jotta rakenteeseen ei jäisi rakenteen kokonaislämmönläpäisykerrointa heikentäviä ilmanvuotokohtia. Tässä laskelmassa käytetään samoja perustietoja kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa lähinnä olosuhteita tarkastellessa. Tässä vaihtoehdossa levyeristeenä käytetään mineraalivillaa (vuorivilla) 150 mm vanhan eristeen päällä. Menetelmällä päästään U-arvo luvussa jo $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rakenteen (kuva 1c) tarkastelussa lämpötila- ja kosteusjakauma näyttää noudattelevan ensimmäisen vaihtoehdon arvoja hyvinkin tarkasti. Kokonaislämpöhäviö rakenteella on vuotuisella tasolla $22,25 \text{ kWh/m}^2\text{/vuosi}$.



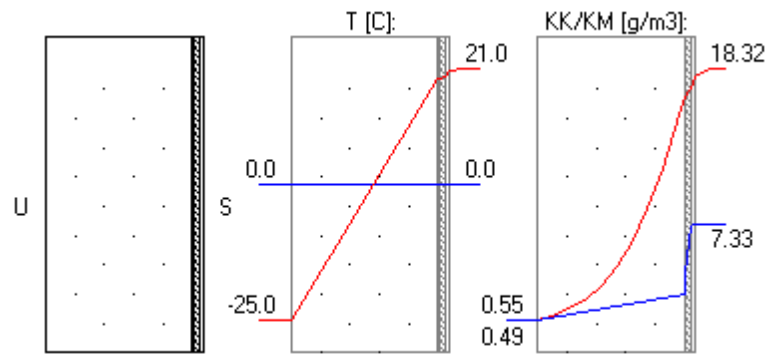
Kuva 1c.

8.2.3 Yläpohjan eristeen korvaaminen kokonaan puhallusvillalla

Yläpohjan eristeiden korvaaminen nykyaikaisilla eristeillä on perusteltua silloin kun alkuperäinen purueriste on vaurioitunut tai kun halutaan saada parempaa eristävyyttä pienemmällä rakennepaksuudella. Jos esimerkiksi yläpohjaan puhalletaan ekovillan selluvilla 250 mm vahvuudella, U-arvo laskee jo 0,144 W/m²K (kuva 1d). Mikäli yläpohjan tilaan mahtuu puhaltamaan esimerkiksi edellä mainittua selluvillaa 450 mm, päästään, sillä uusien rakennuksien U-arvoon, joka on 0,09 W/m²K (kuva 1e). Kokonaislämpöhäviö 250 mm eristetyssä yläpohjassa on 19,07 kWh/m²/vuosi. Toisessa vaihtoehdossa, jossa eristeen määrä on 450 mm, kokonaislämpöhäviö on 10,98 kWh/m²/vuosi.



Kuva 1d.



Kuva 1e.

8.3 Ulkoseinät

Rintamamiestalon ulkoseinät ovat hyvin maltillisesti eristettyjä tämän päivän mittapuun mukaan. Tämä asia johtuu aika pitkälti siitä, että talot rakennettiin uudelleen rakentamisaikakauden aikana, jolloin materiaaleista oli huutava pula. Ulkoseinien lisäeristäminen voidaan suorittaa sekä sisä- että ulkopuolelta. Tärkeintä on tuntea seinärakenne, jota lähdetään suunnittelemaan lisäeristettäväksi. Vääränlaisia eristeitä käytettäessä rakenteiden kosteus- ja mikrobiriskit kasvavat. Ulkoseinien lisäeristäminen on kannattavaa yleensä ainoastaan silloin, kun ulkoverhous on tullut käyttöikänsä päähän. Käyttöiän lyhenemiseen vaikuttavat ratkaisevasti mm. väärät maalityypit sekä ulkoverhouksen maalaus- ja huoltotöiden laiminlyönti.

Mikäli ulkoverhous joudutaan vaihtamaan, kannattaa miettiä lisäeristyksen laittamista samalla kun rakenteita joudutaan uusimaan joka tapauksessa. Oikein toteutettu lisäeristys säästää energiaa ja siirtää kastepisteen lähemmäksi tuulensuojalevyn ulkopintaa, jolloin mahdollinen kosteus pääsee tuulettumaan ulkoverhouksen alla olevasta tuuletusvälistä pois.

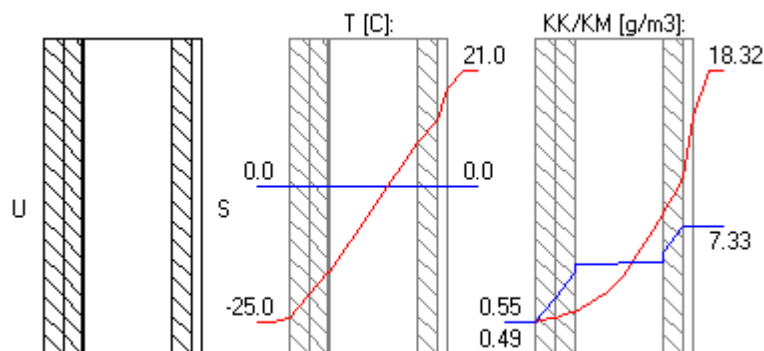
Esimerkki rakenteena laskelmissa käytän perinteisen rintamamiestalon rakennetta, jossa rankorakenne on 2"x4" 100 mm purueristeellä. Ulkoverhouksen uusiminen yhteydessä tehtävä lisäeristys on luvanvarainen toimenpide, jolloin tulee parantaa rakennusosan energiatehokkuutta niiltä osin kuin ympäristöministeriön asetuksessa 4/13 määrätään. Tämä tarkoittaa käytännössä alkuperäisen U-arvon puolittamista.

8.3.1 Ulkoseinien lisäeristäminen ulkopuolelta

Tässä vaihtoehdossa tarkastellaan ulkopuolisen lisäeristyksen vaikutusta seinärakenteen lämmönjohtavuuteen lämpötila- ja kosteus jakaumaan sekä rakennetta millä saavutetaan ympäristöministeriön asetuksen 4/13 määrittelemät U-arvoluvut. Tarkastelun lähtökohtana on pakkasjakso pääkaupunkiseudulla, jonka kesto on 10 päivää ja lämpötila ero 46 °C.

Ulkolämpötila on $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteellinen kosteus RH 90 % ja sisälämpötila $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteellinen kosteus RH 40 %.

Alkuperäisessä ulkoseinärakenteessa (kuva 1a.) lämpötilajakaumaa katsoessa huomaa, että pitkän pakkasjakson aikana yli puolet rakenteen paksuudesta on pakkasen puolella ja myös kastepiste sijaitsee hyvin lähellä lämpötilajakauman nollapistettä. Tästä ei kuitenkaan ole haittaa rakenteelle, koska kastepisteessä oleva vesi ei pisaroidu rakenteeseen, vaan sitoutuu puuperäiseen materiaaliin laaja-alaisesti luovuttaen kosteutta pois rakenteesta olosuhteiden muuttuessa ja siten mahdollistaa kuivumisen. Jotta rakenne toimisi edellä kuvatulla tavalla, on sen kaikkien osien oltava niin sanotusti hygroskooppisia.



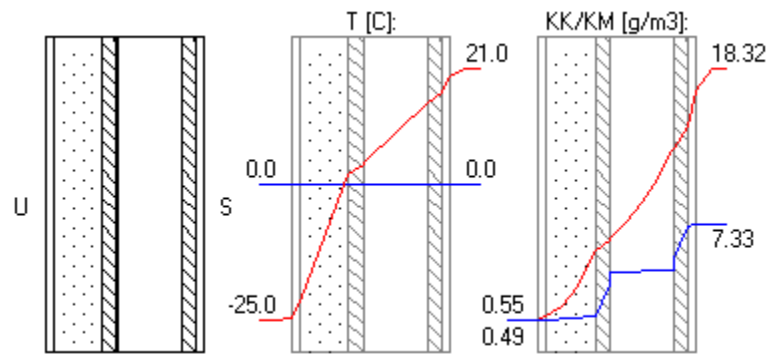
Kuva 1a.

Lisäeristäminen ulkopuolelta voidaan toteuttaa muutamalla eri tavalla. Yksi tapa eristää on esimerkiksi puhallusvillan puhaltaminen märkämenetelmällä. Tämän menetelmän hyviä puolia on, että rakenteessa olevat mahdolliset epätasaisuudet, mittapoikkeamat ja reiät saadaan peitettyä tehokkaasti selluvillalla. Valmistajan mukaan pinnat voidaan heti sulkea huokoisella tuulensuojalevyllä.

(<http://www.ekovilla.com/>)

Huonona puolena märkäpuhalluksessa on, että talon ympäri pitäisi olla telineet, jotta puhaltaminen onnistuisi yhdellä käyntikerralla. Tämä vaikuttaa jonkin verran lisäeristämisen kustannuksiin.

Tässä vaihtoehdossa perehdytään lisäeristämään levyeristeellä, joka on hygroskooppisuudeltaan tarkasteltuna samankaltainen kuin alkuperäisen rakenteen kerrokset. Alla olevassa kuvassa (kuva 1b.) nähdään kuinka rakenteen kosteuskäyrä muuttuu siten, että mahdollinen kastepiste siirtyy hyvin lähelle tuulensuojan ulkoreunaa, jolloin mahdollinen kosteus pääsee haihtumaan siitä tuuletusväliin. Alkuperäinen rakenne jää nyt kokonaisuudessaan lämpöiselle puolelle, joka ennalta ehkäisee kosteusvauriomekanismien syntyä. Lisäeristys on toteutettu U-arvo ja lämpöhävikki laskelmassa seuraavasti; alkuperäinen ulkoverhous on poistettu ja tilalle on laitettu ekovillan levyeristettä 75 mm ja tämän päälle 25 mm huokoinen puukuitulevy (runkoleijona). Tämän rakenteen U-arvo on $0,25\text{ W/m}^2\text{K}$ ja lämpöhäviö vuodessa $32,32\text{ kWh/m}^2$.

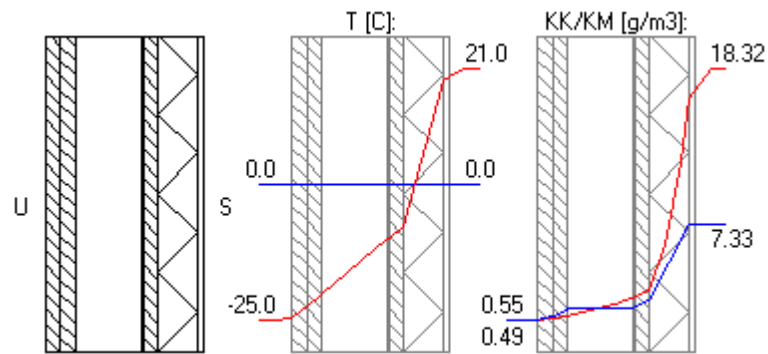


Kuva 1b.

8.3.2 Ulkoseinien lisäeristäminen sisäpuolelta

Ulkoseinät voidaan lisäeristää myös sisäpuolelta käsin. Sisäpuolisen lämmöneristykseen tulisi olla tiivistetty joka suuntaan jatkuviin rakenteisiin (ala-, väli- ja yläpohjat sekä sivuttaissuunnassa). Ensimmäiseksi tarkastelen lisäeristystä (kuva 1c), joka on toteutettu sisäpuolelle asennetulla polyuretaani levyllä, jonka pinnassa on valmiiksi valmistajan toimesta asennettu kipsilevy. Tarkastelujaksona on pakkasjakso, jonka lähtötiedot on mainittu ulkoseinien lisäeristämisen ulkopuolelta tarkastelun yhteydessä. Lämpötilajakauman leikkauspiste näyttää siirtyvän pakkasjakson aikana alkuperäisestä paikastaan alkuperäisen sisäpinnan tasoon eli alkuperäinen ulkoseinärakenne jää kokonaan kylmän puolelle. Kun tarkastellaan kosteusjakamaa rakenteessa, huomion arvoista on, että kastepiste jää suurin piirtein samaan kohtaan rakennetta kuin alkuperäisessä rakenteessa, vaikka lämpötila siirtyy merkittävästi sisäänpäin. Rakenteen U-arvo on lisäeristämisen jälkeen $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja lämpöhäviö vuotuisella tasolla $33,58 \text{ kWh/m}^2$.

Tämän kaltaisessa eristysvaihtoehdossa tulee aina kiinnittää huomiota myös ilmanvaihdon parantamiseen. Kun seinä eristetään polyuretaanilla lämpöiseltä puolelta, häviää alkuperäisen hengittävän rakenteen ominaisuus sitoa diffuusiolla tapahtuvaa vesihöyrynläikkettä, joka tasasi sisällä ajoittain nousevia kosteusmääriä ja sisäilman kuivuttua luovutti sitä takaisin. Toisin sanoen polyuretaani toimii rakenteessa höyrinsulkuna. Tämä saattaa aiheuttaa tilanteen, jossa vesihöyry pääsee tiivistymään rakenteisiin aiheuttaen mahdollisia kosteusvaurioita, mikäli ilmanvaihtoa ei ole tehostettu. Ilmanvaihdon tarkoitus on viedä ylimääräinen kosteus pois sisäilmasta.



Kuva 1c.

Toisessa vaihtoehdossa tarkastellaan lisäeristystä (kuva 1d), joka on toteutettu poistaen huokoinen kuitulevy sisäpinnasta ja laittamalla siihen höyrynsulkumuovi, mineraalivilla 50 mm ja 13 mm kipsilevy pintaverhoiluksi. Tarkastelussa on pakkasjakso. Lämpötilajakaumaa tarkasteltaessa huomataan, että lämpötilan leikkauspiste näyttää sijoittuvan hieman lähemmäksi runkorakennetta kuin edellisessä vaihtoehdossa, mutta siitä huolimatta alkuperäinen rakenne jää kylmänpuolelle. Kosteusjakauman tarkastelussa huomataan, että kosteus tiivistyy höyrynsulkuun.

Seuraava rakenne (kuva 1e) on toteutettu samalla tavalla kuin edellä mainittu, ainoastaan höyrynsulku on poistettu rakenteesta. Lämpötilajakauman leikkauspiste säilyy samassa kohdassa kuin edellisessä, mutta kastepiste muodostuu rakenteen lisäeristysvillan hieman alle puoleen väliin. Tämä rakenne olisi todennäköisesti jokseenkin toimiva, mikäli kysymyksessä olisi hygroskooppinen materiaali esimerkiksi selluvilla. Edellisten rakenteiden lisäeristysjälkeen U-arvo on $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja lämpöhäviö vuotuisella tasolla $42,73 \text{ kWh/m}^2$. Tällä rakenteella U-arvo vaatimus ei täytyisi, joten eristevillan määrää tulisi lisätä.

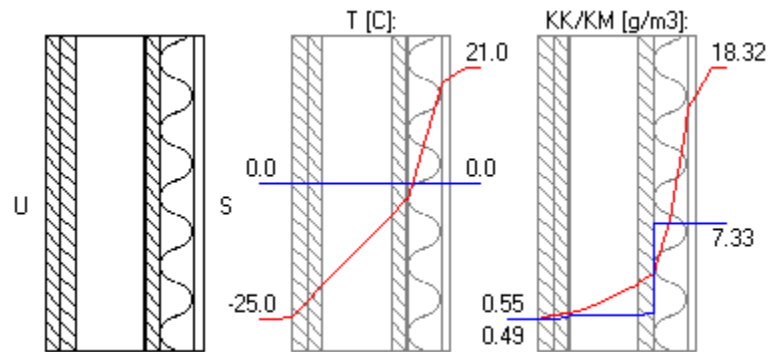
Sisäpuolisen lisäeristämisen suurimpana ongelmakohtana pidän alkuperäisen rakenteen jäämistä niin sanotusti kylmälle puolelle, tästä seuraa, että kosteuden rakenteeseen päästyä, rakenne pysyy pitkään kosteana eikä pääse kuivumaan. Tämä lisää kosteusriskin mahdollisuutta huomattavasti.

”Kaikki materiaalit päästävät läpi jonkin verran vesihöyryä. Kosteuden tiivistymistä ei yleensä esiinny, jos höyrynsulun ulkopuolella on kaksi kolmasosaa seinän eristysarvosta. Pohjoisimmilla alueilla saattaa kuitenkin olla tarpeen, että höyrynsulun ulkopuolella on jopa 80 prosenttia eristysarvosta”.

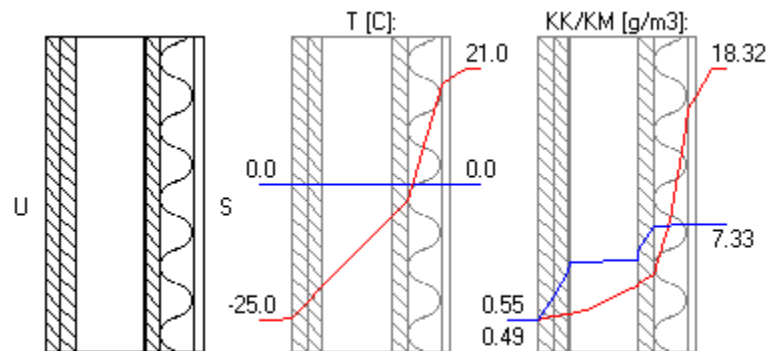
<http://www.paroc.fi/knowhow/energiatehokkuus/rakennusten-suunnittelu/rakennuksen-vaippa>

Sisäpuolisen lisäeristysjälkeen toteutus mineraalivillalevyin ei täytä edellä mainitussa kirjoituksessa kerrottua kosteuden tiivistymiseen liittyvään

eristysten välistä suhdetta. Toisaalta on huomioitavaa, että kaikki tarkastelut on tehty pakkasjakson aikaisina tarkasteluina.



Kuva 1d.

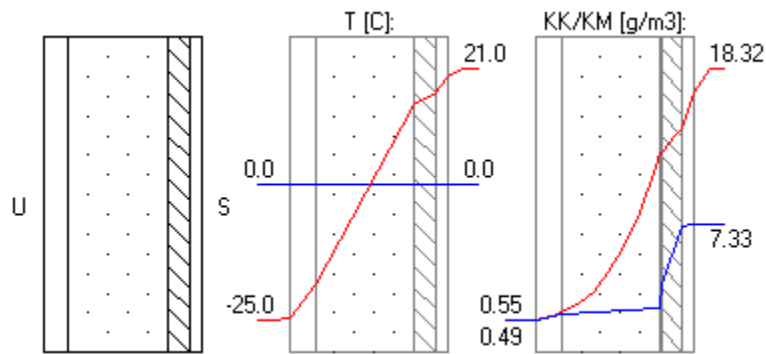


Kuva 1e.

8.3.3 Ulkoseinien eristeen vaihto ulkopuolelta

Ulkoseinien eristeiden vaihto on varteen otettava vaihtoehto silloin, kun ulkoverhous on muutoinkin elinkaarensa päässä tai ei haluta tehdä ulkovaipasta alkuperäistä kovinkaan paljoa massiivisempaa. Työmäärällisesti tämä on hyvin isotöinen vaihtoehto, mutta U-arvoluvun paranemisen kannalta hyvinkin varteenotettava. Rakenteen turvallisen toiminnan kannalta tämä on paras vaihtoehto toteuttaa eristäminen, koska seinärakenteesta poistuu kaikki ylimääräiset kerrokset.

Seinärakenteen (kuva 1f.) lämpötila- ja kosteusjakaumaa tarkastellessa huomataan, että lämpötilajakauma pysyy lähellä alkuperäisen rakenteen lämpötilan leikkauspistettä, mutta kosteusjakauman kastepiste siirtyy huokoisen puukuitulevyn alueelle mistä sillä on mahdollisuus tuulettaa pois tuuletusväliin. Tarkastelutilanteessa käytetään 10 päivän pakkasjaksoa. Rakenteen U-arvo on 0,28 W/m²K ja lämpöhävikki 35,76 kWh/m²/vuosi.



Kuva 1f.

8.4 Tuulettuva alapohja

Rintamamiestalojen tuulettuvien alapohjien eristemäärät olivat kohtuullisen suuria jopa tämän päivän mittapuun mukaan, tosin eristeen eristävyys oli toista luokkaa kuin nykypäivän eristeillä. Usein ajatellaan, että rintamamiestaloissa alapohja on huonosti eristetty kun lattian rajassa tuntuu vedon tunnetta. Tämä tuntemus johtuu yleensä ilmansulun vuodoista sekä painuneesta purueristeestä, jolloin kylmä ilma pääsee viilentämään lattiarakennetta suuriltakin alueilta. Ilmavuodot ovat yleisiä alapohjanliitoksissa ja nurkkien alueilla. Lisäeristämistä voidaan suorittaa myös lämpövuodoille alttiimmasta paikasta ilman, että tarvitsee koko alapohjan-alaa lisäeristää. Lisäeristäminen voidaan rajoittaa alapohjan ja seinien välisiin liitoksiin. (*Perinnemestarin Rintamamiestalo, Hannu Rinne 2013*)

Alapohjan lisäeristäminen voidaan suorittaa joko huoneen puolelta tai ryömintätilasta käsin edellyttäen, että ryömintätilan korkeus on riittävä työn suorittamiseen. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ainoastaan huoneen puolelta tehtäviä vaihtoehtoja.

Aina kun tarkastellaan tuulettuvaa alapohjaa, on myös syytä tarkastaa alapohjan rakenteellinen kunto ja varmistaa riittävä tuulettuminen. Sokkelissa sijaitsevien tuuletusaukkojen yhteispinta-ala tulee olla vähintään 4 ‰ ryömintätilan pinta-alasta ja kooltaan minimissään 150 cm². Ryömintätilassa oleviin seiniin ja osastoihin palkkeihin tulee tehdä kaksi kertaa suuremmat tuuletusaukot kuin samalla linjalla olevassa sokkelissa on. (*Rakentamismääräyskokoelma C2*)

8.4.1 Tuulettuvan alapohjan osittainen eristäminen

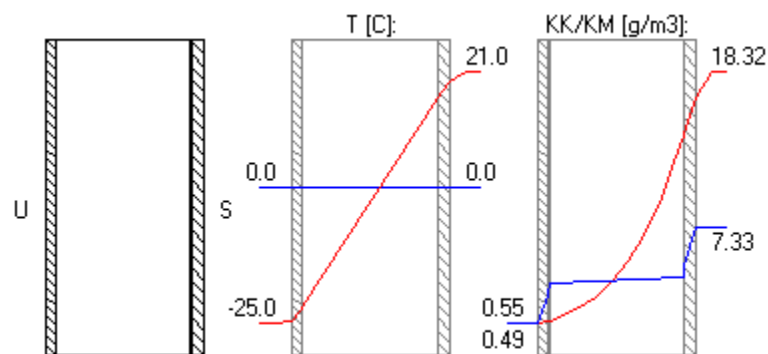
Tuulettuvan alapohjan osittainen eristäminen on suhteellisen helposti toteutettavissa, oli rintamamiestalojen lattiat yleensä toteutettu lattialaudoin. Ennen varsinaista eristämistyötä on perehdyttävä alkuperäisen eristeen kuntoon sekä tarkastaa ilmansulun tiiveys avaamalla 2-4 lattialautaa, jolloin pystytään toteamaan edellä mainitut asiat sekä saamaan tarkempi käsitys lattiarakenteesta. Toisaalta helpompi ja tarkempi

tapa saada tietoa rakenteiden ilmanvuodoista ja eristyspuutteista on teetättävä tiiveysmittaus ja lämpökamerakuvaus. Tällöin pystytään rajaamaan mahdolliset lisäeristys- ja tiivistystyöt niitä oikeasti vaativiin rakennusosiin.

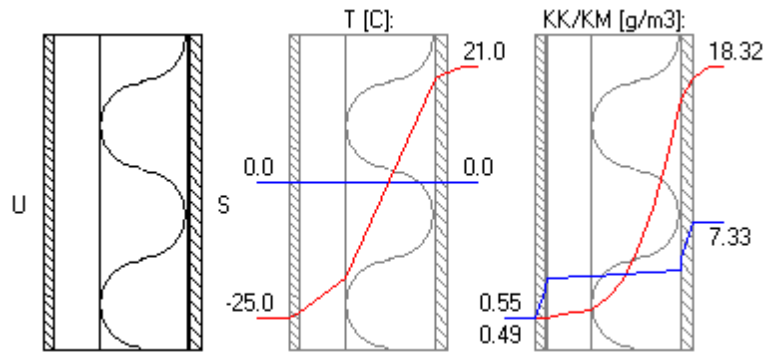
Osittainen lisäeristys voidaan toteuttaa joko koko rakenteen paksuudelta taikka vaihtoehtoisesti vain pinnan osalta (50–100 mm). Tärkeintä on, että rakenteen ilmansulku saadaan tiiviiksi lisäeristyksen jälkeen. Tämä toimenpide ei paranna U-arvoa isossa mittakaavassa, mutta estää haitalliset ilmavuodot ja parantaa ulkoseinien ja alapohjan liitoksien lämmöneristystä. Vaikka edellä mainittu toimenpide ei vaikuta suuresti rakennusosan U-arvoon, niin sillä on lämpöhäviöiden kannalta suuri merkitys kokonaisuuteen ja turvallisesti toimivaan rakenteeseen. Oikein tehty ilmansulun tiivistys vähentää kosteusvaurioriskiä huomattavasti, jolloin haitallinen konvektio saadaan pidettyä kurissa.

8.4.2 Tuulettuvan alapohjan lisäeristäminen sisäpuolelta vaihtoehto 1

Tarkasteltavan rakenteen alapohjan (kuva 1b.) lisäeristäminen, on toteutettu jättämällä 100 mm kerros purueristettä pohjalle, jonka päälle on laitettu mineraalivillalevyt 200 mm vahvuudella. Vaikka U-arvo paranee merkittävästi osittaisella eristeen vaihdolla, lämpötila- ja kosteusjakauma näyttävät siirtyvän lähemmäksi sisäpintaa kuin alkuperäisessä rakenteessa. Tämä selittyy sillä, että mineraalivillan vesihöyryn läpäisevyys on pienempi kuin purueristeellä. Alkuperäisen rakenteen (kuva 1a) U-arvo on $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja vuotuinen lämpöhukka $40,96 \text{ kWh/m}^2$. Lisäeristetylle rakenteelle (kuva 1b) U-arvo on $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja lämpöhukka vuositasolla $18,30 \text{ kWh/m}^2$.



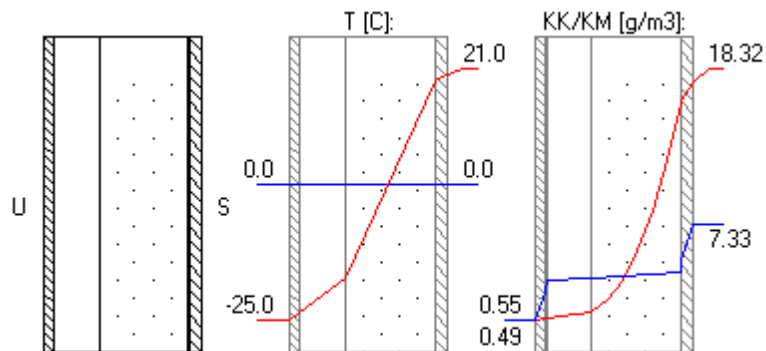
Kuva 1a.



Kuva 1b.

8.4.3 Tuulettuvan alapohjan lisäeristäminen sisäpuolelta vaihtoehto 2

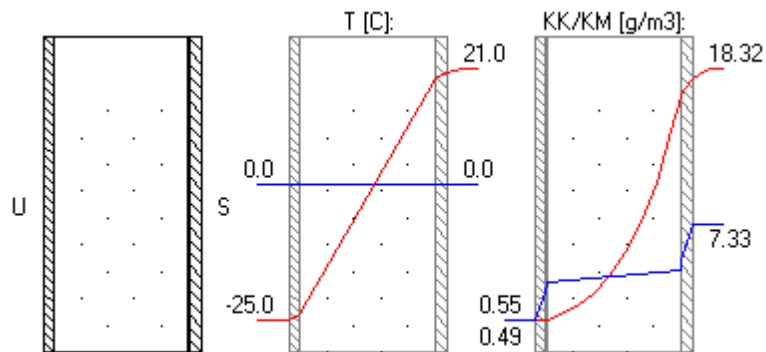
Tämän alapohjarakenteen (kuva 1c.) lisäeristys on toteutettu selluvillalevyllä eristepaksuudella 200 mm, jonka alle jätetään alkuperäistä purueristettä 100 mm. Lämpötila- ja kosteusjakauma noudattelee hyvin tarkasti edellisen tarkastelun tuloksia. Lisäeristetyn rakenteen (kuva 1c) U-arvo on $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja vuotuinen lämpöhäviö $19,49 \text{ kWh/m}^2$.



Kuva 1c.

8.4.4 Tuulettuvan alapohjan eristeiden vaihto 1

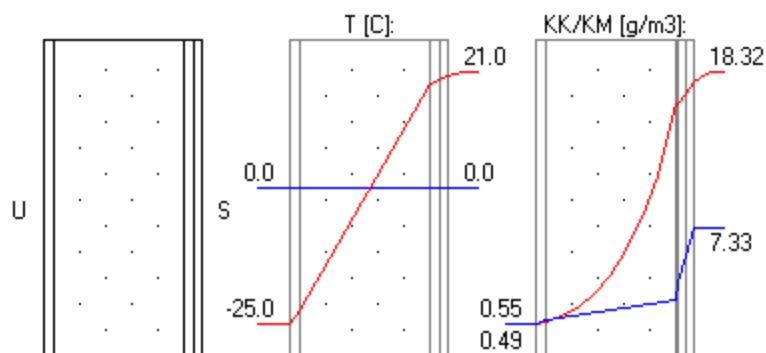
Tässä alapohjarakenteessa (kuva 1d.) tarkastellaan eristeen vaihtoa kokonaisuudessaan, mutta jätetään alapohjan täytepohja ja tervapaperi paikoilleen. Eristeenä käytetään puhallettavaa selluvillaa 300 mm eristepaksuudella. Lämpötilajakaumaa tarkastellessa huomaa, että lämpötilan leikkauspiste säilyy hyvin lähellä alkuperäisen rakenteen leikkauspisteen paikkaa. Kosteusjakauman kastepiste siirtyy ainoastaan hiukan lähemmäksi ulkopintaa. Rakenteen U-arvo on $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja lämpöhäviö vuotuisella tasolla $15,44 \text{ kWh/m}^2$.



Kuva 1d.

8.4.5 Tuulettuvan alapohjan eristeiden vaihto 2

Alapohjan eristeiden vaihtoon on syytä ryhtyä ainoastaan silloin, jos eristeet ovat pilaantuneet, valuneet tuuletustilaan tai halutaan parantaa alapohjan U-arvoa tehokkaasti ja turvallisesti. Tarkastelussa on alapohjarakenne (kuva 1e.), joka vastaa nykyään käytettäviä rakennratkaisuja. Alimmaisena rakenteessa on runkoleijona 25 mm, selluvillaeriste puhallettuna 325 mm, ilmansulku (Ekovilla X5), lattiavaneri 21 mm ja päällä lattialastulevy 22 mm. Rakenteen U-arvo on $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja lämpöhäviö vuodessa $13,75 \text{ kWh/m}^2$. Lämpötilajakauman lämpötilan leikkauspiste näyttäisi pysyvän hyvin lähellä alkuperäisen rakenteen leikkauspistettä. Kosteusjakaumaa tarkastellessa huomataan kastepisteen siirtyneen huokoisen puukuitulevyn ja puhallusvillan rajapinnan tuntumaan. Kosteus pääsee siirtymään tästä pisteestä tuuletustilaan ja rakenne kuivuu. Tarkastelussa käytettiin pakkasjakson mukaisia arvoja.



Kuva 1e.

8.5 Maanvarainen alapohja

Rintamamiestalon kellari on hyvin haasteellinen toteuttaa lämpötekniisesti nykyaikaiseen suuntaan. Maanvaraisen lattialaatan eristäminen on varteenotettava vaihtoehto silloin kun betonilaatassa on kosteuden kanssa ongelmia. Maanvaraisen alapohjan U-arvon parantaminen kovilla

levyeristeillä käy suhteellisen helposti, koska betonilaatta on suhteellisen ohut ja on valettu yleensä suoraan maa-aineksen päälle.

Tässä tarkastellaan maanvaraista betonilaattaa, joka on valettu suoraan saven päälle ja on paksuudeltaan 80 mm, jonka päällä lattialaatta. Käytetään esimerkkinä maanvaraista alapohjaa, jossa kahdella sivulla on reuna-alue. Reuna-alueen U-arvo lasketaan eri maan lämmönvastuksella kuin sisä-alueen. Reuna-alueen U-arvo on noin $0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja sisä-alueen U-arvo on noin $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Edellä mainitun esimerkin tapauksessa voidaan puolittaa U-arvo laittamalla salaojittavat eristelevyt vahvuudella 130 mm, uuden 80 mm paksun betonilaatan alapuolelle. Salaojittavat eristelevyt on kannattavaa asentaa kahdessa 65 mm kerroksessa siten, että levysaumat eivät tulisi päällekkäin. Ratkaisut ja mitoitukset tulee tehdä tapauskohtaisesti.

8.6 Ovet ja ikkunat

Ovien ja ikkunoiden vaikutus rakennuksen energiatalouden kannalta on myös hyvin merkittävä. Niiden kautta lämpöenergiaa poistuu keskimäärin noin 10–15 prosenttia kokonaisenergiasta, joskus jopa yli 20 prosenttia riippuen kohteen iästä, rakennuksen kunnosta, lämmitysmuodosta ja ikkunoiden ja ovien pinta-aloista.

Rintamamiestalojen 2-lasisten ikkunoiden U-arvoluvut vaihtelevat pääsääntöisesti välillä $2,7\text{--}2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tarkkojen arvojen saaminen on hyvin kohdekohtaista ja vaatii aina kohdekohtaiset laskelmat. Mikäli ikkunat vaihdetaan uusiin, on ympäristöministeriön asetuksessa 4/13 määräys, että uusien ikkunoiden U-arvon tulee olla enintään $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia kunnostettaessa tulee lämmönjohtavuutta parantaa mahdollisuuksien mukaan.

Seuraavassa esimerkkilaskelmassa (kuva 1a) rintamamiestalo, jossa ikkunoiden pinta-ala on 10 m^2 ja kohteen sijainti Helsingissä, lämmitysmuotona öljylämmitys. Lähtöarvoina pidetään alkuperäisten ikkunoiden U-arvoa $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja uusien ikkunoiden U-arvoa määräysten minitasolla $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ toteutettuna. Energian hintana käytetään 11 snt/kWh, joka on laskettu lämmitysöljyn keskimääräisellä hintatasolla. Ikkunoiden sijainti talossa on jaoteltu seuraavasti; etelä $4,5 \text{ m}^2$, pohjoinen 3 m^2 , länsi $1,5 \text{ m}^2$ ja idässä 1 m^2 . Laskelman lämpöhäviöarvio perustuu ikkunanvalmistajan laskentaohjelmaan.

	U-arvo	Lämpöhäviön säästö	Auringosta saadun energian ero	Lämmitysenergiatase = lämpöhäviöt - ilmainen säteilyenergia:		Energialuokka
Uudet ikkunat:	* 1	1067	361	707	kWh	A
Vanhat ikkunat:	** 2.7	2882	546	2336	kWh	G
Säästösi vuodessa		1815	185	1629	kWh	
Uudet ikkunat:		117	40	78	euro	
Vanhat ikkunat:		317	60	257	euro	
Säästösi vuodessa		200	1	179	euro	

Kuva 1a.

Alkuperäisten ikkunoiden kunnostus ja tiivistäminen on myös hyvin varteen otettava vaihtoehto vanhojen rakennuksien lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Alkuperäisten ikkunoiden ongelmakohtina on yleensä puutteellinen tiivistys rakennuksen runkoon sekä ikkunapokien elämisen aiheuttamat ilmavuotokohdat. Ilmavuodoilla on merkittävä osuus rakennuksen lämpöhäviöihin ja tyypillisesti isoimmat vuotokohdat löytyvätkin ikkunoista ja ovista. Tämän takia ei tulisi pelkästään tuijottaa ikkunan U-arvoa ja sen kautta pienenevää lämpöhäviötä, vaan tarkastella ikkunoita ja ovia kokonaisuutena. Hyvin tiivistetyllä ikkunalla saadaan helposti säästöjä aikaan ja asumismukavuus lisääntyy kun ei ole vedontunnetta. Myös huonelämpöä voidaan yleensä alentaa onnistuneen tiivistyksen jälkeen. Tiivistystyöhinta ikkunaa kohti riippuu muun muassa ikkunan kunnosta, koosta ja käytettävistä materiaaleista. Karkeasti arvioiden hinta on noin 20–70 euroa/ikkuna. Lämmityskuluissa voidaan saada säästöä jopa 5-15 %.

On olemassa myös muita vaihtoehtoja, joilla saadaan ikkunoiden lämpöhäviöitä kohtuullisesti pienennettyä. Esimerkiksi rintamamiestaloissa yleisesti käytössä olleiden 2-lasisiin ikkunoihin voidaan lisätä kolmas lasi ja tehdä tiivistys, jolloin U-arvoa saadaan pienennettyä kohtuullisesti.

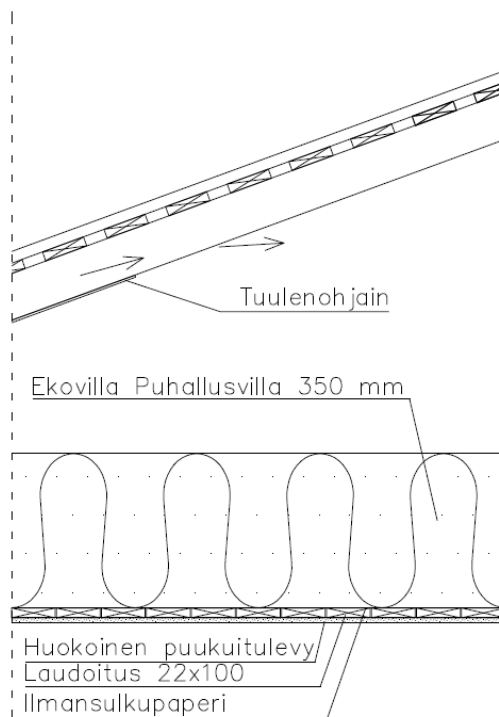
Kolmantena vaihtoehtona on vaihtaa sisempi lasi esimerkiksi eristyslasiksi ja tehdä tiivistys ikkunalle. Tällä vaihtoehdolla saadaan parhaiten pienennettyä lämpöhäviöitä, ikkunoiden U-arvon pienentyessä halutulle tasolle.

9 KOHTEESEEN VALITUT LISÄERISTYSMENETELMÄT

Opinnäytetyön kohteeseen valittiin ympäristöministeriön asetuksen 4/13 ensimmäinen vaihtoehto rakenteiden energiatehokkuuden parantamiseen, joka tarkoittaa sitä, että nykyisten rakenteiden kokonaislämmönläpäisykertoimen tulee puolittua lisäeristyksen myötä. Päätökseen vaikuttivat myös rakennusfysikaaliset ominaisuudet ja perusajatus rakenteen pitämisestä ”hengittävänä”. Ulkoseinän eristämässä päädyttiin korvaamaan purueriste selluvillalevyillä. Näin ollen ulkoverhous ei kasva liian paljon alkuperäisestä tasostaan tehden rakennuksen mittasuhteista talotyyppiin sopimattomia.

9.1 Yläpohja

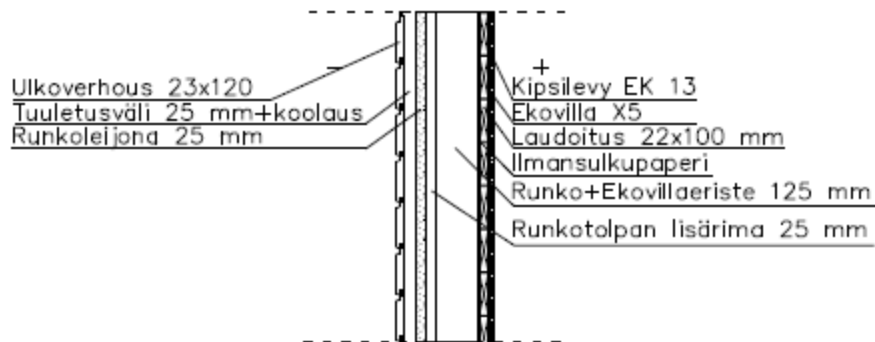
Yläpohjasta poistetaan mineraalivilla, sahanpuru/kutterilastusekoitus ja tilalle puhalletaan Ekovillan selluvillaeriste vahvuudeltaan 370 mm. Tämän toimenpiteen jälkeen yläpohjan (kuva 1a.) suoran osuuden U-arvo on noin $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vinoilta katto-osioilta poistetaan myös sahanpuru/kutterinlastusekoitus ja korvataan se 100 mm polyuretaanilevyllä. U-arvo vinoilla osioilla on noin $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämpöhävikin osalta tämä tarkoittaa suoralla osuudella $13,22 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$ ja lappeen suuntaisella osuudella $29,6 \text{ kWh/m}^2/\text{vuosi}$.



Kuva 1a.

9.2 Ulkoseinä

Ulkoseinien perusrakennetta muutetaan poistamalla vanha ulkoverhous ja runkotolppien välissä olevat purut kokonaisuudessaan. Sisäpintoihin asennettiin (kuva 1c.)ilmansulkupaperi X5 (Ekovilla) sekä pintaverhoiluksi erikoiskova kipsilevy. Runkotolppia kasvatetaan 25 mm ja väliin asennetaan 125 mm Ekovillalevy, jonka päälle laitetaan 25 mm runkoleijona. Runkoleijonan päällä on tuuletusvälinkoolaus 25 mm riittävän tuuletuksen varmistamiseksi. Ulkoverhouksen osalta pinnassa on 23x120 mm ulkoverhouspaneeli. U-arvo rakenteella on 0,24 W/m²K ja vuotuinen lämpöhäviö 30,35 kWh/m². Kuva 1b. esittää rakenneleikkausta.



kuva 1b.

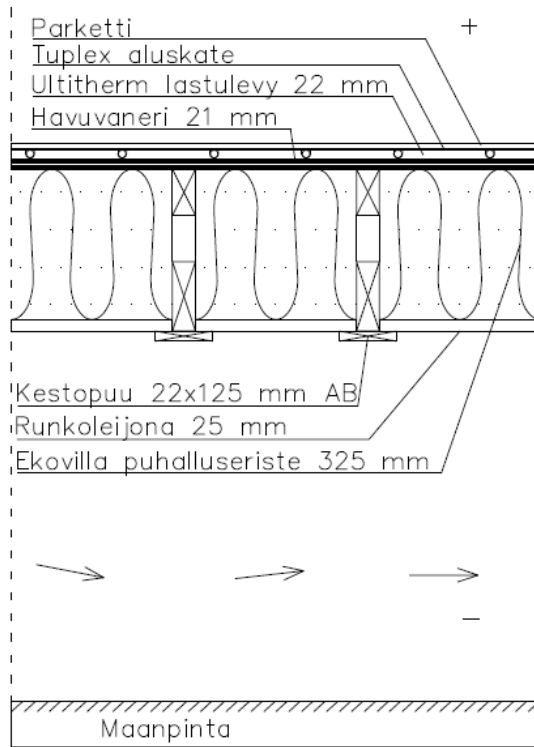


Kuva 1c.

9.3 Tuulettuva alapohja

Tuulettuva alapohjarakenne muuttui kokonaisuudessaan tämän päivän tasoa vastaavaksi täyttäen kiristyneet U-arvovaatimukset. Alapohjarakenne (kuva 1a) tuulettu tilasta huoneistoon päin: tukilaudat kiinnitettyinä alapalkistoon, runkoleijona 25 mm, puhallus selluilla (Ekovilla) 325 mm, ilmansulkupaperi X5 (Ekovilla), lattiavanneri 22 mm, uritettu lattiastulevy (ultitherm) ja pintamateriaalina parketti, jonka alla tuplex-aluskate. U-arvo uudella rakenteella on noin 0,11 W/m²K ja

lämpöhäviö vuositasolla 13,75 kWh/m². Kuvat 1b ja 1c ovat kohteen työvaihekuvia.



Kuva 1a.



Kuva 1b.



Kuva 1c.

10 LASKELMAT ENERGIATEHOKKUDEN PARANTUMISESTA

Opinnäytetyön kohteen alkuperäisten ja uusien rakenteiden lämpöhäviövertailu

Rakenne	Lämpöhäviö kWh/m ² / vuosi	Pinta-ala/m ²	Kokonaislämpöhäviö kWh/vuosi
Alkuperäinen yläpohjarakenne			
Suoran osion pinta-ala 36 m ²	26,58	36,00	956,88
Lappeensuuntainen osio 24 m ²	103,50	24,00	2484,00
Alkuperäinen ulkoseinärakenne	80,28	146,5	11761,02
Alkuperäinen alapohjarakenne	40,96	60	2457,60
			17659,50
Uusi yläpohjarakenne			
Suoran osion pinta-ala 36 m ²	13,22	36,00	475,92
Lappeensuuntainen osio 24 m ²	29,6	24,00	710,40
Uusi ulkoseinärakenne	30,35	146,5	4446,28
Uusi alapohjarakenne	13,75	60	825,00
			6457,60

Rakennusosittain Lämpöhäviövertailu				
	Alkuperäinen	Uusi		
Rakenne	Lämpöhäviö kWh/vuosi	Lämpöhäviö kWh/vuosi	Erotus kWh/vuosi	Erotus euro
Yläpohjarakenne				
Suoran osion pinta-ala 36 m ²	956,88	475,92	480,96	52,91
Lappeensuuntainen osio 24 m ²	2484,00	710,40	1773,60	195,10
Ulkoseinärakenne 146 m ²	11761,02	4446,28	7314,74	804,62
Alapohjarakenne 60 m ²	2457,60	825,00	1632,60	179,59
				1232,21
Laskelmassa energianhinta 11 snt/kWh				

Rakennusmateriaalien kustannus									
Rakenne	Pinta-ala m ²	Eristepaksuus mm	YP/AP tilavuus m ³	Kerroin puhallu svilla	Kokonais määrä	Euroa	yksik kö	Kokonais hinta	
Yläpohjarakenne									
Suoran osion pinta-ala	36	0,37	13,32	2,5	33,3	32,00	m ³	1065,60	
Lappeensuuntainen osio	24	100			25,92	32,00	m ²	829,44	
Ulkoseinärakenne 146 m ²	146	100			147,5	9,46	m ²	1395,35	
Alapohjarakenne 60 m ²	60	0,325	19,5	3,5	68,25	32,00	m ³	2184,00	
								5474,39	

Rakennusosittain takaisinmaksuaika						
Rakenne	Säästö/vuosi	yks	Materiaali kustannus	yks	Takaisin maksu	yks
Yläpohjarakenne						
Suoran osion pinta-ala 36 m ²	52,91	€	1065,6	€	20,1	vuosi
Lappeensuuntainen osio 24 m ²	195,1	€	829,44	€	4,3	vuosi
Ulkoseinärakenne 146 m ²	804,62	€	1395,35	€	1,7	vuosi
Alapohjarakenne 60 m ²	179,59	€	2184	€	12,2	vuosi
	1232,22	€	5474,39	€	4,4	vuosi

11 LASKELMAT TARKASTELUSSA OLLEILTA RAKENTEILTA

Yläpohjan lämpöhäviö vertailu								
Rakenne	Lämpöhäviö kWh/m ²	Pinta-ala/m ²	Kokonaishäviö kWh/v	Säästyvä kWh/v	Euro			
YP alkuperäinen	59,05	60	3543					
YP 1 Mineraalivilla 150 mm	22,247	60	1334,82	2208,18	242,90			
YP 2 puukuitueriste 150 mm	23,51	60	1410,6	2132,4	234,56			
YP 3 puukuitueriste 250 mm	19,07	60	1144,2	2398,8	263,87			
YP 4 puukuitueriste 450 mm	10,979	60	658,74	2884,26	317,27			
Laskennassa käytetty 11 snt/kWh								
Yläpohjan materiaalivertailu takaisinmaksu ajalla								
Rakenne	Pinta-ala/m ²	Määrä m ³	Kerroin	Euroa/yks	Yks	Euro	Säästö	Takaisinmaksu/v
YP 1 Mineraalivilla 150 mm	60			9,88	m ²	592,80	242,9	2,4
YP 2 puukuitueriste 150 mm puhallus	60	9	2,5	32	m ³	720,00	234,56	3,1
YP 3 puukuitueriste 250 mm puhallus	60	15	2,5	32	m ³	1200,00	263,87	4,5
YP 4 puukuitueriste 450 mm puhallus	60	27	2,5	32	m ³	2160,00	317,27	6,8

Ulkoseinärakenteiden lämpöhäviö vertailu					
Rakenne	Lämpöhäviö kWh/m ²	Pinta-ala/m ²	Kokonaishäviö kWh/v	Säästyvä kWh/v	Euro
US alkuperäinen	72,042	146,5	10554,15		
US 1/ ulkopuolinen puukuitueriste 75 mm	32,324	146,5	4735,47	5818,69	640,06
US 2/ korvattu puukuitueriste 100 mm	35,763	146,5	5239,28	5314,87	584,64
US 3/ sisäpuolinen SPU Anselmi 70 mm	33,577	146,5	4919,03	5635,12	619,86
US 4/ sisäpuolinen mineraalivilla 50 mm	42,724	146,5	6259,07	4295,09	472,46
US 5/ korvattu puukuitueriste 125 mm	30,354	146,5	4446,86	6107,29	671,80
Laskennassa käytetty 11 snt/kWh					

Rintamamiestalon energiatehokkuuden parantaminen saneerauksen yhteydessä

Ulkoseinärakenteiden materiaalivertailu takaisinmaksu ajalla								
	Pinta-ala m ²	Määrä	Yks	Euroa/yks	Yks	Euroa	Säästö	Takaisinmaksu/v
US 1/ ulkopuolinen puukuitueriste 75 mm	146,5							
Ekovilla 75 mm		146,5	m ²	7,25	m ²	1062,13		
Mitallistettu kuusi 48x73 mm		366,25	jm	1,19	jm	435,84		
						1497,96	640,06	2,3
US 2/ korvattu puukuitueriste 100 mm	146,5							
Ekovilla 100 mm		146,5	m ²	9,46	m ²	1385,89	584,64	2,4
US 3/ sisäpuolinen SPU Anselmi 70 mm	146,5							
SPU Anselmi 70 mm		140	m ²	30,71	m ²	4299,4		
Polyuretaanivaahto		24	kpl	5,00	kpl	120		
						4419,4	619,86	7,1
US 4/ sisäpuolinen mineraalivilla 50 mm	146,5							
Mineraalivilla 50 mm		140	m ²	4,24	m ²	593,6		
Mitallistettu 48x48 mm		350	jm	0,75	jm	262,5		
						856,1	472,46	1,8
US 5/ korvattu puukuitueriste 125 mm	146,5							
Ekovilla 125 mm		146,5	m ²	11,59	m ²	1697,94		
Sahalauta 22x50 mm		366,25	jm	0,44	jm	161,15		
						1859,09	671,80	2,8

Alapohjan lämpöhäviö vertailu					
Rakenne	Lämpöhäviö kWh/m ²	Pinta-ala/m ²	Kokonaishäviö kWh/v	Säästyvä kWh/v	Euro
AP alkuperäinen	40,96	60	2457,6		
AP 1 Mineraalivilla 200 mm	18,301	60	1098,06	1359,54	149,55
AP 2 puukuitueriste 200 mm	19,485	60	1169,1	1288,5	141,74
AP 3 puukuitueriste 300 mm	15,438	60	926,28	1531,32	168,45
AP 4 puukuitueriste 325 mm	13,754	60	825,24	1632,36	179,56
Laskennassa käytetty 11 snt/kWh					

Alapohjan materiaalivertailu takaisinmaksu ajalla								
Rakenne	Pinta-ala/m ²	Määrä m ³	Kerroin	Euroa/yks	Yks	Euro	Säästö	Takaisinmaksuaika/v
AP 1 Mineraalivilla 200 mm	60			13,22	m ²	793,20	149,55	5,30
AP 2 puukuitueriste 200 mm	60	12	3,5	32	m ³	1344,00	141,74	9,48
AP 3 puukuitueriste 300 mm	60	18	3,5	32	m ³	2016,00	168,45	11,97
AP 4 puukuitueriste 325 mm	60	19,5	3,5	32	m ³	2184,00	179,56	12,16

LÄHTEET

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C4

http://spu.studio.crasman.fi/file/dl/i/O8MYfw/kd2Vt6n5iVhG9tmnj3AXpg/Erista_oikein-Rintamamiestalo.pdf 15.6.2013

Kaila, Panu. 2000. Talotohtori, WSOY Porvoo

Rinne, Hannu.2013. Perinnemestarin Rintamamiestalo, WSOY

Siikanen Unto. Rakennustieto Oy. 2008. Puurakentaminen, Esa Print Oy Tampere

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnittelu/ohjeet/hengittava-puukuiturakenne/koko-ohje.pdf> 20.2.2013

Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012

Ympäristöministeriön asetus 4/13

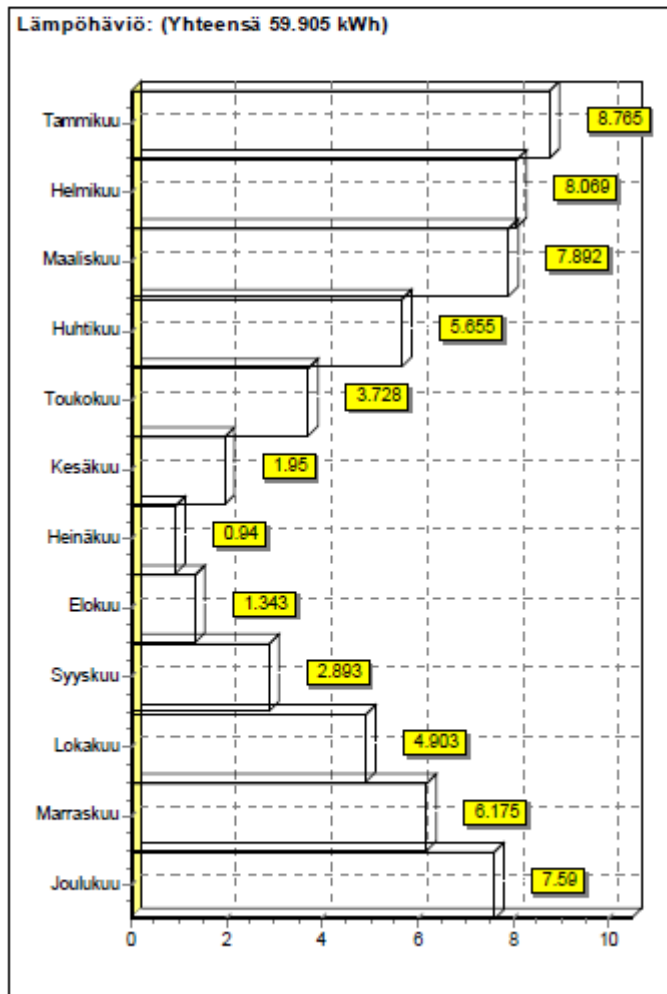
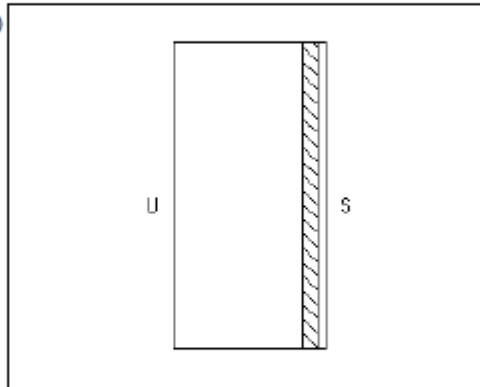
http://www.ekovilla.com/fileadmin/user_upload/dokumentit/Rakopas2013_web.pdf 14.9.2013

<http://www.paroc.fi/knowhow/energiatehokkuus/rakennusten-suunnittelu/rakennuksen-vaippa> 1.10.2013

Lämpöhäviölaskelma YP alkuperäinen

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	YP alkuperäinen	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	10/21/2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Sahanpuru	200.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



Rakenteen päätiedot:

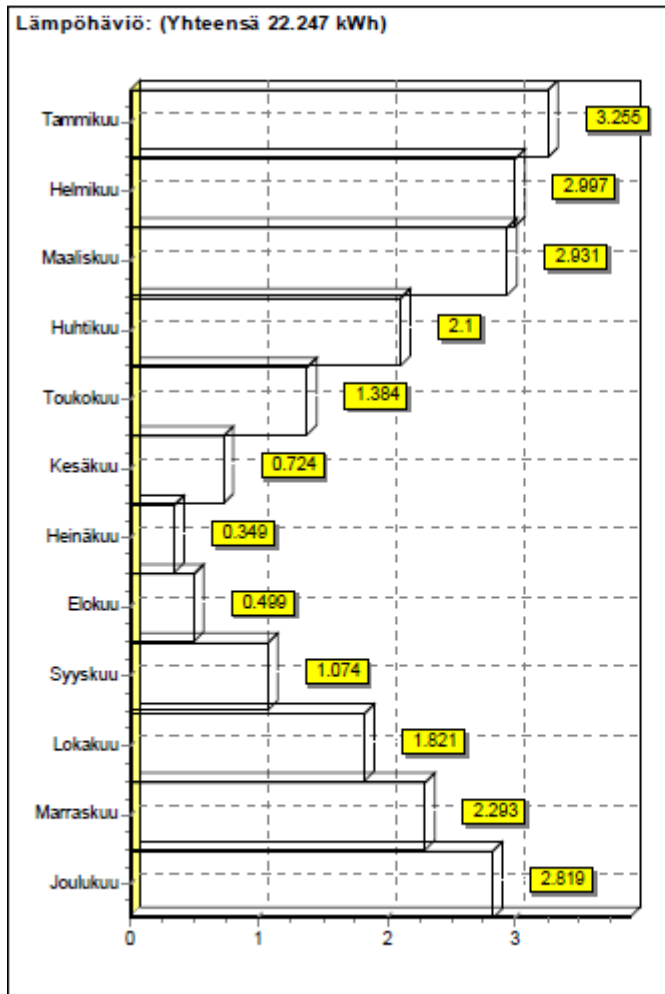
U-arvo:	0.451 W/m ² K
Paksuus:	235.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	45.88 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.482e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.872e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	2.215 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma YP 1

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	YP 1	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	10/21/2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)	
KERROS:	T [mm]:	
Mineraalivilla	150.00	
Sahanpuru	150.00	
Tervapaperi	1.00	
Puu (kuusi)	22.00	
Puukuitulevy, huokoi	12.00	



Rakenteen päätiedot:

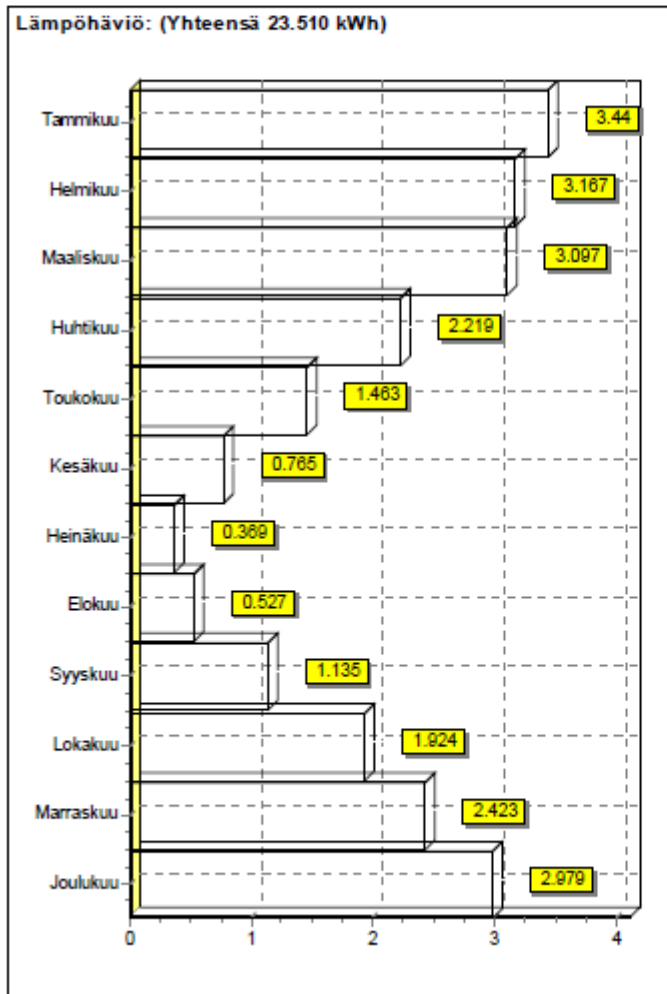
U-arvo:	0.168 W/m2K
Paksuus:	335.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	42.38 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.803e+03 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.629e-04 g/m2hPa
Lämmönvastus:	5.965 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m2K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma YP 2

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	YP 2	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	10/21/2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)	
KERROS:	T [mm]:	
Puukuitueriste	150.00	
Sahanpuru	150.00	
Tervapaperi	1.00	
Puu (kuusi)	22.00	
Puukuitulevy, huokoi	12.00	



Rakenteen päätiedot:

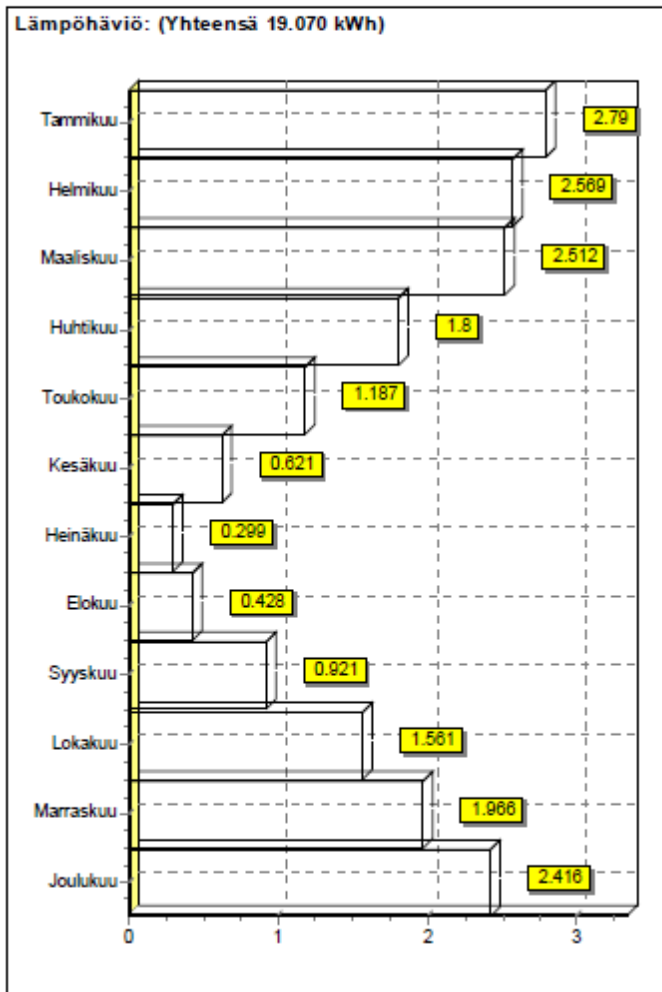
U-arvo:	0.177 W/m2K
Paksuus:	335.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	43.13 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.803e+03 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.629e-04 g/m2hPa
Lämmönvastus:	5.645 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m2K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma YP 3

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	10/21/2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)	
KERROS:	T [mm]:	
Puukuitueriste	250.00	
Tervapaperi	1.00	
Puu (kuusi)	22.00	
Puukuitulevy, huokoi	12.00	



Rakenteen päätiedot:

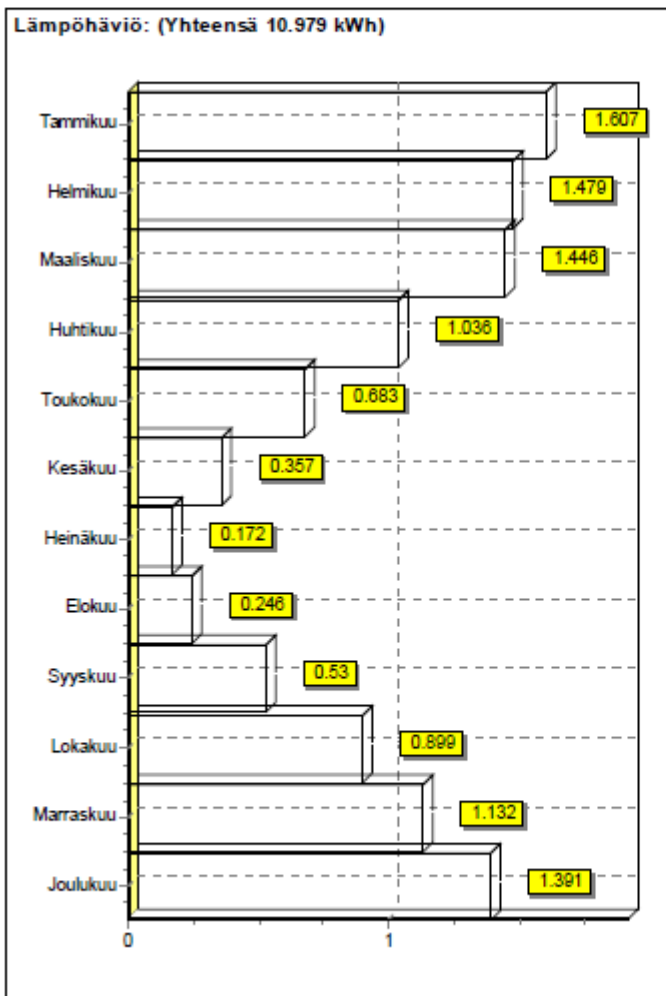
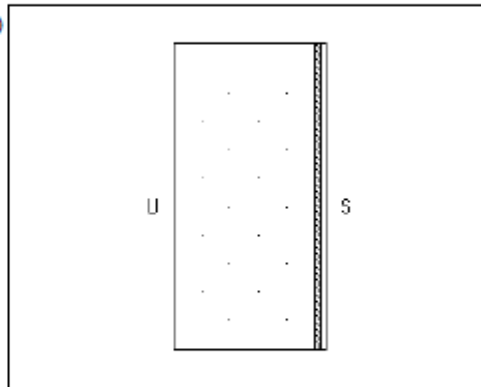
U-arvo:	0.144 W/m ² K
Paksuus:	285.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	22.63 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.841e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.604e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.959 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma YP 4

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	YP 4	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	10/21/2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puukuitueriste	450.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



Rakenteen pää tiedot:	
U-arvo:	0.083 W/m ² K
Paksuus:	485.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	29.63 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	4.370e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.289e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	12.087 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

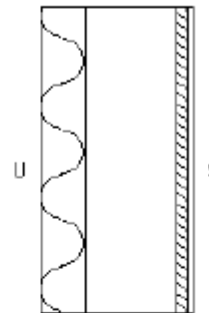
Lisätiedot:	
--------------------	--

Lämpöhäviölaskelma YP As Oy alkuperäinen

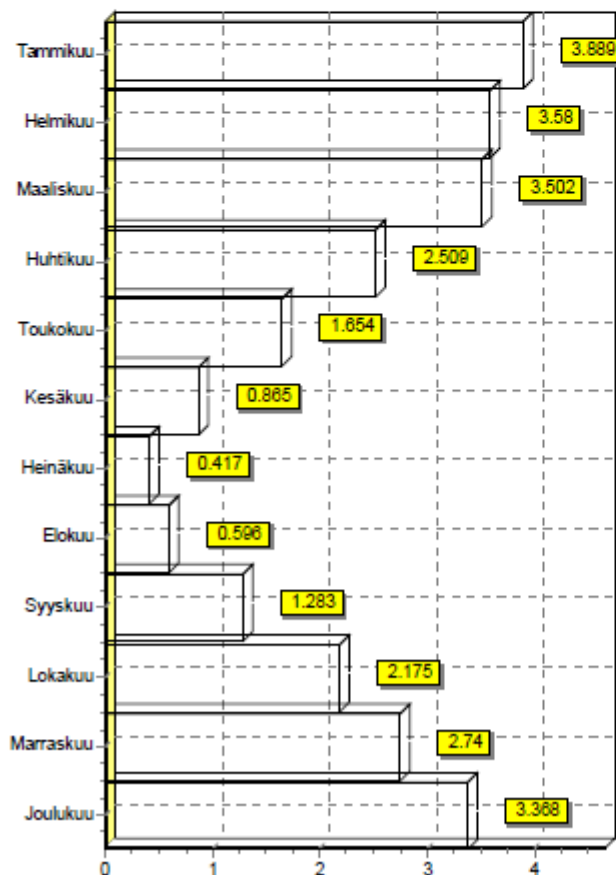
Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	10/21/2013	

Rakenteen kerrostiedot: Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:
Mineraalivilla	100.00
Sahanpuru	200.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 26.578 kWh)



Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.200 W/m ² K
Paksuus:	335.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	48.88 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.747e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.669e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	4.993 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

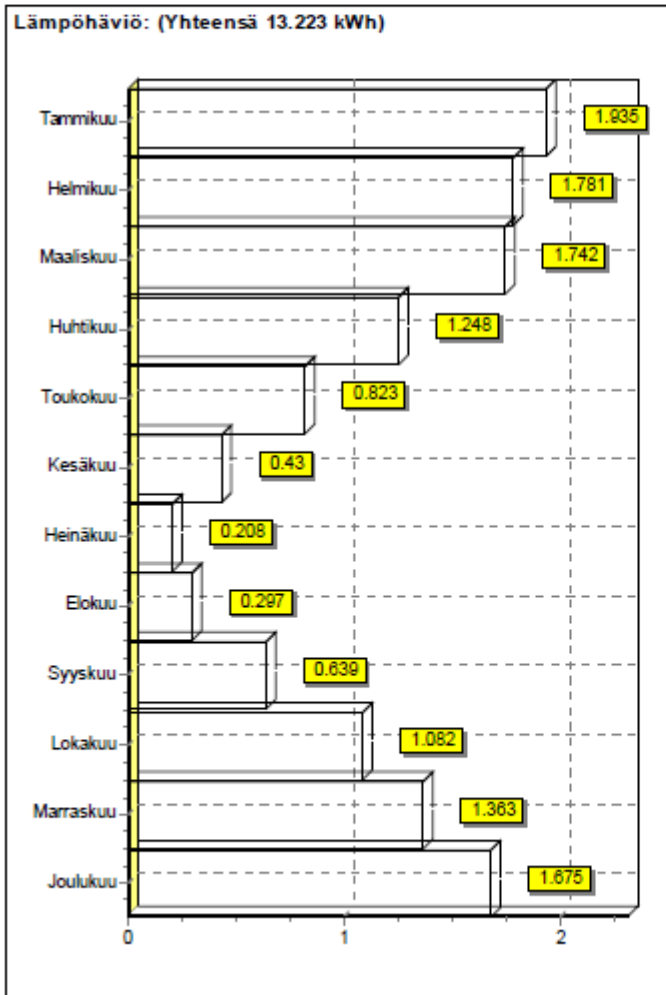
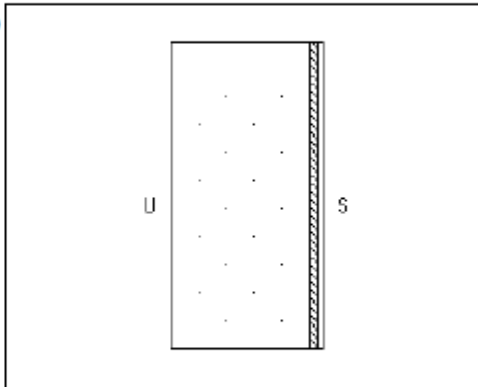
Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma YP As Oy uusi

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	10/21/2013	

Rakenteen kerrostiedot: Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:
Puukuitueriste	370.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



Rakenteen päätiedot:

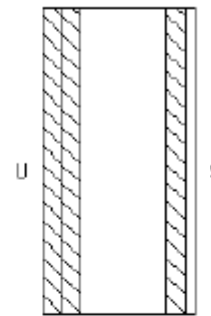
U-arvo:	0.100 W/m ² K
Paksuus:	405.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	26.83 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	4.158e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.405e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	10.036 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

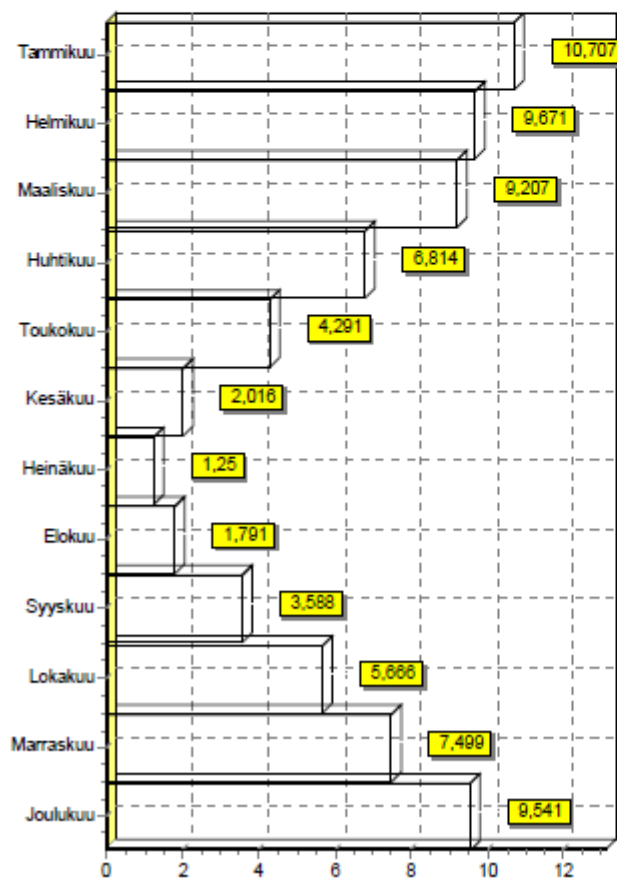
Lämpöhäviölaskelma US alkuperäinen

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	US alkuperäinen	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 72.042 kWh)



Rakenteen päätiedot:

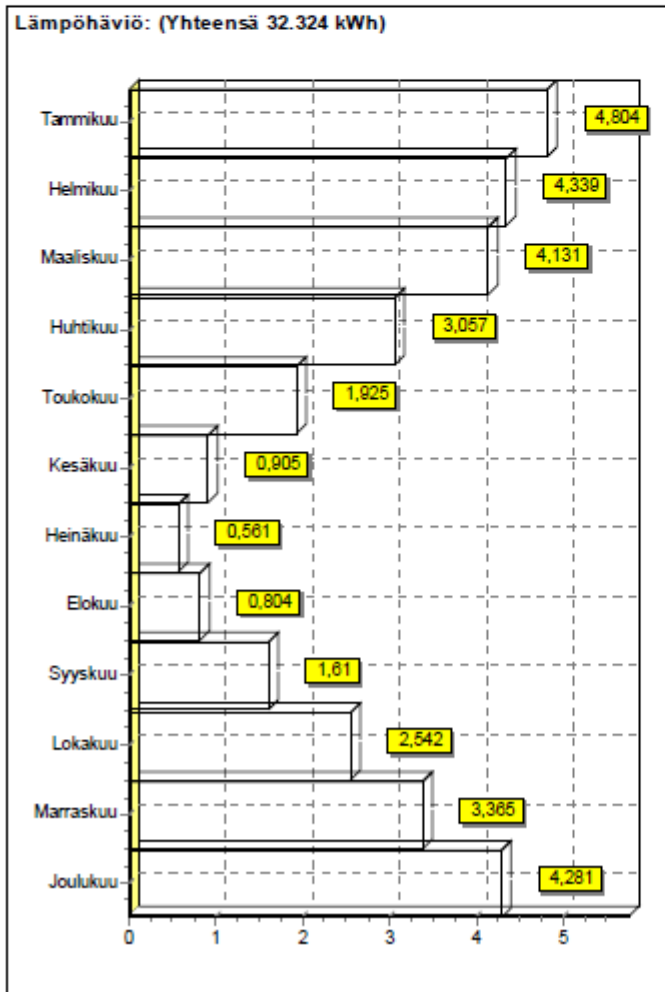
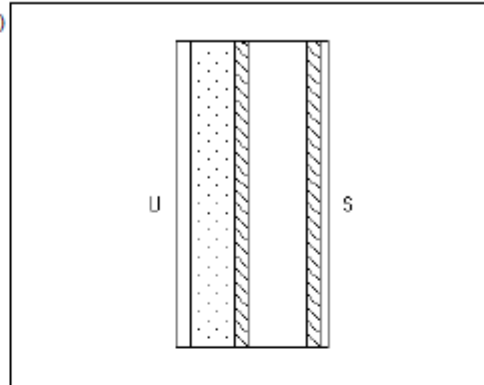
U-arvo:	0.560 W/m ² K
Paksuus:	180.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	49.24 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	8.599e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.163e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	1.786 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma US 1

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	US 1	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puukuitulevy, huokoi	25.00
Puukuitueriste	75.00
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



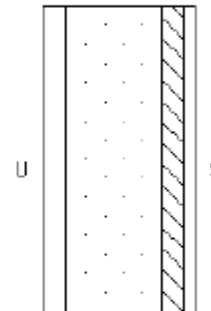
Rakenteen päätiedot:	
U-arvo:	0.251 W/m ² K
Paksuus:	258.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	50.94 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	6.829e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.464e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.980 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

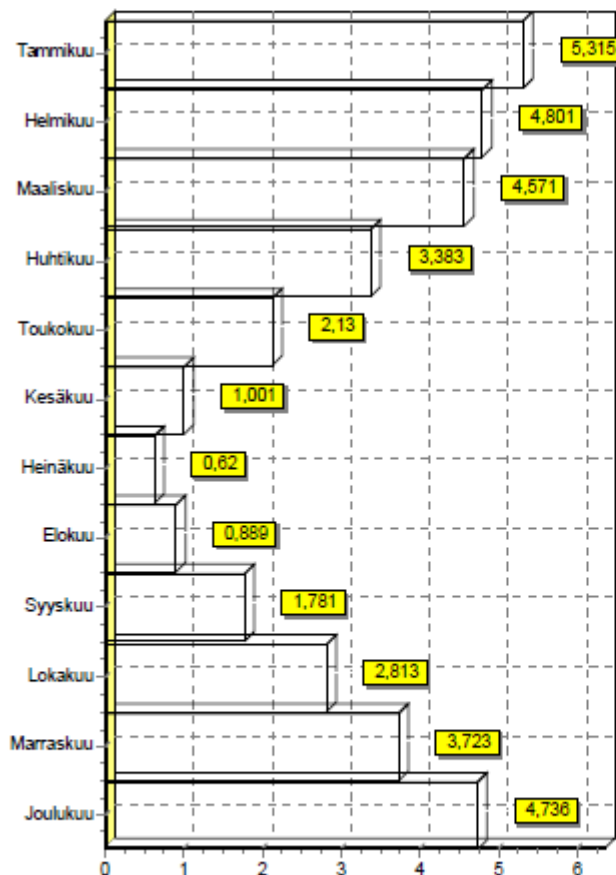
Lämpöhäviölaskelma US 2

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	US 2	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puukuitulevy, huokoi	25.00
Puukuitueriste	100.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 35.763 kWh)



Rakenteen päätiedot:

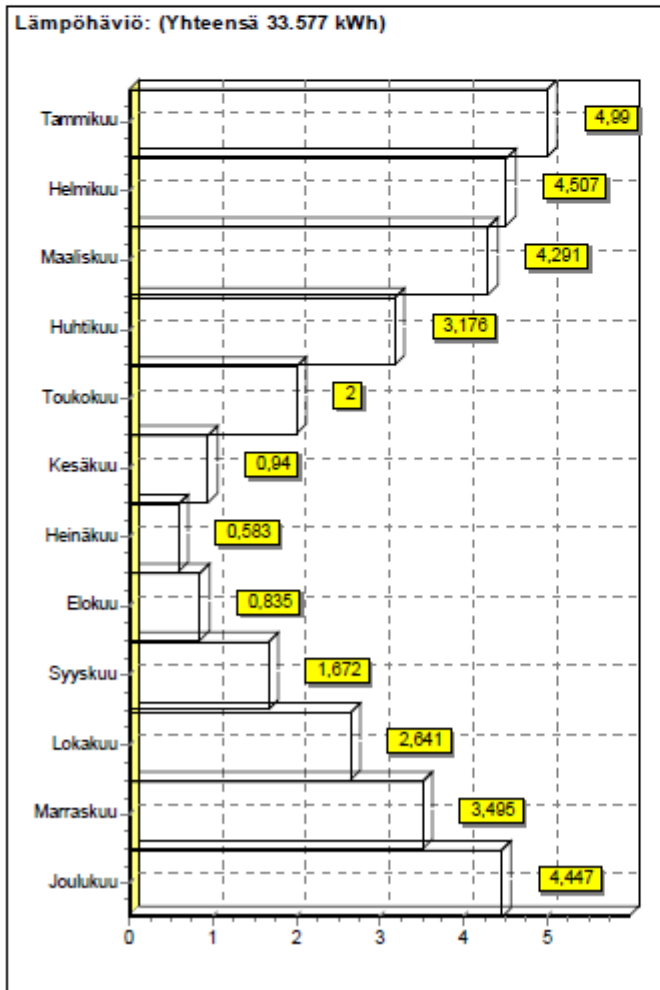
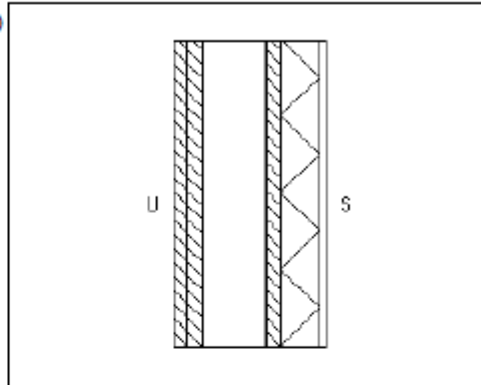
U-arvo:	0.278 W/m ² K
Paksuus:	160.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	26.13 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.675e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.721e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.597 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma US 3

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Polyuretaani	60.00
Kipsilevy	10.00



Rakenteen pää tiedot:

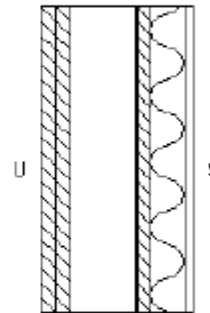
U-arvo:	0.261 W/m ² K
Paksuus:	238.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	60.04 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	4.068e+04 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.458e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.832 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

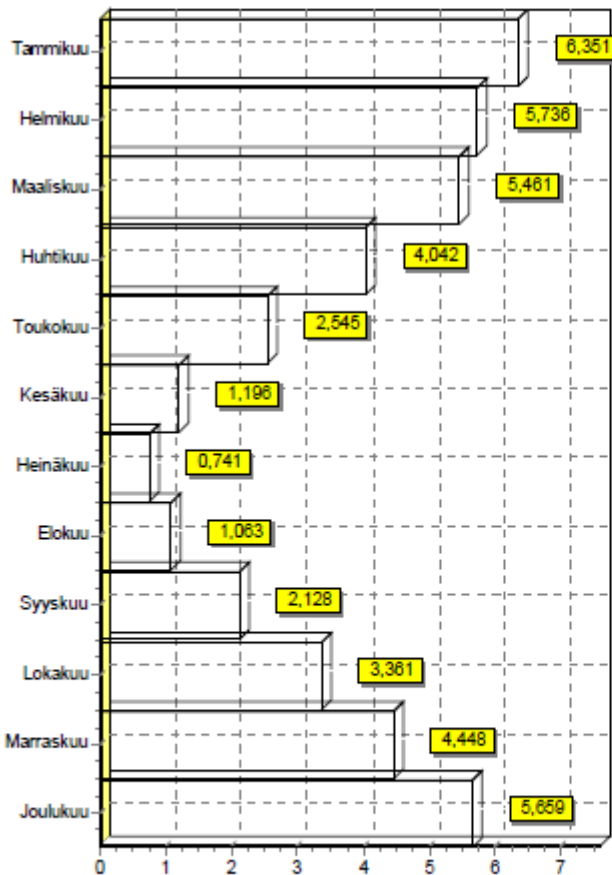
Lämpöhäviölaskelma US 4

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Mineraalivilla	50.00
Kipsilevy	13.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 42.732 kWh)



Rakenteen pää tiedot:

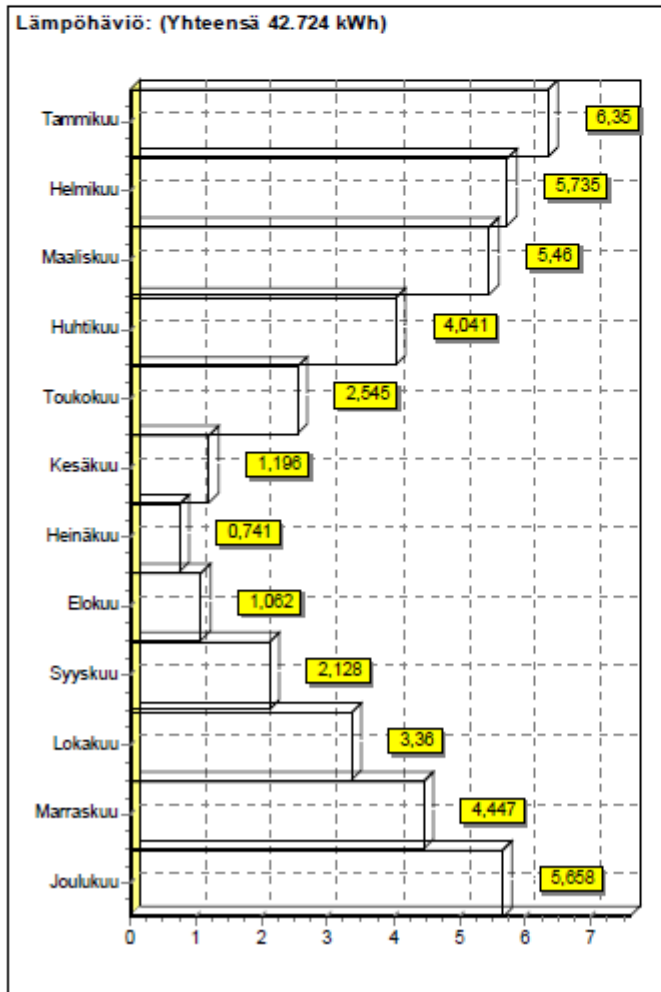
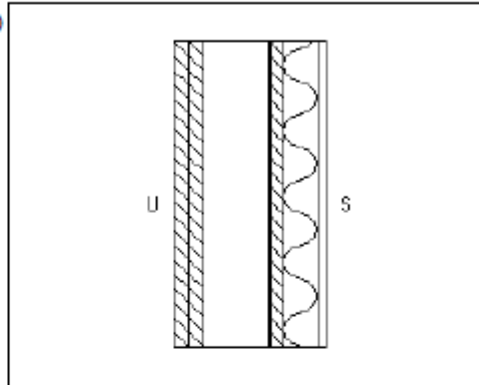
U-arvo:	0.332 W/m ² K
Paksuus:	231.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	62.14 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	9.422e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.061e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.011 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma US 4,2

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Muovikalvo 0.20 mm	0.20
Mineraalivilla	50.00
Kipsilevy	13.00



Rakenteen pää tiedot:

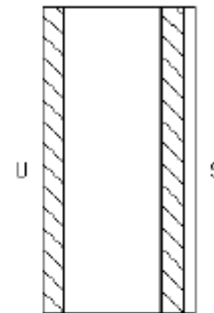
U-arvo:	0.332 W/m ² K
Paksuus:	231.200 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	62.32 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.344e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	7.439e-08 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.011 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

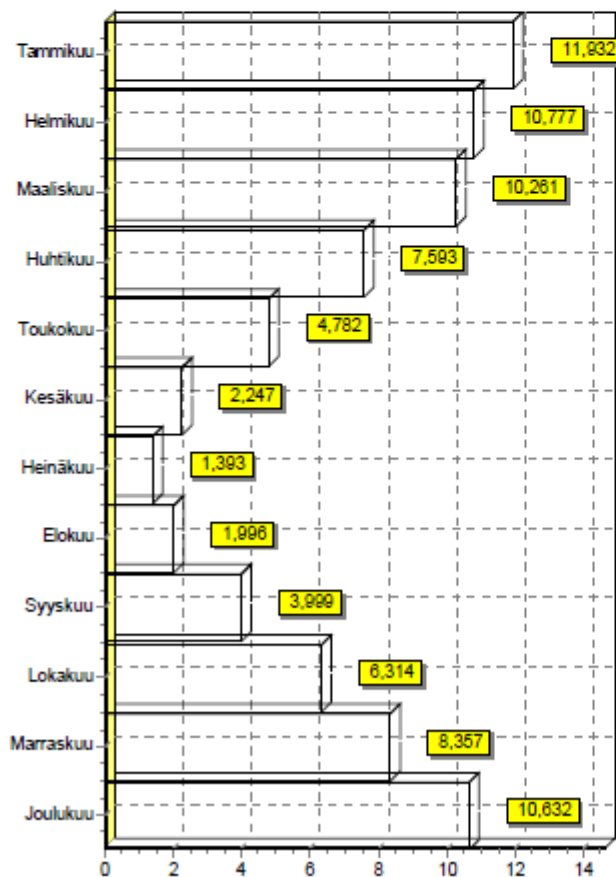
Lämpöhäviölaskelma US As Oy alkuperäinen

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	US As oy Kalliointu	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 80.284 kWh)



Rakenteen päätiedot:

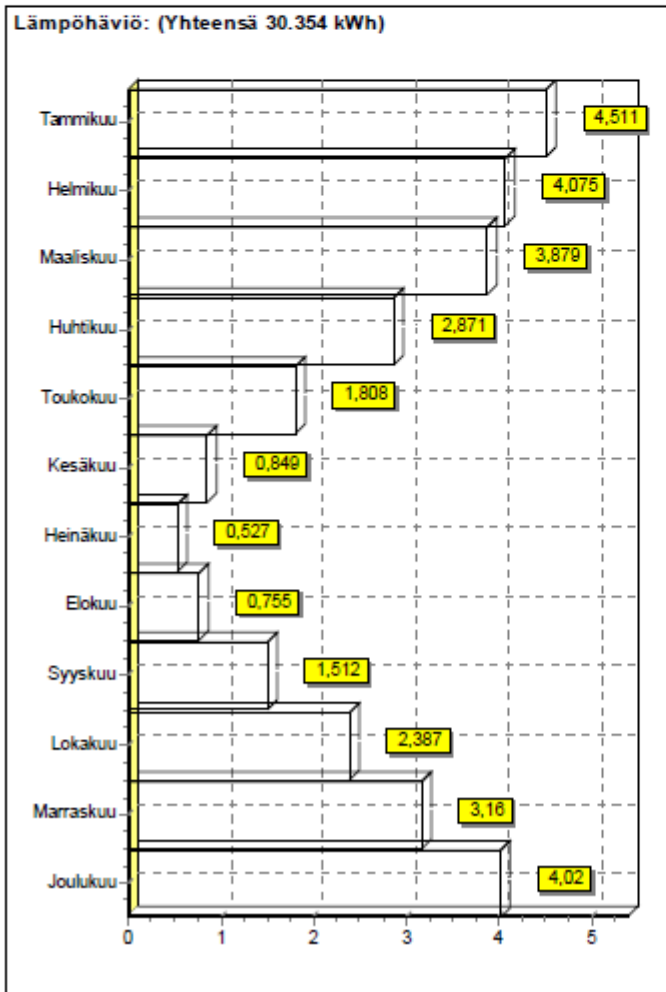
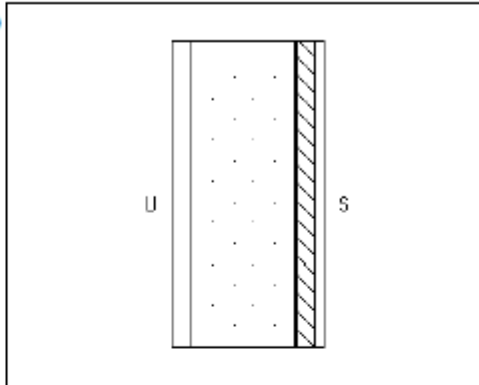
U-arvo:	0.624 W/m ² K
Paksuus:	158.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	39.56 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	6.399e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.563e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	1.602 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma US As Oy uusi

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	US As oy Kalliolintu	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puukuitulevy, huokoi	25.00
Puukuitueriste	125.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	22.00
Puukuitulevy, huokoi	12.00



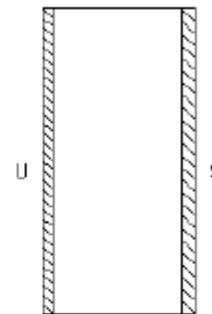
Rakenteen päätiedot:	
U-arvo:	0.236 W/m ² K
Paksuus:	185.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	27.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.741e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.673e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	4.238 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

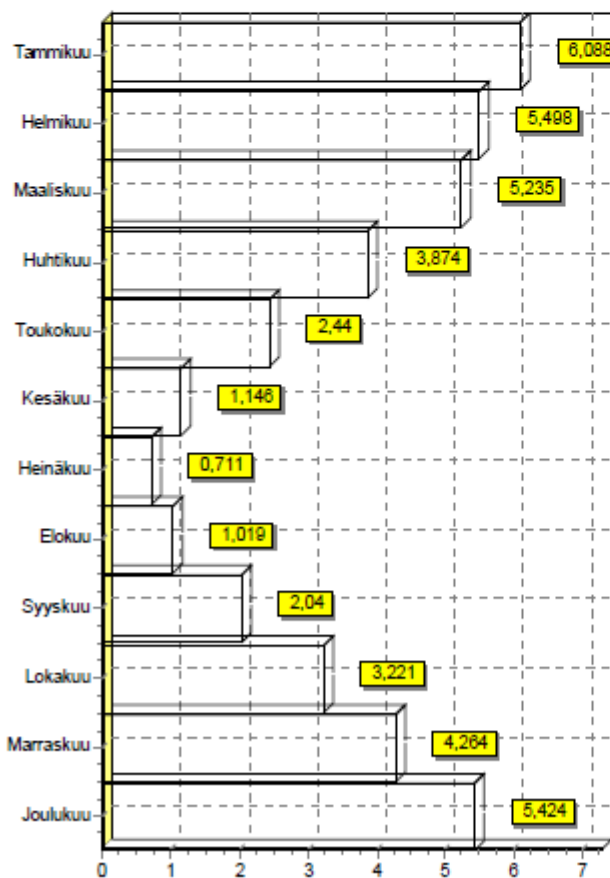
Lämpöhäviölaskelma AP alkuperäinen

Rakennuskohde:	Sisältö: AP alkuperäinen	
Suunnittelija: Teemu Vihersalo	Päiväys: 21.10.2013	Tunnus:

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	300.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	28.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 40.960 kWh)



Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.318 W/m ² K
Paksuus:	352.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	70.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	7.191e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.391e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.141 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

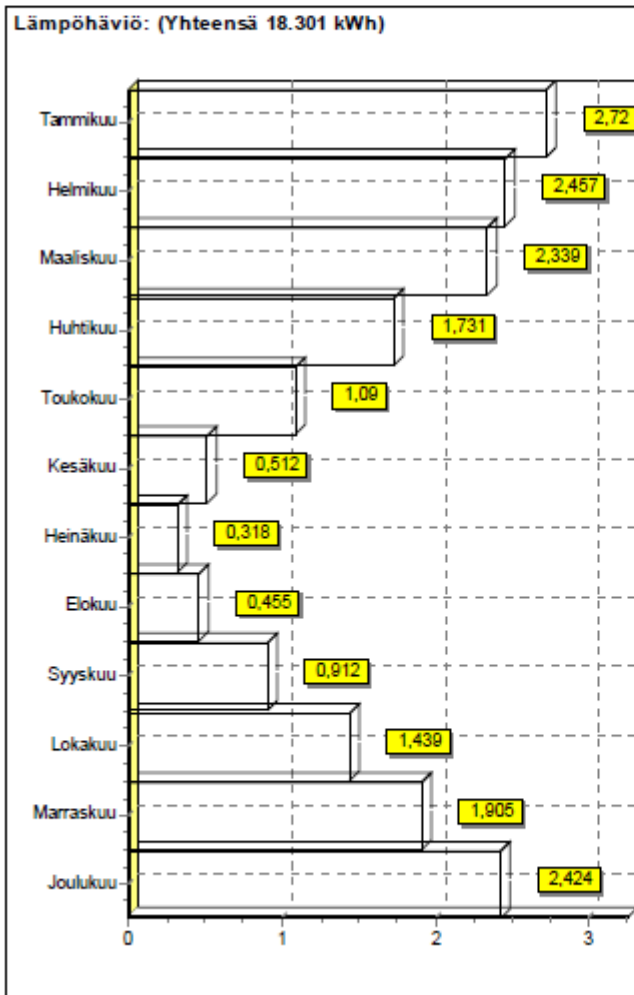
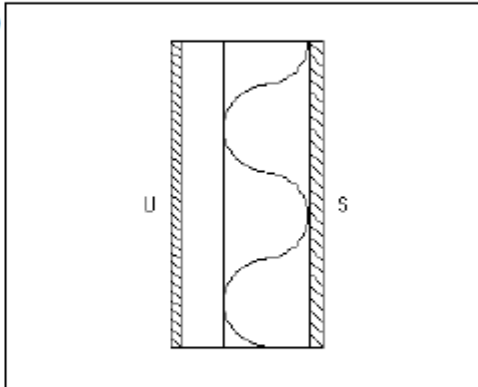
Lämpöhäviölaskelma AP 1

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	AP1	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Mineraalivilla	200.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	28.00

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)



Rakenteen päätiedot:

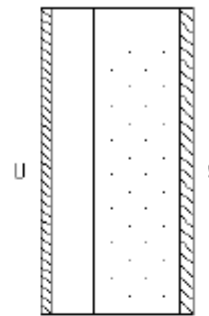
U-arvo:	0.142 W/m ² K
Paksuus:	352.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	44.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	7.417e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.348e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	7.030 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

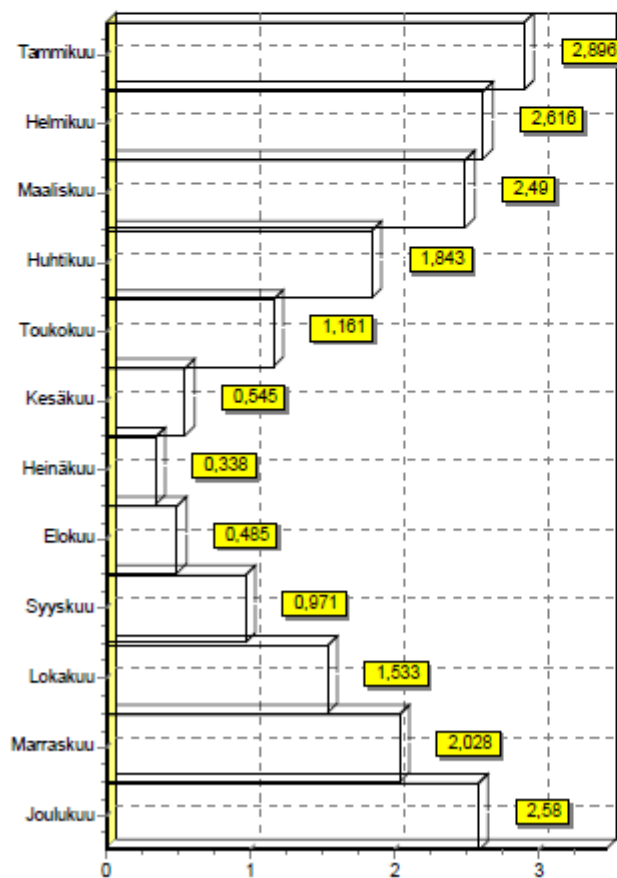
Lämpöhäviölaskelma AP 2

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	AP2	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Sahanpuru	100.00
Puukuitueriste	200.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	28.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 19.485 kWh)



Rakenteen päätiedot:

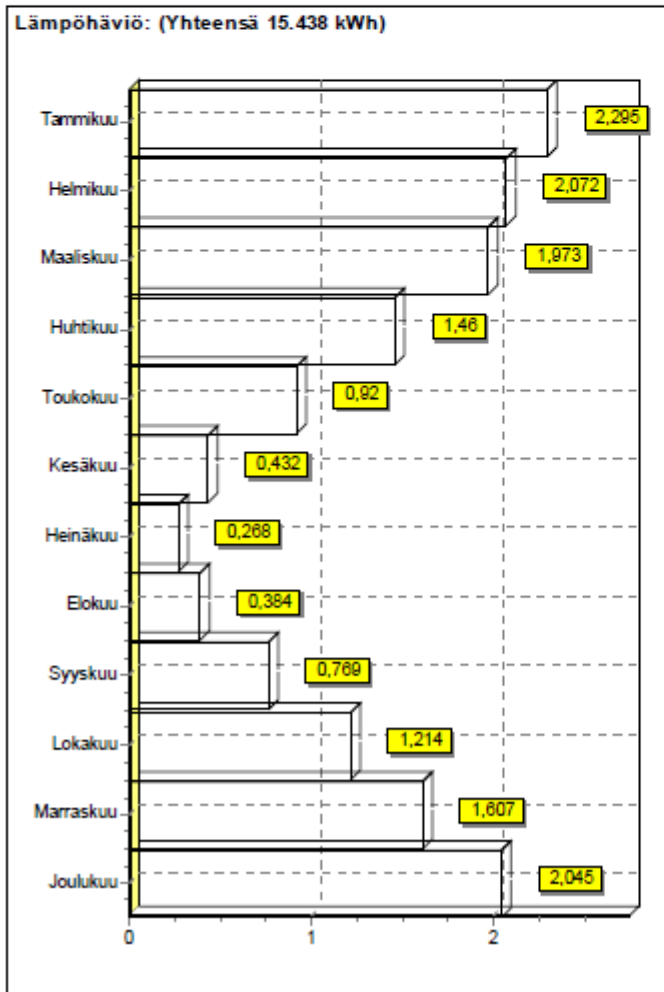
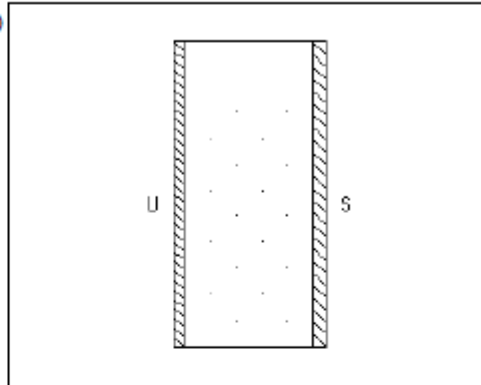
U-arvo:	0.151 W/m ² K
Paksuus:	352.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	45.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	7.417e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.349e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.602 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

Lämpöhäviölaskelma AP 3

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	AP3	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puu (kuusi)	22.00
Tervapaperi	1.00
Puukuitueriste	300.00
Tervapaperi	1.00
Puu (kuusi)	28.00



Rakenteen pää tiedot:

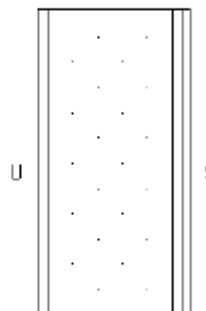
U-arvo:	0.120 W/m ² K
Paksuus:	352.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	32.50 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	7.530e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	1.328e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.333 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot:

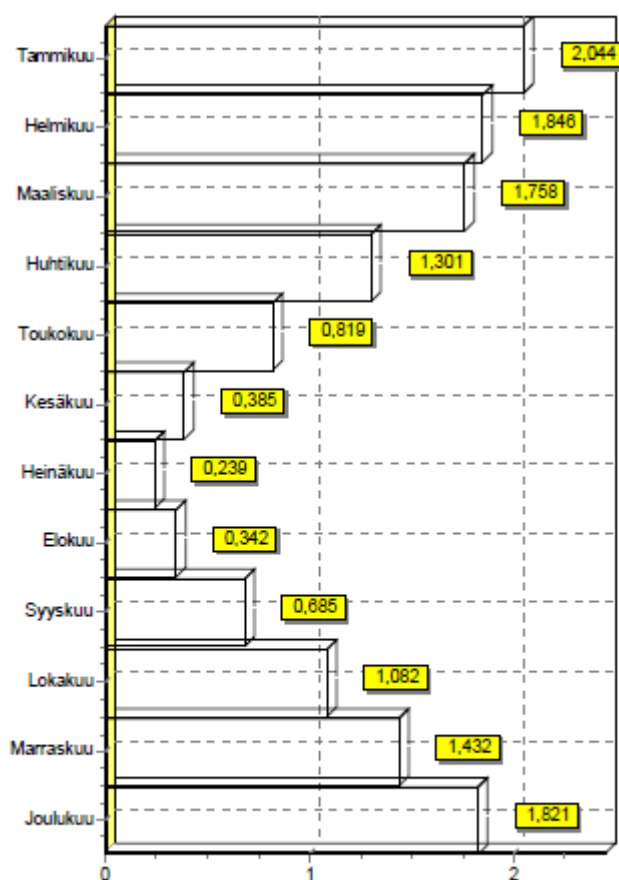
Lämpöhäviölaskelma AP 4

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Teemu Vihersalo	21.10.2013	

Rakenteen kerrostiedot:	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)
KERROS:	T [mm]:
Puukuitulevy, huokoi	25.00
Puukuitueriste	325.00
Tervapaperi	1.00
Vanerilevy	21.00
Lastulevy	22.00



Lämpöhäviö: (Yhteensä 13.754 kWh)



Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.107 W/m ² K
Paksuus:	394.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	50.23 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	4.348e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	2.300e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	9.354 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.170 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

Lisätiedot: