

HIRSITALON LISÄERISTYKSEN TUTKIMUS

Jarno Karjalainen

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

2011

HIRSITALON LISÄERISTYKSEN TUTKIMUS

Jarno Karjalainen

Opinnäytetyö

2011

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Sivuja + Liitteitä

Rakennustekniikan koulutusohjelma

25__ + 13__

Suuntautumisvaihtoehto

Aika

Rakennesuunnittelu

Kevät 2011

Työn tilaaja

Työn tekijä

Jarno Karjalainen

Työn nimi

Hirsitalon lisäeristyksen tutkimus

Asiasanat

Lisälämmöneristys, lisäeristys, eristäminen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä lisälämmöneristysratkaisu noin 100 vuotta vanhan hirsitalon ulkoseinään. Kohteena oli hirsikehikko, johon oli tarkoitus etsiä mahdollisemman turvallinen ja toimiva lisäeristysvaihtoehto.

Opinnäytetyössä etsittiin erilaisia lisälämmöneristysvaihtoehtoja, joita voitaisiin käyttää kohteessa. Viidestä eri lisäeristysvaihtoehdosta laskettiin rakenteen kosteuskäyttäytyminen käsin ja tietokoneohjelmien avulla.

Kosteustutkimuksissa löydettiin hirsikehikolle toimiva lisäeristysvaihtoehto. Parhaaksi todettiin ulkopuolinen lämmöneristys, sillä tässä eristystavassa ei syntynyt kosteutta seinärakenteisiin. Kohteeseen valittiin seuraavanlainen rakenne: Aluksi hirsi 150 mm, sen jälkeen Vital 100 mm, sitten tuulensuojalevy 12 mm, sitten ilmarako 44 mm ja uloimmaksi ulkoverhouslauta.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLTÖ.....	4
1 JOHDANTO	5
2 RAKENNUSFYSIKKA.....	6
2.1 Lämpö.....	6
2.2 Lämpötilat rakenteessa	7
2.3 U-arvo.....	7
2.4 Kosteus.....	8
2.5 Kosteuden tutkimusmenetelmät	10
2.6 Kosteuden käsinlaskennan malli	10
3 TUTKITTAVAT LISÄERISTYSRAKENTEET	14
4 KOSTEUDENLASKENTA JA TULOKSET	19
5 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24
LIITTEET.....	25

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on löytää useita turvallisia ja toimivia lisälämmöneristysvaihtoehtoja vanhaan hirsitaloon. Tarkoitus on selvittää, mitä on otettava huomioon lisälämmöneristeen valinnoissa ja eristämistavassa. Lisäksi selvitetään, mikä on turvallinen ja toimiva ratkaisu kosteuden tiivistymisen kannalta.

Kohteena on noin satavuotias hirsitalokehikko. Talo sijaitsee Kiimingissä ja on ollut asumaton viimeiset 20 vuotta. Talo on tarkoitus remontoida asumiskäyttöön.

Opinnäytetyössä tarkastellaan vanhan hirsitalon alakerran ulkoseinän lisälämmöneristämistä. Riskien analyysi tehdään tietokoneohjelmien ja käsinlaskujen avulla. Tuloksia analysoimalla selvitetään riskitön lisälämmöneristystapa.

2 RAKENNUSFYSIKKA

Rakennusfysiikassa tarkastellaan rakenteiden ja rakennusten lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Tutkittaessa näitä ominaisuuksia saadaan rakenteet toimimaan lämpö- ja kosteusteknisesti turvallisesti ja luotettavasti. (Rakennusfysiikka. 2011.)

2.1 Lämpö

Rakenteessa lämpö siirtyy kolmella tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektion avulla eli ilmavirtauksen mukana (Siikanen 1996, 37). Tässä työssä tarkastellaan johtumalla tapahtuvaa lämmön siirtymistä.

Johtumisessa tapahtuu lämmön virtaamista eli molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen. Lämpö tasoittuu siten, että se virtaa lämpimästä kylmempään päin. Rakennuksessa johtumista tapahtuu kiinteissä aineissa ja nesteissä. (Siikanen 1996, 37.)

Säteilyssä energia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Rakennustekniikassa säteilyä esiintyy auringonsäteilynä ja rakennuskappaleiden lämmön säteilynä. Kun säteily osuu johonkin, siitä osa heijastuu ja osa absorboituu. (Siikanen 1996, 37.)

Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen mukana paikasta toiseen. Konvektio eli virtaus voi olla pakotettua tai luonnollista. Esimerkiksi pakotetussa konvektiossa ilma liikkuu koneellisen ilmanvaihdon takia. Luonnollisessa konvektiossa taas lämpötilaerojen aiheuttama tiheusero saa aikaan ilman liikkeen. (Siikanen 1996, 37.)

2.2 Lämpötilat rakenteessa

Myös rakennuksen seinien lämpötilat voidaan laskea. Näin saadaan selville rakenteen lämpötila ja mahdollinen kosteuden tiivistymispaikka. Lämpötiloja määritettäessä oletetaan lämpötilan muutoksen olevan suoraan verrannollinen eri ainekerrosten lämmönvastukseen (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööriille lämpö. 2004.)

Jotta rakennuksiin voidaan mitoittaa lämmityslaitteet, tarvitaan tietoa rakennuksen seinärakenteen läpi menevistä lämpövirroista. Lämpövirtojen tunteminen mahdollistaa myös seinärakenteen läpi menevien energiamäärien arvioinnin. (Björkholtz 1997, 14.)

2.3 U-arvo

U-arvo on lämmönläpäisykerroin, joka kuvaa sitä lämpövirtaa, joka kulkee yhden nelimetrin kokoisen rakenteen osan läpi lämpötilan ollessa yksi aste (Björkholtz 1997, 14). Se soveltuu rakennuskomponenttien ja -osien läpi kulkevan lämpövirran laskemiseen (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööriille lämpö. 2004, 15-16). U-arvo lasketaan kaavan 1 avulla.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{KAAVA 1}$$

R_T = kokonaislämmönvastus

Kokonaislämmönvastus muodostuu tasapaksuisista ainekerroksien lämmönvastuksista, joka lasketaan kaavan 2 avulla (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööriille lämpö. 2004, 15.)

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + R_{se} \quad \text{KAAVA 2}$$

$R_1, R_2 - R_n$ = tasa-aineisen ainekerroksen 1,2, - n lämmönvastus, jossa R_{si} on sisäpuolinen pintavastus, joka lasketaan kaavalla 3.

$$R_{si} = \frac{d_i}{\lambda_{ni}} \quad \text{KAAVA 3}$$

d_1, d_2 = ainekerroksen 1,2, jne. paksuus metreinä

$\lambda_{n1}, \lambda_{n2}$ = ainekerroksen 1,2, jne. normaalin lämmönjohtavuus

R_g = rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus

R_b = maan lämmönvastus

R_{q1}, R_{q2} = ohuen ainekerroksen 1,2, jne. lämmönvastus

R_{se} = ulkopuolinen ilmanvastus

2.4 Kosteus

Kosteutta esiintyy niin ilmassa kuin rakennusmateriaaleissa. Kosteuden määrä johtuu ilman lämpötilasta ja kosteudesta. Rakenteissa on ja voi tulla lisää ylimääräistä kosteutta, joka on haitaksi rakennuksen rakenteelle. Kosteus voi tiivistyä väärään paikkaan, mistä johtuen tulee kosteus- ja homevaurioita rakenteeseen. (Siikanen 1996, 51.)

Rakenteissa ja rakennuksissa kosteus esiintyy vetenä, vesihöyrynä ja rakenteisiin sitoutuneena rakennekosteutena. Kosteuslähteitä on useita; ulkoilman vesihöyry, sisäpuoliset kosteuslähteet, sade, rakennekosteus, maaperän kosteus ja vesivuodot. (Siikanen 1996, 51.)

Rakenteessa voi esiintyä myös kastepiste. Kastepiste on lämpötila, jossa ilman vesihöyry tiivistyy vedeksi. Tässä ilmiössä ilman kosteus on saavuttanut kyllästyskosteuden.

Ilman vesihöyrypitoisuutta kuvataan suhteellisena kosteutena RH (%) kaavassa 4.

$$RH = \frac{v}{v_k} 100\% \quad \text{KAAVA 4}$$

v = ilman todellinen vesihöyrypitoisuus

v_k = ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus

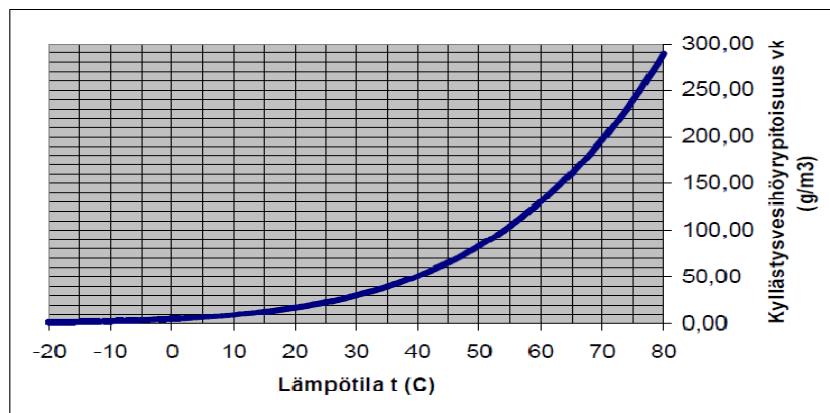
Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus on riippuvainen lämpötilasta. Mitä korkeampi lämpötila on, sitä korkeampi on kyllästysvesihöyrypitoisuus. Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus, jos lämpötila on alueella $-20\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, lasketaan kaavalla 5.

$$v_k = 4,85 + 3,47 \left(\frac{t}{10}\right) + 0,945 \left(\frac{t}{10}\right)^2 + 0,158 \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 0,0281 \left(\frac{t}{10}\right)^4 \quad \text{KAAVA 5}$$

t = ilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

v_k = ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus (g/m^3)

Kuvassa 1 on esitetty kaavan 2 mukaan ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus lämpötilan funktiona.



KUVA 1. Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus lämpötilan funktiona

Ulkoilman vesihöyrypitoisuus vaihtelee vuoden aikana paljon. Suomessa ulkoilman vesihöyrypitoisuus on pienimmillään talvella ja suurimmillaan kesällä. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille kosteus. 2004, 7.)

Sisäilman vesihöyrypitoisuus vaikuttavat ulkoilman vesihöyrypitoisuus, ilmanvaihto, vesihöyryn sitoutuminen rakenteisiin, kosteuslähteet ja poistuvan vesihöyryn määrä rakenteen läpi. (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille kosteus. 2004, 8.)

2.5 Kosteuden tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä käytetään tietokoneohjelmia ja käsinlaskumenetelmiä. Ohjelmat ovat COMSOL- ja DOF-lämpö-ohjelma. Ohjelmien avulla saadaan selville rakenteen käyttäytyminen kesällä ja talvella sekä mahdollinen kosteuden tiivistyminen rakenteeseen. Samalla saadaan myös selville, onko ratkaisu turvallinen ja toimiva.

DOF-lämpöohjelmalla voi arvioida rakenteen lämpö- ja kosteuskäyriä, kondensaatiomäärää, U-arvoa sekä energiankulutusta (DOF-Lämpö. 2011). COMSOL-ohjelma on tarkoitettu lämpö- ja kosteustekniseen tarkasteluun (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004).

2.6 Kosteuden käsinlaskennan malli

Kosteuslaskelmat tehdään kahdelle ajanjaksolle. Ensimmäinen jakso on vuoden kahden kylmimmän kuukauden lämpötilan keskiarvoina. Toinen jakso on vuoden kahden lämpimimmän kuukauden lämpötilan keskiarvoina. Sisälämpötila on +21 °C.

Ensimmäiseksi lasketaan lämpötilan muutokset rakenteen ainekerroksessa kaavalla 6.

$$\frac{R}{R_T} * \Delta t, \text{ missä}$$

KAAVA 6

R = materiaalin lämmönvastus

R_T = materiaalien yhteensä lämmönvastus

Δt = sisäilman ja ulkoilman lämpötilaero

Kun lämpötilan muutokset on laskettu, lasketaan rajapintojen lämpötilat siten, että lämpötilamuutos vähennetään lämpötilasta.

Seuraavaksi katsotaan taulukosta 1 lämpötiloja vastaavat vesihöyryn kyllästyspaineet (P_k).

TAULUKKO 1. Vesihöyrynkyllästyspaineet

t (°C)	v _s (g/m ³)	p _{vs} (Pa)	t (°C)	v _s (g/m ³)	p _{vs} (Pa)	t (°C)	v _s (g/m ³)	p _{vs} (Pa)	t (°C)	v _s (g/m ³)	p _{vs} (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	20,34	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	3999	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	265	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	349	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	568	20	17,28	2337	41	53,79	7793	62	141,87	21928
0	4,85	611	21	18,31	2484	42	56,54	8219	63	147,99	22943

Tämän jälkeen haetaan materiaalien vesihöyryn läpäisevyysarvot (δ_p), jotka löytyvät esimerkiksi materiaalien valmistajien internetsivulta.

Kun vesihöyryn läpäisevyysarvot ovat löytyneet, lasketaan vesihöyryn vastukset kaavalla 7.

$$Z_p = \frac{d(m)}{\delta_p} \quad \text{KAAVA 7}$$

Seuraavaksi päätellään vesihöyryn osapaine ulkona. Sisällä oletetaan vesihöyryä olevan 3 g/m^3 enemmän kuin ulkona. Tähän on myös apuna kaava 8.

$$p_v = 0,4614 * t[\text{K}] * v \quad \text{KAAVA 8}$$

Sen jälkeen lasketaan vesihöyryn osapaine muutokset ainekerroksissa kaavalla 9.

$$\Delta p = \frac{z_p}{z_{sum}} \quad \text{KAAVA 9}$$

Lopuksi lasketaan rajakohtien vesihöyryn osapaineet kaavalla 10.

$$P = p_v + \Delta P \quad \text{KAAVA 10}$$

p_v = vesihöyryn osapaine

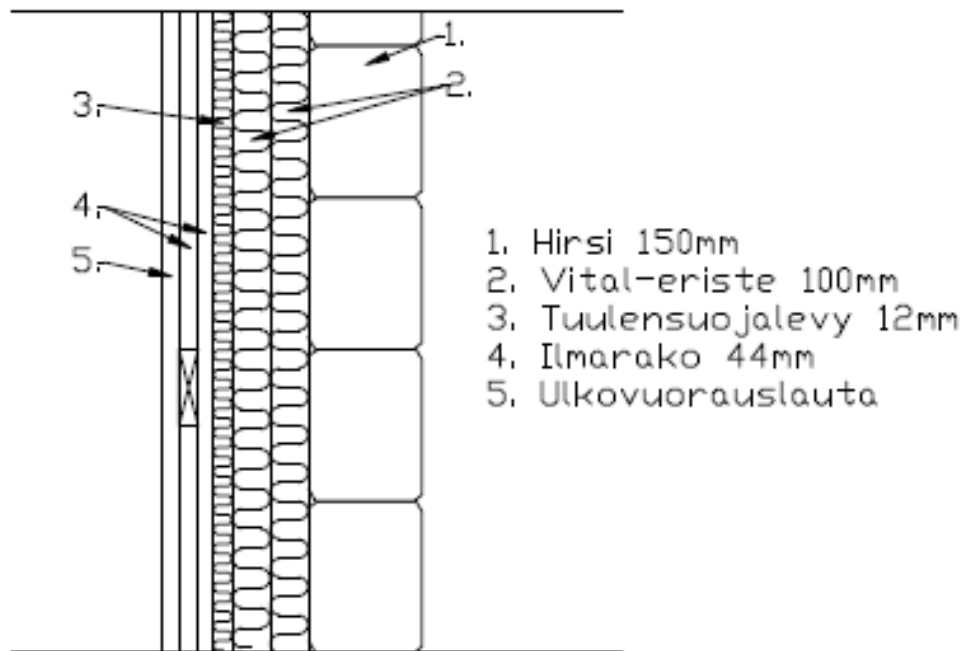
ΔP = osapaineenmuutos

Kun vesihöyryn osapaineet on laskettu, verrataan vesihöyrynkyllästyspaine- ja rajakohtien vesihöyryn osapainearvoja. Jos $p_k > p$, tiivistymistä ei tapahdu. Jos $p_k < p$, tiivistyy (Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille kosteus. 2004, 18.)

Vertailun jälkeen tulokset esitetään graafisesti kuvaajilla. Jos kuvaajassa vesihöyryn osapainekäyrä leikkaa kyllästyskäyrän tapahtuu tiivistymistä. Kuvassa 2 on kuvattu vesihöyryn tiivistyminen rakenteeseen.

3 TUTKITTAVAT LISÄERISTYSRAKENTEET

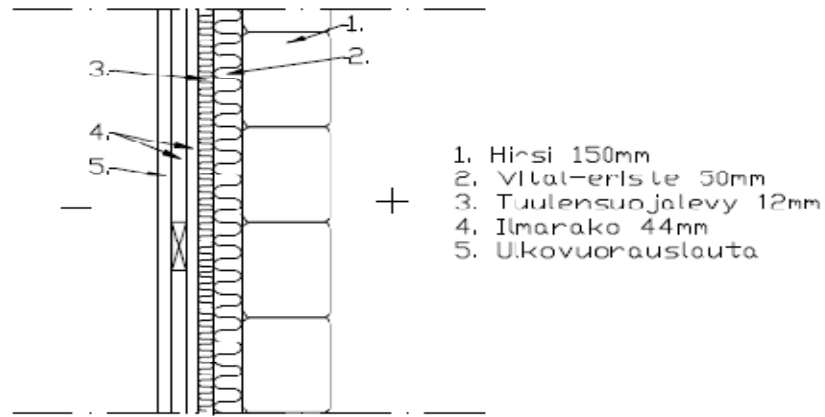
Tutkittavan hirsitalon lisälämmöneristyskohteen ulkoseinään on tarkoitus laittaa lisäeristeeksi Vital-eriste. Lisäksi ulkoseinään tulevat tuulensuojalevy ja ulkoverhouslauta. Tässä työssä myös tarkastellaan Vital-, Ekovilla ja Isover-villojen käyttäytymistä lisälämmöneristeinä. Kuvassa 3 on rakenne, joka kohteeseen on tarkoitus tehdä.



KUVA 3. Kohteeseen tuleva ulkoseinärakenne

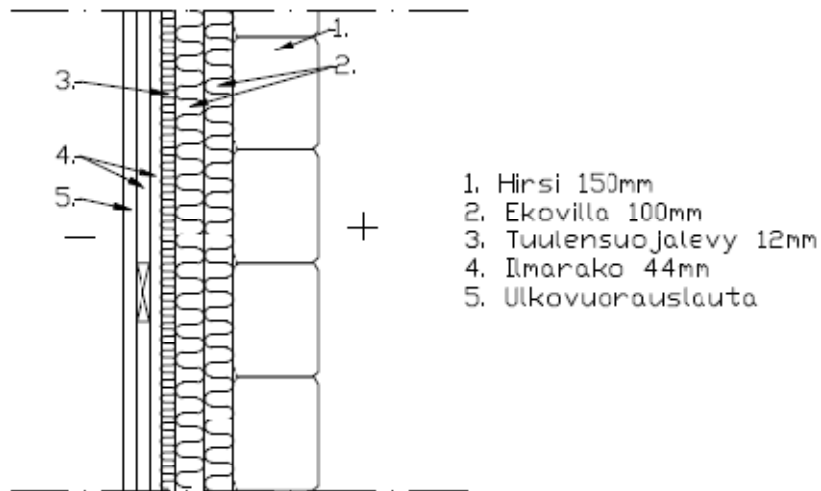
Muita tutkittuja ulkoseinärakennetkaisuja on neljä. Ensimmäinen seinärakenne, joka tulee kohteeseen, on tässä opinnäytetyössä nimeltään US-pirtti. Sisältä ulospäin lukien se rakennetaan seuraavasti: hirsi 150 mm, vital 100 mm, tuulensuojalevy 12 mm, ilmarako 44 mm ja uloimmaksi ulkoverhous. Rakennetyypik kuva rakenteesta on kuvassa 3.

Toinen tutkittu rakenne on nimeltään US-pirtti 50 mm. Rakenne on samantapainen kuin US-pirtti, mutta Vital-eristettä on 50 mm 100 mm:n sijasta. Kuvassa 4 on rakennetyyppikuva US-pirtti 50 mm:stä.



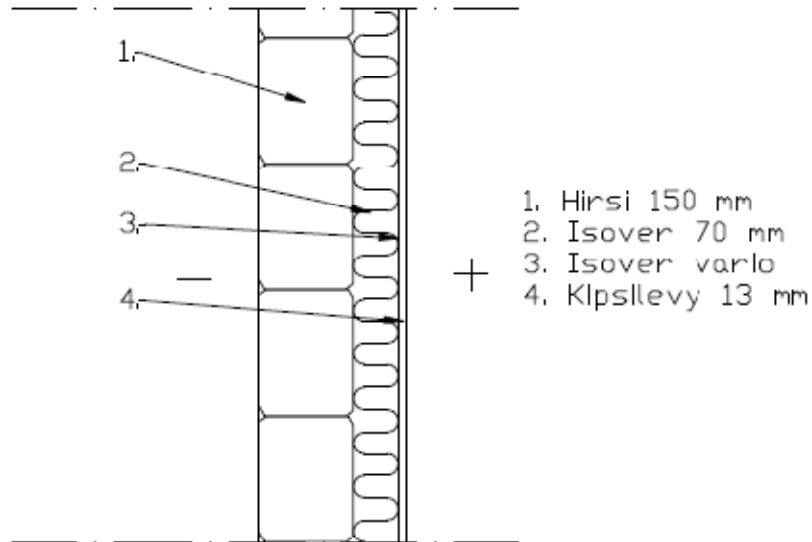
KUVA 4. US-pirtti 50 mm

Kolmas tutkittu rakenne on US-pirtti EKO. Rakenne on US-pirtin kaltainen, mutta Vital-eriste on korvattu Ekovillalla (kuva 5).



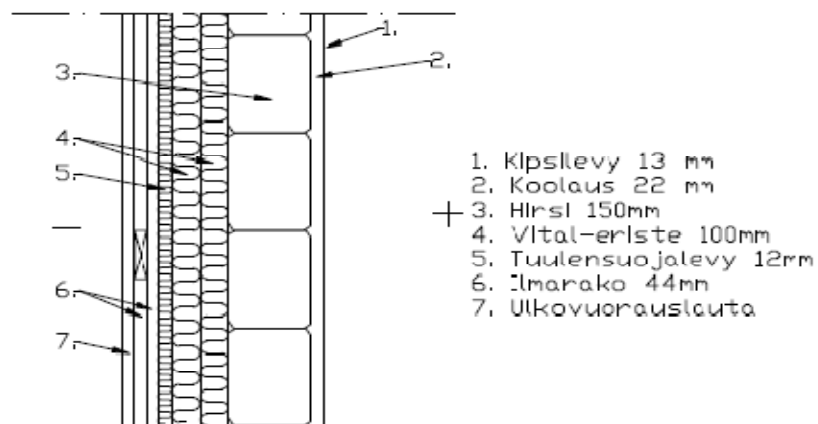
KUVA 5. US-pirtti EKO

Neljäs rakenne on US-sisäpuolinen Isover. Sisältä ulospäin lukien ensimmäinen kerros on kipsilevy 13 mm, sen jälkeen Isover-vario, sitten Isover KL37 70 mm ja sisin kerros on hirsi 150 mm (kuva 6).



KUVA 6. US-sisäpuolinen isover

Viides rakenne on nimeltään US-oh. Rakenne on kuten US-pirtti, mutta sisäpuolelle on lisätty koolaus ja kipsilevy 13 mm (kuva 7).



KUVA 7. US-oh

Vital-eriste on puukuitueriste, jonka lämmöneristävyys on 0,0037 W/mK ja vesihöyrynläpäisevyys on $1,45 \times 10^{-10}$ kg/msPa. Eriste kuuluu rakennusmateriaalien päästöluokkaan M1, joka on paras luokka. (Vital. 2011.)

Kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan Vital-eristeellä on kyky sitoa ja luovuttaa vesihöyryä. Palonkesto-ominaisuuksiltaan eriste kuuluu luokkaan E. (Vital. 2011.)

Tuulensuojalevy on huokoista puukuitulevyä. Levyn lämmönjohtavuus on 0,052 W/mK. Tuulensuojalevy sopii hyvin seiniin, johon laitetaan pellavavillaeriste tai märkäpuhallettu puukuitueriste. Tuulensuojalevy on tiivis mutta hengittävä materiaali. Vesihöyrynläpäisevyys on $3,96 \times 10^{-11}$ kg/msPa. (Tuulileijona. 2011.)

Hengittävällä rakenteella tarkoitetaan sitä, että rakenteeseen voi siirtyä diffuusista vesihöyryä. Vesihöyry puolestaan voi sitoitua materiaaliin tai vapautua ja siirtyä takaisin alkuperäiseen ympäristöön. (Kokko 2002, 8.)

Ekovilla-eriste on kierrätysnanomapapereista tehtyä eristettä. Lisäksi eristeeseen on lisätty palonestoaineita. Lämmöneristävyys ekovillalla on 0,041 W/mK. Vesihöyrynläpäisevyys arvona on $31,25 \times 10^{-12}$ kg/msPa. (Ekovilla tuotetietoa. 2011.)

Isover-villa on mineraalieriste, joka on tehty kierrätyslasista (Rakennuseristeet. 2011). Tässä työssä tarkastellaan isover KL 37 –villaa. Myös isoverin variohyörynsulkukalvoa käytetään laskelmissa.

Isover-Vario höyrynsulkukalvot sopeutuvat ympäristön kosteuden ja lämpötilan muutoksiin. Tämä johtuu siitä, että Variossa on vaihteleva vesihöyrynvastus. (Vario-järjestelmä. 2011.)

Hirsi rakennuksessa on noin sata vuotta vanhaa. Lämmönjohtavuusarvona käytetään rakentamismääräyskokoelma C4:ssä olevaa arvoa.

Taulukossa 2 on esitetty eristeiden rakennusfysikaalisia tietoja.

TAULUKKO 2. Rakennusfysikaalisia tietoja (kuivassa olosuhteessa)

materiaali	lämmönjohtavuus W/mK	vesihöyrynläpisevyys $\times 10^{-12}$ kgms/Pa	vesihöyrynvastus $\times 10^9$ m ² sPa/kg
Hirsi	0,12	2,78	75,0
Vital-eriste	0,037	145	0,690
Höyrynsulkumuovi	0,1		450,0
Kipsilevy	0,23	15	0,9
Puukuitulevy 12mm	0,052	39,6	0,303
Isover VARIO	0,24	0,0263	2,0
Isover KL 37	0,033	105	0,7
Ekovilla	0,041	31,25	3,2

4 KOSTEUDENLASKENTA JA TULOKSET

Opinnäytetyön kohteena olevaan hirstaloon valittiin US-pirtti lisälämmöneristys vaihtoehto. Tämä vaihtoehto valittiin, koska laskelmien mukaan kosteutta ei synny rakenteisiin. Seuraavaksi esitetään talviajan kosteuslaskelmat valitun vaihtoehdon kanssa. Muut tapaukset ja muilla laskentamenetelmillä lasketut tulokset ovat liitteenä työn lopussa (liite 2-11).

Ensimmäiseksi lasketaan lämpötilan muutokset rakenteen ainekerroksessa. Lämpötilamuutokset lasketaan kaavalla 6, joka on sivulla 11. Kokonaislämmönvastus $R_T = 4,34 \text{ Km}^2/\text{W}$ ja lämpötilaero $\Delta t = 31,6^\circ\text{C}$. Taulukossa 3 on lämpötilamuutokset rakenteen ainekerroksissa.

TAULUKKO 3. Lämpötila muutokset rakenteen ainekerroksissa

Ainekerros	Lämmönvastus R	Lämpötilan muutos [$^\circ\text{C}$]	Paksuus d [m]
ulkoilma	0,04	0,291	-
tuulileijona	0,055	1,588	0,012
vital-eriste	0,037	19,674	0,100
hirsi	0,12	9,099	0,150
sisäilma	0,13	0,946	-

Seuraavaksi lasketaan rajapintojen lämpötilat siten, että lämpötilamuutos vähennetään lämpötilasta. Rajapintojen lämpötilat ovat taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Rajapintojen lämpötilat

Ainekerros	Rajapinnan lämpötila [$^\circ\text{C}$]
ulkoilma	-10,60
tuulileijona	-10,31
vital-eriste	-8,72
hirsi	10,95

sisäilma	20,05
----------	-------

Seuraavaksi haetaan vesihöyryn kyllästyspaineet taulukosta 1 rajapinnan lämpötilojen mukaan. Taulukossa 5 näkyvät vesihöyryn kyllästyspaineet.

TAULUKKO 5. Vesihöyryn kyllästyspaineet

Ainekerros	Vesihöyryn kyllästyspaineet (P_k)
ulkoilma	252
tuulileijona	259
vital-eriste	299
hirsi	1315
sisäilma	2486

Kun vesihöyryn kyllästyspaineet on selvitetty, haetaan materiaalien vesihöyrynläpäisevyysarvot taulukosta 2 sivulta 18. Taulukossa 6 näkyvät haetut materiaalien vesihöyrynläpäisevyysarvot.

TAULUKKO 6. Vesihöyrynläpäisevyys

Ainekerros	Vesihöyrynläpäisevyys $\delta_p \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]
tuulileijona	39,6
vital-eriste	145
hirsi	2,78

Vesihöyrynläpäisevyysarvojen jälkeen lasketaan vesihöyryn vastus. Taulukossa 7 on laskettu vesihöyryn vastukset kaavalla 7 sivulta 12.

TAULUKKO 7. Vesihöyryn vastus

Ainekerros	Vesihöyrynvastukset
tuulileijona	0,303
vital-eriste	0,690
hirsi	54,0

Seuraavaksi päätellään vesihöyryn osapaine ulkona ja sisällä apuna käyttäen kaavaa 8 sivulta 12. Tulos taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Vesihöyryn osapaine ulkona ja sisällä

$p_{\text{vsisä}}$	745,68
p_{vulko}	214,27

Jotta vesihöyryn osapaine muutokset ainekerroksittain saadaan tietoon, lasketaan ne kaavalla 8 (taulukko 9).

TAULUKKO 9. Vesihöyryn osapaineen muutokset ainekerroksissa

Ainekerros	Osapaineen muutos
tuulileijona	2,93
vital-eriste	6,66
hirsi	521,82

Kun vesihöyryn osapaine muutokset ainekerroksittain on laskettu, lasketaan seuraavaksi rajakohtien vesihöyryn osapaineet (P) kaavalla 10 sivulta 12. Rajakohtien vesihöyryn osapaineet löytyvät taulukosta 10.

TAULUKKO 10. Rajakohtien vesihöyryn osapaineet

Ainekerros	Rajakohtien vesihöyryn osapaineet
tuulileijona	214,3
vital-eriste	217,2
hirsi	223,9
sisäilma	745,7

Lopuksi verrataan vesihöyryn kyllästyspaine- ja rajakohtien vesihöyryn osapaine arvoja eli P_k - ja P-arvoja. Tutkimalla tuloksia selviää, että P_k on suurempi kuin P. Koska P_k on suurempi, tiivistymistä ei tapahdu. Tämän

laskelman tuloksena on, että rakenteeseen ei tiivisty kosteutta, joka olisi haitaksi rakenteelle. Kohteeseen tuleva lisäeristysratkaisu on siis toimiva ja näin ollen kohteeseen valitaan tämä rakenneratkaisu. Tulokset muista rakenneratkaisuista ovat liitteinä työn lopussa.

TAULUKKO 11. Kosteustulokset taulukoituna

Rakenne	Tiivistyvän kosteuden määrä 2 kk aikana (g/m ²)	Seinästä poistuva kosteus (g/m ²)	Yhteensä (g/m ²)
US-pirtti	-1,41x10 ³	8417,27	7002,90
US-pirtti 50 mm	-1,82x10 ³	8727,19	6909,38
US-pirtti ekovilla	-1,47x10 ³	8461,44	6988,86
US-sisäpuolinen isover	48,307	351,65	303,34
US-oh	-1,38x10 ³	8383,79	7003,88

Comsol-ohjelmalla laskettiin lämpötiloja valitulle rakenteelle. Laskelmista huomasi, että nurkkakohta talosta tulee olemaan kriittinen. Lämpötila talvella laskee nurkassa jopa +10 asteeseen. Nurkassa hirren ulkopuoli on miinuksien puolella. Liitteenä (liite 12-13) on kaksi lämpötilakuvaa nurkasta, joissa näkyy lämpötilaero väreinä. Lisäämällä eristepaksuutta myös nurkan lämpötila nousisi ylemmäs.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli hirsitalon lisäeristyksen tutkimus. Tavoitteena oli etsiä lisälämmöneristysratkaisu noin 100 vuotta vanhan hirsitalon ulkoseinään. Opinnäytetyössä etsittiin erilaisia lisälämmöneristysvaihtoehtoja, joita voitaisiin käyttää kohteessa. Valituista lisälämmöneristysvaihtoehtoista laskettiin rakenteen kosteuskäyttäytyminen käsin ja tietokoneohjelmien avulla.

Laskelmien perusteella voidaan todeta, että paras lisälämmöneristysvaihtoehto opinnäytetyön kohteeseen olisi ulkopuolinen lisälämmöneristäminen. Näin ollen ei ole riskiä, että rakenteeseen tiivistyy kosteutta. Opinnäytetyön hirsitalokohteeseen tuleva lisäeristysratkaisu on hyvä ja turvallinen.

Tutkittaessa muita rakenneratkaisuja saatiin selville, että yksi rakenneratkaisu ei ole toimiva. Sisäpuolinen Isover-eristystapa toi rakenteeseen kosteutta talviaikana. Rakenteeseen tiivistyvä kosteus aiheuttaa kosteus- ja homeongelmia. Tämän tapainen eristystapa ei siis ole oikea. Tärkeää on tehdä sellainen rakenne, johon ei tiivisty kosteutta. Tiivistymisongelma voidaan tässä tapauksessa poistaa siten, että muutetaan lisäeristys ulkopuoliseksi ja tuulettuva ilmarako rakenteeseen.

Näin ohjelmien ja käsinlaskennan kautta saatiin tietoa mahdollisista ongelmarakennevaihtoehdoista. On syytä myös käyttää apuohjelmia kun lasketaan ja tutkitaan rakennusfysikaalista käyttäytymistä.

LÄHTEET

Björkholtz, Dick 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

DOF-Lämpö. 2011. DOF tech Oy. Saatavissa: <http://www.dof.fi/www/index.php?lang=fin&page=proglampo>. Hakupäivä 16.5.2011.

Ekovilla tuotetietoa. 2011. Ekovilla Oy. Saatavissa: <http://www.ekovilla.com/ekovilla-eristys.php>. Hakupäivä 23.5.2011.

Kokko, Erkki 2002. Hengittävä puukuiturakenne: fysikaalinen toimintaperiaate ja vaikutukset sisäilmaan. Vammala: Wood Focus Oy.

Rakennusfysiikka. 2011. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <http://www.tut.fi/fi/yksikot/laitokset/rakennustekniikka/tutkimus/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/index.htm>. Hakupäivä 23.5.2011.

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörielle, lämpö. 2004. Rafnet-ryhmä.

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörielle, kosteus. 2004. Rafnet-ryhmä.

Rakennuseristeet. 2011. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Saatavissa: <http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet>. Hakupäivä 23.5.2011.

Siikanen, Unto 1996. Rakennusfysiikka perusteet ja sovellukset. Helsinki: Tammer-Paino Oy.

Tuulileijona. 2011. Suomenkuitulevy Oy. Saatavissa: <http://www.suomenkuitulevy.fi/fi/tuotteet/rakennuslevyt/tuulensuojalevyt/tuulileijona>. Hakupäivä 23.5.2011.

Vario-järjestelmä. 2011. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Saatavissa: <http://www.isover.fi/suunnittelu/ilmatiivis-rakentaminen/vario-jarjestelma>. Hakupäivä 23.5.2011.

Vital. Sepa Oy/Vital Finland. Saatavissa: http://www.vitalfinland.fi/default/sivut/miksi_vital__eriste. Hakupäivä 23.5.2011.

LIITTEET

Liite 1. Kuvia kohteesta

Liite 2. US-pirtti

Liite 3. US-pirtti 50 mm

Liite 4. US-pirtti Ekovilla

Liite 5. US-sisäpuolinen Isover

Liite 6. US-oh

Liite 7. US-pirtti excel-laskenta

Liite 8. US-pirtti 50 mm excel-laskenta

Liite 9. US-pirtti ekovilla excel-laskenta

Liite 10. US-sisäpuolinen isover excel-laskenta

Liite 11. US-oh excel-laskenta

Liite 12. Comsol lämpötilakuva 1

Liite 13. Comsol lämpötilakuva 2



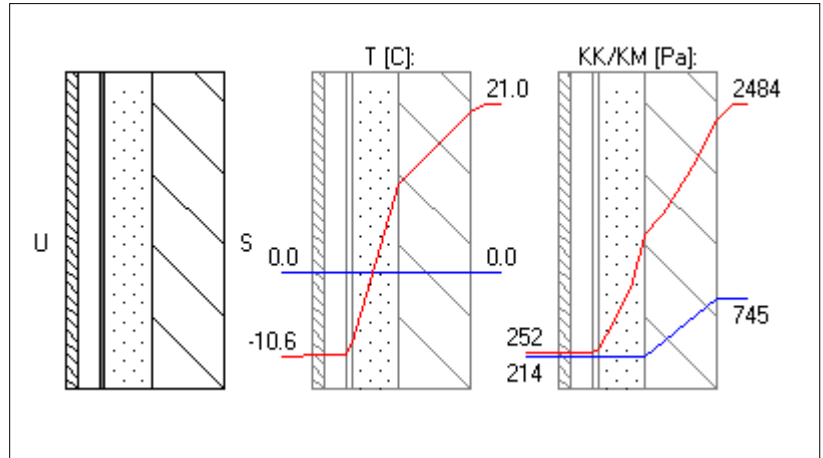


Rakennuskohde:	Sisältö: USpirtti	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 2/1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.230 W/m²K
Paksuus: 331.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 91.10 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 15275.746 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000065 g/m²hPa
Lämmönvastus: 4.341 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3 Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4 Puukuitueriste	100.00	0.0370	1.450000e-10	0.00	35.00
5 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Talvi (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.60	252	214	85.0	0.00
1	-10.31	259	214	82.7	0.00
2	-10.31	259	214	82.7	0.00
3	-10.31	259	214	82.7	0.00
4	-8.72	299	217	72.5	0.00
5	10.95	1315	224	17.0	0.00
6	20.05	2345	745	31.8	0.00
S	21.00	2484	745	30.0	0.00

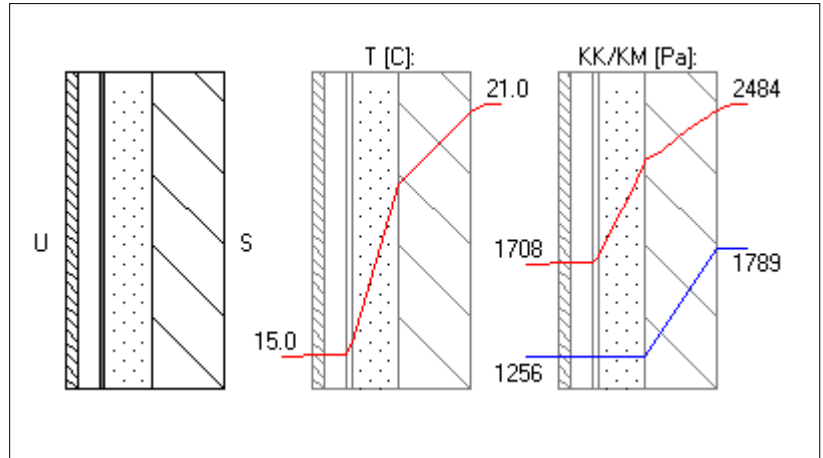
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: USpirtti	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 2/2

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.230 W/m²K
Paksuus: 331.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 91.10 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 15275.746 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000065 g/m²hPa
Lämmönvastus: 4.341 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3 Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4 Puukuitueriste	100.00	0.0370	1.450000e-10	0.00	35.00
5 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kesä (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.00	1708	1256	73.5	0.00
1	15.06	1715	1256	73.2	0.00
2	15.06	1715	1256	73.2	0.00
3	15.06	1715	1256	73.2	0.00
4	15.36	1748	1259	72.0	0.00
5	19.09	2210	1265	57.3	0.00
6	20.82	2458	1789	72.8	0.00
S	21.00	2484	1789	72.0	0.00

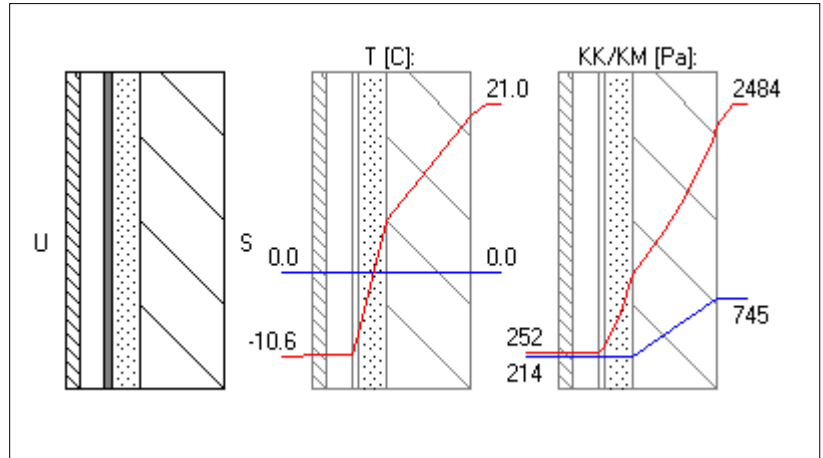
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: USpirtti 50 mm	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 3/1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.335 W/m²K
Paksuus: 281.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 89.35 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 15179.959 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000066 g/m²hPa
Lämmönvastus: 2.990 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3 Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4 Puukuitueriste	50.00	0.0370	1.450000e-10	0.00	35.00
5 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Talvi (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.60	252	214	85.0	0.00
1	-10.18	262	214	81.7	0.00
2	-10.18	262	214	81.7	0.00
3	-10.18	262	214	81.7	0.00
4	-7.87	323	217	67.3	0.00
5	6.41	969	221	22.8	0.00
6	19.63	2284	745	32.6	0.00
S	21.00	2484	745	30.0	0.00

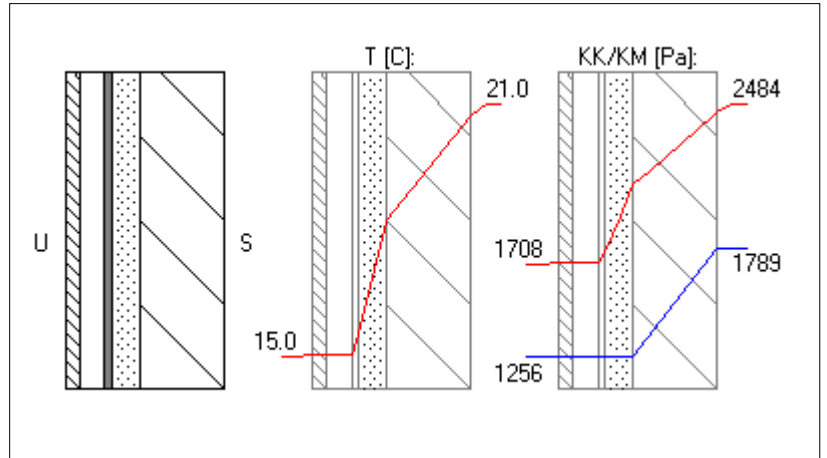
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: USpirtti 50 mm	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 3/2

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.335 W/m²K
Paksuus: 281.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 89.35 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 15179.959 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000066 g/m²hPa
Lämmönvastus: 2.990 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3 Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4 Puukuitueriste	50.00	0.0370	1.450000e-10	0.00	35.00
5 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kesä (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.00	1708	1256	73.5	0.00
1	15.08	1717	1256	73.1	0.00
2	15.08	1717	1256	73.1	0.00
3	15.08	1717	1256	73.1	0.00
4	15.52	1766	1259	71.3	0.00
5	18.23	2095	1262	60.3	0.00
6	20.74	2446	1789	73.1	0.00
S	21.00	2484	1789	72.0	0.00

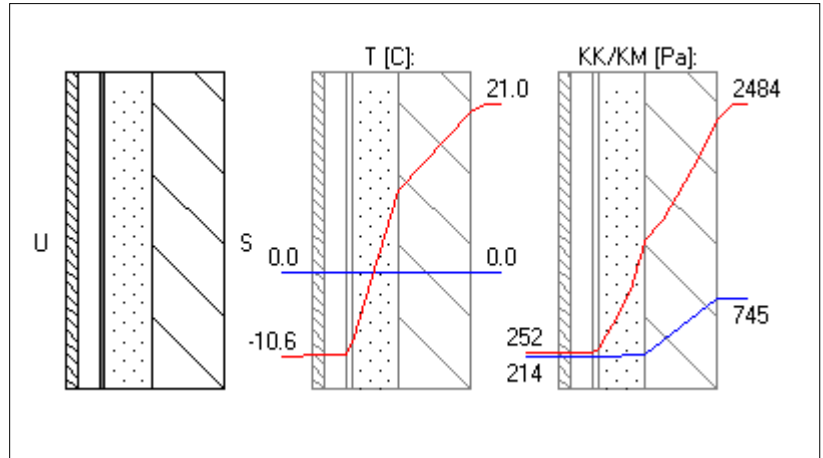
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: US-pirtti Ekovilla	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 4/1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.245 W/m²K
Paksuus: 331.000 mm
Pinta-ala: 0.60 m²
Paino: 54.66 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 15973.063 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000063 g/m²hPa
Lämmönvastus: 4.077 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3 Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4 Ekovilla	100.00	0.0410	3.125000e-11	0.00	35.00
5 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Talvi (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.60	252	214	85.0	0.00
1	-10.29	259	214	82.6	0.00
2	-10.29	259	214	82.6	0.00
3	-10.29	259	214	82.6	0.00
4	-8.60	303	217	71.7	0.00
5	10.30	1260	247	19.6	0.00
6	19.99	2336	745	31.9	0.00
S	21.00	2484	745	30.0	0.00

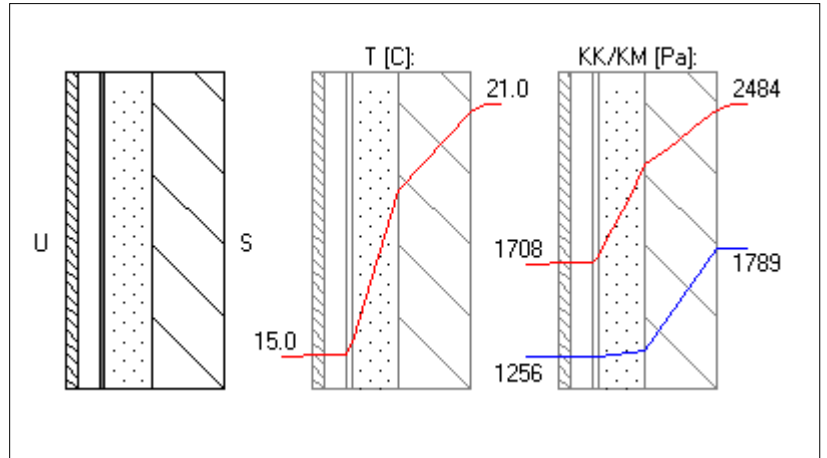
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: US-pirtti Ekovilla	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 4/2

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.245 W/m²K
Paksuus: 331.000 mm
Pinta-ala: 0.60 m²
Paino: 54.66 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 15973.063 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000063 g/m²hPa
Lämmönvastus: 4.077 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2	Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3	Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4	Ekovilla	100.00	0.0410	3.125000e-11	0.00	35.00
5	Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kesä (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.00	1708	1256	73.5	0.00
1	15.06	1715	1256	73.2	0.00
2	15.06	1715	1256	73.2	0.00
3	15.06	1715	1256	73.2	0.00
4	15.38	1751	1259	71.9	0.00
5	18.97	2193	1288	58.8	0.00
6	20.81	2456	1789	72.8	0.00
S	21.00	2484	1789	72.0	0.00

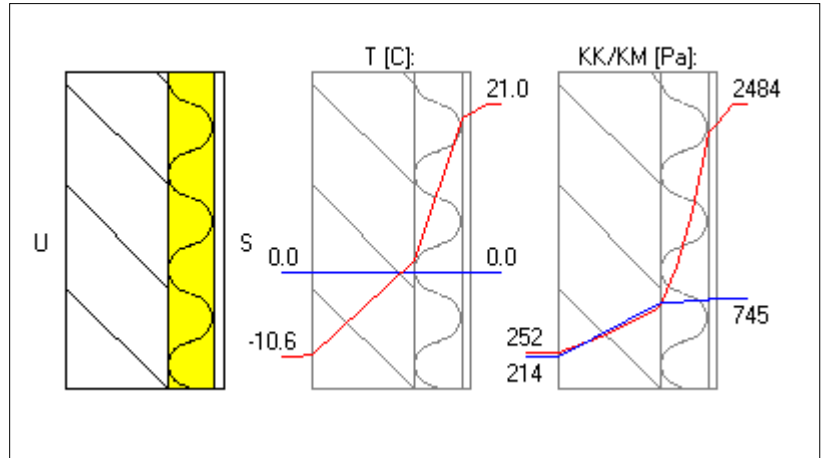
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: US-sisäpuolinen Isover	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 5/1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.297 W/m²K
 Paksuus: 233.050 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 87.60 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 15953.908 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000063 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 3.366 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00
2 ISOVER KL 37	70.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	0.00
3 ISOVER VARIO	0.05	0.3401	2.630556e-14	0.00	0.00
4 Kipsilevy	13.00	0.2400	1.500000e-11	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Talvi (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.60	252	214	85.0	0.00
1	-10.22	261	214	82.1	0.00
2	1.51	684	714	100.0	47.78
3	19.27	2234	720	32.2	0.00
4	19.27	2234	737	33.0	0.00
5	19.78	2306	745	32.3	0.00
S	21.00	2484	745	30.0	0.00

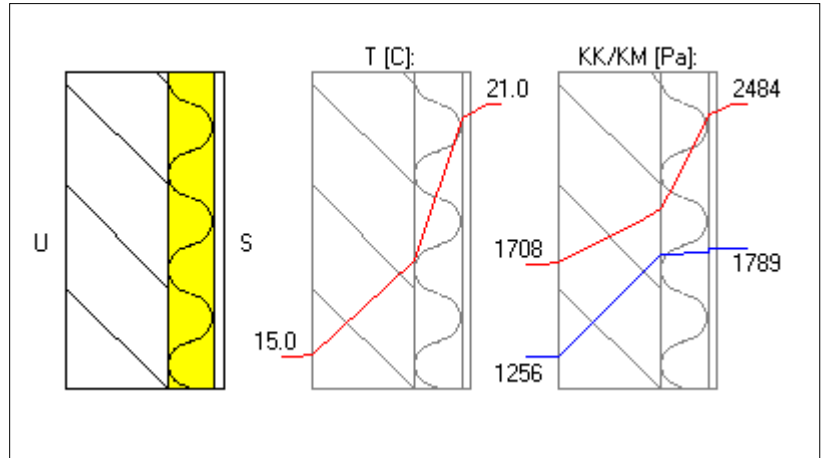
Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: US-sisäpuolinen Isover	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 5/2

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.297 W/m ² K
Paksuus:	233.050 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	87.60 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	15953.908 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	0.000063 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.366 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



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00
2 ISOVER KL 37	70.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	0.00
3 ISOVER VARIO	0.05	0.3401	2.630556e-14	0.00	0.00
4 Kipsilevy	13.00	0.2400	1.500000e-11	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kesä (1440.0 h)

Lisätiedot:

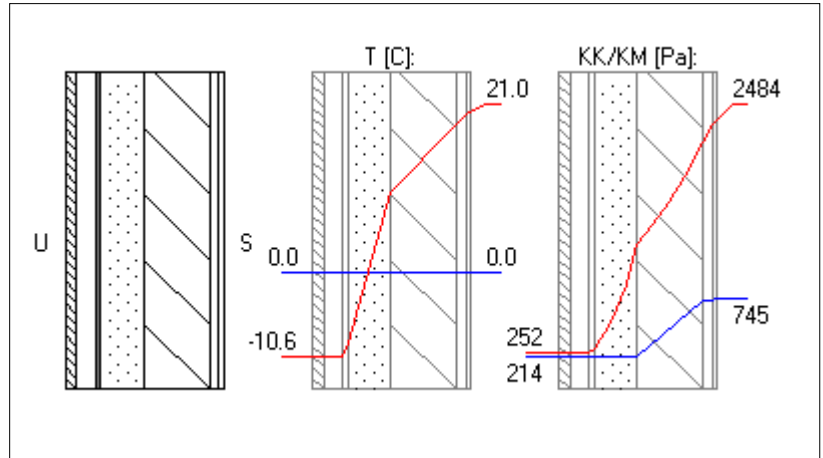
Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.00	1708	1256	73.5	0.00
1	15.07	1716	1256	73.2	0.00
2	17.30	1976	1757	88.9	0.00
3	20.67	2436	1763	72.4	0.00
4	20.67	2436	1781	73.1	0.00
5	20.77	2450	1789	73.0	0.00
S	21.00	2484	1789	72.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: US-oh	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 6/1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.219 W/m ² K
Paksuus:	365.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	105.50 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	16049.819 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	0.000062 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	4.567 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



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3 Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4 Puukuitueriste	100.00	0.0370	1.450000e-10	0.00	35.00
5 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00
6 Ilmarako 22 mm	22.00	0.1250	1.833333e-10	0.00	0.00
7 Kipsilevy	12.00	0.2400	4.499999e-12	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Talvi (1440.0 h)

Lisätiedot:

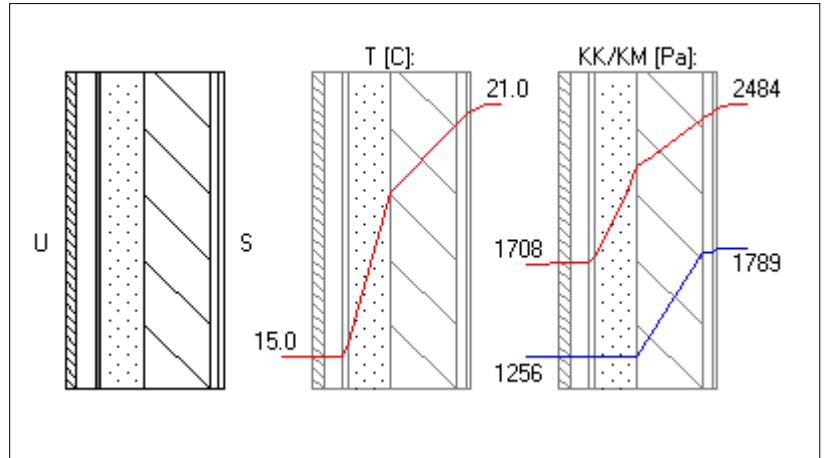
Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.60	252	214	85.0	0.00
1	-10.32	259	214	82.8	0.00
2	-10.32	259	214	82.8	0.00
3	-10.32	259	214	82.8	0.00
4	-8.81	297	217	73.1	0.00
5	9.89	1225	223	18.2	0.00
6	18.54	2135	720	33.7	0.00
7	19.75	2302	721	31.3	0.00
8	20.10	2351	745	31.7	0.00
S	21.00	2484	745	30.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö: US-oh	
Suunnittelija: Karjalainen	Päiväys: 25.5.2011	Tunnus: LIITE 6/2

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.219 W/m ² K
Paksuus:	365.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	105.50 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	16049.819 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	0.000062 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	4.567 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



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu (mänty)	25.00	---	---	0.00	480.00
2 Tuulettuva ilmarako	44.00	---	---	0.00	0.00
3 Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0550	3.960000e-11	0.00	300.00
4 Puukuitueriste	100.00	0.0370	1.450000e-10	0.00	35.00
5 Hirsi	150.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00
6 Ilmarako 22 mm	22.00	0.1250	1.833333e-10	0.00	0.00
7 Kipsilevy	12.00	0.2400	4.499999e-12	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kesä (1440.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [Pa]:	KM [Pa]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.00	1708	1256	73.5	0.00
1	15.05	1714	1256	73.2	0.00
2	15.05	1714	1256	73.2	0.00
3	15.05	1714	1256	73.2	0.00
4	15.34	1746	1259	72.1	0.00
5	18.89	2182	1265	58.0	0.00
6	20.53	2415	1763	73.0	0.00
7	20.76	2449	1764	72.0	0.00
8	20.83	2459	1789	72.7	0.00
S	21.00	2484	1789	72.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m²/W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyl. vesih.pit v_k [g/m³]	Vesihöyryn kyl.paine P_k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_v \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_v=d/\delta_v \cdot 10^9$ [m²·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakoh- tien vesih. osap. P [Pa]
ulkoilma			0,04	0,29	-10,60	262,55	2,08	252				
tuulileijona	0,012	0,055	0,2182	1,59	-10,31	262,84	2,14	259	39,6	0,303	3	214
vital	0,100	0,037	2,7027	19,67	-8,72	264,43	2,45	299	145	0,690	7	217
hirsi	0,150	0,12	1,2500	9,10	10,95	284,10	10,03	1 315	2,78	54,000	522	224
sisäilma			0,13	0,95	20,05	293,20	17,34	2 345				746
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			4,34							55,0	531	

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

U-arvo 0,23

Sisäilma

t[°C] 21,00 °C
t[K] 294,15 K
RH 30,00 %

Ulkoilma

t[°C] -10,60 °C
t[K] 262,55 K
RH 85,00 %

ΔT 31,6 °C
 ΔP 531,4 °C

Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus v_k 18,31 g/m³ v_k 2,08 g/m³ TALVI
Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³] v 5,49 g/m³ v 1,77 g/m³
Vesihöyryn osapaine [Pa] $p_{\text{vsisä}}$ 745,68 Pa p_{vulko} 214,27 Pa

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m²/W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyll. vesih.pit v _k [g/m³]	Vesihöyryn kyll.paine P _k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_v \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_v=d/\delta_v \cdot 10^9$ [m²·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakohtien vesih. osap. P [Pa]
Ulkoilma			0,04	0,06	15,00	288,15	12,86	1 709				
tuulileijona	0,012	0,055	0,2182	0,30	15,06	288,21	12,90	1 715	39,6	0,303	3	1256
vital	0,1	0,037	2,7027	3,74	15,36	288,51	13,14	1 749	145	0,690	7	1259
hirsi	0,15	0,12	1,2500	1,73	19,09	292,24	16,39	2 210	2,77778	54,000	524	1266
sisäilma			0,13	0,18	20,82	293,97	18,13	2 458				1790
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			4,34							55,0	533	

Ei tiivisty
Ei tiivisty
Ei tiivisty
Ei tiivisty

U-arvo	0,23											
		Sisäilma			Ulkoilma							
		t[°C]	21,00 °C		t[°C]	15,00 °C			ΔT	6,0 °C		
		t[K]	294,15 K		t[K]	288,15 K			ΔP	533,3 °C		
		RH	72,00 %		RH	73,50 %						
Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus	v _k	18,31 g/m³		v _k	12,86 g/m³					KESÄ		
Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³]	v	13,19 g/m³		v	9,45 g/m³							
Vesihöyryn osapaine [Pa]	P _{vesiä}	1789,64 Pa		P _{vulko}	1256,36 Pa							

Tiivistyvän kosteuden määrä

$$g = \frac{p_s - p_B}{Z_B} - \frac{p_A - p_u}{Z_A}$$

p_A	299 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä	
p_B	299 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä	
p_s	745,68 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine	
p_u	214,27 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine	
Z_B	54,689612	1,00E+09	5,47E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,3030303	1,00E+09	3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg
g_{tiiv}	-2,73E-07 kg/m ² s		
Kesto	60 vrk	5184000 s	
G_{tiiv}	-1,41E+00 kg/m ²		
	-1,41E+03 g/m ² (2 kk aikana)		

Ei tiivisty!

Seinästä poistuva kosteus

$$g = \frac{p_A - p_u}{Z_A} + \frac{p_B - p_s}{Z_B}$$

p_A	1 749 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	1 749 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	1789,64 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	1256,36 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	54,68961 1,00E+09	5,47E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,30303 1,00E+09	3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg

g_{kuiv} 1,62E-06 kg/m²s

kesto 60 vrk
5184000 s 1440 h

G_{kuiv} 8417,27 g/m²

G_{tiiv} -1414,371 g/m²

$G_{\text{kuiv}} - G_{\text{tiiv}}$ 7002,90

Ei tiivisty!

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m²/W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyll. vesih.pit v_k [g/m³]	Vesihöyryn kyll.paine P_k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_v \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_v=d/\delta_v \cdot 10^9$ [m²·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakoh- tien vesih. osap. P [Pa]
ulkoilma			0,04	0,42	-10,60	262,55	2,08	252				
tuulileijona	0,012	0,055	0,2182	2,31	-10,18	262,97	2,16	262	39,6	0,303	3	214
vital	0,050	0,037	1,3514	14,28	-7,87	265,28	2,64	323	145	0,345	3	217
hirsi	0,150	0,12	1,2500	13,21	6,41	279,56	7,51	969	2,78	54,000	525	221
sisäilma			0,13	1,37	19,63	292,78	16,91	2 285				746
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			2,99							54,6	531	

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

TALVI

Sisäilma

t[°C] 21,00 °C

t[K] 294,15 K

RH 30,00 %

Ulkoilma

t[°C] -10,60 °C

t[K] 262,55 K

RH 85,00 %

 ΔT 31,6 °C ΔP 531,4 °C

U-arvo 0,33

Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus v_k 18,31 g/m³ v_k 2,08 g/m³Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³] v 5,49 g/m³ v 1,77 g/m³Vesihöyryn osapaine [Pa] $p_{\text{visisä}}$ 745,68 Pa p_{vulko} 214,27 Pa

Tiivistyvän kosteuden määrä

$$g = \frac{p_s - p_B}{Z_B} - \frac{p_A - p_u}{Z_A}$$

p_A	323 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	323 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	745,68 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	214,27 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	54,34478439	1,00E+09 5,43E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,303030303	1,00E+09 3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg

g_{tiiv} -3,51E-07 kg/m²s

Kesto 60 vrk 5184000 s

G_{tiiv} -1,82E+00 kg/m²
-1,81780E+03 g/m² (2 kk aikana)

Ei tiivisty!

Seinästä poistuva kosteus

$$g = \frac{p_A - p_u}{Z_A} + \frac{p_B - p_s}{Z_B}$$

p_A	1 767 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	1 767 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	1789,64 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	1256,36 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	54,34478 1,00E+09	5,43E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,30303 1,00E+09	3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg

g_{kuiv} 1,68E-06 kg/m²s

kesto 60 vrk
5184000 s 1440 h

G_{kuiv} 8727,19 g/m²

G_{tiiv} -1817,804 g/m²

$G_{kuiv} - G_{tiiv}$ 6909,38

Ei tiivisty!

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m²/W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyl. vesih.pit vk [g/m³]	Vesihöyryn kyl.paine P_k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_v \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_p=d/\delta_v \cdot 10^9$ [m²·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakoh- tien vesih. osap. P [Pa]
ulkoilma			0,04	0,31	-10,60	262,55	2,08	252				
tuulileijona	0,012	0,055	0,2182	1,69	-10,29	262,86	2,14	259	39,6	0,303	3	214
ekovilla	0,100	0,041	2,4390	18,90	-8,60	264,55	2,48	303	31,25	3,200	30	217
hirsi	0,150	0,12	1,2500	9,69	10,30	283,45	9,63	1 260	2,78	54,000	499	247
sisäilma			0,13	1,01	19,99	293,14	17,28	2 337				746
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			4,077							57,5	531	

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

U-arvo 0,245

Sisäilma

t[°C] 21,00 °C
t[K] 294,15 K
RH 30,00 %

Ulkoilma

t[°C] -10,60 °C
t[K] 262,55 K
RH 85,00 %

ΔT 31,6 °C
 ΔP 531,4 °C

Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus v_k 18,31 g/m³ v_k 2,08 g/m³ TALVI
Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³] v 5,49 g/m³ v 1,77 g/m³
Vesihöyryn osapaine [Pa] $p_{\text{vsisä}}$ 745,68 Pa p_{vulko} 214,27 Pa

Tiivistyvän kosteuden määrä

$$g = \frac{p_s - p_B}{Z_B} - \frac{p_A - p_u}{Z_A}$$

p_A	303 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	303 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	745,68 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	214,27 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	57,19996	1,00E+09 5,72E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,30303	1,00E+09 3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg
g_{tiiv}	-2,84E-07 kg/m ² s	
Kesto	60 vrk	5184000 s
G_{tiiv}	-1,47E+00 kg/m ²	
	-1,47E+03 g/m ² (2 kk aikana)	

Ei tiivisty!

Seinästä poistuva kosteus

$$g = \frac{p_A - p_u}{Z_A} + \frac{p_B - p_s}{Z_B}$$

p_A	1 751 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	1 751 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	1789,64 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	1256,36 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	54,68961 1,00E+09	5,47E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,30303 1,00E+09	3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg

g_{kuiv} 1,63E-06 kg/m²s

kesto 60 vrk
5184000 s 1440 h

G_{kuiv} 8461,44 g/m²

G_{tiiv} -1472,58 g/m²

$G_{\text{kuiv}} - G_{\text{tiiv}}$ 6988,86

Ei tiivisty!

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m²/W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyl. vesih.pit v _k [g/m³]	Vesihöyryn kyl.paine P _k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_s \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_p=d/\delta_s \cdot 10^9$ [m²·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakohlien vesih. osap. P [Pa]
ulkoilma			0,04	0,38	-10,60	262,55	2,08	252				
hirsi	0,15	0,12	1,2500	11,73	-10,22	262,93	2,15	261	2,7778	54,000	500	214
Isover KL 37	0,070	0,037	1,8919	17,76	1,51	274,66	5,40	684	105,0	0,667	6	714
Isover VARIO	0,000	0,3401	0,0001	0,00	19,27	292,42	16,56	2 235	0,0263	1,901	18	720
kipsilevy	0,013	0,24	0,05	0,51	19,27	292,42	16,56	2 235	15,0	0,867	8	738
ulkoilma			0,13	1,22	19,78	292,93	17,06	2 306				746
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			3,366							57,4	523	

Ei tiivisty

Tiivistyy

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Sisäilma

t[°C] 21,00 °C
t[K] 294,15 K
RH 30,00 %

Ulkoilma

t[°C] -10,60 °C
t[K] 262,55 K
RH 85,00 %

ΔT 31,6 °C
 ΔP 531,4 °C

U-arvo	0,297
--------	-------

Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus	v _k	18,31 g/m³	v _k	2,08 g/m³	TALVI
Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³]	v	5,49 g/m³	v	1,77 g/m³	
Vesihöyryn osapaine [Pa]	p _{vsisä}	745,68 Pa	p _{vulko}	214,27 Pa	

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m²/W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyl. vesih.pit vk [g/m³]	Vesihöyryn kyl.paine P_k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_v \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_v=d/\delta_v \cdot 10^9$ [m²·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakohtien vesih. osap. P [Pa]
Ulkoilma			0,04	0,07	15,00	288,15	12,86	1 709				
hirsi	0,15	0,12	1,2500	2,23	15,07	288,22	12,91	1 717	2,77778	54,000	501	1256
Isover KL 37	0,07	0,037	1,8919	3,37	17,30	290,45	14,75	1 977	105	0,667	6	1758
Isover VARIO	0,00005	0,3401	0,0001	0,00	20,67	293,82	17,97	2 436	0,02631	1,901	18	1764
kipsilevy	0,013	0,24	0,05	0,10	20,67	293,82	17,97	2 436	15	0,867	8	1782
ulkoilma			0,13	0,23	20,77	293,92	18,07	2 451				1790
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			3,366							57,4	525	

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Sisäilma

t[°C] 21,00 °C
t[K] 294,15 K
RH 72,00 %

Ulkoilma

t[°C] 15,00 °C
t[K] 288,15 K
RH 73,50 %

ΔT 6,0 °C
 ΔP 533,3 °C

U-arvo	0,297
--------	-------

Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus

v_k 18,31 g/m³v_k 12,86 g/m³

KESÄ

Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³]

v 13,19 g/m³

v 9,45 g/m³

Vesihöyryn osapaine [Pa]

P_{vsisä} 1789,64 PaP_{vulko} 1256,36 Pa

Tiivistyvän kosteuden määrä

$$g = \frac{p_s - p_B}{Z_B} - \frac{p_A - p_u}{Z_A}$$

p_A	684 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	684 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	745,68 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	214,27 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	3,4340722 1,00E+09	3,43E+09 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	53,999996 1,00E+09	5,40E+10 m ² ·s·Pa/kg
g_{tiiv}	9,319E-09 kg/m ² s	
Kesto	60 vrk	5184000 s
G_{tiiv}	4,83E-02 kg/m ²	
	48,307 g/m ² (2 kk aikana)	

Seinästä poistuva kosteus

$$g = \frac{p_A - p_u}{Z_A} + \frac{p_B - p_s}{Z_B}$$

p_A	1 977 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	1 977 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	1789,64 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	1256,36 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	3,434072 1,00E+09	3,43E+09 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	54 1,00E+09	5,40E+10 m ² ·s·Pa/kg

g_{kuiv} 6,78E-08 kg/m²s

kesto 60 vrk
5184000 s 1440 h

G_{kuiv} 351,65 g/m²

G_{tiiv} 48,30714 g/m²

$G_{kuiv} - G_{tiiv}$ 303,34

Ei tiivisty!

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m ² /W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyl. vesih.pit v_k [g/m ³]	Vesihöyryn kyl.paine P_k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_s \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_p=d/\delta_s \cdot 10^9$ [m ² ·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakoh- tien vesih. osap. P [Pa]
ulkoilma			0,04	0,28	-10,60	262,55	2,08	252				
tuulileijona	0,012	0,055	0,2182	1,51	-10,32	262,83	2,13	259	39,6	0,303	2	214
vital	0,100	0,037	2,7027	18,68	-8,82	264,33	2,43	297	145	0,690	5	217
hirsi	0,150	0,12	1,2500	8,64	9,87	283,02	9,37	1 224	2,78	54,000	411	222
ilmarako	0,022	0,125	0,1760	1,22	18,51	291,66	15,84	2 132	1,83333	12,000	91	632
kipsilevy	0,013	0,24	0,0542	0,37	19,73	292,88	17,01	2 299	4,49999	2,889	22	724
sisäilma			0,13	0,90	20,10	293,25	17,39	2 352				746
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			4,57							69,9	531	

Sisäilma

t[°C] 21,00 °C
t[K] 294,15 K
RH 30,00 %

Ulkoilma

t[°C] -10,60 °C
t[K] 262,55 K
RH 85,00 %

ΔT 31,6 °C
 ΔP 531,4 °C

U-arvo 0,219

TALVI

Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus v_k 18,31 g/m³ v_k 2,08 g/m³
 Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³] v 5,49 g/m³ v 1,77 g/m³
 Vesihöyryn osapaine [Pa] $p_{\text{vsisä}}$ 745,68 Pa p_{vulko} 214,27 Pa

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ_n [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m²/W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyl. vesih.pit vk [g/m³]	Vesihöyryn kyl.paine P_k [Pa]	Vesihöyryn läpäisevyys $\delta_v \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	Vesihöyryn vastus $Z_v=d/\delta_v \cdot 10^9$ [m²·s·Pa/kg]	Osapaineen muutos ΔP [Pa]	Rajakohtien vesih. osap. P [Pa]
Ulkoilma			0,04	0,05	15,00	288,15	12,86	1 709				
tuulileijona	0,012	0,055	0,2182	0,29	15,05	288,20	12,90	1 715	39,6	0,303	2	1256
vital	0,1	0,037	2,7027	3,55	15,34	288,49	13,12	1 747	145	0,690	5	1259
hirsi	0,15	0,12	1,2500	1,64	18,89	292,04	16,20	2 182	2,77778	54,000	412	1264
ilmarako	0,022	0,125	0,1760	0,23	20,53	293,68	17,82	2 415	1,83333	12,000	92	1676
kipsilevy	0,013	0,24	0,0542	0,07	20,76	293,91	18,06	2 449	4,500	2,889	22	1768
sisäilma			0,13	0,17	20,83	293,98	18,13	2 460				1790
					21,00	294,15	18,31	2 486				
			4,57							69,9	420	

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

Ei tiivisty

U-arvo	0,219											
		Sisäilma		Ulkoilma								
		t[°C]	21,00 °C	t[°C]	15,00 °C				ΔT	6,0 °C		
		t[K]	294,15 K	t[K]	288,15 K				ΔP	533,3 °C		
		RH	72,00 %	RH	73,50 %							
Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus	v_k	18,31	g/m³	v_k	12,86	g/m³				KESÄ		
Ilmanvesihöyrypitoisuus [g/m³]	v	13,19	g/m³	v	9,45	g/m³						
Vesihöyryn osapaine [Pa]	$P_{vsiä}$	1789,64	Pa	P_{vulko}	1256,36	Pa						

Tiivistyvän kosteuden määrä

$$g = \frac{p_s - p_B}{Z_B} - \frac{p_A - p_u}{Z_A}$$

p_A	297 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	297 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	745,68 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	214,27 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	69,57853	1,00E+09 6,96E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,30303	1,00E+09 3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg
g_{tiiv}	-2,66E-07 kg/m ² s	
Kesto	60 vrk	5184000 s
G_{tiiv}	-1,38E+00 kg/m ²	
	-1,38E+03 g/m ² (2 kk aikana)	

Ei tiivisty!

Seinästä poistuva kosteus

$$g = \frac{p_A - p_u}{Z_A} + \frac{p_B - p_s}{Z_B}$$

p_A	1 747 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_B	1 747 Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
p_s	1789,64 Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
p_u	1256,36 Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	69,57853 1,00E+09	6,96E+10 m ² ·s·Pa/kg
Z_A	0,30303 1,00E+09	3,03E+08 m ² ·s·Pa/kg

g_{kuiv} 1,62E-06 kg/m²s

kesto 60 vrk
5184000 s 1440 h

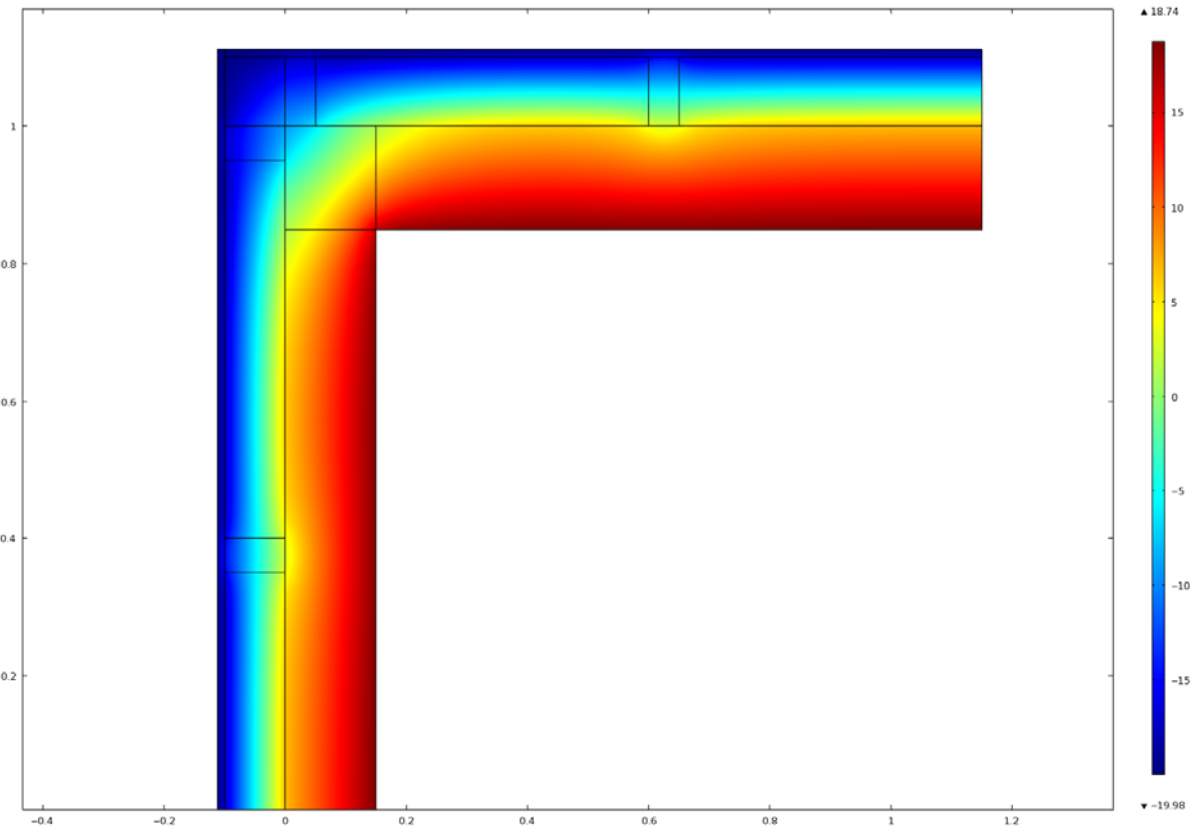
G_{kuiv} 8383,79 g/m²

G_{tiiv} -1379,906 g/m²

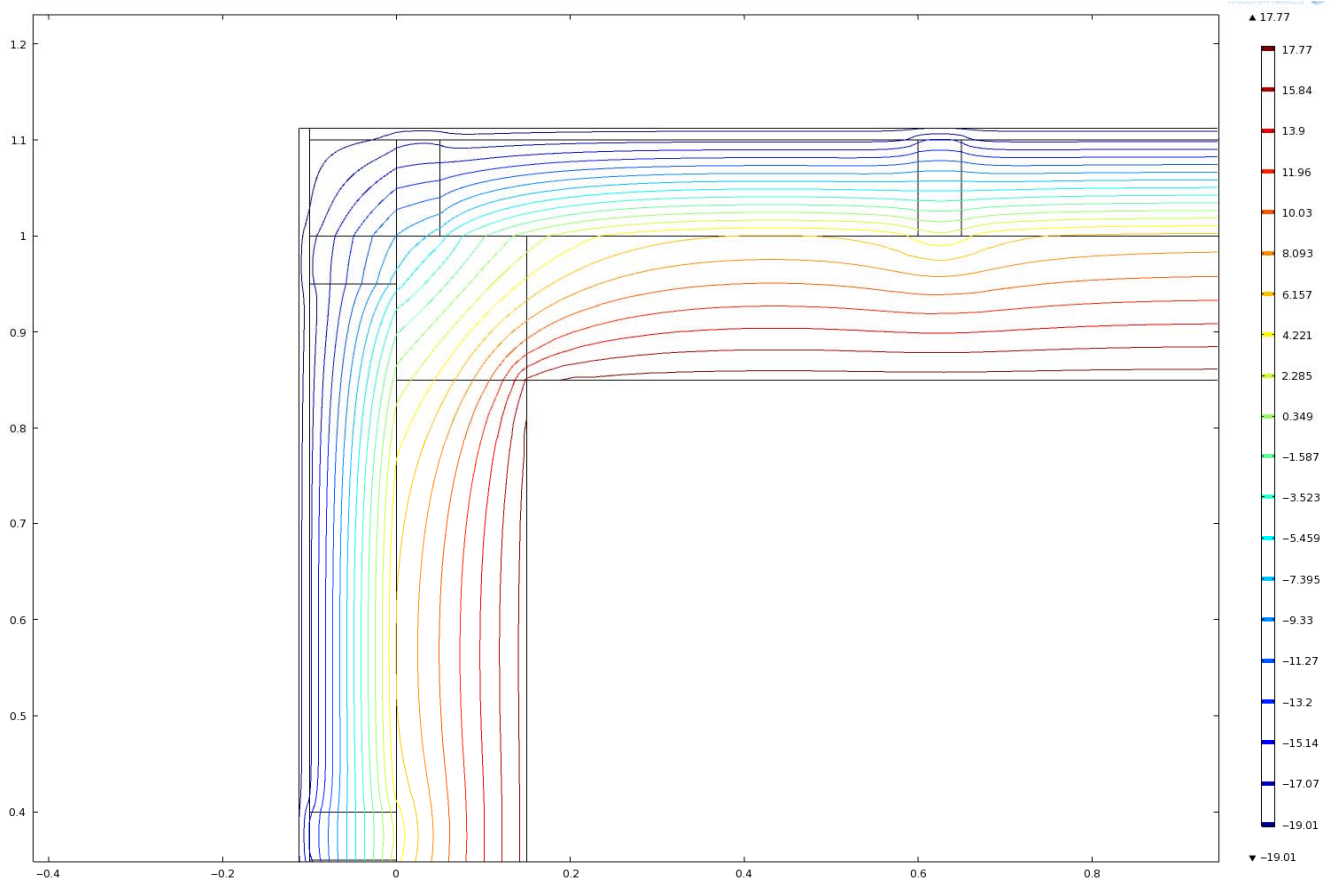
$G_{kuiv} - G_{tiiv}$ 7003,88

Ei tiivisty!

Liitteessä 12 ja 13 on esitetty rakenteessa oleva lämpötila väreillä. Sininen väri kuvaa kylmää lämpötilaa ja punainen väri kuvaa taasen lämmintä lämpötilaa.



KUVA 1. Lämpötila esitetty väreillä



KUVA 2. Lämpötila esitetty väriviivoin