

Vesa Anttila

**Kahden erityyppisen ulkoseinärakenteen vertailututkimus**

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Vesa Anttila

Työn nimi: Kahden erityyppisen ulkoseinärakenteen vertailututkimus

Ohjaaja: Heikki Ylihärsilä

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 64

Liitteiden lukumäärä: 24

---

Tämä opinnäytetyö käsittelee yrityksen jo käytössä olevan ulkoseinärakenteen sekä uuden mallistoon tulevan ulkoseinärakennemallin vertailua. Nykyinen on perinteinen tolpparunkoinen ja mineraalivillalla eristetty rakenne. Uusi rakenne on kapeampirunkoinen mineraalivillaeristetty, jossa on alumiinipinnoitettu polyuretaanilevy osana lämmöneristystä ja höyrynsulkuna.

Työ pohjautuu ympäristöministeriön asettamien uusien energiamääräysten vaatimukseen ohjata uudisasuinrakentamista yhä energiatehokkaampaan suuntaan. Energiatehokkuus keskittyy rakennuksen kokonaisenergiatarkasteluun. Ulkovai-pan rakenteet joudutaan suunnittelemaan tiiviimmiksi ja entistä paremmin eristäväksi. Nämä tuovat rakennesuunnitteluun uusia haasteita ja tällöin myös uudet eristevaihtoehdot tulevat kysymykseen.

Työn kirjallisessa osuudessa määritettiin rakenteille lämmönläpäisykerroin eurooppalaisen tuote- ja suunnittelustandardin mukaisesti. Lämpöhäviön määrää tarkasteltiin keskivertoiselle asuinrakennukselle. Seinärakenteista esitettiin taulukoidut esimerkkilaskelmat eri rakennekerroksissa vallitsevista lämpötiloista, vesihöyryn kyllästyspaineesta ja vesihöyryn osapaineesta. Laskelmista muodostettujen kuvaajien avulla tutkittiin rakenteista mahdollisia veden tiivistymisvyöhykkeitä. Lämpö- ja kosteusominaisuuksia selvitettiin rakenteille lisäksi käytännön laboratorio-riokokeilla.

Työssä käytetään seinärakenteille nimityksiä nykyinen ja uusi.

Avainsanat: energiamääräys, energiatehokkuus, lämmönläpäisykerroin, lämpöhäviö, polyuretaani

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Vesa Anttila

Title of thesis: Comparing two different types of exterior wall structures

Supervisor: Heikki Ylihärsilä

Year: 2012

Number of pages: 64

Number of appendices: 24

---

The thesis deals with a company's two different kinds of outside wall structure models. The research contains comparisons of the structures' building physical properties. The current structure is a wooden pole framed and insulated with mineral wool. The new model has a narrow pole frame and the structure is isolated with mineral wool. The inner isolation is an aluminum coated polyurethane board which works as insulation and also as air sealing.

The work is based on the new energy requirements by the Ministry of Environment. The new provisions make new residential construction more and more energy efficient. Energy efficiency focuses on the total energy analysis. The structures of the jacket have to be designed air tighter and more insulated. These provide the structural design with new challenges, and thereby new insulation material options can be an alternative.

In this study U-values were calculated using European product and design standard. Structural analyses (and temperature, vapor saturation pressure and vapor partial pressure) were presented and heat loss calculations were made. Thermal and moisture properties of the structures were studied also in addition to hands-on laboratory experiment.

Terms current and new are used for wall structures.

Keywords: energy efficient, energy requirements, heat loss, polyurethane, U-value

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	6
1 JOHDANTO .....	7
1.1 Hartman Koti .....	7
1.2 Taloratkaisut .....	7
1.3 Työn tausta .....	8
1.4 Työn tavoite ja eteneminen .....	8
2 RAKENTEET .....	10
2.1 Perustukset .....	10
2.2 Seinätyyppien materiaalikerrokset .....	11
2.3 Höyryn- ja ilmansulku.....	13
2.4 Rakennuksen ilmatiiviys.....	15
3 ENERGIATEHOKKUUS JA LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN .....	17
3.1 U-arvo nykyiselle rakenteelle .....	18
3.2 U-arvo uudelle rakenteelle .....	19
3.3 Energiatehokkuus .....	20
4 LÄMPÖ- JA KOSTEUSTARKASTELU.....	24
4.1 Nykyinen seinärakenne.....	25
4.2 Uusi seinärakenne .....	29
5 SÄÄKAAPPIKOE .....	33
5.1 Kokeen toteutus .....	33
5.2 Testaustulokset ja tulosten vertailu .....	34
6 YHTEENVETO.....	37
LÄHTEET .....	39
LIITTEET.....	1

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Nykyinen seinärakenne.....	11
Kuvio 2. Uusi seinärakenne. ....	12
Kuvio 3. Höyrynsulun toteutus muovikalvolla (Hartman Koti 2012).....	14
Kuvio 4. Höyrynsulun toteutus PU-eristelevyllä (Hartman Koti 2012). ....	14
Kuvio 5. Kiille 131 -talomalli (Hartman Koti 2012). ....	20
Kuvio 6. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila –5 astetta (Dof-lämpö 2012). ....	26
Kuvio 7. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila –15 astetta (Dof-lämpö 2012). ....	27
Kuvio 8. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila –25 astetta (Dof-lämpö 2012). ....	27
Kuvio 9. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila –35 astetta (Dof-lämpö 2012). ....	28
Kuvio 10. Uusi rakenne ja ulkolämpötila –5 astetta (Dof-lämpö 2012).....	30
Kuvio 11. Uusi rakenne ja ulkolämpötila –15 astetta (Dof-lämpö 2012).....	31
Kuvio 12. Uusi rakenne ja ulkolämpötila –25 astetta (Dof-lämpö 2012).....	31
Kuvio 13. Uusi rakenne ja ulkolämpötila –35 astetta (Dof-lämpö 2012).....	32
Kuvio 14. Koeseinä kiinnitettynä sääkaappiin (Arctest ARC 1500). ....	33
Kuvio 15. Lämpötilaa ja kosteutta mittaava laitteisto.....	34
Kuvio 16. Nykyisen seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyrät mittaustuloksista. ....	35
Kuvio 17. Uuden seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyrät mittaustuloksista. ....	36
Taulukko 1. Nykyisen seinärakenteen lämpöhäviö. ....	21
Taulukko 2. Uuden seinärakenteen lämpöhäviö. ....	21
Taulukko 3. Nykyinen seinärakenne. Ilmatiivisluku 2,0 ja yläpohjan U-arvo 0,08 W/m <sup>2</sup> K (Dof -energia 2012).....	22
Taulukko 4. Uusi seinärakenne. Ilmatiivisluku 0,6 ja yläpohjan U-arvo 0,07 W/m <sup>2</sup> K (Dof -energia 2012).....	23
Taulukko 5. Esimerkki lämpötilojen, vesihöyryn kyllästysosapaineen ja osapaineen laskennasta.....	25
Taulukko 6. Esimerkki lämpötilojen, vesihöyryn kyllästysosapaineen ja osapaineen laskennasta.....	29

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>U-arvo</b>	Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kuvastaa ulkoseinä- rakenteen lämmöneristyskykyä. Rakenne eristää lämpöä si- tä paremmin mitä pienempi laskennallinen U-arvo on. U- arvon yksikkönä käytetään $W/m^2K$ .
<b>Diffuusio</b>	Diffuusio tarkoittaa kosteuden siirtymistapaa rakenteessa. Diffuusio pyrkii tasoittamaan vesihöyryn paine-eroja. Ve- sihöyry siirtyy suuremmasta osapaineesta pienempään paineeseen päin.
<b>Konvektio</b>	Konvektio tarkoittaa kosteuden siirtymistapaa rakentees- sa. Rakenteen yli vallitsevat ilmanpaine-erot aiheuttavat ilmavirtauksia, jotka kulkevat rakenteen läpi rakojen kaut- ta ja kuljettavat mukanaan kosteutta.
<b>Kastepiste</b>	Kastepiste on lämpötila, jossa vesihöyryä sisältävän kaa- sun osapaine saavuttaa vastaavan kerroksen lämpötilan kyllästysosapaineen arvon. Tällöin vesihöyry tiivistyy ve- deksi materiaalin pintaan tai sen sisäosiin.
<b>PU-eriste</b>	Polyuretaanieriste
<b>OSB-levy</b>	Oriented strand board. Lastulevy, joka kerrostuu ristiin liimatuista puulastuista.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Hartman Koti

Hartman on rakennustarvike- ja rautakauppa-alalla toimiva yksityinen ja itsenäinen kauppayritys. Oy C.J. Hartman Ab on Hartman-konsernin emoyhtiö, jonka tytäryhtiöitä ovat Hartman Rauta Oy ja Oy Motonova Ab sekä sisaryhtiö Oy Hartman Invest Ab. Vuoden 2012 alkupuolella Hartmanin palveluksessa toimi yhteensä 260 työntekijää ja vuoden 2011 liikevaihto oli 190 miljoonaa euroa.

Hartman Koti on Hartman Rauta Oy:n yhteydessä toimiva itsenäinen tulosityksikkö. Se on tarjonnut taloratkaisuja asuntomarkkinoille jo vuodesta 1997. Hartman Kodin palveluksessa on 25 henkilöä. Vuositasolla valmistuu yhteensä noin 200 Hartman Kotia. Toiminta-alue on pääasiallisesti Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan sekä Pirkanmaan maakunnissa. Hartman Kodin kehittyneen kasvun myötä ovat myös toimitusalueet laajentuneet. Yrityksen kivijalkana toimii palvelun paikallisuus, vankka osaaminen sekä laadukas suunnittelu.

## 1.2 Taloratkaisut

Hartman Kodin tarjoama talopaketti sisältää suunnittelun, tavarantoimitukset ja asennuksen haluttuun valmiusasteeseen. Suunnitteluun kuuluvat pääpiirustukset, työpiirustukset ja rakennesuunnitelmat. Toimitukseen on mahdollista sisällyttää rakentaminen aina perustuksista sisustukseen saakka. Rakentaminen toteutetaan perinteisesti paikalla rakentaen. Toimintatapa mahdollistaa talopakettitoimituksien jalostuksen asiakkaan toiveiden mukaisiksi pohjapiirustuksista aina sisustuspinnoitteisiin saakka. Hartman Koti tarjoaa puurunkoisia talomalleja sekä puu- että tiiliverhoiltuna.

### 1.3 Työn tausta

Hartman Kodin tarkoituksena on tuoda mallistoonsa vaihtoehtoinen seinärakenne, jonka eristysominaisuudet ja tiiviys tulisivat yhdessä vähentämään rakennuksen lämpöhäviön määrää. Seinärakenteen suunnittelussa on pyritty tuottamaan energiatehokkaampi rakenne kasvattamatta seinävahvuutta oleellisesti. Vaihtoehdoksi löydettiin polyuretaanilevy, joka mahdollistaa kapeampien runkotolppien käytön ja korvaa osan mineraalivillaeristyksestä.

Uuden seinärakenteen suunnittelu pohjautuu alun perin ympäristöministeriön uusiin, kiristyneisiin energiamääräyksiin. Määräysten keskeinen muutos on rakennuksen kokonaisenergiatarkastelu, joka koskee koko rakennuksen energiankulutusta. Rakentamismääräysten uudistamisella pyritään ohjaamaan uudisrakennuskantaa sekä energiansäästöön että päästöjen vähentämiseen. Määräysten tiukentuminen tulee tarkoittamaan keskimääräisesti 20 prosentin parannusta tämänhetkisten määräysten vaatimaan energiatehokkuuteen. Investointikustannusvaikutukset tulevat kuitenkin olemaan pienemmät nykyisiin, vuonna 2010 voimaan astuneisiin määräyksiin verrattuna.

Investoiminen energiatehokkuuteen jo rakennusvaiheessa pienentää käytön aikaisia kustannuksia ja rauhoittaa asumiskustannusten nousua energian hintojen noustessa. Uudet energiamääräykset kokonaisenergiatarkasteluun astuvat voimaan 1.7.2012 alkaen. *(YM: Uudisrakentamisessa siirrytään 1.7.2012 alkaen kokonaisenergiatarkasteluun, 2011.)*

### 1.4 Työn tavoite ja eteneminen

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää nykyisen ja uuden seinärakenteen lämpö- ja kosteusteknisiä ominaisuuksia sekä vertailla analysoituja tuloksia toisiinsa. Uusi rakennemalli tulisi todeta toimivaksi ja energiatehokkaammaksi ratkaisuksi kuin nykyinen rakenne.

Työ aloitetaan ulkoseinämallien rakenteiden selvityksellä ja lämmönläpäisykerrointen laskennalla. Sen jälkeen tutkitaan energialaskelmissa lämpöhäviön määrää



keskivertoisessa asuinrakennuksessa molemmilla seinätyypeillä. Seuraavaksi rakenteita tarkastellaan rakennusfysikaalisesta näkökulmasta. Kuvaajien käyrät muodostetaan lämpötilojen ja kosteuden muutoksista rakenteissa vaihtelevissa olosuhteissa. Alussa esitetään esimerkkitaulukot käsin laskennasta, joiden pohjalta käyrät on muodostettu. Laboratoriossa tehtyjen käytännön kokeiden toteutuksesta ja kokeista saatuja tuloksia käsitellään omassa osiossaan. Lopuksi kerätään yhteenveto vertailuissa saaduista tuloksista.

## 2 RAKENTEET

### 2.1 Perustukset

Hartman Koti ei vastaa perustamistavan soveltuvuudesta rakennuspaikkaan. Perustamistapa määritetään maaperätutkimuksen tulosten perusteella. Tarvittaessa rakennuskohteesta laaditaan erillinen perustussuunnitelma Hartman Kodin perustusohjeita soveltaen. Työmaan vastaava työnjohtaja ja pääsuunnittelija vastaavat perustamistavan oikeellisuudesta sekä hyväksyvät perustussuunnitelman kohteeseen sopivaksi.

Hartman Koti tarjoaa toimituksiinsa vakiona Leca-harkkoperustusta, joka on täsmälleen sama kummassakin ulkoseinätyypissä. Vakioperustus alkaa 600 mm x 200 mm teräsbetonianturasta, jonka päälle muurataan Leca-kevytsoraharkkoista 800 mm korkea sokkeli. Anturavalussa on 3 kpl 12 mm harjateräksiä ja sokkelin harkkourissa betoniin upotetut 8 mm harjateräkset.

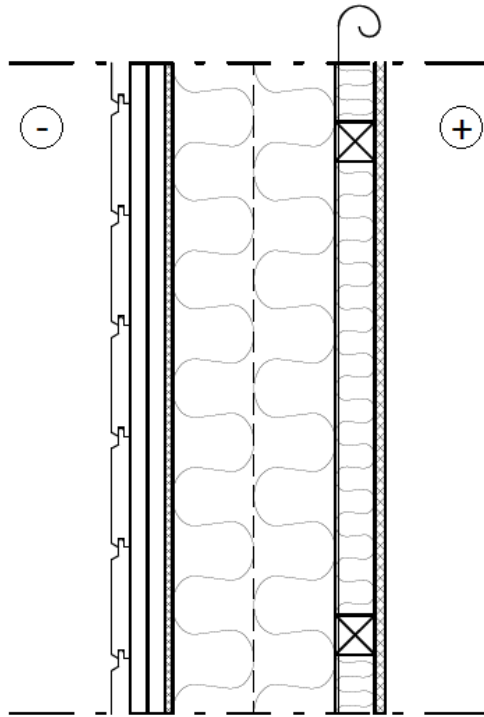
Lattiavalun yläpinnan korkeus on samassa tasossa kuin alaohjauspuun yläpinta sekä niiden välissä olevan Finnfoam 50 mm eristelevyn yläpinnan korkeustaso (+0.050). Lattiavalun alapuolinen eristelevykerros on Thermisol Platina 100+100 mm.

Puuverhoillussa ulkoseinä rakenteessa sokkeli muurataan RUH-200 kevytsoraharkosta -0.200 korkoon asti ja viimeinen harkkokerros muurataan UH-150 kevytsoraharkkoista. Tuulensuojakipsilevyn ulkopinta on samassa tasossa kuin sokkelin ulkopinta, eli seinän pystyrunko jää 9 mm sokkelin ulkopinnasta sisäänpäin. *(Liite 1. ja 2.)*

Nykyistä ja uutta ulkoseinätyyppiä on saatavilla myös tiiliverhouksella. Silloin sokkelia on vahvistettava ja kevytsoraharkkoina käytetään RUH-300 korkoon -0.200 saakka. Ylimpänä kevytsoraharkkokerroksena käytetään RUH-250 harkkoa. Seinän pystyrunko jää sokkelin ulkopinnasta 109 mm sisäänpäin. *(Liite 3. ja 4.)*

## 2.2 Seinätyyppien materiaalikerrokset

Seuraavissa kuvioissa on esitetty seinätyyppien rakennekerrokset. Kuviossa 1. on nykyinen mineraalivillalla eristetty rakenne, jonka höyrynsulkumuovi sijaitsee sisäpuolisen vaakakoolauksen ulommalla puolella.

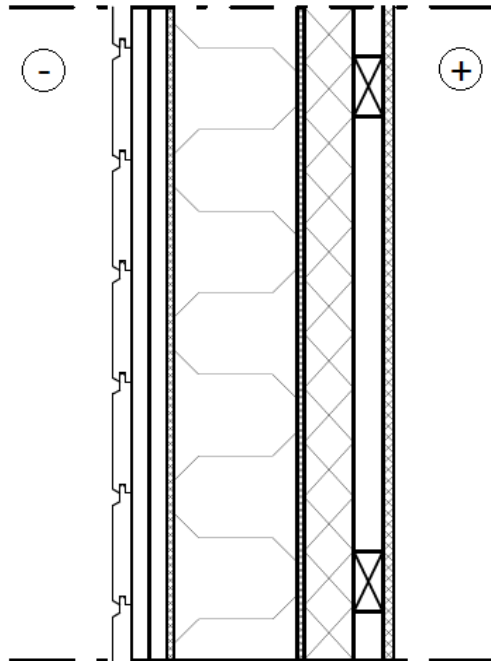


Kuvio 1. Nykyinen seinärakenne.

Nykyinen seinärakenne sisältä ulospäin:

- Sisäverhouskipsilevy, Gyproc GEK13
- Vaakakoolaus 48x48 k600 + mineraalivilla 50 mm (KL37)
- Höyrynsulkumuovi 0.2 mm
- Pystyrunko 48x198 k600 + mineraalivilla 100+100 mm (KL33)
- Tuulensuojakipsilevy, Gyproc GTS9
- Tuuletusvälirima vaakaan 21x45 k600
- Paneelin naulausrima pystyyn 21x98 k600
- Ulkoverhouspaneeli 23 mm

Kuviossa 2. on uusi mineraalivillalla eristetty rakenne, jonka PU-lämmöneriste- ja höyrynsulkukerros sijaitsee sisäpuolisen vaakakoolauksen ulommalla puolella.



Kuvio 2. Uusi seinärakenne.

Uusi seinärakenne sisältä ulospäin:

- Sisäverhouskipsilevy, Gyproc GEK13
- Vaakakoolaus 35x73 k600 + tuulettumaton ilmaväli 35 mm
- Polyuretaanilevy alumiinipinnoitteella 60 mm
- OSB-levy 8 mm
- Pystyrunko 48x148 k600 + mineraalivilla 150 mm (KL33)
- Tuulensuojakipsilevy, Gyproc GTS9
- Tuuletusvälirima pystyyn 21x45 k600
- Paneelin naulausrima pystyyn 21x98 k600
- Ulkoverhouspaneeli 23 mm

Seinätyypit ovat vahvuudeltaan lähes samoissa mitoissa. Nykyisen seinärakenteen vahvuus sisäkipsilevyn sisäpinnasta ulkoverhouspaneelin ulkopintaan on 333 mm. Uudella rakenteella vastaava vahvuus on 338 mm. Eroa on vain 5 mm, joten uudella rakenteella ei ole vaikutusta yrityksen käytössä oleviin pohjaratkaisuihin.

### 2.3 Höyryn- ja ilmansulku

Höyrynsululla estetään haitallisen diffuusion liikkumista rakenteessa. Kun ilmansulku toteutetaan höyrynsulkumuovilla tai PU-levyllä, diffuusion siirtämän vesihöyryn määrä rakenteen läpi on vähäinen sen korkean vesihöyrynvastuksen vuoksi. Kosteuden poiston tehostamiseksi asunnon tulee olla hieman alipaineinen ilmanvaihtokoneen toiminnalla. (*RakMK D2 2003, 14.*)

Höyrynsulun asennukset tulee tehdä hyvää rakennustapaa käyttäen. Saumoituksissa ja läpivientien tiivistyksissä tulee olla erityisen huolellinen, oli kyseessä sitten muovikalvolla tai polyuretaanieristeellä suunniteltu höyrynsulku. Mikäli höyrynsulku ei ole täysin ehjä ja asunto pääsee ylipaineiseksi, silloin erityisesti huoneiden yläosien alipaineistus jää puutteelliseksi. Tällöin vesihöyry siirtyy pääasiassa konvektion, mutta myös diffuusion vaikutuksesta seinän ja yläpohjan eristystilaan. Kosteusvaurion riski tällöin lisääntyy. (*Tofte yhtiöt Oy 2010.*)

Nykyisessä rakenteessa höyrynsulku on toteutettu muovikalvolla ja saumakohtat ovat limitetty ja teipattu tiiviiksi eristeteipillä. Kiinnitys runkotolppiin on tehty nitojaa käyttäen. (Kuvio 3)

Uudessa rakenteessa polyuretaanilevy toimii sekä eristeenä että höyryn- ja ilmansulkuna. PU-levyjen saumat täytetään kiinnitysvaiheessa PU-vaahdolla; levyt liitetään yhteen ja ruuvataan kiinni runkotolppiin. Saumankohdat voidaan lisävarmistukseksi teipata alumiiniteipillä umpeen. (Kuvio 4)



Kuvio 3. Höyrynsulun toteutus muovikalvolla (Hartman Koti 2012).



Kuvio 4. Höyrynsulun toteutus PU-eristelevyllä (Hartman Koti 2012).

## 2.4 Rakennuksen ilmatiiviys

Ilmatiiviysluku eli ilmanvuotoluku tarkoittaa rakennuksesta mittaamalla saatua tiiviysarvoa, jonka suuruuteen vaikuttaa höyrynsulun ehjyys ja tiiviys. Mittauksen tarkoituksena on selvittää rakenteiden läpi vuotavan ilman määrää. Tuloksesta havaitaan, mikäli höyrynsulussa on konvektiolle alttiita rakoja. Kaikki läpiviennit, ikkunat ja tuuletusaukot tulee sulkea ja teipata tiiviisti umpeen mittauksen ajaksi, jotta virheellisen tuloksen mahdollisuus minimoidaan. Tiiviyttä mitataan rakennuksessa käyttämällä ulko-ovena mittaukseen tarkoitettua paineen muodostavaa ovea. (RT 80-10974 2009, 10.)

Ilmanvuotoluku ilmoitetaan  $n_{50}$  -arvolla. Luku ilmoittaa, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu yhden tunnin aikana, kun rakennukseen muodostetaan 50 Pascalin ali- tai ylipaine. Erinomainen arvo pientaloissa on alle 1.0 1/h, normaali noin 3.0 1/h ja heikko noin 8 1/h. Mikäli rakennuksessa käytetään vuoden 2007 rakentamismääräyksissä ilmoitettua raja-arvoa ( $n_{50,raja} = 4,0$  1/h, tai suurempaa), ei tiiviysmittausta tarvitse silloin suorittaa. Ilmanvuotoarvon todentaminen voidaan tehdä myös keskiarvo-otantana suuremman talotuotantomäärän ilmatiiveysmittauksista talotyyppikohtaisesti, jolloin rakennuskohtaista mittausta ei tarvitse suorittaa. Ilmanvuotolukua tarkastellaan rakennuslupavaiheessa energiaselvitystä ja -todistusta laadittaessa. (RT 80-10974 2009, 2-3.)

Rakennuksen hyvällä ilmatiiviydellä on suora vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen ja sisätilojen asumismukavuuteen. Asuinrakennusten lämmöneristepaksuuksilla ilmatiiviydestä huolehtiminen on merkittävimpiä ja edullisimpia keinoja parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Ilmavuodot aiheuttavat vedon tunteen ja energianhävikin lisäksi riskejä epäpuhtauksien, kuten mikrobien ja radonin pääsystä sisätiloihin. Tiiviysmittaus toimii myös rakentamisen laadun mittarina. (RT 80-10974 2009, 4.)

Hartman Koti on sitoutunut takaamaan rakennuksilleen ilmanvuotoluvun raja-arvot. Jokaisessa Hartman Kodin rakennuskohteessa suoritetaan ilmatiivysmittaus, jonka tuloksen tulee olla luvattua ohjearvoa pienempi. Höyrinsulkumuovilla toteutetuille rakennuksille luvattu ilmanvuotoluku  $n_{50}$  on  $< 2,0$  1/h. Polyuretaania höyrinsulkuna käyttävissä rakennuksissa vastaava luku on  $< 0,6$  1/h, mikä vastaa passiivitason ilmatiiviyttä. Luku saavutetaan käyttämällä myös yläpohjan höyrinsulkuna polyuretaanilevyä vahvuudeltaan 30 mm, mikä myös pienentää yläpohjan U-arvoa yhden merkitsevän yksikön verran. (*Hartman Koti 2012.*)



### 3 ENERGIATEHOKKUUS JA LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kuvastaa ulkoseinärakenteen lämmöneristyskykyä. Rakenne eristää lämpöä sitä paremmin mitä pienempi laskennallinen U-arvo on. U-arvon yksikkönä käytetään  $W/m^2K$ . Se kertoo watti-määrän, minkä verran lämpötehoa siirtyy rakenteen läpi yhtä neliömetriä kohden, kun lämpötilaero rakenteen eri puolilla on yhden yksikön suuruinen. (*Motiva Oy 2012.*)

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa osassa C3 on määritetty rakennuksen vaipan eri osien U-arvolle vertailuarvo. Vuoden 2010 asetettujen määräysten jälkeen vertailuarvo ei ole muuttunut, joten lämpimän tilan ulkoseinärakenteelle se on edelleen  $0,17 W/m^2K$ . Määräystenmukaisen seinärakenteen laskennallinen U-arvo tulisi ulkoseinän osalta alittaa edellä mainittu luku. (*RakMK C3 2010, 7.*)

U-arvo rakennuksen ulkoseinälle voi olla annettua vertailuarvoa suurempi, silloin ulkovaippaa on kompensoitava ja eristettävä toista vaipan osaa paremmaksi. (*Motiva Oy 2012.*)

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) lasketaan käyttäen CE merkinnällä varustetuille rakennusaineille EN-standardien mukaan määritettyjä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, EN-standardeissa esitettyjä taulukoituja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, normaalian lämmönjohtavuuden ( $\lambda_n$ ) arvoja tai muita hyväksyttävällä tavalla määritettyjä, rakennusosalle soveltuvia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. Jos samalle aineelle on annettu useita  $\lambda_n$ -arvoja, valitaan alaviitehuomautusten perusteella kohteeseen soveltuva arvo. (*RakMK C4 2003, 4.*)

Vertailtavien rakenteiden materiaaleille ovat valmistajat hakeneet EN - tuotestandardin mukaiset CE -merkinnät. Lämmönläpäisykertoimien määrittämisessä on suositeltua käyttää eurooppalaisia suunnittelustandardeja.

Eurooppalaisten suunnittelustandardien soveltaminen rakenteille edellyttää suunnittelijalta sellaisten tehtävien suorittamista, jotka ovat aikaisemmin olleet virkamiesten tehtäviä. Suunnittelijan tulee määrittää esimerkiksi lämmöneristeille lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot, jonka on aiemmin määrittänyt virkamies. Virka-

miesten määrittelemiä suunnitteluarvoja ( $\lambda_n$ ) ei tule käyttää nykyisissä EN - standardien mukaisissa laskelmissa. (RIL 225-2004, 8.)

Lähtökohtana EN-standardin mukaisissa laskelmissa on materiaalivalmistajan ilmoittama arvo materiaalin lämmönjohtavuudelle ( $\lambda_{\text{Declared}}$ ). Suunnittelija laskee lämmönjohtavuudelle suunnitteluarvon ( $\lambda_{\text{design}}$ ). Sen suuruusluokkaan vaikuttavat suunnittelukosteus, -lämpötila sekä lämmönjohtavuuden palautumaton vanhenemismuutos. Suunnitteluarvoja käyttämällä laskennoissa saadaan rakenteelle määritettyä lämmönläpäisykerroin U. Kun kertoimeen huomioidaan korjaustekijät, tulokseksi saadaan korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c$ . (RIL 225-2004, 10.)

Seuraavissa osioissa käydään läpi nykyisen ja uuden seinärakenteen lämmönläpäisykerroinlaskelmien tulokset. Laskenta-arvoina on käytetty materiaalivalmistajien ilmoittamia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja.

### 3.1 U-arvo nykyiselle rakenteelle

Laskennassa käytetyt laskenta-arvot materiaaleille ovat:

- kipsikartonkilevy,  $R_{td} = 0,06 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- mineraalivilla KL 37  $\lambda_{\text{design}} = 0,037 \text{ W(mK)}$
- runkopuu,  $\lambda_{\text{design}} = 0,12 \text{ W(mK)}$
- mineraalivilla KL 33,  $\lambda_{\text{design}} = 0,033 \text{ W(mK)}$
- Ilman- ja höyrynsulkua ei huomioida
- tuulensuojakipsilevy  $R_{td} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- hyvin tuulettuva ilmaväli, jonka lämmönvastusta ei huomioida
- lautaverhous, lämmönvastusta ei huomioida
- pintavastukset,  $R_{si}, R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- ulkopuolinen pintavastus on tuuletusväliin rajoittuvassa pinnassa sama kuin sisäpuolinen pintavastus.

Liitteen 5. laskennasta saadut tulokset:

- kokonaislämmönvastuksen yläraja  $R_T' = 6,666 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo  $R_T'' = 6,295 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- kokonaislämmönvastus  $R_T = 6,481 \text{ (m}^2\text{K)W}$

- lämmönläpäisykerroin ilman korjauksia  $U = 0,154 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- standardin mukaisesti korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

### 3.2 U-arvo uudelle rakenteelle

Laskennassa käytetyt laskenta-arvot materiaaleille ovat

- kipsikartonkilevy,  $R_{td} = 0,06 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- tuulettumaton ilmaväli, lämmönvastus =  $0,34 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- polyuretaanieriste,  $\lambda_{design} = 0,023 \text{ W(mK)}$
- runkopuu,  $\lambda_{design} = 0,12 \text{ W(mK)}$
- mineraalivilla KL33  $\lambda_{design} = 0,033 \text{ W(mK)}$
- tuulensuojakipsilevy  $R_{td} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- hyvin tuulettuva ilmaväli, jonka lämmönvastusta ei huomioida
- lautaverhous, lämmönvastusta ei huomioida
- pintavastukset,  $R_{si}, R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- ulkopuolinen pintavastus on tuuletusväliin rajoittuvassa pinnassa sama kuin sisäpuolinen pintavastus.

Liitteen 6. laskennasta saadut tulokset:

- kokonaislämmönvastuksen yläraja  $R_T' = 7,407 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo  $R_T'' = 7,047 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- kokonaislämmönvastus  $R_T = 7,227 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- lämmönläpäisykerroin ilman korjauksia  $U = 0,138 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- standardin mukaisesti korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Korjaamattomissa U-arvoissa nykyisen ja uuden rakenteen välinen ero on  $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Standardin mukaisia korjauksia käyttäen rakenteiden U-arvojen pyöristyksestä muodostuva ero on  $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Yleisesti markkinoinneissa käytetään korjaamattomia U-arvoja. Tulevissa laskelmissa käytetään ilman korjauksia laskettuja U-arvoja.

### 3.3 Energiätehokkuus

Energiätehokkuuteen panostaminen jo rakennusvaiheessa säästää ympäristön lisäksi myös lämmityskuluissa. Lämpöhäviön suuruudella on suora vaikutus lämmitykseen tarvittavan energian määrään rakennuksen koko elinkaaren ajan. Energian hinnat ovat viimevuosina olleet nousussa, eikä odotettavissa ole nopeaa hintojen laskua. (Häkkinen 1999, 22.)

Tässä osiossa selvitetään lämpöhäviön määrää Hartman Kodin Kiille -talomallissa (Kuvio 5). Lämpöhäviöt määritetään Dof -energia-ohjelmiston avulla. Energialaskelmissa käytetyt lähtötiedot ovat todellisesta rakennuskohteesta ja energiatodistuksen laadinnassa käytetyistä arvoista. Rakennus sijaitsee Länsi-Suomen alueella ja tarkastelu tapahtuu yhden vuoden aikana.



Kuvio 5. Kiille 131 -talomalli (Hartman Koti 2012).

Laskelmaohjelmiston lähtötiedoissa olevat eroavaisuudet ovat U-arvoissa ja ilmatäivysluvuissa. Rakennuksen bruttoala on 151 m<sup>2</sup> ja ilmatilavuus 353 m<sup>3</sup>.

Taulukko 1. Nykyisen seinärakenteen lämpöhäviö.

<b>Kuukausi:</b>	<b>Qjoht (US):</b>
Tammikuu	421 kWh
Helmikuu	400 kWh
Maaliskuu	314 kWh
Huhtikuu	268 kWh
Toukokuu	143 kWh
Kesäkuu	79 kWh
Heinäkuu	80 kWh
Elokuu	83 kWh
Syyskuu	168 kWh
Lokakuu	257 kWh
Marraskuu	279 kWh
Joulukuu	372 kWh
<b>Yhteensä:</b>	<b>2864 kWh</b>
<b>Yhteensä/brm2:</b>	<b>19 kWh/brm2</b>

Nykyisellä rakenteella käytetty U-arvo on 0,16 W/m<sup>2</sup>K.

Taulukko 2. Uuden seinärakenteen lämpöhäviö.

<b>Kuukausi:</b>	<b>Qjoht (US):</b>
Tammikuu	369 kWh
Helmikuu	350 kWh
Maaliskuu	275 kWh
Huhtikuu	235 kWh
Toukokuu	125 kWh
Kesäkuu	69 kWh
Heinäkuu	70 kWh
Elokuu	72 kWh
Syyskuu	147 kWh
Lokakuu	225 kWh
Marraskuu	244 kWh
Joulukuu	325 kWh
<b>Yhteensä:</b>	<b>2506 kWh</b>
<b>Yhteensä/brm2:</b>	<b>17 kWh/brm2</b>

Uudella rakenteella käytetty U-arvo on 0,14 W/m<sup>2</sup>K.

Taulukoiden 1. ja 2. yhteenlasketuista määristä voidaan havaita, että ainoastaan U-arvon parannuksella saavutetaan 12,5 prosenttiyksikön pienennys lämpöhäviön määrään ulkoseinässä käyttämällä kaavaa:

$$2506 \text{ kWh} / 2864 \text{ kWh} * 100 \% = 87,5 \%. \quad (1)$$

Ero vuosittaisessa energiankulutuksessa on:

$$2864 \text{ kWh} - 2506 \text{ kWh} = 358 \text{ kWh} \quad (2)$$

Vuosittainen säästö käyttäen lämmitysenergian hintana 0,07 € / kWh:

$$358 \text{ kWh} * 0,07 \text{ €} / \text{kWh} = 25,1 \text{ €} \quad (3)$$

Seuraavissa taulukoissa on esitetty koko rakennuksen lämpöhäviön määrää ottaen huomioon ulkovaipan läpi tapahtuva lämpöhäviö, ilmatiiviyys ja ilmastoinnin vaikutus. Erot yläpohjan U-arvoissa muodostuvat höyrynsulkukokonaisuudesta. Uudella rakenteella tiivysarvo saadaan käyttämällä myös yläpohjassa polyuretaanilevyä.

Taulukko 3. Nykyinen seinärakenne. Ilmatiiviyysluku 2,0 ja yläpohjan U-arvo 0,08 W/m<sup>2</sup>K (Dof -energia 2012).

Lämpöhäviöenergia yhteensä (Qlämpöhäviö+Qlämmitys,tuloilmapatteri)						
Puurakennus (lämpinät tilat)						
Kuukausi:	Qjoht:	Qvuotoilma:	Qiv:	Qlämpöhäviö+Qlämmitys,tuloilmapatteri		
Tammikuu	1467 kWh	221 kWh	349 kWh	2037 kWh		
Helmikuu	1396 kWh	210 kWh	331 kWh	1937 kWh		
Maaliskuu	1177 kWh	165 kWh	260 kWh	1602 kWh		
Huhtikuu	1046 kWh	141 kWh	222 kWh	1409 kWh		
Toukokuu	679 kWh	75 kWh	118 kWh	872 kWh		
Kesäkuu	465 kWh	41 kWh	258 kWh	765 kWh		
Heinäkuu	447 kWh	42 kWh	263 kWh	752 kWh		
Elokuu	440 kWh	43 kWh	271 kWh	755 kWh		
Syyskuu	675 kWh	88 kWh	139 kWh	902 kWh		
Lokakuu	931 kWh	135 kWh	213 kWh	1279 kWh		
Marraskuu	991 kWh	146 kWh	230 kWh	1367 kWh		
Joulukuu	1290 kWh	195 kWh	308 kWh	1793 kWh		
<b>Yhteensä:</b>	<b>11004 kWh</b>	<b>1502 kWh</b>	<b>2962 kWh</b>	<b>15468 kWh</b>		
<b>Yhteensä:</b>	<b>15468 kWh</b>					
<b>Yhteensä/brm2:</b>	<b>102 kWh/brm2</b>					

Taulukko 4. Uusi seinärakenne. Ilmatiiviysluku 0,6 ja yläpohjan U-arvo 0,07 W/m<sup>2</sup>K (Dof -energia 2012).

Lämpöhäviöenergia yhteensä (Qlämpöhäviö+Qlämmitys,tuloilmapatteri)						
Puurakennus (lämpinät tilat)						
Kuukausi:	Qjoht:	Qvuotoilma:	Qiv:	Qlämpöhäviö+Qlämmitys,tuloilmapatteri		
Tammikuu	1383 kWh	66 kWh	349 kWh	1798 kWh		
Helmikuu	1316 kWh	63 kWh	331 kWh	1710 kWh		
Maaliskuu	1114 kWh	50 kWh	260 kWh	1424 kWh		
Huhtikuu	993 kWh	42 kWh	222 kWh	1257 kWh		
Toukokuu	650 kWh	22 kWh	118 kWh	791 kWh		
Kesäkuu	449 kWh	12 kWh	258 kWh	720 kWh		
Heinäkuu	431 kWh	13 kWh	263 kWh	706 kWh		
Elokuu	424 kWh	13 kWh	271 kWh	708 kWh		
Syyskuu	641 kWh	26 kWh	139 kWh	807 kWh		
Lokakuu	880 kWh	40 kWh	213 kWh	1133 kWh		
Marraskuu	935 kWh	44 kWh	230 kWh	1209 kWh		
Joulukuu	1216 kWh	59 kWh	308 kWh	1582 kWh		
<b>Yhteensä:</b>	<b>10432 kWh</b>	<b>450 kWh</b>	<b>2962 kWh</b>	<b>13844 kWh</b>		
<b>Yhteensä:</b>	<b>13844 kWh</b>					
<b>Yhteensä/brm2:</b>	<b>92 kWh/brm2</b>					

Taulukoiden 3. ja 4. yhteenlasketuista määristä voidaan havaita, että U-arvojen ja ilmatiiviyyden parannuksella saavutetaan 10,5 prosenttiyksikön pienennys lämpöhäviön määrään koko rakennuksessa kaavalla:

$$13\,844 \text{ kWh} / 15\,468 \text{ kWh} * 100 \% = 89,5 \% \quad (4)$$

Ero vuosittaisessa energiankulutuksessa:

$$15\,468 \text{ kWh} - 13\,844 \text{ kWh} = 1624 \text{ kWh} \quad (5)$$

Vuosittainen säästö käyttäen energian hintaa 0,07 € / kWh:

$$1624 \text{ kWh} * 0,07 \text{ €} / \text{kWh} = 113,7 \text{ €} \quad (6)$$

## 4 LÄMPÖ- JA KOSTEUSTARKASTELU

Nykyiset rakennukset joutuvat kestäämään kovia rasituksia ulko- ja sisäpuolisten olosuhteiden vuoksi. Ilmastonmuutos on tehnyt talvista kosteita ja sateisia. Lämpötilojen suuret vaihtelut ja muutokset säässä aiheuttavat suuria rasitteita rakennusvaipan ulkopinnoille.

Rakennusten sisäpuoliset rasitukset ovat myös lisääntyneet. Veden tuonti rakennuksen sisään on kasvattanut riskejä rakennuksen vahingoittumiselle. Sisätiloissa tuotettu kosteus on lähivuosina lisääntynyt huomattavasti. Sisäilman kosteuspitoisuuden määräävät pääasiassa ulkoilman sisältämä kosteus, ilmanvaihdon tehokkuus sekä sisätiloissa tuotetun kosteuden määrä. *(Björkholtz 1997, 48.)*

Nykyaikana rakennusten tiiviiden merkitystä on korostettu. Rakennuksen vaipparakenne tulee suunnitella sisäpuolisista kerroksista tiiviimmäksi kuin ulkopuolelta, jotta rakenteissa vallitseva kosteus pääsee haihtumaan rakenteesta ulospäin. Vaipan rakenteen täytyy olla sisäpuolelta 5 kertaa tiiviimpi kuin ulkopuolelta, jolloin rakenne toimii kosteusteknisesti oikein.

Lämmöneristevaatimukset ovat yhä lisänneet tiiviin rakenteen merkitystä, sillä seinärakenteiden lämmönvastusominaisuuksia kasvatetaan. Tällöin sisätilasta rakenteisiin tulevan lämpövirran määrä pienenee. Lämpövirran siirtyminen syvemmälle rakenteeseen on poistanut rakenteista kosteutta ja rakenteet ovat pysyneet kuivempina.

Tiivis rakenne kuitenkin hillitsee kosteuden siirtymistä syvemmälle rakenteen sisään. Polyuretaani on ominaisuudeltaan erittäin tiivis rakennusmateriaali, ja sen käytöllä kyetään saavuttamaan tarpeeksi tiivis rakenne. *(Björkholtz 1997, 66.)*

Kosteus siirtyy yleisesti lämpimästä ilmasta kylmempään päin. Diffuusiossa tärkein sen suuntaan vaikuttava tekijä on eri tilojen välinen vesihöyryn osapaineiden ero. Kosteus siis pyrkii siirtymään erottavan rakenteen läpi tilaan, jonka ilman vesihöyryn osapaine ja yleensä myös absoluuttinen kosteus on pienempi. Näin ollen diffuusion suunta voi olla myös kylmemmästä lämpimään päin, jos kylmemmän tilan vesihöyryn osapaine on suurempi. *(Siikanen 1996, 56.)*



Kastepiste muodostuu rakenteen kohdassa, jossa vesihöyryn osapaine on sama kuin tällä kohtaa olevaa lämpötilaa vastaava vesihöyryn kyllästyspaine. Käytännössä tämä tarkoittaa vedeksi tiivistymisen tapahtuvan kahden materiaalin välisessä tilassa.

Seuraavissa luvuissa esitetään taulukoidut lämpötila- ja kosteuskäyrät. Näiden ohella myös esitetään lämpötila- ja kosteuskäyrät kuvaamaan rakenteissa tapahtuvia muutoksia käyttäen samoja lähtöarvoja materiaaleille. Taulukoista ja käyristä havaitaan, mikäli rakenteissa on kosteuden tiivistymiselle alttiita rakennekerroksia. Osa laskelmista on tehty kuvaten vaativia olosuhteita, jotka vallitsevat vain muutamina vuorokausina vuoden aikana. Vaativat olosuhteet osoittavat herkimmin rakenteeseen kohdistuvat riskit. (Björkholtz 1997, 66.)

#### 4.1 Nykyinen seinärakenne

Taulukko 5. on esimerkki lämpötilojen, vesihöyryn kyllästysosapaineen ja osapaineen laskennasta materiaalikerrosten rajapinnoissa nykyisessä rakenteessa.

Taulukkoa varten on laskettu seinäranteen

- lämpötilat (°C) rakenneosien rajapinnoissa
- suhteellinen kosteus RH, kyllästysosapaineen ( $P_{vki}$ ) ja vesihöyryn osapaineen ( $P_i$ ) suhteena. Osapaineiden yksikkö on Pascal.

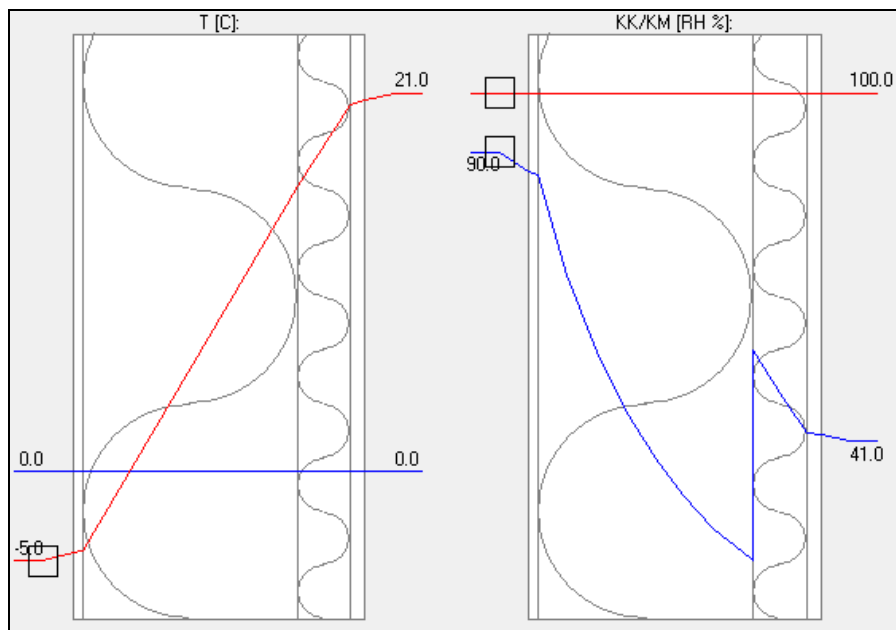
Taulukko 5. Esimerkki lämpötilojen, vesihöyryn kyllästysosapaineen ja osapaineen laskennasta.

Ainekerros	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R_i$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\Delta T$ (°C)	T (°C)	$\delta_{pi}$ (kg/(m <sup>2</sup> sPa))	$Z_{pi}$ ((m <sup>2</sup> sPa)/kg)	$d_p$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{vki}$ (Pa)	RH (%)
					21,0				1019	2486	41
Sisäpinta			0,13	0,4	20,6				1019	2426	42
Kipsilevy	0,013	0,23	0,06	0,2	20,4	$15 \cdot 10^{-12}$	$0,9 \cdot 10^9$	0,2	1018	2397	42
Eristevilla	0,048	0,037	1,30	4,4	16,0	$100 \cdot 10^{-12}$	$0,5 \cdot 10^9$	0,1	1017	1817	56
Höyrynsulkumuovi	0,0002	0,34			16,0	$4,44 \cdot 10^{-16}$	$450 \cdot 10^9$	99,2	383	1817	21
eristevilla	0,2	0,033	6,06	20,4	-4,4	$100 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^9$	0,3	381	442	86
Tuulensuojakipsi	0,009	0,21	0,04	0,1	-4,5	$15 \cdot 10^{-12}$	$0,6 \cdot 10^9$	0,1	380	422	90
Ulkopinta			0,13	0,4	-5,0				380	422	90
YHTEENSÄ			7,72		26,0		$453,5 \cdot 10^9$		639	2064	

Taulukon 5. esitettyihin laskennan tuloksiin vaikuttaneet asiat ovat:

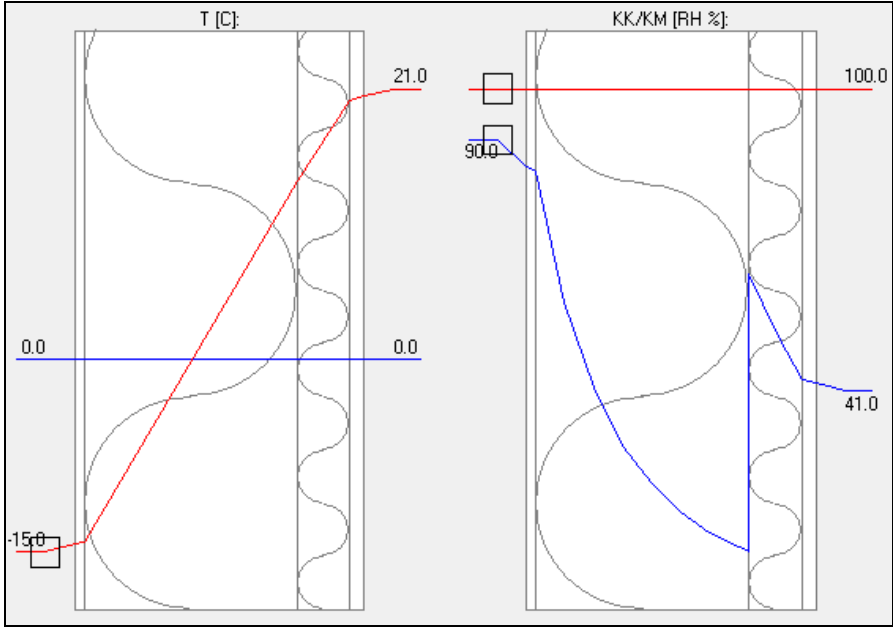
- oletettu sisäilman lämpötila +21 °C ja RH = 41 %
- oletettu ulkoilman lämpötila –5 °C ja RH = 90 %
- materiaalivalmistajien ilmoittamat lämmönjohtavuuden  $\lambda_{\text{design}}$  -arvot, sekä vesihöyrynläpäisevyydelle ilmoitetut arvot.

Kuviossa 6. on esitetty graafisesti käyttämällä samoja lähtöarvoja kuin esimerkki-  
taulukon 5. laskelmassa.

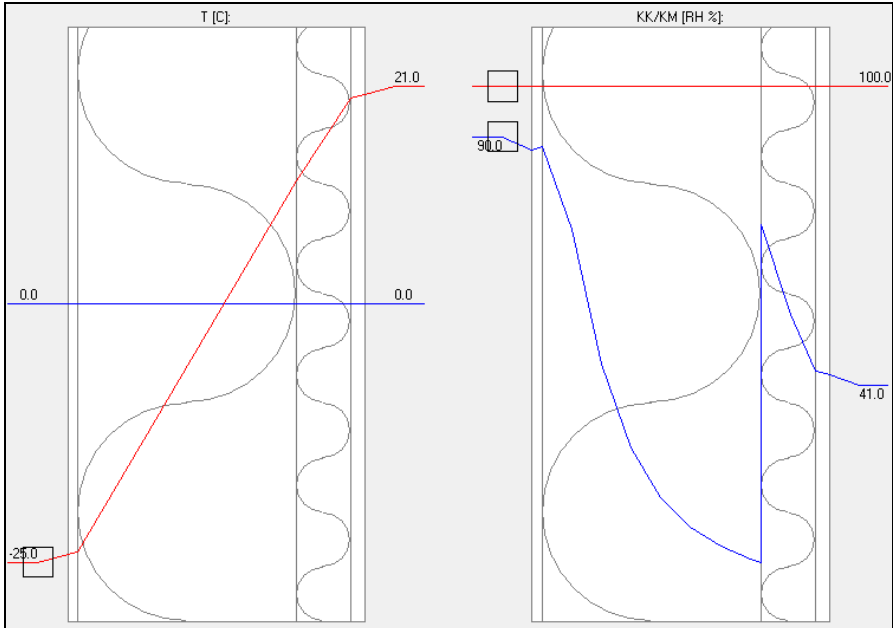


Kuvio 6. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila –5 astetta (Dof-lämpö 2012).

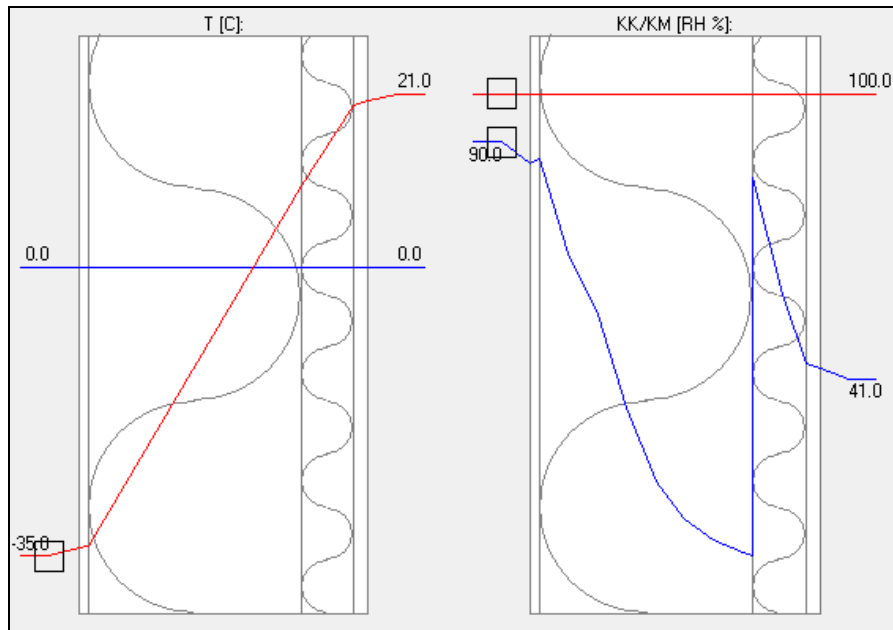
Seuraavat kuvat ovat esitetty ilman taulukoituja lukemia käyttäen samoja lähtöarvoja. Kuviot 7.–9. kuvaavat lämmön ja kosteuden siirtymistä rakenteessa, kun ulkolämpötilaa lasketaan.



Kuvio 7. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila -15 astetta (Dof-lämpö 2012).



Kuvio 8. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila -25 astetta (Dof-lämpö 2012).



Kuvio 9. Nykyinen rakenne ja ulkolämpötila  $-35$  astetta (Dof-lämpö 2012).

Ulkolämpötilan laskiessa lämpötiläkäyrän nolla-arvo ( $0$  °C) sijaitsee uloimmaisen villakerroksen sisäosalla ja siirtyy kohti rakenteen sisäpintaa. Kuvioiden kosteuskäyristä havaitaan, että kosteus kohoaa selkeästi höyrynsulkuun saakka. Kuviossa 9. höyrynsulun sisäpinnassa suhteellinen kosteus on noin 82,7 %. Höyrynsulun ulkopinnasta ulospäin mennessä ilman suhteellinen kosteus laskee selvästi. Korkeaan kosteuspitoisuuteen vaikuttaa höyrynsulun tarkoituksenmukainen tiiviys. Sisätiloista siirtyvä kosteus pysähtyy höyrynsulkuun. Rajapinnassa lämpötila on  $+9...+16$  °C, jolloin kyllästysosapaine pienenee ja vesihöyryn osapaine vastaavasti kohoaa. Kosteuden tiivistymistä ei kuitenkaan tapahdu, sillä ilman suhteellinen kosteus ei saavuta lämpötilaa vastaavaa kyllästymiskosteutta. Kuvioiden 8. ja 9. olosuhteet vallitsevat hyvin harvoin, joten rakennetta voidaan pitää hyvin toimivana.

Dof -lämpöläskelmistä tarkemmat tiedot on esitetty liitteissä 7.–10.

## 4.2 Uusi seinärakenne

Taulukko 6. on esimerkki lämpötilojen, vesihöyryn kyllästysosapaineen ja osapaineen laskennasta materiaalikerrosten rajapinnoissa uudessa rakenteessa.

Taulukkoa varten on laskettu seinäranteen

- lämpötilat (°C) rakenneosien rajapinnoissa
- suhteellinen kosteus RH, kyllästysosapaineen ( $P_{vki}$ ) ja vesihöyryn osapaineen ( $P_i$ ) suhteena. Osapaineiden yksikkö on Pascal.

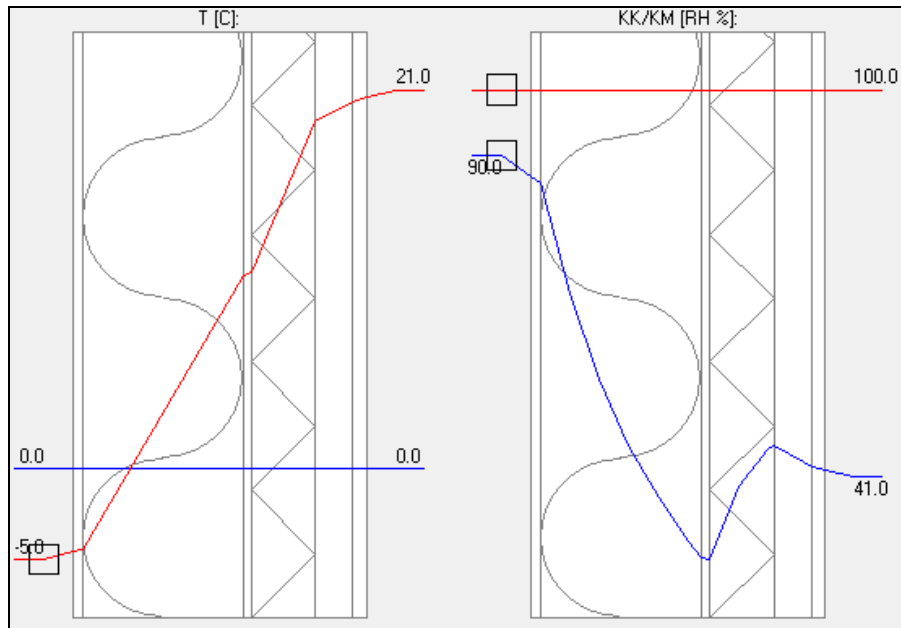
Taulukko 6. Esimerkki lämpötilojen, vesihöyryn kyllästysosapaineen ja osapaineen laskennasta.

Ainekerros	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R_i$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\Delta T$ (°C)	$T$ (°C)	$\delta_{pi}$ (kg/(m <sup>2</sup> sPa))	$Z_{pi}$ ((m <sup>2</sup> sPa)/kg)	$d_p$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{vki}$ (Pa)	RH (%)
			0,13	0,4	21,0				1019	2486	41
Sisäpinta			0,13	0,4	20,6				1019	2426	42
Kipsilevy	0,013	0,23	0,06	0,2		$15 \cdot 10^{-12}$	$0,9 \cdot 10^9$	0,0002			
					20,4				1018	2397	42
Tuulet.n ilmväli	0,035	0,10	0,35	1,1							
					19,3				1019	2238	46
Polyuretaanilevy	0,06	0,023	2,61	8,6		$146 \cdot 10^{-12}$	$4106 \cdot 10^9$	99,9			
					10,7				381	1287	30
OSB-levy	0,008	0,13	0,06	0,2		$66,6 \cdot 10^{-12}$	$0,1 \cdot 10^9$	2E-05			
					10,5				381	1270	30
eristevilla	0,15	0,033	4,55	14,9		$100 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^9$	0,0004			
					-4,4				380	442	86
Tuulensuojakipsi	0,009	0,21	0,04	0,1	-4,5	$15 \cdot 10^{-12}$	$0,6 \cdot 10^9$	0,0002			
Ulkopinta			0,13	0,4					380	439	87
					-5,0				380	422	90
YHTEENSÄ			7,93		26,0		$4109 \cdot 10^9$		639	2064	

Taulukossa 6. esitettyihin laskennan tuloksiin ovat vaikuttaneet asiat

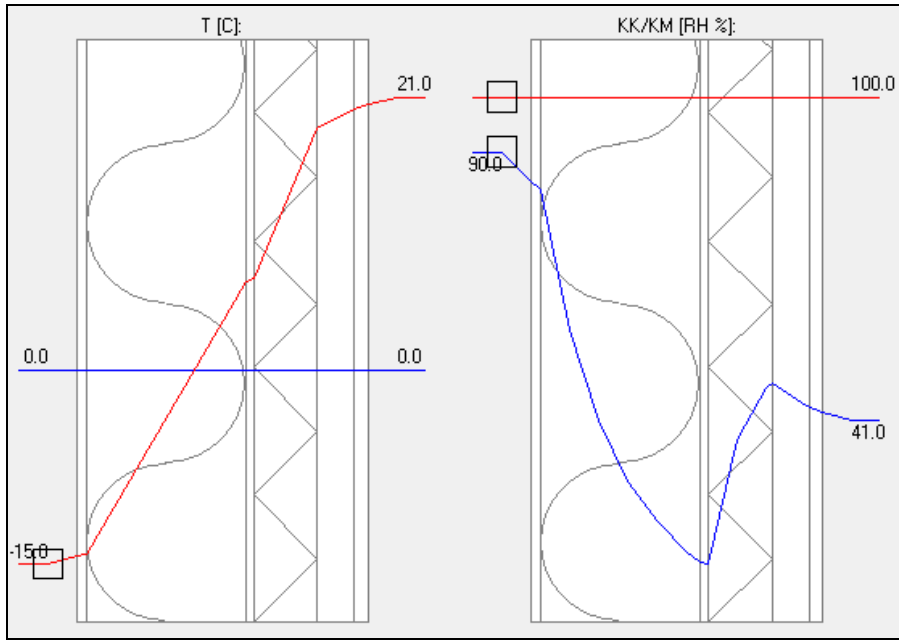
- oletettu sisäilman lämpötila +21 °C ja RH = 41 %
- oletettu ulkoilman lämpötila –5 °C ja RH = 90 %
- materiaalivalmistajien ilmoittamat lämmönjohtavuuden  $\lambda_{design}$  -arvot sekä vesihöyrynläpäisevyydelle ilmoitetut arvot.

Kuviossa 10. on esitetty graafisesti käyttämällä samoja lähtöarvoja kuin esimerkki-taulukon 6. laskelmassa.

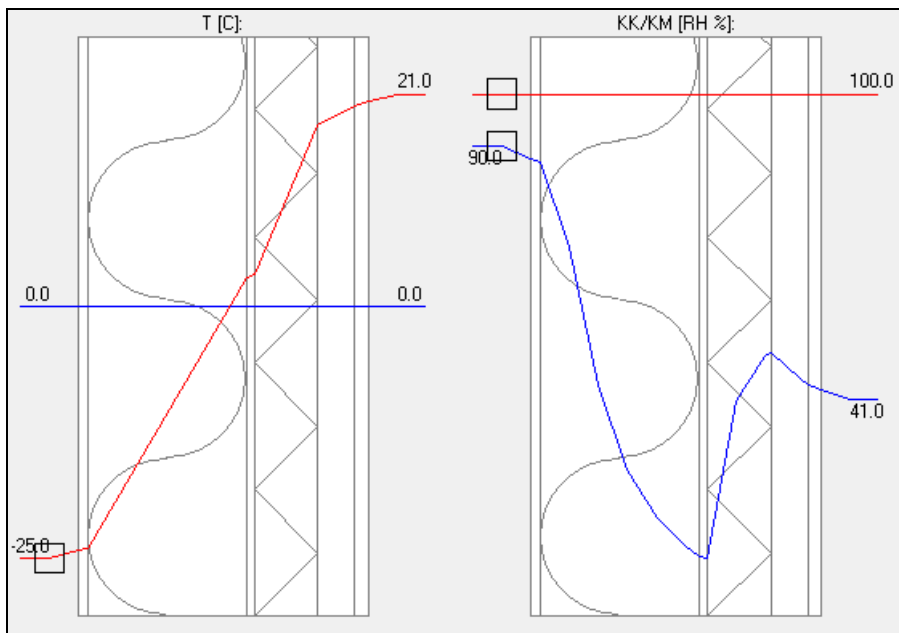


Kuvio 10. Uusi rakenne ja ulkolämpötila  $-5$  astetta (Dof-lämpö 2012).

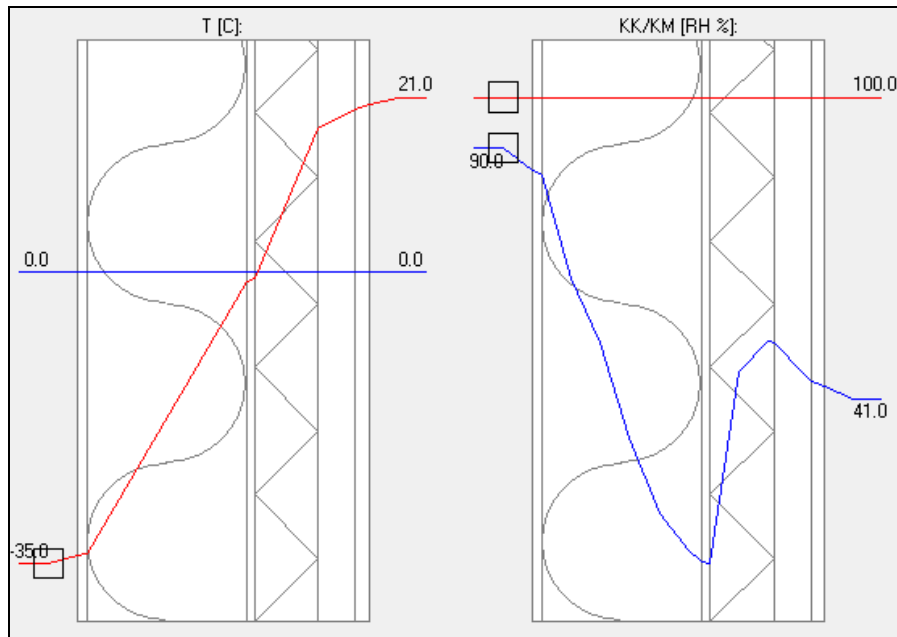
Seuraavat kuvat ovat esitetty ilman taulukoituja lukemia käyttäen samoja lähtöarvoja. Kuvio 11.–13. kuvaavat lämmön ja kosteuden siirtymistä rakenteessa, kun ulkolämpötilaa lasketaan.



Kuvio 11. Uusi rakenne ja ulkolämpötila -15 astetta (Dof-lämpö 2012).



Kuvio 12. Uusi rakenne ja ulkolämpötila -25 astetta (Dof-lämpö 2012).



Kuvio 13. Uusi rakenne ja ulkolämpötila  $-35$  astetta (Dof-lämpö 2012).

Kuvioiden käyristä on havaittavissa kosteuskäyttäytymisen olevan tasaista eikä korkeaa kosteuspitoisuutta ole havaittavissa. Sisäpuolella kosteus hieman kohoaa höyrynsulkuun saakka ja laskee selkeästi höyrynsulun jälkeen ulospäin mentäessä. Kuviossa 13. kosteus ei kohoaa suuresti höyrynsulun sisäpinnassa (RH = 51,8 %), vaikka höyrynsulkukerros pysäyttää kosteuden siirtymisen. Matalaan kosteuteen vaikuttaa rajapinnan  $+17...+20$  celsiusasteen lämpötila, jolloin kylläytysosapaine on korkea ja vesihöyrynosapaine jää paljon pienemmäksi. Käyrien mukaan selkeää tiivistymisvaaraa ei esiinny.

Ulkolämpötilan laskiessa lämpötiläkäyrän nolla-taso ( $0$  °C) siirtyy kohti sisätilaa. Kovassa  $-35$  celsiusasteen pakkasessa lämpötila on nollassa polyuretaanin ulkopinnassa, sillä sisätiloista ei siirry lämpöä polyuretaanin vaikutuksesta rakenteen sisäosiin. Pakkasesta ei katsota olevan haittaa rakenteelle, koska kosteus on vähäistä rajapinnassa höyrynsulun vaikutuksesta ja näin kovat pakkaset ovat harvinaisia. Rakennetta voidaan pitää hyvin toimivana kovassakin pakkasessa. Käyristä havaitaan myös Osb-levyn vaikutuksen olevan hyvin pieni rakenteessa lämpö- ja kosteuskäyttäytymiseen.

Uudessa rakenteessa polyuretaanikerroksen lämmöneristävyyskyky sekä kosteuden siirtymisen hillitseminen tekevät siitä vakaan. Dof-lämpöläskelmistä tarkemmat tiedot ovat esitetty liitteissä 11.–14.



## 5 SÄÄKAAPPIKOE

### 5.1 Kokeen toteutus

Sääkaappikokeet suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Kokeita varten rakennettiin koeseinät molemmista seinärakenteesta. Testien tavoitteena oli selvittää lämpötilojen muutoksia rakennekerroksissa sekä kosteuden siirtymistä materiaalikerrosten rajapintoihin.

Kokeissa käytettiin lämpötiloja ja materiaalin kosteutta mittaavia antureita jokaisen rakennekerroksen välisessä rajapinnassa. Seinät kiinnitettiin sääkaappiin siten, että tuulensuojalevy oli kaapin sisäpuolta vasten ilman ulkoverhousta. Kiinnityksessä käytettiin kuormasidontaliinoja (Kuvio 14).



Kuvio 14. Koeseinä kiinnitettynä sääkaappiin (Arctest ARC 1500).

Liitteissä 15.–17. on esitetty mittaustureiden sijainnit koeseinissä. Mittausvälineet ovat esitetty kuviossa 15.

Mittalaitteisto:

- kosteusmittaus: Gann Hydromette HT 65
- lämpömittaus: Eltek Squirrel meter/logger 1000 series.



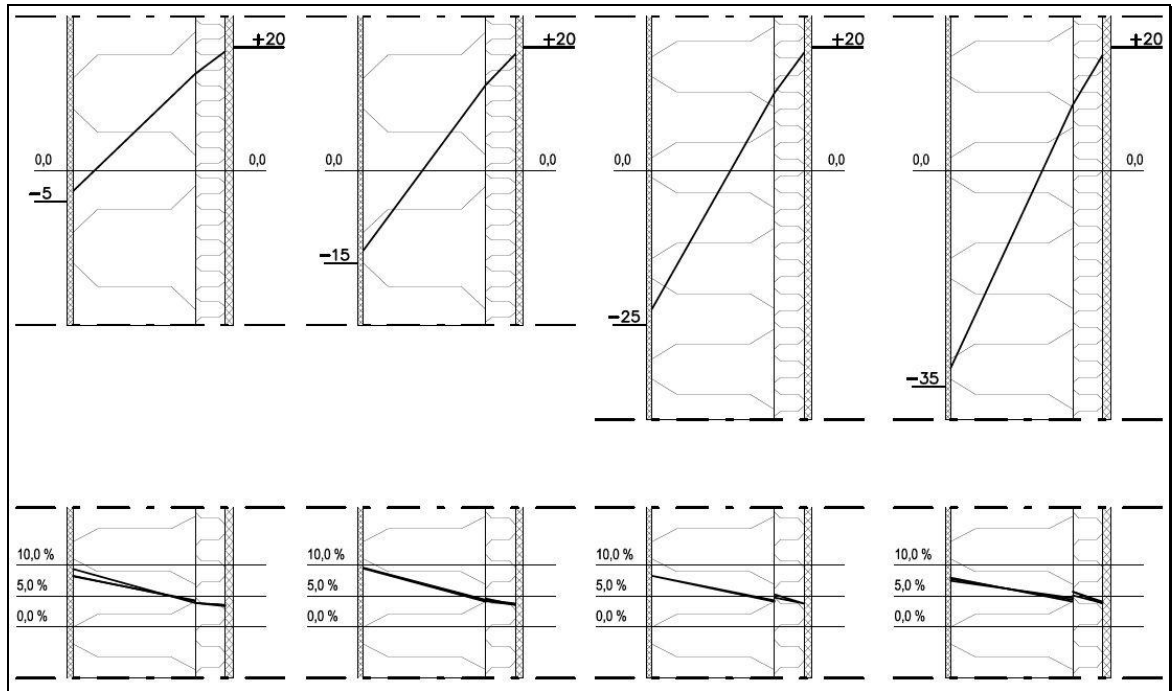
Kuvio 15. Lämpötilaa ja kosteutta mittaava laitteisto.

Sääkaapissa vallitsevia olosuhteita muutettiin porrastetusti  $-5\dots-35$  celsiusasteen välillä. Kaapin ilmankosteus pyrittiin pitämään 80–90 %:ssa. Kovissa pakkasasteissa kaapin ilman suhteellinen kosteus laski hieman tavoitearvoja pienemmäksi. Laboratorion sisäolosuhteet vastasi oletettua sisätilojen lämpötiloja ja kosteusoloja. Ne pysyivät lähes vakioina kokeiden ajan. Sääkaappikoe kesti molemmilla seinärakenteilla 11 vuorokautta.

## 5.2 Testaustulokset ja tulosten vertailu

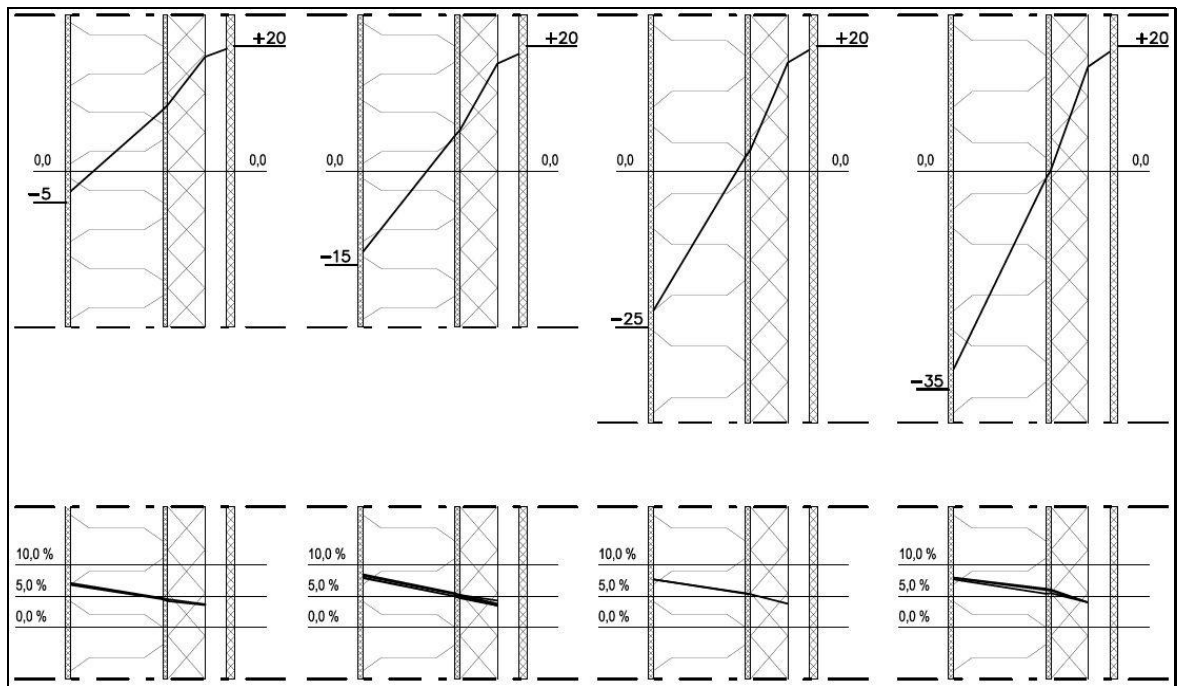
Käyrät kuvioissa 16. ja 17. on muodostettu liitteissä 18. ja 19. esitettyjen taulukoiden mittaustuloksista. Käyrissä käytetyt mittaustulokset ovat kunkin vallitsevan olosuhteen ( $-5\dots-35$  °C) viimeisestä mittaustilanteesta, jolloin rakenteen lämpötilat ovat tasaantuneet.

Kuvioissa lämpötilakuvaajan alapuolella on kosteuskäyttäytymistä vastaava kuvaaja saman olosuhteen vallitessa. Lämpötilakäyrät on esitetty celsiusasteina ja kosteuskäyrät materiaalien kosteusprosenttina.



Kuvio 16. Nykyisen seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyrät mittaustuloksista.

Kuviossa 16 esitetyissä kuvioissa havaitaan lämpötilakäyrien vastaavan hyvin laskennallisesti saatuja tuloksia. Villaeristyksessä lämpökäyrä etenee suoraviivaisesti ja lämpötilan nolla-taso on mineraalivillan kohdalla. Kosteuskäyrästä on havaittavissa  $-25\dots-35$  celsiusasteessa höyrynsulun sisäpinnassa hieman kosteuden kohoamista.



Kuvio 17. Uuden seinärakenteen lämpö- ja kosteuskäyrät mittaustuloksista.

Kuviossa 17. polyuretaanin lämmöneristävyyssyky korostuu, kun verrataan lämpötiläkäyrää mineraalivillan kohdalla kulkevaan käyrään. Rakenteen sisäosat ovat kylmemmät, koska sisätiloista tuleva lämpö ei läpäise PU-levyä samoin kuin villaeristettä. Ulkolämpötilan  $-35$  celsiusasteen pakkaslukemassa lämpötilan nollakohta sijaitsee villaeristyksen ja PU-levyn välissä. OSB-levyn molemmin puolin havaittu korkeampi kosteus selittyy rajapinnassa vallitsevalla matalalla lämpötilalla, mikä vaikutti kosteusmittarin säätöön ja siten kosteuden lievään kohoamiseen. Pakkasasteilla ei katsota olevan merkitystä rajapinnassa, sillä laskennallisesti kosteus materiaalikerrosten välissä on hyvin vähäistä.

Laboratoriomittauksista saaduista tuloksista voidaan havaita lämpötiläkäyrien noudattavan laskennassa muodostettujen käyrien kulkua molemmilla rakenteilla. Kosteuskäyrissä ei ole erotettavissa suuria eroavaisuuksia, eikä kosteuspiikkejä havaittu kummassakaan rakenteessa kokeen aikana. Kosteusmittauksessa saatuja tuloksia voidaan käyttää vain suuntaa antavina.

## 6 YHTEENVETO

Tähän opinnäytetyöhön on saatu koottua keskeiset ulkoseinärakenteita koskevat tekniset asiat. Työssä tarkasteltiin kahta erityyppistä seinärakennetta ja vertailtiin niiden ominaisuuksia. Molemmat todettiin kosteusteknisesti toimiviksi ja tuloksista voidaan tulkita uusi rakenne hieman tasaisemmaksi kosteuskäyttäytymiseltään. Uusi rakenne todettiin selkeästi energiatehokkaammaksi ja polyuretaanilla saavutetaan rakenteessa eristävyiden lisäksi myös huomattavasti parempi ilmatiiveys, mikä on energiatehokkuuden kannalta merkittävä asia.

Laboratoriossa tehdyt kokeet sujuivat onnistuneesti, vaikka kosteutta mittaava laitteisto ei ollut ihanteellisin koetta varten. Lähtökohtaisesti tulokset tulkittiin suuntaa näyttäväksi ja tarkoituksena oli selvittää eroja rakenteiden välillä. Mittaustuloksista muodostettujen käyrien samankaltaisuus laskutoimituksilla saatuihin käyriin osoitti kokeiden onnistuneen. Lämpötilan muutoksissa polyuretaanin lämmöneristävyyskyky havaittiin selkeästi uudella rakenteella. Kosteuskäyttäytymisessä lukemat näyttivät hyvin samankaltaisilta molemmilla rakenteilla.

Molemmat vertailun seinärakenteet ovat tämänhetkisten energiamääräysten mukaiset. Uutta rakennetta tarkasteltaessa sitä voidaan pitää parempana ja määräksi mukailevampana versiona nykyiseen verrattuna. Sen etuina ovat parempi lämmöneristävyys, yhtenäinen eristekerros ilman kylmää siltaa ja höyrynsulun suuri tiiveys. Lisäksi uuden seinärakenteen vähäinen vahvuusero ei tule vaikuttamaan talomallistossa käytössä oleviin pohjaratkaisuihin.

Uudessa rakenteessa OSB-levy on suunniteltu jäykistäväksi osaksi. Tutkimuksessa havaittiin, että OSB-kerroksella on vain 1 %:n vaikutus koko seinärakenteen U-arvoon ja reilusti alle 1 %:n vaikutus vesihöyrynvastukseen. Rakennusfysikaalisessa tarkastelussa suuren vesihöyrynläpäisevyyden ja pienen lämmöneristävyys arvonsa puolesta OSB-levy kyetään poistamaan rakenteesta.

Jotta uuden rakenteen kaikki hyödyt ja säästöt saavutettaisiin, tulisi käyttää myös yläpohjan höyrynsulkuna PU-levyä yhtenäisen ja tiiviin höyrynsulun vuoksi. Se kuitenkin lisää kustannuksia.

Tutkimuksessa ei tarkemmin perehdytty rakennusvaiheen materiaaleista muodostuviin kustannuskuluihin. Uuden rakenteen kulmakivenä pidetäänkin polyuretaanin tämänhetkistä korkeaa hintaa, koska materiaalina se on melko uusi asuinrakennusten eristyksessä. Seinärakennetta valittaessa usein päätös kuitenkin tehdään kustannuksia ajatellen ja rakennusaikaisten investointien tulisi mahdollisimman pian palautua käytössä muodostuvilla energiansäästöillä.

Energialaskelmissa todettiin uudella rakenteella noin 10,5–12,5 %:n pienennys energian kulutukseen. Nykyisellä lämmitysenergian keskihinnalla laskettuna vuosittainen säästö on 114 €. Rakennusvaiheen kustannukset uudessa rakenteessa ovat noin neljäsosan kalliimmat. Tämänhetkisillä materiaalin ja energian hinnoilla kustannusten tasoittuminen tapahtuisi kymmenessä vuodessa, joten uutta rakennetta tulisi perustella pidemmän tähtäimen investointina. Asuinrakennusten suunnitellun 50 käyttövuoden aikana se tuottaisi kuitenkin säästöä seuraavat 40 vuotta.

Uskon, että rakennusteknisesti hyvin toimiva polyuretaani lisää sen käyttöä asuinrakennusten seinäratkaisuissa ja siten myös materiaalien hinnat mahdollisesti edullistuvat.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja Kosteus. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Häkkinen, T., Saari, M., Vares, S., Vesikari, E. & Leinonen, J. 1999. Energiätehokkaan rakennuksen suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Kervinen, M. & Smolander, J. 1999. MAOL-taulukot / fysiikka. Helsinki: Otava.
- Kokko, E., Ojanen, T., Salonvaara, M., Hukka, A. & Viitanen H. 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. Helsinki: VTT.
- RIL 225-2004. 2004. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistus ohje. Rakennustietosäätiö RTS.
- Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka: Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

### Sähköiset lähteet

- Motiva Oy. 2012. Lämmöneristys. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 14.2.2012]. Saatavissa: [http://energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen\\_suunnittelu/lammoneristys](http://energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/lammoneristys)
- RakMK C3. 2010. Rakennusten lämmöneristys. [Verkkosivu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 6.3.2012]. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010\\_suomi\\_221208.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf)
- RakMK C4. 2010. Lämmöneristys. [Verkkosivu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 6.3.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>
- RakMK D2. 2003. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. [Verkkosivu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 13.3.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1921-D2s.pdf>
- Tofte yhtiöt Oy. 2010. Ilmansulku rakenteissa. [Verkkosivu]. Helsinki: Tofte yhtiöt Oy. [Viitattu 20.1.2012]. Saatavissa: <http://www.haistahome.fi/ilmanvaihto/ilmansulku+rakenteissa/>

Vinha, J. Seinärakenteiden kosteus- ja lämpötekniinen toiminta. TTKK. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.1.2012]. Saatavissa: <http://www.talotori.net/vinha.php>

YM: Uudisrakentamisessa siirrytään 1.7.2012 alkaen kokonaisenergiatarkasteluun. 20.3.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/ajankohtaista/muut\\_tiedotteet/2011?3722\\_m=3864](http://www.motiva.fi/ajankohtaista/muut_tiedotteet/2011?3722_m=3864)

### **Muut lähteet**

Dof-energia 2.0.9 (30.11.2008)

Dof-lämpö 2.0

Hartman koti. Tiedonanto 2012.



## LIITTEET

LIITE 1: Nykyinen seinärakenne ja perustukset

LIITE 2: Uusi seinärakenne ja perustukset

LIITE 3: Nykyinen rakenne tiiliverhouksella

LIITE 4: Uusi rakenne tiiliverhouksella

LIITE 5: Lämmönläpäisykertoimen laskenta Nykyiselle seinärakenteelle

LIITE 6: Lämmönläpäisykertoimen laskenta Uudelle seinärakenteelle

LIITE 7: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-5\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 8: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-15\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 9: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-25\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 10: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-35\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 11: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-5\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 12: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-15\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 13: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-25\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 14: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio  $-35\text{ °C}$  (Dof-lämpö)

LIITE 15: Antureiden sijainnit nykyisen rakenteen koeseinässä

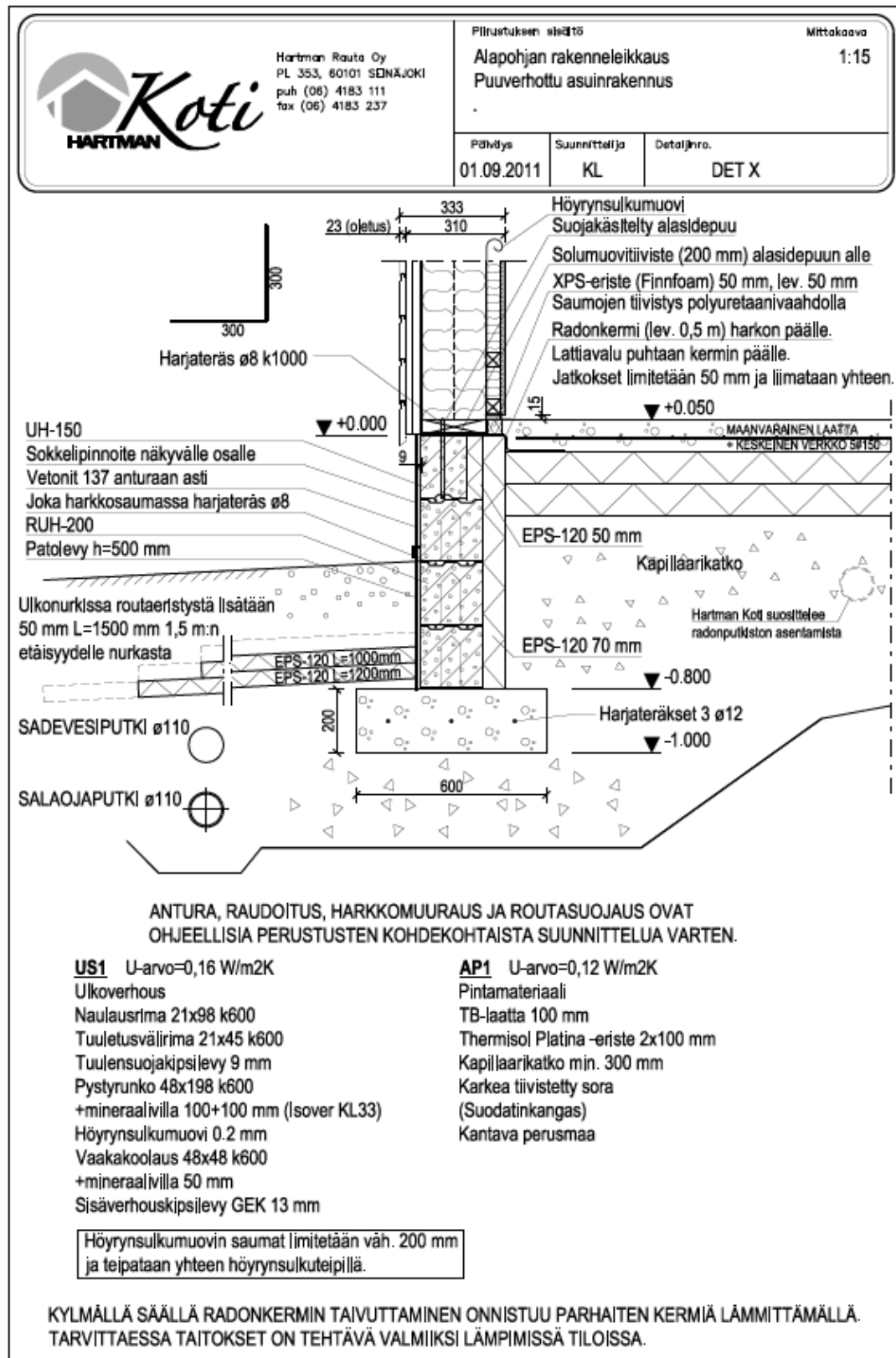
LIITE 16: Antureiden sijainnit uuden rakenteen koeseinässä

LIITE 17: Antureiden sijainnit koeseinien rajapinnoissa

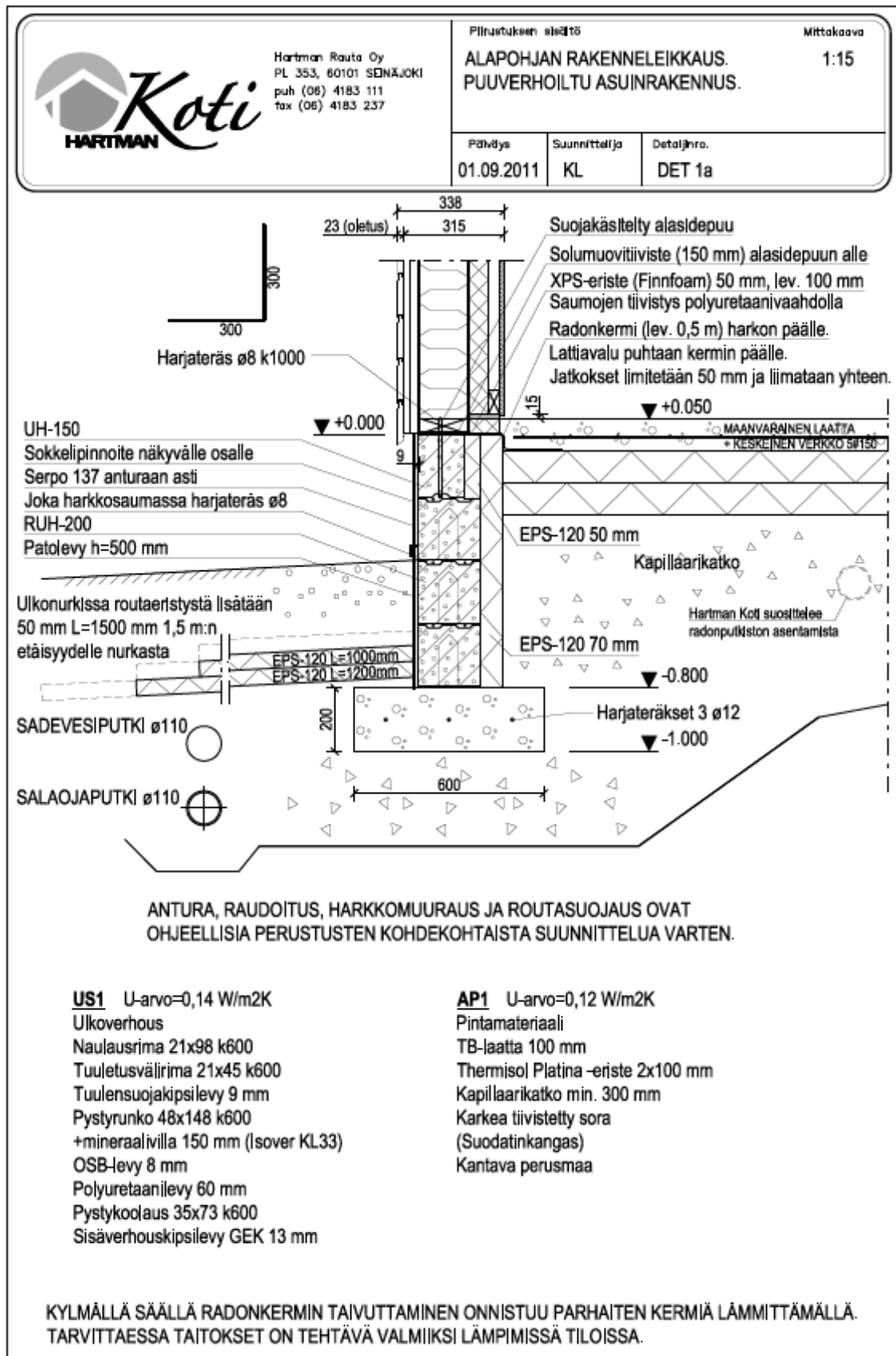
LIITE 18: Laboratoriomittausten tulokset nykyiselle rakenteelle

LIITE 19: Laboratoriomittausten tulokset uudelle rakenteelle

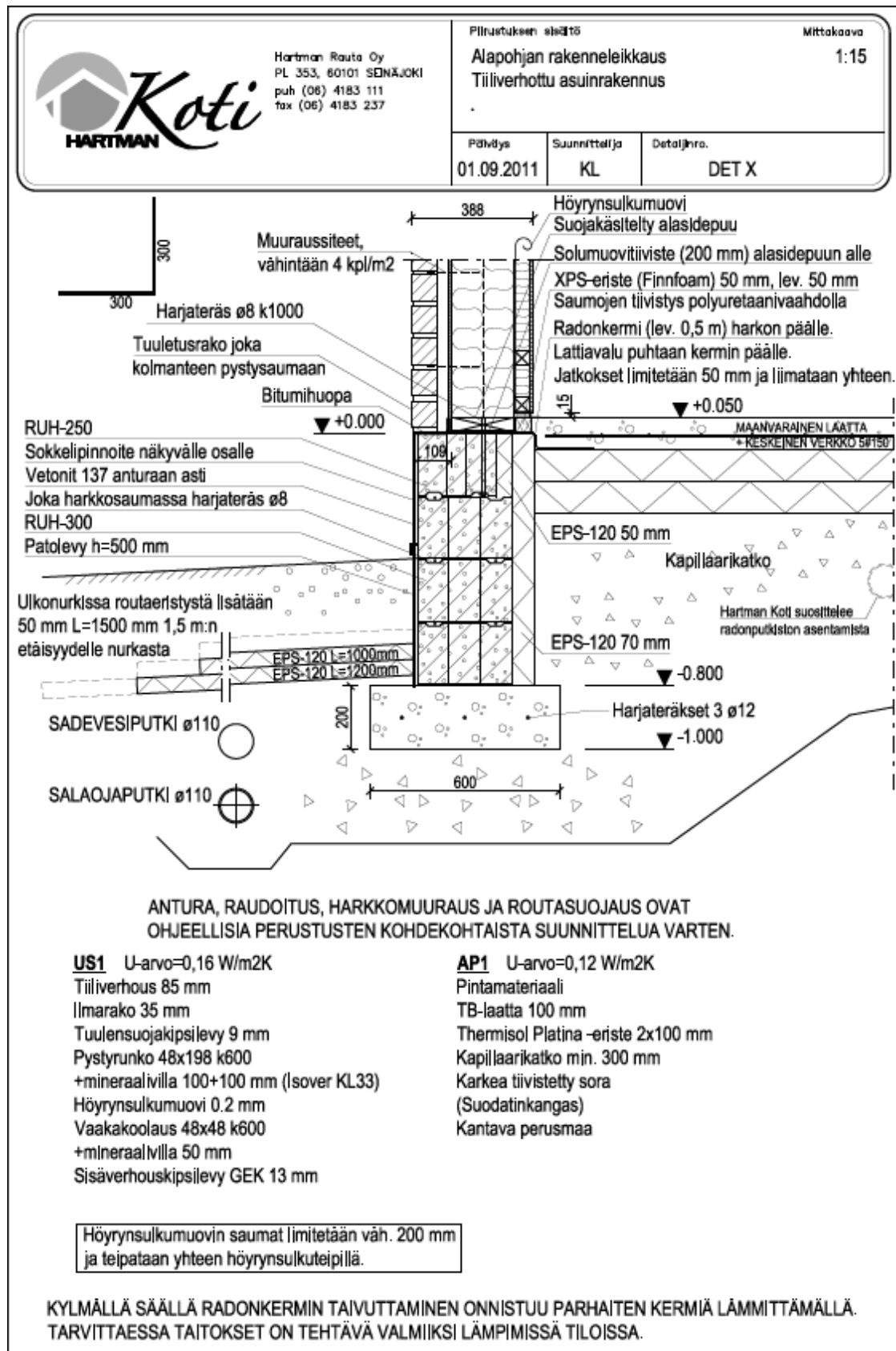
## LIITE 1: Nykyinen seinärakenne ja perustukset



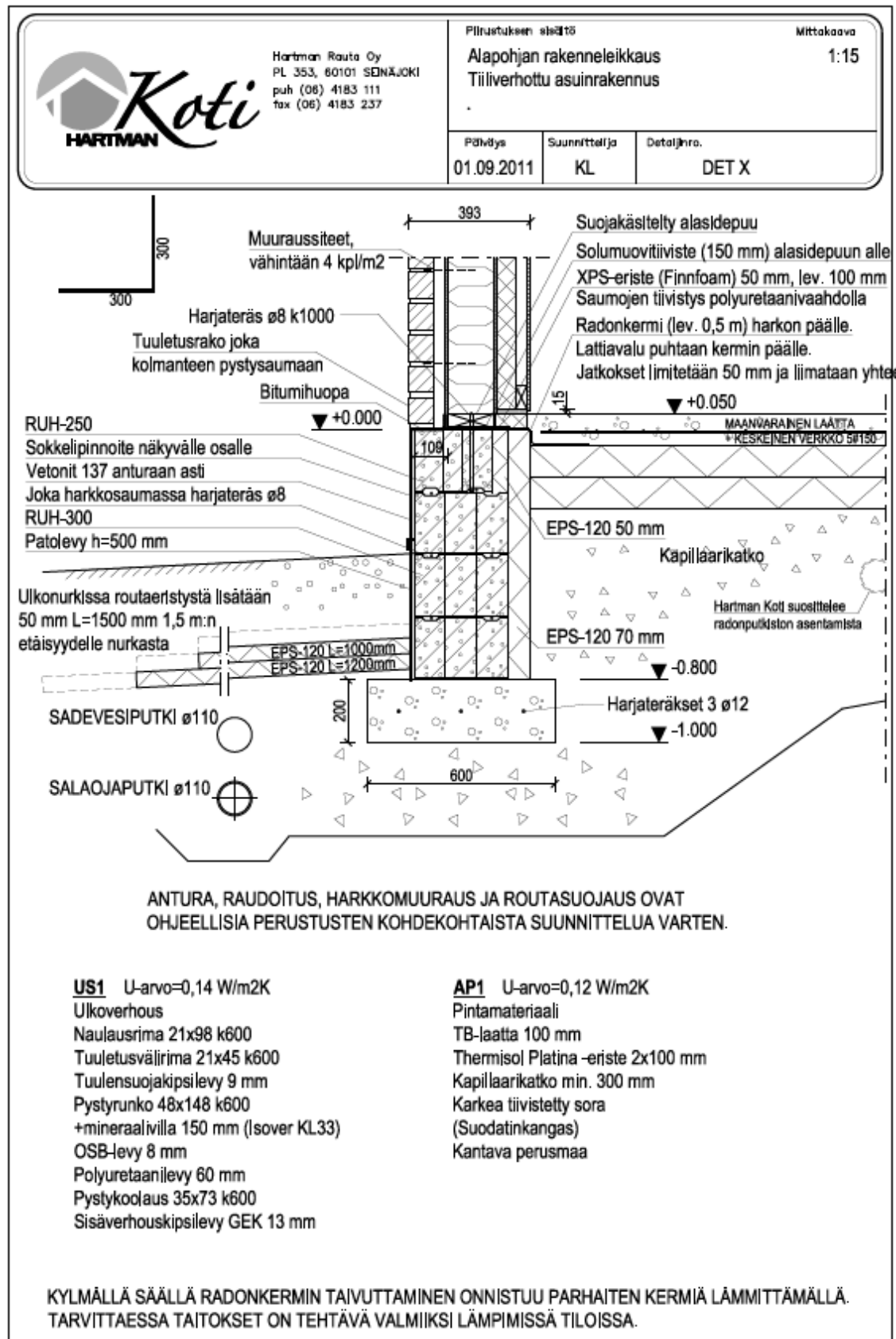
## LIITE 2: Uusi seinärakenne ja perustukset



## LIITE 3: Nykyinen rakenne tiiliverhouksella



## LIITE 4: Uusi rakenne tiiliverhouksella



## LIITE 5: Lämmönläpäisykertoimen laskenta Nykyiselle seinärakenteelle

Vanha seinärakenne sisältä ulospäin:

- Sisäverhouskipsilevy 13 mm
- Vaakakoolaus 48x48 k600 + mineraalivilla 50 mm
- Höyrynsulkumuovi 0.2 mm
- Pystyrunko 48x198 k600 + mineraalivilla 100+100 mm
- Tuulensuojakipsilevy 9 mm
- Ristiinkoolaus 44 mm
- Ulkoverhouspaneeli 21 mm

Laskennan lähtötiedot

- kipsikartonkilevy,  $R_{td} = 0,06 (m^2K)W$
- mineraalivilla KL 37  $\lambda_{design} = 0,037 W(mK)$
- runkopuu,  $\lambda_{design} = 0,12 W(mK)$
- mineraalivilla KL 33,  $\lambda_{design} = 0,033 W(mK)$
- ilman- ja höyrynsulkua ei huomioida
- tuulensuojakipsilevy  $R_{td} = 0,04 (m^2K)W$
- hyvin tuulettuva ilmaväli, jonka lämmönvastusta ei huomioida
- lautaverhous, lämmönvastusta ei huomioida
- pintavastukset,  $R_{si}, R_{se} = 0,13 (m^2K)W$
- ulkopuolinen pintavastus on tuuletusväliin rajoittuvassa pinnassa sama kuin sisäpuolinen pintavastus.

Laskenta

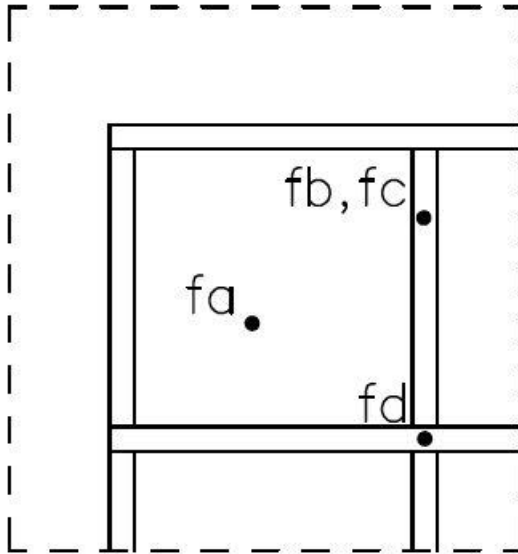
Kokonaislämmönvastuksen yläraja  $R_T'$

$$1 / R_T' = f_a / R_{Ta} + f_b / R_{Tb} + f_c / R_{Tc} + f_d / R_{Td}$$

$$f_a = (55 \cdot 55) / (60 \cdot 60) = 0,8403 \quad (\text{lämpöeriste})$$

$$f_b = f_c = (55 \cdot 5) / (60 \cdot 60) = 0,0764 \quad (\text{runkopuut})$$

$$f_d = (5 \cdot 5) / (60 \cdot 60) = 0,0069 \quad (\text{runkopuiden risteys})$$



- kunkin osa-alueen kokonaislämmönvastus

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_n + R_{se}$$

$$R_{Ta} = 0,13 + 0,06 + 0,198 / 0,033 + 0,048 / 0,041 + 0,04 + 0,13 = 7,531 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

$$R_{Tb} = 0,13 + 0,06 + 0,048 / 0,041 + 0,198 / 0,12 + 0,04 + 0,13 = 3,180 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

$$R_{Tc} = 0,13 + 0,06 + 0,198 / 0,033 + 0,048 / 0,12 + 0,04 + 0,13 = 6,760 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

$$R_{Td} = 0,13 + 0,06 + (0,198 + 0,048) / 0,12 + 0,04 + 0,13 = 2,410 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

$$1 / R_T' = 0,8403 / 7,531 + 0,0764 / 3,180 + 0,0764 / 6,760 + 0,0069 / 1,985 = 0,150$$

$$R_T' = 6,666 \text{ (m}^2\text{K)W.}$$

Kokonaislämmönvastuksen alaraja  $R_T''$

-rakennusosassa on kaksi epätasa-aineista ainekerrosta

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

-48 mm vaakarunko / lämmöneristys

$$1 / R_k = (55/60) / (0,048/0,041) + (5/60) / (0,048/0,12) = 0,991$$

$$R_k = 1,009 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

-198 mm pystyrunko / lämmöneristys

$$1 / R_j = (55/60) / (0,198/0,033) + (5/60) / (0,198/0,12) = 0,203$$

$$R_j = 4,926 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

-kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_n + R_{se}$$

$$R_T'' = 0,13 + 0,06 + 1,009 + 4,926 + 0,04 + 0,13 = 6,295 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

Kokonaislämmönvastus  $R_T$

$$R_T = (R_T' + R_T'') / 2$$

$$R_T = (6,666 + 6,295) / 2 = 6,481 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

Lämmönläpäisykerroin U

-ilman korjaustekijöitä oleva lämmönläpäisykerroin

$$U = 1 / R_T = 1 / 6,481 = 0,154 \text{ W(m}^2\text{K)}$$

-ilmarakojen korjaustekijä  $\Delta U_g$

$$\Delta U_g = \Delta U'' * (R_i / R_T)^2$$

-ilmarakoa sisältävät kerrokset 198 mm pystyrunko / vaakakoolaus 48 mm

$$\Delta U'' = 0,01 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Delta U_g = 0,01 * [(0,198/0,033 + 0,048/0,041) / 6,481]^2 = 0,012 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

-lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden korjaustekijä  $\Delta U_a$

-lämmöneristeen suojaustapa a (villaeriste tuulensuojan ja höyrynsulun välissä)

-korjaustaso 1

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' * (R_i / R_T)^2$$

$$\Delta U_a'' = 0,01 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Delta U_a = 0,01 * [(0,198/0,033 + 0,048/0,041) / 6,481]^2 = 0,012 \text{ W/(m}^2\text{K)} .$$

Korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c$

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_a = 0,154 + 0,012 + 0,012 = 0,178 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_c = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

-korjaustekijät suurentamat korjaamatonta U-arvoa 16 %, joten vaatimus 3 % ylittymisestä täyttyy.

*(RIL 225-2004, Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta.)*



## LIITE 6: Lämmönläpäisykertoimen laskenta Uudelle seinärakenteelle

Uusi seinärakenne sisältä ulospäin:

- Sisäverhouskipsilevy  $936 \text{ kg/m}^3$ , 13 mm
- Vaakakoolaus, 35 mm + tuulettumaton ilmaväli
- Polyuretaanilevy alumiinipinnoitteella, 60 mm
- OSB –levy, 8 mm
- Pystyrunko 48x148 k600 + mineraalivilla, 150 mm
- Tuulensuojakipsilevy, 9 mm
- Pystykoolaus, 42 mm
- Ulkoverhouspaneeli, 21 mm

Laskennan lähtötiedot

- kipsikartonkilevy,  $R_{td} = 0,06 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- tuulettumaton ilmaväli, lämmönvastus =  $0,34 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- polyuretaanieriste,  $\lambda_{design} = 0,023 \text{ W(mK)}$
- runkopuu,  $\lambda_{design} = 0,12 \text{ W(mK)}$
- mineraalivilla KL33  $\lambda_{design} = 0,033 \text{ W(mK)}$
- tuulensuojakipsilevy  $R_{td} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- hyvin tuulettuva ilmaväli, jonka lämmönvastusta ei huomioida
- lautaverhous, lämmönvastusta ei huomioida
- pintavastukset,  $R_{si}, R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)W}$
- ulkopuolinen pintavastus on tuuletusväliin rajoittuvassa pinnassa sama kuin sisäpuolinen pintavastus.

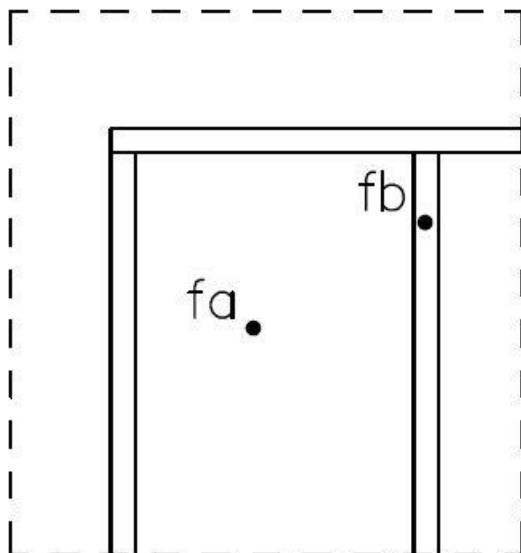
Laskenta

Kokonaislämmönvastuksen yläraja  $R_T'$

$$1 / R_T' = f_a / R_{Ta} + f_b / R_{Tb} + f_c / R_{Tc} + f_d / R_{Td}$$

$$f_a = (55 \cdot 60) / (60 \cdot 60) = 0,917 \quad (\text{lämpöeriste})$$

$$f_b = (5 \cdot 60) / (60 \cdot 60) = 0,083 \quad (\text{runkopuut})$$



- kunkin osa-alueen kokonaislämmönvastus

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_n + R_{se}$$

$$R_{Ta} = 0,13 + 0,06 + 0,34 + 0,06 / 0,023 + 0,008 / 0,13 + 0,148 / 0,033 + 0,04 + 0,13 = 7,855 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

$$R_{Tb} = 0,13 + 0,06 + 0,34 + 0,06 / 0,023 + 0,008 / 0,13 + 0,148 / 0,12 + 0,04 + 0,13 = 4,604 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

$$1 / R_T' = 0,917 / 7,855 + 0,083 / 4,604 = 0,135$$

$$R_T' = 7,407 \text{ (m}^2\text{K)W.}$$

Kokonaislämmönvastuksen alaraja  $R_T''$

-rakennusosassa on yksi epätasa-aineinen ainekerros

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

-148 mm pystyrunko / lämmöneristys

$$1 / R_k = (55/60) / (0,148/0,033) + (5/60) / (0,148/0,12) = 0,272$$

$$R_k = 3,677 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

-kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_n + R_{se}$$

$$R_T'' = 0,13 + 0,06 + 0,34 + 0,06 / 0,023 + 0,008 / 0,13 + 3,677 + 0,04 + 0,13 = 7,047 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

Kokonaislämmönvastus  $R_T$

$$R_T = (R_T' + R_T'') / 2$$

$$R_T = (7,407 + 7,047) / 2 = 7,227 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

Lämmönläpäisykerroin U

-ilman korjaustekijöitä oleva lämmönläpäisykerroin

$$U = 1 / R_T = 1 / 7,227 = 0,138 \text{ (m}^2\text{K)W}$$

-ilmarakojen korjaustekijä  $\Delta U_g$

$$\Delta U_g = \Delta U (R_l / R_T)^2$$

-ilmarakoa sisältävät kerrokset 148 mm pystyrunko

$$\Delta U'' = 0,01 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Delta U_g = 0,01 * [(0,148 / 0,033) / 7,227]^2 = 0,004 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

-lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden korjaustekijä  $\Delta U_a$

-lämmöneristeen suojaustapa a (villaeriste tuulensuojan ja höyrynsulun vä  
lissä)

-korjaustaso 1

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' * (R_l / R_T)^2$$

$$\Delta U_a = 0,01 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Delta U_a = 0,01 * [(0,148 / 0,033) / 7,227]^2 = 0,004 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

Mekaanisista kiinnikkeistä eli ruuveista muodostuva korjaustekijä  $\Delta U_f$

$$\Delta U_f = \alpha * \lambda * n_f * A_f$$

$$\Delta U_f = 5 * 17 * 4 * (4 * 10^{-6}) = 0,00136 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

Korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c$

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_a + \Delta U_f = 0,138 + 0,004 + 0,004 + 0,002 = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_c = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

-korjaustekijät suurentamat korjaamatonta U-arvoa 8,0 %, joten vaatimus 3  
% ylittymisestä täyttyy.

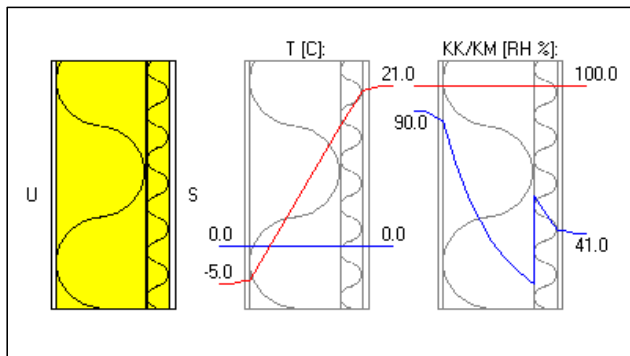
*(RIL 225-2004, Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta.)*

## LIITE 7: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -5 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Nykyinen seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

**Rakenteen päätiedot:**

U-arvo:	0.164 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	272.200 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	126101.852
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	6.113 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Kulma (0-90):	90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

KERROS:		T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00
2	ISOVER KL 33	200.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00
3	Muovikalvo 0.20 mm	0.20	0.3400	4.444444e-16	0.00	0.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.000000e-10	0.00	0.00
5	Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00
KYLMAŠILTA:		LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2	Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	---
4	Vaakakoolaus	0.1200	8.0	0.00	0.00	---

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:**

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-5.00	100.0	90.0	90.0	0.00
1	-4.57	100.0	86.8	86.8	0.00
2	-4.42	100.0	86.0	86.0	0.00
3	15.85	100.0	20.8	20.8	0.00
4	15.86	100.0	56.3	56.3	0.00
5	20.38	100.0	42.5	42.5	0.00
6	20.57	100.0	42.1	42.1	0.00
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00

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

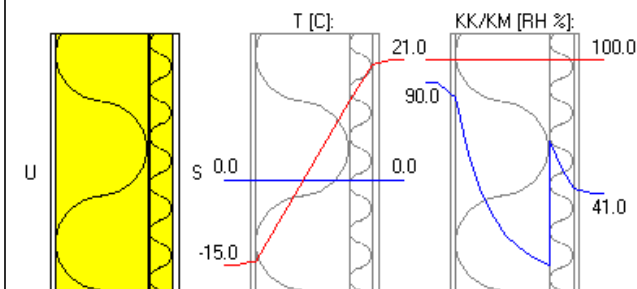
**Perjantai (24.0 h)****Lisätiedot:**U-arvossa mukana korjaustermi:  
Korjauskertoin = 0.010 W/m<sup>2</sup>K

## LIITE 8: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -15 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Nykyinen seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

### Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.164 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	272.200 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	126101.852
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	6.113 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Kulma (0-90):	90.000



### Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:		T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00
2	ISOVER KL 33	200.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00
3	Muovikalvo 0.20 mm	0.20	0.3400	4.444444e-16	0.00	0.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.000000e-10	0.00	0.00
5	Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00

KYLMA-SILTA:		LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2	Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	---
4	Vaakakoolaus	0.1200	8.0	0.00	0.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

### Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-15.00	100.0	90.0	90.0	0.00
1	-14.40	100.0	84.7	84.7	0.00
2	-14.20	100.0	83.7	83.7	0.00
3	13.87	100.0	9.6	9.6	0.00
4	13.88	100.0	63.9	63.9	0.00
5	20.14	100.0	43.2	43.2	0.00
6	20.40	100.0	42.5	42.5	0.00
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00

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

### Lisätiedot:

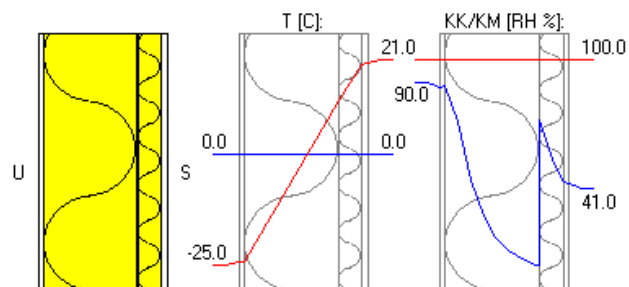
U-arvossa mukana korjaustermi:  
Korjauskertoimen = 0.010 W/m<sup>2</sup>K

## LIITE 9: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -25 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Nykyinen seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

### Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.164 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	272.200 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	126101.852
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	6.113 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Kulma (0-90):	90.000



### Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:		T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00
2	ISOVER KL 33	200.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00
3	Muovikalvo 0.20 mm	0.20	0.3400	4.444444e-16	0.00	0.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.000000e-10	0.00	0.00
5	Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00

KYLMA-SILTA:		LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2	Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	---
4	Vaakakoolaus	0.1200	8.0	0.00	0.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

### Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-25.00	100.0	90.0	90.0	0.00
1	-24.23	100.0	87.5	87.5	0.00
2	-23.98	100.0	88.1	88.1	0.00
3	11.89	100.0	5.9	5.9	0.00
4	11.90	100.0	72.6	72.6	0.00
5	19.90	100.0	43.8	43.8	0.00
6	20.23	100.0	43.0	43.0	0.00
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00

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

### Torstai (24.0 h)

### Lisätiedot:

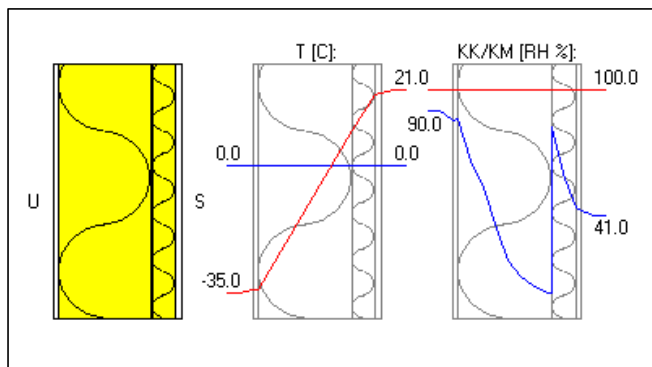
U-arvossa mukana korjaustermi:  
Korjauskerroin = 0.010 W/m<sup>2</sup>K

## LIITE 10: Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -35 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Nykyinen seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

### Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.164 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	272.200 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	126101.852
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	6.113 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00
2 ISOVER KL 33	200.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00
3 Muovikalvo 0.20 mm	0.20	0.3400	4.444444e-16	0.00	0.00
4 ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.000000e-10	0.00	0.00
5 Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2 Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	---
4 Vaakakoolaus	0.1200	8.0	0.00	0.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

### Lämpötilat ja kosteudet:

Maanantai (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-35.00	100.0	90.0	90.0	0.00
1	-34.06	100.0	85.6	85.6	0.00
2	-33.75	100.0	86.5	86.5	0.00
3	9.91	100.0	4.5	4.5	0.00
4	9.92	100.0	82.7	82.7	0.00
5	19.66	100.0	44.4	44.4	0.00
6	20.06	100.0	43.4	43.4	0.00
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00

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

### Lisätiedot:

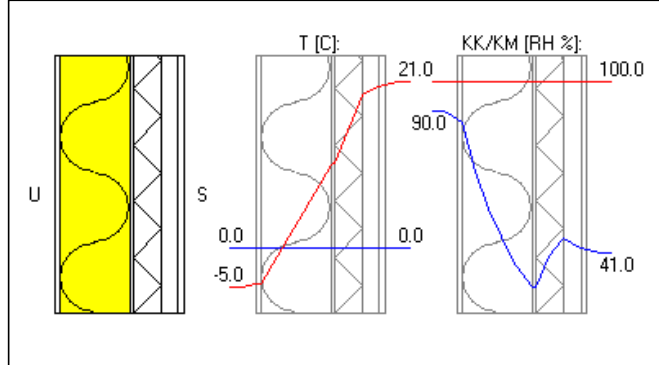
U-arvossa mukana korjaustermi:  
Korjauskerroin = 0.010 W/m<sup>2</sup>K

## LIITE 11: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -5 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Uusi seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

### Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.140 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	275.000 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1142462.983
Vesih. läpäisykerroin:	0.000001 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	7.133 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:		
1 Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00		
2 ISOVER KL 33	150.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00		
3 OSB -levy	8.00	0.1300	6.660000e-11	0.00	0.00		
4 Polyuretaanilevy	60.00	0.0230	1.460000e-14	0.00	0.00		
5 Tuulettumaton ilmara	35.00	0.1000	1.833333e-10	0.00	0.00		
6 Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00		
<b>KYLMÄSILTA:</b>							
2 Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	0.00	---	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

### Lämpötilat ja kosteudet:

						Perjantai (24.0 h)				
Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:					
U	-5.00	100.0	90.0	90.0	0.00					
1	-4.57	100.0	86.8	86.8	0.00					
2	-4.43	100.0	85.9	85.9	0.00					
3	10.48	100.0	29.1	29.1	0.00					
4	10.68	100.0	28.7	28.7	0.00					
5	19.24	100.0	45.7	45.7	0.00					
6	20.39	100.0	42.5	42.5	0.00					
7	20.57	100.0	42.1	42.1	0.00					
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00					

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

### Lisätiedot:

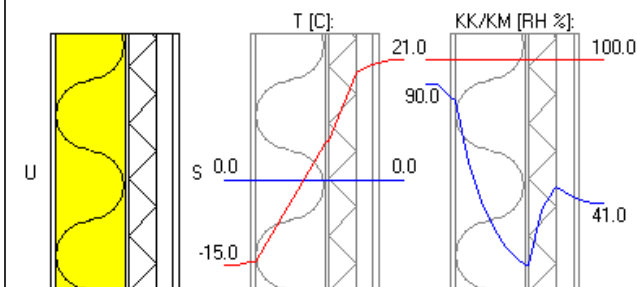


## LIITE 12: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -15 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Uusi seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

### Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.140 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	275.000 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1142462.983
Vesih. läpäisykerroin:	0.000001 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	7.133 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Kulma (0-90):	90.000



### Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:		T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00
2	ISOVER KL 33	150.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00
3	OSB -levy	8.00	0.1300	6.660000e-11	0.00	0.00
4	Polyuretaanilevy	60.00	0.0230	1.460000e-14	0.00	0.00
5	Tuulettumaton ilmara	35.00	0.1000	1.833333e-10	0.00	0.00
6	Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00
KYLMA-SILTA:		LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2	Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	---

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

### Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-15.00	100.0	90.0	90.0	0.00
1	-14.41	100.0	84.8	84.8	0.00
2	-14.21	100.0	83.2	83.2	0.00
3	6.43	100.0	15.3	15.3	0.00
4	6.71	100.0	15.0	15.0	0.00
5	18.56	100.0	47.6	47.6	0.00
6	20.15	100.0	43.2	43.2	0.00
7	20.41	100.0	42.5	42.5	0.00
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00

### Maanantai (24.0 h)

### Lisätiedot:

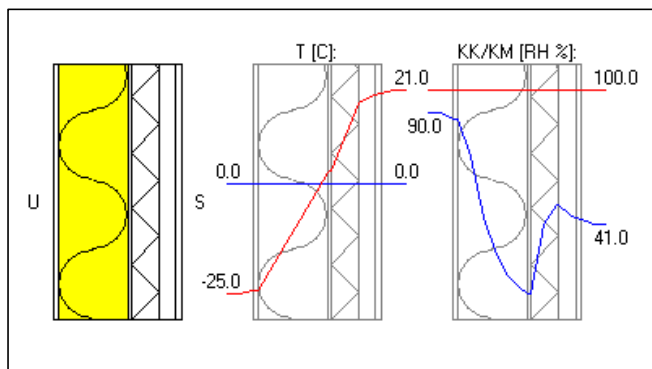
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

### LIITE 13: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -25 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Uusi seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

#### Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.140 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	275.000 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1142462.983
Vesih. läpäisykerroin:	0.000001 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	7.133 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00
2 ISOVER KL 33	150.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00
3 OSB -lewy	8.00	0.1300	6.660000e-11	0.00	0.00
4 Polyuretaanilewy	60.00	0.0230	1.460000e-14	0.00	0.00
5 Tuulettumaton ilmara	35.00	0.1000	1.833333e-10	0.00	0.00
6 Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2 Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

#### Lämpötilat ja kosteudet:

Torstai (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-25.00	100.0	90.0	90.0	0.00
1	-24.25	100.0	87.5	87.5	0.00
2	-24.00	100.0	86.9	86.9	0.00
3	2.39	100.0	10.7	10.7	0.00
4	2.74	100.0	10.4	10.4	0.00
5	17.89	100.0	49.7	49.7	0.00
6	19.92	100.0	43.8	43.8	0.00
7	20.25	100.0	42.9	42.9	0.00
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00

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

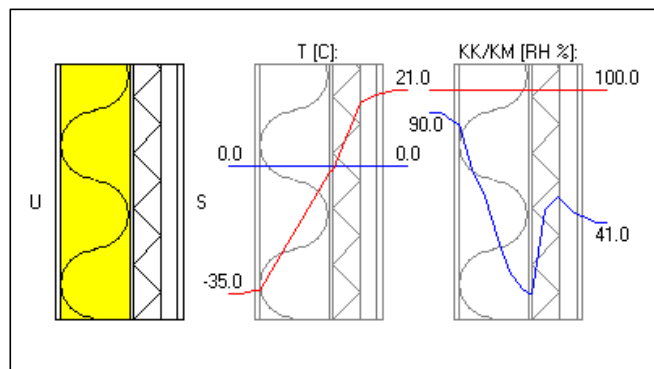
#### Lisätiedot:

## LIITE 14: Uuden rakenteen lämpö- ja kosteuskaavio -35 °C (Dof-lämpö)

Rakennuskohde: Hartman Koti, Puurakennus	Sisältö: Uusi seinärakenne	
Suunnittelija: Vesa Anttila	Päiväys: 2.5.2012	Tunnus:

### Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.140 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	275.000 mm
Pinta-ala:	1.80 m <sup>2</sup>
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1142462.983
Vesih. läpäisykerroin:	0.000001 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	7.133 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W
Kulma (0-90):	90.000



### Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:		T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2100	1.500000e-11	0.00	0.00
2	ISOVER KL 33	150.00	0.0330	1.000000e-10	0.00	0.00
3	OSB -levy	8.00	0.1300	6.660000e-11	0.00	0.00
4	Polyuretaanilevy	60.00	0.0230	1.460000e-14	0.00	0.00
5	Tuulettumaton ilmara	35.00	0.1000	1.833333e-10	0.00	0.00
6	Gyproc GEK 13	13.00	0.2300	1.500000e-11	0.00	0.00
KYLMA-SILTA:		LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2	Runkotolppa	0.1200	8.0	0.00	0.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

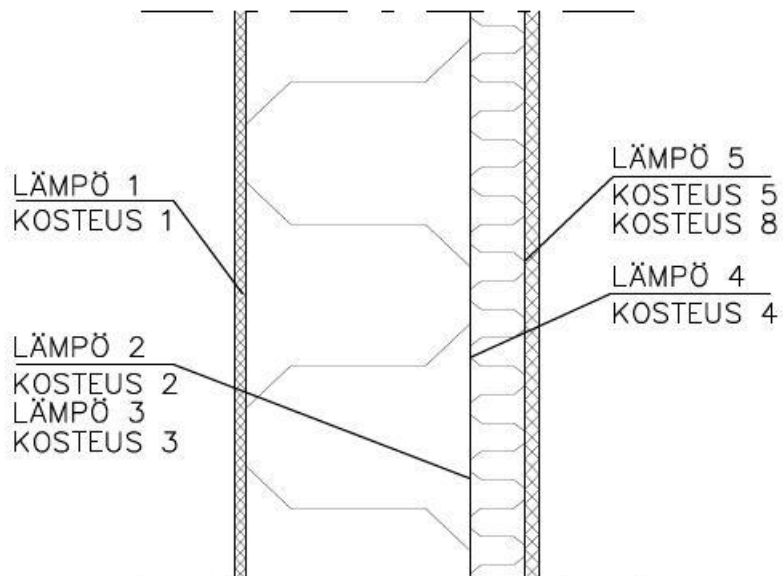
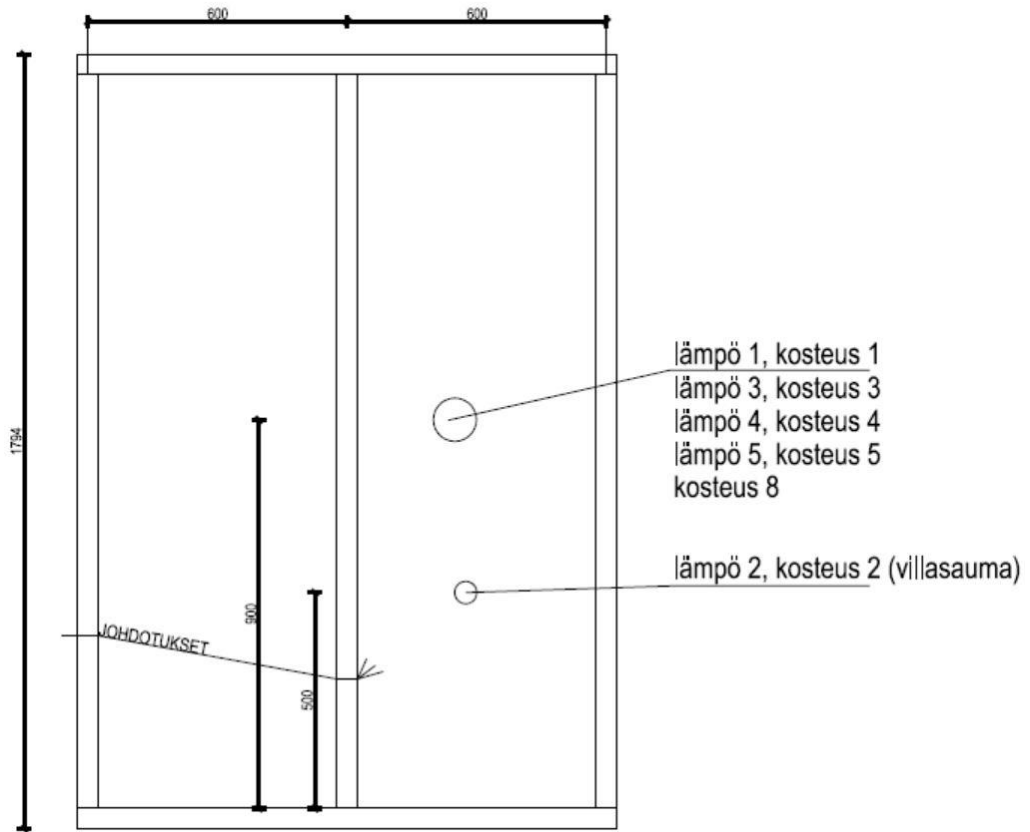
### Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	Maanantai (24.0 h)				
	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-35.00	100.0	90.0	90.0	0.00
1	-34.08	100.0	85.7	85.7	0.00
2	-33.78	100.0	84.6	84.6	0.00
3	-1.66	100.0	9.3	9.3	0.00
4	-1.22	100.0	9.0	9.0	0.00
5	17.21	100.0	51.8	51.8	0.00
6	19.68	100.0	44.4	44.4	0.00
7	20.08	100.0	43.4	43.4	0.00
S	21.00	100.0	41.0	41.0	0.00

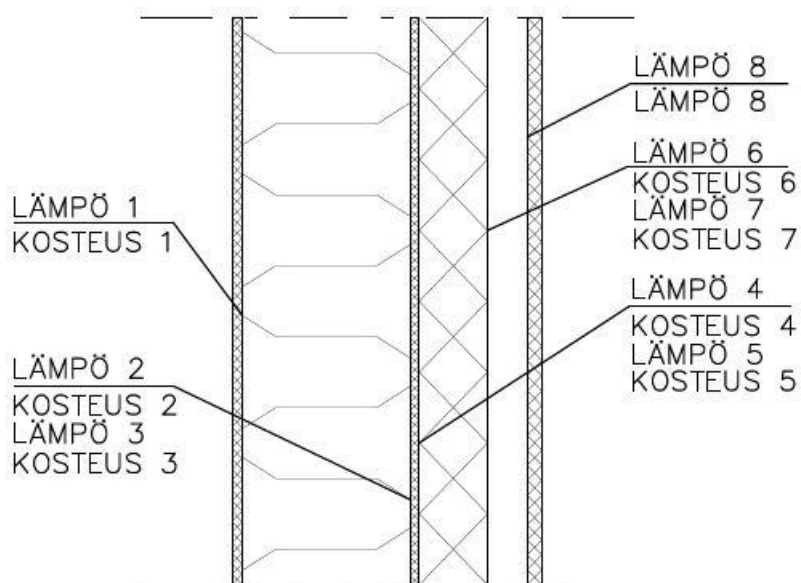
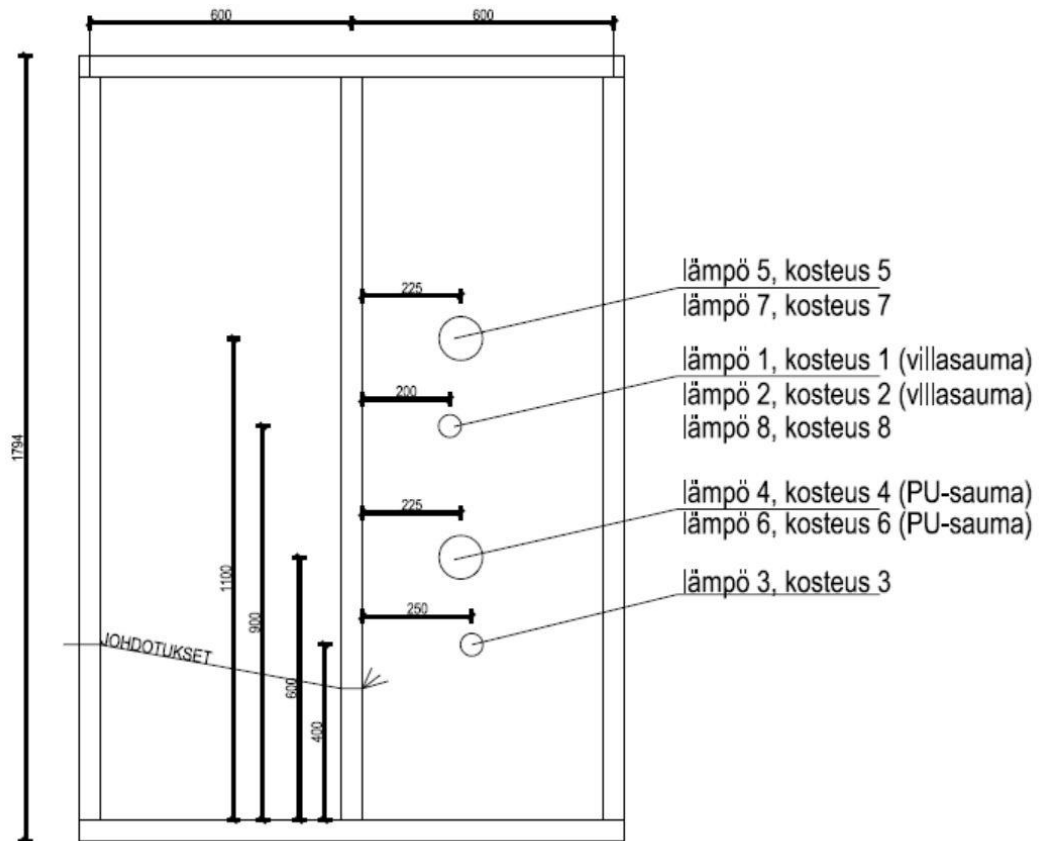
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

### Lisätiedot:

### LIITE 15: Antureiden sijainnit nykyisen rakenteen koeseinässä



### LIITE 16: Antureiden sijainnit uuden rakenteen koeseinässä



**LIITE 17: Antureiden sijainnit koeseinien rajapinnoissa****NYKYINEN KOESEINÄ****Materiaalien rajapinnat**

tuulensuoja-mineraalivilla	<b>Lämpö 1</b>
mineraalivilla-muovi (villansauma)	<b>Lämpö 2</b>
mineraalivilla-muovi	<b>Lämpö 3</b>
muovi-mineraalivilla 50 mm	<b>Lämpö 4</b>
mineraalivilla 50 mm-sisäkipsi	<b>Lämpö 5</b>

**Materiaalien rajapinnat**

tuulensuoja-mineraalivilla	<b>Kosteus 1</b>
mineraalivilla-muovi (villansauma)	<b>Kosteus 2</b>
mineraalivilla-muovi	<b>Kosteus 3</b>
muovi-mineraalivilla 50 mm	<b>Kosteus 4</b>
mineraalivilla 50 mm-sisäkipsi	<b>Kosteus 5</b>
mineraalivilla 50 mm-sisäkipsi (%)	<b>Kosteus 8</b>

**UUSI KOESEINÄ****Materiaalien rajapinnat**

tuulensuoja-mineraalivilla	<b>Lämpö 1</b>
mineraalivilla-OSB (villansauma)	<b>Lämpö 2</b>
mineraalivilla-OSB	<b>Lämpö 3</b>
OSB-PUR (PUR-sauma)	<b>Lämpö 4</b>
OSB-PUR	<b>Lämpö 5</b>
PUR-ilmaväli (PUR-sauma)	<b>Lämpö 6</b>
PUR-ilmaväli	<b>Lämpö 7</b>
ilmaväli-sisäkipsi	<b>Lämpö 8</b>

**Materiaalien rajapinnat**

tuulensuoja-mineraalivilla	<b>Kosteus 1</b>
mineraalivilla-OSB (villansauma)	<b>Kosteus 2</b>
mineraalivilla-OSB	<b>Kosteus 3</b>
OSB-PUR (PUR-sauma)	<b>Kosteus 4</b>
OSB-PUR	<b>Kosteus 5</b>
PUR-ilmaväli (PUR-sauma)	<b>Kosteus 6</b>
PUR-ilmaväli	<b>Kosteus 7</b>
ilmaväli (%)	<b>Kosteus 8</b>



