

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Aku Paulman

PELLAVAN KÄYTTÖ HIRSISEINÄN ULKOPUOLISESSA  
LÄMMÖNERISTÄMISESSÄ JA SEN VAIKUTUS  
RAKENNUSFYSIKAALISEEN TOIMINTAAN

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2017**  
**Rakennustekniikan koulutusohjelma**  
Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä  
Aku Paulman

Nimeke  
Pellavan käyttö hirsiseinän ulkopuolisessa lämmöneristämässä ja sen vaikutus rakennusfysikaaliseen toimintaan.  
Toimeksiantaja  
-

#### Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia pellavaeristematon käyttöä hirsirakennusten ulkopuolisessa lämmöneristämässä niin uudis- kuin korjauskohteissa. Pellavaa käytetään yleisesti hirsirakenteiden varauksissa lämmöneristeenä. Materiaalia voi myös käyttää rakennuksen ulkovaipan eristeenä. Pellavaeriste-kerroksen käytöstä hirsirakenteen ulkopuolisessa lisälämmöneristämässä on saatavilla vähän tutkittua tietoa.

Tutkimus on toteutettu yhdessä kohteen omistajien ja Karelia-ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion kanssa. Tutkimukset toteutettiin ilmantiiviyksmittauksin kohteella. Saatujen tulosten pohjalta pystyttiin arvioimaan lisättyjen materiaalikerrosten osuutta rakennuksen muuttuneeseen ilmantiiviyteen ja kosteustekniseen toimintaan.

Tulosten ja aineiston pohjalta voitiin miettiä rakenteen toteuttamiseen vaihtoehtoisia toteutustapoja. Pellavaeristeen käyttäminen hirsiseinän ulkopuolisessa eristämässä vaikuttaa rakennuksen ilmantiiviyden sekä rakenteen ääneneristysominaisuuksien paraneamiseen. Saatujen tulosten pohjalta voidaan todeta pellavan olevan käyttökelpoinen ja toimiva materiaali hirsirakennusten ulkopuolisessa lämmöneristyksessä.

Kieli  
suomi

Sivuja 53  
Liitteet 11  
Liitesivumäärä 18

#### Asiasanat

Hirsi, Pellava, Lisälämmöneristys, Ilmanvuotoluku



**THESIS**  
**May 2017**  
**Degree Programme in Civil**  
**Engineering**  
Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
tel. (013) 260 6800

Author  
Aku Paulman

Title  
Use of Flax Insulation in external thermal insulation in log structures and Its Effects on the Building Physics.

Commissioned by

**Abstract**

The goal of the thesis was to study the use of flax insulation as external thermal insulation in log structures, both in new constructions and repairs. Flax insulation is commonly used in log seams, and it can also be used as additional insulation for the building envelope. This thesis explores the use of flax insulation as additional external thermal insulation in log structures. There is limited research data available on flax insulation in log walls.

The thesis was done in cooperation with the owners of the property and the Building Laboratory at Karelia University of Applied Sciences. The study was carried out by measuring air tightness at the location. Based on the results it was possible to determine what impact the added layers of material had on the air tightness of the building and the humidity properties of the structure.

Based on the results and research material, alternative ways of creating the structure were considered. Using flax insulation as external thermal insulation has an impact on improving the air tightness and soundproofing properties of the structure. The results suggest that flax is a practical and functional material for external insulation of log structures.

Language

Finnish

Pages 53

Appendices 11

Pages of Appendices 18

Keywords

timber, flax, heat insulation, building leakage

## Sisältö

Liitteet.....	5
Alkusanat.....	6
Käsitteet .....	7
1 Johdanto.....	9
2 Työn lähtökohdat .....	10
3 Rakenteet .....	13
3.1 Eristämätön rakenne.....	13
3.2 Lisäeristetty rakenne.....	14
3.3 Alapohjan rakenne.....	16
3.4 Yläpohjan ja liittymien rakenne .....	17
3.5 Rakenteiden toteutus .....	18
4 Rakennuksen vaipan ilmantiiyden mittaaminen .....	21
5 Rakennusfysikaalinen toiminta.....	24
5.1 Ilmanpaine .....	24
5.2 Painovoimainen ilmanvaihto .....	25
5.2.1 Rakennuksen kosteusrasitukset .....	25
5.2.2 Konvektio.....	26
5.2.3 Diffuusio .....	26
5.2.4 Kosteuden kondensoituminen .....	27
6 Ilmantiivysmittauksien toteutus.....	27
6.1 Rakennuksen tiedot: .....	28
6.2 Mittauksia rajaavat toimenpiteet.....	29
6.3 Lisäeristämättömän rakenteen mittaus .....	30
6.4 Eristetyn rakenteen mittaus .....	31
7 Mittaustulokset.....	31
7.1 Lisäeristämättömän rakenteen mittaustulokset .....	31
7.2 Eristetyn rakenteen mittaustulokset .....	32
7.3 Mittaustulosten vertailu .....	32
8 Tulosten tarkastelu .....	33
8.1 Ilmantiivyyden muutokset.....	35
8.2 Vaikutus energiankulutukseen .....	37
8.3 Rakenteen kosteustekninen toiminta .....	40
8.4 Loppukäyttäjän kokemukset .....	42
8.5 Rakenteen ääneneristävyiden muutokset .....	43
8.6 Tulokset kokonaisuutena .....	43
9 Pohdinta .....	46
9.1 Ilmatiiviimmät rakenteet .....	47
9.2 Vesihöyryä läpäisevän paperin käyttö hirren ulkopinnassa .....	48
9.3 Yhteenveto .....	51
Lähteet .....	53

**Liitteet**

- Liite 1 Eristämättömän rakenteen painekokeen mittaustulokset
- Liite 2 Lisäeristetyin rakenteen painekokeen mittaustulokset
- Liite 3 Eristämätön rakenteen U-arvolaskut
- Liite 4 Lisäeristetyin rakenteen U-arvolaskut
- Liite 5 Ilmansulkukerroksen vaikutuksen U-arvolaskut
- Liite 6 Yläpohjan U-arvolaskut
- Liite 7 Alapohjan U-arvolaskut
- Liite 8 Muutostöiden aikaan saama energiansäästö
- Liite 9 Konvektion aiheuttama rakenteen kosteusrasitus
- Liite 10 Diffuusion aiheuttama rakenteen kosteusrasitus
- Liite 11 Kysely omistajille työn vaikutuksista

## **Alkusanat**

Eriytinen kiitos opinnäytetyötäni sitkeästi ja ammattitaidolla ohjanneelle DI Peteri Härköselle, sekä kaikille opettajilleni, jotka ovat olleet osana tämän opintopolun loppuun saattamiselle. Kiitos myös Karelia-ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa työskentelevälle Riku Tiiralle, joka omalta osaltaan auttoi suuresti tarvittavan tutkimusaineiston kokoamisessa.

Sekä suurkiitos kotijoukoille kannustuksesta ja tuesta. Ilman teitä tämän opiskelurupeaman loppuun saattaminen ei olisi ollut mahdollista.

Lapinlahdella 26.5.2017

Aku Paulman

## Käsitteet

### Höyrynsulku

Höyrynsulku on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää vesihöyryn haitallinen diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa.

### Ilmansulku

Tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle.

### Ilmanvuotoluku q50

Yksikkö [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ]. Kuvaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden.

### Ilmanvuotoluku n50

Yksikkö [ $1/\text{h}$ ] eli [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ ].

Kuvaa rakennusvaipan keskimääräinen vuotoilma virta tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennuksen tilavuutta kohden.

### Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)

Yksikkö  $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$

Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. (RakMk C4 2012.)

### Painekoe

Rakennuksen ilmanpitävyyteen kehitetty koe, jossa rakennus ali- tai yli paineistetaan, jotta vaipan ilmanpitävyyttä voidaan tutkia eripaine olosuhteissa.

Rakennuksen ja ulkoilman välisen paine-eron yksikkönä käytetään Pascalia (Pa).

## Pellava

Pellavasta valmistetaan myös rakennuseristeitä lämmön- ja ääneneristykseen sekä tiivistämiseen. Eristeenä pellavaa käytetään lähinnä hengittävissä rakenteissa, joissa voidaan hyödyntää luonnonkuidun kosteusteknisiä ominaisuuksia.

## Tuulensuoja

Rakennusosassa oleva ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteen osaan ja takaisin. (RakMk C4, 2012.)



# 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan vanhojen hirsitalojen korjaamisessa käytetyn pellavaeristeen toimintaa ja sen vaikutusta hirsikehikon ilmantiiviyteen. Lisäksi työssä tarkastellaan pellavaeristematon soveltuvuutta rakenteiden lisälämmöneristämiseen. Materiaalia käytetään rakennusten eristämässä niin korjaus- kuin uudiskohteissa. Tutkimustulosten perusteella saatiin tietoa rakenteen rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Pellavaa käytetään yleisesti hirsirakenteiden varauksissa lämmöneristeenä. Materiaalia voi myös käyttää rakennuksen ulkovaipaneristeenä. Pellavaeristekerroksen käytöstä hirsirakenteen ulkopuolisessa lisälämmöneristämässä on saatavilla vähän tutkittua tietoa. Tämän opinnäytetyön oli tarkoitus tarkastella pellavaeristeen käyttöä myös korjauskentämisen näkökulmasta.

Tutkimus toteutettiin yhdessä kohteen omistajien ja Kareliammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion kanssa. Tutkimukset toteutettiin ilmantiivysmittauksin kohteella. Mittauksia suoritettiin kohteella kahdella erillisellä kerralla. Mittausten perusteella pystyttiin määrittämään lisättyjen materiaalikerrosten vaikutukset rakennuksen ilmanvuotolukuun. Työssä vertailtiin ilmanvuotoluvun muutosta ja sen vaikutusta rakennuksen toimintaan. Ilmantiivysluku kertoo rakennuksen vaipan tiivyydestä. Luvun perusteella voidaan laskennallisesti tutkia rakennuksen vaipan toimintaa. Tutkimustulosten ja aineiston pohjalta voitiin miettiä rakenteen toteuttamiseen erilaisia rakennevaihtoehtoja.

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan ainoastaan hirsirakenteisen ulkoseinän toimintaa. Ylä- ja alapohjarakenteet on esitetty työssä, mutta ne on rajattu ulos rakenteiden tarkemmista analysoinneista. Työssä on pyritty pohtimaan hirsitalojen korjausta eri näkökulmista. Monesti tuntuu siltä, että juuri hirsitalot ja niiden rakentaminen, korjaaminen ja erilaiset rakenneratkaisut aiheuttavat rakentajissa tunteita niin puolesta kuin vastaan.

## 2 Työn lähtökohdat

Tämän työn lähtökohtana oli uudistuotantona toteutettu hirsinen talonlaajennus, jossa massiivihirsinen laajennusosa liitettiin vuonna 1952 rakennetun rintamamiestalon jatkeeksi. Talossa on maanvarainen betonilaattalattia. Laajennusosa toteutettiin tuulettuvalla alapohjalla (kuva 1). Ala- ja yläpohjarakenteiden ilmansulku toteutettiin ilmansulkupaperilla. Alkuperäisenä ajatuksena projektiin ryhtymiselle oli omistajien haave isosta hirsisestä tuvasta.



Kuva 1. Tuulettuvan alapohjan lattiarunko asennettuna.

Uudiskohteen ja vanhan rakennuksen liittäminen toisiinsa toteutettiin rankarakenteisena, siten että hirsinen osa toteutettiin omalle perustalleen. Uusien rakenteiden liittäminen jo olemassa oleviin rakenteisiin aiheutti liitosten tiivistysten suunnittelua työmaaloissa, kun kaikkea, mikä liittyy liitosdetaljikkaan ei voitu ottaa huomioon rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

Projekti aloitettiin vuonna 2010 sopivien hirsipuiden valinnalla ja sahauksella sekä pohjatöiden tekemisellä rakennukselle. Kehikon veistäminen paikalleen toteutettiin 2012. Työ toteutettiin ns. paikalla rakentamisena, jossa kehikko veistettiin suoraan paikalleen valmiille perustuksille (kuva 2). Vesikattorakenteet rakennettiin koko rakennukseen samalla kertaa. Vesikattorakenteissa suunniteltiin rakenneratkaisu, joka ottaa huomioon uuden hirsirakenteen painumisen suhteessa vanhaan tolpparunkoiseen rakennukseen (kuva 3). Rakenteet sijaitsevat tuulettuvassa ullakkotilassa, joten rakenteiden toteutuksessa jouduttiin huomioidaan hirsirakenteen painuminen ja nurkkien toiminta ja tiivistäminen.



Kuva 2. Valmis hirsikehikko.

Tutkimukset tämän opinnäytetyön tekemiseksi suoritettiin keväällä 2015 ennen rakennuksen ulkovaipan verhoilua. Hirsisen laajennuksen lisäeristys ja ulkoverhoustyöt toteutettiin kesän 2015 aikana. Ennen töiden aloittamista suoritettiin rakennuksen laajennusosalla ilmantiiviysmittaus, kun tutkittava rakenne oli ns. puhtaalla hirsipinnalla (kuva 4). Mittauksien jälkeen voitiin aloittaa rakenteen lisälämmöneristys ja ulkoverhoustyöt (kuva 5). Rakenteiden detailjikuvat esittävät myöhemmin rakenteiden U-arvojen esittämisen yhteydessä. Uuden hirsirakenteen painuminen ja nurkkien toiminta ja tiivistäminen.

rakenteen painuminen oli suurin syy siihen, miksi rakentaminen toteutettiin kolmessa vaiheessa.

Hirsiseinä painuu materiaalin kuivumisesta ja seinillä olevien kuormitusten vaikutuksesta noin 10-20 mm seinän korkeusmetriä kohden eli seinässä olevin rakojen tiivistymisen ja puunkuivumisesta johtuen seinä painuu tiiviimmäksi. Toteutetun rakenteen hirsiseinän korkeus on 4.5 metriä, joten rakenteen painumaksi voidaan arvioida noin 50 mm. Rakenteiden painumista mitattiin keväällä 2015 noin 60 mm, eli seinät olivat matalammat kuin valmistuessaan kesällä 2011. Rakennuksen kattorakenteet säädettiin suoraan ennen uuden ulko-verhouksen asentamista. Rakenteet toteutettiin tavalla, joka sallii hirsiseinän painumisen ja ulko-verhouksen pysymisen paikallaan. Koolausrakenteiden kiinnityksissä otettiin huomioon mahdolliset rakenteiden painumat. Näin koolatut rakenteet pysyvät paikallaan ja hirsirakenne pystyy liikkumaan ilman muiden rakenteiden vaurioitumista.



Kuva 3. Katonkannatin/säätömekanismi

Kohteen omistajat arvostavat perinnerakentamista, mikä ohjasi omalta osaltaan valittuja työskentelymenetelmiä ja välineitä. Omat haasteensa toteutukselle toi jo olemassa oleva rakennus. Työn pyrkimyksenä oli yhdistämään nämä eri aikakausien rakenteet toimivaksi kokonaisuudeksi niin rakenteiden toimivuuden ja käyttäjätoiveet huomioon ottaen. Tavoitteena oli toteuttaa uudisrakennus ja vanhan rakennuksen remontti siten, että niiden rakenteet ovat mahdollisimman huolto vapaat ja toimivat.

Tavoitteena oli tutkia kyseisen eristeratkaisun ja käytettyjen materiaalien vaikutusta hirsirakenteiden ilmantiiviyteen sekä vaikutusta ilmanvuotoluvun suuruuteen. Tämä vertailu toteutettiin suorittamalla ilmantiivysmittaus kohteessa ennen ulkopuolisen lämmöneristeen ja ulkoverouksen asennusta ja toinen mittaus suoritetaan, kun rakenteet ovat valmiita. Saatujen tulosten ja näiden vertailun pohjalta voidaan tarkastella, miten pellavaeristeellä toteutettu rakennuksen lisälämmöneristys vaikuttaa mitattavaan ilmanvuotolukuun.

### **3 Rakenteet**

Työssä on keskitytty erityisesti hirsiseinän toimintaan. Tässä luvussa on esitetty tutkimuksessa toteutetut rakenneratkaisut ja mahdolliset rakenteen parannusehdotukset. Rakennekuvissa on pyritty selventämään rakenteiden toteutustapa sekä helpottamaan rakenneratkaisuiden ymmärtämistä kokonaisuutena.

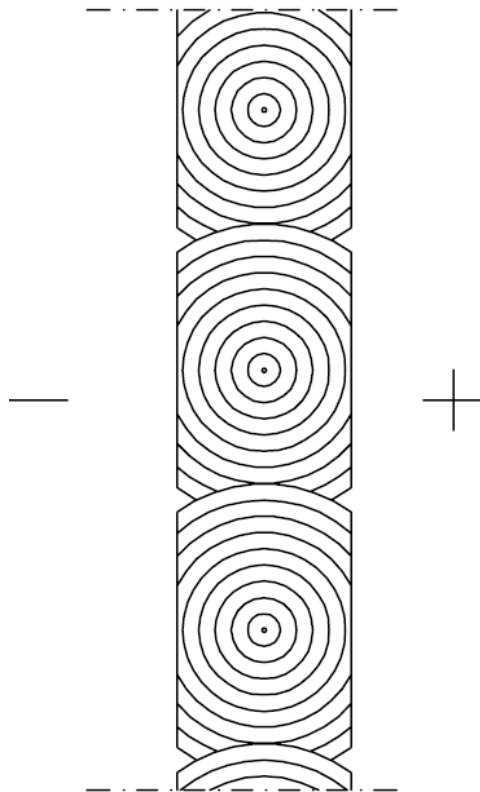
#### **3.1 Eristämätön rakenne**

Rakennuksen ulkovaippa tutkittavalta alueelta oli seuraavanlainen. Seinän kantava rakenne 180 mm paksu lyhyillä nurkilla valmistettu hirsiseinä. Hirsisen vaarausten eristeenä käytettiin 10 mm:ä paksua pellavanauhaa lämmöneristeenä. Ulkovaipan rakenne ennen lisälämmöneristystä ja ulkoverhousta on esitetty kuvassa 4.



Ulkoseinän rakenne ilman lisäeristystä:

- Massiivihirsi paksuus, 180 mm, hirsienvaraukset tiivistettiin pellavanauhalla, jonka paksuus oli 10 mm
- U-arvo: 0.5882 W/m<sup>2</sup>K



Kuva 4. Eristämättömän rakenteen leikkauskuva

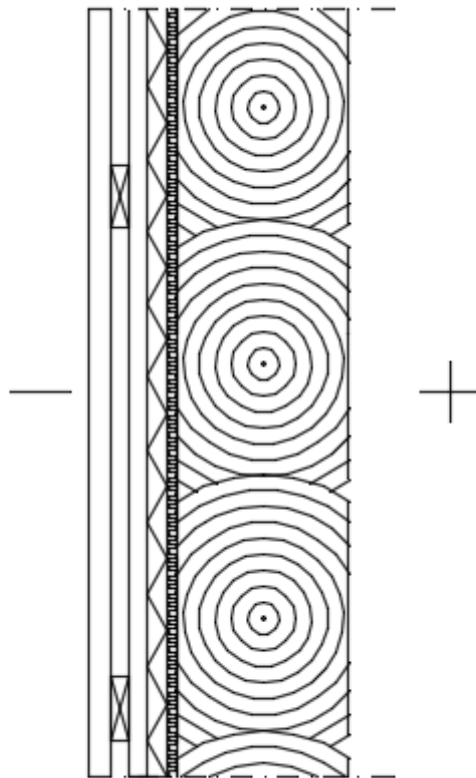
### 3.2 Lisäeristetty rakenne

Hirsiseinään toteutettiin erillisten suunnitelmien mukainen lisäeristys. Seinän ulkopinnan raot ja halkeamat tiivistettiin pellavanauhalla. Tämän jälkeen koko seinä peitettiin pellavamatolla, joka nidottiin kiinni seinään. Pellavamaton päälle asennettiin 25 mm: iä paksu tuulensuojalevy (kuva 9). Rakennuksessa käytettiin

ristiin koolausta, jonka kiinnittämisessä huomioitiin hirsiseinän mahdolliset lisäpainumat (kuva 5).

Lisäeristetty rakenne:

- Massiivihirsi 180 mm, pellavanauha saumojen välissä
- Pellavamaton (paksuus 30 mm) nidonta hirsiseinään, hirsien välien ja halkeamien tiivistämien pellavariveellä.
- Runkoleijonalevy 25 mm
- Koolaus 22\*100
- Ulkoverhous, peiterimaverhous ja peittomaalaus petroliöljymaalilla
- U-arvo: 0.374 W/m<sup>2</sup>K



Kuva 5. Lisäeristetyn rakenteen leikkauskuva

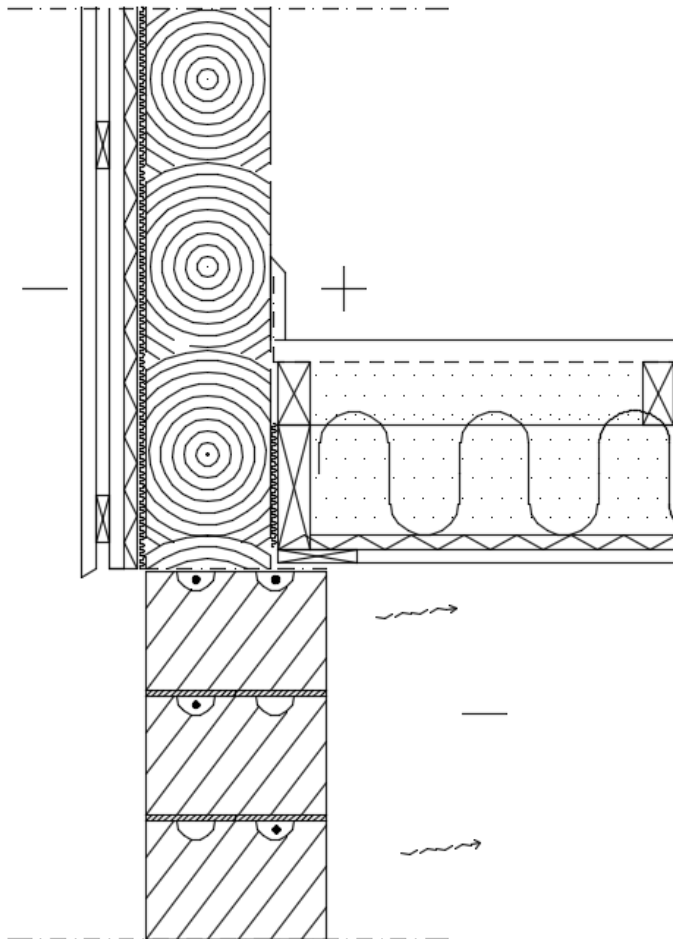
### 3.3 Alapohjan rakenne

Rakennuksen lattiarakenne toteutettiin tuulettavana alapohjana. Lämmön eristäminen toteutettiin selluvillaeristeellä ja 25 mm:llä tuulensuojalevyllä. Levyjen ja lattian kannattimien liittymät tiivistettiin pellavanahan ja päälle naulattavan rimoituksen avulla.

Alapohjan rakenne:

- Lattialankku 40 mm
- Ilmansulkupaperi, kiinnitys hirteen teippaamalla ja nitomalla jalkalistan alla.
- Koolaus 50\*100 k600 +lattian kannattajat 50\*200 k400 ja selluvillaeriste 300 mm tiivistetty
- Runkoleijonalevy 25mm, joka on asennettu lattiankannattajien väliin. Saumojen tiivisty pellavanauhalla (leveys 50mm) ja rimoituksella.
- Tuulensuojalevytyksen kannatinlaudoitus 25\*150
- Tuuletustilan korkeus on 800mm
- U-arvo 0.1365 W/m<sup>2</sup>K





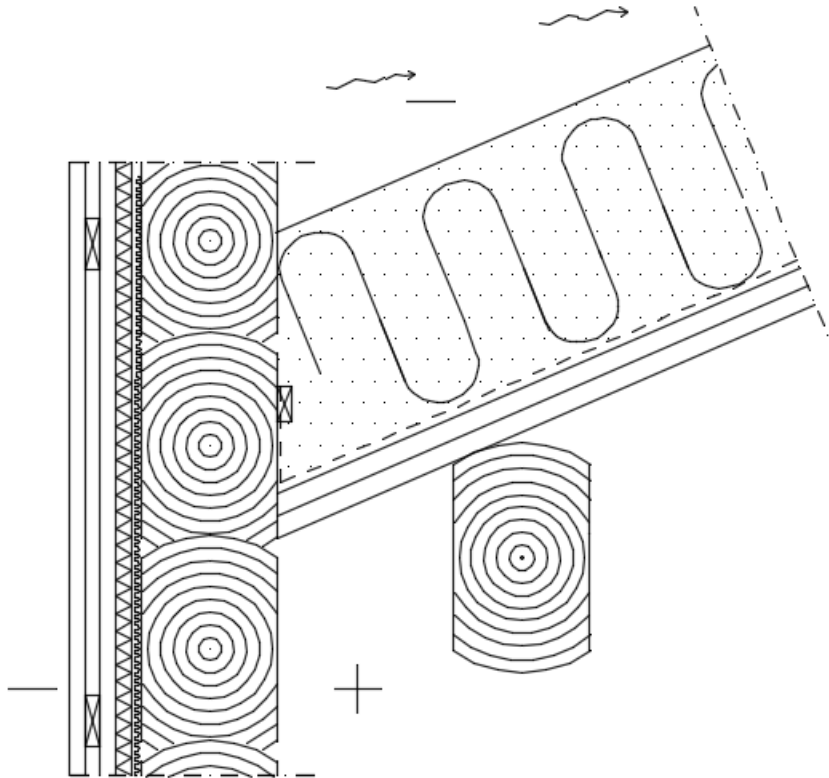
Kuva 6. Alapohjan rakenne sekä liittymä perusmuuriin ja hirsiseinään

### 3.4 Yläpohjan ja liittymien rakenne

Yläpohjan rakenne toteutettiin keuhikon veiston yhteydessä asennettujen kannatinparrujen varaan. Laipion laudoitus kiinnitettiin ja päälle asennettiin ilmansulkukerros, joka tiivistettiin ja teipattiin reunoilta kiinni hirsiseinään (kuva 7). Yläpohjan eristys toteutettiin 500 mm:ä paksulla puhallettavalla selluvillaeriste kerroksella.

Yläpohjan rakenne:

- Laipiolaudoitus
- Ilmansulkupaperi
- Lämmöneristeenä puhallettu selluvilla d=500 mm
- U-arvo 0.0819 W/m<sup>2</sup>K



Kuva 7. Yläpohjanrakenteen liittymä hirsiseinään

### 3.5 Rakenteiden toteutus

Rakennuksen vaipan eri osille on määrätty erikseen tapauskohtaiset U-arvo vaatimukset. Toteutettavat rakenteet tulisi suunnitella sellaisiksi, että laskennallinen U-arvo alittaa vaaditun vertailutason. Työssä käsitellyille rakenteille vaadittu vertailutasot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Rakenteiden U-arvovaatimukset RakMk C3 (2010) :n mukaan

Rakenne	U-arvovaatimus, W/m <sup>2</sup> K
Hirsiseinä (paksuus 180 mm)	0,40
Yläpohja	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17

Rakenteet, joihin asennettiin ilmansulkukerros, toteutettiin seuraavalla tavalla: Ilmansulkupaperin saumat on teipattu ja paperi on kiinnitetty ympäröiviin seiniin nitomalla ja teippaamalla. Tartunta on varmistettu käyttämällä rimoitusta varmistamaan liitoksen tiiviys ja toimivuus. Periaate toteutuksesta esitetään yläpohjan rakenteen leikkauskuvassa 4.

Seinärakenteissa käytettiin lisälämmöneristeenä 30 mm:n paksuista pellava-mattoa ja 25 mm paksua tuulensuojakuitulevyä (kuva 8). Rakentamisen lähtökohtana on alusta pitäen ollut tavoite, että rakennus toteutetaan luonnonmukaisilla materiaaleilla kuten pellavaeristeellä, puhallettavalla selluvillaeristeellä sekä ilmansulkupaperilla (kuva 5). Tutkimuksessa käsiteltyjen rakenteiden toteutuksessa ei käytetty höyrynsulkumateriaaleja.



Kuva 8. Pellavaeristeen ja tuulensuojalevyn asennus seinään

Hirsien varauksissa käytettiin eristeenä 10 mm paksua pellavaeristenauhaa. Hirsiseinän paksuus on 180 mm. Tällä kyseisellä rakenteella päästään rakenteen U-arvoon 0.374 joka on alle määritellyn vertailutason 0.40 (taulukko 1). Ilman ulkopuolista eristekerrosta hirsiseinänpaksuuden tulisi olla noin 270 mm että rakenteelta vaadittu U-arvo täyttyisi suoraan ilman sisä- tai ulkopuolelle lisättyä eristekerrosta. Rakenteen U-arvo laskut on toteutettu Puuinfon U-arvolaskureilla. Laskelmat rakenteille on esitetty liitteissä 3-6.



Kuva 9. Hirsien varaukset ja halkeamat tilkittiin ennen maton asennusta.

Ahon ja Korven (2009,9) tekemän tutkimuksen perusteella hirsitalojen ilmantiiviystulokset olivat keskimäärin n50 arvolla 6,0 (1/h). Raportin perusteella voidaan todeta, että talot, joissa on käytetty tiiviimpiä saumaeristeitä ja höyrynsulkumateriaaleja kuten solumuovi ja höyrynsulkukalvo. Nämä mitatut kohteet olivat keskimäärin tiiviimpiä ilmantiiviysmittaustulosten perusteella kuin perinteiset hirsitalot. (Aho& Korpi 2009, 9.)

Pellavaeristeen ilmanläpäisevyys vaihtelee  $0,4...4,3 \cdot 10^{-9}$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>sPa arvojen vaihteluvälillä riippuen materiaalin manuaalisesta tiivistyksestä ja sen hetkisestä kosteustasosta. (RIL 255,2013) Pellavaeristeen vesihöyrynläpäisevyys on mineraalivillaeristeen kanssa samaa luokkaa;  $\delta v$  on noin  $20 \cdot 10^{-6}$  kg/m s Pa. (Vinha 2005, 152.) Lisäksi käsin veistetyissä hirsirakenteissa ollaan tekemisessä käsitöiden kanssa, jota ei voida monistaa kuten teollisessa hirsitalotuotannossa. Jokainen kohde on yksilö, jossa on tekijöiden aikaan saama kädenjälki.

Taulukko 2. Rakenteiden ilmantiiviuden vaatimukset.

q50-luku	Selite
yli 4	Poikkeukselliset rakenneratkaisut
≤ 4	Vähimmäisvaatimus kaikille uudisrakennuksille
2	Laskennassa käytettävä vertailu arvo, määräysten mukainen rakennus
≤ 1	Määräysten suositusarvo

#### 4 Rakennuksen vaipan ilmantiiviuden mittaaminen

Rakennusten ilmanpitävyyden ja tiiviiden mittaaminen on yleistynyt viime vuosina merkittävästi energiatehokkuuden parantamisen tavoitteellisuuden noustessa enenevässä määrin esiin uudis- ja korjausrakentamisessa Suomessa. Tarve vaipparakenteiden ilmantiiviuden todentamiselle on lisääntynyt energiatehokkuuden ja rakennusten energiankokonaiskulutuksen arvioissa rakennuksen koko elinkaaren aikana. Tiiviysmittauksella on tärkeä osa vaipparakenteiden ilmantiiviuden selvittämistä siten että saadut mittaustulokset antavat riittävän tarkat tulokset rakenteiden ilmantiiviudesta ja toimivuudesta. (Paloniitty 2012, 7.)

Hyvän ilmantiiviuden aikaan saamat hyödyt:

- Varmistetaan rakennuksen vaipparakenteiden kosteustekninen toimivuus
- Asumisviihtyisyys paranee



- Hallitsemattomien ilmavuotojen väheneminen pienentää rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. (Paloniitty 2012, 7.)

Rakennuksen tai sen osien tiivyyttä mitataan paine-eromenetelmällä. Tätä kyseistä koetta voidaan kutsua myös painekokeeksi. Paineekokeessa rakennukseen tai sen osaan tuotetaan koneellisesti paine-ero ulkoilmaan nähden. Paine-ero saadaan aikaan erillisellä puhaltimella, joka asennetaan tiiviisti ovi- tai ikkuna-aukkoon. Tarvittava paine-ero voidaan myös tuottaa rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä mutta tarkempien ja paikkansa pitävien tulosten saamiseksi tulisi käyttää paine-eromittaukseen suunniteltuja mittalaitteita (kuva 10). (Paloniitty 2012 ,14&31.)

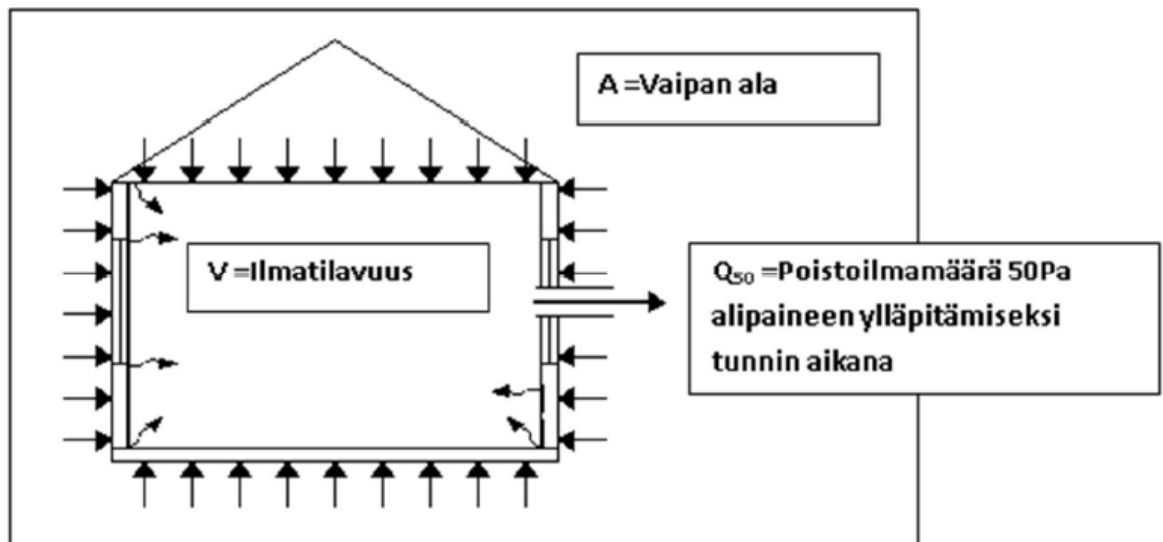


Kuva 10. Painekoelaitteisto asennettuna

Painekokeen avulla voidaan mitata seuraavat ilmanvuotoluvut,  $n_{50}$  ja  $q_{50}$ . Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  saadaan laskettua, kun tarvittava tilaan puhallettava tuloilmamäärä 50 Pascalin paine-eron ylläpitämiseksi tunnin ajan mitattavassa tilassa jaetaan tutkittavan tilan ilmatilavuudella. Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  esitetään yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa (kuva 11).

Ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saadaan jakamalla paine-eron ylläpitämiseksi tarvittava tuloilmamäärä mitattavan tilan vaipan alalla. Yksikkönä ilmanvuotoluvussa  $q_{50}$  on [ $m^3 / (h m^2)$ ]. (Paloniitty 2012,14-15.)

Rakenteiden tiiviysmittaukset toteutettiin RT80-10974:n ja standardin SFS-EN 9972 ohjeiden mukaisesti mittaustulosten ollessa näin mahdollisimman luotettavat ja vertailukelpoiset.



Kuva 11. Ilmantiiviysmittauksen periaatekuva (Paloniitty 2012,29.)

## 5 Rakennusfysikaalinen toiminta

Tutkittava kohde on toteutettu painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä, joka omalta osaltaan aiheuttaa ongelmia rakennuksen painesuhteisiin. Rakennuksen sisätilojen paineen tulisi olla ulkoilmaan nähden alipaineinen. Rakennuksen tilojen ollessa alipaineisia, sisäilmassa oleva kosteus ei paineen vaikutuksesta kulkeudu rakenteeseen vaan poistuu ilmanvaihtojärjestelmän kautta pois rakennuksesta. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voidaan toteuttaa, joko koneellisena tai painovoimaisena.

Rakennuksen, sen huonetilojen ja ilmanvaihtojärjestelmän paineet suunnitellaan siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista sellaisiin tiloihin, joissa syntyy runsaammin epäpuhtauksia. Paineet eivät saa aiheuttaa rakenteiden pitkäaikaista kosteusrasitusta. (RakMk D2, 2012, 19.)

### 5.1 Ilmanpaine

Vallitseva ilmassa maapallon ympärillä aiheuttaa ilmakehän paineen, jonka suuruus on riippuvainen säästä ja mittauskorkeudesta. Ilmakehän paine maanpinnalla on noin 1 Bar, joka tarkoittaa 100 000 Pascalia (Pa). Ilmanpaine muodostuu kuivan ilman tiheydestä. Kuivan ilman tiheys on riippuvainen ilman lämpötilasta ja vesihöyryn osapaineesta. (Paloniitty 2012, 8.)

Paine-eron suuruus rakennuksen ulko- ja sisäilman välillä vaihtelee. Ulko- ja sisätilojen välisestä lämpötilaerosta syntyy luonnollisesti savupiippuvaikutuksesta rakennuksen yläosiin ylipaine ja alaosaan alipaine. Paine-eroon vaikuttavat rakennuksen sisätilojen korkeus sekä sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero. Rakennuksen ja ulkoilman välisen paine-eron yksikkönä käytetään Pascalia (Pa). (Siikanen 2014,35.)

Useimmiten ylipainetta syntyy rakennuksen yläosiin jo pelkästään savupiippuilmän vaikutuksesta, ellei sitä kumota ilmanvaihdolla. Tyypillisimpiä ylipainekohteita ovat ullakkotilat ja rakennuksen kattorakenteet sekä sellaiset rakennukset,



joissa ylipainetta syntyy rakennuksen korkeuden, puuttuvan poistoilmanvaihdon tai korkean lämpötilan takia. (Björkholtz 1997,77.)

Ilmantiheyden muutokset aiheutuvat vallitsevan ilman lämpötilaeroista. Lämpimän ilmantiheys on pienempi ja se nousee ylös kattorakenteisiin ja seinärakenteen yläosiin aiheuttaen sinne ylipainetta. Samalla alipaineen vaikutuksesta tilojen alaosiin virtaa tilalle viileämpää ilmaa osin rakennuksen mahdollisia vuotokohtia hyväksi käyttäen. Tuulella on merkittävä vaikutus rakennuksessa vallitseviin paine-eroihin. Tuulesta aiheutuva rakennuksen sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero riippuu tuulen voimakkuudesta, suunnasta, rakennuksen muodosta sekä sijainnista. Rakennuksen korkeus ja suojaisuus ovat tekijöitä, jotka mahdollisesti korostavat tai alentavat tuulen vaikutusta paine-eroihin. (Paloniitty 2012, 10.)

## **5.2 Painovoimainen ilmanvaihto**

Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä synnyttää rakennuksiin painesuhteiden välisen neutraalitason. Tämän tason yläpuolella rakennus on ulkoilmaan nähden ylipaineinen ja alapuolella alipaineinen. Neutraalitason yläpuolella sisäilma pyrkii tunkeutumaan rakenteen läpi ulospäin ja nollatason alapuolella ulkoilma pyrkii tunkeutumaan ilmanvuotokohtia apuna käyttäen rakennuksen vaipan läpi. (Kauppinen & Paloniitty 2006, 25-27.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon poistoputken pää tulisi sijoittaa mahdollisimman korkealle rakennuksen harjalinjan yläpuolelle. Energiatalouden näkökulmasta tarkasteltuna painovoimainen ilmanvaihto toimii tehottomasti. Painovoimainen järjestelmä toimii parhaiten korkeilla poistoilmahormeilla sekä tiloissa, missä korvausilman saanti on riittävää. Kylmä vuodenaika on painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan kannalta parasta aikaa. (Siikanen 2014, 36.)

### **5.2.1 Rakennuksen kosteusrasitukset**

Erilaiset rakennusmateriaalit sisältävät normaalioloissa tietyn määrän ominaiskosteutta. Materiaalien kosteus riippuu materiaalien ominaisuuksista, sekä tilan

lämpötilasta ja ilman kosteudesta. Rakenteiden ulkoinen kosteusrasitus voi myös lisääntyä rakentamisen aikana ja mahdollisesti rakennuksen käytön yhteydessä. (Siikanen 2014,78.)

Asuintiloissa vallitseva kosteus muodostuu ulkoilman sisältämästä kosteudesta ja ulkopuolisen kosteuslisän kokonaisvaikutuksena. Rakennusten ulkopuolinen kosteuslisä voi olla 2-4 g/m<sup>3</sup>, tämä kosteuslisä tulee ihmisestä ja asumiseen liittyvistä toiminnoista. (Asumisterveysasetus 2016.)

### **5.2.2 Konvektio**

Vesihöyryn konvektio tarkoittaa ilman sisältämän vesihöyryn siirtymistä ilmavirtauksen mukana. Nämä ilmavirtauksien liikkeet johtuvat kokonaispaine-eroista. Ilman liike on aina alenevan kokonaispaineen suuntainen. (Siikanen 2014, 71.) Kosteutta mukanaan kuljettavaa konvektiovirtausta saattaa esiintyä seinän sisäisenä eli ilman tiheys eroista johtuvana luonnollisena konvektiona tai rakenteissa olevien epätiiviyksien kautta tapahtuvana ilmanpaine-erojen vaikutuksesta johtuvana pakotettuna konvektiona. (Björkholtz 1997,13&57.)

### **5.2.3 Diffuusio**

Diffuusiolla tarkoitetaan rakentamisessa sitä, että ilmassa oleva vesihöyry siirtyy virtauksena suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään. Mitä suurempi vesihöyrynpitoisuusero tarkasteltavan rakenteen eri puolilla on, sitä voimakkaampi on diffuusiiovirtaus. Vesihöyryn kulkuun vaikuttaa vesihöyrypitoisuuseron lisäksi materiaalin vesihöyrynläpäisevyys ominaisuudet. Vesihöyryn läpäisevyydessä on materiaalikohtaisesti suuria eroja. (Sisäilmayhdistys 2017.) Yleisin diffuusion suunta on lämpimästä kylmään päin. Kosteus pyrkii siirtymään materiaalin läpi tilaan, missä vesihöyryn osapaine ja ilman absoluuttinen kosteustaso on pienempi. (Siikanen 2014,71.)

#### 5.2.4 Kosteuden kondensoituminen

Kondensoituminen on ilmiö, jossa ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy vedeksi. Tätä kutsutaan myös kastepisteeksi. Tiivistyminen tapahtuu rakenteen pinnassa tai sen sisällä, ilman suhteellisen kosteuden noustessa 100 %:iin vallitsevassa lämpötilassa. (Siikanen 2014, 72.)

Tällöin ilman kyllästymiskosteus ylittyy ja ylimääräinen kosteus tiivistyy materiaalien rajapinnoille. Vesihöyryn haittavaikutusten estämiseksi tulisi rakenteet tehdä lämpimältä puolelta riittävän vesihöyryntiiviiksi ja samalla ne tulee suunnitella siten, että rakenteen vesihöyrynvastus pienenee lämpimästä kylmään päin mentäessä. Näin voidaan hallita rakenteisiin vaikuttavaa ulkopuolista kosteusrasitusta ja mahdollisesti ehkäistä kosteuden tiivistymisen vaikutuksesta aiheutuvat kosteusvauriot rakenteeseen. Rakenteen toimivuuden kannalta on tärkeää, ettei rakennekerroksien väliin sijoiteta materiaalien rajapintoja, joihin kosteus voi sopivissa olosuhteissa kondensoitua.

## 6 Ilmantiiviysmittauksien toteutus

Mittausta edelsi tarvittavien lähtötietojen selvitys, joita ovat mitattavan rakenteen ilmantilavuus ja rakenteen sisäpintojen rajaama rakennuksen vaipan pinta-ala. Vaipan pinta-ala määritetään mitattavan kohteen seinien sisäpintojen mukaisesti. Saatuja lähtötietoja tarvitaan ilmanvuotolukujen n50 ja q50 laske-  
miseksi. Ennen mittauksia on myös tarpeellista selvittää ulkoilman ja sisäilman lämpötila ja kosteusarvot (RH %).

Selvitettävä on myös ulkona vallitsevat tuuliolosuhteet sekä ulkona ja rakennuksen sisällä vallitseva ilmanpaine ja niiden ero. Mittaukseen tarvitaan myös tieto rakennuksessa käytettävästä lämmitys- ja ilmanvaihtomuodosta ja käytössä olevasta järjestelmästä. Ennen mittauksen aloittamista suljetaan ja suojataan ilmatiiviisti erilaiset rakennuksessa olevat läpiviennit kuten ilmanvaihtokanavat, uunin peltien liitokset ja luukut. (Paloniitty 2012, 38-50.)



Kuva 12. Uunin luukkujen ja muiden läpivientien tiivistyksen periaate.

### 6.1 Rakennuksen tiedot:

Rakennuksen lähtötietoja tarvitaan ilmantiivyyden määrittämiseen painekokeen yhteydessä. Tulosten määrittämiseksi selvitettiin seuraavat tiedot kuten taulukossa 3 esitetään.

Taulukko 3. Rakennuksen lähtötiedot ilmanvuotolukujen laskemista varten

<b>Rakennuksen tiedot:</b>	
Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	53
Tilavuus (m <sup>3</sup> )	174
Vaipan-ala (m <sup>2</sup> )	207
Ilmanvaihtojärjestelmä	Painovoimainen
Lämmitysjärjestelmä	Puulämmitys

Rakenteen ilmanvuotolukumittaukset suoritettiin kohteessa kahdella erillisellä mittauskerralla. Näin voidaan todeta käytettyjen materiaalien vaikutus ilmanvuotolukuun.

Lähtökohtaisesti seinärakenteeseen ei lisätty ilmansulkukerrosta, joka olisi rajoittanut enemmän ilmavirran liikettä rakenteen läpi erilaisten paine-erojen vaikutuksesta. Seinärakenne haluttiin toteuttaa mahdollisimman homogeenisellä rakenteella, jossa materiaalien rajapintoja olisi mahdollisimman vähän. Ennen painekokeen suorittamista rakennuksen vaipassa olevat tarkoituksen mukaiset aukot tulee sulkea, kuten ilmanvaihtokanavat, ikkunat, ovet ja mahdollisesti mitattavassa tilassa olevien hormien liitännät kuten luukut ja pellit. Liitäntöjen ja ilmastoitikanavien tiivistys toteutettiin RT80-10974:n ohjeiden mukaisesti.

## **6.2 Mittauksia rajaavat toimenpiteet**

Ennen mittauksien aloitusta törmättiin ongelmaan, miten mitattavan tilan yksi seinä saadaan rajattua pois mittauksesta. Kyseessä oli rakenteen kantava hirsiseinä jolle ei olisi tulossa verhoilua. Kuitenkin tavoitteena oli tutkia eristetyn massiivihirsiseinän toimintaa painekokeen vaikutuksen alla. Kyseinen seinä päädyttiin suojaamaan ja tiivistämään muovikalvolla siten, että mahdolliset ohiuodot pyrittiin rajaamaan mahdollisimman hyvin pois. Tämä suojaaminen toimivasti osoittautui työlääksi ja vaikeasti toteutettavaksi (kuva 13).

Tilan rajaamisen vaikutusta lopullisiin mittaustuloksiin ei voida varmuudella todeta. Rakennetta ei yrityksistä huolimatta saatu täysin ilmanpitäväksi, joten tällä seikalla on oma vaikutuksensa tulosten oikeellisuuteen. Tämä pitää ottaa huomioon tuloksien tulkinnan yhteydessä.



Kuva 13. Mitattavien rakenteiden erottaminen muista tiloista.

### 6.3 Lisäeristämättömän rakenteen mittaus

Kohteessa toteutettiin ensimmäisellä mittauskerralla neljä eri mittaus-  
ten suoritemäärä johtui tiloja rajaavan seinän parhaan suojaamisen toteutus ta-  
van etsinnästä. Tuloksista rajattiin pois kahden mittauksen tulokset. Mittauksis-  
sa saadut tulokset poikkesivat liikaa kaikista mittaustuloksista. Rakenteesta  
määritettiin ilmanvuotoluvut  $n50$  ja  $q50$ . Mittauksien aikana hirsirakenne oli ul-  
kovaipan osalta lisäeristämättä. Tuloksista rajattiin pois ensimmäisen ja neljän-  
nen kierroksen mittaustulokset koska ne poikkesivat liikaa muista mittaustulok-  
sista. Tavoitteena oli vertailla tuloksia niiden keskimääräisyyden perusteella,  
koska poikkeavat mittaustulokset voisivat vaikuttaa lopullisten tulosten arviontiin  
merkittävästi.

## 6.4 Eristetyn rakenteen mittaus

Toinen mittaus toteutettiin ulkovaipan tiivistämisen ja ulkoverhouksen rakentamisen jälkeen. Rakenteiden suojaus pyrittiin toteuttamaan samanlaisena kuin ensimmäisellä mittauksella. Mittauksia suoritettiin toisintona ensimmäisen kerran mittauksista. Toisen mittauksella mittauksista jouduttiin hylkäämään yli- ja alipaine tulokset paljastuneen inhimillisen virheen johdosta. Näin mittaus tulosten ali- ja yli- ja alipaine keskiarvoja ei voida käyttää vertailupohjana. Vertailu suoritettiin alipainetulosten perusteella.

## 7 Mittaustulokset

Tässä osiossa käsitellään painekokeella saadut ilmantiiviysmittaustulokset. Mittaustulosten mahdolliset muutokset on esitetty seuraavissa taulukoissa. Taulukoissa on koottu kaikki mittaustulokset, mutta tarkempi tulosten analysointi on toteutettu alipainemittausten perusteella. Tutkimuksessa käytettyjen mittausten tulokset on esitetty liitteissä 1 ja 2.

### 7.1 Lisäeristämättömän rakenteen mittaustulokset

Tutkimuksissa suoritettua ensimmäisessä mittauksessa ilmanvuotoluvut olivat isoja. Tämä ei sinänsä ollut yllätys, koska eristämättömässä hirsiseinässä vuotoalueet keskittyvät erityisesti nurkkasalvosten ja ovi- ja ikkunaliittymien alueelle.

Taulukko 4. Eristämättömän hirsiseinän painekoetulokset

Suure	Alipaine	Ylipaine
n50 [m <sup>3</sup> /(h·m <sup>3</sup> )]	8,12	13,77
q50 [m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )]	5,21	8,85

## 7.2 Eristetyn rakenteen mittaustulokset

Eristetyn rakenteen mittaustuloksista voidaan havaita muutoksia tuloksissa niin ali- ja ylipainetulosten kohdalla. Tuloksista voidaan havaita mitattujen arvojen lukuarvojen pieneminen niin ali- kuin ylipaineen mittaustulosten osalta.

Taulukko 5. Eristetyn hirsiseinän painekoetulokset

Suure	Alipaine	Ylipaine
n50 [m <sup>3</sup> /(h·m <sup>3</sup> )]	5,05	6,69
q50 [m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )]	4,22	5,59

## 7.3 Mittaustulosten vertailu

Vertailtaessa mittaustuloksia voidaan havaita saatujen arvojen muutoksia positiiviseen suuntaan niin n50- ja q50- arvojen osalta ali- ja ylipaine mittaustulosten osalta. Tuloksista voidaan myös päätellä, että hirsirakenteen lisäeristys ja rakenteen rajapintojen lisäys parantavat kohteessa suoritettuna painekokeen tulosta. Saadut mittaustulokset esitetään taulukossa 6.



Taulukko 6. Mittaustulosten muutosten vertailutulokset

Mittaus tapa	1.mittaus (lisäeristämätön)	2.mittaus (lisäeristetty)	Tulosten muutos
<b>Alipaine</b>			
	Eristämätön	Eristetty	
<b>n50 [m3/(h·m3)]</b>	8,21	5,05	<b>-3,16</b>
<b>q50 [m3/(h·m2)]</b>	5,21	4,22	<b>-0,99</b>
<b>Ylipaine</b>			
	Eristämätön	Eristetty	
<b>n50 [m3/(h·m3)]</b>	13,77	6,69	<b>-7,08</b>
<b>q50 [m3/(h·m2)]</b>	8,85	5,59	<b>-3,26</b>

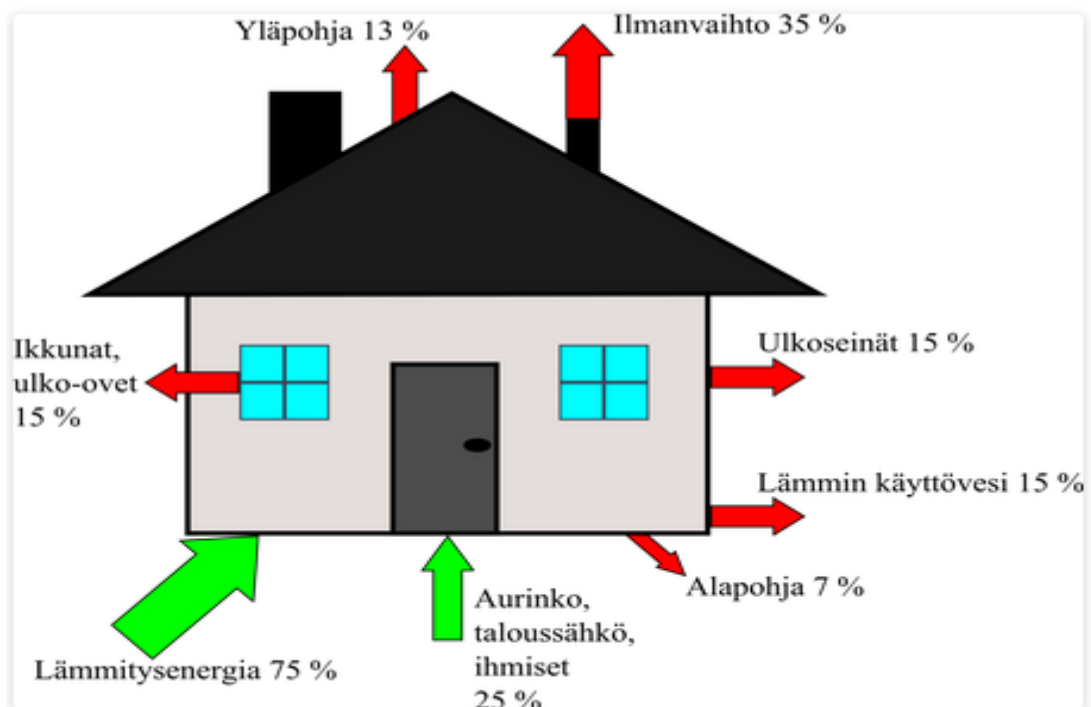
## 8 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa käsitelty hirsiseinän eristäminen pellavamattoa ja tuulensuojalevyä käyttämällä osoittautui rakennerajauksien takia haasteelliseksi toteuttaa. Opinäytetyöni tavoitteena oli tutkia pellavaeristeen käyttämisen vaikutusta hirsirakenteen toimintaan. Saatujen mittaustulosten perusteella voitiin arvioida ilmantiiviyden paranemista ja rakenneratkaisun kosteusteknistä käyttäytymistä. Rakenteen ilmantiiviyys parani kokonaisuudessaan noin 20 %. Ilmantiiviyden paraneminen johtuu rakennekerrosten tiheyksien muutoksista, jotka fysikaalisilla ominaisuuksillaan vaikuttavat ilmanvuotolukuun.

Tässä opinäytetyössä oli tarkoitus vertailla valitun rakenne- ja eristeratkaisun vaikutusta rakennuksen ilmantiiviyteen. Tätä todennettiin ilmantiiviydmittauksella. Tulosten perusteella voidaan tutkia rakenneratkaisun vaikutusta energiankulutuksen kehitykseen. Ennen mittausten aloittamista arveltiin, ettei tutkittavan kohteen ilmanvuotolukua saada pienennettyä alle uudisrakennuksissa vaaditun

ilmanvuotoluvun 4 [m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>)]. Ilmanvuotolukuarvojen raja-arvot on esitetty taulukossa 2.

Työmaaoloissa käsinveistetyissä hirsirakennuksissa muuttujia tiiviiden aikaansaamiseksi on useita. Rakenneosien ja läpivientien toteuttaminen tiiviisti ei poista hirsirakenteen varauksien kautta konvektiolla ja johtumalla tapahtuvaa lämpöhäviötä. Hirsirakenteisten seinien johtumisesta aiheuttamat lämpöhäviöt ovat kokonaisuudessaan noin 15% rakennuksen kokonaislämpöhäviöistä (kuva 14). Näihin lämpöhäviöihin ei ole lisätty hirsiseinän varauksien läpi tapahtuvaa konvektiosta johtuvaa lämpöhäviötä. Todellisuudessa hirsiseinän lämpöhäviöt ovat isommat, mitä kuvassa 14 esitetään. Tämän vuoksi hirsirakenteen energiahävikkiä kompensoidaan parantamalla yläpohjan ja alapohjan lämmöneristystä. Työn tavoitteena oli selvittää rakenteen toimivuuden parantuminen energiatehokkuuden näkökulmasta ja pohtia mahdollisen energiansäästön vaikutusta kyseisen eristysratkaisun toteuttamisesta aiheutuneiden kustannusten takaisinmaksu-aikaan.



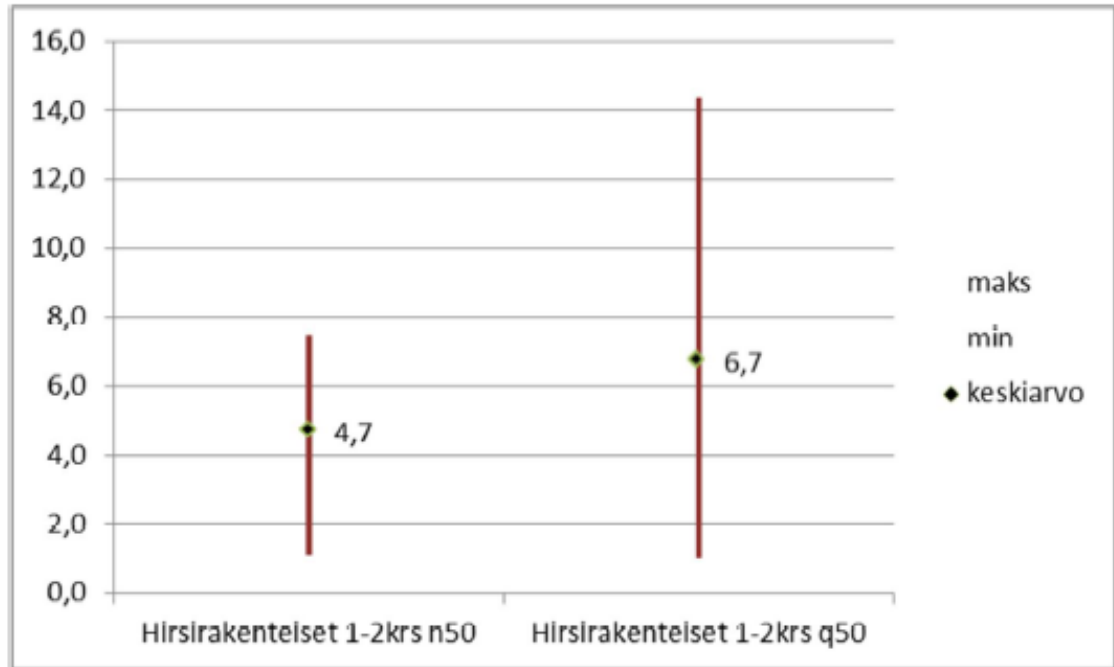
Kuva 14. Rakennuksen johtumisen kokonaislämpöhäviöt (Nollaenergiahiritalo, 2016.)

## 8.1 Ilmantiiviyden muutokset

Saaduista tuloksista vertailtiin q50- mittaustuloksia. Alipainemittaustuloksien vertailun perusteena oli mittausaineiston puutteellisuus ylipainetulosten osalta. Rakennuksissa tavoiteltavana olosuhteena on alipaine, jolloin ilma pyrkii liikkumaan rakennukseen ulkoa sisään päin. Tämä ilmavirran liikkumissuunta tuo mukanaan ilman epäpuhtauksia, joita esiintyy ulkoilmassa ja rakennuksen vai-passa. Tilassa vallitsee samaan aikaan myös ylipaine, mikä aiheuttaa ilman liikkeen rakennuksen vaipan läpi sisältä ulospäin.

Massiivihirsirakenteen tiiviyteen vaikuttavat mm. liitosten tiiviyys ja puun muodonmuutokset erilaisten kosteus- ja lämpöolosuhteiden vaikutuksesta. Hirsirakenteen ilmantiiviyys voi vaihdella vuoden eri aikoina. Tätä tiiviyysvaihtelua esiintyy myös liimatussa höylähirressä mutta vähemmissä määrin. (Koponen 2011,17.)

Ilmantiiviyysmittausten perusteella voidaan todeta, että hirsirakenteen eristäminen pellavamatolla ja tuulensuojalevyllä parantaa rakenteen ilmanpitävyyttä. Mittaustulosten vertailussa jouduttiin hylkäämään osa ylipaineella toteutetuista mittauksista virheellisen mittaussuorituksen johdosta. Lisäksi mitattavan rakenteen rajaaminen pois muista rakennuksen tiloista aiheuttaa tuloksiin epätarkkuutta. Saaduissa mittaustuloksissa esiintyy poikkeamaa johtuen tilaa rajaavan seinän vuotokohdista. Seinärakennetta ei saatu mittausten aikana riittävän tiiviiksi, jotta tämä olisi voitu jättää kokonaan huomiotta. Mittausten aikana seinästä tapahtunut ohivuoto vaikuttaa omalta osaltaan tuloksiin heikentävästi. Tarkastelusta on rajattu pois painekoetulokset, joissa oli suurimmat poikkeamat tulosten keskiarvoon nähden. Tuloksia tarkastellessa voidaan todeta rakenteen toiminnan, ilmantiiviyden osalta olevan keskimääräisellä tasolla. (kuvio 7.)



Kuva 15. Hirsirakennusten ilmantiiviudenmittaustulosten tuloksia. (Immonen 2013,54.)

Kohteessa toteutetuissa mittaustuloksissa voitiin havaita muutoksia niin q50- kuin n50- mittaustuloksissa. Tutkimuksessa mitattujen tulosten välinen muutos oli noin 20 prosenttia, eli mitattuja arvoja vertailtaessa viimeisimmän painekokeen mittaustulokset olivat parantuneet.

Rakenteessa tapahtunut ilmantiiviuden paranemisen muutos selittyy uusien rakennekerrosten rajapintojen vaikutuksesta. Koska rakenteeseen ei lisätty suoraista ilmansulkukerrosta niin ei voida olettaa, että rakennuksen ilmantiiviyys olisi parantunut merkittävästi. Työn tavoitteena olikin tutkia työssä käsiteltävien rakenteiden vaikutusta hirsirakenteiden toimintaan.

Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetussa rakenteessa suuri ilmanvuotoluku ei ole niin haitallinen kuin koneellisilla järjestelmillä varustetuissa rakennuksissa, koska rakennukseen vaikuttava sisäinen alipaine on pienempi kuin koneellisesti toteutetussa ilmanvaihdossa. Rakennuksesta koneellisesti poistettava ilmamäärä on isompi kuin painovoimaisella järjestelmällä. Korvausilman saanti tapahtuu hallitusti valittuja reittejä pitkin. Suuret vaipan läpi tapahtuvat ilmavuodot altista-

vat rakennusten sisäilman alttiiksi ulkoilman epäpuhtauksille käytettäessä koneellista ilmanvaihtoa.

## 8.2 Vaikutus energiankulutukseen

Rakenteen läpi hallitsemattomasti liikkuvalla ilmavirralla on vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen, koska rakenteen läpi hallitsemattomasti virtaava ilma viilentää tiloja ja samalla lisää lämmitysenergian tarvetta. Seuraavassa on arvioitu rakennuksen tutkitun rakennusosan energiankulutusta.

Laskelmissa on arvioitu myös rakenteiden muutosten aikaan saamaa energiansäästöä ja aiheutuneiden kustannusten takaisinmaksuaikaa. Laskelmat on toteutettu Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 (2012) mukaan. Tuloksista voidaan todeta 19 prosentin muutos energiankulutuksessa ja kustannuksissa vuositasolla sekä voidaan arvioida rakennuskustannuksien takaisinmaksuajan olevan arviolta noin 12 vuotta.

Rakenteiden ilmavuotojen kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia  $Q_{vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 1.

$$Q_{vuotoilma} = H_{vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (1)$$

missä,

$Q_{vuotoilma}$  = vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$H_{vuotoilma}$  = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

$T_s$  = sisäilman lämpötila, °C

$T_u$  = ulkoilman lämpötila, °C

$\Delta t$  = ajanjakson pituus, h

1000= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

(Paloniitty 2012,18.)

Vuotoilman aiheuttaman ominaislämpöhäviö  $H_{vuotoilma}$  määrää lasketaan kaavalla 2.

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_v \quad (2)$$

missä,

$H_{\text{vuotoilma}}$  = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

$\rho_i$  = ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_v$  = Vuotoilma vuotoilmavirta, m<sup>3</sup>/s (3)

(Paloniitty 2012, 18.)

Vuotoilman vuotoilmavirta  $q_v$  lasketaan kaavalla 3.

$$q_v \text{ (vuotoilma m}^3\text{/s)} = (q_{50} / 3600 * X) * A_{\text{vaippa}} \quad (3)$$

missä,

3600 = kerroin muutokseksi tunneista sekunneiksi

$A_{\text{vaippa}}$  = Rakennuksen vaipan pinta-ala sisäpintojen mukaan

$X$  = kerroin:

1-kerroksinen 35,

2-kerroksinen 24,

3-4-kerroksinen 20,

5 ja sitä korkeammille 15.

Tässä laskennassa  $X$ -kerroin on 35 (D3 2012,23)

$X$ -kerroin perustuu kenttäkokeiden tuloksiin. Kertoimella muutetaan 50 Pa paine-erolla tapahtuva ilmavuotomäärä vastaamaan normaalia käyttötilanteen paine-eron ilmavuotomäärää. (Paloniitty 2012,18.)

Tuloksiksi saatiin mitattujen eristämättömän ja lisäeristetyn rakenteen vuotoilman perusteella tulokset, jotka esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Lisäeristämisen vaikutus energiankulutukseen.

Energian kulutuksen muutokset:		
Eristämätön	5745,886	kWh/V
Lisäeristetty	4654,057	kWh/V
Muutos	1091,829	kWh/V
Kulutuksen muutos%	19,0	%
Energian hinta	0,2	e/kWh
Säästö vuositasona	218,3657	e/vuosi

Rakenteen energian kulutuksen tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 7.

Laskennan tuloksista voidaan havaita energiankulutuksessa noin 1100 kWh:n muutos vuositasona eristämättömän- ja lisäeristetyn rakenteen välillä. Rakennuksen energiankulutus pienenee laskelmien perusteella 19 prosenttia. Tällaisissa kohteissa jo pienet muutokset rakennusten asumismukavuudessa voivat olla merkittäviä kuitenkin säilyttäen rakennuksen arvon (kuva 16). Muutoksen vaikutusta voidaan myös pohtia vanhojen rakennusten korjaamisen yhteydessä. Tässä opinnäytetyössä käsitellyillä ratkaisuilla on pieni vaikutus rakennuksen ulkonäköön, joka voi jossain tapauksissa olla rakennushistoriallisesti arvokas ja jo kaavamääräysillä suojeltu.



Kuva 16. Hirsikehikko ulkoverhoiltuna

### 8.3 Rakenteen kosteustekninen toiminta

Rakennuksessa oleva vesihöyry voi liikkua rakenteessa molempiin suuntiin riippuen vallitsevista painesuhteista. Sisäilmassa oleva kosteus liikkuu paineeroista johtuvalla konvektiolla hirsiseinän varauksista kohti pienempää vesihöyryn painetta. Rakenteessa tapahtuu myös diffuusion aiheuttamaa kosteuden siirtymistä rakenteessa. Diffuusion vaikutus kosteuden siirtymisessä on kuitenkin pienempi verrattuna konvektioon.



Konvektion aiheuttamaa kosteusvirtaa ( $Q$ ) hirsienvarausten läpi voidaan arvioida kaavan 4. avulla.

$$Q = b^3 l \Delta p / (d^{12} \eta) \quad (4)$$

missä,

$b$  = raon leveys

$l$  = raon pituus

$d$  = raon syvyys

$\eta$  = ilman viskositeetti

$\Delta p$  = paine ero

Laskelmat konvektion ja diffuusion vaikutuksesta on esitetty liitteessä 8. ja 9. (Koponen 2011, 19; Björkholtz 1997, 64-65.)

Tarkasteltaessa konvektiolla tapahtuvaa kosteusvirtaa hirrenvarauksen läpi havaittiin että 1 metrin matkalla, 3mm korkuisen raon läpi kulkeutuva kosteusmäärä on noin 12,5g/viikossa.

Tarkasteltaessa kehikon ulkovaipan osalla tapahtuvaa konvektiovirtauksen määrää, ulkoseinällä olevien varausten pituus on 300 metriä. Tästä voidaan laskea kosteusrasitus koko vaipanalueelle, joka on noin 3750g/vk. Hirsienvarausten kautta voi kulkeutua kosteutta koko ulkovaipanalueella noin 3,7 litraa viikon aikana.

Rakenteen kosteuskäyttäytymistä arvioitiin myös diffuusion aiheuttaman kosteusrasituksen vaikutuksen alaisena. Laskut toteutettiin käsin laskentana käyttäen hyväksi Excel-ohjelmistoa. Käsin laskennassa käytettiin lähtötietona kahden kylmimmän ja lämpimimmän kuukauden lämpötilojen keskiarvoja. Tämä tarkastelu perustuu rakenteessa eri materiaalien:

- Vallitseviin lämpötiloihin rakenneosien rajapinnoissa
- Rajapinnoissa esiintyvien osapaineiden vertailuun suhteessa rajapinnassa olevaan lämpötilan kyllästymispaineeseen ( $P_x < P_k$ )
- Rajapinnoissa esiintyvä osapaineen ( $P_x$ ) on oltava pienempi kuin rajapinnan kyllästymispaine ( $P_k$ ). Osapaineen ollessa suurempi tapahtuu kosteuden tiivistymistä rajapintoihin.

Laskelmien tulosten perusteella voidaan tulkita, että rakenteeseen ei tiivisty kosteuta laskettujen ajanjaksojen aikana. Käytettyjen materiaalien sorbtiokyky on suuri jolloin, materiaaleilla on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta olosuhteiden mukaan. (Björkholtz 1997,60.)

Tuloksista voidaan kuitenkin tulkita, että talvikauden laskennan aikana RH % pellavan ja tuulensuojalevyn rajapinnassa nousee 74 %:iin. Kosteuden tiivistymistä rakenteeseen ei vielä tapahdu mutta jos RH % rajapinnoilla nousee yli 75%:n on tällöin suotuisat olosuhteet mikrobikasvuston muodostumiselle materiaalikerrosten rajapinnoille. Kasvusto tarvitsee syntyäkseen riittävät lämpö- ja kosteusolosuhteet. (Björkholtz 1997,60.) Hirsiseinien ilmanpitävyyden puutteellisuutta voidaan kompensoida hyvän ilmantiiviuden omaavilla ylä- ja alapohja rakenteilla. Rakenteen mahdollisten tiivistystoimien tulisi sijoittua erityisesti hirsirakenteessa nurkkasalvosten ja ikkuna- ja oviliittymien alueelle. Näillä alueilla rakenteessa esiintyy eniten ilmavuotoja rakennuksenvaipan läpi.

#### **8.4 Loppukäyttäjän kokemukset**

Tutkimuksen osaksi kuului myös kysely rakenteen ja ratkaisujen toiminnasta rakennuksen loppukäyttäjälle. Näin saatiin kerättyä kokemuksia rakenteen toimivuudesta eri vuoden aikoina. Rakennustekninen toiminta on korjautunut kyselyn perustella seuraavilla osa-alueilla:

- Rakennuksen ilmanäänieristävyys on parantunut
- Rakenteessa esiintyvä vuotoilmavirtaus on rauhoittunut. ns. vedon tunne on poistunut.
- Tilan asumisviihtyisyys ja asumismukavuus on kokonaisuutena parantunut.

Kyselyn tuloksista voidaan todeta, että jo pienillä rakenteen muutoksilla voidaan vaikuttaa positiivisesti tilan asumisviihtyvyyteen. Vaikka tilan tekninen toiminta ei olekaan ilmanvuotoluvun osalta tavoitellulla tasolla, saavutettiin kokonaisuutena parannusta muilla asumisviihtyvyyttä lisäävillä osa-alueilla kuten rakenteen ääneneristävyiden paranemisella.

### **8.5 Rakenteen ääneneristävyiden muutokset**

Kerrosten lisääminen hirsiseinään ilman suoranaista ilmansulkukerrosta parantaa rakenteen toimivuutta kokonaisvaltaisesti niin rakenteen ilmantiiviyden kuin äänitekniisten ominaisuuksien kannalta. Tämä muutos on vähäinen. Käyttäjahaastattelun perusteella rakenteen ilmanääneneristysominaisuudet ovat parantuneet alkuperäisestä. Tämä parannus selittynee rakenteen massan ja eri rakennekerrosten rajapintojen lisääntymisenä. Lisäksi muutos parantaa rakenteen äänitekniisiä ominaisuuksia. Ääneneristävyttä ei ole mitattu erikseen vaan tulosten analysointi perustuu rakennuksen käyttäjille teetettyyn kyselyyn muutosten vaikutuksista asumisviihtyvyyteen.

### **8.6 Tulokset kokonaisuutena**

Vaikka rakenteen ilmanvuotoluvun paraneminen jäi prosentuaalisesti mitattuna 20 prosenttiin, pellavamaton ja tuulensuojalevyn yhdistelmällä päästiin ns. paranneltuun hirsirakenteeseen eli rakenne vastaa lämmöneristysominaisuuksiltaan paksumpaa hirsiseinää. Rakenne ei aivan vastannut tiiviysominaisuuksiltaan sellaista, jota alkujaan lähdin tavoittelemaan.

Vanhojen hirsitalojen kunnostusprojekteissa on tehty vuosien varrella seuraavia havaintoja. Talot joihin, on asennettu hirren ulkopintaan paperi, materiaalina on käytetty tervapaperia, sanomalehtipaperia sekä rakennusajankohdan rakennuspaperia. Korjauskohteissa on havaittu usein mikrobivaurioita paperin ja hirren ulkopinnan välissä (kuva 17). Nämä havainnot pohjautuvat useilla restauroidityömailla tehtyihin näköhavaintoihin hirsirakenteiden kunnosta ja erilaisten materiaalienkäytön toimivuudesta. Ongelmia on havaittu osassa kunnostettuja rakennuksia, mutta on myös monia korjattuja rakennuksia, joissa hirren ja paperin välissä ei ole esiintynyt mikrobikasvustoa. Vaurioiden syntymekanismi ja syy pitää selvittää aina tapauskohtaisesti. Vaurioiden esiintyminen paperin ja hirren ulkopinnan välissä voi johtua seuraavista seikoista:

- Eristämättömissä rakenteissa viistosateen ja ulkopuolisen kosteuden pääsy hirren ja paperin väliin.
- Eristetyissä rakenteissa mahdollisesti useita tiiviitä rajapintoja joihin rakenteen ulko- ja sisäpuolinen kosteus voi tiivistyä rakenteeseen lämpötilaerojen ollessa suotuisat. Vesihöyry kulkeutuu rakenteeseen painerojen aiheuttaman konvektion välityksellä hirsien varausten kautta.
- Rakenteen puutteellisesta tuuletuksesta verhouslaudoituksen ja hirsiseinään välissä.



Kuva 17. Vaurioitunut hirsirakenne tervapaperin alla.

Varsinkin painovoimaisella ilmanvaihdolla olevissa hirsirakennuksissa voi sisäilma olla ylipaineinen ja tämä vaikuttaa ilmavirran suuntaan haitallisesti. Ilmavirta kuljettaa huonetilassa olevaa kosteutta rakenteen läpi ulospäin. Näissä olosuhteissa voi esiintyä kosteuden tiivistymistä rakennuspaperin ja hirren väliin. Kosteuden tiivistymistä hirteen voi tapahtua lämpötilan ollessa sopiva (kastepistelämpötila), vaikka käytettäisiinkin diffuusioavointa paperia.

Rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä selvitettiin laskelmin. Näissä laskelmissa havaittiin, että rakenteeseen ei tiivisty kosteutta talvi- eikä kesä laskentakaudella. Kuitenkin konvektion ja diffuusion yhteisvaikutus edesauttaa tuulensuojalevytyksen rajapinnan suhteellisen kosteuden nousun lähelle 75 prosenttia, jolloin mikrobikasvuston syntyminen rajapinnalle on mahdollista. Konvektion aiheuttaman kosteusvirran tiivistymistä rakenteeseen tapahtuu sil-

loin kun tiivistymiskohdan lämpötila on alhaisempi kuin ohivirtaavan ilman kastepistelämpötila. (Björkhotz 1997,76.)

Ilmansulkupaperia käytettäessä tulisi rakennuksen ulkovaipassa käyttää paksumpaa eristekerrosta, kuin jota tässä työssä on tarkasteltu. Näin voidaan rakenteeseen syntyvä kastepiste saada mahdollisimman kauas hirsirakenteen ulkopinnasta. Rakenteet on eristettävä avoahuokoisella lämmöneristeellä ja jättää verhouksen ja eristekerroksen väliin riittävän suuri tuuletusrako. Tuloksista voidaan havaita kerrosten lisäyksen poistavan vedon tunnetta ja saavan näin aikaan suotuisimmat asuinolosuhteet.

## 9 Pohdinta

Tätä työtä aloittaessani mietin työni tavoitteita ja sen toteutusta niin, että siitä olisi jotain hyötyä hirsitalojen kanssa toimiville yrityksille kuin yksityisille hartiapankkirakentajillekin. Ajatuksena oli tuottaa tietoa rakenteen toiminnasta käytännössä ja mahdollisia uusia rakenneratkaisuja toteuttamisen tueksi. Työni tavoitteena oli tutkia pellavaeristeen ja tuulensuojalevyn yhteisvaikutusta hirsiseinän rakennusfysikaaliseen toimintaan. Tutkimusta toteutettiin käyttämällä apuna ilmantiiviysmittaustuloksia ja niiden analysointia. Rakenteen ilmantiiviyys parani 20 prosenttia alkuperäisestä. Tämä parannus on hyvä tulos, koska rakenteessa ei käytetty erillistä ilmansulkukerrosta. Vaikka mitatut tiiviystulokset olivat suuria verrattuna rankarunkoistenomakotitalojen tiiviysmittaustuloksiin. Kun verrataan saatuja tuloksia hirsirakennuksista saatuihin tutkimustuloksiin. Kohteen tiiviyys osoittautui keskivertoa paremmaksi (kuva 15).

Tutkimusten mukaan käsinveistettyjen hirsirakenteiden ilmantiiviystulokset ovat huomattavasti huonompia kuin vastaavissa teollisesti tuotetuissa hirsirakennuksissa tai uusissa rankarunkoisissa omakotitaloissa. Kuitenkaan ei pitäisi tuijottaa ainoastaan ilmantiiviyden arvoja vaan pitäisi pystyä tarkastelemaan hirsirakennusta toimivana kokonaisuutena asumisviihtyvyyden, terveellisyyden sekä

toiminnallisuuden näkökulmista. Lähdeaineistoon tutustuessani törmäsin usein seuraavaan lauseeseen.

Massiivirakenteet, kuten hirsirakenteet tulisi lämmöneristää aina ulkopuolelta hyvin vesihöyryä läpäisevällä avosoluisella eristeellä. (Vinha 2013,183.)

Työn tavoitteena oli myös löytää erilaisia vaihtoehtoja ulkopuoliselle lämmöneristykselle ja vertailla niiden toimintaa rakennusfysiikan ja ulkonäköseikkojen kannalta. Rakenteen toimivuuden kannalta yläpohjan ja alapohjan ilmansulkujen liittymät ovat avainasemassa ilmansulkukerroksen toimivuuden kannalta. Tulosten perusteella olisi tavoitteena kehittää kyseisiä liittymisratkaisuja paremmaksi. Tutkimuksen lähtökohtana oli pellavaeristeiden käyttö hirsirakenteiden lämmöneristyksessä. Ulkopuoliselle lämmöneristykselle löytyy vaihtoehtoja mm. selluvillaeristys hirsiseinän ulkopuolelle tai eristys käyttämällä paksumpaa pellavaeristettä ja tuulensuojalevytystä.

## **9.1 Ilmatiiviimmät rakenteet**

Kaikille tässä opinnäytetyössä käsitellyille rakenneratkaisuille on yhteistä se, että sisäpuolen hirsiseinä jää näkyviin. Hirsien esille sisäpuolella jättäminen vaikuttaa rakenteen ilmanvuotolukuun heikentävästi, koska rakennuksen vaipan tiiviyttä ei saada käsin veistetyssä massiivihirsirakenteessa riittäväksi tällä eristeratkaisulla muuten kuin asentamalla erillinen ilmasulkukerros rakenteeseen.

Rakenteessa varauksien tilkkeenä käytetyn pellavan ilmanpitävyyskyky ei pärjää nykyisille solukumi ja muille teollisesti tuotetuille materiaaleille ilmantii viysominaisuuksiltaan, kuten Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksessa myös todetaan (Vinha 2009, 22.).

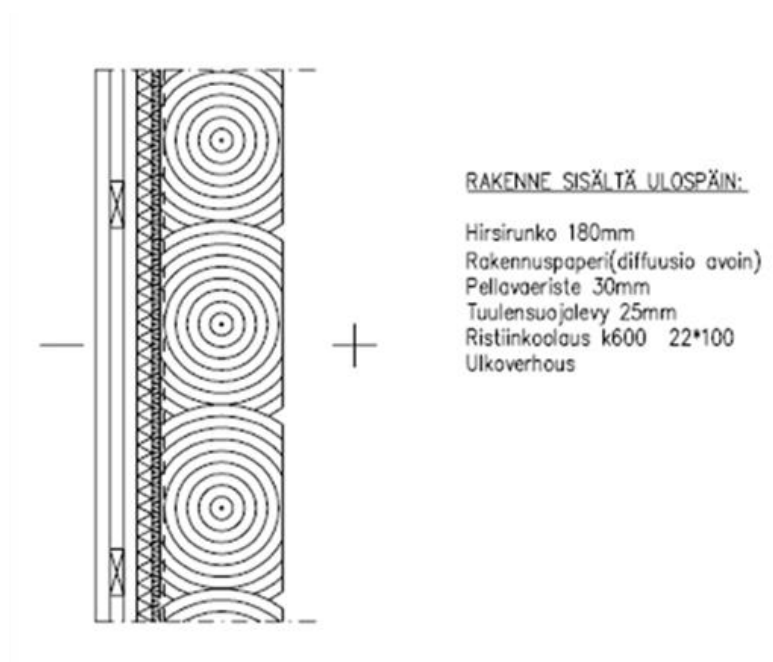
## 9.2 Vesihöyryä läpäisevän paperin käyttö hirren ulkopinnassa

Jos rakenteen ilmatiiviyttä haluttaisiin parantaa, rakenteeseen tulisi asentaa ilmansulkukerros hirren ja eristekerroksen väliin. Ilmansulkuna tulisi käyttää kerrosta jonka vesihöyrynläpäisevyys kyky on suuri, kuten tällaiset omaisuudet omaavalla rakennuspaperilla. (Vinha 2016.)

Ilmansulkukerroksen päälle asennetaan paksumpi eristekerros esim. märkäpuhallettava selluvillaeriste tai paksumpi pellavaeristelevy. Rakenteeseen asennettavan eristekerroksen paksuudella on vaikutusta kastepisteen sijaintiin. Kastepisteessä, ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy lämpötilan muutoksen vaikutuksesta vedeksi rakenteessa oleville rajapinnoille.

Ilmantiiviyden parantamiseksi rakenteeseen tulisi lisätä diffuusioavoimen rakennuspaperin pellavan ja hirren väliin (kuva 18). Näin rakenteen ilmantiiviyttä voidaan parantaa ulkopuolisella ilmansulkukerroksella. Kuitenkin rakennuksessa oleva lämmöneristekerros on ohut, joten talvikuukausina rakenteessa sijaitseva kastepiste siirtyy hirren pintaan, tällöin on riski, että paperin ja hirren väliin joutunut kosteus tiivistyy ja jäätyy paperin ja hirren väliin. Tämä on kuitenkin epätodennäköistä, koska hirsi massiivisena rakenteena varaa itseensä lämpöä ja rakenteen läpi tapahtuva lämpövirta omalta osaltaan saa aikaan mahdollisen kosteuden kuivumisen rakenteesta. Toinen kosteuden tiivistymiseen vaikuttava seikka on se, että rakennukset ovat lämmityskautena pääosin alipaineisia, jolloin ilmavirran suunta on ulkoa sisälle päin.





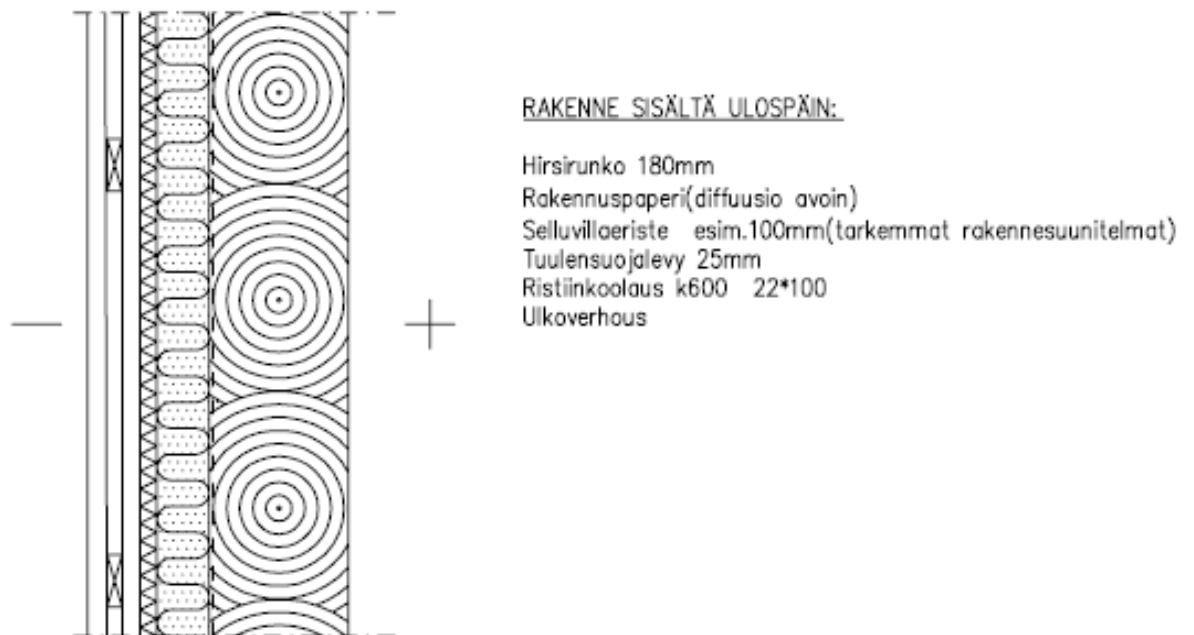
Kuva 18. Rakenneleikkaus lisättyllä ilmansulkupaperilla

Edellä mainituissa ratkaisumalleissa on lisätty rakennuspaperi hirsirakenteeseen, joten voidaan päätellä, että rakenteen ilmantiiviys paranee. Rakennerratkaisujen toimivuutta voidaan pohtia rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta. Tarkempien mittaustulosten ja analyysien saamiseksi käsinveistettyjä massiivihirsirakennuksia niin uusia kuin vanhojakin tulisi korjata erilaisilla menetelmillä ohjatusti ja suunnitellusti. Lisäksi ennen rakenteiden korjaamista tulisi suorittaa ns. esikartoitusmittaus ko. kohteeseen ja korjaustyön suorittamisen jälkeen mitaukset tulisi toistaa. Näin erilaisten rakennerratkaisujen vaikutusta ja toimivuutta voitaisiin vertailla käytännössä.

Laajemmissa tutkimuksissa on mitattu erilaisia luonnonmukaisilla eristeillä eristettyjä rakennuksia. (Vinha ym. 2009, 20.) Tutkimuksissa ei kuitenkaan sen tarkemmin paneuduttu erilaisten tiivistystapojen vaikutukseen eri aikakausien hirsirakennuksissa Tästä johtuen eri rakennerratkaisuiden todellista toimivuutta on vaikea arvioida. Ilmantiiviuden kannalta paras vaihtoehto olisi, että rakennuksen vaipan sisäpintaan asennettaisiin ilmansulkupaperi ja rakennuslevy esim. huokoinen sisäverhouslevy, joiden saumat tiivistettäisiin teippaamalla ilmanpitäväk-

si. Näin rakenteessa tapahtuvaa ilmavirran liikettä pystyttäisiin paremmin hallitsemaan kuin edellisessä rakenneratkaisuvaihtoehdoissa.

Toinen vaihtoehto rakenteen toteuttamiseen on käyttää selluvillaeristettä. Tämä soveltuu hyvin etenkin uusien hirsirakenteiden eristykseen. Korjauskohteissa rakennuksen ulkovaipan paksuntaminen aiheuttaa muutoksia rakennuksen ulkonäköön ja muutosten vaikutus on otettava huomioon korjausta suunniteltaessa.



Kuva 19. Rakenneleikkaus hirsiseinän eristämisestä selluvillaeristeellä tai paksulla pellavaeristeellä.

Kuvissa 18.& 19. esitetyissä rakenneratkaisuissa on hirsirakenteen lisäeristäminen toteutettu ulkopuolelle rakennetta siten, että on mahdollista jättää hyväkuntoinen hirsiseinä näkyviin nykyajan hengen mukaisesti ottaen huomioon tavoite rakenteen ilmantiiviyden parantamisesta. Rakenteiden liitosten toteutukseen ja tiivistämiseen tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota, koska vuotoilman liikettä pitäisi pystyä hallitsemaan entistä paremmin.

Hirsiseinä on umpiseinän osuudeltaan tiivisrakenne, kun hirret ovat painuneet paikoilleen. Ulkopuolisen ilmansulkupaperin käyttöä voisi pohtia osittaisilla alueilla hirsiseinässä. Näitä alueita, joissa erillistä lisätiivistystä voisi käyttää olisivat nurkka-alueet, sekä ikkunoiden ja ovien liittymät hirsiseiniin. Varsinkin ikkunoiden ja ovien vaihtojen yhteydessä pitäisi liittymien tiiviyyteen ja toteutukseen kiinnittää huomiota. Liitosten saaminen tiiviiksi vaatii tarkkuutta etenkin ikkunoiden ja ovien yläreunoissa johtuen hirsirakenteissa tarvittavan painumavaran aiheuttamasta raosta. Liitoskohtien tiivistykseen voi käyttää joko ilmansulkupaperia tai höyrynsulkumuovia riippuen rakennuksen höyryn- tai ilmansulun toteuttamisen tavasta. Varsinkin vanhojen kulttuurihistoriallisesti arvokkaiden hirsitalojen korjaus- ja restaurointitöissä pitäisi pyrkiä rakenteiden korjaamiseen sen arvon säilyttävällä tavalla. Rakennuksen toimintaa tulisi parantaa sellaisilla ratkaisuilla, jotka edesauttavat rakenteen säilymistä myös tulevaisuudessa.

Käytettäessä suuren vesihöyrynläpäisevyyden omaavia materiaaleja ja riittäviä tuuletusrakoja ulkoverhouksen takana ei ulkopuolisen paperin asentamiselle hirren ja eristekerroksen väliin olisi estettä. Hirsirakenne kykenee tasaamaan suurimpia kosteusvaihteluita ja rakenteessa esiintyvä lämpövuoto myös kuivattaa mahdollista rajapinnoille tiivistyvää kosteutta.

### **9.3 Yhteenveto**

Tulosten perusteella tutkitulla pellavaeristeratkaisulla on osuutta rakennuksen ilmantiiviyden sekä rakenteen ääneneristysominaisuuksien paranemiseen. Saatujen tulosten pohjalta voidaan todeta pellavan olevan käyttökelpoinen materiaali hirsirakennusten ulkopuolisessa lämmöneristyksessä. Hirren ja eristekerroksen väliin lisättävällä paperilla on puolensa. Se pienentää rakennuksen ilmanvuotolukua ja näin ollen se vaikuttaa positiivisesti asumisviihtyisyyteen ja rakennusfysikaaliseen toimintaan. Erillisen ilmansulkukerroksen asentaminen rakenteeseen hirren sisäpintaan verhouslevyn alle tai ulkopintaan eristekerroksen ja hirren väliin on kuitenkin rakennusfysikaalisesti varmempi ratkaisu.

Kerroksen lisääminen vaikuttaa hallitsemattomien ilmavuotojen määrään rakenteessa ja samalla pienentää mahdollisen kosteuden tiivistymisen riskiä, joka aiheutuu konvektion aiheuttamasta kosteusvirrasta rakenteeseen. Ulkopuolisen lisälämmöneristämisen ja ilmansulkukerroksen toteuttaminen hirsitaloissa täytyy kuitenkin aina suunnitella ja toteuttaa tapauskohtaisesti. Omalta osaltaan vanhassa tai ns. uusivanhassa hirsitalossa asuminen on arvovalinta, jonka jokainen tekee henkilökohtaisesti. Rakenne ja siihen toteutettavat ratkaisut eivät ehkä toimi nykynormien mukaan optimaalisella tavalla, mutta rakennetut hirsirakennukset säilyvät sukupolvilta toisille yksinkertaisten ratkaisujen ja rakenteiden ansiosta.

## Lähteet

- Aho Hanna & Korpi Minna. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 141.
- Björkholtz, Dick. 1997. Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka. Helsinki rakennustieto Oy.
- Immonen Markus. 2013. Rakennuksen vaipan ilmantiiviyden vaikutus energiatehokkuuteen. Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakentamisen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Helsinki.
- Kauppinen Timo & Paloniitty Sauli. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Jyväskylä. Rakennusteollisuuden kustannus Oy.
- Koponen Juha. 2011. Hirsitalojen rakenteiden ja liittymien toimivuus. Itä-Suomen yliopisto. Aducate Reports and Books. Kuopio.
- Nollaenergiahirsi. 2016. <http://www.nollaenergiahirsi.fi/johdanto/>. luettu 25.1.2017.
- Paloniitty Sauli. 2012. Rakennusten tiivysmittaus. Suomen Rakennusmedia Oy. Helsinki.
- Puuinfo 2016. Rakenteiden U-arvo laskurit. [www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi). luettu 22.2.2017.
- Rakentamismääräyskokoelma. D2. 2012. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Rakentamismääräyskokoelma C3. 2010. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Rakentamismääräyskokoelma C4. 2012. (Luonnos). Ympäristöministeriö. Helsinki.
- RIL 255. 2013. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. [http://www.ril.fi/media/luku9\\_rakennusmateriaalit\\_28062013.pdf](http://www.ril.fi/media/luku9_rakennusmateriaalit_28062013.pdf). 22.2.2017.
- RT80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustieto Oy. Helsinki.
- Siikanen Unto. 2014. Rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy. Helsinki.
- Sisäilmayhdistys. 2016. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveellisetilat/Kosteusvauriot/Kosteustekniikan-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>. luettu 22.2.2017.
- Tyrväinen Hannu. 2015. Karelia ammatti-korkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Rakennusfysiikan opintojakson luentomuistiinpanot ja harjoitustyöt.
- Vinha Juha & Laukkarinen Anssi ym. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 159.
- Vinha Juha & Korpi Minna ym. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilma ja energiatalous. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 140.
- Vinha Juha, ym. 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 129.
- Vinha Juha. 18.5.2016. Rakenna Oikein. <http://www.rakennaoykein.fi/vanhjojen-ulkoseinien-lisaeristaminen-99896/uutiset.html> luettu 22.2.2017
- Valokuvat Aku Paulman omat arkistot 2010-2016

**BUILDING LEAKAGE TEST**

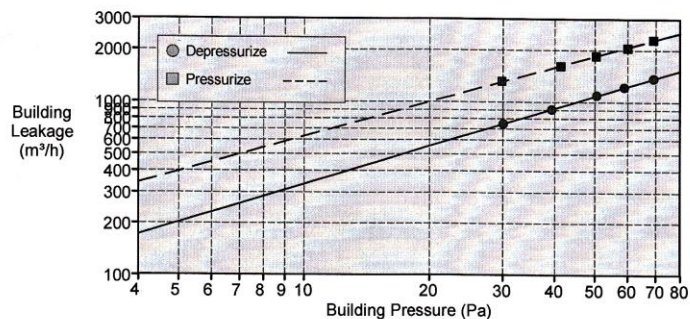
Date of Test: 21.4.2015	Technician: RTi	
Test File: Untitled		
Customer: Aku Korhonen	Building Address: Omakotitalo	
Joensuu, 80170		
Phone:		
Fax:		

	Depressurization	Pressurization	Average
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m³/h)	1079 (+/- 0.1 %)	1832 (+/- 0.5 %)	1456
n50: Air Changes per Hour (1/h)	8.12	13.77	10.94
w50: m³/(h*m² Floor Area)	20.36	34.57	27.47
q50: m³/(h*m² Surface Area)	5.21	8.85	7.03
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	372.6 (+/- 0.4 %)	700.2 (+/- 3.0 %)	536.4
cm²/m² Surface Area	1.80	3.38	2.59
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	184.3 (+/- 0.7 %)	366.9 (+/- 4.6 %)	275.6
cm²/m² Surface Area	0.89	1.77	1.33
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv)	61.7 (+/- 1.1 %)	135.7 (+/- 7.0 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	62.3 (+/- 1.1 %)	135.4 (+/- 7.0 %)	
Exponent (n)	0.729 (+/- 0.003)	0.666 (+/- 0.018)	
Correlation Coefficient	0.99998	0.99895	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	22 °C	Volume:	133 m³
Outside Temperature:	9 °C	Surface Area:	207 m²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	53 m²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	1 %
Type of Heating:	Puulämmitys	Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:	Painovoimainen ilmanvaihto		
Type of Ventilation:	None		



**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2**

Date of Test: 21.4.2015 Test File: Untitled

**Comments**

Massiivihirsirakenteinen osa rajattiin rakennuksesta mittausalueeksi.  
Lisättiin välisosan ulkopuolelle lisätiivistystä. Rajausta parannettiin.

**Data Points: Depressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-0.4	n/a				
-69.8	27.5	1410	1366	-0.0	Ring A
-59.5	243.9	1253	1215	-0.1	Ring B
-51.2	196.1	1125	1090	0.2	Ring B
-40.0	135.4	935	907	-0.0	Ring B
-30.7	91.1	769	745	-0.1	Ring B
-0.9	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.5 p01+ = 0.1 p02- = -0.9 p02+ = 0.0

**Data Points: Pressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-0.5	n/a				
68.4	69.9	2237	2291	1.0	Ring A
59.3	55.5	1996	2044	-0.9	Ring A
49.6	45.0	1800	1843	0.4	Ring A
40.7	34.2	1572	1609	-0.2	Ring A
29.1	254.3	1280	1310	1.2	Ring B
-0.9	n/a				

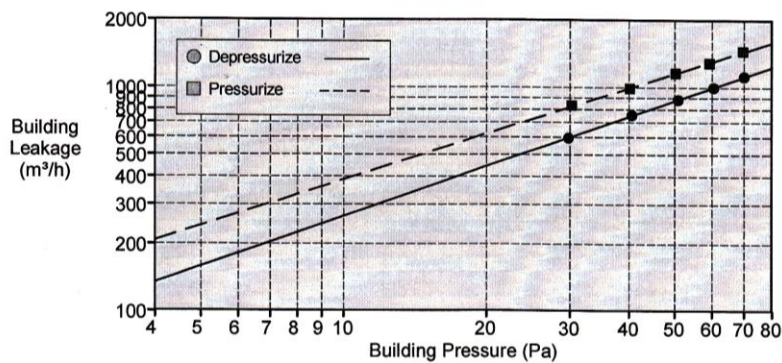
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.5 p01+ = 0.0 p02- = -0.9 p02+ = 0.0

**BUILDING LEAKAGE TEST**

Date of Test: 19.4.2016	Technician: RTI
Test File: Untitled	
Customer: Aku Paulman	Building Address: Omakotitalo
Joensuu, 80170	[REDACTED]
Phone:	[REDACTED]
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: Airflow (m³/h)	874 ( +/- 0.2 %)	1157 ( +/- 0.3 %)	1016
n50: Air Changes per Hour (1/h)	5.05	6.69	5.87
w50: m³/(h*m² Floor Area)	9.60	12.72	11.16
q50: m³/(h*m² Surface Area)	4.22	5.59	4.91
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	296.1 ( +/- 1.1 %)	431.2 ( +/- 1.6 %)	363.7
cm²/m² Surface Area	1.43	2.08	1.76
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	144.9 ( +/- 1.8 %)	222.8 ( +/- 2.5 %)	183.8
cm²/m² Surface Area	0.70	1.08	0.89
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv)	47.6 ( +/- 2.7 %)	80.6 ( +/- 3.8 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	48.2 ( +/- 2.7 %)	80.4 ( +/- 3.8 %)	
Exponent (n)	0.741 ( +/- 0.007 )	0.682 ( +/- 0.010 )	
Correlation Coefficient	0.99988	0.99970	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	22 °C	Volume:	173 m³
Outside Temperature:	7 °C	Surface Area:	207 m²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	91 m²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	1 %
Type of Heating:	Puulämmitys	Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:	Painovoimainen ilmanvaihto		
Type of Ventilation:	None		





**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2**

Date of Test: 19.4.2016 Test File: Untitled

**Comments**

Massiivihirsirakenteinen osa rajattiin rakennuksesta mittausalueeksi.

**Data Points: Depressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-0.9	n/a				
-70.7	210.5	1165	1123	0.2	Ring B
-61.1	167.6	1040	1002	-0.3	Ring B
-51.6	129.8	916	883	-0.2	Ring B
-41.3	94.3	782	753	0.6	Ring B
-30.6	58.5	617	594	-0.3	Ring B
-0.6	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.9 p01+ = 0.0 p02- = -0.6 p02+ = 0.3

**Data Points: Pressurization:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m <sup>3</sup> /h)	Temperature Adjusted Flow (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-0.0	n/a				
69.7	311.8	1416	1455	0.2	Ring B
59.3	245.3	1257	1292	-0.7	Ring B
50.4	199.2	1133	1165	0.1	Ring B
40.3	144.4	966	993	-0.8	Ring B
30.4	100.3	806	828	0.3	Ring B
0.2	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.0 p02- = 0.0 p02+ = 0.2

Seuraava/Edellinen	Työnoikeus	Sivu
Aku Paulman	X	1 / 2
	Päätytyyppi	Takki
	X	X
Rakennuskohde	Sivut	
Hirsirakenteen U-arvo Eristämätön	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

### RAKENTEEN TIEDOT

Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan)

#### RAKENNEKERROKSE $\Lambda$ -arvoja

Sisäpinta

1 Hirsi  
 Kerroksen paksuus [d] 180,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,125 W/mK

2 Ei rakennekerrosta

3 Ei rakennekerrosta

4 Ei rakennekerrosta

5 Ei rakennekerrosta

6 Ei rakennekerrosta

7 Ei rakennekerrosta

8 Ei rakennekerrosta

Ulkopinta

#### ILMARAKOJEN TIEDOT Esim. korjaustasoista

Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1

#### METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT

Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä

#### KOOLAUKSEN TIEDOT

Koolauspuun leveys [b] Ei koolautusta

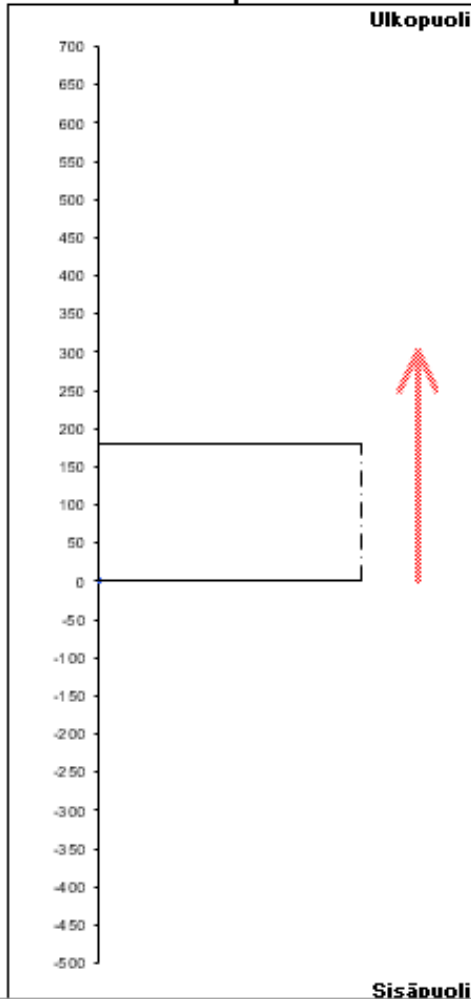
#### RAKENNE / LÄMPÖVIRTA



Suunnittelutoimisto Aku Paulman	Työnumero X		Sivu 2 / 2
	Päätyyppi X	Työtyyppi X	
Rakennuskohte Hirsirakenteen U-arvo Eristämätön	Sisätila U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)		

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Sisäpinta			0,1300
1 Hirsi	180	0,125	1,4400
Ulkopinta			0,1300

Rakenteen kokonaispaksuus 180 mm



#### MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI

Ei muuraussiteitä

#### OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUEDET

$f_v$	1,000	<i>Eriste</i>
$f_{v_1}$	0,000	<i>Pystykkooraus</i>
$f_{v_2}$	0,000	<i>Vaakakooraus</i>
$f_{v_3}$	0,000	<i>Koorausristeyks</i>

#### OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNYASTUKSET

$R_{v_1}$	1,700	m <sup>2</sup> K/W
$R_{v_2}$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_{v_3}$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_{v_4}$	0,000	m <sup>2</sup> K/W

#### U-ARVO

$R'_{T_1}$	1,700	m <sup>2</sup> K/W
$R''_{T_1}$	1,700	m <sup>2</sup> K/W
U	0,588	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_v$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

#### ULKOSEINÄN U-ARVO

$$U_c = 0,5882 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### VIRHEILMOITUKSET

-
-
-
-
-

Ohjelmaversio 1.03																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Seuraillatietoisia</b></td> <td style="width: 25%;"><b>Tuote</b></td> <td style="width: 25%;"><b>Sivu</b></td> </tr> <tr> <td>Aku Paulman</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">1 / 2</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Pöytä X</td> <td style="text-align: center;">Täki X</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>	<b>Seuraillatietoisia</b>	<b>Tuote</b>	<b>Sivu</b>	Aku Paulman	X	1 / 2		Pöytä X	Täki X		X	X	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Rakennelaji</b></td> <td style="width: 50%;"><b>Sisätila</b></td> </tr> <tr> <td>Hirsirakenteen U-arvo Eristetty</td> <td>U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)</td> </tr> </table>		<b>Rakennelaji</b>	<b>Sisätila</b>	Hirsirakenteen U-arvo Eristetty	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)
<b>Seuraillatietoisia</b>	<b>Tuote</b>	<b>Sivu</b>																
Aku Paulman	X	1 / 2																
	Pöytä X	Täki X																
	X	X																
<b>Rakennelaji</b>	<b>Sisätila</b>																	
Hirsirakenteen U-arvo Eristetty	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)																	

<p><b>RAKENTEEN TIEDOT</b> <span style="float: right;">Info</span></p> <p>TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan) ▼</p> <p><b>RAKENNEKERROKSE</b> <span style="float: right;">λ-arvoja</span></p> <p><i>Sisäpuolelta</i></p> <p>1 Hirsi ▼  Kerroksen paksuus [d] 180,0 mm  Lämmönjohtavuus [λ] 0,125 w/mK</p> <p>2 Lämmöneriste ▼  Kerroksen paksuus [d] 30,0 mm  Lämmönjohtavuus [λ] 0,055 w/mK</p> <p>3 Kuitulevy ▼  Kerroksen paksuus [d] 25,0 mm  Lämmönjohtavuus [λ] 0,055 w/mK</p> <p>4 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>5 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>6 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>7 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>8 Ei rakennekerrosta ▼</p>	<p><b>ILMARAKOJEN TIEDOT</b> <span style="float: right;">Esim. korjaustasoista</span></p> <p>Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva ▼</p> <p>Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1 ▼</p> <p><b>METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT</b></p> <p>Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä ▼</p> <p><b>KOOLAUKSEN TIEDOT</b></p> <p>Koolauspään leveys [b] Ei koolausta ▼</p>
--	--

**RAKENNE / LÄMPÖVIRTA**

Suunnittelija Aku Paulman	Työno N		Sivu 2 / 2
	Pääty N	Takki N	
Rakennuskohde Hirsirakenteen U-arvo Eristetty	Sisätila U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)		

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Sisäpinta			0,1300
<b>1</b> Hirsi	180	0,125	1,4400
<b>2</b> Lämmöneriste	30	0,055	0,5455
<b>3</b> Kuitulevy	25	0,055	0,4545
Ulkopinta			0,1300

Rakenteen kokonaispaksuus		235 mm
	Ulkopuoli	
	700	
	650	
	600	
	550	
	500	
	450	
	400	
	350	
	300	
250		
200		
150		
100		
50		
0		
-50		
-100		
-150		
-200		
-250		
-300		
-350		
-400		
-450		

MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI		
Ei muuraussiteitä		
OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUEDET		
$f_v$	1,000	Eriste
$f_h$	0,000	Fyysikkoclaus
$f_s$	0,000	Ysaakoclaus
$f_d$	0,000	Koclausisteys
OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNYASTUKSET		
$R_v$	2,700	m <sup>2</sup> K/W
$R_h$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_s$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
U-ARVO		
$R'_v$	2,700	m <sup>2</sup> K/W
$R''_v$	2,700	m <sup>2</sup> K/W
U	0,370	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_v$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_s$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
<b>Korjauksia ei tarvitse huomioida</b>		
<b>ULKOSEINÄN U-ARVO</b>		
<b><math>U_c = 0,3704</math> W/m<sup>2</sup>K</b>		
VIRHEILMOITUKSET		
-		
-		
-		

Seuraillatietoisuus	Työskäynnä	Sivu
Aku Paulman	W	1 / 2
	Pöytätyö	Tekijä
	W	W
Rakennusvaihe	Sisätilä	
Hirsirakenteen U-arvo Eristetty lisätty ilmansulkukerros	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

### RAKENTEEN TIEDOT

Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan) ▼

#### RAKENNEKERROKSET $\lambda$ -arvoja

Sisäpinta

1 Hirsi ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 180,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,125 W/mK

2 Ilman- ja höyrnsulku ▼

3 Lämmöneriste ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 30,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,055 W/mK

4 Kuitulevy ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 25,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,055 W/mK

5 Ei rakennekerrosta ▼

6 Ei rakennekerrosta ▼

7 Ei rakennekerrosta ▼

8 Ei rakennekerrosta ▼

Ulkupinta

#### ILMARAKOJEN TIEDOT Esim. korjaustasoista

Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva ▼

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1 ▼

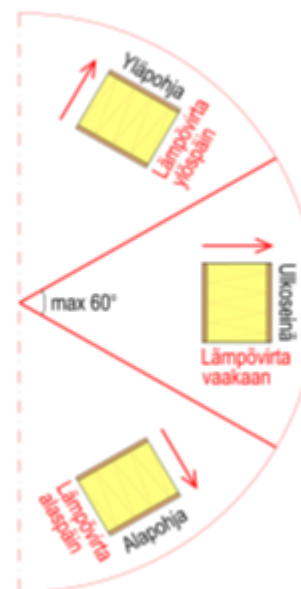
#### METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT

Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä ▼

#### KOOLAUKSEN TIEDOT

Koolauspään leveys [b] Ei koolausta ▼

#### RAKENNE / LÄMPÖVIRTA





Seuraillatietoisuus	Työntekijä	Sivu						
Aku Paulman	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">X</td> </tr> <tr> <td>Päivä</td> <td>Talvi</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </table>	X		Päivä	Talvi	X	X	1 / 2
X								
Päivä	Talvi							
X	X							
Rakennuskohde	Sisätila							
Hirsirakenteen U-arvo Eristetty	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)							

**RAKENTEEN TIEDOT**

Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen alapohja (lämpövirran suunta alaspäin) ▼

**RAKENNEKERROKSE**  $\lambda$ -arvoja*Sisäpinta*

1 Hirsi ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 35,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,125 W/mK

2 Ilman- ja höyrynsulku ▼

3 Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 300,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,039 W/mK  
 Koolausuunta (p / v) v

4 Kuitulevy ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 25,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,050 W/mK

5 Ei rakennekerrosta ▼

6 Ei rakennekerrosta ▼

7 Ei rakennekerrosta ▼

8 Ei rakennekerrosta ▼

*Ulkopinta***ILMARAKOJEN TIEDOT** Esim. korjaustasoista

Ulkopuolen tuuletusrakenteet Hyvin tuulettuva ▼

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1 ▼

**METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT**

Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä ▼

**KOOLAUKSEN TIEDOT**

Koolauspuun leveys [b] 51 mm ▼

Koolauspuun lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,120 W/mK

Vaakakoolauksen k-jako [s] 600 mm

**RAKENNE / LÄMPÖVIRTA**



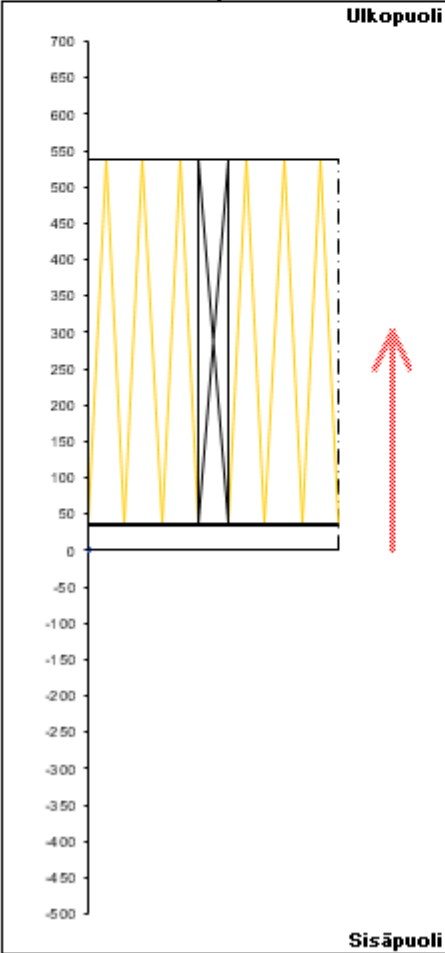




Suunnittelija Aku Paulman	Tilaaja X		Sivu 2 / 2
	Pääty X	Takki X	
Rakennuskohde Hirsirakenteen U-arvo Eristetty	Sisätila U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)		

Puurakenteinen gläpohja	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1000		
1 Hirsi	35	0,125	0,2800		
2 Ilman- ja höyrynsulku	0,2	0,330	0,0006		
3 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	500	0,039	11,6877	42	900
Ulkopinta			0,1000		

<b>Rakenteen kokonaispaksuus</b>	<b>535 mm</b>
<b>Ulkopuoli</b>	
	
<b>Sisäpuoli</b>	

<b>MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI</b>		
Ei muuraussiteitä		
<b>OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOVUDET</b>		
$f_v$	0,953	<i>Eriste</i>
$f_h$	0,047	<i>Pystykoolaus</i>
$f_{v,k}$	0,000	<i>Vaakakoolaus</i>
$f_{h,k}$	0,000	<i>Koolausristeys</i>
<b>OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNYASTUKSET</b>		
$R_{v1}$	13,301	m <sup>2</sup> K/W
$R_{h1}$	4,647	m <sup>2</sup> K/W
$R_{v2}$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_{h2}$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
<b>U-ARVO</b>		
$R'_{T1}$	12,238	m <sup>2</sup> K/W
$R''_{T1}$	12,168	m <sup>2</sup> K/W
U	0,082	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_v$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_h$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
<b>YLÄPOHJAN U-ARVO</b>		
<b><math>U_c = 0,0819</math> W/m<sup>2</sup>K</b>		
<b>VIRHEILMOITUKSET</b>		
-		

## Energialaskelmat

Eristämätönrakenne		
q50	5,21	m3(hm2)
A vappa	91	m2
x	35	

qv vuotoilma		0,041349	m3/s
H vuotoilma		49,61905	w/c
Qvuotoilma		5745,886	KWH/V

Eristettyrakenne		
q50	4,22	m3(hm2)
A vaippa	91	m2
x	35	

qv vuotoilma		0,033492	m3/s
H vuotoilma		40,19048	w/c
Qvuotoilma		4654,057	kWh/V

Energian kulutuksen muutos:			
Eristämätön		5745,886	kWh/V
Lisäeristetty		4654,057	kWh/V
Erotus		1091,829	kWh/V

Kulutuksen	muutos %	19,0	%
Energian hinta		0,2	e/kWh
Säästö		218,3657	vuosi

## VESIHÖYRYN KONVEKTIO HIRSIEN SAUMOISTA

Tarkasteltavan alueen:		
pituus	1	m
leveys	0,0003	m
syvyys	0,18	m

Oletettu paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä

5 Pa
------

Olosuhteet	Ulko	Sisä	
Lämpötila	-10,6	21	C
RH %	85	40	
V	1,77	7,33	g/m <sup>3</sup>
Vk	2,08	18,31	g/m <sup>3</sup>
p	214	994	pa

Kosteuden ero sisä- ja ulkoilman välillä			
5,56	g/m <sup>3</sup>	Tarvitaan kosteusvirran laskennassa	
0,00556	kg/m <sup>3</sup>		

Tarkasteltavasta alueesta läpi virtaava ilmamäärä

$$Q = b^3 \cdot l \cdot \Delta p / (d \cdot 12 \cdot \eta)$$

Q	3E-06	m <sup>3</sup> /s
---	-------	-------------------

Kosteusvirta saumanläpi

$$g = v \cdot Q$$

g	=	0,0056	*	3,47E-06	/1m <sup>2</sup>	1,93E-08	kg/m <sup>2</sup> s
---	---	--------	---	----------	------------------	----------	---------------------

0,001668 kg/m<sup>2</sup> vrk

1,668 g/m<sup>2</sup> vrk

11,676 g/m<sup>2</sup> vko

Kosteusvirta rakenteeseen hirren saumasta 1 m matkalta



Onko uusi rakenne vaikuttanut rakennuksen asumisviihtyvyyteen? (1 vastaus)

Kyllä. Vedontunne on vähentynyt, nurkkien tiiveys on parantunut, huonelämpötila on tasaisempi ja lämmöhukka vähentynyt.

Millaisella säällä vaikutukset tuntuvat eniten? (1 vastaus)

Tuulisella- ja pakkassäällä.

Onko rakenteella vaikutusta äänenerityvyyteen? (1 vastaus)

Kyllä. Äänieristys on parantunut merkittävästi.

Oletteko tyytyväisiä rakenteen toimintaan kokonaisuutena? (1 vastaus)

Kyllä. Huoneilma on raikas, mäntypuun tuoksuinen ja huoneessa on lämmintä ja hyvä olla.