

Kivimäki Jarkko

Timberframe-rakenteiden vakiointi

Opinnäytetyö
Kevät 2014
Tekniikan yksikkö
Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jarkko Kivimäki

Työn nimi: Timberframe-rakenteiden vakiointi

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 35

Liitteiden lukumäärä: 4

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Timberkodin vakiorakennekirjasto Finn-lamelli Oy:n käyttöön. Työ jaettiin kahteen osaan, teoriaosuuteen sekä liitteenä olevaan rakennekirjastoon.

Työssä käytiin läpi yleisesti pilari-palkkirakentamista sekä rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Vertailuun otettiin kaksi eri omakotitalomääräykset täyttävää Timberkodin ulkoseinävaihtoehtoa ja laskettiin niille u-arvot sekä suoritettiin kastepistetarkastelu.

Lisäksi opinnäytetyössä käsiteltiin rakennuksen ilmatiiviyttä ja sen vaikutuksia. Työssä käytiin läpi myös Timberkodin esittelytalon tehty ilmatiiviysraportti. Rakennus sijoittui ilmatiiviyslukunsa perusteella B-luokkaan, jota voidaan pitää erinomaisena tuloksena.

Avainsanat: puurakentaminen, rakenteet, kosteus, tiiviys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Jarkko Kivimäki

Title of thesis: Standardization of timber frame structures

Supervisor: Petri Koistinen

Year: 2014

Number of pages: 35

Number of appendices: 4

The purpose of the thesis was to create a standard design library to Finnlamelli Oy. The thesis was divided into two separate parts, the theory and the design library.

The thesis deals with the construction of timber frame in general and the behaviour of moisture in structure. Two separate post and beam structures, which meet the standards for detached houses, were compared and u-values and condensation point were counted.

The thesis also deals with air leakage of a building and its effects. At the end, the air leakage report of the Timberkoti show house is presented. Based on its air leakage value the building finished in category B; which can be considered as an excellent result.

Keywords: timber construction, building structures, humidity, tightness

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tavoitteet.....	8
1.2 Yritys	8
1.3 Lamellihirsi	9
1.4 Timberkoti	10
2 PILARI-PALKKIRAKENNE	13
2.1 Historia.....	13
2.2 Rakenteiden esittely.....	14
2.2.1 Yläpohja.....	15
2.2.2 Välipohja	16
2.2.3 Ulkoseinät	17
2.2.4 Alapohja.....	18
3 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA.....	19
3.1 Lämmönläpäisykerroin	19
3.2 Kosteus	20
3.3 Rakenteiden vertailu	22
3.3.1 Puukuitueristeinen ulkoseinä	22
3.3.2 Polystyreenieristeinen ulkoseinä.....	24
4 ILMATIIVIYS	25
4.1 Yleistä	25
4.2 Ilmatiiviyden vaikutukset	25
4.3 Tiiviysmittaus.....	26
4.4 Ilmanvuotoluvun vertailuarvoja.....	28
4.5 Esimerkkikohde.....	29
5 Yhteenveto.....	32

LÄHTEET	33
LIITTEET	35

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Finnlamelli Oy Alajärven tehdasalue	9
Kuvio 2. Hirsiprofiilit	10
Kuvio 3. Punkaharjun paviljonki, sisäkuva	11
Kuvio 4. Timberframe-liitoksia	12
Kuvio 5. Sisänäkymä	14
Kuvio 6. Yläpohjarakenne	15
Kuvio 7. Välipohjarakenne	16
Kuvio 8. Ulkoseinärakenne	17
Kuvio 9. Alapohjarakenne	18
Kuvio 10. Keskimääräinen ilman vesihöyrypitoisuuden vaihtelu	21
Kuvio 11. TF-US-164s-EKO275 lämpö- ja kosteuskuvaajat DOF-LÄMPÖ- ohjelmasta	23
Kuvio 12. TF-US-164s-FF240 lämpö- ja kosteuskuvaajat DOF-LÄMPÖ- ohjelmasta	24
Kuvio 13. Hallitsemattomien ilmanvuotojen kautta kulkeutuvan vuotoilman lämmittämiseen kuluva energia pienissä rakennuksissa.....	26
Kuvio 14. Puhallinyksikkö ja mittauslaitteisto	27
Kuvio 15. Alajärven Timberkoti-esittelytalo	29
Kuvio 16. Esittelytalon tiiviysmittausluokitus.	31
Taulukko 1. Rakennuksen vaipanosiin lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot...	20

Käytetyt termit ja lyhenteet

CE-merkki	Ilmoittaa, että tuotteen ominaisuudet ovat eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaiset.
Timber frame	Perinteisin puuliitoksin muodostettu pilari-palkki-kehysrakenne, joka toimii rakennuksen kantavana runkona.
Lamellihirsi	Koostuu kahdesta tai useammasta yhteen liimatusta puusesta lamellista.

Lämmönläpäisykerroin (u-arvo)

Lämmönläpäisykerroin ilmoitetaan lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkö on $W/(m^2K)$.

Ilmanvuotoluku (n_{50})	Ilmanvuotoluku n_{50} ilmoittaa, kuinka monta kertaa rakennuksen ilma vaihtuu tunnin aikana 50 Pa:n paine-erolla. Yksikkö on 1/h.
Ilmanvuotoluku (q_{50})	Ilmanvuotoluku q_{50} kuvaa rakennuksen vaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissämmittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Yksikkö on $m^3/(h m^2)$.
Hygroσκοoppisuus	Kuvaa materiaalin kykyä sitoa kosteutta ilmasta itseensä ja luovuttaa sitä pois.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet

Timberkoti on suhteellisen uusi ja vieras tuote suurimmalle osalle yrityksen työntekijöitä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on koota yhteen kaikki Timberkodin tällä hetkellä käytössä olevat vakiorakenteet u-arvoineen ja käydä läpi pilari-palkkirakentamista yleisellä tasolla. Rakennekirjasto soveltuu erityisesti myyjien käyttöön. Työssä käsitellään yleisesti myös rakenteiden kosteusteknistä toimintaa sekä rakennusten ilmatiivyyttä.

Ilmatiiviyys ja rakenteiden hyvä lämmöneristyskyky ovat avainasemassa nykykaista energiatehokasta taloa rakennettaessa. Tyypillisessä timberframe-rakennuksessa runko jää näkyviin sisäpuolelle, jolloin ilmansulku katkeaa ja mahdollisuus ilmanvuodoille on suuri. Rakennustapa aiheuttaa myös omat haasteensa muun muassa yläpohjan eristämiseksi.

Työssä esitellään lisäksi ilmatiiviyysraportti, joka on tehty Alajärvellä sijaitsevaan timberframe-tekniikalla rakennettuun Timberkoti-esittelytaloon.

1.2 Yritys

Finnlamelli Oy on liimattujen puurakenteiden valmistukseen ja markkinointiin erikoistunut yritys, joka sijaitsee hirsirakentamisesta hyvin tunnetulla Alajärvellä (Kuvio 1). Yritys on perustettu vuonna 1995, mutta varsinainen tuotannollinen toiminta on alkanut 1996. (Finnlamelli Oy 2014a.)



Kuvio 1. Finnlamelli Oy Alajärven tehdasalue (Finnlamelli Oy 2014).

Finnlamelli Oy:n liikevaihto vuonna 2013 oli 30,1 miljoonaa euroa. Viennin osuus liikevaihdosta on noin 40 % ja tärkeimpiä vientimaita ovat muun muassa Venäjä, Japani, Ranska, Viro, Saksa ja Hollanti. Liikevaihdosta hirsitalojen osuus on 87 % ja loput 13 % liimapuupalkkeja ja -pilareita sekä hirsiaihoita. Finnlamelli Oy on Suomen kolmanneksi suurin hirsitalotoimittaja noin 11 % markkinaosuudellaan. Yritys työllistää 129 henkilöä, joista noin 70 % työskentelee tuotannossa. Myyntipisteitä löytyy ympäri Suomen, yhteensä 25 kpl. (Perälä 2014.)

Viimeisimmän, keväällä 2013 valmistuneen hirrentyöstölinjan myötä työstökapasiteetti nousi yli 1000 hirsitaloyksikköön vuodessa. Lamellihirsien lisäksi yritys valmistaa liimapuupalkkeja sekä rakennesahatavaraa.

Finnlamelli Oy on saanut tuotteilleen Eurooppalaisen teknisen hyväksynnän (ETA-12/0353), joka oikeuttaa CE-merkinnän käyttöön. CE-merkintä rakennustuotteisiin tuli pakolliseksi 1.7.2013. (Finnlamelli Oy 2014b.)

1.3 Lamellihirsi

Finnlamelli Oy:n päätuote, lamellihirsi, valmistetaan liimaamalla kaksi tai useampi lamelli yhteen siten, että sydänpuu jää pintaan. Sydänpuu on kestävämpi säänvaihteluita vastaan, ja näin ollen hirsi ei halkeile eikä vääntyile. Raaka-aineina käytetään mäntyjä ja kuusia. Lamellihirren painuminen on erittäin vähäistä.

Finnlamellin hirsiprofiileihin kuuluvat 180 mm korkeat ja 88, 112, 134 ja 164 mm leveät, sekä 260 mm korkeat ja 164, 180, 202, 240 ja 270 mm leveät hirret (Kuvio 2).



Kuvio 2. Hirsiprofiilit
(Finnlamelli Oy 2014).

Lamellihirrestä voidaan tehdä myös tuplarakenne eli niin sanottu lämpöseinä, jossa hirren sisä- tai ulkopuolelle lisätään eriste. Useimmiten rakenne eristetään puukuitueristeellä, jolloin seinä pysyy hengittävänä. (Finnlamelli Oy 2014c.)

1.4 Timberkoti

Timberkoti on Finnlamelli Oy:n tuotemerkki, jonka alla myydään pilari-palkkirunkoisia rakennuksia. Tuotevalikoimaan kuuluvat omakotitalojen lisäksi lomarakennukset sekä saunat. Suurimpia valmistuneita kohteita tähän mennessä ovat Punkaharjun lomakeskuksen 400-neliöinen paviljonki-ravintola (Kuvio 3). sekä Venäjälle toimitettu 500-neliöinen lomarakennus.

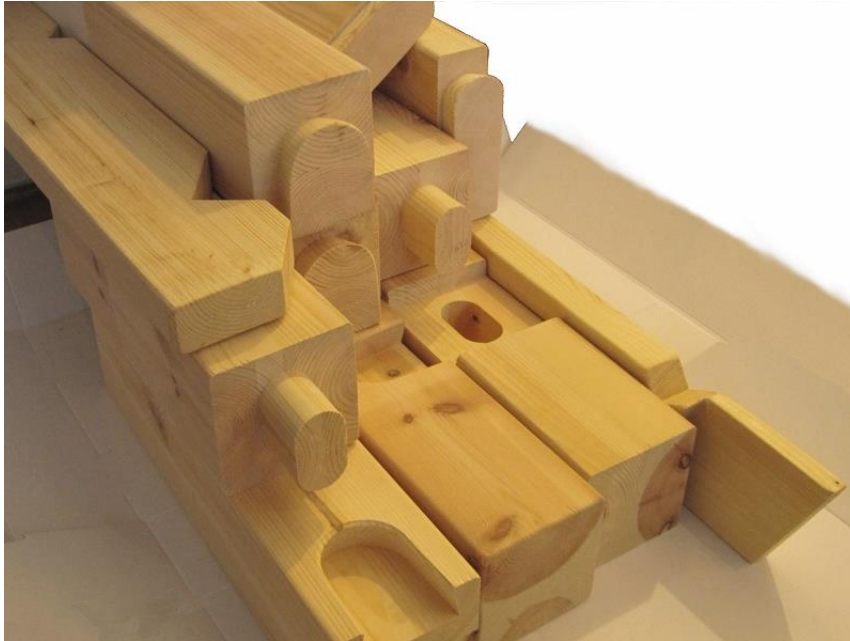


Kuvio 3. Punkaharjun paviljonki, sisäkuva (Finnlamelli Oy 2014).

Pilari-palkkirakenne soveltuu erinomaisesti moderneihin rakennuksiin joihin halutaan suuria lasijulkisivuja. Rakenne on erittäin joustava ja antaa arkkitehtuurille perinteiseen hirsirakentamiseen verrattuna laajemmat mahdollisuudet. Rakenteet voidaan verhoilla esimerkiksi hirsipaneelilla, perinteisellä puuverhouksella tai vaikkapa rappauslevyllä. Rakenne soveltuukin erinomaisesti esimerkiksi rapatun puutalon tekemiseen. (Finnlamelli Oy 2012.)

Monipuolisista ulkoverhousvaihtoehdoista johtuen se soveltuu hirsitaloa paremmin esimerkiksi kaupunkien kaava-alueille. Suurin ero hirsirakentamiseen verrattuna on, että pilari-palkkitekniikalla toteutettu rakenne on täysin painumaton. Myöskään kantavia väliseiniä ei tarvita, mikä antaa entisestään vapautta suunnitteluun.

Kaikki runko-osat on työstetty mittatarkasti tehtaalla valmiiksi, joten pystytys työmaalla on helppoa ja nopeaa. Metallisia kannakkeita, kuten kulmarautoja ja naula-levyjä ei käytetä, vaan kaikki liitokset ovat puuliitoksia. Työstöjä ja liitostyyppejä ovat esimerkiksi tappiliitokset, lohennyliitokset, pyörötapein vahvistetut tappiliitokset, loveukset, kämmenliitokset, jne. (Kuvio 4) (Finnlamelli Oy 2012.)



Kuvio 4. Timberframe-liitoksia
(Finnlamelli Oy 2014).

Sisäpuolelle jätetty pilari-palkkirunko kehystää ikkunoita sekä ulko-ovia, ja runkoon valmiiksi työstetty asennusura nopeuttaa niiden asennusta. Rungon näkyessä sisäänpäin myöskään sisäpuolen listoituksia ei tarvita.

2 PILARI-PALKKIRAKENNE

2.1 Historia

Timberframe-rakentaminen perustuu hyvin vanhaan rakennustapaan. Rakenne on edelleen yleinen muun muassa Pohjois-Amerikassa, Keski-Euroopassa ja Japanissa. Nimensä mukaisesti timberframe-, eli puukehysrakenteella, muodostetaan perinteisillä puuliitoksilla kehysrakenne, joka toimii rakennuksen kantavana runkona. (Finnlamelli Oy 2012.)

Ensimmäiset timberframe-tyyliset rakennukset ajoittuvat vuosille 500–200 eKr. Yksinkertainen ja tehokas rakennustapa löysi nopeasti reittinsä maailmalle, ja 1400–1700-lukujen välisenä aikana timberframe jopa hallitsi rakentamista suurimmassa osassa maailmaa. (Benson 1999.)

Rakennustavan kestävydestä kertoo jotain se, että tuolta ajalta selvinneitä rakennuksia, muun muassa taloja, kirkkoja ja temppeleitä, löytyy maailmalta edelleen. Pohjois-Amerikassa on käytössä vielä tänäkin päivänä 250–350 vuotta sitten rakennettuja rakennuksia, Euroopassa ja Kaukoidässä jopa 500–600 vuotta vanhat rakennukset ovat yleisiä. (Benson 1999.)

Nykypäivän tietokoneohjatuilla puuntyöstökoneilla saadaan tuotettua mittatarkat valmiit puuosat, joiden pystyttäminen on helppoa ja nopeaa. Puurunko voidaan jättää näkyviin tai vaihtoehtoisesti verhoilla niin sisä- kuin ulkopuoleltakin piiloon. Yleisin tapa on jättää runko sisäpuolelta näkyviin, jolloin se kehystää muun muassa ikkunoita ja ovia näyttävästi (Kuvio 5).



Kuvio 5. Sisänäkymä
(Finnlamelli Oy 2014).

2.2 Rakenteiden esittely

Finnlamellin Timberkoti-vakiorakenteet esitellään liitteenä olevassa rakennekirjastossa. Rakenteet on jaettu tällä hetkellä eristevahvuuksien ja käyttötarkoituksen mukaan neljään eri kategoriaan; kesäkoti, lomakoti, omakoti sekä omakoti_{plus}.

Kesäkodissa eristevarat ovat pieniä ja rakennukset on tarkoitettu satunnaiseen, lähinnä kesällä tapahtuvaan käyttöön. Tällaisia rakennuksia ovat esimerkiksi pienet pihapiirin rakennelmat sekä saunamökit.

Lomakoti kattaa ympärivuotiseen käyttöön tarkoitettut loma-asunnot, joita ei kuitenkaan käytetä jatkuvaan asumiseen tai vuokraustoimintaan.

Omakoti täyttää rakenteidensa puolesta Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 määritellyt arvot ja sitä voidaan käyttää vakituiseen asumiseen.

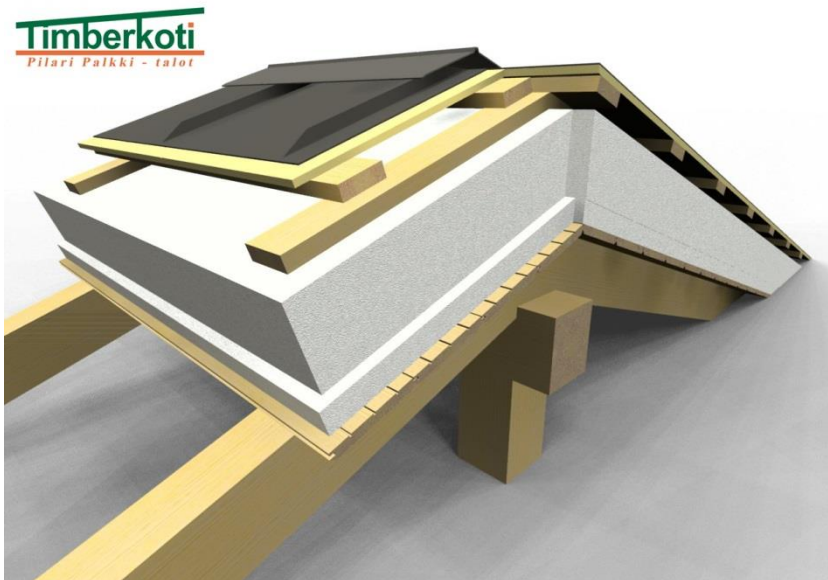
Omakoti_{plus}-rakenne on Omakoti-rakennetta energiatehokkaampi ja sillä saavutetaan jo passiivirakentamisessa määritellyt raja-arvot.

Timberkodin ulkoseinissä eristeenä käytetään puukuitueristelevyjä tai vaihtoehtoisesti XPS- eli polystyreenilevyjä. Mikäli halutaan vielä ohuempaa seinärakennetta, voidaan käyttää myös polyuretaanilevyjä (esimerkiksi SPU).

Yläpohjassa eristeenä käytetään lähes poikkeuksetta polystyreeni- tai polyuretaanilevyjä, jotta kattorakenteesta saataisiin mahdollisimman ohut. Esimerkiksi omakotitaloissa vaadittavalla u-arvolla puukuitueristettä käytettäessä eristevahvuus kasvaisi 500 mm:iin, jolloin rakennustavasta johtuen yläpohjasta tulisi liian massiivinen.

2.2.1 Yläpohja

Timberframe-rakentamiseen kuuluu olennaisena osana puurungon, eli yläpohjan tapauksessa kattovasojen, jättäminen näkyviin. Tästä johtuen kattorakenne tehdään ikään kuin käänteisessä järjestyksessä alhaalta ylöspäin. (Kuvio 6)



Kuvio 6. Yläpohjarakenne
(Finnlamelli Oy 2014).

Sisäverhouspaneeli asennetaan kattovasojen päälle. Sisäverhouspaneelin yläpuolelle tulee 50 mm:n XPS- tai uretaanilevy, johon uritetaan mahdolliset sähköputkukset. Mikäli mahdollista, sähköputkien viemistä yläpohjassa yritetään välttää, jotta saavutettaisiin yhtenäinen eristekerros.

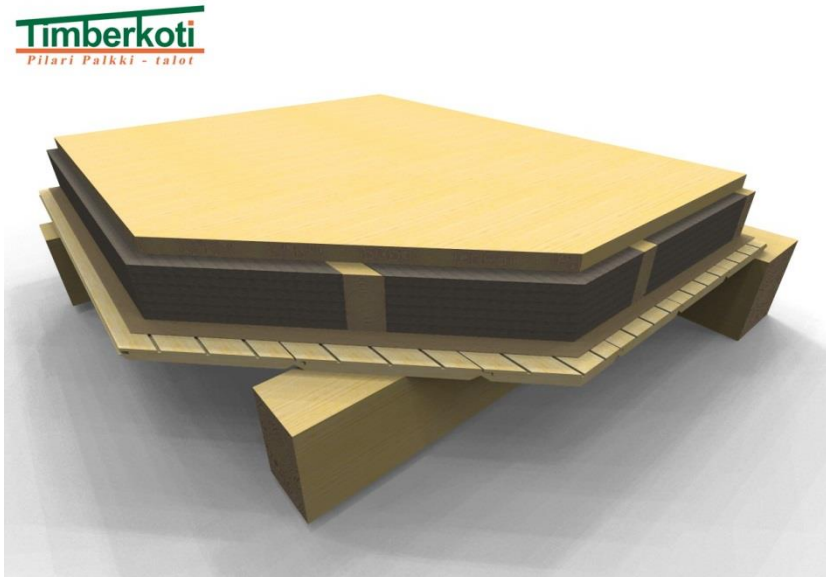
50 mm:n levyn päälle asennetaan kohteesta riippuen joko 170 mm tai 240 mm eristelevy ja tämän päälle hengittävä aluskate. XPS- tai uretaanilevyjä käytettäessä erillistä höyryn-/ilmansulkua ei tarvita.

Aluskatteen päälle asennetaan tuuletuskorotus ja katemateriaalista riippuen joko ruoteet tai vaneri. Räystäällä kattovasoja joudutaan paisuttamaan erillisillä korotuspuilla, jotta katosta saadaan kauttaaltaan saman paksuinen.

Ilmastointiputket aiheuttavat yläpohjassa omat haasteensa, sillä kattorakenteen ohuen eristekerroksen sisällä niitä ei ole mahdollista kuljettaa. Vinojen sisäkattojen yhteydessä ilmastointiputket joudutaan viemään alaslaskuissa ja venttiilit asentamaan seinille.

2.2.2 Välipohja

Myös välipohjassa vasat jätetään näkyviin ja sisäverhouspaneelin asennus tapahtuu samoin kuten yläpohjassa, eli vasan päälle. Sisäverhouspaneelin yläpuolelle asennetaan ilmansulkupaperi, 170 mm:n koolaus ja puukuitulevyt. Pintamateriaalista riippuen koolauksen päälle harvalauta ja kipsi-/lastulevy tai lattialauta. (Kuvio 7)



Kuvio 7. Välipohjarakenne (Finnlamelli Oy 2014).

Pienten rakennusten, esimerkiksi saunamökkien, parvilla voidaan käyttää myös rakennetta, jossa ympäröhöylätty lattialauta asennetaan suoraan välipohjvasojen päälle. Tällöin saadaan parven ylä- ja alapuolinen pinta yhdellä laudoituksella.

2.2.3 Ulkoseinät

Ulkoseinässä timberframe-runko jää useimmiten näkyviin sisäpuolelle. Tällöin tarvittavat lisäkoolaukset lämmöneristeineen asennetaan rungon ulkopintaan. Lämmöneristeenä käytetään pääsääntöisesti hengittävää puukuitulevyeristettä.

Rungon väliin asennetaan koolaus, ilmansulkupaperi sekä 50 mm eristelevy. Sähköputkitukset vedetään 50 mm eristeen sisällä, jolloin vältytään ilmansulkupaperin puhkaisemiselta. Tällä on merkitystä muun muassa rakennuksen ilmatiiviyteen. (Kuvio 8)



Kuvio 8. Ulkoseinärakenne
(Finnlamelli Oy 2014).

Kantavana pystyrunkona omakotitaloissa ja vapaa-ajanasunnoissa käytetään tyypillisesti 164x164 mm pilareita, pienemmissä rakennuksissa 134x134 mm pilareita.

Tuulensuojalevynä puukuitueristeisessä seinässä on poikkeuksetta 25 mm paksu levy. Ulkovuorauksena voidaan käyttää hirsipaneelia, perinteistä puuverhousta, tiiltä tai esimerkiksi rappauslevyä.

2.2.4 Alapohja

Alapohjan osalta Timberkodin alapohjarakenteet eivät eroa juurikaan tavanomaisen puurunkoisen rakennuksen alapohjasta. Eristeenä käytetään pääsääntöisesti XPS-levyä.

Tuulettuvan alapohjan, eli niin sanotun rossipohjan kantavat rakenteet ovat rakennuksen muiden runko-osien tapaan tehtaalla valmiiksi työstettyjä. Runkopystytyksen jälkeen alapohjaeristeet voidaan asentaa lattiavasojen väliin. Finnfoamin rossipohjalevyjä käytettäessä saadaan tasainen ja kantava työskentelyalusta. Pintavalu voidaan tehdä suoraan eristeen päälle. (Kuvio 9)



Kuvio 9. Alapohjarakenne
(Finnlamelli Oy 2014).

3 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA

3.1 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykertoimella eli u-arvolla (ent. k-arvo) kuvataan rakennuksen rakenteiden ja rakennusosien lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi u-arvo on, sitä paremmin rakenne eristää lämpöä. Lämmönläpäisykertoimen yksikkönä käytetään $W/(m^2K)$.

Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen (RakMK C4 2003, 3).

U-arvo voidaan laskea, kun tiedetään rakenteessa olevien materiaalien paksuus ja lämmönjohtavuus.

U-arvo lasketaan Suomen rakennusmääräyskokoelman osan C4 mukaisesti kaavalla (1)

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

jossa R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön.

Rakennusosan ainekerrosten ollessa tasapaksuja ja tasa-aineisia ja lämmön siirtymässä ainekerrokseen nähden kohtisuoraan kokonaislämmönvastus lasketaan kaavalla (2)

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

Jossa $R_{si} + R_{se}$ on sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa,

R_1, R_2, \dots on tasa-aineisen ainekerroksen 1,2,... lämmönvastus, joka lasketaan kaavalla (3)

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_{ui}} \quad (3)$$

Jossa d_1, d_2, \dots on ainekerroksen 1, 2, ... paksuus metreinä,

$\lambda_{U1}, \lambda_{U2}, \dots$ on ainekerroksen 1, 2, ... lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo,

R_g on rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus,

R_b on maan lämmönvastus,

R_{q1}, R_{q2}, \dots on ohuiden ainekerrosten 1, 2, ... lämmönvastus.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 on annettu enimmäisarvoja eri rakenteiden u-arvolle alla olevan taulukon mukaisesti: (Taulukko 1)

Taulukko 1. Rakennuksen vaipan osien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot (RakMK C3 2010, 3.2.1).

Rakenne		U-arvo [W/(m ² K)]
Ulkoseinä		0,17
	Hirsiseinä	0,40
Yläpohja		0,09
Alapohja	Maanvarainen alapohja	0,16
	Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17
	Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
Ikkunat		1,0
Ovet		1,0

Luvussa 3.3 vertaillaan kahta Timberkodin ulkoseinärakennetta, joista molemmat täyttävät omakotitalon u-arvovaatimukset. Kaikkien Timberkodin vakiorakenteiden u-arvot löytyvät liitteestä 4.

3.2 Kosteus

Vesi voi esiintyä jään, lumen, nestemäisen veden tai kaasumaisen vesihöyryn muodossa. Näistä erityisesti vesihöyry aiheuttaa haasteita rakenteille. Väärään paikkaan tiivistyvä vesihöyry saattaa muodostaa rakenteeseen kosteus- ja homevaurioita. Tätä vesihöyryn tiivistymistä vedeksi tietyssä lämpötilassa sanotaan kastepisteeksi. (Rafnet-ryhmä 2004.)

Ilman vesihöyrypitoisuutta voidaan kuvata suhteellisena kosteutena RH (%) tai todellisena vesihöyrypitoisuutena v (g/m^3). Suhteellinen kosteus tarkoittaa ilmassa olevan todellisen vesihöyrypitoisuuden suhdetta ilman kyllästysvesihöyrypitoisuuteen. (Rafnet-ryhmä 2004.)

Suhteellinen kosteus RH (%) voidaan määrittää kaavalla (4) (Rafnet-ryhmä 2004.):

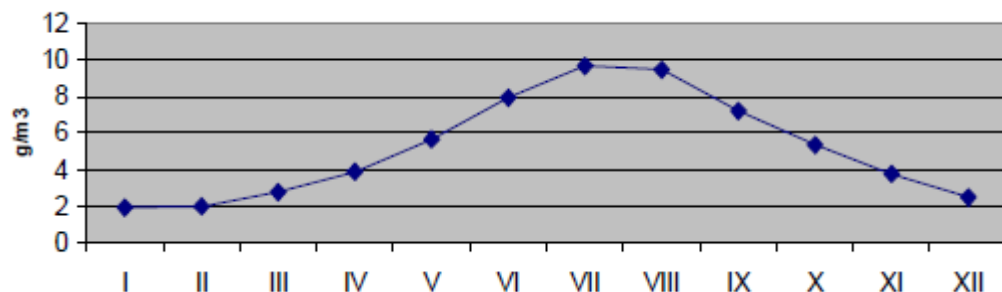
$$RH = \frac{v}{v_k} \cdot 100\% \quad (4)$$

Jossa v on ilmassa oleva todellinen vesihöyrypitoisuus ja v_k on kyllästysvesihöyrypitoisuus.

Suhteellinen kosteus voidaan ilmoittaa myös suhdelukuna (5) (Rafnet-ryhmä 2004.):

$$\phi = \frac{v}{v_k} \quad (5)$$

Ulkoilmassa oleva vesihöyrypitoisuus vaihtelee melko paljon vuoden aikana. Kesällä vesihöyrypitoisuus on suurimmillaan ja talvella taas pienimmillään. (Kuvio 10)



Kuvio 10. Keskimääräinen ilman vesihöyrypitoisuuden vaihtelu (Rafnet-ryhmä 2004).

Sisäilmassa olevaan vesihöyrypitoisuuteen vaikuttavat ulkoilman vesihöyrypitoisuuden lisäksi sisätilan kosteuslähteet, sisätilan ilmanvaihto, vesihöyryn poistuminen rakenteiden läpi sekä vesihöyryn sitoutuminen rakenteisiin (Rafnet-ryhmä 2004).

Suurimmat haasteet rakenteille ajoittuvat tyypillisesti talvelle sisätiloissa olevan kostean ilman pyrkiessä siirtymään rakenteiden läpi kuivaan ulkoilmaan. Sisäilman

kosteuslisä talviaikaan saattaa olla jopa neljästä seitsemään grammaan kuutiossa. (Paloniitty 2012.) Mikäli rakenne on väärin suunniteltu, kastepiste syntyy rakenteen sisään aiheuttaen mahdollisen kosteusvaurion.

3.3 Rakenteiden vertailu

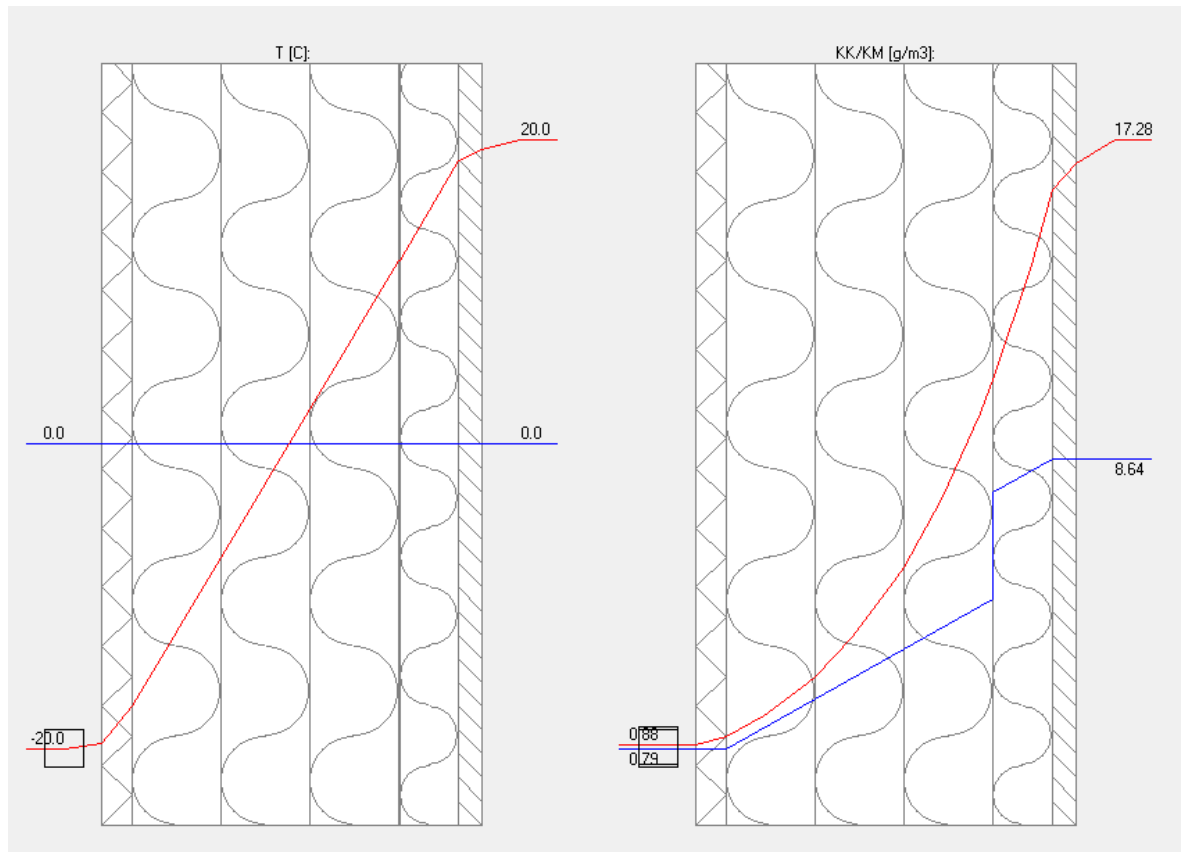
Kosteustekniseen vertailuun otettiin kaksi erilaista Timberkodin seinärakennetta, puukuitueristeellä toteutettu hengittävä rakenne TF-US-164s-EKO275 ja Finnfoamilla, eli polystyreenillä eristetty hengittämätön rakenne TF-US-164s-FF240.

Rakenteiden u-arvot ja kosteuden tiivistymiset on laskettu DOF-Techin DOF-LÄMPÖ-ohjelmalla. U-arvon ja kosteuskäyrän tulokset löytyvät liitteistä 1 ja 2.

Kuvaajissa punaisella viivalla kuvataan kyllästymiskosteutta ja sinisellä kosteusmäärää. Kyllästymiskosteuden käyrän kulkiessa kosteuskäyrän alapuolella rakenteessa on mahdollinen kosteuden tiivistymisen vaara. Mitoitustilanteessa ulkolämpötila oli -20°C ja sisälämpötila 20°C .

3.3.1 Puukuitueristeinen ulkoseinä

Puukuituseinän tapauksessa voidaan todeta rakenteen toimivan kosteusteknisesti oikein (Kuvio 11). Rakenne harvenee oikeaoppisesti sisältä ulospäin ja mahdollinen kosteuden tiivistyminen tapahtuu vasta tuulensuojalevyn reunassa, eli tuuletusvälin vieressä. Mikäli kosteutta syntyy, ilmavirta rakenteen välissä kuivattaa kosteuden pois.



Kuvio 11. TF-US-164s-EKO275 lämpö- ja kosteuskuvaajat DOF-LÄMPÖ-ohjelmasta

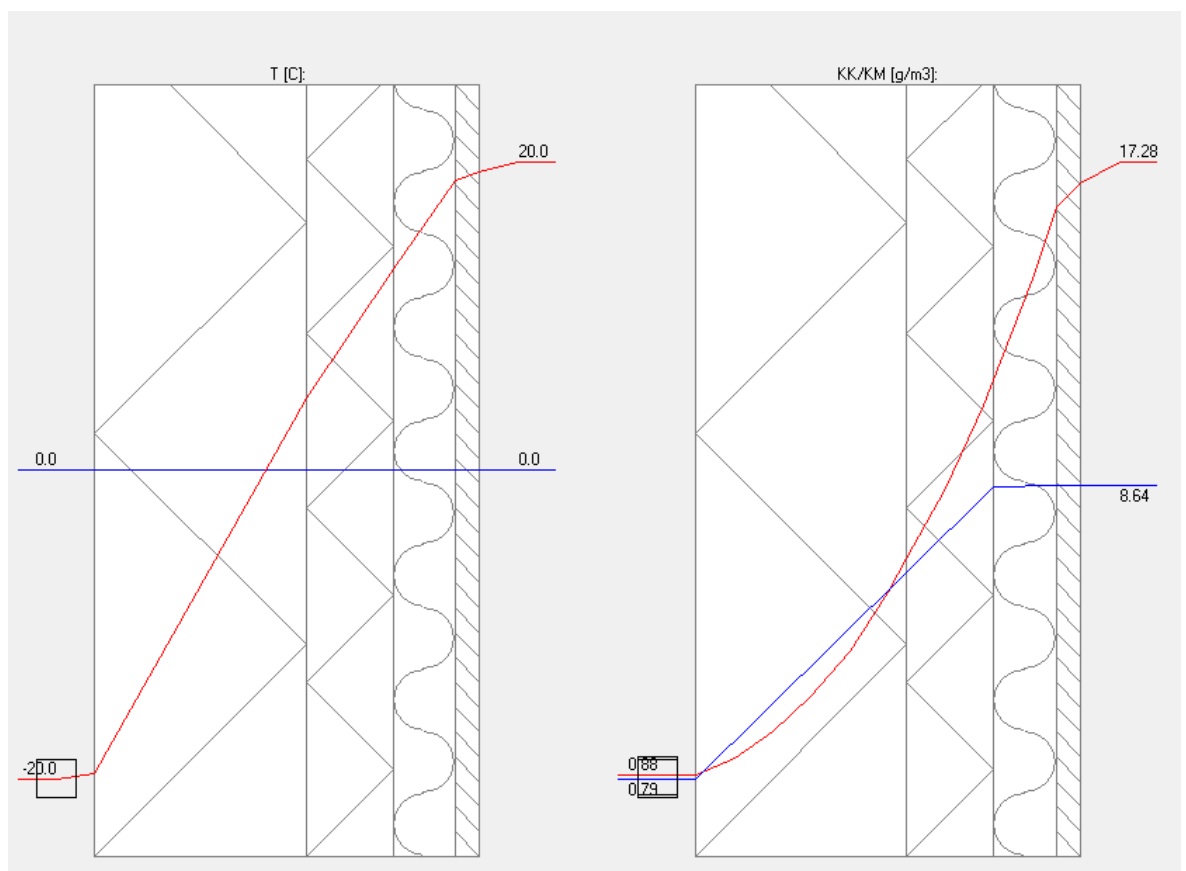
Puukuitueristeellä eristetty seinä on hengittävä rakenne. Hengittävästä rakenteesta sanotaan seuraavaa

Hengittävällä rakenteella tarkoitetaan rakennetta, johon voi helposti siirtyä ympäristöstä diffuusiolla vesihöyryä ja jossa vesihöyry voi sitoutua hygrokooppiseen aineeseen tai vapautua siitä ja siirtyä helposti takaisin ympäristöön. Hengittävään rakenteeseen ja sen läpi voi diffuusoitua vesihöyryn lisäksi myös muita kaasuja kuten hiilidioksidia. (Kokko 2002.)

Tällöin mahdollinen kosteuden tiivistyminen eristekerrokseen ei vielä välttämättä aiheuta kosteusvauriota, sillä ympäristön kuivussa puukuitueriste luovuttaa ylimääräisen kosteuden pois. Mikäli eristeenä olisi esimerkiksi mineraalivillaa, tilanne olisi päinvastainen, sillä mineraalivillan hygrokooppisuus on lähes olematon. (Rafnet-ryhmä 2004.)

3.3.2 Polystyreenieristeinen ulkoseinä

Finfoam-rakenteisen seinän tapauksessa voidaan nähdä teoreettinen kosteuden tiivistyminen 170 mm eristelevyyyn (Kuvio 12). Finfoamin tiivis solurakenne ja yhtenäinen nahkapinta tekevät siitä käytännössä vesihöyryä läpäisemättömän, joten kosteuden tiivistyminen levyn sisään ei ole käytännössä mahdollista. (Finfoam 2014.) Mikäli tiivistyminen osuisi eristekerrosten väliin, saattaisi kyseessä olla mahdollinen kosteusvaurion paikka – varsinkin jos kyseisessä kohdassa olisi eloperäistä ainesta (esimerkiksi puuta).



Kuvio 12. TF-US-164s-FF240 lämpö- ja kosteuskuvaajat DOF-LÄMPÖ-ohjelmasta

Käytettäessä eristeenä polystyreeniä ja polyuretaania, eristevahvuuksien kanssa täytyykin noudattaa erityistä huolellisuutta, jotta rakenne toimii kosteusteknisesti oikein. Mitä paksumpi eristekerros on, sitä suurempi on mahdollisuus kosteuden tiivistymisestä väärään paikkaan.

4 ILMATIIVIYS

4.1 Yleistä

Rakennuksen vaipan ilmatiiviydellä on suora vaikutus rakenteiden kosteustekniiseen toimintaan, energiankulutukseen sekä asumisviihtymiseen. Tiiviyksmittauksella voidaan myös tarkistaa rakennustyön tarkkuus ja laatu. (Paloniitty 2012.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 sanotaan ilmatiiviydestä seuraavaa

Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilman-sulku. (RakMK D3 2012, 10.)

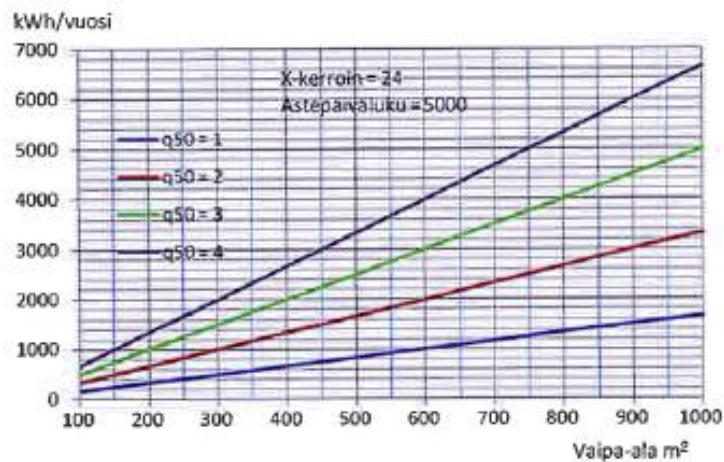
Ilmanvuotolukua tarvitaan myös lähtötietona rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa sekä rakennuslupavaiheessa laadittaessa energiatodistusta ja lämpöhäviöiden tasauslaskelmaa.

4.2 Ilmatiiviyden vaikutukset

Rakenteen tiiviyys sekoitetaan usein rakennuksen hengittävytyteen. Rakenteen tiiviydellä tarkoitetaan vesihöyryn kulkeutumista rakenteen läpi. Ilmatiiviyys taas mittaa rakennuksen vaipan läpäisevää ilmavirtausta. Vuotokohtia voivat olla esimerkiksi ikkunoiden, ovien ja hormien liitoskohdat sekä mahdolliset reiät ilman- ja höyrynsulussa. (Paloniitty 2012.)

Ilmatiiviyys vaikuttaa muun muassa energiankulutukseen. Sisäilman lämmittämiseen kuluu energiaa ja hallitsematon ilman karkaaminen nostaa asumiskustannuksia. Energiankulutus muuttuu lineaarisesti, joten pienikin ilmanvuotoluvun parannus pienentää kustannuksia huomattavasti. (Kuvio 13) Jokainen n_{50} -luvun ko-

konaisyksikön lisäys nostaa laskennallista kokonaisenergiankulutusta keskimäärin neljä prosenttia. (Paloniitty 2012.)



Kuvio 13. Hallitsemattomien ilmanvuotojen kautta kulkeutuvan vuotoilman lämmittämiseen kuluva energia pienissä rakennuksissa (Paloniitty 2012).

Ilmatiivydellä on vaikutusta myös rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Sisäilmassa on aina mukana vesihöyryä, jota kulkeutuu ilman mukana rakenteiden läpi. Pahimmassa tapauksessa vesihöyry kondensoituu rakenteiden sisälle ja aiheuttaa kosteusvaurion.

Oikein säädetyllä ilmastoinnilla saadaan luotua rakennuksen sisätiloihin alipaine, jolloin mahdollisista vuotokohdista ilma virtaa sisäänpäin. Ulkoilma on tyypillisesti sisäilmaa kuivempaa eikä kosteus näin ollen tiivisty.

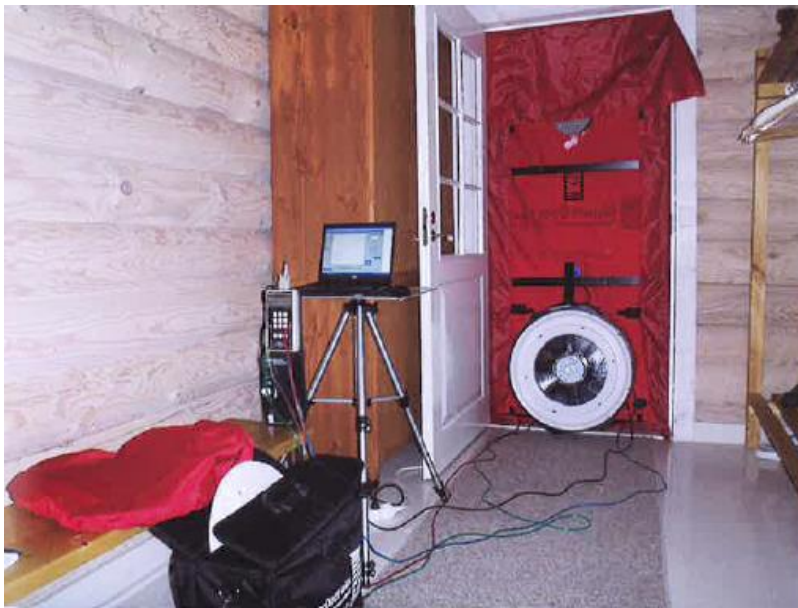
Ilmatiiviyys vaikuttaa edellä mainittujen lisäksi asumisviihtyvyyteen. Ilmatiiviiseen rakennukseen ei pääse virtaamaan ulkoa kylmää ilmaa, joka aiheuttaa vedon tunnetta. Myöskin epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta sisäilmaan vähenee. (Paloniitty 2012.)

4.3 Tiiviysmittaus

Ilmatiivysmittauksessa tutkitaan rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä painekokeella, jossa rakennus yli- tai alipaineistetaan. Yleensä apuna käytetään myös lämpökameraa, jolla voidaan paikantaa mahdolliset ilmavuotoreitit. (Paloniitty 2012.)

Painekokeessa on tärkeää huolehtia rakennuksen aukkojen tulppaamisesta luotettavan testituloksen aikaansaamiseksi (muun muassa ilmastoinnin tulo- ja poistokanavat, liesituuletin, keskuspölyimurin poistoputki, takan luukkujen teippaus, viemärit) (Paloniitty 2012).

Painekokeen suorittamiseen tarvitaan ulko-oveen tai ikkunan tuuletusluukkuun asennettava puhallin sekä paine-eromittausyksikkö. (Kuvio 14) Tietokoneohjelma suorittaa laskennan ja luo mittausraportin. (Paloniitty 2012.)



Kuvio 14. Puhallinyksikkö ja mittauslaitteisto (Paloniitty 2012)

Jotta mittaus on luotettava, vaaditaan riittävän vakaat paine-ero-olosuhteet. Tuulen nopeus ei saa ylittää 6:ta m/s sekä ulko- ja sisälämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen korkeudella täytyy pysyä alle 500 m°C:n. (Paloniitty 2012.)

Painekokeen alkaessa oheismittauksina suoritetaan ulkolämpötilan mittaus mittauspaikan välittömässä läheisyydessä, sisälämpötilan mittaus tilassa, johon puhallin on asennettu sekä tuulen suunta ja voimakkuus mittauskohteessa. (Paloniitty 2012.)

4.4 Ilmanvuotoluvun vertailuarvoja

Pientalossa erinomaisena ilmanvuotolukuna voidaan pitää alle 1,0, normaalina noin 2,0 ja heikkona yli 4,0. Passiivitaloa määriteltäessä luvun täytyy olla alle 0,6. (Paloniitty 2012.)

Suunnitteluvaiheessa käytetään arvoa 4,0. Jos suunnitelmissa käytetään pienempää arvoa, tiiviys pitää osoittaa mittauksilla. Talotehdas voi käyttää niin sanottua ilmoitusmenettelyä, joka vaatii jokaisesta talotyypistä tiiviysmittauksien sarjan, tulosten laskennan sekä tulosten seurannan.

Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 osassa kerrotaan ilmanpitävyydestä seuraavasti:

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. (RakMK D3 2012, 10–11.)

Pienempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla tai muulla menettelyllä. Asuinkerrostaloissa ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla vähintään 20 % huoneistoista. Ilmanpitävyyden mittaus voidaan suorittaa myös rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla, jolloin enintään 25 % rakennuksen tilojen lämmitetystä netto-alasta voidaan rajata pois mittauksesta. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. (RakMK D3 2012, 10–11.)

Ilmanpitävyyden osoittaminen muulla menettelyllä voi olla esimerkiksi teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakolta. (RakMK D3 2012, 10–11.)

Finnlamellin hirsitaloissa ilmanvuotolukuna voidaan käyttää lukua 1,5 (Finnlamelli Oy 2014d). Timberkodeissa vastaavaa tiiviysmittaussarjaa ei ole vielä tehty, joten suunnitteluarvona käytetään RakMK D3 mukaisesti 4,0:aa.

4.5 Esimerkkikohte

Esimerkkikohteena toimii Alajärvelle vuonna 2013 pilari-palkkitekniikalla rakennettu esittelytalo (Kuvio 15).



Kuvio 15. Alajärven Timberkoti-esittelytalo (Finnlamelli Oy 2014).

Tiivysmittauksen suoritti Insinööritoimisto J. Koivuniemi Oy. Mittausraportti löytyy liitteestä 3. Mittauksen yhteydessä rakennus kuvattiin lämpökameralla mahdollisten vuotokohtien paikallistamiseksi.

Esittelytalon rakenteet ovat Timberkodin omakotirakenteen mukaiset.

Yläpohja

- peltikate
- ruoteet 25x100 k 400
- tuuletuskorotus 25x100
- Finnfoam 240 mm (vaahdotus elastisella uretaanilla)
- Finnfoam 50 mm (vaahdotus elastisella uretaanilla + teippaus)
- kattopaneeli STS 20x170
- näkyvät vasat 112x164 ~k900

Ulkoseinärakenne

- ulkoverhous
- tuuletusvälilaudat 22x100 k 600
- runkolevy 25 mm + tiivistys/teippaus
- vaakakoolaus 41x72 k 600 + Ekovillalevy 75 mm
- pystykoolaus 41x72 k600 + Ekovillalevy 75 mm
- TF-runko 164x164
 - vaakakoolaus 41x72 k600 + Ekovillalevy 75 mm
 - ilmansulkupaperi + teippaus
 - pystykoolaus 41x47 k600 + Ekovillalevy 50 mm
 - sisäverhous

Alapohja

- lattian pintamateriaali
- pintalaatta ~112 mm
- Finnfoam 210 mm
- kapillaarisora 300 mm + radonputkisto








Rakennuksen tilavuustiedot

- Huoneistoala: 145 m²
- Ilmatilavuus: 550 m³
- Vaipan ala: 490 m²

Esimerkkikohteessa päästiin tulokseen

- $N_{50}=0,7635 = 0,8 \text{ 1/h}$
- $Q_{50}=0,857 = 0,9 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

Tiiveysmittausluokituksessa tällä tuloksella päästään B-luokkaan (0,7-1,0), eli arvo on erinomainen. (Kuvio 16)

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS		q_{50}	n_{50}
Alle 0,6	A 		
0,7-1,0	B 	X	X
1,1-1,5	C 		
1,6-2,0	D 		
2,1-3,0	E 		
3,1-4,0	F 		
Yli 4,1	G 		

Kuvio 16. Esittelytalon tiiviysmittausluokitus.
(Finnlamelli Oy, 2014).

Painekokeen yhteydessä suoritettulla lämpökamerakuvauksella löydettiin pieniä vuotoja lähinnä ikkunoiden ja ovien tiivisteistä. Näiden ilmavuotojen vaikutus mitaustulokseen on hyvin vähäinen.

5 Yhteenveto

Opinnäytetyön pääasiallinen tavoite oli kerätä yksiin kansiin kaikki Finnlamelli Oy:n Timberkoti-tuotemerkin alla käytössä olevat rakenteet, eli toisin sanoen vakioida Timberkoti-rakenteet. Rakenteet on jaettu käyttötarkoituksen mukaan neljään kategoriaan; kesäkoti, lomakoti, omakoti ja omakoti_{plus}.

Rakennekirjaston lisäksi työssä keskityttiin rakenteiden kosteustekniseen toimintaan ja ilmatiiviyteen, sekä kerrottiin yleisesti timberframe, eli pilari-palkki-rakentamisesta.

Timberkoti on suhteellisen uusi tuote ja suunnittelu sekä myynti on ollut lähes täysin Finnlamellin Helsingin konttorin varassa. Tämä opinnäytetyö tekee osaltaan timberframe-rakenteita ja -rakentamista tutuksi myös muille yrityksen työntekijöille. Rakennekirjastoa ja rakenteiden esittelyä voidaan hyödyntää koulutusmateriaalina muun muassa uusille ja vanhoille myyjille.

Liitteenä löytyvillä u-arvo- ja kosteuslaskelmilla sekä ilmatiiviysraportilla voidaan osoittaa, että haastavasta ja erilaisesta rakennustavasta huolimatta rakenteet on hyvin suunniteltu ja ne toimivat niin kuin niiden kuuluukin.

LÄHTEET

- Benson, T. 1999. Timberframe: The Art and Craft of the Post-and-Beam Home. Newtown (CT): The Taunton Press.
- Finfoam Oy. 2014. Kosteustekninen toimivuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.5.2014]. Saatavissa: <http://www.finfoam.fi/finfoam-eristelevyt/ominaisuudet/kosteustekninen-toimivuus/>
- Finnlamelli Oy. 2012. Timberkoti pystytysohje. Alajärvi: Finnlamelli Oy.
- Finnlamelli Oy. 2014a. Tehdas. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: <http://www.finnlamelli.fi/finnlamelli/talotehdas>
- Finnlamelli Oy. 2014b. CE-merkki. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: <http://www.finnlamelli.fi/tuotetietoa/ce-merkki>
- Finnlamelli Oy. 2014c. Hirsivalikoima. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: <http://www.finnlamelli.fi/tuotetietoa/hirsivalikoima>
- Finnlamelli Oy. 2014d. Tutkitusti tiivis. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: <http://www.finnlamelli.fi/tuotetietoa/tutkitustitiivis>
- Kokko, E. 2002. Hengittävä puukuiturakenne. Helsinki: Wood focus Puuinfo.
- Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
- Perälä, P. 2014. Vientipäällikkö. Finnlamelli Oy. Haastattelu. 5.5.2014.
- Rafnet-ryhmä. 2004. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille, kosteus. [Verkköjulkaisu]. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosan osio K (Kosteus). [Viitattu 4.5.2014]. Saatavana: http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf
- RakMK C3. 2010. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. [Verkköjulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf
- RakMK C4. 2003. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. [Verkköjulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 4.5.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf

RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012.
[Verkojulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa:
http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf

LIITTEET

LIITE 1. Ulkoseinä 1, u-arvon ja kosteuslaskennan tulokset

LIITE 2. Ulkoseinä 2, u-arvon ja kosteuslaskennan tulokset

LIITE 3. Tiiviysmittausraportti

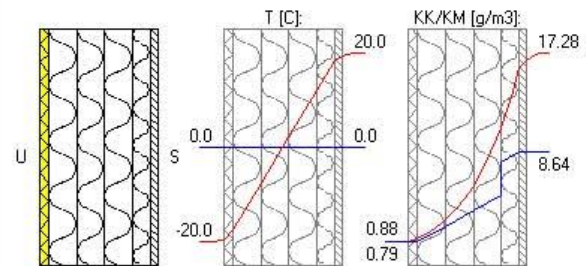
LIITE 4. Timberkoti vakiorakenteet ja u-arvot

LIITE 1 Ulkoseinä 1, u-arvon ja kosteyslaskennan tulokset

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	Ulkoseinä (TF-US-164 s-EKO275)	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
	2.5.2014	US 1

Rakenteen päätledot:

U-arvo:	0.147 W/m ² K
Paksuus:	320.900 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	8712502000.000
Vesih. läpäisykerroin:	0.000000 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.793 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.070 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.190 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostledot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)					
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Tuulensuojalevy 25 m	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	0.00
2 Ekovilla 75 mm	75.00	0.0390	5.000000e-11	0.00	0.00
3 Ekovilla 75 mm	75.00	0.0390	5.000000e-11	0.00	0.00
4 Ekovilla 75 mm	75.00	0.0390	5.000000e-11	0.00	0.00
5 Ilmansulkupaperi	0.90	1.0000	9.375000e-14	0.00	0.00
6 Ekovilla 50 mm	50.00	0.0390	5.000000e-11	0.00	0.00
7 Paneeli	20.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	0.00
KYLMAÄILTA:					
	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
2 Koolaus 42 mm	0.1400	7.0	0.00	0.00	---
3 Koolaus 42 mm	0.1400	7.0	0.00	0.00	---
4 Koolaus 42 mm	0.1400	7.0	0.00	0.00	---
6 Koolaus 42 mm	0.1400	7.0	0.00	0.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)					
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.64	0.90	0.79	87.3	0.00
2	-17.20	1.12	0.80	71.4	0.00
3	-7.43	2.74	2.15	78.6	0.00
4	2.93	5.72	3.50	61.3	0.00
5	12.10	10.77	4.86	45.1	0.00
6	12.10	10.78	7.74	71.8	0.00
7	18.61	15.95	8.64	54.2	0.00
8	19.34	16.64	8.64	51.9	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

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

Lisätiedot:

LIITE 2 Ulkoseinä 2, u-arvon ja kosteuslaskennan tulokset

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä (TF-US-164 s-FF240)	
Suunnittelija:	Päiväys: 2.5.2014	Tunnus: US 2

<p>Rakenteen päätledot:</p> <p>U-arvo: 0.124 W/m²K Paksuus: 310.000 mm Pinta-ala: 1.00 m² Paino: 8.80 kg Hinta: 0.00 euro</p> <p>Vesihöyryn vastus: 161000002000.000 Vesih. läpäisykerroin: 0.000000 g/m²hPa Lämmönvastus: 8.042 m²K/W Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W Kulma (0-90): 90.000</p>	
---	--

Rakenteen kerrostledot:						Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)	
	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	
1	Finnfoam 170 mm	170.00	0.0310	1.500000e-12	0.00	0.00	
2	Finnfoam 70 mm	70.00	0.0370	1.500000e-12	0.00	0.00	
3	Ekovilla 50 mm	50.00	0.0390	5.000000e-11	0.00	0.00	
4	Paneeli	20.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00	
	KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):	
2	Koolaus 70 mm	0.1400	24.2	0.00	0.00	---	
3	Koolaus 42 mm	0.1400	7.0	0.00	0.00	---	
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi							

Lämpötilat ja kosteudet:					3:n päivän kylmän (0.0 h)		Lisätiedot:	
Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:			
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00			
1	-19.69	0.90	0.79	87.7	0.00			
2	4.68	6.70	6.32	94.3	0.00			
3	19.09	11.45	8.59	75.1	0.00			
4	18.79	16.11	8.64	53.7	0.00			
5	19.42	16.72	8.64	51.7	0.00			
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00			
T=Lämpötila, KK=Kylästyiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus								

LIITE 3 Tiiviyssmittausraportti



07.05.2013

ILMATIIVIYDEN TESTIRAPORTTI

Noudattaa standardia SFS-EN 13829

Kohteen tiedot

Rakennuksen osoite:	Rakennuksen korkeus:	5,5 m
Kankurintie - Timberkotli Alajärvi	Rakennuksen tilavuus:	550 m ³
Testaaja: Rl Jouni Kolvuniemi	Vaiipan kokonaispinta-ala:	490 m ²
Yritys: Insinööritoimisto J.Kolvuniemi Oy	Rakennuksen tuulialttius:	Partially protected building
ThermaScan	Rakennuksen mittojen virhe:	5%

Laitteisto - Puhallin: Retrotec 3000SR, SN: PH000470 - Painemittari: DM-2, SN: 205405

Tulos

$$N_{50} = 0,7635 \text{ 1/h}$$

$$q_{50} = 0,857 \text{ m}^3/\text{hm}^2$$

Yhdistetyt tulokset	Arvo	Vaihteluväli		Epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V_{50} [m ³ /h]	420,0	413,5	426,5	+/-0,0153
Ilmanvuotoluku N_{50} [1/h]	0,7635	0,7235	0,8035	+/-0,0526
Ilmanvuotoluku q_{50} [m ³ /hm ²]	0,857	0,812	0,902	+/-0,0500

Lisätiedot:
(add notes here)

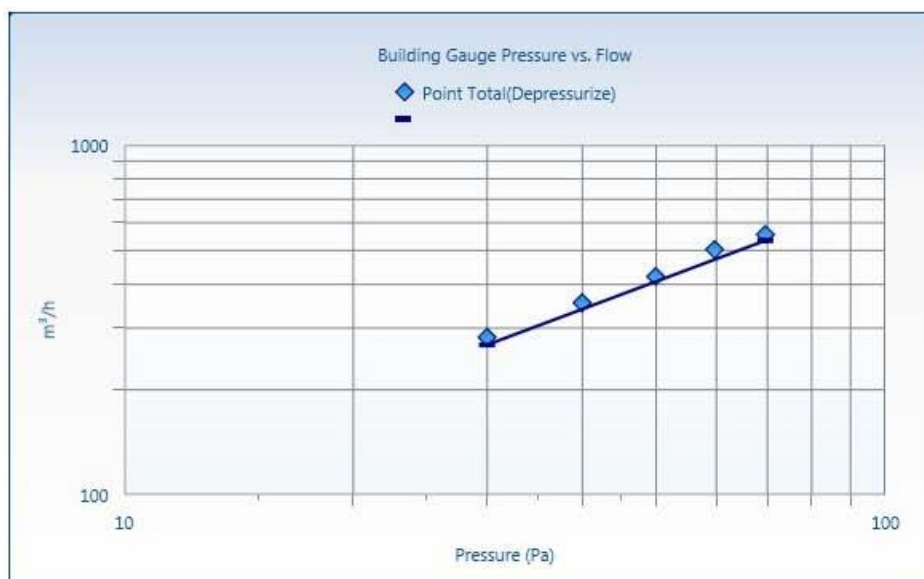
Depressurize mittaustapaPäiväys: **2013-04-30** mittaus alkoi: **10:25** mittaus loppui: **10:34**Olosuhteet: Ilmanpaine: **99,9 KPa**, ilmanpaineen lähde: **Direct measurement**. Tuulen nopeus: **3: Gentle breeze**Lämpötilat: Alussa: sisällä **20 °C**, ulkona **5 °C**. Lopussa: sisällä **20 °C**, ulkona **5 °C**.Testidata: **5** vallitsevaa painetta mitattuna **10** sekuntia, **5** testipainetta mitattuna **20** sekuntia.

Vallitseva paine alussa [Pa]	-0,31	-0,38	0,13	-0,27	-0,32							
Testipaine [Pa]	-30,0	-40,0	-50,0	-59,7	-69,6							
Vallitseva paine lopussa [Pa]	0,23	-0,17	0,44	0,09	0,11							
Puhallinpaine [Pa]	52,5	80,6	112,1	157,1	190,1							
Virtaus, V_r [m ³ /h]	282,6	354,5	421,4	503,1	555,3							
Korjattu virtaus, V_{env} [m ³ /h]	269,8	338,4	402,4	480,3	530,2							
Virhe [%]	0,4%	-0,4%	-1,2%	2,0%	-0,7%							

Vallitsevan paineen keskiarvot: alussa [Pa] ΔP_{01} -0,23, ΔP_{01} -0,32, ΔP_{01} 0,13, lopussa [Pa] ΔP_{01} 0,14, ΔP_{01} -0,17, ΔP_{01} 0,22**Depressurize tulokset**

	tulokset	95% varmuus		epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V_{50} [m ³ /h]	411,0	402,5	419,5	+/-0,0205
Ilmanvuotoluku 50 Pa, n_{50} [1/h]	0,7470	0,7065	0,7875	+/-0,0541
Ilmanvuotoluku 50 Pa, q_{50} [m ³ /h.m ²]	0,839	0,793	0,884	+/-0,0540
Ominaisvuoto 50 Pa, w_{50} [m ³ /h.m ²]	2,834	2,680	2,987	+/-0,0540

Mitattu paine ja virtaus



Pressurize mittaustapa

Päiväys: **2013-04-30** mittaus alkoi: **10:38** mittaus loppui: **10:46**

Ilmasto-olosuhteet: Barometrinen paine: **99,9** kPa lähde: **Direct measurement**. Tuulen nopeus: **3: Gentle breeze**

Lämpötilat: Alussa: sisällä **20 °C** ulkona **5 °C**. Lopussa: sisällä **20 °C** ulkona **5 °C**.

Testidata: 5 vallitsevaa painetta mitattuna 10 sekuntia, 5 mittauspainetta mitattuna 20 sekuntia.

Vallitseva paine alussa [Pa]	0,20	-0,35	-0,80	-0,68	-0,52								
Testipaine[Pa]	29,9	40,1	50,1	60,5	70,1								
Vallitseva paine lopussa[Pa]	1,35	0,27	0,01	0,87	-0,24								
Puhallinpaine[Pa]	50,5	77	109,7	148,9	183,1								
Virtaus, V_r [m ³ /h]	276,7	345,7	416,6	488,8	544,3								
Korjattu virtaus, V_{em} [m ³ /h]	285,8	357,1	430,3	504,9	562,2								
Virhe [%]	0,4%	-0,8%	-0,1%	0,8%	-0,4%								

Vallitsevan paineen keskiarvot: alussa [Pa] ΔP_{01} -0,43, ΔP_{02} -0,59, ΔP_{03} 0,20 ,lopussa [Pa] ΔP_{01} 0,45, ΔP_{02} -0,24, ΔP_{03} 0,62

Pressurize tulokset

	tulokset	95% varmuus		epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V_{50} [m ³ /h]	429,0	424,5	433,5	+/-0,0101
Ilmanvuotoluku 50 Pa, n_{50} [1/h]	0,7800	0,7400	0,8200	+/-0,0510
Ilmanvuotoluku 50 Pa, q_{50} [m ³ /h.m ²]	0,876	0,831	0,920	+/-0,0511
Ominaisvuoto 50 Pa, w_{50} [m ³ /h.m ²]	2,959	2,808	3,110	+/-0,0511

Mitattu paine ja virtaus

