Oskari Joensuu

Hirsitalon ilmatiiviys

Hirsinurkkien tiiviysmittaukset

Opinnäytetyö
Syksy 2015
SeAMK Tekniikka
Rakennustekniikan koulutusohjelma

SeAMK
SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Oskari Joensuu

Työn nimi: Hirsitalon ilmatiiviys

Ohjaaja: Veli Autio

Vuosi: 2015 Sivumäärä: 36 Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli testata Finnlamelli Oy:n valmistaman uuden hirsinurkan ilmatiiviyttä suhteessa vanhaan perinteiseen pitkään ristinurkkaan. Uusi nurkkamalli on tyypiltään lyhytnurkka, joka on suunniteltu erityisesti täyttämään kaava-alueiden määräykset.

Testaaminen suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun testauslaboratorion julkisivujen testauslaitteessa. Molemmille nurkkatyypeille suoritettiin testit sekä yli-, että alipaineella, paine-eroa asteittain kasvattaen. Testitulokset on esitetty taulukoissa sekä kuvaajan muodossa.

Työssä on käyty läpi myös hirsirakentamiseen liittyviä pääasioita sekä käsitelty rakennusten ilmatiiviyden saavuttamista ja sen merkitystä osana rakennuksen energiatehokkuutta. Hallitsematon vuotoilma paitsi lisää asumiskustannuksia myös heikentää asumisviihtyvyyttä ja voi pahimmillaan aiheuttaa rakenteisiin kosteus- ja homevaurion.

Huolelliset suunnitteluprosessit ja kehittyneet tiivistysmateriaalit ovat mahdollistaneet yhä tiiviimpien hirsirakennusten rakentamisen. Testien tulokset osoittavat, että nykyaikainen teollisesti valmistettu hirsitalo voi olla ilmatiivis ja energiatehokas ratkaisu.

Avainsanat: hirsi, hirsirakentaminen, ilmatiiviys, vuotoilma, testaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Oskari Joensuu

Title of thesis: Air-tightness of a Log house

Supervisor: Veli Autio

Year: 2015 Number of pages: 36 Number of appendices: 0

The main objective of the thesis was to test air-tightness in two different models of edge joints of a log house. The first one was a traditional long cross corner and the second one was a new kind of a short corner. Both types of edge joints were designed and manufactured by Finnlamelli Oy.

The air-tightness testing was performed at the testing laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. The testing device is used in testing different facades etc. The device can be used to test air-tightness with positive or negative pressure. The both edge joints were tested with the same testing programs, with positive and negative pressures. The findings were presented in charts and diagrams to help their contrasting.

The thesis also contains the main details about log construction and air-tightness of a building. It is very important to know how good air-tightness and energy efficiency can be achieved in timber construction. Leakage air flow can be a risk because it can cause mould damage to the structures.

The tests of the thesis demonstrated that a modern log house can be airtight and energy efficient.

Keywords: log, log construction, air-tightness, leakage air flow rate, testing

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä 2
Thesis abstract 3
SISÄLTÖ 4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo 6
Käytetyt termit ja lyhenteet 7
1 JOHDANTO 8
1.1 Työn tausta ja tavoitteet 8
1.2 Finnlamelli Oy 8
2 HIRSI RAKENNUSMATERIAALINA 10
2.1 Hirren kosteuskäyttäytyminen 10
2.2 Hirsirakennuksen erityisominaisuudet 11
2.2.1 Painumat 11
2.2.2 Hirsirakenteen ilmanpitävyys 12
2.3 Lamellihirsi 12
2.4 Erilaisia nurkkatyyppejä 14
3 RAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYS 15
3.1 Ilmanpitävyyden merkitys 15
3.2 Tiiviysmittaus 16
3.3 Pientalojen ilmatiiviys 17
3.4 Tiiviyden saavuttaminen 17
3.5 Ilmanpitävyys hirsiseinässä 18
4 HIRSINURKKIEN TESTAUS 20
4.1 Testattavat nurkkamallit 20
4.2 Koejärjestelyt ja laitteisto 22
5 MITTAUSTULOKSET 26
5.1 Laitetiiviys 26
5.2 Tulokset ylipaineella 26
5.3 Tulokset alipaineella 28
5.4 Tulosten vertailu 30
5.5 Yhteenveto testeistä 32

6 YHTEENVETO 34
LÄHTEET 36

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Pitkä ristinurkka 21

Kuva 2. Uusi tasanurkka 22

Kuva 3. Testilaitteen aukko tyhjänä 23

Kuva 4. Nurkan yläpään ja vanerin liitoksen tiivistys 24

Kuva 5. Lyhytnurkka asennettuna testilaitteeseen 25

Kuvio 1. Puun kutistuminen eri suunnissa 10

Kuvio 2. Lamellihirren profiileja 13

Kuvio 3. Painumaton hirsi 13

Kuvio 4. Esimerkki hirsisauman tiivistämisestä 19

Kuvio 5. Testitulokset ylipaineella 31

Kuvio 6. Testitulokset alipaineella 32

Taulukko 1. Pitkä ristinurkka ylipaineella 27

Taulukko 2. Tasanurkka ylipaineella 27

Taulukko 3. Tasanurkka ilman nurkkalistaa 28

Taulukko 4. Pitkä ristinurkka alipaineella 29

Taulukko 5. Tasanurkka alipaineella 29

Käytetyt termit ja lyhenteet

Dimensio	Hirren tai kappaleen poikkileikkausmitat.
Följäri	Hirsiseinän jäykistämiseen käytettävä pilari.
Hygroskooppinen	Hygroskooppinen materiaali voi sitoa itseensä kosteutta ja vastaavasti luovuttaa sitä ympäröivään ilmaan. Kosteus vaihtelee ympäristön kosteuden mukaan.
Ilmanvuotoluku, n_{50}	Rakennuksen vaipan ilmavuoto 50Pa paine-erolla rakennuksen vaipan pinta-alaa kohden tunnissa. Luku kuvaa rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä yksikkönä [$m^3/(h\ m^2)$].
Ilmanvuotoluku, q_{50}	Rakennuksen vaipan ilmavuoto 50Pa paine-erolla. Luku kuvaa rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä yksikkönä [1/h].
Lamellihirsi	Suorakaiteen muotoisista osista eli lamelleista liimaamalla koottu hirsi.
Lyhytnurkka	Lyhytnurkassa hirret on katkaistu talon seinäpinnan tasoon.
Pitkänurkka	Nurkka, jossa hirsien päät jatkuvat risteämiskohtaansa pidemmälle.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää hirsitalon ilmatiiviyttä nurkkaliitosten osalta. Rakennuksen ilmatiiviys on keskeinen osa koko rakennuksen energiatehokkuutta. Hirsirakentamisessa juuri nurkkien ilmatiiviys on ollut usein suurin haaste.

Tarkoituksena oli testata Finnlamelli Oy:n kehittämän uuden juuri markkinoille tulleen nurkkatyypin ilmanpitävyyttä. Uusi nurkkatyyppi on moderni tasanurkkaratkaisu, johon ei jää näkyviä hirren päitä ja nurkka verhoillaan nurkkalaudoilla. Tasanurkkaratkaisulla toteutetussa hirsitalossa ei ole näkyviä pitkiä nurkkia ja hirret kulkevat samassa tasossa kaikilla seinillä. Tämä modernin näköinen nurkkamalli soveltuu mm. kaupunkien kaava-alueille. Vertailupohjana uudelle tasanurkkaratkaisulle testattiin myös vanha perinteinen pitkä ristinurkka. Vanha nurkkaratkaisu on pitkän kehitystyön ja suunnitelun avulla saatu hyvin ilmatiiviiksi ja hirsitaloille saadaankin nykyään tiiviysmittauksissa hyviä tuloksia.

Hirsinurkkien testaaminen suoritettiin Seamkin testauslaboratoriossa olevalla julkisivujen testauslaitteella, jossa on mahdollista tutkia rakenteen ilmanpitävyyttä, sekä yli- että alipaineessa. Testauksessa pyrittiin löytämään paras mahdollinen tiiviys sekä selvittämään onko uuden ja vanhan nurkkamallin välillä eroja tiiviydessä. Hirsiprofiilina testeissä käytetään 202x260 mm lamellihirttä. Testeissä pyrittiin myös löytämään mahdolliset vuotoilman reitit ja tämän perusteella parantaa uuden hirsinurkan ilmatiiviyttä ennen täysimittaisen valmistuksen aloittamista.

1.2 Finnlamelli Oy

Finnlamelli Oy on Etelä-Pohjanmaalla Alajärvellä sijaitseva yritys, joka valmistaa lamellihirsirakennuksia. Yritys on perustettu vuonna 1996, mutta Finnlamellin juuret ovat vahvasti alajärveläisessä hirsitaloperinteessä. Lamellihirren valmistus alkoi ensimmäisenä Suomessa Alajärvellä noin 30 vuotta sitten. Nykyään

Finnlamelli on yksi maamme johtavia hirsitalovalmistajia. Finnlamelli tarjoaa hirsisiä omakotitaloja ja vapaa-ajan asuntoja. Laajassa lamellihirsivalikoimassa on vaihtoehtoja lukuisiin käyttötarkoituksiin. Finnlamelli valmistaa kokonaistoimitusten lisäksi rakennus- ja puuteollisuuden käyttöön liimapuukannatteita, sormijatkettua rakennesahatavaraa, liimattuja tolppia ja pilareita sekä hirsiaihioita. 2012 käyttöön otettu hirrentyöstölinja mahdollistaa myös erikoistyöstöjen tekemisen yhdellä ja samalla linjastolla. Linja sisältää määrämittakatkonnan, optimoinnin, Hundegger-erikoistyöstöt, poraukset, karauratyöstöt, aukkosahaukset, pontinpoistotyöstöt sekä muita erikoistyöstö mahdollisuuksia. Vuonna 2013 valmistui toinen uusi työstölinja, joka on ominaisuuksiltaan samanlainen kuin edellä kuvattu. Uudet työstölinjat ovat kasvattaneet Finnlamellin työstökapasiteettia jopa tuhanteen hirsitaloyksikköön vuodessa. Vienti on tärkeä osa Finnlamellin toimintaa. Nykyisin vajaa puolet tuotannosta menee vientiin mm. Keski-Eurooppaan, Venäjälle ja Japaniin. (Finnlamelli Oy 2015a.)

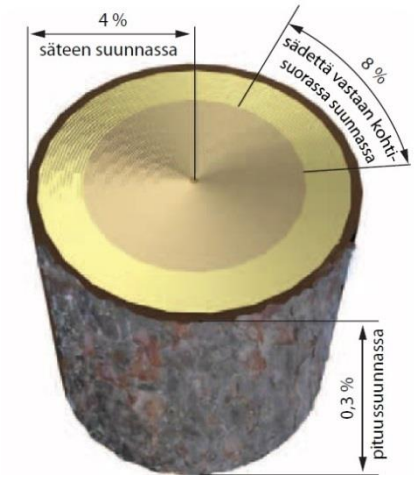
Finnlamellin valmistaa hirsidimensioita 88–112 x 180 ja 112–270 x 260. Massiiviset kartanohirret 180-270 x 260 soveltuvat omakotitalorakentamiseen sekä muihin suurempiin rakennuksiin. Finnlamellin hirsitaloissa on saavutettu hyviä tuloksia tiiveyden osalta. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohjeen mukaisesti laskettuna Finnlamellin hirsitaloissa voidaan ilmanvuotolukuna käyttää lukua 1,5 1/h. Tiiveysmittauksissa on Finnlamellin valmistamille hirsitaloille saatu tuloksia alle 1 1/h. (Finnlamelli Oy 2015b.)

2 HIRSI RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Hirren kosteuskäyttäytyminen

Puu ja puupohjaiset rakennusmateriaalit ovat hygroskooppisia, eli ne voivat sitoa itseensä ympäröivän ilman vesihöyryä ja luovuttaa sitä takaisin, kun suhteellinen kosteus ympäröivässä ilmassa vaihtelee. Hirsiseinä on massiivipuinen, hygroskooppinen rakenne, johon voi siirtyä diffuusiolla vesihöyryä ympäristöstä tai vapautua siitä takaisin ympäristöön. (RT 82-11168 2014.)

Puun kutistuminen riippuu syyn suunnasta (Kuvio1). Puun syiden suuntainen kutistuminen on pieni verrattuna toisiin suuntiin. Puun kuivuessa kosteasta (kosteus29%) täysin kuivaksi, kutistuma on kehän suunnassa noin 8%, säteen suunnassa noin 4% ja syysuuntaan 0,3%. Näiden kutistumaerojen vuoksi puuhun syntyy jännityksiä, jotka ylittäessään puun vetolujuuden, synnyttävät siihen halkeamia. Halkeamien kokoon vaikuttavat mm. hirren kosteus ja koko. Lamellihirrellä halkeamat ovat huomattavasti muita hirsityyppejä pienempiä. Kesällä halkeamat ovat noin kolmanneksen pienemmät kuin talvella. Halkeamilla ei ole vaikutusta hirren lämmönjohtumis- tai lujuusarvoihin. (RT 82-11168 2014.)



Kuvio 1. Puun kutistuminen eri suunnissa
(RT 82-11168 2014).

Hirsiseinä hygroskoopisena rakenteena pienentää huoneilman suhteellisen kosteuden vaihtelua, jolloin vältetään epäterveelliset kosteat ja kuivat ääritilanteet.

Kosteus vaikuttaa sekä suoraan, että välillisesti sisäilman laatuun. Suhteellinen kosteus olisi suositeltavaa pitää välillä 30 %-60 %. Hirren kosteus lämmitetyissä sisätiloissa asettuu noin 8 % ja ulkoseinissä noin 14 % kuivapainosta. Ulkoseinien kosteus voi vaihdella suurestikin mm. auringon säteilystä ja rakenteen suojauksesta johtuen. (RT 82-11168 2014.)

2.2 Hirsirakennuksen erityisominaisuudet

2.2.1 Painumat

Hirsiseinän painuminen johtuu puun luonnollisesta kuivumisesta, hirsiseinän saumojen tiivistymisestä ja rakenteen kuormituksesta. Suunnittelussa on otettava huomioon hirsirakenteen painumat, jotka ovat hirsityypistä riippuen noin 10-50mm/seinän korkeusmetri. Suurin osa painumasta aiheutuu puun kuivumisesta. Sisällä olevien väliseinien lopullinen kosteus on pienempi, jonka vuoksi niiden painuma on hieman suurempi kuin ulkoseinien. Hirsivalmistajilla on valikoimissaan myös ns. painumatonta hirttä, jossa painumien huomiointi vastaa tavallista puurakentamista. (RT 82-11168 2014.)

Painumattomat rakenteet kuten tiiliseinät, kevyet rankarakenteiset väliseinät, portaat, kalusteet ja pilarit on liitettävä hirsirakenteisiin painuman mahdollistavalla tavalla. Painumattomat rakenteet varustetaan painumavaralla ja kantavat rakenteet esim. kierrejalalla. Huomioitavia kohtia ovat esimerkiksi eritasoperustuksissa alemman tason suurempi painuma tai laajennettaessa vanhoja hirsirakennuksia, jolloin uuden osan hirret painuvat. Myös läpivienteihin täytyy kiinnittää huomiota, että rakenteet pääsevät laskeutumaan esteettä ja esimerkiksi hormien paloetäisyydet säilyvät väli- ja yläpohjissa laskeutumisen jälkeenkin. Kevyet väliseinät kiinnitetään hirsiseinään esimerkiksi soirolla, jossa on urat ruuvien laskeutumista varten. Myös mahdollisen lisäeristyksen rungon kiinnityksessä tulee huomioida painumavara. Ikkuna- ja oviaukoissa käytetään laskeutumisen sallivia karapuita, jotka asennetaan aukkojen pieliin tehtyihin uriin.

Rakennuksen päätykolmioiden ollessa hirsirakenteiset ja kattokannattajien ylä- ja alapäiden tukeutuessa hirsiseinän varaan, aiheutuu tukipisteiden painumaeroista kattokannattajien työntyminen ulospäin. Tämä vaakasiirtymä on otettava huomioon vaakaliikkeen sallivilla kiinnikkeillä. Mikäli tällaiseen rakennukseen suunnitellaan poikkiharjaa, tulisi päätykolmiot tehdä pystyrunkoisina tai huomioida lappeiden liukuma poikkiharjan liitoksissa. Hirsiseinä jäykistetään puutapituksella ja kierretangoilla sekä poikittaisseinillä ja följareilla eli tukipuilla. Puu- ja terästapit estävät hirsiä liikkumasta ja vääntymästä, etenkin pitkillä seinillä ja aukkojen lähellä. Tappien välimatka saisi olla korkeintaan 2000mm. (RT 82-11168 2014.)

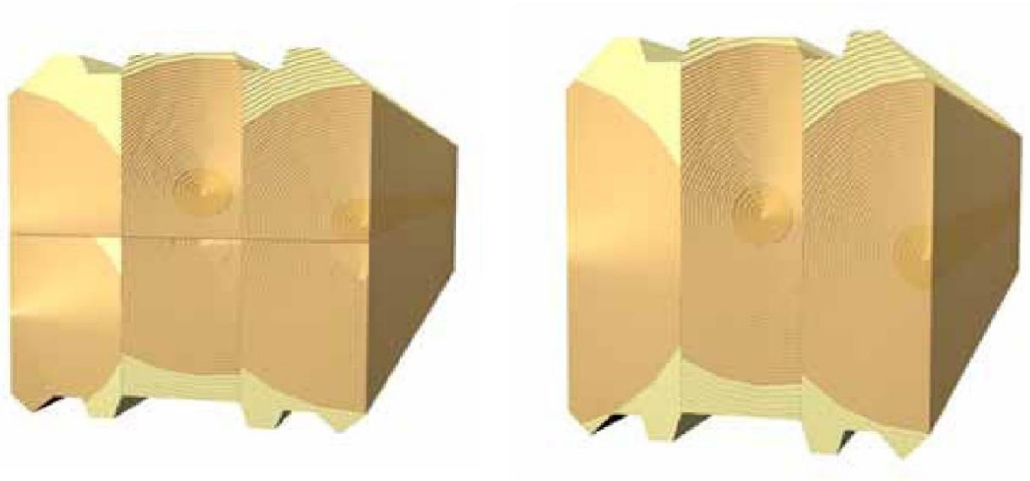
2.2.2 Hirsirakenteen ilmanpitävyys

Hirsirakenteen ilmanpitävyyden tulee olla yhtä hyvä kuin muiden vastaavien rakenteiden. Hyvällä rakennuksen vaipan tiiviydellä estetään hallitsematon vuotoilma rakenteen läpi ja varmistetaan hallittu ilmanvaihdon toiminta. Teollisesti valmistettujen hirsien varausten muotoilulla ja hirsien välissä sekä nurkkasalvoksissa käytettävillä tiivisteillä varmistetaan seinärakenteen hyvä ilmatiiveys. Hirsitalon tiiviyden kannalta vaipan eri rakenneosien liitokset ja läpiviennit ovat ongelmallisimpia kohtia. Tiivistykseen käytettävillä tuotteilla tulee olla erityisen hyvät käyttö- ja tiiviysominaisuudet. Huolellisella suunnitelulla ja toteutuksella varmistetaan rakenteen tiiviys ja toimivuus. Rakennuksen ilmanpitävyydestä ja sen merkityksestä tarkemmin luvussa 3. (RT 82-11168 2014.)

2.3 Lamellihirsi

Lamellihirsi eli niin sanottu liimahirsi on valmistettu liimaamalla kahdesta tai useammasta kappaleesta joko pysty-, vaaka- tai ristisaumoin. Esimerkkejä lamellihirren profiilista kuviossa 2. Lamelleina käytetään höylättyjä lankkuja. Liimauksen ansiosta hirsien vääntyminen ja halkeilu on saatu minimoitua. Lamellihirressä kestävä sydänpuu asettuu hirren pinnalle. Kovalla sydänpuulla on parempi säänkestävyys ja tämä onkin lamellihirren etu verrattuna sen edeltäjään höylähirteen. Aiemmin lamellihirsiä tehtiin kylmäliimaus menetelmällä, jossa

puristusaika kesti useita tunteja. Nykyisin käytössä oleva kuumaliimausmenetelmä on nopeuttanut kuivumisprosessia muutamaan minuuttiin. Tehostuneen tuotantoprosessin ansiosta lamellihirren hinta on laskenut huomattavasti. Lamellihirrestä on kehitetty myös niin sanottu painumaton lamellihirsi, jonka painumattomuus perustuu pystypuiseen keskilamelliin (Kuvio 3). Lamellihirsi on kaikkien Suomen johtavien hirsitalotoimittajien päämateriaali. (Honkarakenne Oyj 2015; RT 82-11168 2014.)



Kuvio 2. Lamellihirren profiileja
(RT 82-11168 2014).

Kuvio 3. Painumaton hirsi
(RT 82-11168 2014).

2.4 Erilaisia nurkkatyyppejä

Hirsirakentamisessa on käytössä hirsityypistä ja valmistajasta riippuen useita erilaisia nurkkasalvosratkaisuja. Nurkkasalvokset jaetaan kahteen päätyyppiin, pitkä- ja lyhytnurkkiin. Tässä on käsitelty vain Finnlamelli Oy:n valmistamia nurkkatyyppejä. Niitä ovat perinteinen pitkä ristinurkka, city-nurkka eli koteloitu lyhytnurkka ja tasanurkkaratkaisu.

Perinteinen pitkä ristinurkka sopii erityisesti haja-asutusalueiden omakotirakentamiseen sekä vapaa-ajan asuntoihin. City-nurkka eli koteloitu lyhytnurkka eroaa perinteisestä ristinurkasta siten, että risteävien hirsien päät jatkuvat nurkan yli vain 7cm ja nurkka koteloidaan nurkkalaudoilla. Tasanurkkainen hirsitalo on kehitetty erityisesti kaupunkiolosuhteisiin ja kaupunkien kaavamääräyksiin sopivaksi. Tasanurkalla toteutetussa hirsitalossa ei ole lainkaan näkyviä pitkiä hirsinurkkia ja nurkat viimeistellään nurkkalaudoilla. Tasanurkkaratkaisussa hirret ovat samassa tasossa kaikilla seinillä, antaen talolle modernin ulkonäön. (Finnlamelli Oy 2015c.)

3 RAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYS

3.1 Ilmanpitävyyden merkitys

Ilmavuodot ovat rakennuksen sisä- ja ulkopuolen paine-erojen aiheuttamaa ilman virtausta eli konvektiota rakennuksen vaipan läpi. Paine-erot aiheutuvat muun muassa ilmanvaihdosta, tuulesta, tulisijojen käytöstä sekä lämpötilaeroista. Rakennuksessa ei normaalioloissa esiinny yli 50 Pa:n paine-eroja. Koneellisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa pyritään pitämään alle 10 Pa:n alipaine ulkoilmaan nähden. Rakennusten ja rakenteiden ilmanpitävyyttä voidaan tutkia eri tavoin laboratorioissa, mutta myös kenttäolosuhteissa. (Aho & Korpi 2009, 7.)

Hyvän ilmanpitävyyden tärkeimpiä vaikutuksia on rakennuksen energiankulutuksen pieneneminen. Ilmatiiviissä rakennuksessa lämpö ei karkaa ilmavirtausten mukana ulos eikä kylmä ilma virtaa sisälle. Vuotoilman vaikutus lämmitysenergiantarpeeseen on tavallisessa pientalossa, jonka n_{50}-luku on 4 1/h, noin 15–30 % ja kulutus lisääntyy noin 7 % jokaista n_{50}-luvun yksikön lisäystä kohti. Vuotoilman vähentäminen on nykyisillä lämmöneristepaksuuksilla edullisimpia ja merkittävimpiä keinoja energiatalouden parantamisessa. (Aho & Korpi 2009, 7.)

Ilmanpitävän rakennuksen etuna on parempi ilmanvaihdon ja sisäilman laadun kontrollointi. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toiminta on parempi ilmatiiviissä rakennuksessa ja lämmöntalteenoton hyöty on suurempi, kun ilma poistuu vain ilmanvaihdon poistoventtiilien kautta. Tiiviissä rakennuksessa ilmanvaihdon toimivuudella ja tasapainotuksella on erittäin suuri merkitys, koska ilma vaihtuu käytännössä vain ilmanvaihdon kautta. (Aho & Korpi 2009, 7-8.)

Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta ilmatiiveydellä on suuri merkitys. Vuotokohdan läpi kulkeva ilma kuljettaa aina mukanaan myös ilman sisältämän vesihöyryn. Tätä kutsutaan kosteuden konvektioksi. Lämpimän sisäilman sisältämä kosteus voi rakenteen läpi kulkeutuessaan aiheuttaa kondensoitumisriskin vuotokohtaan ja sitä kautta kosteus- ja homevaurioita. Myös

kylmän vuotoilman aiheuttama mahdollinen rakenteen jäätyminen voi aiheuttaa tiivistymisriskin. Rakennukset tehdään yleensä alipaineisiksi, koska kylmä ulkoilma sisältää yleensä vähemmän vesihöyryä ja ei aiheuta sisään virratessaan kosteuden tiivistymistä. Kun taas rakennuksessa on ylipaine, voi sisäilman kosteus kulkeutua rakenteisiin. (Paloniitty 2012, 16–17.)

Hyvän ilmanpitävyyden yhtenä perusteena on asumisviihtyvyyden parantaminen. Vedon tunne aiheutuu kylmän ulkoilman virtaamisesta sisätiloihin. Hyvä ilmatiiviys parantaa sisäilman laatua vähentämällä mahdollisten homeiden, epäpuhtauksien ja haitallisten aineiden kulkeutumista sisäilmaan sekä vähentämällä vedon tunnetta. (Paloniitty 2012, 20.)

3.2 Tiiviysmittaus

Koko rakennuksen tiiviystason määrittämiseen käytetään painekoetta. Kokeessa kaikki rakennuksen vaipassa olevat aukot esimerkiksi ilmanvaihtoventtiilit suljetaan ja tiivistetään. Rakennuksen yhteen ovi- tai ikkuna-aukkoon asetetaan puhallin, jolla muodostetaan paine-ero sisä- ja ulkoilman välille. Paine-eron ylläpitämiseksi tarvittava ilmavirtaus mitataan puhaltimen läpi kulkevasta ilmasta. Kun 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmavirtauksen määrä [m^3/h] jaetaan rakennuksen tilavuudella [m^3], saadaan ilmanvuotoluku n_{50} [1/h]. Luku kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen tilavuuden verran ilmaa vaihtuu tunnissa 50 Pa:n paine-erolla. Toinen rakennuksen ilmatiiviyden kuvaamiseen käytetty luku on q_{50}-luku, joka kertoo vuotoilman määrän suhteessa rakennuksen vaipan alaan, yksikkönä on [m^3/(h m^2)]. Mitä pienempi luku on, sitä parempi on rakennuksen ilmatiiviys. Uudisrakentamisessa suurin sallittu q_{50}-luku on 4[m^3/(h m^2)]. Pelkästään painekoemenetelmällä mahdollisten vuotokohtien sijainnin määrittäminen voi olla haastavaa. Vuotokohtien paikantamisessa voi käyttää apuna esimerkiksi lämpökamerakuvausta tai merkkisavua. Rakennuksen ilmanvuotoluku tarvitaan lähtötietona lämmöntarpeen laskennassa. (Aho & Korpi 2009, 7; Paloniitty 2012, 14.)

3.3 Pientalojen ilmatiiviys

Rakennusten ilmanpitävyyttä on tutkittu Suomessa painekoemenetelmällä viimeisten 20 vuoden aikana yhä laajemmin. Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Teknillisen korkeakoulun LVI-tekniikan laboratorio tekivät tiiviysmittauksia mm. 100 puurunkoiseen pientaloon sekä 20 hirsitaloon. Keskiarvona n_{50}-luvuksi saatiin puurunkoisissa pientaloissa 3,9 1/h ja hirsitaloissa 6,0 1/h. Hirsitaloissa, joissa oli käytetty uusia tiiviimpiä saumaeristeitä, kuten solukumia tai paisuvia eristenauhoja saatiin parempia tuloksia kuin perinteisillä tiivisteillä varustetuissa taloissa. (Aho & Korpi 2009, 9.)

Pientalojen merkittävimpiä vuotokohtia ovat ulkoseinän ja yläpohjan liitos sekä ikkunat ja ovet ja niiden liitokset ulkoseinään. Muita vuotopaikkoja ovat ulkoseinän ja välipohjan liitos, läpiviennit, ulkoseinän ja alapohjan liitos sekä ulkonurkat. Nämä ovat myös hirsitaloissa usein merkittävimpiä vuotokohtia. (Aho H.&Korpi M. 2009, 9.)

Hirsirakennuksen haasteellisimpia vuotokohtia on massiivisen hirsiseinän ja ilmansulun liittyminen toisiinsa päätyrakenteessa. Muita yleisiä vuotokohtia ovat mm. tasakerrassa hirsiseinän ja kehäristikon liittymä sekä kehäristikon osalla paarteiden kohdalla. (Romppainen 2010, 39.)

3.4 Tiiviyden saavuttaminen

Ilmatiiviin rakenteen toteuttaminen varmistetaan yleensä erillisellä ilmasulkukerroksella. Mikäli rakenne on itsessään riittävän tiivis, ei erillistä ilmansulkua yleensä tarvita. Kerroksellisissa rakenteissa tarvitaan aina höyrynsulku, joka toimii samalla ilmansulkukerroksena. Massiivirakenteissa, kuten hirsiseinässä, ei erillistä ilmansulkua tarvita. Tällöin on kiinnitettävä huomiota rakenteiden liitoskohtiin. (Aho & Korpi 2009, 10.)

Rakennuksen ilmansulun on oltava tiivis kokonaisuus. Rakenteen ja sen yksityiskohtien on oltava riittävän tiiviitä, jotta rakennus voidaan pitää pääsääntöisesti alipaineisena. Tämä tarkoittaa erilaisten epäjatkuvuuskohtien,

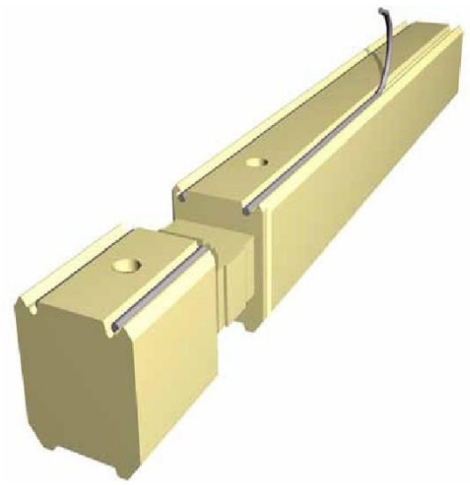
ilmansulun saumojen, läpivientien sekä ikkuna- ja oviliittymien saamista niin tiiviiksi, että rakennuksen vaippa on kokonaisuutena ilmatiivis. (Romppainen 2010, 27.)

Ilmanpitävyyden saavuttamiseen käytettyjen rakenteiden ja materiaalien tulee säilyä ilmanpitävinä koko rakennuksen käyttöiän ajan. Erityisesti rakenneosien väliset liitokset ja piiloon jäävät liitoskohdat tulee tiivistää huolella ja kestävää tapaa käyttäen, jotta vältytään rakenteiden avaamiselta myöhemmin. Ilmansulkuun rakennusaikana syntyneet mahdolliset reiät tulee paikata joko vaahdottamalla, kittaamalla tai riittävän hyvällä tartuntakyvyllä varustetulla teipillä. Tiivistämisessä käytettyjen materiaalien tulee olla riittävän kestäviä. (Aho & Korpi 2009, 11.)

3.5 Ilmanpitävyys hirsiseinässä

Hirsirakenteissa painuma on aina otettava huomioon suunnittelussa. Painumisen myötä hirsiseinän ilmanpitävyys paranee ajan myötä jonkin verran. Tämä kuitenkin vaatii painumavarojen jättämistä aukkojen ja painumattomien rakenneosien kohdalle ja näiden liitosten ilmanpitävyyden huolellista suunnittelua. Suunnittelussa tulee huomioida rungon vapaa painuminen ja etteivät painumaerot kasva liian suuriksi. (Aho & Korpi 2009, 17.)

Suoralla seinänosalla rakenteen ilmanpitävyyteen vaikuttaa eniten hirsiprofiili. Hirsien välissä saumaeristeenä voidaan käyttää tiiviitä ja joustavia solumuovi- tai kumitiivisteitä, mutta myös muilla tiivistevaihtoehdoilla voidaan saavuttaa koko rakennukselle riittävä ilmatiiviys (Kuvio 4). Nykyään käytössä ovat pääasiassa solumuovi- ja kumitiivisteet sekä uusimpana ns. turpoavat saumatiivisteet, jotka parantavat saumojen ilmatiiviyttä ennestään. (Aho & Korpi 2009, 17.)



Kuvio 4. Esimerkki hirsisauman tiivistämisestä
(Rakennustieto Oy 2014.)

Hirsiseinän ilmanpitävyydessä kriittisimpiä kohtia on usein nurkkasalvoksen ilmanpitävyys. Hirsirakennuksen ilmatiiviyttä voidaan parantaa painumisen jälkeen tiivistämällä liitos- ja saumakohtia uudelleen esimerkiksi polyuretaanivaahdolla. (Aho & Korpi 2009, 17.)

4 HIRSINURKKIEN TESTAUS

4.1 Testattavat nurkkamallit

Testattavat nurkkamallit olivat Finnlamelli Oy:n valmistamat perinteinen pitkä ristinurkka (kuva 1) sekä uusi tasanurkkainen ratkaisu (kuva 2). Testeissä käytettävä hirsi oli kuudesta lamellista liimattu lamellihirsi ja hirsidimensio oli 202x260 mm.

Pitkä ristinurkka on hirsirakentamisessa niin sanottu perinteinen tapa. Hirsien päät jatkuvat nurkkien yli ja tämä vaikeuttaa hirsirakentamisen mahdollisuutta kaava-alueilla. Vanhalla nurkkatyypillä valmistetuille taloille on tiiviysmittauksissa saatu n_{50}-luvuksi alle 1,0 olevia arvoja, joten se on riittävän tiivis ja siten hyvä vertailukohta uudelle nurkkatyypille.

Uusi tasanurkkamalli on kehitetty erityisesti vastaamaan kaupunkien kaavamääräyksiä. Tässä nurkkatyypissä erona on, että hirret kulkevat kaikilla seinillä samassa tasossa ja nurkassa ylitystä ei tule lainkaan. Nurkkalaudoilla verhoiltuna tasanurkka näyttää täysin modernilta puurakenteiselta omakotitalolta. Uuden nurkkamallin ilmatiiviys haluttiin selvittää ennen täysimittaisen valmistuksen alkamista.

Kuva 1. Pitkä ristinurkka.

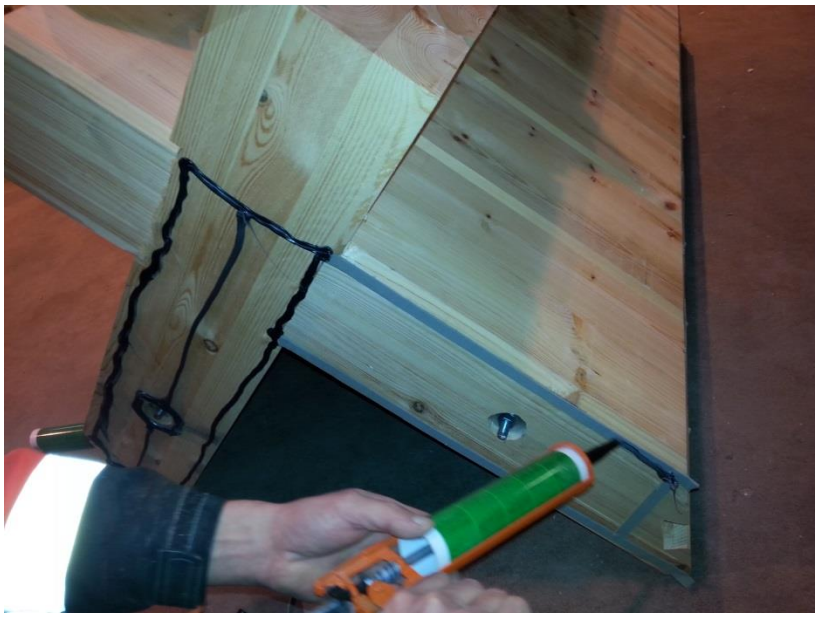
Kuva 2. Uusi tasanurkka.

4.2 Koejärjestelyt ja laitteisto

Hirsinurkkien testaaminen suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa. Testilaitteena toimi julkisivujen testauslaite, jolla on mahdollista tutkia erilaisten rakenteiden ja rakennusosien muun muassa ovien ja ikkunoiden sekä erilaisten julkisivujen ilmatiiviyttä ja vedenpitävyyttä. Testit voidaan suorittaa joko ali- tai ylipaineessa ja paine-eroa voidaan kasvattaa aina 4000 Pa:iin asti. Testilaitteeseen on mahdollista vaihtaa erikokoisia kehiä tutkittavan rakenteen koon mukaan (kuva 3).

Kuva 3. Testilaitteen aukko tyhjänä.

Nurkkien testausta varten valittiin testilaitteeseen kehä, jonka aukko oli 1020 mm x 2100 mm ja Finnlamelli valmisti hirret tämän aukon mittojen perusteella. Nurkat koottiin kahdeksasta hirsikerrasta ja siten tutkittavia nurkkasalvoksia saatiin kahdeksan molempiin nurkkatyyppeihin. Nurkkarakenteiden sekä ala-, että yläpäät suljettiin vanerilevyillä, jotka tiivistettiin huolella tiivistysmassalla (kuva 4). Hirsien päät oli leikattu oikeaan kulmaan, rakenteen tiiviin asentamisen mahdollistamiseksi testilaitteeseen. Itse hirsirakenteen tiivistäminen toteutettiin Finnlamellin tiivistysohjeen mukaisesti. Hirsisaumojen tiiviyden varmistamiseksi rakenne kiristettiin hirsien läpi kulkevien kierretankojen avulla riittävään kireyteen. Hirsisaumoissa oli lisäksi paisuvat tiivisteet. Hirsisaumoissa käytettiin samanlaista tiivistystapaa, joten mahdolliset tiiviyserot liittyvät juuri nurkan ilmavuotoihin.



Kuva 4. Nurkan yläpään ja vanerin liitoksen tiivistys.

Hirsinurkat asennettiin ja tiivistettiin testilaitteen aukkoon ja varsinainen kiinnitys tapahtui ruuveilla (kuva 5). Tiiviys varmistettiin teippaamalla saumat leveällä teipillä, jossa on hyvä tartuntakyky. Ennen hirsinurkkien testaamista ajettiin testilaitteella testiohjelma läpi mahdollisten laitevuotojen havaitsemiseksi. Myöhemmin tuloksia analysoitaessa otetaan huomioon tämän laitevuodon osuus hirsinurkan tiiveydessä. Laitetiiviystestin aikana laitteen oviaukko oli suljettu muovilla ja saumat teipattu huolellisesti. Laitetiiveystestin jälkeen muovi poistettiin laitteen aukosta ja testit voitiin aloittaa.

Molemmat nurkkatyypit testattiin sekä ali- että ylipaineella. Vuotoilman ja -paikkojen havaitsemiseksi ja mahdollisten erojen selville saamiseksi valittiin paine-eroksi mahdollisimman suuri. Rakennusten tiiviysmittauksissa käytetyn 50 Pa:n sijaan paine-ero kasvatettiin aina 1200 Pa:iin asti. Valitussa testiohjelmassa paine-ero kasvoi aluksi 50 Pa:n välein aina 300 Pa:iin saakka ja siitä eteenpäin 150 Pa:n välein 1200 Pa:iin saakka. Laite mittaa vuotoilman määrän kaikilla paine-eroilla ja kirjaa ne taulukkoon. Tuloksissa on luonnollisesti huomioitava laitevuoto.

Kuva 5. Lyhytnurkka asennettuna testilaitteeseen.

5 MITTAUSTULOKSET

5.1 Laitetiiviys

Luotettavan tuloksen saamiseksi testilaitteen laitetiiviys selvitettiin ennen varsinaisia testejä. Laitetiiviys mitattiin erikseen molempien nurkkatyyppien tapauksessa, niiden jo ollessa asennettuna laitteeseen. Tällä saatiin selville mahdolliset laitteessa olevat vuodot sekä laitteen ja nurkkarakennelman liitosten välinen vuoto. Laitetiiviys testattiin vain ylipaineella, mutta sitä voidaan soveltaa myös analysoitaessa tuloksia alipaineen osalta. Varsinaisissa testeissä käytettiin yli- ja alipaineeseen samaa testiohjelmaa. Varsinaisista mittaustuloksista on siten vähennettävä laitevuodon aiheuttama ilmavuodon osuus.

5.2 Tulokset ylipaineella

Ylipaineella ajettiin kolme eri testiä. Ensiksi testattiin vanha nurkkatyyppi, josta saatiin vertailupohja. Uusi nurkka testattiin ensin sellaisenaan ja sen jälkeen ilman nurkan ulkokulmassa olevaa peitelistaa ja sen alla olevaa tiivistysnauhaa. Alla olevissa taulukoissa on ylipaineen testien tulokset, taulukko 1 pitkä ristinurkka eli vanha nurkka, taulukko 2 tasanurkka eli uusi nurkkatyyppi sekä taulukko 3 uusi nurkka ilman listaa. Tulosten hahmottamisen ja vertailun helpottamiseksi tulokset on esitetty myös graafisessa muodossa (kuvio 5).

Taulukko 1. Pitkä ristinurkka ylipaineella.

Paine (Pa)		Ilmavuoto (m^3/h)
Tavoitepaine (Pa)	**Mitattu paine (Pa)**	
50	49	**0,28**
100	101	**1,20**
150	151	**2,57**
200	199	**3,73**
250	250	**5,55**
300	301	**6,11**
450	451	**9,93**
600	600	**13,65**
750	749	**17,55**
900	900	**19,21**
1050	1048	**21,27**
1200	1200	**22,04**

Taulukko 2. Tasanurkka ylipaineella.

Paine (Pa)		Ilmavuoto (m^3/h)
Tavoitepaine (Pa)	**Mitattu paine (Pa)**	
50	50	**0,00**
100	99	**0,15**
150	149	**0,14**
200	199	**0,28**
250	251	**0,00**
300	300	**0,28**
450	450	**0,50**
600	601	**0,00**
750	748	**0,12**
900	902	**0,73**
1050	1049	**0,10**
1200	1196	**0,00**

Taulukko 3. Tasanurkka ilman nurkkalistaa.

Paine (Pa)		Ilmavuoto (m^3/h)
Tavoitepaine (Pa)	**Mitattu paine (Pa)**	
50	50	**0,31**
100	99	**0,45**
150	149	**0,29**
200	199	**0,56**
250	251	**0,27**
300	301	**0,69**
450	452	**0,38**
600	601	**0,00**
750	750	**0,47**
900	892	**0,22**
1050	1051	**0,30**
1200	1196	**0,00**

5.3 Tulokset alipaineella

Molemmille nurkkatyypeille tehtiin testit myös alipaineella. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty mittaustulokset alipaineella sekä kuvaajana kuviossa 6. Alipainetesteissä laitevuodon arvona on käytetty samaa kuin ylipaineella. Testiohjelmassa ilmavuodot mitattiin samoilla paine-eroilla kuin ylipaineellakin.

Taulukko 4. Pitkä ristinurkka alipaineella.

Paine (Pa)		Ilmavuoto (m^3/h)
Tavoitepaine (Pa)	**Mitattu paine (Pa)**	
-50	-48	**-0,11**
-100	-101	**-7,48**
-150	-149	**-11,78**
-200	-200	**-14,51**
-250	-250	**-16,80**
-300	-300	**-17,82**
-450	-449	**-23,85**
-600	-600	**-28,19**
-750	-750	**-32,62**
-900	-901	**-35,40**
-1050	-1051	**-38,80**
-1200	-1200	**-39,20**

Taulukko 5. Tasanurkka alipaineella.

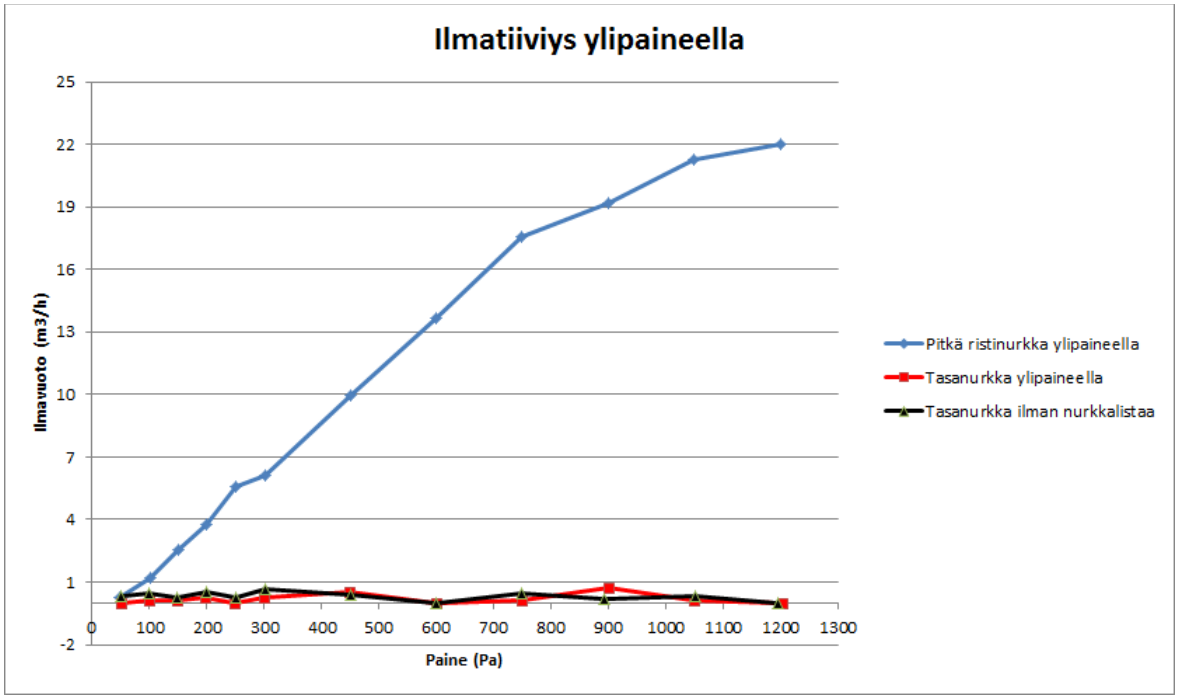
Paine (Pa)		Ilmavuoto (m^3/h)
Tavoitepaine (Pa)	**Mitattu paine (Pa)**	
-50	-49	**-0,03**
-100	-100	**-0,57**
-150	-150	**-0,26**
-200	-200	**-0,71**
-250	-252	**-0,78**
-300	-300	**-0.93**
-450	-451	**-5,63**
-600	-600	**-6,68**
-750	-751	**-8,45**
-900	-892	**-10,49**
-1050	-1050	**-10,73**
-1200	-1200	**-11,56**

5.4 Tulosten vertailu

Oletuksena oli, että uusi nurkkatyyppi olisi tiiviimpi kuin vanha, jossa mahdollisia vuotokohtia on huomattavasti enemmän ja sen tiivistäminen on haastavampaa. Kuten testituloksista nähdään, uusi tasanurkka on huomattavasti tiiviimpi kuin perinteinen pitkä ristinurkka. Alla olevassa kuvaajassa (kuvio 5) on esitetty testissä ylipaineella saadut tulokset. Vuotoilman yksikkönä on m^3/h ja paine-ero pascaleina (Pa).

Vanhan nurkan vuotoilman määrä lisääntyi lähes lineaarisesti, kun painetta testilaitteessa kasvatettiin. Lähtötilanteessa eli paineen ollessa 50 Pa ilmavuoto oli ristinurkan 0,28 m^3/h ja uudella nurkalla lähes nollassa. Paine-eroa kasvatettiin aluksi 50 Pa:n välein aina 300 Pa:iin, minkäjälkeen painetta lisättiin 150 Pa:lla 1200 paine-eroon saakka. Laite mittaa ilmavuodon määrätyillä painetasoilla. Paine-eron ollessa 300 Pa on nähtävissä jo selvä ero, ilmavuoto vanhalla nurkalla oli 6,11 m^3/h, kun se uudella tasanurkalla on vain 0,28 m^3/h eli lähes nolla. Testi päättyi 120 0Pa:n paine-eroon, jolloin vanhalla nurkalla ilmavuotoa oli noin 22 m^3/h ja uudella nurkkamallilla yhä nollassa. Testitulokset osoittavat selvästi, että uusi tasanurkkaratkaisu on huomattavasti ilmatiiviimpi kuin perinteinen ristinurkka.

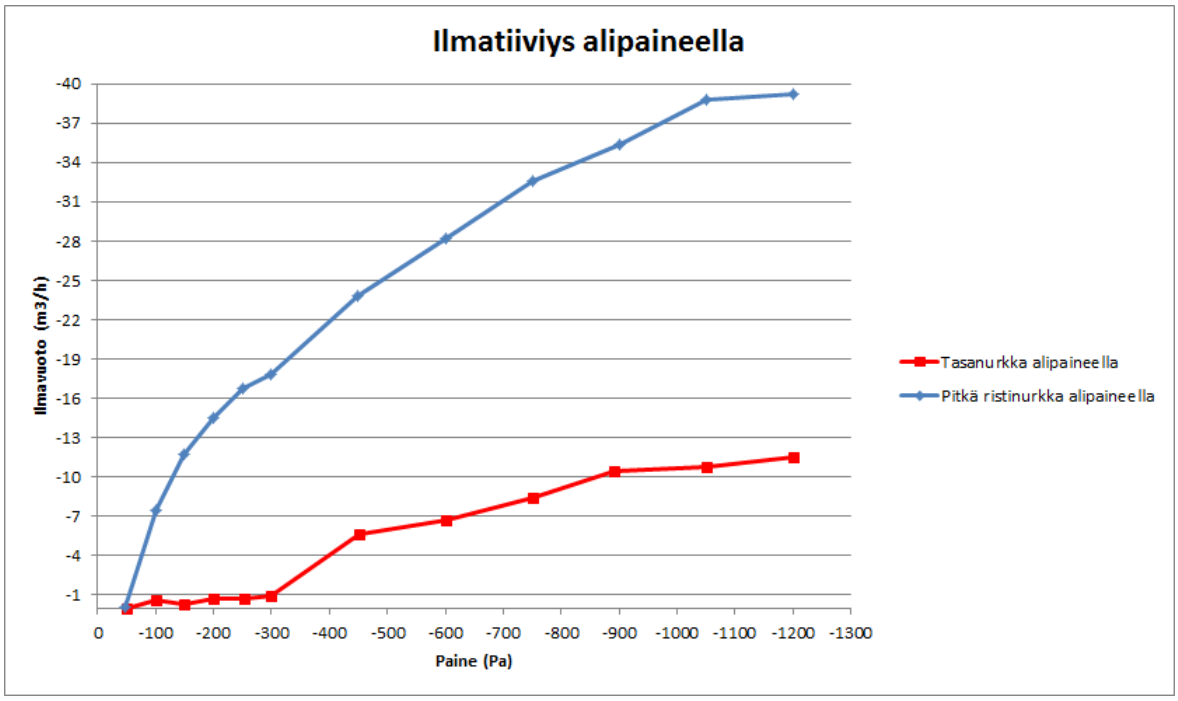
Uutta nurkkamallia testattiin myös poistamalla ulkonurkasta peitelista sekä sen alla oleva tiivistenauha. Listan ja butyylinauhan poistamisella ei näyttänyt olevan vaikutusta testitulokseen.



Kuvio 5. Testitulokset ylipaineella.

Alipainetestissä saatiin oletetusti samanlaiset tulokset. Myös alipaineella uusi tasanurkkainen ratkaisu oli huomattavasti ilmatiiviimpi kuin perinteinen nurkka. Kuviossa 6 on esitetty mittaustulokset alipaineella.

Alipainetestissä päädyttiin myös samaan lopputuloksen. Paine-eron kasvaessa nähdään selvästi, kuinka ilmavirtaus rakenteen läpi kasvaa negatiiviseen suuntaan eli sisäänpäin. Myös alipainetestissä uuden nurkan ilmavuoto jäi noin -11 m^3/h:iin, kun taas ristinurkalla ilmavuoto oli lähes -40 m^3/h paine-eron ollessa 1200 Pa alipaineinen.



Kuvio 6. Testitulokset alipaineella.

5.5 Yhteenveto testeistä

Testituloksista voidaan päätellä, että Finnlamelli Oy:n kehittämä uusi tasanurkkasalvos on tiiviimpi kuin perinteinen pitkällä ristinurkalla toteutettu nurkkasalvos. Uuden nurkan täysin erilainen rakenne mahdollistaa paremman tiivistämisen ja ilmanvuotokohdat on pystytty minimoimaan. Nurkan tiiviys on perinteiseen nurkkaan verrattuna hyvä ja se näkyy myös testituloksissa.

Rakennusten tiiviysmittauksissa vanhalla nurkalla on saatu hyviä tuloksia, joten on odotettavissa, että uudella nurkkatyypillä päästään ainakin samantasoisiin tuloksiin, kun mittauksia saadaan tehtyä valmiisiin taloihin. Testit ovat vain yksittäisille nurkille tehtyjä mittauksia ja rakennuksen ilmatiiviys muodostuu kokonaisuutena, mutta ovat kuitenkin suuntaa antavia.

Testeissä uuden ja vanhan nurkkatyypin erot tulivat selkeästi esille, varsinkin ylipaineella. Uuden nurkan tapauksessa rakenne oli niin tiivis, että testilaitteen laitetiiviys tuli määrääväksi tekijäksi ja arvot vaihtelevat nollan molemmin puolin paineen kasvaessa. Alipaineella laitevuotona käytettiin samaa arvoa kuin ylipaineella, mistä aiheutuu pientä epävarmuutta testituloksiin. Alipaineella tulokset olivat myös samansuuntaisia ja ero nurkkien ilmatiiviydessä tuli selkeästi esiin.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää Finnlamelli Oy:n kehittämän uuden tasanurkkaisen hirsinurkan ilmanpitävyyttä verrattuna vanhaan perinteiseen pitkään ristinurkkaan. Tiiveysmittauksissa perinteisellä ristinurkalla valmistetuille taloille on saatu hyviä arvoja, n_{50}-luku <1,0 , joten se oli hyvä vertailukohta uudelle nurkkatyypille.

Hyvällä ilmanpitävyydellä on monia vaikutuksia, joista tärkeimpiä on rakennuksen energiankulutuksen pieneneminen. Hallitsematon vuotoilma vaikuttaa negatiivisesti myös asumisviihtyvyyteen sekä sisäilman laatuun. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toimivuus on parempi ilmatiiviissä rakennuksessa ja näin myös lämmöntalteenotosta saadaan paras hyöty. Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta ilmatiiveydellä on keskeinen merkitys. Vuotoilman sisältämä vesihöyry voi aiheuttaa kosteusvaurion tiivistyessään rakenteeseen. Tämän vuoksi rakennukset pyritään pitämään lievästi alipaineisina, koska kylmä ulkoilma sisältää yleensä vähemmän kosteutta. Kuitenkin myös kylmä vuotoilma voi aiheuttaa ongelmia rakenteessa, koska kylmäsilta ja mahdollinen rakenteen jäätyminen voi aiheuttaa kosteus- tai homevaurion.

Hirsirakentamisessa on monia tavallisesta puurakentamisesta poikkeavia asioita, joihin tulee kiinnittää huomiota sekä suunnittelussa että toteutuksessa toimivan lopputuloksen aikaansaamiseksi. Merkittävin ominaisuus on rakenteiden painuma, joka vaikuttaa myös rakennuksen ilmatiiveyteen. Hirsirakentamisessa yleisimpiä ilmanvuotokohtia ovat olleet ulkoseinän ja yläpohjan liitos, läpiviennit sekä ulkonurkat. Hirsirakennusten ilmanpitävyys on parantunut muun muassa kehittyneiden turpoavien saumaeristeiden myötä ja suunnittelussa on pyritty eri rakenneosien ilmanpitävyyden huolelliseen suunnitteluun. Hygroskooppisena rakennusmateriaalina hirsiseinä voi sitoa ilman vesihöyryä itseensä sekä luovuttaa sitä takaisin, kun ilmankosteus ympärillä vaihtelee. Massiivipuinen hirsiseinä onkin siten hengittävä rakenne, joka tasaa sisäilman kosteusvaihteluita ja on massiivirakenteena riskitön rakenneratkaisu kosteustekniseltä toimivuudeltaan.

Testatut nurkkamallit oli valmistettu 202x260 mm lamellihirrestä. Testaaminen suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa julkisivujen testauslaitteella. Molemmille nurkkatyypeille suoritettiin testit sekä yli- että

alipaineella. Testin aikana paine-eroa kasvatettiin asteittain 50 Pa:sta aina 1200 Pa:iin saakka, jotta mahdolliset erot nurkkien tiiviydessä tulisivat selkeästi esille. Uusi tasanurkkamalli osoittautui selkeästi tiiviimmäksi sekä yli- että alipaineella suoritetuissa testeissä. Hirsinurkkien tiiviysmittausten perusteella kyseisellä nurkkamallilla on mahdollista valmistaa erittäin ilmanpitäviä ja siten myös energiatehokkaita rakennuksia.

LÄHTEET

Aho, H. & Korpi, M. (toim.) 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 141. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.

Finnlamelli Oy. 2015a. Finnlamelli. [verkkosivu]. Finnlamelli Oy. [Viitattu 5.4.2015]. Saatavana: http://www.finnlamelli.fi/finnlamelli/talotehdas.

Finnlamelli Oy. 2015b. Finnlamelli. [verkkosivu]. Finnlamelli Oy. [Viitattu 5.4.2015]. Saatavana: http://www.finnlamelli.fi/tuotetietoa.

Finnlamelli Oy. 2015c. Finnlamelli. [verkkosivu]. Finnlamelli Oy. [Viitattu 5.4.2015]. Saatavana: http://www.finnlamelli.fi/tuotetietoa/hirsivalikoima.

Honkarakenne Oyj. 2015. Hirsivaihtoehdot. [verkkosivu]. Honkarakenne Oyj. [Viitattu 10.4.2015]. Saatavana: http://www.honka.fi/hirsivaihtoehdot.

Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

RT 82-11168. 2014. Hirsitalon suunnitteluperusteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Romppainen, I. 2010. Lämmin puutalo, ohjeet ilmanpitävään ja energiaa säästävään rakentamiseen. Helsinki: Rakennustieto Oy.