

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Talonrakennus

Olli Inkinen

Rakennuksen ilmatiivyyden varmistaminen pien- rakentajan näkökulmasta

Opinnäytetyö 2012

Tiivistelmä

Olli Inkinen

Rakennuksen ilmatiiviyden varmistaminen pienrakentajan näkökulmasta, 45 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka Lappeenranta

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Talonrakennus

Ohjaajat: lehtori Timo Lehtoviita, Saimaan ammattikorkeakoulu

tarkastusinsinööri Matti Pöljö, Imatran rakennusvalvonta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ilmatiiviyteen vaikuttavia tekijöitä puurunkoisessa pientalossa pienrakentajan näkökulmasta. Työssä tulkittiin myös Imatran rakennusvalvonnan käyttämää ilmanvuotoluvun valintalomaketta, jonka pohjalta tehtiin ohjeistus ilmatiiviyden varmistamiseksi pienrakentajien käyttöön.

Työssä tutkittiin ilmatiiviyden merkitystä rakenteen rakennusfysikaalisessa toiminnassa sekä analysoitiin rakenteen ilmanvuodon vaikutusta rakennuksen energiatalouteen. Ilmanvuodon merkitys rakenteessa ei ole vähäinen: se aiheuttaa lämpöhäviötä sekä mahdollistaa kosteuden hallitsemattoman siirtymisen rakenteessa, mikä voi johtaa veden kondensoitumiseen rakenteeseen. Työssä sivuttiin myös uusien rakennusmääräysten mukanaan tuomia uusia säädöksiä ilmanpitävyyden ja energiatehokkuuden osalta.

Työ kohdistui rakenteilla olevan pientalon ilmanpitävyyden varmistamiseen. Työssä käsiteltiin puurunkoisen pientalon yleisimpiä ilmanvuotokohtia sekä tarkasteltiin markkinoilla olevia ilmatiivistystuotteita ja niiden käyttötarkoitusta. Rakennuksen ilmatiiviyteen on kiinnitetty entistä enemmän huomiota kehittämällä uusia innovatiivisia tiivistystuotteita. Tiivistystuotteet ovat pääsääntöisesti valmistettu ja standardoitu Saksassa.

Kohteessa tehtiin ilmanvuotomittaus kevättalvella 2012. Ilmanvuotomittauksen tuloksena saatiin rakennukselle ilmanvuotoluku n_{50} 0,6 (1/h). Tulos osoitti suunnittelun, oikean asenteen ja huolellisen työn merkityksen tehtäessä ilmatiiviitä rakenteita. Ilmanvuotomittaus on ainoa luotettava tapa varmistaa rakennuksen ilmatiiviyys.

Asiasanat: ilmatiiviyys, ilmanvuotomittaus, ilmanvuotoluku

Abstract

Olli Inkinen

Ensuring the Air-tightness of a Building from the Perspective of a Smaller Builder, 45 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta/Imatra

Degree Programme in Construction Management

Building construction

Bachelor's Thesis 2012

Instructors: Mr Timo Lehtoviita, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences,

Mr Matti Pöjlö, Inspection Engineer, Construction Supervision of Imatra

The purpose of this thesis was to study factors that influence air-tightness in a wood-framed family house from the perspective of a smaller builder. In addition, the air leakage figure selection form used by the construction supervision of Imatra was interpreted in the work. On the basis of this form, instructions for ensuring air-tightness were made for the use of smaller builders.

In the work, the significance of air-tightness was studied and the influence of structure's air leakage for the energy efficiency of a building was analysed. The effect of air leakage in a structure is not insignificant: it causes heat loss and enables uncontrollable transfer of moisture in the structure, which can lead to water condensing in the structure. The work also dealt with new regulations regarding air impermeability and energy efficiency.

The work was targeted at ensuring the air-tightness of a family house under construction. The work contemplates the most common air leakage parts of a wood-framed family house. Furthermore, the work discusses air-tightness products available at the market as well as their purpose of use. More and more attention has been paid on air-tightness of a building by developing new innovative sealing products. As a rule, these products are manufactured and standardised in Germany.

Air leakage measurement was carried out in the target during late winter 2012. As a result, air leakage figure of n_{50} 0.6 (1/h) was measured for the building. This result showed that planning, the right attitude, and careful work are important when making airtight structures. Air leakage measurement is the only reliable method of ensuring air-tightness of a building.

Keywords: air-tightness, air leakage measurement, air leakage figure

Sisältö	
Käsitteistö	6
1 Johdanto.....	8
2 Rakennusvaipan ilmanpitävyyden vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen	10
2.1 E-luku	10
2.2 Rakenteen ilmapirtaukset.....	11
2.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys.....	12
2.4 Määräykset 2012	14
2.5 Painotettu ilmanvuotoluku (ET-luku)	15
2.6 Painotettu ilmanvuotoluku (E-luku)	17
2.7 Tasauslaskenta.....	18
3 Puurakenteinen pientalo	19
3.1 Puutalon tyypillisimmät ilmanvuotokohdat.....	19
3.2 Rakennusvaipan tiivistäminen.....	20
3.3 Tyypillisiä läpivientien ongelmia	21
4 Rakennusvaipan tiivistystuotteiden valinta.....	23
4.1 Tiivistyskalvot	24
4.1.1 PEL-tiivistyskalvo	24
4.1.2 Muuttuva diffuusiovastuskalvo.....	24
4.2 Tiivistysteipit	25
4.3 Läpivientien tiivisteet.....	26
4.3.1 Sähköistyksen läpivienti	27
4.3.2 Viemäröinnin läpivienti	27
4.3.3 Ilmanvaihtokoneen läpivienti	28
4.3.4 Savuhormin läpivienti	29
4.4 Ilmatiiviiden varmistamiseen käytetyt asennusliimat	29
5 Rakennuksen ilmanpitävyyden varmistaminen	30
5.1 Ilmatiiviiden tavoitetason valinta.....	30
5.2 Ilmanvuotomittaus.....	30
5.3 Mittalaitteisto.....	31
5.4 Puhaltimen käyttöalueen mitoitus	32
5.5 Muut rakennusvaipan ilmatiiviyteen kohdistuvat kartoitukset	33
5.5.1 Lämpökuvaukset.....	33
5.5.2 Lämpötilaindeksi	35
5.5.3 Merkkisavu.....	37
5.5.4 Rakenteen vuotokohtien paikantaminen ylipaineisena	37
6 Ilmanvuotomittaus esimerkkikohteessa.....	38
6.1 Mittausta edeltävät toimenpiteet	38

6.2	Mittauksen suorittaminen.....	39
7	Päätelmät	41
	Kuvat	43
	Taulukot.....	44
	Kaavat	44
	Lähteet	44

Liitteet

- Liite 1. Ilmanvuotoluvun valintalomake
- Liite 2. Pientalon ilmatiivyyden varmistaminen
- Liite 3. Testausseloste NRO VTT-S-07025-10

KÄSITTEISTÖ

Energiatehokkuus tarkoittaa rakennuksen käyttöön tyypillisesti liittyvien energiatarpeiden laskettua tai mitattua energiamäärää, joka sisältää lämmityksen, jäähdytyksen, ilmanvaihdon, vedenlämmityksen ja valaistuksen tarvitseman energian.

Höyrynsulku on lämmöneristeen sisäpuolelle asennettava kalvomainen tai levymainen höyrynsulku, jonka tehtävänä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio rakenteessa.

Ilmansulku on ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmanvirtaus rakenteessa.

Ilmoitusmenettely tarkoittaa talotoimittajan laadunvarmistusjärjestelmää, jolla varmennetaan ja ilmoitetaan rakennuksen ilmanpitävyys menettelyn piiriin kuuluvissa talotyypeissä.

Ilmanvuotoluku n_{50} (1/h), ilmoittaa, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan mittaustasoon vaadittu 50 Pascalin ali- tai ylipaine. Ilmanvuotoluku ilmaisee rakennusvaipan ilmanpitävyyttä.

Ilmanvuotoluku q_{50} (m³/(h x m²)), osoittaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja.

Lämpöhäviö tarkoittaa lämmitystehontarvetta, joka syntyy laskettaessa yhteen vaipparakenteen, ilmanvaihdon ja vuotoilman lämpöhäviöt.

Puurakenteinen talo on asuinrakennus, jonka puurunkorakenteet on pääosin tehty sahatavarasta, kertopuusta, liimapuusta, levyuumapalkeista tai ristikoista. Ulkoseinät voi olla tehty yksittäisistä runkokuusta tai elementtirakenteisena.

Rakennuksen vaippa tarkoittaa sitä rakennusosaa, joka erottaa lämpimän, puolilämpimän tai erityisen lämpimän sekä jäähdytettävän kylmän tilan ulkoil-

masta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta. Rakennuksen vaippaan eivät kuulu rakennuksen sisällä olevat ja toisistaan erottavat rakennusosat.

Sertifikaatti on todistus sertifiointista, jolla todennetaan vaatimusten mukaisuus todistuksella (sertifikaatilla) tai merkillä. Sertifiointi voi kohdistua järjestelmiin, tuotteisiin, palveluihin tai henkilöihin. Ennen kuin sertifikaatti myönnetään, järjestelmän, tuotteen tai palvelun vaatimusten mukaisuus arvioidaan, testataan tai tarkastetaan.

Standardi on jonkin organisaation esittämä määritelmä siitä, miten jokin asia tulisi tehdä. Kansainvälisiä standardisoimisjärjestöjä ovat mm. ISO ja IEC, saksalainen DIN, eurooppalainen CEN, Cenelec ja ETSI. Suomalainen standardointijärjestö on SFS.

Tasauslaskennalla osoitetaan rakennuksen lämpöhäviölle asetetut vaatimusten täyttyminen. Tarkoituksena on osoittaa rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö, joka on enintään vertailuratkaisun suuruinen.

Tiivistysteippi on standardilla ja/tai sertifiointilla hyväksytty höyrynsulkukalvojen liitokseen käytetty tiivistysmateriaali. Hyväksytyn tiivistysteipin on oltava liimaominaisuuksiltaan pitkäaikaiskestävä sekä repäisyjuudeltaan annetut normit täyttävä.

U-arvo on rakenteen lämmönläpäisykerroin, joka tarkoittaa lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen $W/(m^2K)$.

Vesihöyryn diffuusio tarkoittaa huone- tai ulkoilman sisältämän kosteuden siirtymistä rakenteisiin vesihöyryn osapaine-erotuksen vaikutuksesta.

Vesihöyryn konvektio tarkoittaa ilmanpaine-eroista aiheutuvien ilmavirtausten mukana tapahtuvaa vesihöyryn siirtymistä pienemmän kokonaispaineen suuntaan.

1 Johdanto

Uudisrakentamisessa siirryttiin 1.7.2012 alkaen rakennusten kokonaisenergiatarkasteluun. Voimaan tulleilla määräyksillä pyritään ohjaamaan rakentamista vähemmän energiaa kuluttaviin ratkaisuihin. Uudet määräykset ovat vain yksi askel alati tiukkeneviin energiatehokkuuteen vaikuttavista energiamääräyksistä.

Suomi hyväksyi yhdessä muiden Euroopan unionin jäsenmaiden kesken 19.5.2010 uudistetun energiatehokkuusdirektiivin EPDE (Energy Performance of Buildings Directive).

Uudistetussa muodossa on rakennusten energiatehokkuudelle annettu uudet määräykset. Uusien määräysten mukaan rakennetaan Suomessa vuonna 2020 lähes nollaenergiataloja. Rakentamista koskevat muutokset ollaan toteuttamassa varsin lyhyellä aikavälillä ja sillä on vaikutusta Suomen sekä koko Euroopan rakentamiseen ja rakennusaineteollisuuteen. Takarajaksi kaikkien uudisrakennusten osalta on asetettu 1.1.2021. Julkisten rakennusten takaraja on kahta vuotta aiemmin eli 1.1.2019. (1.)

Uudet määräykset vaativat tulevaisuudessa rakentajilta yhä laajempaa tietämystä sekä moitteetonta laadunhallintaa rakentamisessa. Nykyään uusien pientalojen energiatehokkuutta on pyritty parantamaan monenlaisilla keinoilla, kuten esimerkiksi vaipparakenteiden lisäeristämällä, uusilla ovi- ja ikkunasovelluksilla ja ilmanvaihdossa lämmön talteenoton kehittämällä. Yhdessä nämä hyvän vaipan ilmatiiviyden kanssa tuovat tulevaisuudessa merkittävää energiatehokkuutta ja selvää säästöä energiakustannuksissa kiinteistön omistajille.

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytetty ilmanvuotoluvun todennettu arvo vaikuttaa suoraan rakennukselle tehtävään energiatodistukseen. Tiiviillä vaipparakenteella pystytään parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta huomattavasti.

Rakennusvaipan eristäminen ja höyrynsulun asentaminen on minulle ollut pientaloprojekteissa työvaihe, johon olen aina kiinnittänyt erityistä huomiota. Olen aina myös pyrkinyt selvittämään pienrakennuttajalle talon hyvän eristävyys ja huolellisesti asennetun höyrynsulun merkitystä.

Opinnäytetyöni tavoitteena on osoittaa, kuinka tämän päivän pienrakentaja voi itse varmistaa rakenteilla olevan uudisrakennuksensa ilmatiiviyden. Opinnäytetyössä pyritään selvittämään rakennusvaipan ilmatiiviyden merkitys rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen nähden. Opinnäytetyön liitteenä luodaan myös ohjeistus ilmanpitävyyden varmistamisesta työmaaolosuhteissa pienrakentajien käyttöön.

Rajaan tämän opinnäytetyön koskemaan puurunkorakenteisten pientalojen ilmatiiviyteen vaikuttaviin keskeisiin kohtiin. En käsittele työssäni kivirakenteisia eikä hirsirakenteisia pientaloja. Edellä mainituissa rakenteissa on olemassa ilmatiiviyden osalta samat lainalaisuudet kuin puurunkoisessa pientalossa.

Opinnäytetyössäni tarkastellaan rakennusvaipan liittymäkohtia, jotka huonosti toteutettuna aiheuttavat rakennuksessa ilmavuotoa. Käsitelen työssäni lisäksi rakennusvaipan tiivistämiseen liittyviä materiaaleja, joilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia ilmatiiviitä rakenteita tehtäessä.

Opinnäytetyöhöni kuvamateriaaleista osan olen kerännyt rakennuskohteesta, jota olin itse rakentamassa. Rakennuskohde toimii lisäksi esimerkkinä ilmatiiviyteen liittyvien ratkaisujen osalta. Rakennuskohteessa suoritettiin ilmanvuotomittaus kevättalvella 2012, jolla todennettiin ratkaisujen oikeellisuus. Kuvamateriaalia olen lisäksi myös saanut Suomessa toimivilta alan toimijoilta. Kirjallisen aineiston olen kerännyt lukemalla alan kirjallisuutta, julkaisuja sekä tutkimustuloksia.

2 Rakennusvaipan ilmanpitävyyden vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen

2.1 E-luku

1.7.2012 astuivat voimaan uudet rakentamista koskevat energiamääräykset. Uusilla määräyksillä pyritään ohjaamaan rakentajia valitsemaan vähemmän energiaa kuluttavia ratkaisuja. Uudet määräykset asettavat rakennuksen kokonaisenergian raja-arvot kulutukselle rakennuksen koon mukaan. Rakennukset luokitellaan kokonaisenergiankulutuksen mukaan, josta syntyy rakennuksen E-luku. (2.)

Rakennuksissa siirrytään käyttämään kodinkoneissa tutuksi tullutta energiamerkintää. Rakennukset luokitellaan E-luvun mukaan vähän kokonaisenergiaa kuluttavasta (A), paljon energiaa kuluttavaan rakennukseen (G). Kuvassa 1 on esitetty rakennuksien energiamerkintä kokonaisenergiankulutuksen mukaan. E-luku määritetään painotettuna rakennuksen tarvitseman ostoenergian ja käytetävän energianmuotokertoimen mukaan. (2.)



Kuva 1. Rakennuksen energiamerkinnät energiatehokkuuden mukaan (3.)

Ostoenergian kulutukseen pienentämiseen voidaan oleellisesti vaikuttaa rakentamalla tiivisrakenteinen talo. Tiiviisti rakennetussa talossa on eristeet asennettu huolellisesti ja rakennusvaipan ilmanpitävyyteen kiinnitetty erityistä huomiota.

2.2 Rakenteen ilmavirtaukset

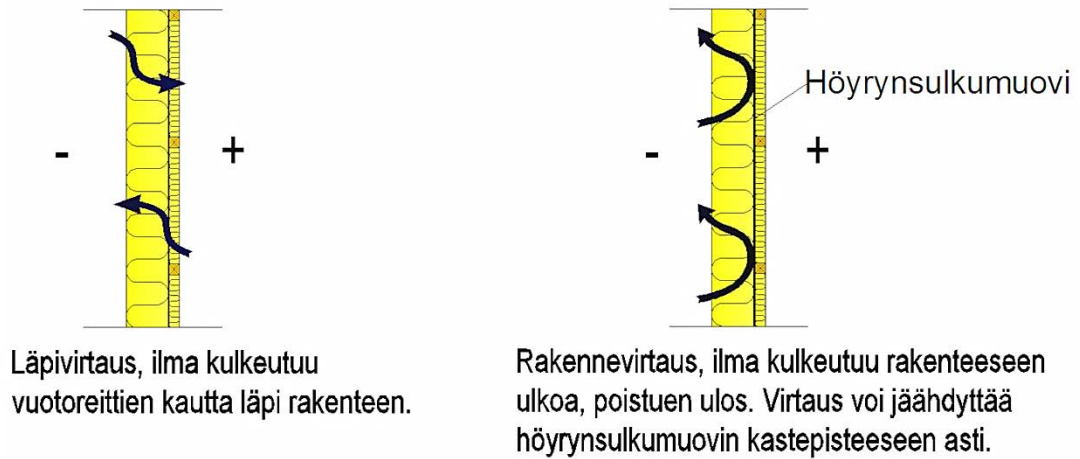
Rakennusvaipassa olevat vuotokohdat aiheuttavat hallitsematonta ilmavirtausta rakenteen sisällä. Ilmavirtaukset jäädyttävät rakenteita heikentämällä eristeen eristyskykyä ja luovat pahimmassa tapauksessa rakenteeseen suuren kosteusriskin. Hallitsematon ilmavirtaus aiheuttaa myös sisäpintojen lämpötilojen laskua, josta seurauksena on vedon tunnetta. (4.)

Rakenteeseen syntyvät ilmavirtaukset aiheutuvat tuulen, savupiippuvaikutuksen ja LVI-tekniikan vaikutuksesta. Ilmavirtaukset rakenteessa jaotellaan rakennevirtauksiin ja läpivirtauksiin. (4.)

Rakennevirtauksessa ulkoilma kulkeutuu rakenteeseen ulkopuolelta siirtyen taas rakenteesta ulos (kuva 2). Tämä aiheutuu yleensä rakennuksen puutteellisesta tai virheellisesti toteutetusta rakenteen tuulensuojauksesta. Eristekerroksessa tapahtuva ilmavirtaus pienentää eristeen eristekykkyä. Mikäli ilmavirtaus pääsee jäädyttämään rakenteen syvälle, aina höyrynsulkuun asti, voi sisäilmassa oleva vesihöyry tiivistyä jäähtyneen höyrynsulkukalvon sisäpintaan. (4.)

Rakenteessa tapahtuva läpivirtaus aiheutuu vaipassa olevien ilmanvuodon mahdollistavien reikien kautta (kuva 2). Virtauksen suunta on yleensä ulkoa sisäänpäin koneellisen ilmanvaihdon aiheuttaman rakennuksen alipaineisuuden vuoksi. Tällainen ilmavirtaus aiheuttaa usein vedon tunnetta ja on epämiellyttävää rakennuksen asukkaille. Erityisesti rakennusvaipan alapohjan ja seinän liitoksesta aiheutuneet ilmapuodot aiheuttavat vedontunnetta lattiatasolle. Kylmä ilma pääsee aiheuttamaan vaakavirtausta lattiatasossa jäädyttäen lattiapintoja isoiltakin alueilta. (4.)

Läpivirtauksen ansiosta rakenteen lämmöneristyskyky alenee aiheuttaen rakenteeseen lämpöhäviötä, joka taas lisää energiantarvetta rakennuksen lämmittämiseen. Ilmatiiviisti rakennetussa vaipassa ei esiinny läpivirtausta. (4.)



Kuva 2. Rakenteessa ilmavirtausten kulkusuuntia

2.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakenteen ilmanpitävyydellä voidaan vaikuttaa pientalojen kokonaisenergian kulutukseen. Mahdollisimman pieni ilmavuoto rakennusvaipassa luo terveet edellytykset eristyksen moitteettomalle eristyskyvylle sekä rakenteiden rakennusfysikaaliselle toiminnalle.

Rakennuksen energiatehokkaassa rakentamisessa on rakennusvaipan ilmanpitävyydellä suuri merkitys rakennuksen sekä rakenteiden toimintaan:

1. Rakennuksen kokonaisenergiakulutus pienenee.
2. Kosteuden siirtyminen vaipassa pienenee.
3. Epäpuhtaudet kuten esimerkiksi homeitiöt tai radon eivät pääse kulkeutumaan huonetiloihin.
4. Rakenteiden sisäpinnat pysyvät lämpiminä, joten niistä ei synny vedon tunnetta rakennuksessa.
5. Ilmanvaihdon säätäminen ja tavoitetasossa pysyminen helpottuu.

Tiukentuneiden määräysten ansiosta rakennusten eristyspaksuudet kasvavat, joten kosteusriskitkin rakenteissa on otettava entistä paremmin huomioon. Vaipan ulko-osissa tapahtuvan homekasvuston lisääntymisen johdosta on homeen

sekä niiden aiheuttamien aineenvaihduntatuotteiden kulkeutumisen estäminen sisäilmaan erityisen tärkeää. (5.)

Rakennusvaipassa olevat ilmanvuotokohdat aiheuttavat rakenteisiin haitallisia ilmavirtauksia, jotka heikentävät rakennuksen lämpötaloudellista toimintaa. Ilmatiiviisti rakennetulla vaipalla on suoranainen yhteys asumisviihtyvyyteen ja energiankulutuksen säästöön syntyviin tekijöihin. Rakennuksen kokonaisenergiankulutusta (E-luku) määriteltäessä voidaan vaipan hyvällä ilmanpitävyydellä parantaa rakennuksen energiatehokkuusluokkaa. Taulukossa 1 esitetään ilmanvuotoluvun vaikutus lämmitysenergian säästöön.

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun ollessa vaatimustason mukaan $4,0 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$, aiheuttaa vuotoilma n. 15–30 % normaalin pientalon lämmitysenergiantarpeesta. Yksikön muutos ilmanvuotoluvussa vaikuttaa lämmitysenergian kulutukseen noin 7 % suuntaansa. (6.)

Ilmanvuotoluku q_{50}	Tiiviys	Energiansäästö
<0,6	Passiivi rakenne	>25 %
<1	Kiitettävä	>21 %
1	Erittäin hyvä	21 %
2	Hyvä (vertailu arvo)	14 %
3	Tyydyttävä	7 %
4	Välttävä (vaatimustaso)	0 %

Taulukko 1. Ilmanvuotoluvun vaikutus lämmitysenergian säästöön

Taulukosta voidaan tulkita, rakennuksen ilmanvuotoluvun (q_{50}) ollessa $1 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$, syntyvän säästön lämmitysenergian kulutuksesta olevan noin 21 % vaatimustasoon verrattuna.

2.4 Määräykset 2012

1.7.2012 jälkeen tulleilla määräyksillä Suomen rakennusmääräyskokoelman D3:n mukaan määrättiin uusien rakennusten ilmatiivyydestä seuraavaa:

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. (7.)

Uusien määräysten tultua voimaan q_{50} -luku korvaa aiemmin käytössä olleen n_{50} -luvun. Luku tarkoittaa rakennusvaipassa 1 m^2 kokoisen alueen läpivirtaavaa yhden kuution ilmavirtaa tunnissa, paine-eron ollessa sisä- ja ulkoilman välillä 50 Pascalia. Ilmanvuotomittauksella saatu tulos ilmoitetaan lukuna n_{50} , joten tulos muunnetaan arvoon q_{50} kaavalla 1.

$$q_{50} = \frac{n_{50} \times V}{A_E} \quad (1)$$

jossa

q_{50} = rakennusvaipan ilmanvuotoluku, ($\text{m}^3\text{/(h x m}^2\text{))}$)

n_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku, (1/h)

V = rakennuksen ilmatilavuus, (m^3)

A_E = rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna, (m^2)

Ilmanvuotolukuna q_{50} -luku kuvaa paremmin rakennuksen ilmanpitävyyttä, koska saatua tulosta verrataan suoraan rakennuksen vaipanalaan. Suurten rakennusten ilmatilavuuden suhde vaipanpinta-alaan voi olla kaksin- jopa kolminkertainen pientaloon verrattuna. Suuret rakennukset, joissa ilmatilavuudetkin ovat suuria, hyötyivät aiemmin käytetystä mittausmenettelystä. Uusi mitoitus suurissa rakennuksissa tasoittaa eroja sekä kiristää ilmatiiviysvaatimuksia aikaisemmin käytettyyn n_{50} -lukuun verrattuna.

Pientaloissa ilmatilavuuden suhde vaipanpinta-alaan verrattuna on vaihteluvälillä 0,7 – 1,5, joten n_{50} - ja q_{50} -lukujen arvot ovat lähes samoja. (8.)

Esimerkiksi, kohteessani mitattu ilmanvuotoluku n_{50} oli 0,6 (1/h), $A_E = 470 \text{ m}^2$ ja $V = 430 \text{ m}^3$. Sijoittamalla luvut kaavaan 1 voidaan todeta ilmanvuotoluvun q_{50} pienentyneen hieman.

$$q_{50} = \frac{0,6 \frac{1}{h} \times 430 \text{ m}^3}{470 \text{ m}^2} = 0,55 \text{ (m}^3/\text{(h x m}^2\text{))} \quad (1)$$

Lisäksi uusitun 2012 RakMk D3:n määräyksen mukaan ilmanvuotoluvun määrittämisestä sanotaan seuraavaa:

Ilmanpitävyyden osoittaminen muulla menettelyllä voi olla esimerkiksi teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakolta.(7.)

Muulla luotettavalla tavalla saatua tulosta käytetään nykyään talotehtaiden omiin talotyypeihin kohdistuvin seuranta- ja mittausmenettelyin. Talotoimittajat voivat ilmoitusmenettelyllä käyttää ilmoittamaansa ilmanvuotolukua valitsemassaan talotyyppissä, mikäli talotehtaiden käytössä oleva laadunvarmistus takaa sen kyseisessä talotyyppissä. Talotyyppikohtaisessa ilmanvuotoluvun määrittämisessä ilmoitettu ilmanvuotoluku perustuu tilastolliseen laskentaan. Talotoimittajien laadunvarmistusmenettelystä esitetään laadunvarmistus suunnittelussa, rakennusosien tuotannossa, työmaatoiminnoissa sekä ulkopuolisessa laadunvalvonnassa. (8.)

Lisäksi joillakin kunnilla on rakennusvalvonnassa olemassa omat ilmatiivyyden laadunvarmistamisessa käytettävät ohjeistukset. Imatran rakennusvalvonnan käyttämän ilmanvuotoluvun valintalomakkeen (liite 1) pohjalta on tuotettu ohjeistus ilmatiivyyden varmistamiseksi pienrakentajien käyttöön (liite 2).

Rajoittavana arvona Imatran kaupungin ilmanvuotoluvun valintalomakkeessa (liite 1) pidetään kuitenkin ilmanvuotolukua 1,4 (m³/(h x m²)). Ainoastaan mittaamalla varmistettua, tätä pienempää arvoa voidaan käyttää rakennuksen energiatodistusta tehtäessä.

2.5 Painotettu ilmanvuotoluku (ET-luku)

Määritettäessä rakennuksen energiatehokkuuslukua (ET-luku) laskennassa huomioidaan rakennuksessa olevien kaikkien lämmitettävien alojen ilmanvuotoluvut. Normaalisissa omakotitalossa nämä lämmitettävät alat ovat yleensä asuin-tilat sekä lämmitetty autotalli/varasto. Ilmanvuotolukujen painotettu ilmanvuotoluku lasketaan kaavalla 2.

$$q_{50 \text{ painotettu}} = \frac{q_{50} \times A_{\text{asunto}} + q_{50} \times A_{\text{at/varasto}}}{A_{\text{asunto}} + A_{\text{at/varasto}}} \quad (2)$$

jossa

q_{50} = ilmanvuotoluku: mitattu, ilmoitusmenettelyllä ilmoitettu tai vaatimustaso

A_{asunto} = lämmitetty brm^2 , asuintilojen rakennusosien sisämittojen mukaan

$A_{\text{at/varasto}}$ = lämmitetty brm^2 , lämpimien/puolilämpimien rakennusosien sisämittojen mukaan

Autotalli/varasto jää usein vähälle huomiolle ilmatiivyyden suhteen, mutta sen merkitys ei ole vähäinen. Lasketaan ilmanvuotolukujen vaikutus esimerkkitilanteessa. Kohde on valmistunut ennen 1.7.2012 tulleita määräyksiä, joten ilmanvuotolukuna on käytetty n_{50} -lukua.

Kohteen tiedot:

- n_{50} = asunto mitattu, 0,6 (1/h).
- n_{50} = at/varasto, ilmoitusmenettely, 1,4 (1/h).
- $A_{\text{asunto}} = 155 \text{ m}^2$
- $A_{\text{at/varasto}} = 37,3 \text{ m}^2$

Esimerkkikohteessani mitattiin asunnon osalta ilmanvuotoluvuksi n_{50} 0,6 (1/h) ja talotehdas antaa ilmoitusmenettelyllä n_{50} luvuksi 1,4 (1/h) autotalli/varaston osalle. Kokonaisilmanvuodoksi painotettuna rakennukselle saatiin ilmanvuotoluvuksi $n_{50} = 0,8$ (1/h).

Esimerkki 1: ilmoitusmenettelyllä määritelty ilmanvuotoluku

$$n_{50 \text{ painotettu}} = \frac{0,6 \times 155 \text{ m}^2 + 1,4 \times 37,3 \text{ m}^2}{192,3 \text{ m}^2} = 0,8 \text{ (1/h)} \quad (2)$$

Esimerkki 2: ilmanvuotoluku ilman varmistusta autotallin ja varaston osalta

Rakennuksessa, jossa ei ole ilmoitusmenettelyllä tai muulla luotettavalla tavalla osoitettu rakennusvaipan ilmanpitävyyttä, käytetään rakennusvaipan ilmanvuotolukuna n_{50} arvoa 4 (1/h).

$$n_{50 \text{ painotettu}} = \frac{0,6 \times 155 \text{ m}^2 + 4,0 \times 37,3 \text{ m}^2}{192,3 \text{ m}^2} = 1,3 \text{ (1/h)} \quad (2)$$

Ilmanvuotoluku n_{50} nousee varsin merkittävästi ja sillä on myös kohottava vaikutus rakennuksen energiatodistusta laadittaessa. Rakennuksen ns. ”toisarvoisten tilojen” ilmatiiviys jää yleensä pienrakentajilta vähemmälle huomiolle. Nämä tilat vaativat kuitenkin myös lämmitystä ja siksi ne vaikuttavat myös rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen.

2.6 Painotettu ilmanvuotoluku (E-luku)

Uuden lainsäädännön rakennusten energiatehokkuudesta astuessa voimaan vuonna 2013, jää edellä mainittu painotetun ilmanvuotoluvun laskenta pois. Voimaan astuvan lainsäädännön mukaan lasketaan pientalon energiatehokkuusluku (E-luku) käyttötarkoituksen mukaan erikseen asunnon osalta sekä erillisen autotalli/varaston osalta. Autotalli/varasto luokitellaan käyttötarkoituksen mukaan: muut rakennukset, joita ei koske E-luvun vaatimustaso mutta tiloille on laskettava E-luku (7.). Käytännössä tämä tarkoittaa kahta laskentaa pientaloissa joihin on liitetty erillinen autotalli/varasto. Laskennan kohdistaminen tulee parantamaan laadun valvontaa rakennettaessa myös erillistä rakennusta. Lämpöhäviön tasauslaskennassa määräysten mukaisuus tulee osoittaa myös erillisen autotalli/varaston osalta edelleen (7.).

Ilmanvuotomittauksella saatua ilmanvuotolukua käytetään suoraan lämpöhäviön tasauslaskennassa, jolla osoitetaan rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuus. Lämpöhäviön tasauslaskennassa vuoden 2012 määräyksillä on annettu ilmanvuotoluvun q_{50} vertailuarvo kaikille rakennuksille $2 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Tämä tarkoittaa sitä, että jos esimerkiksi rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} on $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$, tulee tasauslaskennan jonkun muun vertailuarvon alittaa annettu arvo samassa suhteessa. (2.)

2.7 Tasauslaskenta

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennassa on annettu vertailuarvot vaipan-, vuotoilman- ja ilmanvaihdon lämpöhäviöille. Rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennassa voidaan kompensoida ilmanvuotoluvun aiheuttamaa rakennuksen energiatehokkuuden alenemista parantamalla rakennuksen toista tasauslaskennan osaa.

Käytännössä lämpöhäviöiden tasausta voidaan suorittaa seuraavin keinoin:

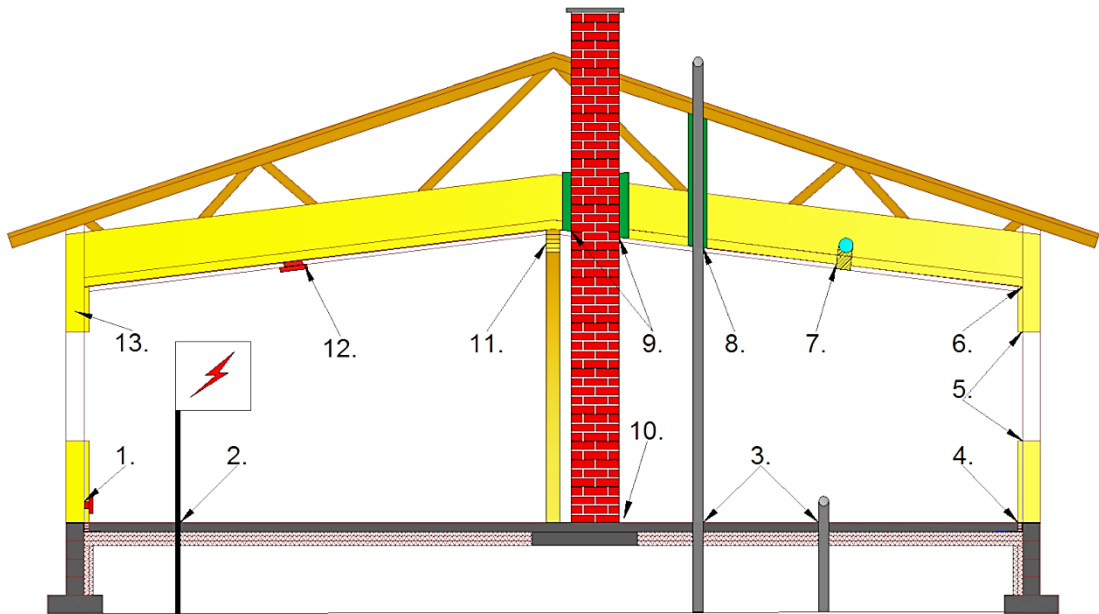
1. Parannetaan rakennusosien lämmönläpäisykertoimia (U-arvoja)
 - lisätään rakennusvaippaan eristevahvuutta
 - asennetaan paremman lämpöeristävyyden omaavaa eristettä
2. Parannetaan ilmanvaihdon hyötysuhdetta
 - yleensä pyörivällä kennolla tai vastavirtakennolla saadaan parempi hyötysuhde, jopa yli 80 %
3. Parannetaan ilmanpitävyyttä
 - noudatetaan tiiveyskorttien ohjeistusta
 - todennetaan ilmanvuotoluku mittauksella
4. Muutetaan ikkunapinta-alaa vaatimusten rajoissa
 - vertailu ikkunapinta-ala 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasosalasta, mutta enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta
 - muutetaan valoaukon pinta-alaa pienemmäksi, mutta ei alle määrätason, joka on 10 % huoneen lattiapinta-alasta

Tasauslaskelmassa saadaan rakennukselle suunnittelu- ja vertailuratkaisujen lämpöhäviöt. Vaipan-, vuotoilman- ja ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan yhteen ja tuloksena osoitetaan suunnitteluratkaisun lämpöhäviö, joka on enintään vertailuarvon suuruinen. Suunnitteluratkaisun lämpöhäviö ei saa olla suurempi kuin vertailuratkaisun lämpöhäviö. (2.)

3 Puurakenteinen pientalo

3.1 Puutalon tyypillisimmät ilmanvuotokohtat

Puurakenteisen talon rakennusvaipassa on useita potentiaalisia ilmanvuotokohtia, joiden tiivistäminen vaatii huolellisuutta ja tarkoitukseen sopivia tiivistystuotteita. Teollisesti valmistettujen pientalojen ilmatiiviyyden varmistamisessa on kiinnitettävä huomio lisäksi elementtien saumakohtiin. Kuvassa 3 on esitetty tyypillisiä puurunkoisen rakennusvaipan ilmanvuotokohtia.



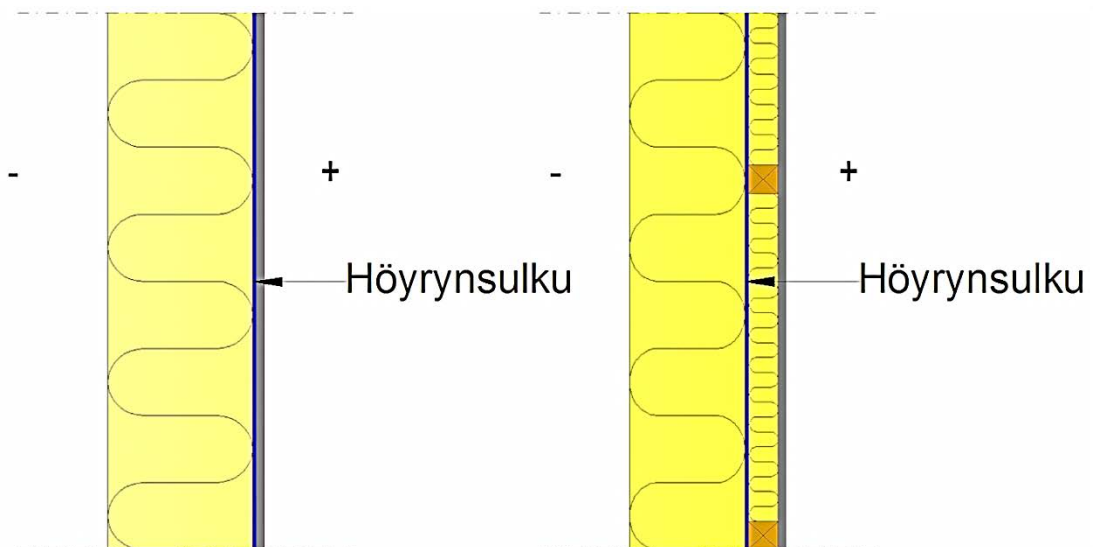
1. Seinien sähkörasioinnit ja johdotukset
2. Sähköpääkeskuksen johtojen läpiviennit alapohjassa
3. Viemäreiden läpiviennit alapohjassa
4. Rakennuksen alapohjaliittymät
5. Ikkunoiden ja ovien liittymäkohdat
6. Rakennuksen yläpohjaliittymät
7. IV-asennusten läpiviennit
8. Viemärin tuuletusputken läpivienti yläpohjassa
9. Savuhormin yläpohjan läpivientiliittymä
10. Savuhormin alapohjan läpivientiliittymä
11. Kantavien väliseinien liittymät yläpohjaan ja ulkoseinään
12. Sisäkaton sähkörasioinnit ja johdotukset
13. Elementtien saumakohtat

Kuva 3. Puurakenteisen pientalon yleisemmät ilmanvuotokohtat

3.2 Rakennusvaipan tiivistäminen

Asennetun ilmanpitävän kerroksen täytyy jatkua vaipparakenteessa yhtenäisenä tiiviisti toisiinsa limittyen. Erityistä huolellisuutta on kiinnitettävä rakenteiden kriittisiin kohtiin kuten esimerkiksi ylä- ja alapohjanliitoksiin, ikkuna- ja oviliitty-miin sekä erilaisten läpivientien tiivistämiseen.

Rakennusvaipassa voidaan käyttää ilmansulkua, höyrynsulkua tai näiden yhdistelmiä estämään ilman haitallinen läpivirtaus rakenteessa. Yleisin käytössä oleva tapa on asentaa ainoastaan höyrynsulkukalvo, joka toimii ilman- ja höyrynsulkuna rakenteessa. Höyrynsulku asennetaan aina rakenteen lämpimälle puolelle, yleensä heti sisäverhouksen taakse (kuva 4). Kuvassa 4 on myös esitetty kuinka höyrynsulku voidaan sijoittaa seinärakenteessa olevaan eristetilaan 50 - 75mm syvyyteen, kuitenkin maksimissaan $\frac{1}{4}$ seinävahvuudesta sisäverhouksesta katsottuna. Höyrynsululla, joka on asennettu eristystilaan, on vaihtoehdoista helpompi tapa saada aikaan ilmatiivis rakenne. Rakenteessa sähköistyk-sen osalta ei tarvitse rikkoa höyrynsulkua, joten ilmatiiviyys on helpompi varmistaa.



Kuva 4. Höyrynsulun asemointien vaihtoehdot rakenteesta riippuen

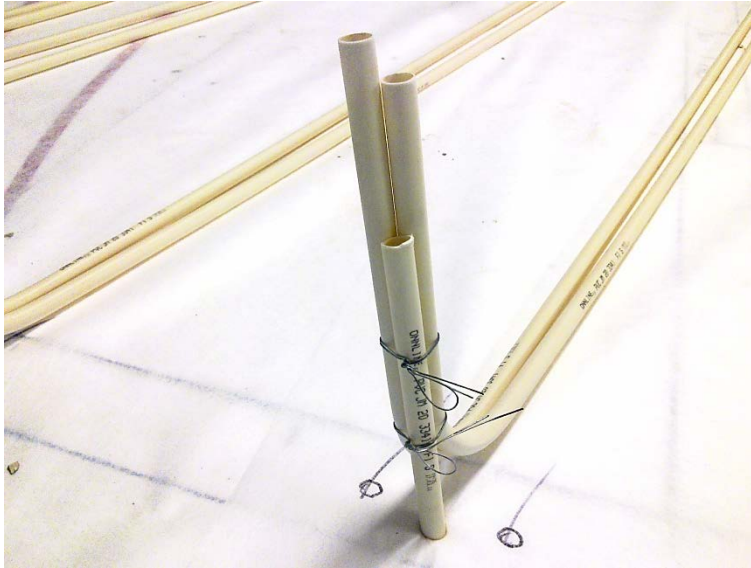
3.3 Tyypillisiä läpivientien ongelmia

Tyypillisiä virheitä rakennusvaipan tiivistämisessä syntyy juuri läpivientien kohdalla. Esimerkiksi sähköasentajan on tavattoman helppoa työntää sähköjohdon suoja-putki höyrynsulun sekä eristyksen läpi ulkotilaan asti ja jättää läpivienti tiivistämättä (kuva 5). Höyrynsulussa tällaiset puutteet aiheuttavat ilmanvaihdolla alipaineiseksi säädetyssä rakennuksessa ulkoilman virtaamisen sisätiloihin päin. Kylmä ilmavirta jäähdyttää eristettä ja voi aiheuttaa vesihöyryn tiivistymisriskin rakenteessa. Sähköputkien läpivienneissä on otettava huomioon myös putken sisällä virtaava ilma, vaikka putki ulkopuolelta olisikin hyvin tiivistetty. Suoja-putken ja sähköjohdon välisen tilan tulee myös olla vaipan läpivientien kohdalta tiivistettynä asianmukaisella elastisella massalla. Kittaus lisää jatko-holkkien määrää sähköasennuksessa, mikä tulee myös huomioida.



Kuva 5. Ulkoseinässä oleva sähköputken läpivienti

Lisäksi ongelmaa tuottaa pientalojen lattian betonoinnissa lattian alle jäävät sähköistyksen ja vesijohtojen suoja-putkien tuennat (kuva 6). Mikäli suoja-putkien tuenta suoritetaan kuvan 6 mukaan, on erittäin tärkeää tiivistää lattiabetonoinnin jälkeen tukiputket juotosmassalla, ettei "huiluista" pääse virtaamaan mahdollisesti radonia tai muita epäpuhtauksia huoneilmaan.



Kuva 6. Sähköputkien tuenta väliseinän kohdalla

Toinen ongelma syntyy, kun käytetään harjaterästä vesijohtosuojaputkien tuentana. Harjateräs täytyy katkaista betonin pinnasta, jolloin on vaara vahingoittaa suojaputkea. Parempi tapa poistaa harjaterästappi on lyödä se irti lattiabetonoinnista valun jälkeen seuraavana päivänä. Tällöin suojaputki on kiinnitettävä harjaterästappiin valupinnan yläpuolelta, jolloin kiinnitys saadaan purettua ennen tapin irrotusta lattiabetonoinnista. Betoniin jäänyt reikä paikataan juotomassalla.

Rakennusvaipan läpivienneistä ehkä eniten ongelmia aiheuttaa ikkunoiden ja ovien liittyminen rakenteisiin. Ikkuna- ja ovikarmit on asennettava erittäin huolellisesti, jolloin niiden mahdollista jälkisäätöä ei tarvita. Käytettäessä karmivälin ilmanvuodon tiivistämiseen elastista saumauskittiä tai tiivistysteippiä on jälkisäätöä lähes mahdotonta toteuttaa (kuva 7).



Kuva 7. Ovikarmin tiivistys elastisella massalla ja tiivistysteipillä

4 Rakennusvaipan tiivistystuotteiden valinta

Rakennusvaippaan liittyvien tiivistysmateriaalien kehitys on ollut nopeaa viime vuosina. Markkinoille on tullut tiivistyskalvoja muuttuvalla diffuusiovastuksella, sertifioituja teippejä sekä tarkoituksiin sopivia läpivientikappaleita. Tiivistysmateriaalin valinnassa täytyykin kiinnittää huomiota materiaalin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi pitkäaikaiskestävyyteen repäisylujuuteen ja kosteudensietokykyyn. Tiivistystuotteiden valinnassa on kiinnitettävä huomio erilaisten tuotteiden yhteensopivuuteen, kuten silloin, kun tiivistyslaippa kiinnitetään höyrynsulkukalvoon. Tuotteiden maahantuojilla on omat ilmatiiviysjärjestelmät, jotka sisältävät yleensä höyrynsulkukalvon, teipit ja läpivientitiivisteet. Nämä järjestelmät on tuotteen valmistaja yleensä standardoinut, joten tuotteet ovat keskenään yhteensopivia.

4.1 Tiivistyskalvot

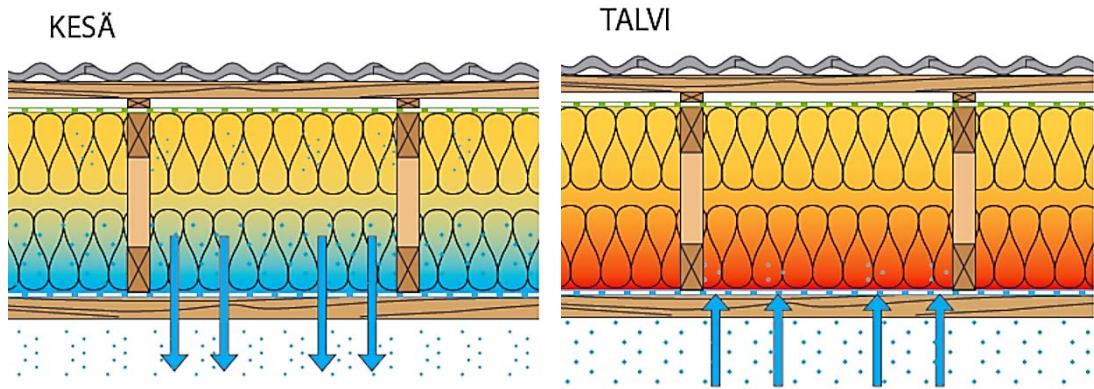
4.1.1 PEL-tiivistyskalvo

Yleisin rakennusten höyrynsulkuna toimiva kalvo on ollut sertifioitu SFS 4225, sininen 0,2 mm PEL-tiivistyskalvo. Höyrynsulkuna kalvo toimii hyvin, mutta asennusaikaisessa rullan aukaisussa täytyy olla huolellinen. 50 metrin rulla painaa noin 26 kg, joten rullan auki vierittäminen betonilattialla aiheuttaa usein pakatun kalvon taitekohtaan reikiä, heikentäen vaipan ilmatiiviyttä. Kalvo on myös erittäin staattinen aiheuttaen ongelmia kerätessään pölyä ja roskaa jatkoskohdan ja läpivientiliitoksien alueelle. Kalvo on jalostettu öljytuotteesta, joten se on myös herkkä ilman lämpötilavaihtelulle. Rakennettaessa talviaikana, kun rakennuksessa ei ole vielä lämmitystä, on asennetulla kalvolla taipumus ”kirisyttyä” entisestään ilmatilan kylmetessä. Tämä aiheuttaa suurta rasisusta kalvon teipatuissa jatkoskohdissa. Lämpötilan noustessa lämmityksen johdosta kalvo venyy aiheuttaen pusseja höyrynsulkuun. Lämpötilan ollessa normaalilla käyttöalueella (+15 / + 25 °C) kalvo on myös stabiilimpi lämpötilojen muutoksille.

4.1.2 Muuttuva diffuusiovastuskalvo

Rakennusvaipan tiiviystuotteisiin on tullut myös eri valmistajien muuttuvien diffuusiovastusten (S_d) omaavia höyrynsulkutuotteita. Diffuusiovastus (S_d) saadaan kertomalla aineen diffuusiovastusluku (μ) aineenpaksuudella (m). Muuttuvan diffuusiovastuksen omaava höyrynsulkukalvo toimii ilmankosteuden mukaan. Ilmankosteuden ollessa alhainen esimerkiksi talvella, on kalvon S_d -luku luokkaa 5 – 10 m ja ilmankosteuden ollessa suurempi kuten kesäaikana, on S_d -luku hyvin pieni, 0,2 - 0,25 m. (9.)

Kuvassa 8 on esitetty diffuusioavoimen höyrynsulkukalvon toimintaperiaate. Muuttuvan diffuusiovastuksen omaavat tuotteet toimivat kesällä kuin ”paperi”, päästäen vesihöyryn rakenteista huonetilaan kuivattaen rakenteita. Talviaikana suhteellisen kosteuden ollessa alhainen toimii höyrynsulku kuin ”muovi” estäen vesihöyryn pääsemisen rakenteisiin. (9.)

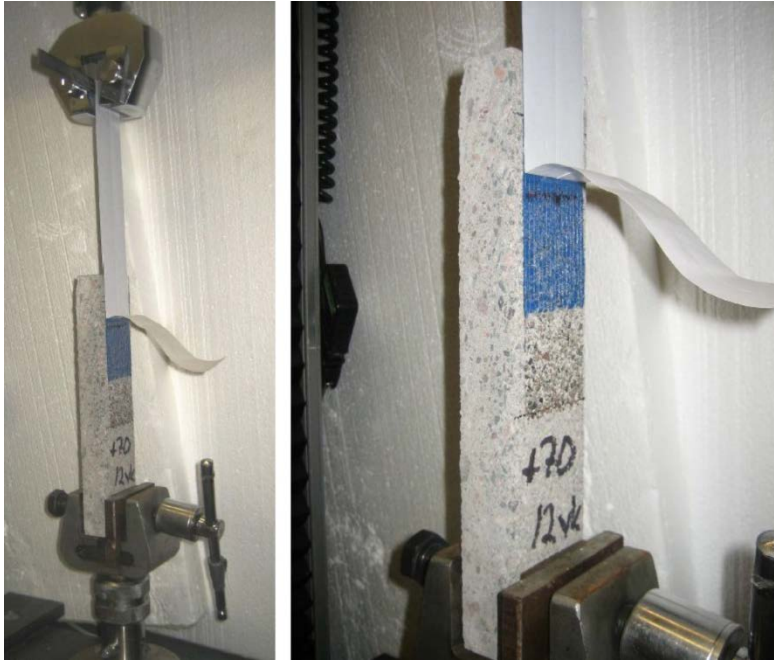


Kuva 8. Diffuusioavoimen kalvon toimintaperiaate kesä ja talviaikana (9.)

4.2 Tiivistysteipit

Rakenteen ilmatiiviyteen liittyy olennaisena osana tiivistysteipit. Teippien tarkoitus on liittää saumattomasti ilmansulkukalvot toisiinsa, jottei kalvojen liitoksessa synnyilmavuotoja. Tiivistysteippien tärkein ominaisuus on teipissä oleva liiman pitkäaikais- ja kuormituskestävyys sekä repäisylujuus. Teipissä käytetyn ilmapitävän materiaalin on vastattava liitettävän materiaalin ominaisuuksia. VTT:n toimesta suoritettut sertifiointit sekä kansalliset standardit ovat olleet tiivistysteippien laadun takeena Suomessa.

Kuvassa 9 on esitetty Tescon N:o1 teipin sertifiointissa käytetty peelingvetokoe liimanpitävyydestä betoniin. Tescon N:o1 teipin liimana on käytetty Pro Clima Acrylat Solid-liimaa.



Kuva 9. Tescon N:o1 tiivistysteipissä olevan liiman peeling-vetokoe (liite 3.)

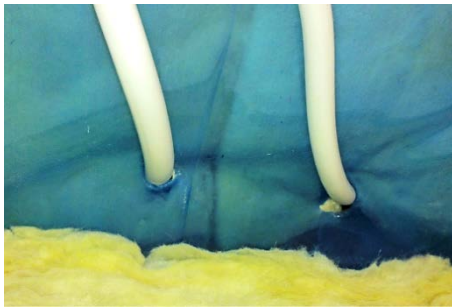
Peeling-vetokokeessa testataan liiman tartuntalujuuden voima (N/50 mm) vetämällä teippiä 180 asteen kulmassa irti liimatusta pinnasta 50 mm/min normaalissa sisätilan kosteusolosuhteessa. Teipissä käytetyn liiman pitkäaikaiskestävyyttä tutkittiin vanhentamalla teippiä keinotekoisesti +70 °C lämpötilassa 12 viikkoa. Tämä aika vastaa teipin ikääntymistä noin 7,5 vuodella. Vanhennuttamisen jälkeen uusinta testi tehtiin kuten aiemmin. Tulosten mukaan (≥ 30 N/50 mm) liima ei ole kärsinyt tartuntalujuuden heikkenemisestä, ja näin olen se täyttää vaatimuksen pitkäaikaiskestävyydestä. Teipissä olevan liiman tartuntalujuutta tutkittiin myös puu- ja höyrynsulkualustalla. Näiltä liimauspinnoilta teippi ei irronnut vaan venyi (liite 3).

4.3 Lämpivientien tiivisteet

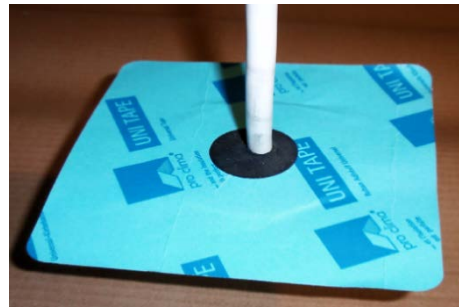
Rakenteiden läpiviennit ovat saaneet entistä enemmän huomiota rakennettaessa matala- tai nollaenergiarakennuksia. Lämpivientien muodonmuutoksiin ja kykyyn pidättää ilmavuotoa on nykyään kiinnitetty entistä enemmän huomiota. Rakennuksessa olevien läpivientien tiivistämiseen kannattaa käyttää niitä varten kehitettyjä tiivistystuotteita. Nykyään on tarjolla useiden eri valmistajien tiivistystuotteita kaikkiin rakennuksessa olevien läpivientien tiivistämiseen.

4.3.1 Sähköistyksen läpivienti

Yläpohjan sähköjohtojen läpivienti tehtiin aiemmin ”perinteiseen tapaan” (kuva 10). Nykyisin läpivienti ko. kohtaan tehdään tarkoitukseen soveltuvalla liimattavalla läpivientitiivisteellä (kuva 11), jolla saadaan aikaan joustava sekä ilmantiivis läpivienti. Läpivientitiivisteitä on saatavana myös usean johdon samanaikaiseen läpivienttiin.



Kuva 10. Yläpohjan sähköjohtojen läpiviennit ”perinteiseen tapaan”



Kuva 11. Höyrynsulkuun liimattava sähköjohdon läpivientitiiviste

4.3.2 Viemäroinnin läpivienti

Viemäroinnin osalta läpiviennit tapahtuvat ylä- ja alapohjan kautta. Betonisen maanvaraisen laatan osalla läpivienttiin tehdään varaus umpisolumuovisella kaistalla (paksuus 10 mm) noin 2 – 3 senttimetrin matkalta laatan yläpinnasta. Valun jälkeen kaista poistetaan ja tilalle asennetaan elastinen saumausmassa. Yläpohjan läpivienttiin viemärituuletusta varten on saatavana kuminen putkiläpivientitiiviste (Kuva 12). Tällaista tiivistettä käytetään yleisesti myös IV-putkien läpivientteihin.



Kuva 12. Viemärintiputken kuminen läpivientitiiviste varmistettuna tiiveysteipillä

4.3.3 Ilmanvaihtokoneen läpivienti

Ilmanvaihtolaitteesta lähtevät ilmanvaihtoputket on ilmatiivyyden kannalta varmintaa tiivistää iv-laitteen valmistajan omalla läpivientilevyllä. Kuvassa 13 on esitetty Vallox Digit SE-ilmanvaihtolaitteen läpivientilevy. Läpivientilevyssä on putkijärjestys ja mitoitus valmiina, mikä helpottaa putkiston asennusta.



Kuva 13. Ilmanvaihtokoneen läpivientilevy

4.3.4 Savuhormin läpivienti

Savuhormin läpiviennin tiivistämisessä on otettava huomioon palomääräykset. Tiivistysmateriaaleilta vaaditaan myös lämmönkestoa ja kiinnitettävyyttä kivirakenteeseen. Joustavilla kangaspohjaisilla teipeillä voidaan savuhormin liitos tiivistää höyrynsulkuun vaivattomasti. Teipin etuna on myös sen pinnoitettavuus: teippi voidaan tarvittaessa rapata tai tasoittaa yli, joten se lisää ilmanpitävyyttä sekä pitkäaikaiskestävyyttä. Kuva 14 esittää savuhormin läpiviennin tiivistystä kangaspohjaista teippiä hyödyntäen. Kuvassa näkyy myös kantavanrakenteen pilariliittymän tiivistys Rakonor sitko-tiivistysteipillä yläpohjan höyrynsulkuun.



Kuva 14. Savuhormin tiivistys Tescon N:o 1 teipillä ja pilarin tiivistys Rakonor sitko-teipillä yläpohjaan.

4.4 Ilmatiivyyden varmistamiseen käytetyt asennusliimat

Asennusliimojen, joita käytetään yleisesti höyrynsulun jatkoskohtien ilmatiivyyden varmistamiseen, on oltava kuten teippienkin liimat, pitkäaikaiskestäviä ja tartuntaominaisuuksiltaan riittävän lujia. Asennusliimoja voidaan käyttää nykyään muun muassa seinärakenteen höyrynsulun ja ennalta valetun betonilaatan liitoksen liimaamiseen.

5 Rakennuksen ilmanpitävyyden varmistaminen

Rakennuksessa suoritettu ilmanvuotomittaus on ainut luotettava tapa varmistaa rakennuksen ilmatiiviys. Rakennuksen ilmatiiviuden enimmäistasoa pienempi ilmanvuotoluku voidaan osoittaa myös hyväksytysti, toteuttamalla kunnallisen rakennusvalvonnan käyttämää ilmanvuotoluvun valintalomaketta. Tiivistystyön varmistaa rakennustyömaan vastaava mestari allekirjoituksellaan.

5.1 Ilmatiiviuden tavoitetason valinta

Pientalolle rakennuslupaa hakiessaan on rakentajan sitouduttava tavoittelemaan suunniteltua rakennuksen ilmatiiviyttä. Imatran kaupungin rakennusvalvonta on tuonut pienrakentajien käyttöön ilmanvuotoluvun valintalomakkeen (liite 1). Lomake toimii tarkastuslistana rakennuksen ilmatiiviuden varmistamiseksi. Kun työmaan vastaava mestari hyväksyy allekirjoituksellaan lomakkeessa osoitettujen kohtien tiivistystyön virheettömyyden, voidaan rakennuksen ilmanvuotolukua laskea enimmäisarvosta valittuun arvoon. Valintalomakkeen kaikkien kohtien hyväksyty tiivistystyö laskee rakennuksen ilmanvuotoluvun arvoon $q_{50} = 2(\text{m}^3/(\text{h m}^2))$. Tavoiteltaessa pienempää ilmanvuotolukua on rakennuksessa suoritettava ilmanvuotomittaus.

5.2 Ilmanvuotomittaus

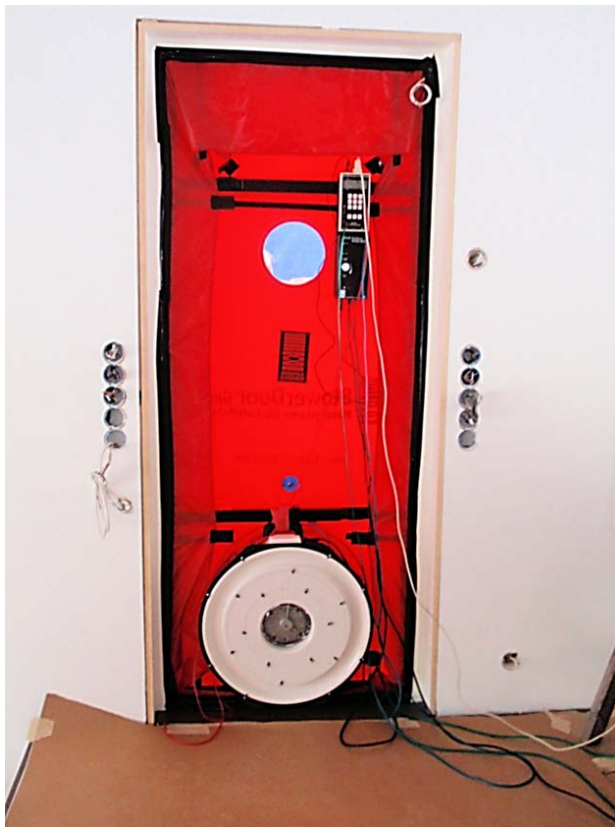
Rakennuksen ilmatiiviys varmistetaan ilmanvuotomittauksella. Mittausohjelma laskee, kuinka monta kertaa mitattavan kohteen ilmatilavuus vuotaa rakenteiden läpi 50 Pascalin paine-erolla tunnin aikana. Tulos kertoo rakennuksen vaipan ilmatiiviuden. Vaipan ilmatiiviydellä tarkoitetaan vain ulko- ja sisäilman erottavia rakennusosia, joissa on mukana myös ikkunat, ovet sekä ala- ja yläpohjat. Vapaat ilmanvuotoreitit tukitaan mittauksen ajaksi.

Ilmanvuotomittauksessa tuotetaan rakennuksen sisälle mittauksen tarkoitusta varten joko ali- tai ylipaine. Mittaus voidaan suorittaa myös kaksivaiheisena, jolloin ensin mitataan rakennus alipaineisena ja toiseksi ylipaineisena. Näiden tulosten keskiarvo osoittaa rakennuksen ilmatiiviuden.

5.3 Mittalaitteisto

Mittalaitteena käytetään ovi- tai ikkuna-aukkoon asennettavaa tarkoituksenmukaista puhallinlaitteistoa. Kuvassa 15 esitetään oviaukkoon asennettu Minneapolis BlowerDoor-mittalaitteisto. Minneapolis BlowerDoor-mittalaitteiston peruskokonaisuus muodostuu kokoonpanosta:

- puhallin
- sulkurenkaat A – E (viisi erikokoista kuristusrengasta)
- oviaukkoon asennettava kehys ja nylonkangas (yhdelta puhaltimelle)
- digitaalinen painemittauslaite DK - 700
- paine-eroletkut (läpinäkyvä, punainen, vihreä ja sininen)
- tietokoneohjelmisto TECTITE
- johtosarjat yksiköiden liitämisiin.



Kuva 15. Minneapolis BlowerDoor-puhallinlaitteisto asennettuna oviaukkoon

5.4 Puhaltimen käyttöalueen mitoitus

Puhaltimen käyttöalue on riitettävä aiheuttamaan 50 Pascalin paine-eron mitattavan rakennuksen ilmatilavuudelle. BlowerDoor ilmoittaa puhaltimen käyttöalueeksi 19 – 7200 m³/h. Laitteiston viidellä erikokoisella kuristusrenkaalla voidaan säätää puhaltimen ilmatilavuusvirtaa vastaamaan mitattavana olevan rakennuksen ilmatilavuutta haluttuun ilmanvuotolukuun nähden.

Puhaltimen valintaan vaikuttaa puhaltimen tuottama maksimi-ilmavirta Q ja tavoiteltu ilmanvuotoluku joko n_{50} 1/h tai q_{50} (m³/(h m²)). Kaavoilla 3 ja 4 voidaan määrittää tarvittava ilmamäärä m³. Lähtötietona tarvitaan myös rakennuksen ilmatilavuus (V) ja vaipanala (A_E).

$$Q = q_{50 \text{ tavoiteltu}} \times A_E \quad (3)$$

$$Q = n_{50 \text{ tavoiteltu}} \times V \quad (4)$$

Q = riittävä ilmamäärä (m³)

$q_{50 \text{ tavoiteltu}}$ = arvioitu ilmanvuotoluku (m³/(h m²))

$n_{50 \text{ tavoiteltu}}$ = arvioitu ilmanvuotoluku (1/h)

A_E = rakennuksen vaipanala (m²)

V = rakennuksen ilmatilavuus (m³)

Esimerkkikohteessani on ilmatilavuus $V = 430$ m³ ja tavoiteltu ilmanvuotoluku 1 (1/h). Kun luvut sijoitettiin kaavaan 4, saatiin puhaltimen tarvittavaksi ilmamääräksi 430 m³. BlowerDoorin ilmoittama puhaltimen tehoalue (19 – 7200 m³/h) riittää selvästi tuottamaan rakennukseen tarvittavan paine-eron.

Edellä mainittujen tarvittavien ilmamäärien laskentakaavat helpottavat lähinnä suurten ilmatilavuuksien omaavien rakennusten, kuten kerrostalojen ja hallirakennuksien puhallinlaitteiden valintaa. Suurissa rakennuksissa käytetään yleensä useamman puhaltimen kokoonpanoja. Normaalin pientalon tai keskikokoisen kerrostalon ilmatiiviysmittaus voidaan suorittaa BlowerDoor-laitteiston peruskokoonpanolla. (10.)

Mittalaitteistot on kalibroitava kahden vuoden välein ja todistukset on esitettävä aina mittausraportissa sekä pyydettyäessä. Kalibrointeja suorittaa laitteiden maahantuojat tai muu maahantuojan valtuuttama taho.

5.5 Muut rakennusvaipan ilmatiiviyteen kohdistuvat kartoitukset

5.5.1 Lämpökuvaus

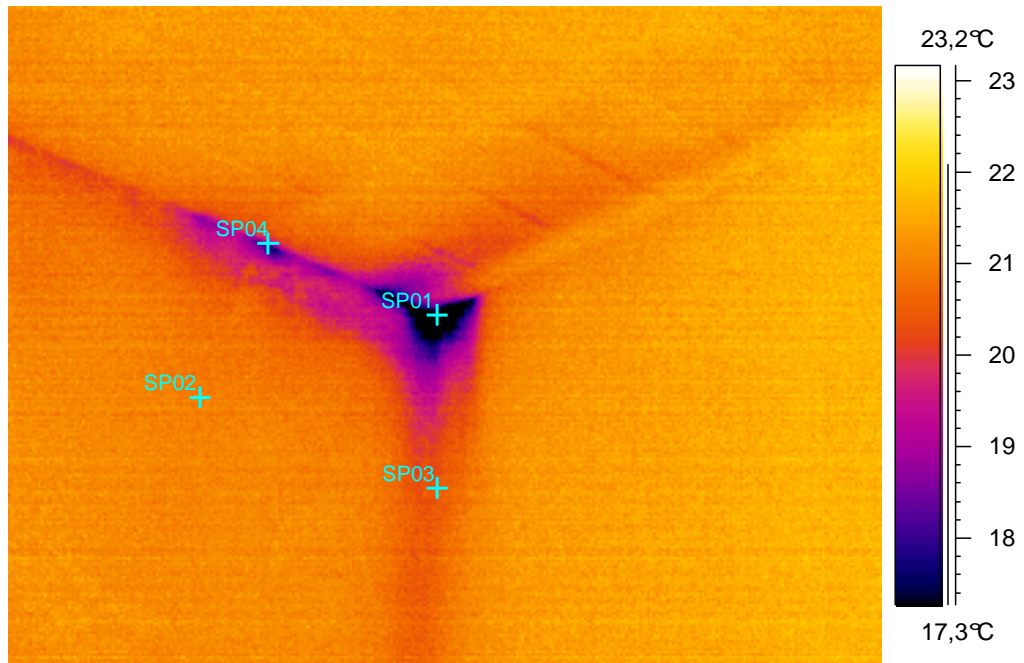
Ilmanvuotomittauksen jälkeen on luontevaa jatkaa vaipan mahdollisia vuotokohtien etsintää ja kartoittamista. Puhaltimen vielä ollessa asennettuna säädetään rakennukseen manuaalisesti alipaine uudelleen. Alipaine saa rakenteessa ilmavirtaukset kulkemaan vaipanvuotokohtien kautta rakennuksen sisään, jäähdyttämällä näin vuotokohtia.

Alipaineiseksi säädetyistä rakennuksesta on vuotoreitit helppo löytää lämpökuvauksella tai merkkisavuilla. Lämpökuvaus antaa helposti luotettavan tuloksen kuvattavan kohteen ilmanvuodoista. Lämpökameraa käytettäessä tulee kuvajalla olla riittävä pätevyys pystyäkseen tulkitsemaan otettuja kuvia. Lämpökuvauksen ja kuvien tulkitsemisen ehtona on käsittää, mikä on kuvatulle rakenteelle tyypillinen ominaispiirre. (11.)

Lämpökuvauksessa mitoittavana sisä- ja ulkoilman välisenä lämpötilaerona pidetään -5 °C ja sisätilan $+21\text{ °C}$ lämpötilaa. Pienemmän lämpötilaeron vaikutuksesta lämpökamerakuvien tulkinta vaikeutuu, eikä vuotokohtien löytyminen ole enää helppoa. Lämpökamerakuvaus toimiikin parhaiten kylmänä vuoden aikana, jolloin sisään virtaava kylmäilma erottuu selvästi otetuista kuvista. (11.)

Kuvassa 16 esitetään FLIR Therma CAM 695-lämpökameralla kuvattu ulkoseinä-rakenteen kohta 50 Pascalin alipaineessa. Kuvaushetkellä ulkoilman lämpötila oli -2 °C ja sisäilman lämpötila $20,3\text{ °C}$ astetta. Kuvatussa kohdassa rakennuksen kantavan väliseinän palkki liittyy rakennuksen ulkopuolelta tulevaan autokatoksen katon kannatuspalkkiin.

Palkin lävistämään ulkoseinärakenteeseen on jäänyt ilmanvuotokohta. Kuvassa 17 rakenne on kuvattu myös rakennusvaiheessa ennen tiivistystä. Kantavan väliseinän runkopuu on poistettu höyrynsulun asentamisen ajaksi.



Makuuhuoneen seinän ja yläpohjanliitos.



Tunniste	Arvo
SP01	14,5°C
SP02	21,1°C
SP03	20,7°C
SP04	18,6°C

Kuva 16. Lämpökuvauksella todennettu ilmanvuotokohta kantavan väliseinäpalkin kohdalla ulkoseinärakenteessa



Kuva 17. Kantavan väliseinän liittyminen ulkoseinärakenteeseen ennen tiivistystä

5.5.2 Lämpötilaindeksi

Mittausolosuhteiden ollessa epäsuotuisia voidaan rakennuksen lämpöoloja kuvata myös lämpötilaindeksillä (TI). Esimerkiksi edellä kuvatun kohdan lämpötilan mittauspiste ei sijaitse rakennuksessa olevalla oleskeluvyöhykkeellä vaan yläpohjan ja seinän liittymässä, jolloin se luokitellaan asumisterveysohjeessa pistemäiseksi pintalämpötilaksi.(12.)

Pistemäisistä pintalämpötiloista lämpötilaindeksi (TI) lasketaan kaavalla 5. Lämpötilaindeksin ohjeellinen arvo asumisterveysoppaassa määrittelee hyvän tason indeksiksi $TI > 65 \%$ ja uusille asunnoille suositellaan lämpötilaindeksin $TI = 70 \%$ ylitystä.(12.)

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 \quad (5)$$

jossa

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila (14,5 °C)

T_i = sisäilman lämpötila (20,3 °C)

T_o = ulkoilman lämpötila (-2 °C)

Kaavaan 5 sijoittamalla suluissa yllä olevat mitatut lämpötilat voidaan laskea edellä kuvatun (kuva 17) rakenteen lämpötilaindeksi (TI).

$$TI = (14,5 \text{ °C} - (-2 \text{ °C})) / (20,3 \text{ °C} - (-2 \text{ °C})) \times 100 = 74 \% \quad (5)$$

Pistemäisen kohdan lämpötilaindeksin arvoksi saatiin 74 %. Luku ylittää asu-
misterveysohjeessa suositellun hyvän tason indeksin. Lisäksi täytyy ottaa huomi-
ioon kuvaushetkellä ollut alipaine (-50 Pascalia), joka on kymmenkertainen
rakennuksessa olevaan normaaliin (-5 Pascalia) alipaineisuuteen verrattuna.
Suuren alipaineisuuden ansiosta syntyvä ilmavirtaus jäädyttää ilmanvuotoreit-
tiä, joten mittauspisteen kohta on normaalia kylmempi.

Rakennuksen mitattu ilmanvuotoluku n₅₀ oli 0,6 1/h, joten näin pieni rakenteen
ilmanvuoto on kannattamaton korjata kustannuksiin nähden, kun rakenteet ovat
jo valmiina. Rakennusaikaisella lämpökuvauksella olisi ilmanvuotokohta ollut
helposti löydettävissä ja tiivistettävissä.

Lämpökuvausta suositellaankin käytettäväksi laadunvalvonnassa kaksivaihei-
senä. Ensimmäisessä vaiheessa kuvataan rakenteet ennen sisäpinnoitusvaihet-
tä, jotta mahdolliset ilmanvuotokohtat on helppo korjata rakenteita rikkomatta.
Toisessa vaiheessa rakennus kuvataan lopullisen ilmanvuotomittauksen yhtey-
dessä, kun kaikki sisäverhoukset ovat valmiina. Sisäverhoukset parantaa osaltaan
myös rakennuksen ilmanpitävyyttä. (10.)

5.5.3 Merkkisavu

Merkkisavuja käytetään yleisesti vuotoreittien paikantamiseen, niin talvella kuin kesälläkin. Merkkisavujen etuna pidetään riippumattomuutta lämpötilaeroista ja toimivuutta pienellä alipaineella. Jopa -10 Pascalin alipaine riittää osoittamaan vuotokohdan, joten rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmälläkin kyetään tuottamaan tarkoitukseen sopiva alipaine.(10.)

Savunkehittimiksi soveltuvat parhaiten markkinoilla olevat akkukäyttöiset savunkehittimet, jotka kehittävät savua savukoneeseen syötetystä nesteseoksesta. Kuvassa 18 on esitetty akkukäyttöinen savukone, joka tuottaa paksua savua ilmavirtojen havaitsemiseen. Yleisin käytetty nesteseos sisältää vettä ja alkoholi-ryhmään kuuluvaa diolia. Kemiallinen reaktio saa aikaan paksun ja pinnoilla leijuvan savunmuodostuksen. Savukoneen muodostama savu on tiheydeltään sama kuin ilmantiheys, joten ilmavirtaukset leijuvasta savusta pystytään helposti havaitsemaan. Samaa savun muodostusta tavataan tunnetuimmin lava- ja esiintymisefekteissä. (12.)



Kuva 18. Akkukäyttöinen savunmuodostaja ilmavirtojen etsintään (13.)

5.5.4 Rakenteen vuotokohtien paikantaminen ylipaineisena

Ylipaineistuksella aiheutetaan rakennukseen puhaltimella ylipaine, joka muodostaa rakenteeseen mahdollista läpivirtausta sisältä ulospäin. Ylipaineistusta voidaan käyttää kuvattaessa lämpökameralla rakennuksen ulkopuolelta rakennuksessa olevia mahdollisia lämpövuotoja kylmänä vuodenaikana. Ulkoapäin lämpökameralla kuvattaessa etuna on, että tarvittaessa kuvaan saadaan mah-

tumaan koko rakennuksen kuvattava julkisivu. Ylipaineistettua rakennusta voidaan kartoittaa ilmanvuotojen osalta myös savukonetta hyödyntäen. Merkkisavu kulkeutuu vuotoreitin kohdalle osoittaen rakenteessa olevan vuotokohdan.

6 Ilmanvuotomittaus esimerkkikohteessa

6.1 Mittausta edeltävät toimenpiteet

Ennen mittauksen aloitusta laskettiin rakennuksen ilmatilavuus sekä vaipanala piirustuksista saaduilla mitoilla. Tuloksia verrattiin kohteesta mittaamalla saatuihin tuloksiin. Varmistettuja tuloksia käytettiin mittauksen arvoina.

Vapaat ilmareitit kuten liesituuletin, takan hormit ja tuloilmayhteet sekä IV-kanavien päätelaitteet tiivistettiin ilmanvuotomittauksen ajaksi. IV-koneen tulo ja poistoilmakanavat tiivistettiin rakennuksen ulkopuolelta. Tulisijan ilmatiiviyys varmistettiin teippaamalla suuluukut, vaihtoehtoisesti voidaan tiivistää savuhormi yläosasta. Kuvassa 19 on esitetty takan suuluukkujen tiivistäminen. Lattia-kaivot täytettiin vedellä ja ilmatiivieys varmistettiin vielä teippaamalla kannen päälle muovikalvo. Liesituulettimen hormi tiivistettiin vesikaton yläpuolelta muovilla teippaamalla, hormi voidaan tiivistää myös ilmatäytteisellä pallolla.



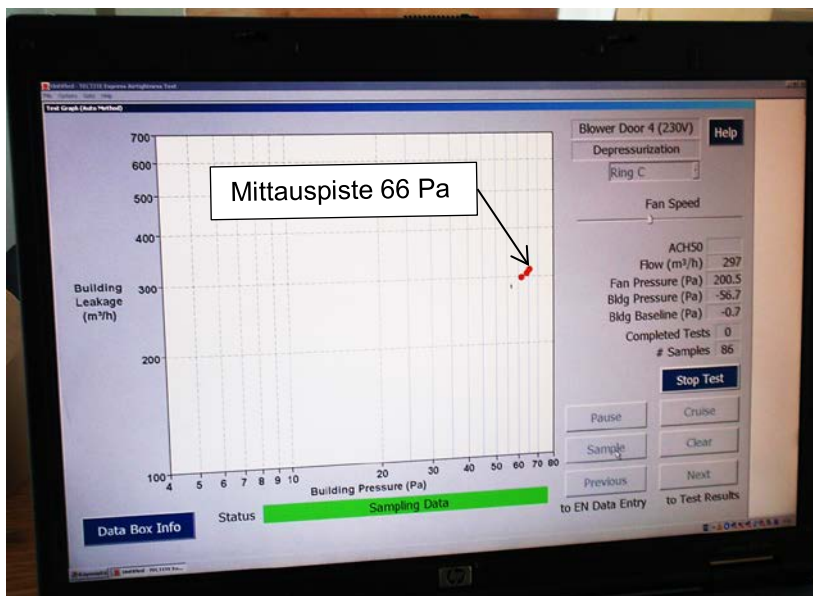
Kuva 19. Tulisijan luukkujen tiivistys teippaamalla

6.2 Mittauksen suorittaminen

Alipainemittausta suorittaessa rakennukseen aiheutettiin puhaltimella alipaine, jonka lähtötaso mittauksen alkuvaiheessa oli 70 Pascalia. Kuvassa 20 esitetään ilmanvuotomittauksen alkuvaihe, jonka ensimmäinen luotu mittauspiste on 66 Pascalin kohdalla.

Mittauslaitteisto luo mittaustilassa järjestelmällisen rakennuksen alipaineistuksen alenemisen lähtötasosta 70 Pascalista lopulliseen 20:een Pascaliin asti. Mittauslaite tuottaa ohjelmaan mittauspisteitä, joista syntyy lineaarisesti aleneva mittauslinja.

Rakennuksissa käytetty ilmanvuotoluku saadaan mittauslaitteen luoman mittauslinjan 50 Pascalin kohdalta. Kun ohjelma havaitsee mittauspisteiden välillä liian suuren poikkeuksen, katkaisee ohjelma mittauksensa itsensä. Syynä tähän saattaa olla jonkun vapaanilmareitin tiivistyskohdan pettäminen ja siitä aiheutuva liian suuri vuotoilma. Tarkistuksen ja korjaamisen jälkeen käynnistetään mittaus uudelleen.



Kuva 20. Mittausvaiheen ensimmäinen mittauspiste on 66 Pascalia

Ohjelma luo mittauspisteet itse samalle lineaarisesti alenevalle mittauslinjalle. Kuvassa 21 esitetään valmis funktio mittauslinjasta. Rakennuksen ilmatilavuuden (V) ollessa 430 m^3 ja rakennuksen ilmanvuotovirran (Q_{50}) $256 \text{ m}^3/\text{h}$ 50

Pascalin kohdalla. Laitteisto laskee ko. kohdalta saadun rakennuksen ilmanvuotomäärän n_{50} kaavalla 5.

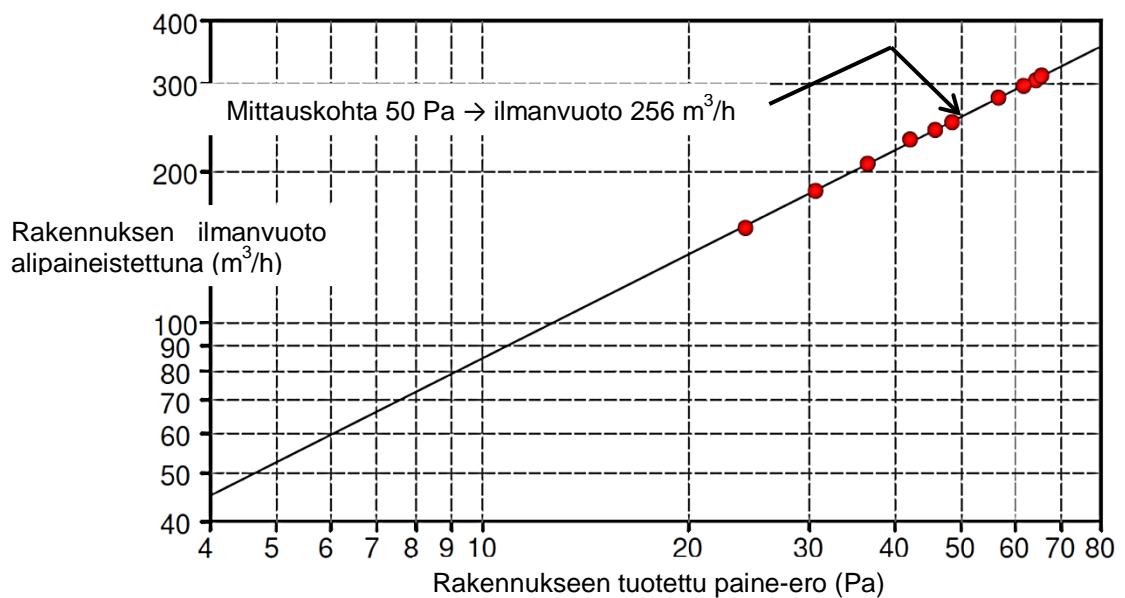
$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V} \quad (5)$$

jossa

n_{50} = mittaustulos (1/h)

Q_{50} = rakennuksen ilmanvuotovirta 50 Pascalin paine-erolla, (m^3/h)

V = rakennuksen tilavuus, (m^3)



Kuva 21. Mittausfunktio valmiista mittauksesta

Tuloksesta syntyi rakennuksen ilmanvuotoluku $n_{50} = 0,6$ (1/h), joka muutettuna kaavalla 1 vastaa q_{50} -lukua $0,55$ ($m^3/(h \times m^2)$). Saatu tulos osoittaa rakennuksen täyttävän passiivitalolle annetun ohjearvon. Ilmanvuotoluku oli osoitus tiivistyksen suunnittelun sekä toteuttamisen onnistumisesta. Rakennusvaipan tiivistämisessä oli sovellettu liitteen 2 mukaisia ohjeita. Tulokseen pääseminen edellytti myös kaikkien kohteessa työskentelevien tahojen sitoutumisen samaan tavoitteeseen.

7 Päätelmät

Opinnäytetyössäni oli tarkoitus tutkia ilmanpitävyyden varmistamiseen liittyviä tekijöitä puurakenteisessa pientalossa. Työssä käsiteltiin ilmatiivyyden vaikutusta rakennuksen energiatalouteen, ilmatiivyyden laadunvarmistusta sekä ilmatiivyyteen liittyviä tuotteita. Lisäksi opinnäytetyön liitteeksi tehtiin pienrakentajien käyttöön ilmatiivyyden varmistamiseen liittyvä ohjeistus. Ohjeistuksen pohjana oli Imatran kaupungin rakennusvalvonnan käyttämä ilmanvuotoluvun valintalomake. Lomakkeessa olevien kohtien toteuttaminen laskee rakennuksen ilmanvuotolukua työmaan vastaavanmestarin hyväksytyä toteutetut kohdat. Lomake toimii myös pienrakennuttajan laadunvarmistusvälineenä, jota seuraamalla hän voi varmistua hyväksytystä työnsuorituksesta sekä käytettävistä ilmatiiviysmateriaaleista.

Rakennusten energiamääräysten tiukentuminen vaikuttaa pientalon rakennuksessa moneen eri asiaan. Rakennuksen ilmatiivyyden merkitys rakennuksen kokonaisenergian kulutuksessa nousee varsin merkittävään asemaan. Hyvällä ilmatiivyydellä on pienentävä vaikutus rakennukselle määritettyyn kokonaisenergiankulutuksen (E-luku) arvoon.

Rakennusvaipan kautta tapahtuvaa lämpöhäviöitä pienennetään yleisesti eristeitä lisäämällä, mikä johtaa paksuihin vaipparakenteisiin. Paksut vaipparakenteet sisältävät tällä hetkellä rakennusfysikaalisesti kysymysmerkkejä, kuten esimerkiksi mahdollinen kosteuden aiheuttama epäpuhtauksien muodostuminen eristeiden ulko-osiin. Rakenteen ilmanpitävyydellä on tältä osin erittäin suuri merkitys. Ilmatiiviissä rakenteessa ei ole läpivirtauksen mahdollistavia reittejä, joiden kautta huoneilmaan pääsee mahdollisia epäpuhtauksia.

Ilmatiivis rakenne pientalossa on varsin helposti toteutettavissa. Huolellisella työllä ja yleisesti hyväksytyillä ilmatiiviystuotteilla saadaan normaalin pientalon ilmanvuotoluvuksi (q_{50}) helposti alle 1. Esimerkiksi kohteessani oli mitattu ilmanvuotoluku (n_{50}) 0,6 1/h, joka muutettuna q_{50} arvoon on 0,55 ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$). Mitattuun arvoon oli päästy kiireettömällä ja huolellisella työsuorituksella. Kun pienrakennuttaja tiedosti vaipan ilmanpitävyyden tuoman hyödyn, oli sängen helppo toteuttaa rakenteet kiirehtimättä.

Pienrakennuttajan kannattaa ilmoittaa rakentajille jo projektinsa alkuvaiheessa, että rakennus tullaan varmentamaan ilmanvuotomittauksella. Tieto rakentajien keskuudessa lisää huolellisuutta työhön, vaikuttaen työn lopputulokseen.

Ilmanpitävyyden varmistamiseen käytetty materiaalien kustannus sekä työhön kulutettu aika tulee rakennuksen omistajalle takaisin lämmitysenergian säästöinä varsin nopeasti.

Ilmoitusmenettelyllä talotehtaiden määrittämät ilmanvuotoluvut osoittavat kyllä käsityksen rakenteen ilmanpitävyydestä, mikäli työ on tehty huolellisesti. Epävarmuus työn huolellisuudesta aiheuttaa epäilyä rakenteen ilmanpitävyydestä, jollei ilmanvuotomittaus rakennuksessa ole suoritettu. Kustannukseltaan ilmanvuotomittaus on erittäin vähäinen verrattuna siitä saatavaan varmuuteen.

Ilmanvuotomittaus antaa rakennuksen omistajalle luotettavan varmuuden rakennuksen ilmanpitävyydestä. Rakennusta mahdollisesti jälleenmyytäessä on alhaisella ilmanvuotoluvulla positiivinen vaikutus ostajaan ostopäätöstä tehtäessä. Ostaja voi näin ollen varmistua rakenteiden oikeaoppisesta toimivuudesta.

Opinnäytetyöni syvensi osaamistani ilmatiiviyeen vaikuttavien asioiden hallinnassa. Rakenteen ilmatiiviyys on osa rakennusfysiikkaa, johon oleellisesti liittyy myös ilmaa sekä rakenteessa vaikuttava lämpö ja kosteus. Hallitsematon ilmavirtaus kuljettaa ilmassa olevaa lämpöä ja kosteutta rakenteessa heikentäen rakenteen kosteus- ja lämpöteknistä toimintaa. Mielestäni olen omaksunut opiskellessani ja opinnäytetyötä tehdessäni näiden osioiden yhteenkuuluvuuden merkityksen. Uskon pystyväni tulevaisuudessa perustelemaan selkeästi pienrakentajille rakennuksen ilmatiiviiden merkityksen, niin rakenteellisesta kuin energiataloudellisesta näkökulmasta.

Kuvat

Kuva 1. Rakennuksen energiamerkinnät energiatehokkuuden mukaan, s. 10

Kuva 2. Rakenteessa ilmavirtausten kulkusuuntia, s. 12

Kuva 3. Puurakenteisen pientalon yleisemmät ilmanvuotokohtat, s. 19

Kuva 4. Höyrynsulun asennuksen vaihtoehdot rakenteessa, s. 20

Kuva 5. Ulkoseinässä oleva sähköputken läpivienti, s. 21

Kuva 6. Sähköputkien tuenta väliseinän kohdalla, s. 22

Kuva 7. Ovikarmin tiivistys elastisella massalla ja tiiveysteipillä, s.23

Kuva 8. Muuttuva diffuusiokalvon toimintaperiaate kesällä ja talvella, s. 25

Kuva 9. Tescon N:o1 tiivistysteipin liiman peeling-vetokoe, s. 26

Kuva 10. Yläpohjan sähköjohtojen läpiviennit ”perinteiseen tapaan”, s. 27

Kuva 11. Höyrynsulkuun liimattava sähköjohdon läpivienti tiiviste, s. 27

Kuva 12. Viemäröintiputken kuminen läpivientitiiviste varmistettuna tiiveysteipillä, s. 28

Kuva 13. Ilmanvaihtokoneen läpivientilevy, s. 28

Kuva 14. Savuhormin tiivistys Tescon N:o 1 teipillä ja pilarin tiivistys Rakonor sitko-teipillä yläpohjaan, s. 29

Kuva 15. Minneapolis BlowerDoor-mittauslaitteisto asennettuna oviaukkoon, s. 31

Kuva 16. Ilmanvuotokohta kantavan väliseinäpalkin kohdalla ulkoseinärakenteessa, s. 34

Kuva 17. Kantavan väliseinän liittyminen ulkoseinärakenteeseen ennen tiivistystä, s. 35

Kuva 18. Akkukäyttöinen savunmuodostaja ilmavirtojen etsintään, s. 37

Kuva 19. Tulisijan luukkujen tiivistys teippaamalla, s. 38

Kuva 20. Mittausvaiheen ensimmäinen mittauspiste on 68 Pascalia, s. 39

Kuva 21. Mittausfunktio valmiista mittauksesta, s. 40

Taulukot

Taulukko1. Ilmanvuotoluvun vaikutus lämmitysenergian säästöön, s.13

Kaavat

$$q_{50} = \frac{n_{50} \times V}{A_E} \quad (1), \text{ s.14}$$

$$q_{50 \text{ tasapainotettu}} = \frac{q_{50} \times A_{\text{asunto}} + q_{50} \times A_{\text{at/varasto}}}{A_{\text{asunto}} + A_{\text{at/varasto}}} \quad (2), \text{ s.15}$$

$$Q = q_{50 \text{ tavoiteltu}} \times A_E \quad (3), \text{ s.31}$$

$$Q = n_{50 \text{ tavoiteltu}} \times V \quad (4), \text{ s.31}$$

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V} \quad (5), \text{ s.35}$$

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 \quad (6), \text{ s.38}$$

Lähteet

1. Euroopan unionin virallinen lehti. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2010/31/EU, annettu 19 päivänä toukokuuta 2010, rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleen laadittu). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF> Luettu 25.6.2012
2. Kurnitski, J. 2012. Energiamääräykset 2012. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy
3. Kerabit. Ilmo-järjestelmä. <http://www.kerabit.fi/tuotteet/ilmo-rakennustiiviisti-ja-kosteustehokkaasti> Luettu 25.6.2012
4. Björkholz, D. 2010. Lämpö ja kosteus. Tampere: Tammerprint Oy
5. Vinha, J., Lindberg, R., Pentti, M., Mattila, J., Lahdensivu, J., Heljo, J., Suonketo, J., Leivo, V., Korpi, M., Aho, H., Lähdesmäki, K. & Aaltonen, A. 2008. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusselostus numero TRT/1706/2008

6. Aho, H. & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikanlaitos. Tutkimusraportti 141
7. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön asetusrakennusten energiatehokkuudesta. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf Luettu 1.6.2012
8. RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.
9. Tiivistalo. www.tiivistalo.fi Luettu 24.7.2012
10. Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere: Tammerprint Oy
11. Paloniitty, S. & Kauppinen, T. 2011. Rakennusten lämpökuvaus. Porvoo: Bookwell Oy
12. Ympäristö ja Terveys-lehti. 2009. Asumisterveysopas. Vaasa: Ykkös-Offset Oy
13. Savukone. 2011. Wikipedia. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Savukone> Luettu 25.6.2012
14. Savunkehitin. 2012. <http://www.smokemachines.net/buy-air-flow-checker.shtml> Luettu 25.6.2012

**IMATRAN KAUPUNKI**
Rakennusvalvonta**ILMANVUOTOLUVUN VALINTA**

Rakennusluvan hakija	Kiinteistötunnus
Rakennushanke	Lupatunnus

Pääsuunnittelija määrittää suunnitelmien perusteella ilmanvuotolukutavoitteen ja sitoutuu rakennushankkeeseen ryhtyvän kanssa tavoittelemaan seuraavan menettelyn toteutumista.

Vastaava työnjohtaja vastaa tarkastuslistan kysymyksiin ja varmentaa toteutumisen allekirjoituksellaan.

A	Ilmanvuotolukua 4 (m³/(h m²)) käytetään määräysten mukaan, jos tiiveydestä ei ole selvitystä tai mitään varmennustoimenpiteitä ei tehdä.		
B	Ilmanvuotolukua 3 (m³/(h m²)) voi käyttää, jos toteutetaan kohdat 1 - 6	Kyllä	Ei
	1. Onko kivi- / betonirakenteissa halkeamien muodostuminen estetty liikuntasauvoissa ja onko liikuntasauvat tiivistetty joustavalla tiivistysmateriaalilla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2. Onko läpivienneissä ilmatiiviit laipat ilmansulun kohdalla?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3. Onko sauma- / tiivistysmassa tai vastaava tiivistys kaikissa ulkovaipan runkorakenteisiin rajoittuvissa läpivienneissä ja aukoissa (ikkunat, ovet) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4. Onko sokkelin, seinän ja alapohjan liitoskohta tiivistetty muodonmuutoksia kestävin ainein ja ratkaisuin ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5. Onko käytetty ilmansulku ja teippi asetettujen vaatimusten mukaisia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6. Onko höyryn- ja ilmansulkujen jatkoskohdat kiinteän, jäykän rakenteen kohdalla aina kun se on mahdollista ja onko teippaus tehty huolellisesti?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C	Ilmanvuotolukua 2 (m³/(h m²)) voi käyttää, jos toteutetaan kohdat 1 - 11		
	7. Onko ilmansulku lävistetty ruuveilla tai nautoilla vain kun ilmansulun molemmilla puolilla on kiinteät pinnat (esim. runkotolppa ja levy) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	8. Onko ilmansulun kuormitus estetty esim. eristyksen tai muun painosta ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	9. Onko rakennuksen käyttöohjeissa opastettu ulkoseiniin kiinnitettävien ripustuskoukkujen tyyppi, kiinnitystapa ja sijainti; tavoitteena suojata ilmansulku rikkoontumiselta ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	10. Onko ilmansulun asennus tehty suunnitelmien ja kirjallisten ohjeiden mukaisesti ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	11. Onko ilmavuodon suhteen kriittiset kohdat 1 - 10 valokuvattu ja tallennettu ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D	Ilmanvuotolukua 1,5 (m³/(h m²)) voi käyttää, jos talotoimittaja on määrittänyt ko. talotyyppin ilman pitävyyden RT 80-10974 ilmoitusmenettelyn mukaisesti ja toteutetaan kohdat 1 - 11 (Tutkimus- ja viimeisin seurantaraportti esitettävä)		
E	Ilmanvuotolukua 1,4 (m³/(h m²)) tai sitä parempaa ilmoitusmenettelyn mukaista arvoa voi käyttää esiasetuksena rakennusluvan energiaselvityksessä, jos tavoitteena on matalaenergiataso ja käytetty arvo varmennetaan jälkimittauksella sekä energiaselvitys päivitetään ko. mittauksen perusteella.		

Ilmanvuotoluku mitattu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Edellä asetetut ehdot toteutettu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ilmanvuotoluvun tavoite

m³/(hm²)
Pvm _____ / _____ / _____

Saavutettu ilmanvuotoluku

m³/(hm²)
Pvm _____ / _____ / _____

Rakennuttaja tai pääsuunnittelija

Vastaava työnjohtaja

Pientalon ilmatiiviyden varmistaminen



Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Rakennusvaipan ilmanpitävyys.....	4
3	Puurakenteisen pientalon ilmanvuotokohdat.....	6
4	Ilmanvuotoluku q_{50} valintalomake (kohta 6.)	7
A.	Ilmanvuotoluku $q_{50} = 4 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$	7
B.	Ilmanvuotoluku $q_{50} = 3 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$	7
1.	Kivi- tai betonirakenteen halkeaminen on estetty liikuntasaumoin ja saumat on tiivistetty elastisella saumausaineella	7
2.	Höyryn- ja/tai ilmansulun läpivientien tiivistys	8
3.	Ikkuna- ja oviliittymien liitos	12
4.	Rakennuksen alapohjan ja sokkelin liitos	14
5.	Höyryn- tai ilmansulun ja teipin vaatimuksenmukaisuus	16
6.	Höyryn- tai ilmansulun on tiiviys varmistettu kiinteiden pintojen väliin aina kun mahdollista.....	17
C.	Ilmanvuotoluku $q_{50} = 2 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$	20
7.	Höyryn- tai ilmansulun lävistäminen	20
8.	Höyryn- tai ilmansulun kuormituksen kestävyys	20
9.	Ulkopuolisten kiinnikkeiden ohjeistus	20
10.	Ohjeistusta noudattaen tehty ilmansulun asennus.....	21
11.	Kriittisten kohtien dokumentointi valokuvaamalla.....	21
D.	Ilmanvuotoluku $q_{50} = 1,5 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$	21
	Talotoimittaja on määrittänyt talotyyppin ilmoitusmenettelyllä	21
E.	Ilmanvuotoluku $q_{50} \leq 1,4 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$	22
	Ilmanvuotomittaus	22
5	Ilmantiivistystuotteiden maahantuoja	23
6	Ilmanvuotoluvun valintalomake	24

1 Johdanto

Tämän oppaan tarkoituksena on selkeyttää pienrakentajalle rakennusvaipan ilmatiivyyden merkitys energiankulutukseen sekä ohjeistaa rakentamaan ilmatiiviitä rakenteita.

Rakennuslupaa hakiessa pienrakentaja sitoutuu tavoittelemaan suunniteltua ilmanvuotolukua rakennukseensa. Imatran kaupungin rakennusvalvonta on tähän tarkoitukseen tuonut pienrakentajien käyttöön rakennuksen ilmanvuotoluvun valintaan liittyvän lomakkeen.

Rakennustyössä valintalomakkeen ohjeistusta noudattamalla ja lomaketta seuraamalla voi pientalon rakentaja varmistua rakennuksensa ilmatiivyydestä. Rakennustyömaan vastaavan mestarin varmennuksella voidaan lomakkeessa ilmoitettua ilmanvuotolukua käyttää rakennuksen energiatodistuksessa.

Ilmatiiviin pientalon toteuttaminen vaatii huolellisuutta sekä oikeaa asennetta tiivistystyöhön. Rakennuksen ilmatiivyyden varmistamiseen käytetty aika ja kustannus palautuvat varsin nopeasti takaisin pienempänä lämmitysenergiankulutuksena.

2 Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Mahdollisimman pieni ilmanvuoto rakennusvaipassa luo edellytykset terveelliselle ja energiaa säästävälle rakenteelle.

1. Rakennuksen kokonaisenergiakulutus pienenee.
2. Kosteuden siirtyminen vaipassa pienenee.
3. Epäpuhtaudet kuten esimerkiksi homeitiöt tai radon eivät pääse kulkemaan huonetiloihin.
4. Rakenteiden sisäpinnat pysyvät lämpiminä, joten niistä ei synny vedontunnetta rakennuksessa.
5. Ilmanvaihdon säätäminen ja tavoitetasossa pysyminen helpottuu.

Rakenteen läpivirtaava vuotoilma viilentää sisäverhouksien lämpötiloja aiheuttaen epämiellyttävää vedontunnetta sisätiloissa. Vedontunnetta pyritään yleisesti vähentämään lisäämällä huonelämpötilaa. Nostamalla huonelämpötilaa 1 °C asteen, aiheuttaa lämpötilan nosto noin 5 % korotuksen lämmityskuluihin.

2.1 Ilmanvuotoluku

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku (q_{50}) tarkoittaa rakennusvaipassa 1m² kokoisien alueen läpivirtaavaa yhden kuution ilmavirtaa tunnissa paine-eron ollessa sisä- ja ulkoilman välillä 50 Pascalia.

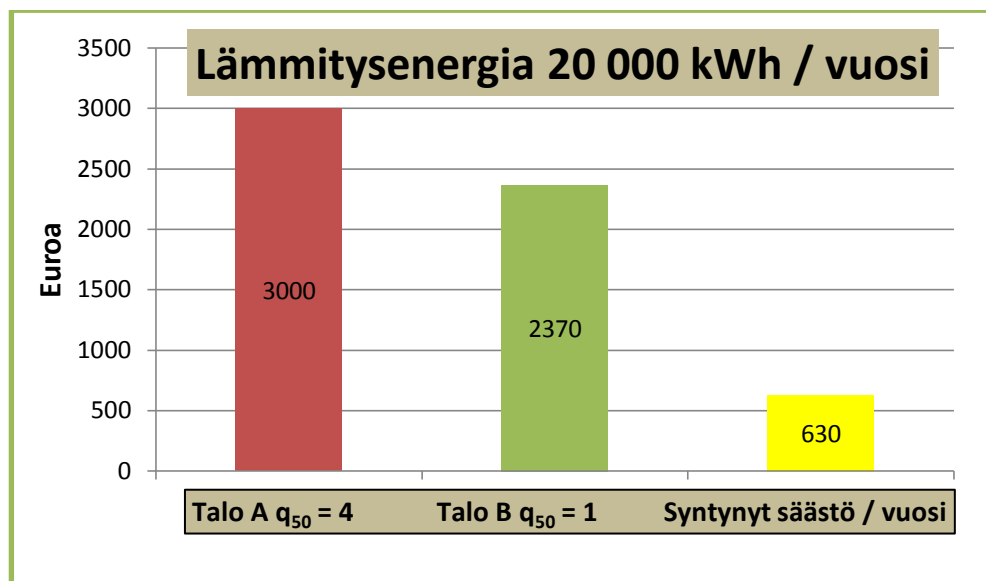
Tutkimusten mukaan ilmanvuotoyksikön muutos suuntaansa vaikuttaa noin 7 % lämpöenergiankulutukseen

Kaaviossa 1 on esitetty lämmitysenergian kulutuksessa syntynyt säästö vuosi-
tasolla, kun oletettu lämmitysenergian kulutus on 20 000kWh/vuosi ja 1kWh
lämmitysenergiaa maksaa 0,15 €

Vertailu kohdistuu kahden rakennuksen ilmanvuotolukuun:

- talo A $q_{50} = 4$ (m^3 (m^2/h)), varmentamaton luku enimmäistason mukaan
- talo B $q_{50} = 1$ (m^3 (m^2/h)), ilmanvuotomittauksella varmennettu luku

Kaavio 1. Lämmitysenergian kulutuksen säästö

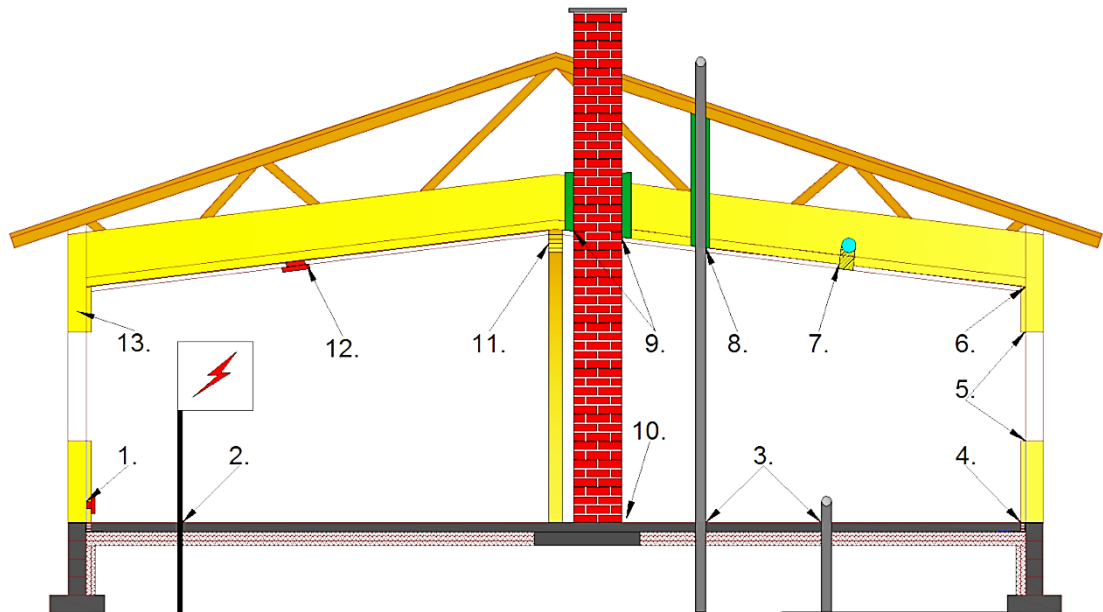


Lopputulos:

Säästöä lämmitysenergian kulutuksessa ko. luvuilla syntyy noin 630 € /vuosi. Olettaessa huomioon Suomessa käytettävän lämmityskauden, joka loppuu ke-
vällä ja alkaa syksyllä, on talviaikana käytetty kuukausittainen lämmityksen
energiansäästö huomattava.

3 Puurakenteisen pientalon ilmanvuotokohdat

Em. kohdat löytyvät myös kivirakenteisesta sekä hirsirakenteisesta pientalosta.



1. Seinien sähkörasioinnit ja johdotukset
2. Sähköpääkeskuksen johtojen läpiviennit alapohjassa
3. Viemäreiden läpiviennit alapohjassa
4. Rakennuksen alapohjaliittymät
5. Ikkunoiden ja ovien liittymäkohdat
6. Rakennuksen yläpohjaliittymät
7. IV-asennusten läpiviennit
8. Viemärin tuuletusputken läpivienti yläpohjassa
9. Savuhormin yläpohjan läpivientiliittymä
10. Savuhormin alapohjan läpivientiliittymä
11. Kantavien väliseinien liittymät yläpohjaan ja ulkoseinään
12. Sisäkaton sähkörasioinnit ja johdotukset
13. Elementtien saumakohdat

Kuva 1. Ilmanvuotokohdat puutalossa

4 Ilmanvuotoluku q_{50} valintalomake (kohta 6.)

Tavoiteltaessa enimmäistasoa alempaa rakennuksen ilmanvuotolukua, voidaan tiivistystyössä käyttää Imatran kaupungin rakennusvalvonnan julkaisemaa ilmanvuotoluvun valintalomaketta pienrakentajille. Lomake toimii seurantalomakkeena tiivistystyölle, jota valvoo työmaan vastaava mestari.

Rakennustyömaan vastaavan mestarin tarkastaessa tiivistystyön ja hänen hyväksytyä allekirjoituksellaan valintalomakkeen kohdat voidaan rakennukselle hyväksyä enimmäistasoa pienempi ilmanvuotoluku.

A. Ilmanvuotoluku $q_{50} = 4 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$

Enimmäistaso kaikille rakennuksille

Ilmanvuotoluku $q_{50} = 4 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$ on enimmäistaso kaikille uudisrakennuksille. Lukua käytetään rakennuksen ilmanvuotolukuna, mikäli rakennuksessa ei ole tehty mitään ilmatiiviuteen liittyviä varmennustoimenpiteitä.

B. Ilmanvuotoluku $q_{50} = 3 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$

Voidaan käyttää, jos rakennuksessa on tehty seuraavat toimenpiteet:

1. Kivi- tai betonirakenteen halkeaminen on estetty liikuntasaumoin ja saumat on tiivistetty elastisella saumausaineella

Tämä kohta koskee pääsääntöisesti kiviaineisia vaipparakenteita. Vaipparakenteiden liitosten ilmatiiviys varmennetaan juotosvaluilla tai elastisella saumausmassalla. Kivirakenteisen ulkoseinän ja maanvaraisen betonilaatan ilmatiivisliitos voidaan varmistaa esimerkiksi kuvan 2 mukaan.



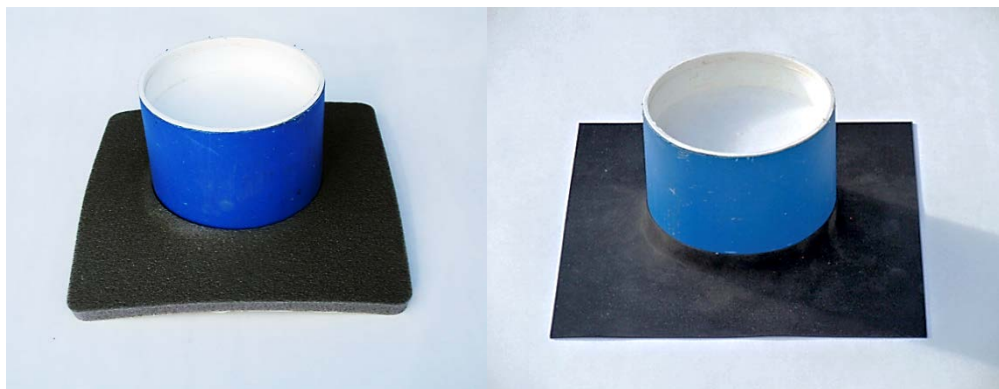
Kuva 2. Harkkorakenteisen ulkoseinän ja maanvaraisen betonilaatan liitos

2. Höyryn- ja/tai ilmansulun läpivientien tiivistys

Rakennusvaipan höyryn- tai ilmansulun läpivientejä ovat:

1. Ilmanvaihtokanavien läpiviennit

Ilmanvaihtokanavien läpivienneissä on hyvän ja pitkäaikaisen ilmatiivyyden varmistamiseksi syytä käyttää markkinoilla olevia ko. tiivistykseen kehitettyjä läpivientikauluksia. Kuvassa 3a on solumuovinen höyrynsulkuun suoraan liimattava läpivientikaulus ja kuvassa 3b on umpisolukuminen höyrynsulkuun teipattava läpivientikaulus

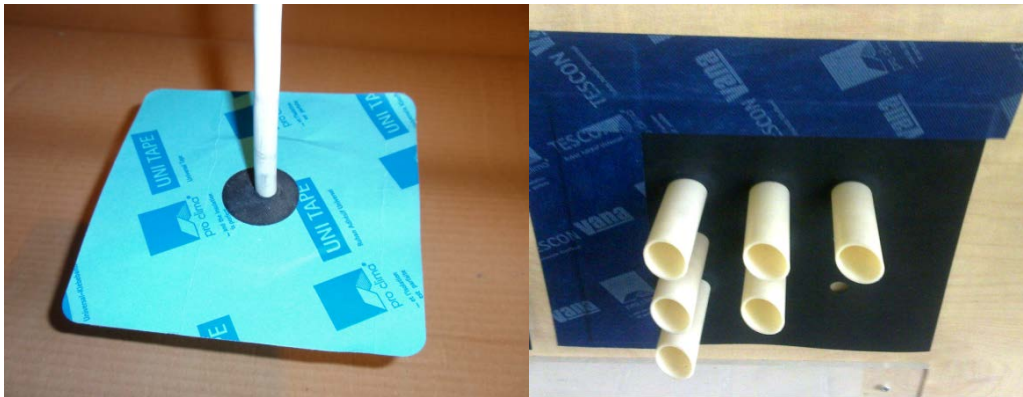


Kuva 3a. Liimattava läpivientikaulus

Kuva 3b. Teipattava läpivientikaulus

2. Sähköistyksen läpiviennit

Höyrynsulusta läpiviedyn sähköjohdon tiivistämiseen on kehitetty uusia ratkaisuja rakentajien käyttöön. Kuvassa 4a esitetään yhden sähköjohdon höyrynsulkuun liimattava läpivientitiiviste. Tiivisteitä on saatavana myös useamman sähköjohdon läpivientiin, tällöin tiivisteeseen tehdään tarpeellinen määrä reikiä sekä tiiviste teipataan höyrynsulkuun tiiveysteipillä (kuva4b). Käyttämällä kuvan 4b mukaisesti suojaputkia läpiviennissä, on sähköjohdon ja suojaputken välinen tila tiivistettävä elastisella massalla.



Kuva 4a. Liimattava läpivienti

Kuva 4b. Teipattava läpivienti

3. Savuhormin läpiviennit

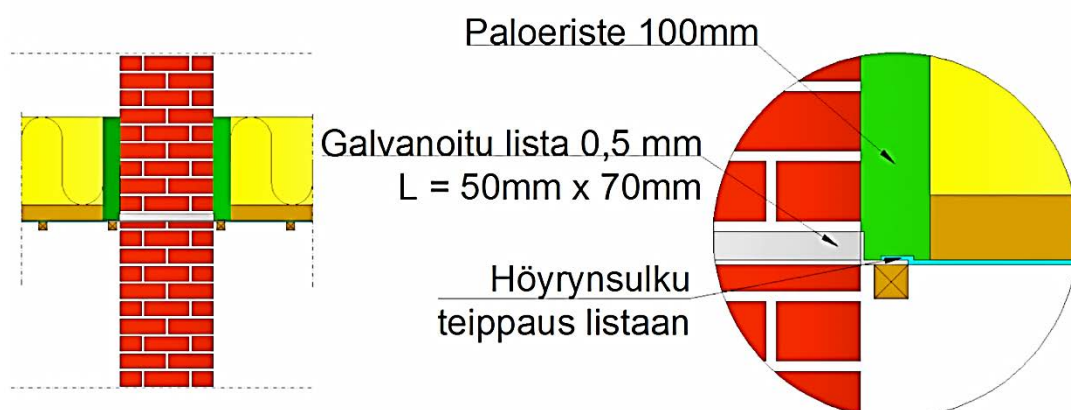
Savuhormin läpiviennissä on kiinnitettävä huomio läpiviennin lämmönkestävyyteen. Läpiviennin on oltava paloteknisesti hyväksytty ja täytettävä sille annetut kriteerit. Tasaisilla ja vinoilla sisäkatoilla voidaan käyttää tiivistysteippejä, joiden lämmönkestävyys on hyväksytty (kuva 5). Teippaus voidaan ylipinnoittaa tasoittamalla tai rappaamalla hormi. Kuvassa 5. puuttuvat vielä hormin ympärille asentamatta olevat sisäkaton koolauspuut.

Valmishormien yhteydessä suositellaan käytettäväksi horminvalmistajan läpivientikappaletta.



Kuva 5. Savuhormin tiivistys kangaspohjaisella tiivistysteipillä

Tasaisilla sekä vinoilla sisäkatoilla hormien tiivistyksessä teippauksen vaihtoehtona voidaan käyttää esimerkiksi 0,5mm galvanoidusta teräslevystä tehtyä tiivistyslistaa (kuva 6). Galvanoitu teräslista niitataan ”vanteeksi” hormin ympärille ja tiivistetään lämmönkestävällä elastisella massalla. Ilmatiiveys varmistetaan teippaamalla höyrynsulku metallilistaan. Listaa kannattavat alapuolelta sisäkaton koolauspuut.

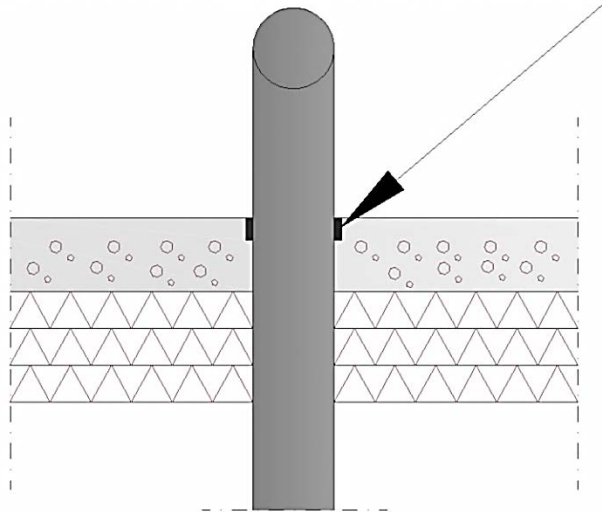


Kuva 6. Tiilimuuratun savuhormin tiivistys metallilistan avulla

4. Viemäriputken- ja viemärituuletusputken läpivienti

Viemäriputkien läpiviennissä maanvaraisen betonilaatan läpi, varmistetaan ilmatiiveys betonin kuivumiskutistumista vastaan kuvan 7 mukaan. Betonoinnin ajaksi viemärin ympärille asennetaan umpisolumuovikaista n. 20 - 30mm. valutason alapuolelle. Umpisolumuovinen kaista poistetaan valun jälkeen ja väli tiivistetään elastisella massalla.

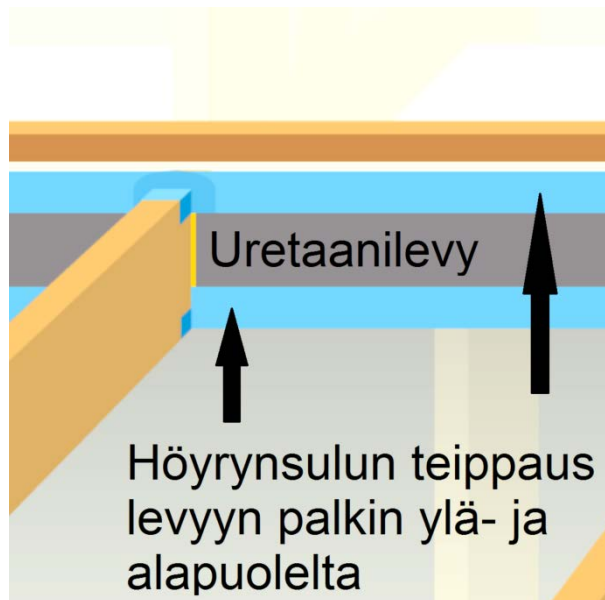
Elastinen saumamassa



Kuva 7. Viemäriputken läpiviennin tiivistäminen saumamassalla

5. Kannatuspalkkien läpiviennit

Kaksikerroksisissa taloissa höyrynsulku täytyy säilyä ehjänä myös kannatuspalkkistojen välissä. Kannatuspalkkien kohdalla voidaan ilmatiiveys varmistaa levymäisellä höyrynsululla (kuva 8). Alumiinilla pinnoitettu polyuretaanilevy asennetaan palkkistojen väliin tiiviisti, joka varmistetaan teippauksella.



Kuva 8. Kannatuspalkistojen välin ilmatiiveyden varmistaminen

3. Ikkuna- ja oviliittymien liitos

Rakennusvaippaan liittyvät ovet ja ikkunat ovat ilmatiivyyden kannalta varsin merkittäviä ilmanvuodon aiheuttajia. Ovi- ja ikkunakarmien tiivistys voidaan varmistaa kahdella eri tavalla: kittaamalla karmivälitys elastisella kitillä tai teippaamalla se tarkoitukseen suunnitellulla tiivistysteipillä. Kuvassa 9 on kuvattu ovenkarmin tiivistäminen elastisella massalla. Oven ollessa höyrynsulun ulkopuolella on höyrynsulun ja karmen tiiveys varmistettu teippaamalla.



Kuva 9. Ovikarmin tiivistys elastisella massalla ja tiivistysteipillä

Ovi- tai ikkunakarmin välisen tilan ollessa eristetty eristevillalla, voidaan elastisen massan menekkiä pienentää asentamalla väliin ensin solumuovinauha.

Mikäli ovi- tai ikkunakarmi väli on vaahdotettu täyteen polyuretaanilla, on kittivaran poistaminen karmivälistä helpointa toteuttaa putkiasentajien käyttämällä styrox-leikkurilla. Kuvassa 10 on esitetty styrox-leikkuri ja vaihtoehtoisia teriä.



Kuva 10. Styrox-leikkuri ja valinnaisia terävaihtoehtoja

Ovi- ja ikkunakarmin tiivistämisessä voidaan käyttää myös tähän tarkoitukseen kehitettyjä erikoisteippejä. Kuvassa 11 esitetään tarkoitukseen sopiva tiivistysteippi. Teippi on diffuusioavoin ja kaksipuolisella liimauspinnalla oleva.

Teippi liimataan toiselta puolelta ikkuna- tai ovikarmiin ja toiselta puolelta kehyspuuhun. Teippaus suoritetaan karmirakenteeseen ennen karminasennusta. Mikäli karmi on jo asennettu ja teippaus karmiväliin tuottaa ongelmia, suositellaan tiivistykseen käytettäväksi tavanomaista tiivistysteippiä. Teippi liimataan tarkasti n. 10mm karmin päälle, joten se jää tulevan ikkunanpielilistan alle.

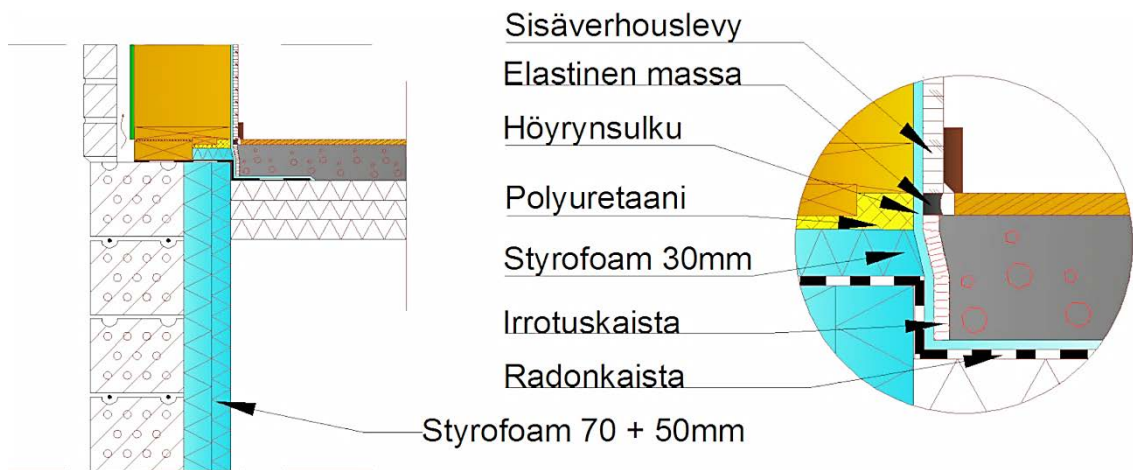


Kuva 11. Diffuusioavoin ovi- ja ikkunakarmin tiivistysteippi

Teippien liimat ovat erittäin tartuntakykyisiä, joten niiden asennus vaatii huolellisuutta.

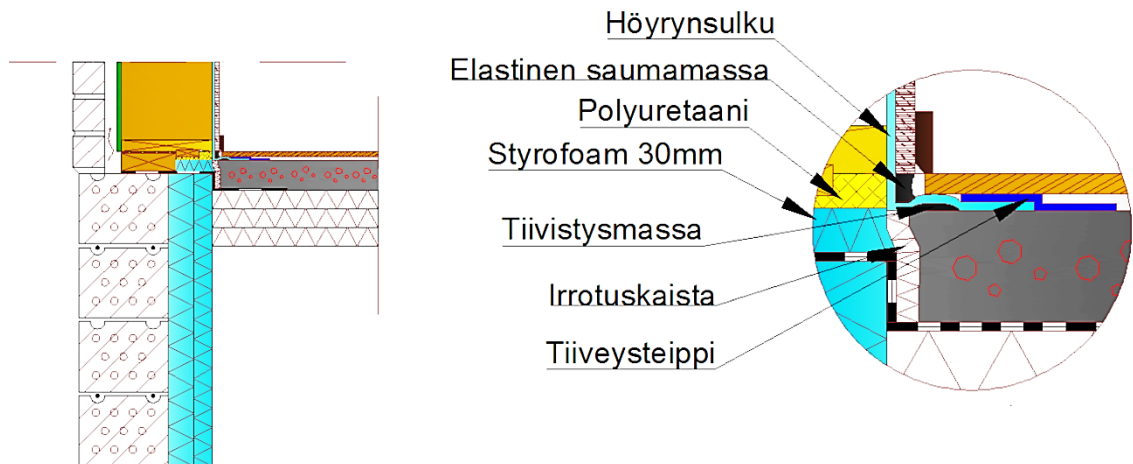
4. Rakennuksen alapohjan ja sokkelin liitos

Rakennuksen alapohjan ja sokkelin liitosdetaljeja on useita. Kaikkien liitostyyppien tarkoituksena on saada ilman- ja lämpöpitävä rakenne. Huolimattomasti toteutettu liitos mahdollistaa lämpövuodon aiheuttaen kosteusriskin rakenteeseen. Lisäksi alapohjan ja sokkelin vuotava liitos on yleisin reitti radonille ja muille epäpuhtauksille huonetiloihin. Kuvassa 12 esitetään Finndomon teollisesti valmistetun elementtirakenteen toteuttamiskelpoinen alapohjan liitos kun lattia valetaan elementtiasennuksen jälkeen.



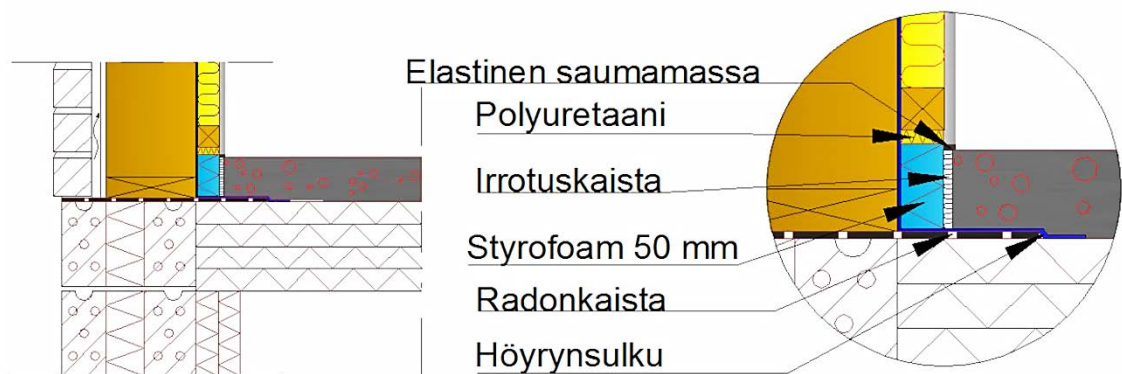
Kuva 12. Höyrinsulun asennus ennen betonilaatan valua

Betonilaatan ollessa valettuna ennen elementtien asennusta, voidaan ko. liitos helpoiten varmistaa kuvan 13 mukaan. Kuvassa höyrynsulku tuodaan betonilaatan päälle ja ilmatiiviys varmistetaan kittaamalla ja teippaamalla. Betonilaatasta poistetaan tiivistettävältä alueelta sementtiliima ja kohta primeroidaan.



Kuva 13. Höyrynsulun asennus betonilaattavalun jälkeen

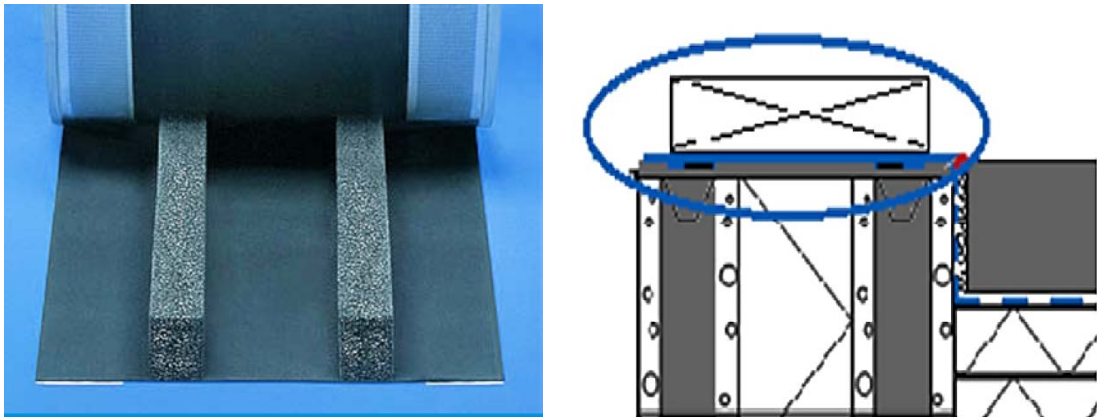
Rakennuksen ollessa runkorakennevaiheessa, voidaan liitos toteuttaa kuvan 14 mukaan. Höyrynsulun sisäpuolelle tulevia eristeitä ei saa asentaa ennen kuin betonilaatta on riittävästi kuivanut (tämä vie yleensä n. kuukauden). Betonilaatasta haihtuva kosteus imeytyy eristekerrokseen ja mikäli eristekerros vielä peitetään esimerkiksi verhouslevyllä, voi rakenteeseen muodostua hometta.



Kuva 14. Höyrynsulun asennus runkotyövaiheessa

Sokkelin ja rungonvälisen liitoksen kosteuden sekä ilmatiiveyden varmistamiseen on kiinnitettävä myös huomiota. Tämän liittymän erityispiirteenä on mahdollinen sokkelin epätasaisuus ja sen tuoma mahdollinen ilmanvuoto rakenteeseen.

Sokkelin ja runkoliittymän ilmatiiviyteen on kehitetty uusia tiivistystuotteita. Kuvassa 15 esitetään Flexcotec:in maahantuoma sokkelintiivistyskaista. Kaistassa on paisuvat nauhat liimattuna EPDM- kumitiivisteeseen, näin varmistetaan ilmanpitävä ja kosteuden eristävä rungon alapuun ja perustuksen välinen liitos.



Kuva 15. Sokkelin päälle sijoitettava kuminen tiivistyskaista. Vasemman puoleisessa kuvassa on esitetty paisuvat nauhat, jotka tulevat sokkeliä vasten.

5. Höyryn- tai ilmansulun ja teipin vaatimuksenmukaisuus

Höyryn- tai ilmansulun tiiviiden varmistamiseen käytetyt teipit eivät ole tavallisia teippejä, joita yleensä käytetään pakettien pakkaamiseen tai maalauksen rajaamiseen.

Kirkasta muovikalvoa, jossa ei ole standardoinnista osoittavaa leimaa ei saa missään tapauksessa käyttää rakennuksessa höyrinsulkuna. Kalvo on valmistettu materiaalista, jolla ei ole hyväksyntää pitkäaikaiskestävyydestä.

Sertifiointin tai standardoinnin saaneet höyryn- tai ilmansulun tuotteet ovat aina testatut, joilla on varmistettu riittävä kuormituksen kestävyys. Näitä tuotteita käytettäessä varmistetaan rakenteessa höyryn- tai ilmansulun pitkäaikais- sekä kuormituksenkestävyys.

Tiivistysteipillä tiivistettävät pinnat on parhaan tuloksen kannalta oltava pölyttö-
mät sekä kuivat. Teippaus tulee suorittaa välittömästi, kun jatkos höyryn- tai
ilmansulkuun on tehty.

Kylmä vuodenaika (alle -5°C) vaikuttaa teippien liimausominaisuuksiin varsin
paljon. Kylmät tiivistettävät pinnat ovat haaste teippien liimausominaisuuksille.
Tuotteen jälleenmyyjältä kannattaa tarkistaa teipin soveltuvuus tiivistettäessä
kylmissä olosuhteissa.

6. Höyryn- tai ilmansulun tiiviys on varmistettu kiinteiden pintojen väliin aina kun mahdollista

1. Ulkoseinä / yläpohja

Kuvassa 16 on esitetty höyrynsulun tiivistys teippaamalla. Yläpohjan harvari-
moituksen väleissä päätyseinällä ilmatiiviys varmistetaan käyttämällä 48 x
48mm palikoita tiivistämään höyrynsulku kiinteiden pintojen väliin. Kuvasta 16
puuttuvat vielä koolauspuiden väliin asennettavat palikat. Yläpohjaan vietyjen
sähköjohtojen kohdalta voidaan korvata palikat vanerilla, jolloin saavutetaan
johdotukselle vaadittu tila ulkoseinän ja yläpohjanliittymässä.

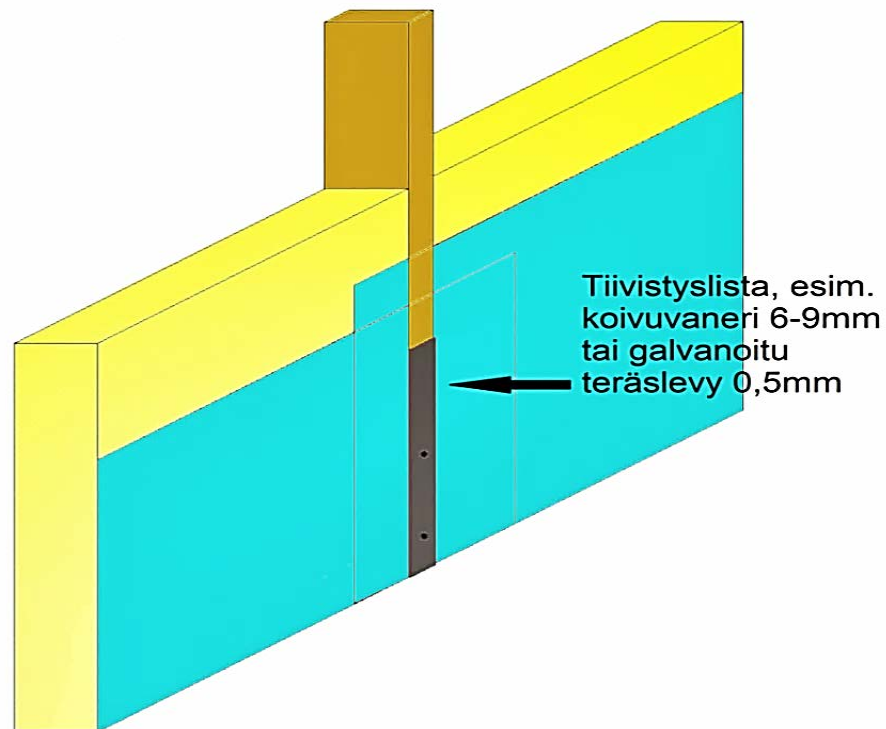


Kuva 16. Höyrynsulun tiivistys teippaamalla

Elementtiasennuksessa on huolehdittava elementin yläpuolelta tulevan höyryn-
sulkukaistan ehjyys ja tiivistettävyyys. Höyrynsulku voidaan tiivistää rakennuksen
sivuseinillä tiiviiden pintojen väliin käyttämällä ohutta vaneria (esim. koivuvaneri
6 – 9 mm). Vaneri asennetaan ensimmäisen koolauksen yhteydessä kattotuoli-
en väliin, nitomalla tai naulaamalla se yläpuolelta alakaton koolaukseen.

2. Ulkoseinä

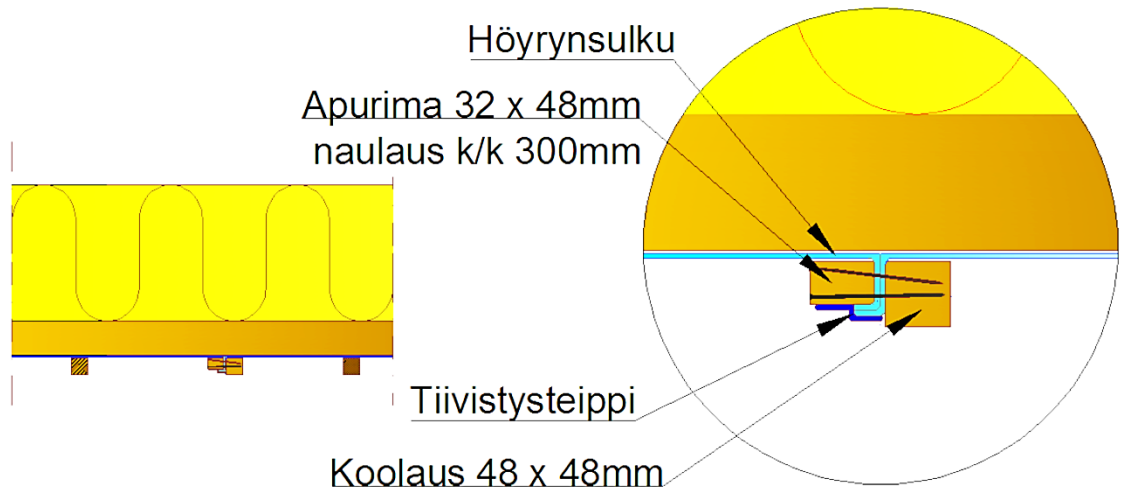
Kuvassa 17 on esitetty ulkoseinärakenteessa oleva höyrynsulun jatkoskohta. Tiivistyslistana voidaan käyttää esimerkiksi 0,5mm galvanoitua teräslevyä tai 6 – 9mm vaneria. Käytettäessä teräslevyä, voidaan levy asentaa koko runkotolpan matkalle. Vaneria käytettäessä on vaakaan asennettu ristikoolaus asennettava ensin ja vaneri asennetaan koolauksen väliin. Ohuen listan tarkoituksena on ”syödä” eristetilaa mahdollisimman vähän, joten siitä ei aiheudu kylmäsiltaa rakenteeseen. Kiinnitysväli tulee olla maksimissaan 300mm.



Kuva 17. Höyrynsulun jatkoskohdan tiivistyslista

3. Yläpohja

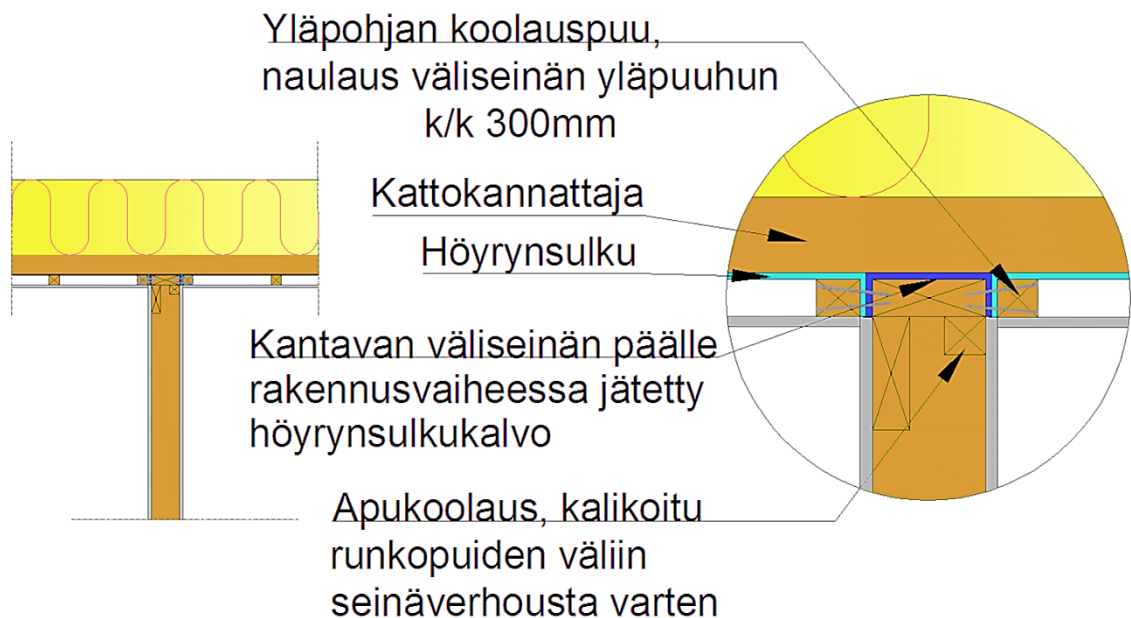
Yläpohjarakenteessa voidaan höyrynsulku tiivistää kiinteiden pintojen väliin teipillä varmistaen kuvan 18 mukaan. Kuva 18 esittää kattokannattajiin kiinnitettyä 48 x 48 mm koolauspuuta sekä höyrynsulun tiiveyden varmistamiseksi 300mm:n välein naulattua 32 x 48 mm apurimaa. Höyrynsulku on taitettu, niitattu ja teipattu apurimaan.



Kuva 18. Yläpohjan höyrynsulkukalvon tiiveyden varmistaminen kiinteiden pintojen väliin.

4. Yläpohja / kantava väliseinä

Rakennusvaiheessa kantavan väliseinän päälle on jätettävä höyrynsulkukaista. Höyrynsulkukaista voidaan liittää myöhemmin yläpohjan höyrynsulkuun. Höyrynsulkukalvojen liitos voidaan varmistaa kantavan väliseinän yläpuun ja yläpohjan koolauspuun väliin kuvan 19 mukaisesti.



Kuva 19. Kantavan väliseinän päälle rakennusvaiheessa jätetty höyrynsulkukalvon ja yläpohjan höyrynsulkukalvon liitoksen varmistus.

C. Ilmanvuotoluku $q_{50} = 2 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$

Voidaan käyttää, jos rakennuksessa on tehty seuraavat toimenpiteet:

7. Höyryn- tai ilmansulun lävistäminen

Kiinnitettäessä seinärakenteisiin raskaita ripustuksia kuten esimerkiksi hyllyjä tai kalusteita on syytä huomioida myös mahdollinen höyrynsulun rikkoontuminen. Ulkoseinärakenteisiin mahdollisesti tulevat ripustimien paikat (esim. verhokiskot) on hyvä suunnitella etukäteen ennen sisäverhouksen asentamista.

Sisäverhouksen taakse lisätään rakennusvaiheessa esim. vaneria lisäämään kuormituksen kestävyyttä sekä tiivistämään höyrynsulkuun tullut reikä tiiviiden pintojen väliin.

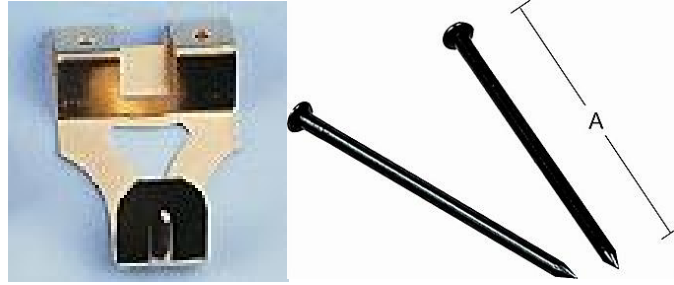
Kalusteasennuksissa on huomioitava myös kiinnitysruuvien pituus. Pitkät ruuvit (yleensä yli 80mm) ylettävät puhkaisemaan höyrynsulun, joka on asennettu 48 x 48mm. koolauksen taakse.

8. Höyryn- tai ilmansulun kuormituksen kestävyys

Höyrynsulun kuormituksen kestävyydellä tarkoitetaan yleensä yläpohjan höyrynsulun kannatuskykyä. Yläpohjan höyrynsulkuun tuleva kuormitus aiheutuu pääsääntöisesti eristeen omasta painosta. Yläpohjan puhalluseristeen kuormitusta höyrynsulkuun voidaan keventää 100mm levyeristeellä, joka asennetaan kattotuolien alapaarteiden väliin. Sopimaton höyrynsulkukalvo (esim. kirkas rakennusmuovikalvo) ja koolauksessa käytetty liian harva kannatusväli aiheuttaa höyrynsulkuun rasiutusta, josta seurauksena saattaa olla repeäminen höyrynsulussa tai sen kiinnityksestä.

9. Ulkopuolisten kiinnikkeiden ohjeistus

Pieniin (n. 2 – 10 kg) ripustuksiin levyseinärakenteessa on suositeltavaa käyttää x – koukkuja. Kuvassa 20 on esitetty kahden naulan x – koukku. Kuormittavuuden mukaan tarjolla yhden-, kahden- ja kolmennaulan x – koukkuja. Seinärakenteen mukaan mitoitetaan naulojen pituudet (A), niin etteivät ne puhkaise mahdollisesti levypinnan takana olevaa höyrynsulkua.



Kuva 20. X – koukku kahden naulan kiinnityksellä

10. Ohjeistusta noudattaen tehty ilmansulun asennus

Höyryn ja/tai ilmansulun asennusta koskevat ohjeet ovat jokaisen ilmatiiviystuotteiden maahantuojaan oppaissa.

Talotehtaat antavat omille talotyypeille tiivisyohjeita ja suunnitelmia. Ohjeita noudattamalla saavutetaan tavoiteltu ilmatiiviyys.

11. Kriittisten kohtien dokumentointi valokuvaamalla

Valokuvaamalla voidaan luotettavasti osoittaa ilmatiivistyön laatu. Rakennusvaipan kriittiset kohdat ovat esitelty kuvassa 1, joka kuvaa yleisimpiä ilmanvuoto kohtia puutalossa. Nyrkkisääntönä voidaan dokumentoinnista todeta, että vähintään kaksi kuvaa yhdestä varmennettavasta kohdasta riittää antamaan selkeän kuvan kohteesta.

D. Ilmanvuotoluku $q_{50} = 1,5 \text{ (m}^3 \text{ (m}^2\text{/h))}$

Voidaan käyttää, jos rakennuksessa on tehty seuraavat toimenpiteet:

Talotoimittaja on määrittänyt talotyypin ilmoitusmenettelyllä

Nykyään kaikki yleisimmät talotoimittajat ovat määritelleet omille valitsimilleen talotyypeille ilmoitusmenettelyllä ilmanvuotoluvun. Ilmoitusmenettelyssä Talotoimittaja takaa ilmoittamansa ilmanvuotoluvun oikeellisuuden valitulle talotyypille. Ilmoitusmenettely perustuu talotoimittajien talotyyppikohtaiseen seuranta ja mittausmenettelyiden laadunvarmistukseen. Ilmoitusmenettelyssä esitetään suunnittelun, rakennusosatutuotannon, työmaatoimintojen ja ulkopuolisen valvonnan laadunvarmistus. Ilmoitusmenettelyllä ilmoitettu ilmanvuotoluku perustuu

valmiiden kohteiden mittaustulosten perusteella laskettuun ilmanvuotolukujen keskihajontaan.

Työmaan vastaavan mestarin on ilmoitusmenettelystä huolimatta tarkistettava tiivistystyö sekä täytettävä ja allekirjoitettava ilmanvuodon valintalomake.

E. Ilmanvuotoluku $q_{50} \leq 1,4$ (m^3 (m^2/h))

Voidaan käyttää, jos rakennuksessa on tehty seuraavat toimenpiteet:

Ilmanvuotomittaus

Uudisrakentamisessa on helppo päästä ilmanvuotolukuun yksi tai jopa sen alle, mikäli kaikki em. toimenpiteet on suoritettu huolellisesti ja hyvää rakennustapaa noudattaen. Ilmatiiviyys rakennuksessa varmistetaan luotettavasti ilmanvuotomittauksella, joka osoittaa rakenteen ilmanpitävyyden.

Kuvassa 21 esitetään ilmanvuotomittauslaitteiston kokoonpano. Laitteisto koostuu oviaukkoon asennettavasta puhaltimesta, digitaalisesta painemittauslaitteesta sekä tietokoneeseen asennetusta ohjelmistosta. Puhallin luo rakennukseen tarvittavan paineron ohjelmiston laskentaa varten. Ohjelmisto laskee kuinka paljon rakenne vuotaa ilmaa 50 Pascalin paine-erossa.



Kuva 21. Ilmanvuotomittauslaitteisto

5 Rakenteiden ilmantiivistystuotteiden maahantuoja

Rakenteiden ilmantiivistystuotteiden valinnanvara kasvaa meillä kokoajan. Tällä hetkellä meillä on valittavana eri maahantuojien, standardeilla tai sertifioinneilla hyväksytyjä höyryn-/ilmansulkukalvoja, tiivistysteippejä ja läpivienteihin soveltuvia mansetteja. Seuraavassa on lueteltu muutamia tiivistystuotteiden maahantuoja sekä heidän edustamiaan tuotteita ja järjestelmiä.

Flexotec: Klöber-, Den Braven- ja iso chemie tuotteet <http://www.flexotec.fi>

Isover: Vario järjestelmä ja tuotteet <http://www.isover.fi>

Kerabit: Ilmo järjestelmä ja tuotteet
(kannen kuva) <http://www.kerabit.fi>

Tectis: Tremco illbruck tuotteet <http://www.tectis.fi>

Tiivistalo: Tiivistalo järjestelmä ja tuotteet <http://www.tiivistalo.fi>

6 Ilmanvuotoluvun valintalomake

Oheinen Imatran rakennusvalvonnan ilmanvuotoluvun valintalomake löytyy internetsivuilta hakusanoilla: Imatran rakennusvalvonta → rakentaminen → lomakkeet → ilmanvuotoluvun valinta



IMATRAN KAUPUNKI
Rakennusvalvonta

ILMANVUOTOLUVUN VALINTA

Rakennusluvun hakija	Kiinteistötunnus
Rakennushanke	Lupatunnus

Pääsuunnittelija määrittää suunnitelmien perusteella ilmanvuotolukutavoitteen ja sitoutuu rakennushankkeeseen ryhtyvän kanssa tavoittelemaan seuraavan menettelyn toteutumista.

Vastaava työnjohtaja vastaa tarkastuslistan kysymyksiin ja varmentaa toteutumisen allekirjoituksellaan.

A	Ilmanvuotolukua 4 ($m^3/(h m^2)$) käytetään määräysten mukaan, jos tiiveydestä ei ole selvitystä tai mitään varmennustoimenpiteitä ei tehdä.		
B	Ilmanvuotolukua 3 ($m^3/(h m^2)$) voi käyttää, jos toteutetaan kohdat 1 - 6	Kyllä	Ei
	1. Onko kivi- / betonirakenteissa halkeamien muodostuminen estetty liikuntasauvoissa ja onko liikuntasauvat tiivistetty joustavalla tiivistysmateriaalilla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2. Onko läpiviennissä ilmatiivit laipat ilmansulun kohdalla?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3. Onko sauma- / tiivistysmassa tai vastaava tiivistys kaikissa ulkovaipan runkorakenteisiin rajoittuvissa läpivienneissä ja aukoissa (ikkunat, ovet) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4. Onko sokkelin, seinän ja alapohjan liitoskohta tiivistetty muodonmuutoksia kestävin ainein ja ratkaisuin ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5. Onko käytetty ilmansulku ja teippi asetettujen vaatimusten mukaisia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6. Onko höyryn- ja ilmansulkujen jatkoskohdat kiinteän, jäykän rakenteen kohdalla aina kun se on mahdollista ja onko teippaus tehty huolellisesti?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C	Ilmanvuotolukua 2 ($m^3/(h m^2)$) voi käyttää, jos toteutetaan kohdat 1 - 11		
	7. Onko ilmansulku lävistetty ruuveilla tai nauloilla vain kun ilmansulun molemmilla puolilla on kiinteät pinnat (esim. runkotolppa ja levy) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	8. Onko ilmansulun kuormitus estetty esim. eristyksen tai muun painosta ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	9. Onko rakennuksen käyttöohjeissa opastettu ulkoseiniin kiinnitettävien ripustuskoukkujen tyyppi, kiinnitystapa ja sijainti; tavoitteena suojata ilmansulku rikkoontumiselta ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	10. Onko ilmansulun asennus tehty suunnitelmien ja kirjallisten ohjeiden mukaisesti ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	11. Onko ilmansulun suhteen kriittiset kohdat 1 - 10 valokuvattu ja tallennettu ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D	Ilmanvuotolukua 1,5 ($m^3/(h m^2)$) voi käyttää, jos talotoimittaja on määrittänyt ko. talotyypin ilman pitävyyden RT 80-10974 ilmoitusmenettelyn mukaisesti ja toteutetaan kohdat 1 - 11 (Tutkimus- ja viimeisin seurantaraportti esitettävä)		
E	Ilmanvuotolukua 1,4 ($m^3/(h m^2)$) tai sitä parempaa ilmoitusmenettelyn mukaista arvoa voi käyttää esiasetuksena rakennusluvun energiaselvityksessä, jos tavoitteena on matalaenergiataso ja käytetty arvo varmennetaan jälkimittauksella sekä energiaselvitys päivitetään ko. mittauksen perusteella.		

Ilmanvuotoluku mitattu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Edellä asetetut ehdot toteutettu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ilmanvuotoluvun tavoite

$m^3/(hm^2)$

Pvm ____ / ____ / ____

Saavutettu ilmanvuotoluku

$m^3/(hm^2)$

Pvm ____ / ____ / ____

Rakennuttaja tai pääsuunnittelija

Vastaava työnjohtaja

Pro Clima Acrylat Solid liiman tartuntakokeet

Tilaja: Redi-Talot Oy

Tilaaaja Redi-Talot Oy
Jarmo Puronlahti
Yrittäjätie 23
01800 KLAUKKALA

Tilaus Jarmo Puronlahti 2.6.2010

Yhteyshenkilö **VTT Expert Services Oy**
Erikoistutkija Tiina Tirkkonen
PL 1001, 02044 VTT
Puh. 020 7225287
Sähköposti tiina.tirkkonen@vtt.fi

Tehtävä **Pro Clima Acrylat Solid liiman tartuntakokeet**

Testeissä mitattiin Pro Clima Acrylat Solid liiman tartunta kolmeen eri alustamateriaaliin. Liiman tartunnan muutosta ajan funktiona testattiin vanhentamalla testikappaleita +70 °C lämpötilassa 4 – 12 viikkoa.

Testeissä Acrylat Solid liimaa sisältäviä tuotteita edusti Pro Clima Tescon No 1 –tiivistysteippi, joka tuoteselosteen mukaan sisältää Acrylat Solid liimaa 200 g/m². Tilaaajan antamien tietojen mukaan Acrylat Solid liiman valmistuttaja on MOLL bauökologische Produkte GmbH.

Näytteet

Tilaaaja toimitti VTT Expert Services Oy:lle seuraavat näytteet:

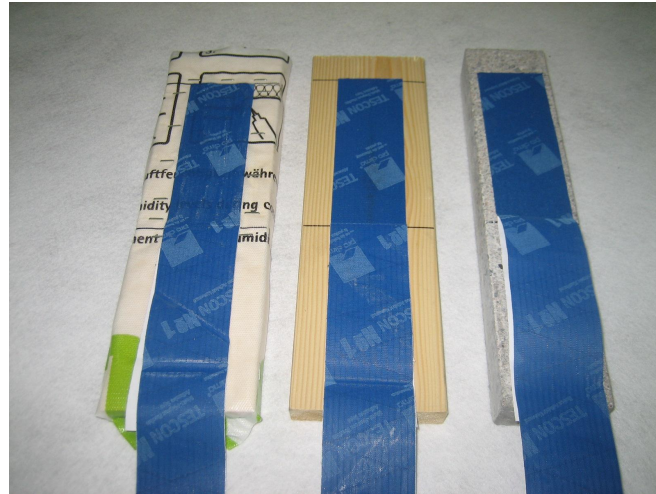
- Pro Clima Tescon No 1 tiivistysteippi, leveys 50 mm, 1 rulla
- Pro Clima INTELLO höyrinsulkukangas, 2 m², valmistettu 10.5.2010

Höyrinsulkukankaan lisäksi tartunta-alustoina käytettiin seuraavia, VTT Expert Services Oy:n toimittamia materiaaleja:

- hiekkapuhallettu betonilaatta
- höylätty mäntylauta SH 21x95 mm

Testikappaleiden valmistus

Testikappaleet valmistettiin kiinnittämällä testiteippi tartunta-alustaan vierittämällä teipin päällä 0,5 kg painoista sileäpintaista metallilieriötä. Lieriön vieritys tehtiin käsin. Kiinnitetyn teipin pituus 150 mm. Ennen teipin kiinnitystä INTELLO höyrinsulkukangas niitattiin mäntylautaan. Testivalmiit koekappaleet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Testikappaleet Acrylat Solid liiman tartuntalujuuskokeissa.

Testin suoritus

Liiman tartuntalujuus määritettiin mittaamalla voima, mikä tarvittiin irrottamaan testiteippi kiinnitysalustasta kun teippiä vedettiin 180° kulmassa vetonopeudella 50 mm/min. Testikappaleista, joista teippi irtosi ilman, että se itse alkoi venyä, irrotettiin teippiä noin 100 mm pituudelta. Veto suoritettiin puristus-vetokoneella vakio-olosuhteissa (lämpötila 22 – 23 °C, ilman suhteellinen kosteus 50 % RH). Kuvassa 2 on esitetty testikappale, joka on kiinnitetty vetokoneen leukoihin vetoa varten.

Vertailuvedot suoritettiin testikappaleille, joita oli ennen testausta säilytetty 3 vuorokautta vakio-olosuhteissa.

Liiman tartuntalujuuden muutoksen määrittämiseksi ajan funktiona vanhennettiin testikappaleita +70 °C lämpötilassa 4 – 12 viikkoa. Vanhennuksen aikana lämpökaapin ilmatilaa ei kostutettu. Lämpövanhennuksen jälkeen testikappaleiden lämpötilan annettiin tasaantua ja tartuntavedot suoritettiin vakio-olosuhteissa.

Testausajankohta 7.6. – 1.9.2010.



Kuva 2. Teipin peeling-veto, tartunta- alustana betonilaatta.

Mittaustulokset

Liiman tartuntalujuustulokset eri alustoilla on esitetty taulukossa 1. Ilmoitetut tulokset ovat vähintään kolmen rinnakkaismittauksen keskiarvoja, myös minimi ja maksimi arvot ovat keskiarvoja, eivät yksittäisiä mittaustuloksia.

Taulukko 1. Pro Clima Acrylat Solid liiman tartuntalujuus eri alustoilla, testituote Tescon No 1 tiivistysteippi.

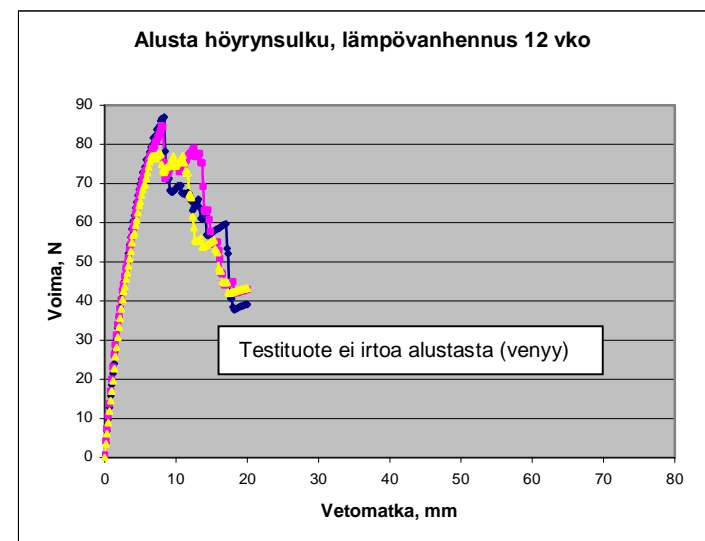
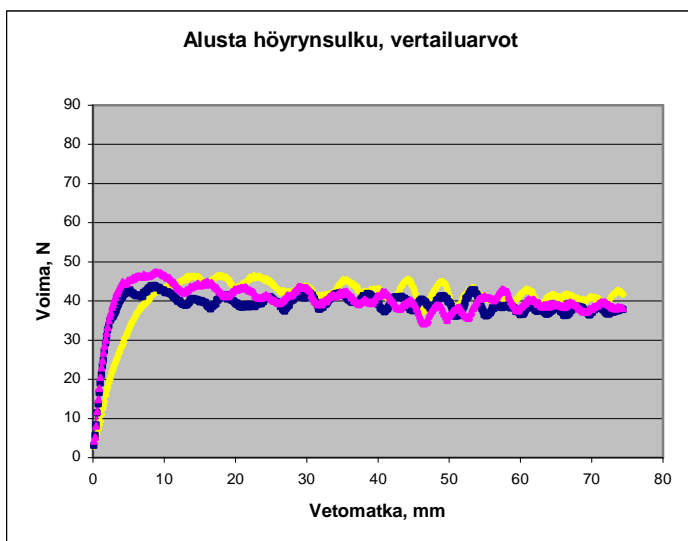
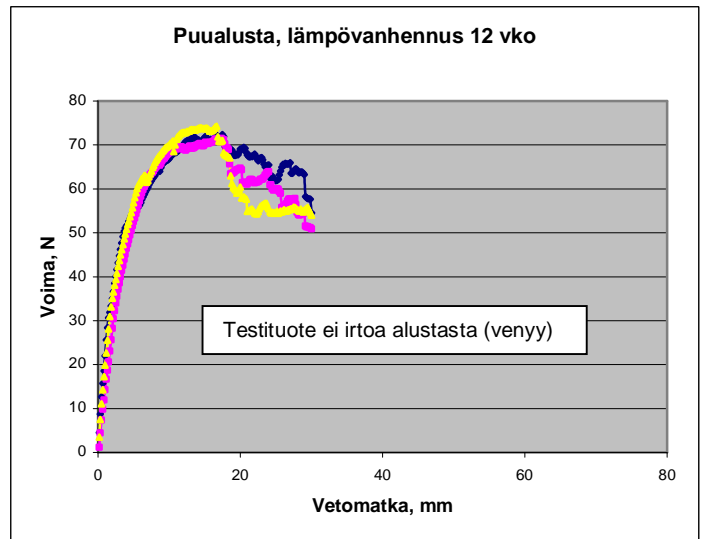
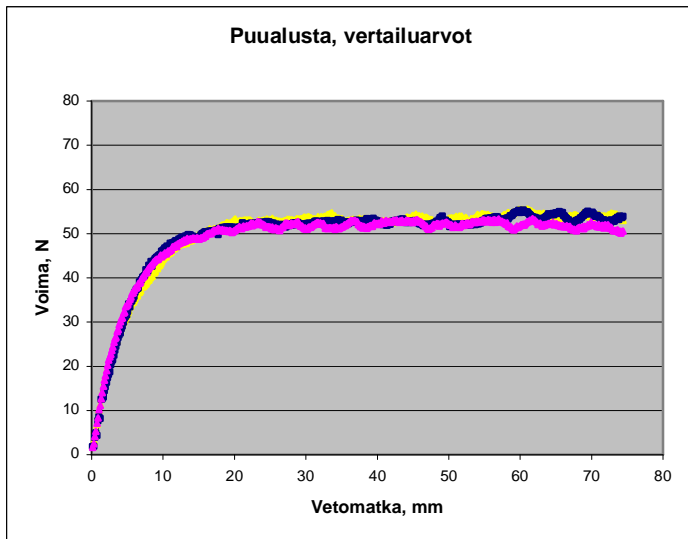
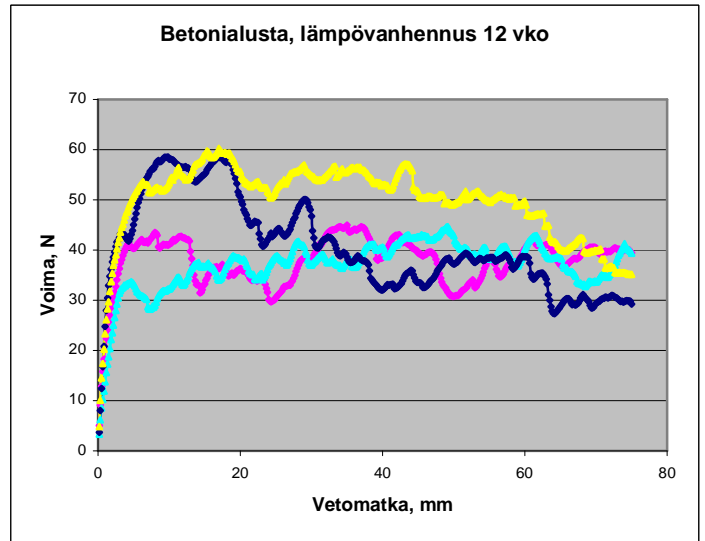
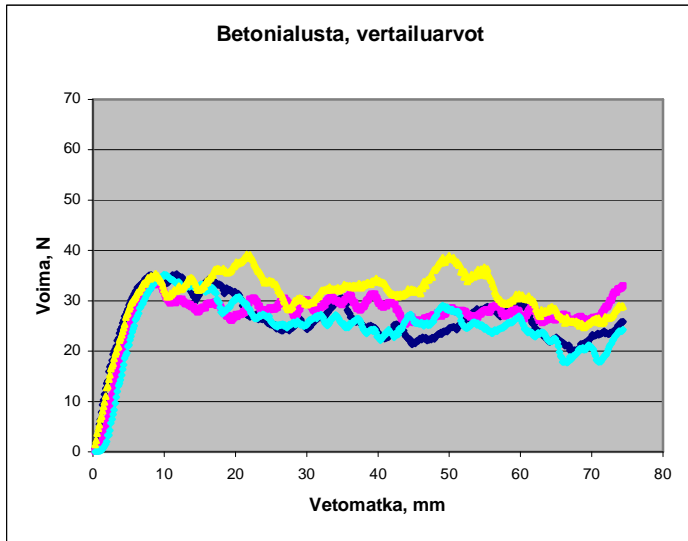
Tartunta-alusta	Vertailuarvo, säilytetty 3 vrk vakio- olosuhteissa	Tartuntalujuus, N/50 mm		
		Lämpövanhennus		
		4 viikkoa	8 viikkoa	12 viikkoa
		Vanhennuksen vastaama aika +20 °C:ssa		
		2,5 vuotta	5 vuotta	7,5 vuotta
Betonilaatta				
Keskiarvo*	29	40	45	40
Maksimi	35	48	54	50
Minimi	24	34	40	31
Höylätty mänty				
Keskiarvo*	52	51		
Maksimi	55	54	>70**	>70**
Minimi	46	48		
Intello höyrünsulku				
Keskiarvo*	41			
Maksimi	45	>70**	>70**	>70**
Minimi	36			

* Tulos laskettu vetomatkalta 20 – 60 mm.

** Testituote ei irtoa alustastaan vaan alkaa venyä.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

Alla olevissa kuvissa on esitetty vetolujuusmittausten tulokset vertailumittauksista ja 12 viikon vanhennuksen jälkeen. Kuviin on otettu tulokset vetomatkalta 0 – 75 mm.



Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille

Tulosten tarkastelu

Rakennustuotteiden testauksessa vanhenemisen tuotteessa aiheuttamia ilmiöitä selvitetään tyypillisesti rasittamalla tuotetta korotetussa lämpötilassa. Lämpötilan nosto nopeuttaa tuotteessa tapahtuvia reaktioita ja kymmenen asteen nousu lämpötilassa lasketaan vastaavan noin kaksinkertaista aikaa vertailulämpötilaan nähden. Testissä käytetyn lämpövanhennuksen aikana, joka pisimmillään vastasi noin 7,5 vuoden säilytystä vakio-olosuhteissa, ei todettu Pro Clima Acrylat Solid liiman tartunnan heikkenemistä millään tutkituista alustoista. Kaikilla alustoilla liiman tartuntalujuus lämpörasitetuissa koekappaleissa oli suurempi kuin vastaavat vertailuarvot. Intello höyrynsulkukankaasta Acrylat Solid liimaa sisältävä teippi ei ollut irrotettavissa lämpörasituksen jälkeen. Höylättyyn mäntyyn kiinnitetty testiteippi oli irrotettavissa vielä neljän viikon lämpövanhennuksen jälkeen mutta ei enää 8 viikon jälkeen. Betonilaatalla Acrylat Solid liimaa sisältävän teipin tartuntalujuus pysyi lämpövanhennuksen ajan samalla tasolla eikä tulosten hajonta huomioon ottaen tartunnassa havaittu heikkenemistä.

Testatussa tuotteessa ei lämpövanhennuksen aikana ollut tapahtunut mittapysyvyyssuutoksia tai muutoksia tuotteen ulkonäössä.

Espoo, 14.9.2010

Hannu Hyttinen
Tiimipäällikkö, tutkimusinsinööri

Tiina Tirkkonen
Erikoistutkija

JAKELU

Tilaaaja Alkuperäinen
Arkisto Alkuperäinen