

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Juha-Pekka Purtilo

RAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYDEN LAADUN- VARMISTUS TYÖMAALLA

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

Juha-Pekka Purtilo

Rakennuksen ilmanpitävyyden laadunvarmistus työmaalla, 59 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Ohjaajat: Lehtori, Timo Lehtoviita, Saimaan ammattikorkeakoulu

Työpäällikkö, Kari Valtonen, Rakennusliike Evälahti Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia rakennuksen ilmanpitävyyttä ja sen toteutusta sekä perehtyä sen mittaukseen. Tiedoista kerättiin ilmatiiveyden laadunvarmistusohje. Tutkimus painottui työmaan näkökulmaan, mutta sivusi myös suunnittelun osuutta ilmatiiveyden kannalta. Laadunvarmistusohjeen haluttiin pitävän sisällään oikeita työtapoja, laadunvarmistusta sekä mittauksia.

Työssä käsiteltiin yrityksen omassa tuotannossa käyttämiä rakenteita uudisrakentamisessa. Työssä tutkittiin betonielementtiulkoseiniä sekä puurakenteisia ulkoseiniä, betonisia maanvaraisia alapohjia sekä puu- ja betonirakenteisia yläpohjia.

Teoriaosion aineisto on kerätty tutustumalla alan kirjallisuuteen ja aikaisempiin tutkimuksiin. Työssä tutustuttiin ensin rakennusten ilmatiiveyteen kirjallisuuden ja tutkimusten pohjalta sekä kerättiin tietoa ilmatiiveysmittauksesta. Teoriaosion jälkeen suoritettiin ilmatiiveysmittaus ja lämpökuvaukset yrityksen rakenteilla olevassa kohteessa. Mittauskohteeksi oli valittu uudisrakennus ja toteutettu puurunkoisena. Mittauskohteessa haluttiin selvittää, mihin kannattaa kiinnittää huomiota ilmatiiveyden kannalta sekä miten valmistautua kyseisiin mittauksiin.

Mittauskohteessa ilmavuotoluvun arvoksi n_{50} saatiin 0,5 l/h, joka kuvaa rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveyttä. Testikohteessa oli panostettu vaipan ilmatiiveyteen, joka näkyy hyvänä ilmavuotolukuna. Työssä saatiin kerättyä paljon tietoa siitä, mihin kannattaa panostaa rakennuksen vaipan ilmatiiveydessä. Ilmatiiveyteen pitää tulevaisuudessa kiinnittää entistä enemmän huomiota energiankulutuksen takia sekä että välttää sisäilman epäpuhtauksilta ja kosteusvaurioilta.

Avainsanat: ilmanpitävyys, ilmavuotoluku

ABSTRACT

Juha-Pekka Purtilo

Securing the building's air tightness on site, 59 pages, 3 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Project Management

Thesis, 2011

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

Project manager, Kari Valtonen, Rakennusliike Evälahti Oy

The purpose of this thesis was to research a building's air tightness and how it could be carried out and study the measurement. The survey data was the basis of air tightness quality control. The research focused on the perspective on the site, but also discussed the planning of air tightness. Quality control includes the correct working methods, quality assurance, and measurements.

The thesis examines the company's own production facilities that they are using. This study investigates the precast concrete exterior walls, wooden exterior walls, concrete ground floor slabs, wooden structured roof and structured concrete roof.

The theory is gathered through relevant literature and previous studies. After the partition theory, air tightness measurement and thermal imaging were made to the target built by the company. The measuring target was a new building of timber. Measurements were examined in order to pay attention to air tightness and how to prepare for these measurements.

In pressurization tests the air tightness was measured to be 0,5 1/h, which describes how tight the building envelope is. In the measurement target it had been invested in the envelope's air tightness, which appears as a good air leakage ratio. The thesis collected much information about what is worth investing in the building envelope air tightness. Air tightness should be paid attention to in the future, in order to avoid construction mistakes that can cause moisture damage and mold.

Keywords: air tightness, air leakage ratio

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 VAIPAN TIIVEYS JA ENERGIAATEHOKKUUS.....	8
2.1 Vaipan tiiveyden merkitys.....	8
2.2 Ilmavuotoluku	9
2.3 Rakennusten energiatehokkuus	11
2.3.1 Energiatehokkuus tulevaisuudessa	14
2.4 Vaipan vuotokohtat.....	14
3 ILMATIIVEYDEN MITTAUS	19
3.1 Ilmavuotoluvun mittaaminen.....	19
3.2 Mittaustapa ja laitteisto	21
3.3 Mitattavat tilat	22
3.4 Mittaukseen valmistautuminen sekä ajankohta	23
3.5 Mittaus pientaloissa	25
3.6 Kerrostalon mittaaminen	25
3.7 Vuotokohtien paikallistaminen	26
3.7.1 Lämpökuvaus	27
3.7.2 Merkkisavut	29
3.7.3 Ilmavirtausmittarit	30
4 ILMANPITÄVYYDEN SUUNNITTELU JA ALIURAKOITSIJAT	30
4.1 Suunnittelun ohjaus ja sopimukset	30
4.2 Ilmanpitävyys suunnittelussa.....	31
4.3 Ilmatiiveyden huomioiminen urakkasopimuksissa	33
5 LAADUNVARMISTUS TYÖMAALLA	33
5.1 Tehtäväkohtainen laadunvarmistus.....	33
5.1.1 Ikkunat ja ovet	35
5.1.2 Betonielementit.....	36
5.1.3 Ilmansulku ja höyrynsulku	38
5.1.4 Maanvarainen alapohja	43
5.1.5 Tiivistykset.....	44
5.2 Tilakohtainen laadunvarmistus	45
5.2.1 Alapohjat	46
5.2.2 Ulkoseinät.....	46
5.2.3 Yläpohjat	46
5.3 Mittaukset.....	47
6 MITTAUSKOHDE	47
6.1 Kohteen yleistiedot	47
6.2 Mittauksien tavoite.....	48
6.3 Ilmatiiveysmittaus	49
6.3.1 Ilmatiiveysmittauksen tulos	51
6.4 Lämpökuvaus	52
7 PÄÄTELMÄT	54
LÄHTEET	57
LIITTEET	
Liite 1. Mittaustulokset	
Liite 2. Lämpökuvat	
Liite 3. Ilmatiiveysmittausraportti	

KÄSITTEISTÖ

Höyrynsulku tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa.

Ilmansulku tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmanvirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle.

Ilmavuotoluku n_{50} (1/h), kertoo montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pascalin ali- tai ylipaine. Ilmavuotoluku kuvaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä.

Ilmavuotoluku q_{50} ($m^3/h \cdot m^2$), ilmavuotoluku voidaan myös määrittää vaipan pinta-alaa kohti q_{50} -lukuna, joka kuvaa paremmin todellista ulkovaipan ilmanpitävyyttä suurissa rakennuksissa.

Kerrostalo on kaksi tai useampikerroksinen asuinrakennus, jossa on erilliset huoneistot jokaisessa kerroksessa.

Kivirakenteisen talon ulkoseinät on tehty pääosin kivirakenteista esimerkiksi betonielementeistä.

Kosteus tarkoittaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, neste-mäisessä tai kiinteässä olomuodossa

Puurakenteinen talo on asuinrakennus, jonka ulkoseinät on tehty pääosin puurunkorakenteisena.

Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan niitä rakennusosia, jotka erottavat lämpimän, puolilämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta. Vaippaan eivät kuulu rakennuksen sisäiset, erilaisia tiloja toisistaan erottavat rakennusosat.

Tuulensuoja tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteen osaan ja takaisin.

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

Painekoetta käytetään koko rakennuksen tiiviystason määrittämisessä. Koeksessa ilmanvaihtoventtiilit ja muut rakennuksen vaippaan tehdyt aukot suljetaan ja tarvittaessa tiivistetään. Rakennuksen oviaukkoon asennetaan tiiviisti puhallin, jonka avulla rakennuksen sisätilan ja ulkoilman välille luodaan 50 Pa paine-ero. Puhaltimen läpi kulkeva ilmavirtaus [m^3/h] mitataan ja lukema jaetaan rakennuksen sisäilmantilavuudella [m^3], jolloin saadaan ilmavuotoluku n_{50} [$1/h$].

Tasauslaskennalla, osoitetaan rakennuksen lämpöhäviöiden vaatimusten täyttyminen. Tarkoituksena on osoittaa, että rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen.

Radonkaistan, tarkoituksena on tiivistää alapohjan liittymät ilmatiiviiksi. Materiaalina käytetään yleisesti TL-2 luokan kumibitumikermikaistoja, jotka on hitsattavia tai liimattavia.

1 JOHDANTO

Työn taustana toimivat tiukentuneet ja tiukkenevat rakentamismääräyskokoelman tiiveys- ja lämmöneristysvaatimukset. Vuoden 2008 alusta voimaan tullessa rakentamismääräyksissä vaipan ilmatiiveys kuuluu lämpöhäviöiden tasauslaskennan piiriin. Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa rakennukselle määrättävä ilmavuotoluvun vertailuarvo on puolittunut vuoden 2010 rakentamismääräyskokoelman säädöksissä vuoteen 2008 nähden. Tulevaisuudessa ilmavuotolukua tullaan kiristämään entisestään ja se pitää todentaa mittaamalla tai jollain muulla todentamismenetelmällä. Eristekerrosten kasvaessa on tärkeää vaipan tiiveyden huomioon ottaminen energian pitämisessä vaipan sisäpuolella, sekä kosteusvaurioiden välttäminen. Tämä johtaa rakentajat varmistumaan vaipan tiiveydestä mittauksilla ja ottamaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa vaipan tiiveyden. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena on koota tietoa ilmatiiveyden laadunvarmistusohjeistusta varten. Laadunvarmistusohje pitää sisällään oikeita työtapoja, laadunvarmistusta sekä mittauksia. Työn tilaajana toimii Rakennusliike Evälahti Oy.

Työ on rajattu koskemaan yrityksen omassa tuotannossa käyttämiä rakenteita uudisrakentamisessa. Työssä käsitellään betonielementtirakenteisia ulkoseiniä sekä puurakenteisia ulkoseiniä, betonisia maanvaraisia alapohjia sekä puu- ja betonirakenteisia yläpohjia.

Teoriaosioon tietoa hankitaan aiemmista tutkimuksista ja alan kirjallisuudesta. Työssä tullaan tekemään ilmatiiveysmittaus sekä lämpökuvaus koulurakennuksessa, joka on yrityksen yksi tämänhetkisistä urakkakohteista. Mittausten avulla yritetään etsiä vuotokohtia vaipasta sekä selvittää miten voidaan valmistautua kyseisiin mittauksiin. Tutkimusmenetelminä käytetään ilmatiiveysmittausta sekä vuotojen paikantamiseen apuna lämpökuvausta.

2 VAIPAN TIIVEYS JA ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Vaipan tiiveyden merkitys

Rakennuksen ilmatiiveydellä tarkoitetaan rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä. Rakennuksen vaipan ilmatiiveys vaikuttaa asumisviihtyvyyteen, energiankulutukseen sekä ilman epäpuhtauksiin. Rakennuksissa, joissa on huono ilmanpitävyys saattaa esiintyä vetoisuutta, rakenteiden pintalämpötilojen laskua, kosteuden tiivistymistä rakenteisiin, homeetta sekä ilman epäpuhtauksia kuten radonia. Tämän takia pitää kiinnittää erityistä huomiota tiiviiseen vaippaan sekä oikein säädettyyn ilmanvaihtoon. (2.)

Tiiviin vaipan ansiosta voidaan kontrolloida paremmin ilmanvaihtoa ja sisäilman laatua. Ilmanvaihdon kautta tuleva ilma voidaan suodattaa epäpuhtauksista, mutta ikkunan raosta vuotavaa ilmaa ei. Ilmanpitävässä rakennuksessa ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta saadaan irti paras hyöty, koska lämpö ei karkaa vuotoreittien kautta harakoille. Tiiviissä rakennuksessa pitää kiinnittää huomiota tasapainotettuun ja riittävän tehokkaaseen ilmanvaihtoon, koska ilma ei käytännössä vaihdu vuotoilmareittejä pitkin. (1.)

Pienetkin vuodot rakennuksen vaipassa saattavat aiheuttaa haittoja. Vaipan hyvän ilmanpitävyyden takia saattaa rakennuksessa esiintyä suuria paine-eron vaihteluita huonosti säädetyn ilmanvaihdon takia. Yleisesti rakennus säädetään alipaineiseksi, mutta rakennuksen yläosassa saattaa esiintyä ylipainetta. Ylipaine saattaa johtua huonosti säädetystä ilmanvaihdosta, ilman lämpötilaeroista tai tuulesta. Sisäpuolen ollessa ylipaineinen, voi vaipassa olevan reiän tai raon kautta kulkeutua sisäilmasta huomattavia määriä kosteuspitoista ilmaa rakenteisiin konvektiolla. Kosteus saattaa tiivistyä yläpohjaan tai tuulensuojan ulkopintaan ja aiheuttaa suotuisat olosuhteet homeen kasvulle. Alipaineisena ilmanvaihto saattaa imeä radonia tai muita mikrobeja sisäilmaan rakenteista. (2.)

Huonosti ilmatiiviissä rakennuksessa asumismukavuuteen vaikuttavat ilmanliikkeet vaipan läpi. Kylmä vuotoilma aiheuttaa sisäpintojen kylmenemistä sekä

tuntuu asukkailla ikävänä vedon tunteena. Vedon tunteen takia saatetaan nostaa huoneilman lämpötilaa, mikä näkyy taas energiankulutuksen nousuna. Ilmavuotokohdista saattaa myös tulla läpi hajuja sekä melua. Esimerkiksi tupakan savu tai ruuan käryt saattavat kulkeutua huoneistoista toiseen. (3.)

2.2 Ilmavuotoluku

Rakennuksen ilmavuodoilla tarkoitetaan rakennuksen sisä- ja ulkopuolen paine-erojen aiheuttamaa ilman virtausta vaipan läpi. Rakennuksen ilmavuotoluku voidaan mitata painekokeella. Mittaus tehdään erillisellä painekoelaitteistolla tai rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteilla. Mittauksen tulos ilmoitetaan ilmavuotolukuna n_{50} tai q_{50} . Mitä pienempi luku n_{50} on, sitä tiiviimpi on vaippa.(1.)

Ilmavuotoluku n_{50} [1/h], voidaan laskea kaavalla 1.

$$n_{50} = \frac{V_q}{V} \quad (1.)$$

missä

V_q = Ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pascalin paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli [m^3]

V = Rakennuksen sisätilavuus [m^3]

Ilmavuotoluku q_{50} [$m^3/(h \cdot m^2)$], voidaan laskea luvusta n_{50} kaavalla 2.

$$q_{50} = n_{50} * \frac{V}{A_E} \quad (2.)$$

missä

V = Rakennuksen sisätilavuus [m^3]

A_E = Rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna.

Vaipan pinta-ala lasketaan standardin SFS-EN 13829 mukaisesti. Vaipan pinta-alaan kuuluvat alapohja, ulkoseinät ja yläpohja. Näiden yhteenlasketusta pinta-alasta muodostuu vaipan pinta-ala. Vaipan pinta-ala lasketaan rakennuksen sisämittojen mukaan. (4.)

Ilmavuotoluku n_{50} kuvaa, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnin aikana vuotoreittien kautta 50 Pascalin ali- tai ylipaineisena. Rakennuksen ilmavuotoluku voidaan myös määrittää vaipan pinta-alaan nähden q_{50} -lukuna. Suositeltavaa olisi ilmoittaa ilmanvuotoluku n_{50} sekä q_{50} arvona. Ilmanvuotoluku q_{50} kuvaa paremmin vaipan ilmatiiveyttä, koska siinä otetaan huomioon ilmatilavuuden suhde vaipan pinta-alaan. Pientaloissa tämä suhde vaihtelee välillä 0,7 - 1,5. Kerrostaloissa koko rakennuksesta tai rapusta mitattaessa suhde on tyypillisesti välillä 2,0 - 3,5. Pienissä rakennuksissa q_{50} -luku on lähellä lukua n_{50} , mutta suurissa rakennuksissa ilmatilavuuden suhde vaipan sisäpinta-alaan on suuri. Tämän takia q_{50} -luku kuvaa paremmin vaipan tiiveyttä suurissa rakennuksissa. Luonnosvaiheessa olevien Suomen rakentamismääräyskokoelman uusissa energiamääräyksissä ilmatiiveys pitää ilmoittaa q_{50} -luvulla. (1.)

Tampereen yliopisto tutki erilaisten pientalojen ja kerrostalojen ilmanpitävyyksiä. Tutkimuksessa kerrostalot oli jaoteltu välipohjatyyppin mukaan. Tutkimukseen oli otettu 6 erilaista betonielementtikerrostaloa, joissa oli tehty 20 asuntoon ilmatiiveysmittaus ja 7:ään paikallavalettuun välipohjalliseen kerrostaloon, joissa oli tehty 23:een asuntoon ilmatiiveysmittaus. Tutkimuksen mukaan elementtitaloissa olevien asuntojen ilmavuotoluvun n_{50} keskiarvo oli 1,7 1/h ja paikallavaluilla 0,7 1/h. Tämä mittaus osoittaa paikallavaletun välipohjaisen talon tiiviimmäksi kuin elementeistä tehdyn kerrostalon. (3.)

Taulukossa 1 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettuja viitteellisiä arvoja ilmavuotoluvulle n_{50} .

Taulukko 1, Tyypillisiä ilmavuotolukuja eri rakennuksille (5.)

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1 ... 3 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 ... 1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3 ... 5 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 ... 3,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5 ... 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3 ... 7

Taulukosta 1 voidaan havaita, että hyvä ilmanpitävyys pientaloissa on välillä 1 - 3 1/h ja suuremmissa rakennuksissa n_{50} -luku on välillä 0,5 - 1,5 1/h.

Vuoden 2008 alusta voimaan tulleissa rakentamismääräyksissä vaipan ilmatiiveys kuuluu tasauslaskennan piiriin. Hyvällä ilmavuotoluvulla voidaan esimerkiksi kompensoida huonoa alapohjan U-arvoa tasauslaskennassa. Uusissa rakennuksissa pitää energiaselvityksessä merkitä kohteen ilmatiiveys. Vuoden 2010 rakentamismääräyksissä käytetään laskelmissa vertailuarvona n_{50} -lukua 2 1/h. Suunnitteluarvona voidaan käyttää huonompaa niin sanottua raja-arvoa 4 1/h, joka ei edellytä ilmavuotoluvun mittausta. Käytettäessä pienempää ilmavuotolukua kuin 4 1/h pitää tämä arvo todentaa joko mittaamalla rakennuksen ilmatiiveys tai todentaa muulla tavalla. (1.)

2.3 Rakennusten energiatehokkuus

Rakennukset kuluttavat lähes kolmanneksen Suomen kokonaisenergian kulu-
tuksesta. Tilojen lämmitys kuluttaa 22 % ja sähkölaitteisiin kuluu 9 % kokonais-
energiankulutuksesta. (6.)

Uudisrakennusten energiatehokkuus määräyksiä tiukennettiin viimeksi vuoden
2010 alussa. Uusien määräysten tiukentava vaikutus oli noin 30 prosenttia ver-

rattuna vuoden 2007 määräystasoon. Taulukossa 2 on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa rakennusten tasauslaskennassa käytettäviä vertailuarvoja kautta historian. (6.)

Taulukko 2. Rakennusosien energiatehokkuuden vertailuarvoja (7.)

Vertailuarvot	1978	1985	2003	2007	2010	2012 ?
Rakennuksen vaippa U-arvot [W/m ² K]						
Ulkoseinä	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Alapohja	0,4	0,36	0,25	0,19	0,16	0,16
Yläpohja	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ikkuna	0,1	2,1	1,4	1,4	1	1
Ovi		0,7	1,4	1,4	1	1
Muut laskennan lähtöarvot						
Vuotoilma , ilmanvuotoluku [1/h]				n ₅₀ =4 [1/h]	n ₅₀ =2 [1/h]	q ₅₀ =2 [m ³ /(h*m ²)]
Ilmanvaihto , LTO:n hyötysuhde				25 %	45 %	45 %

Taulukosta 2 näkee, miten energiamääräyksiä on ryhdytty tiukentamaan 2000 -luvulla.

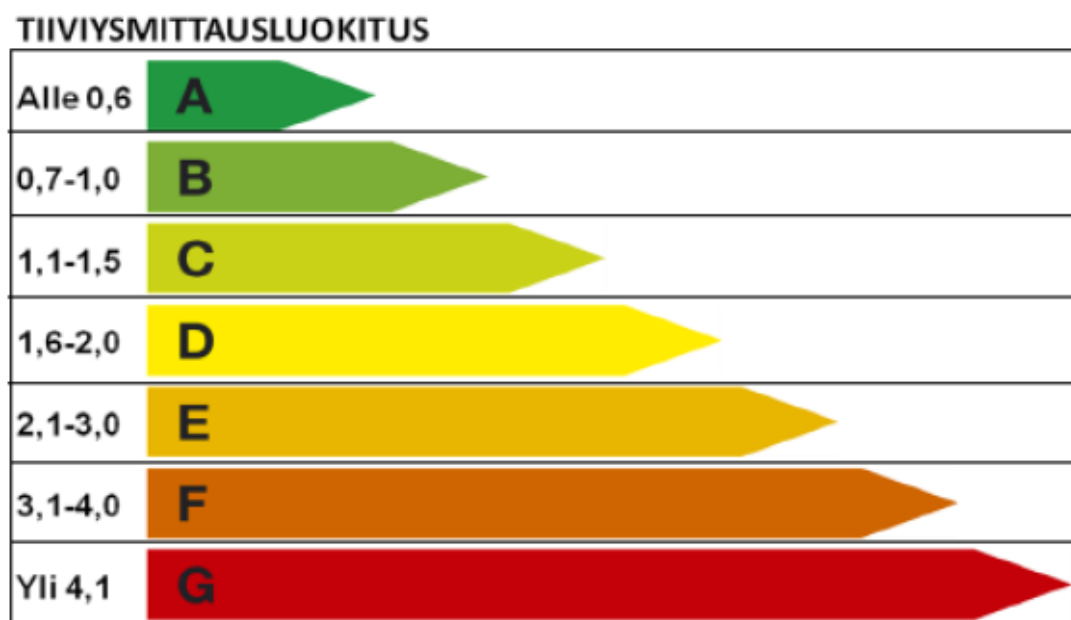
Rakennuksen vaipan tiiveydellä on suuri merkitys rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Taulukossa 3 on esitetty ilmatiiveyden vaikutusta energiankulutukseen.

Taulukko 3. Ilmatiiveyden vaikutus energiankulutukseen (8.)

Ilmatiiveys n_{50} [1/h]	Energiankulutuksen muutos [kWh/m ²]
4	0
3	- 3,9
2	- 7,5
1	- 10,9
0,5	- 12,5

Taulukosta voidaan havaita, että raja-arvona pidettyä ilmavuotolukua 4 1/h pidetään nollassa. Ilmatiiveyden saavuttaessa arvon 0,5 1/h säästetään 12,5 kWh/m² vuodessa nollassa verrattuna.

Kuvassa 2.1 on esitetty tiiveysmittausluokitus. Luokitusta käyttävät sertifioidut ilmatiiveysmittaajat. Luokitus ei perustu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan.



Kuva 2.1 Tiiveysmittausluokitus (7.)

Kuvasta 2.1 voidaan havaita, että A-luokkaan päästään alle 0,6 1/h ilmatiiveysmittauksen tuloksella. Rakennuksen ilmavuotoluvun mittaustulos ilmoitetaan tässä luokituksessa energialuokkana.

2.3.1 Energiatehokkuus tulevaisuudessa

Suomi on hyväksynyt EU:n energiatehokkuusdirektiivin päästä rakennusten energiankulutuksessa vuoteen 2019 - 2021 mennessä nollaenergiarakentamiseen. Vuoden 2012 rakentamismääräyskokoelman osat C4, D2, D3 ja D5 lähtevät lausuntokierrokselle syyskuussa 2010. Tavoitteena on antaa uudet määräykset vuoden 2011 alussa ja määräykset astuisivat voimaan 2012. (9.)

Vuoden 2012 luonnosvaiheessa olevien energiamääräysten keskeisin ajatus on raja-arvojen antaminen rakennuksen kokonaisenergiakulutukselle. Niissä ei ta-sauslaskennan lisäksi tulla tiukentamaan nykyisiä vertailu U-arvoja eikä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. (10.)

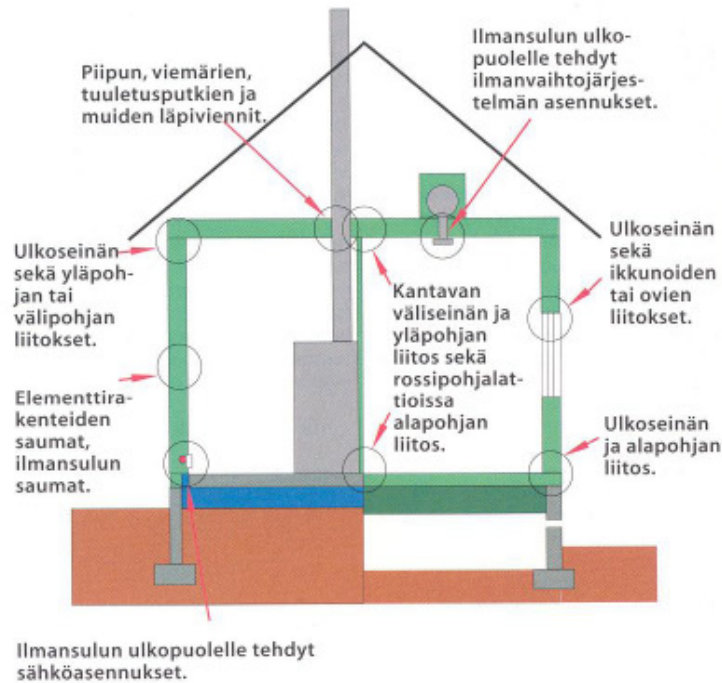
Tavoitteena on parantaa rakennusten energiankulutusta 20 prosenttia nykyises-tä määräystasosta ja pyrkiä ohjaamaan energiantuottoa uusiutuvan energian käyttöön. Kokonaisenergiatarkastelussa otetaan huomioon eri energiamuodot energiamuotojen kertoimilla. Huonoimman kertoimen 2 saa sähkö ja parhaimman kertoimen 0,5 rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet. Uusiutu-vien energialähteiden pitää vastata vähintään 25 prosenttia tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksen energian nettotarpeesta. (10.)

Vuoden 2012 luonnosmääräyksissä ilmavuotoluku pitää ilmoittaa arvona q_{50} . Ilmavuotoluku saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h}/\text{m}^2)$ erillisissä pientaloissa, rivi- ja ketju-taloissa ja $3 \text{ m}^3/(\text{h}/\text{m}^2)$ muissa rakennuksissa. Rakennuksen ilmatiiveys pitää varmistaa ilmatiiveysmittauksella. Asuinkerrostalossa mittauksen pitää kattaa vähintään 20 prosenttia huoneistoista. Mittaus voidaan tehdä rakennuksen omil-la ilmanvaihtolaitteilla, jolloin rakennuksen nettopinta-alasta voidaan rajata enin-tään 25 prosenttia pois mittauksesta. Muiden kuin asuinrakennusten ilmanvaihtokoneet pitää varustaa ilmanpitävyyden mittausvalmiudella. (11.)

2.4 Vaipan vuotokohdat

Rakennuksissa esiintyvät ilmavuotokohdat ovat yleensä samoja puu- sekä kivi-rakenteisissa rakennuksissa. Yleisiä vuotokohtia rakennuksissa ovat rakentei-

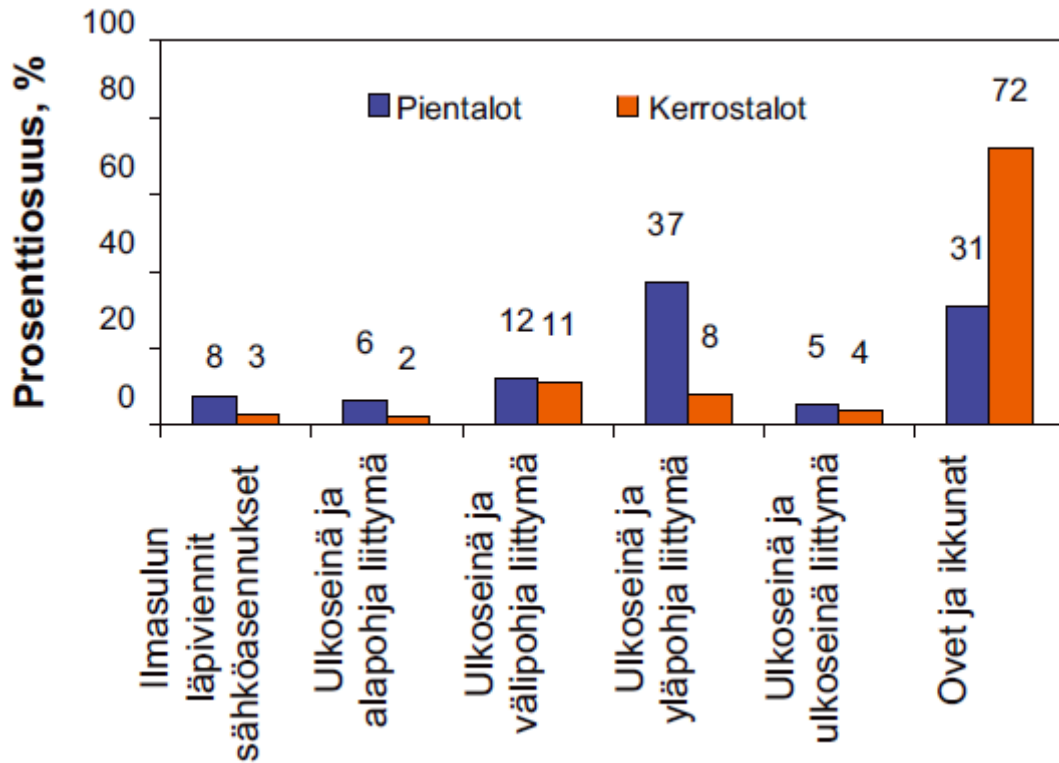
den liittymät, läpiviennit sekä ovi- ja ikkuna-asennukset (kuva 2.2). Kuvassa 2.2 on esitetty pientalojen yleisiä ilmapuotokohtia.



PIENTALOJEN ilmansulun ja tuulensulun puutteita on erityisesti rakennusosien liitoksissa ja erilaisissa detaljirakenteissa.

Kuva 2.2 Pientalojen yleisiä ilmapuotokohtia (12.)

Tampereen teknillisen yliopiston tekemissä tutkimuksissa pientaloissa 37 prosenttia ilmapuodoista paikallistettiin ulkoseinän ja yläpohjan liitokseen (kuvio 2.1). Ilmapuodoista 31 prosenttia löytyi ikkunoista ja ovista sekä niiden liittymistä muihin rakenteisiin (kuvio 2.1). Loput vuotokohdat löytyivät välipohjan sekä ulkoseinän liitoksesta, vaipan läpiviennistä sekä ulkoseinän ja alapohjan liitoksesta.



Kuvio 2.1 Ilmavuotokohtien jakauma pien- ja kerrostaloissa (13.)

Kuviosta 2.1 voidaan havaita, että suurin osa ilmavuodoista kerrostaloissa on ikkunoissa ja ovissa sekä niiden liittymisissä muihin rakenteisiin.

Betonirakenteet

Betoni yksinään on riittävä höyryn- sekä ilmansulku, jos sen paksuus on 100 mm. Elementti- ja paikallavalu kerrostaloissa on helppo saavuttaa hyvä ilmatiiveys kiinnittämällä huomio vaipan läpivienteihin, betonielementtien saumoihin, ovien ja ikkunoiden asennuksiin sekä kantamattomien puurankaseinien liittymisessä kantaviin rakenteisiin. (1.)

Betonielementtiseinissä ilmavuotoja esiintyy saumoissa sekä LVIS-läpivienneissä. Seinäelementtien saumat saattavat jäädä vajaiksi tai ne halkeavat kutistumisraudoituksen puuttumisen takia. Erityisesti vuotokohtia ovat saumojen nurkka- ja kulmakohdat sekä elementtien alasaumat. Vaipan läpiviennit ovat myös yleisiä ilmavuotoreittejä. Läpivientejä ei ole mahdollisesti tiivistetty

runkoon tarpeeksi hyvin. Ulkoseinän lävistävät ilmastointiläpiviennit ovat ainoita läpivientejä seinissä, mutta saattavat jäädä tiivistämättä. Huoneistokohtaisessa ilmanvaihdossa otetaan tuloilma ilmanvaihtokoneelle ulkoseinän lävistävällä ilmanvaihtoputkella. Tämä putki saattaa helposti jäädä tiivistämättä kunnolla, koska se jää yleensä koteloon piiloon ja vaipan tiivistykset tehdään yleensä vasta kotelon teon jälkeen. (14.)

Maanvaraisen alapohjan mahdollisia ilmapuotokohtia ovat LVIS-läpiviennit, laatan liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin sekä mahdolliset varaukset. Näissä tärkeintä on muistaa tiivistää kaikki edellä mainitut kohdat. (1.)

Paikallavalettulaatta yläpohjana on hyvä tiiveyden kannalta. Yläpohjan liitos ulkoseiniin on tiivis, koska laatta valetaan ulkoseinän päälle. Yläpohjassa pitää muistaa tiivistää IV-läpiviennit sekä varaukset laatussa. Yleinen tapa on poistaa ilmanvaihdon jäteilma omassa kuilussaan katolle. Tämä kuilu pitää valaa betonilla yläpäästä umpeen, ilmanvaihtoputkien asennuksen jälkeen.

Ontelolaatta sekä muut teräsbetonielementit yläpohjissa ovat rakenteena ilmatiiviä, mutta saumat on hyvä tiivistää ilmanpitävyyden varmentamiseksi. Saumoihin tulee helposti halkeamia ja yleisesti rakennuksen yläosat ovat ylipaineisia. Tämän johdosta yläpohjaan lämmöneristekerrokseen pääsee helposti kosteaa ilmaa, joka voi tiivistyä kosteudeksi. (1.)

Kantamattomia ulkoseiniä tehdään myös puurunkoisena. Näissä seinissä pitää kiinnittää huomio rakenteiden liitoksiin. Tärkeää on saada tiivistettyä höyrynsulku rakennuksen runkoon. Tämä tiivistys saattaa jäädä yleensä tekemättä.

Puurakenteet

Puurakenteisissa taloissa pitää ilmantiiveyteen kiinnittää erityistä huomiota, jotta päästäisiin hyviin ilmatiiveysarvoihin. Yleisiä vuotokohtia ovat höyrynsulkujen limitykset ja liitokset, rakenteiden liittymät, vaipan läpiviennit sekä ovi- ja ikkunaset. (1.)

Rankarakenteisen vaipparakenteen sisäpuolella tulee aina olla ilmansulku ja höyrynsulku. Yleensä ilman- ja höyrynsulkuna käytetään samaa ainekerrosta. Höyrynsulun läpiviennit vuotavat, koska niihin ei yleensä ole kiinnitetty huomiota. Höyrynsulun läpivientejä pitäisi välttää mahdollisimman paljon. Kuvassa 2.3 on tiivistämätön läpivienti.



Kuva 2.3 Tiivistämätön höyrynsulun läpivienti (15.)

Kuvan 2.3 mukaista läpivientä on vaikea enää tiivistää, koska se on tehty huolimattomasti. Sähkörasioiden tiivistäminen kalvomaiseen höyrynsulkuun on vaikeaa. Myös höyrynsulun limitykset ja liitokset muihin rakenteisiin ovat herkkiä ilmavuodoille. Esimerkkinä on seinän liittymä perusmuuriin. Höyrynsulku jää irtonaiseksi liitoksessa ja saattaa aiheuttaa ilmavuodon. (1.)

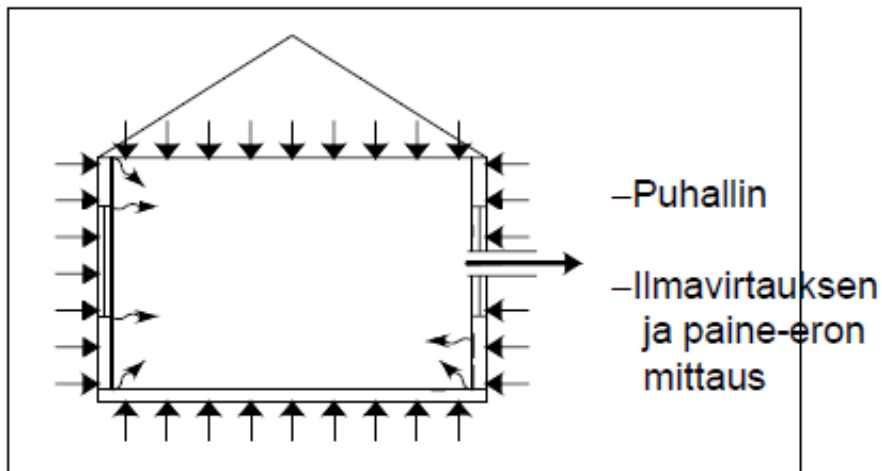
Ilmavuotokohtia löytyy ikkunan ja oven liitoksista ilmansulkuun sekä ikkunan pukan tiivistymisestä karmiin. Karmia ei ole mahdollisesti tiivistetty mitenkään höyrynsulkuun, josta johtuvat ilmavuodot karmin ja rungon välissä. (1.)

3 ILMATIIVEYDEN MITTAUS

Rakennusvaipan ilmavuotoluku määritetään 50 Pascalin paine-erolla standardissa SFS-EN 13829. Ilmavuotomittauksessa suljetaan kaikki ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot, tulisijat sekä ovet ja ikkunat ja sen jälkeen luodaan paine-ero vaipan yli sisä- ja ulkoilman välille ja mitataan vuotoilman määrä. (1.)

3.1 Ilmavuotoluvun mittaus

Painekoe on yleinen tapa varmentaa ilmavuotoluku. Painekokeessa tuotetaan laitteiston avulla rakennukseen vaipan yli alipaine tai ylipaine. Painekokeessa määritetään ilman tilavuusvirta, joka pitää puhaltaa rakennukseen tai sieltä pois (kuva 3.1). Suositeltavaa olisi mitata vaippa sekä yli- ja alipaineisena, koska vaipan ilmavuotoluku saattaa muuttua merkittävästi paine-ero suunnan muuttuessa. Esimerkiksi höyrynsulun liitokset saattavat olla tiiviitä alipainekokeen aikana, mutta ylipainekokeen aikana avautua. (1.)

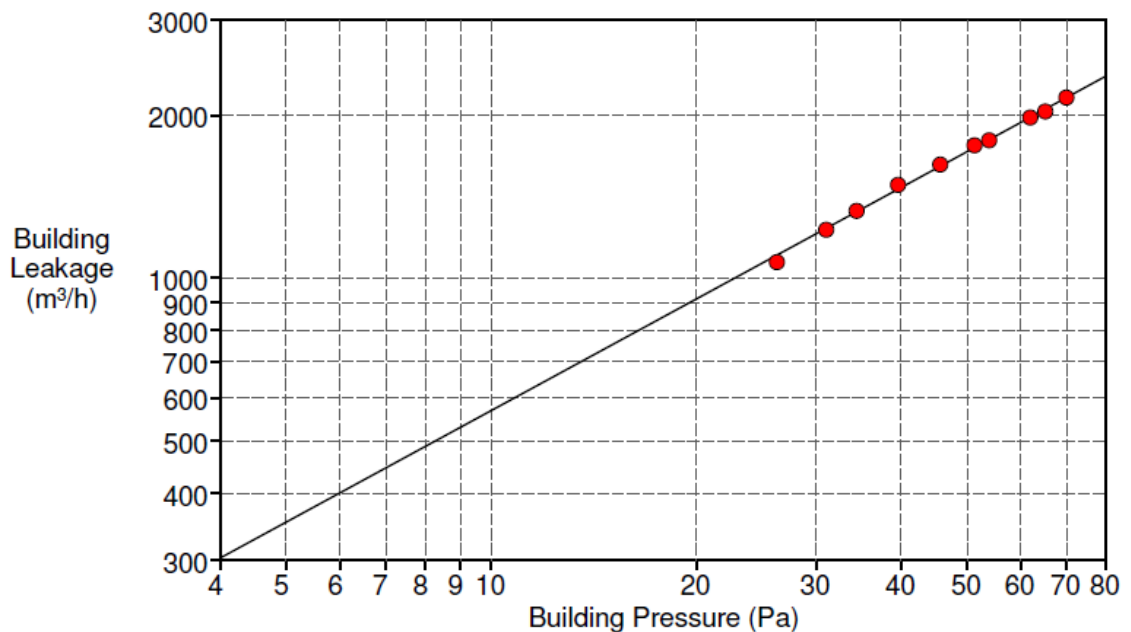


Kuva 3.1 Alipainekoe rakennuksessa (7.)

Kuvassa 3.1 on periaate alipainekokeen mittauksesta rakennuksessa.

Ilman tilavuusvirrat määritetään eri paine-eroilla vähintään 50 Pascalin paine-eroon asti. Ilmanvuotoluku ilmoitetaan lukuna n_{50} tai vaihtoehtoisesti lukuna q_{50} . Ilmanvuotoluvun mittaustulokset annetaan 0,1 1/h ja 0,1 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}_2)$ tarkkuudella.

Mikäli rakennuksessa tehdään ali- sekä ylipainemittaus ja tulokset eroavat enintään 0,5 1/h, niin rakennuksen ilmavuotolukuna käytetään mittausten keskiarvoa. Taas jos mittaustulokset eroavat yli 0,5 1/h, niin ilmavuotolukuna ilmoitetaan suurempi mittaustulos. Rakennuksen ilmanvuotoluku voidaan määrittää myös alle 50 Pascalin paine-erolla, jos painekokeessa saavutetaan 30 Pascalin paine-ero. Tällöin mittaukset on pitänyt tehdä portaittaisesti vähintään kolmella eri paine-erolla tasaisin välein. Kesä-aikana yli 15 celsiusasteen lämpötilassa ja tuulen nopeuden ollessa enintään 1 m/s voidaan hyväksyä 20 Pascalin paine-ero. Alemmissa kuin 50 Pascalin paine-eroissa määritetään mittaustuloksista lineaarisesti extrapoloimalla. Kuvio 3 voidaan määrittää ilmavuotoluku n_{50} . Paine-ero tulisi mitata tuulelta suojassa olevalta julkisivulta. (1.)



Kuvio 3.1 Vuotofunktio

Kuviossa 3.1 on painekokeesta saatava vuotofunktio, joka ilmaisee, kuinka paljon ilmaa pitää tuoda rakennukseen, että vaipan paine-ero säilyy eri paineilla tunnin aikana.

Ilmanvuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan. Rakennuksen tilavuus lasketaan kertomalla huonekorkeus sisämittojen mukaan lasketulla pinta-alalla. Huoneiston sisätilavuus lasketaan samalla tavalla. Rakennuksen tilavuuteen ei oteta mukaan välipohjia, mutta väliseinät otetaan. Alle 160 cm korkeat

tilat lasketaan ilmatilavuuteen. Rakentamismääräyskokoelmassa ei lasketa väli-seiniä ilmatilavuuteen. Tärkeää on laskea rakennuksen ilmatilavuus oikein, koska tulos vääristyy muuten. Mikäli ilmoitetaan suurempi tilavuus kuin todellisuudessa on, mittauksesta saadaan parempi ilmavuotoluku. Pitää myös muistaa, että kaikki mitattavassa tilassa olevat väliovet ovat auki, muuten mittaustulos vääristyy taas parempaan päin. (1.)

3.2 Mittaustapa ja laitteisto

Ilmavuotoluvun mittaus tehdään sitä varten tehdyllä painekoelaitteistolla tai rakennuksen omilla ilmanvaihtolaitteistoilla. Mittaus olisi suotavaa tehdä ensisijaisesti painekoelaitteistolla luotettavampien tulosten aikaansaamiseksi. Rakennuksen ilmanvaihtolaitteistolla mitattaessa mittaus edellyttää keskitettyä poistoilmanvaihtoa tai keskitettyä tulo- ja poistoilmanvaihtoa. Keskitetyllä poistoilmanvaihtojärjestelmällä varustetussa rakennuksessa voidaan tehdä alipainekoe ja ilman tilavuusvirta mitataan puhaltimen tai IV-koneen poistoilmakanavasta. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetusta rakennuksesta voidaan tehdä yli- että alipainekoe sulkemalla tulo- tai poistoilmakanava ja mittaamalla ilman tilavuusvirta avoinna olevasta kanavasta. IV-koneen avulla tehtävissä mittauksissa pitää varmistua, että mitattavat tila sisältää kaikki tilat, joiden ilmanvaihdosta huolehtii IV-kone. (1.)

Ilmatiiveyskokeita varten tehtyjä painekoelaitteistoja löytyy monelta eri valmistajalta. Valmistajilta löytyy erilaisia ilmatiiveyslaitteistoja, jotka soveltuvat pieniin sekä suuriin rakennuksiin. Suurin osa laitteistoista on pieniin kohteisiin soveltuvia ja yhdellä puhaltimella varustettuja. Pienten laitteiden ulospuhallusteho 50 Pascalin paine-erolla rajoittuu välille $7000 \text{ m}^3 - 13000 \text{ m}^3$. Tämä tarkoittaa sitä, ettei niiden kapasiteetti riitä kuin ulospuhallustehoa vastaavan sisätilavuuden mittaamiseen, jos ilmavuotoluku on 1 1/h . Suurempiin rakennuksiin tarkoitettuisissa laitteissa saattaa olla kolme puhallinta. Näiden ulospuhallusteho on noin $23000 \text{ m}^3 - 40000 \text{ m}^3$ 50 Pascalin paine-erolla. Puhaltimia voi parhaimmillaan liittää 12 kappaletta samaan mittaukseen ja näin pystytään mittaamaan suuria liike- sekä toimistorakennuksia. Yleistä näissä laitteistoissa on, että ne asennetaan ulko-oveen ja ne ovat tietokoneohjattuja (kuva 3.2). (16.)



Kuva 3.2 Ilmatiiveyslaitteisto asennettuna ulko-oveen (17.)

Kuvassa 3.2 on Minneapolis BlowerDoor ilmatiiveysmittalaitteisto. Kuvassa 3.2 voidaan havaita, että laitteistoon kuuluu kehys, johon on asennettu puhallin ja sen yläpuolelle paine-eromittari, joka on yhteydessä tietokoneeseen. Paine-koelaitteistojen mittaustarkkuudessa esiintyy eroja eri valmistajien sekä laite-tyyppien välillä pienillä vuotoilmavirroilla. Pienenä ilmapuotolukuna voidaan pitää alle 1,5 l/h. Rakennusvalvonta voi perustelluista syistä vaatia tarkistusmittausta erilaisella mittalaitteistolla. (1.)

Painekoelaitteistot pitää kalibroida säännöllisin väliajoin. Jos valmistajan puolelta ei ole annettu mittalaitteistoille kalibroitivälejä, voidaan kalibroitiväleinä käyttää seuraavia aikoja: Paine-koelaitteisto sekä virtaus- ja paine-eromittarit pitää kalibroida 2 vuoden välein ja lämpötila-anturit 4 vuoden välein. (1.)

3.3 Mitattavat tilat

Rakennukseen mittaukseen otetaan yleensä kaikki tilat, jotka ovat ilmanpitävän vaipan sisäpuolella. Mitattaviin tiloihin kuuluvat yleensä myös lämmitetyt ja jäädytetyt tilat sekä tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Osassa rakennuksessa tehtävään mittaukseen otetaan pääsääntöisesti mukaan samassa palo-osastossa olevat tilat. Esimerkkinä tässä voidaan pitää kerrostalon yhtä huo-

neistoa, jossa tehdään ilmatiiveysmittaus. Mitattavan tilan yhteydessä oleva tila, jolla on oma lämmitys tai jäähdytys ja sen ulkovaippa on lämmöneristetty sekä ilmanpitävän vaipan ulkopuolella eikä tilassa ole tiivistä ilmansulkua, jätetään tila mittauksen ulkopuolelle. Autotallit, varastot, tekniset tilat ja kellarit otetaan mukaan tiiveysmittaukseen, jos ne ovat ilmanpitävän vaipan sisäpuolella. (1.)

3.4 Mittaukseen valmistautuminen sekä ajankohta

Painekoe voidaan tehdä puolivalmiista tai valmiista rakennuksesta. Painekoe voidaan tehdä heti, kun vaippa on saatu tiiviiksi. Painekoe olisi hyvä tehdä uusissa rakennuksissa silloin, kun kaikki vaipan ilmatiiveyteen vaikuttavat työt ovat tehty, mutta pystytään tarvittaessa tiivistämään vaippaa. Tämän takia vaipassa pitää olla asennettuna kaikki ovet ja ikkunat sekä tiivistykset pitää olla tehty. Mittauksen ajankohtaan vaikuttaa myös mittaustapa. Mikäli kerrostalosta mitataan yksittäisiä asuntoja, voidaan painekoe tehdä helpommin rakennusajankautana. Tähän vaikuttaa se, että muut työt on helpompi kohdistaa pois mitattavasta huoneistosta sekä yksittäiset asunnot on nopea tiivistää. Tämän vuoksi koko kerrostalon paineistaminen rakennusvaiheessa on hankalampaa. (1.)

Rakennusaikaiselle mittaukselle hyvä ajankohta olisi noin 1 - 2 kuukautta ennen luovutusta. Tämän takia pitäisi vaippa saada mahdollisimman nopeasti tiivistettyä. Esimerkiksi ikkunoiden ja ovien kittaukset pitää tehdä mahdollisimman nopeasti niiden tilkitsemisen jälkeen. Rakennusaikaiselle mittaukselle etuna on, että vuodot voidaan korjata vähemmällä työllä.

Toinen ajankohta mittaukselle on valmiista rakennuksesta. Luovutusvaiheessa tehtävänä mittauksella on hyvänä puolena, että varmistutaan vaipan olevan tiivis myös tulevaisuudessa, eikä kukaan tee enää asennuksia vaipan läpi. Tässä on huonona puolena vuotojen korjaaminen. Luovutusvaiheessa ei ole aikaa aukoa rakenteita ja korjata vuotoja. Myös mittauksen sijoittaminen aikatauluun saattaa olla vaikeaa, koska kohteessa tehdään kaikenlaisia mittauksia ja koneiden säätöjä.

Mittauksen aikaan rakennus kannattaa tyhjentää muista kuin mittaushenkilöstöstä. Mittauksen valmisteluiden yhteydessä voidaan normaalisti tehdä muita töitä. Itse painekokeeseen kuluu kohteen mukaan 0,5 - 2 tuntia aikaa. Mittalaitteiston asentamiseen kuluu aikaa puolesta tunnista tuntiin. Tämä aika riippuu paljon vaipan tiiveydestä. Mikäli mittauksen yhteydessä tehdään lämpökuvausta tai muuta vuotojen paikantamista, mittaukseen kuluu paljon enemmän aikaa.

Mitattavien tilojen pitää olla pölyttömiä, esineet siirretty pois ulkoseiniltä ja tiivistykset tehty. Mittauksesta pitää ilmoittaa kaikille osapuolille hyvissä ajoin.

Ilmatiiveysmittaus lähtee liikkeelle perehtymällä rakennukseen. Rakennuksesta pitää laskea ilmatilavuus ennen mittausta. Tämä voidaan laskea rakennuksen piirustuksista. Myös lattian pinta-ala sekä vaipan pinta-ala olisi hyvä laskea ennen mittausta, koska mittausohjelma laskee yleensä myös ilmapuotoluvun q_{50} , mikäli vaipan pinta-ala syötetään ohjelmaan ennen mittausta.

Ennen mittausta kohteessa tiivistetään ilmanvaihto, varmistetaan ikkunoiden ja ulko-ovien olevan suljetut, tiivistetään takat ja uunit, kaadetaan lattiakaivoihin ja hajulukkoihin vettä sekä tiivistetään varaukset. Tiivistyksissä käytetään teippiä, muovia, jätesäkkejä, valmiita tiivistysosia, painepalloja sekä polyuretaanivaahtoa. Ilmanvaihdon voi tiivistää teippaamalla venttiilit tai ilmanvaihtokoneesta tiivistämällä ulkoilman ja jäteilman putket. Isossa rakennuksessa ilmanvaihto voidaan tiivistää käyttämällä palopeltejä, mikäli rakennuksessa on yhdistetty ilmanvaihto ja ilmanvaihtokoneisto on eri palo-osastossa. Palopeltien käyttäminen nopeuttaa mittaukseen valmistautumista, koska ei tarvitse tiivistää venttiileitä. (1.)

Mitä paremmin on tutustunut kohteeseen ennakkoon, sitä nopeammin pystytään tiivistykset tekemään sekä varmistetaan kaikkien reikien olevan suljettu. Mittalaitteisto asennetaan ulko-oveen tai ikkunaan ja syötetään tietokoneohjelmaan tarvittavat tiedot. Tämän jälkeen voidaan tehdä mittaukset. Sää tiedot pitää kirjata ylös ennen mittausta sekä syöttää mittausohjelmaan. Sää tiedot saadaan helposti ilmatieteenlaitoksen sivuilta. Säärajoitteet pitää ottaa huomioon mitatessa. Kovalla tuulella voi olla mahdotonta suorittaa onnistunutta mittausta.

3.5 Mittaus pientaloissa

Pientalolla tarkoitetaan pari- ja rivitaloja. Ilmavuotoluku määritetään pientaloissa mittaamalla se vähintään yhdestä huoneistosta. Rivitalossa mitattaessa pitää aina mitata päätyhuoneisto, vaikka mitattaisiin useampiakin huoneistoja. Tämä sen takia, koska päätyhuoneisto rajoittuu mahdollisimman suurelta osalta ulkovaippaan. Pientalosta mitattaessa useampia huoneistoja on ilmavuotoluku mitausten keskiarvo. Mikäli pientalon vaipassa on käytetty useampia rakenneratkaisuja, tulee mitattava huoneisto valita siten, että se sisältää kaikkia rakenneratkaisuja. Luotettavampi vaihtoehto on mitata useita erilaisia huoneistoja tai kaikki huoneistot. (1.)

Jos halutaan selvittää ulkovaipan ilmanpitävyys pientalosta, jossa on useampia huoneistoja, pitää jokainen huoneisto paineistaa samanaikaisesti. Vaihtoehtoina on asentaa jokaiseen huoneistoon erillinen painekoelaitteisto tai käyttää huoneistojen omia ilmanvaihtolaitteistoja. Tällöin pientalon vaipan ilmavuotoluku on kaikkien huoneistojen ilmavuotolukujen keskiarvo. (1.)

Pientalossa riittää paine-eron mittaamiseen painekokeen aikana yksi paine-ero mittari. Paine-ero olisi suotavaa mitata rakennuksen sisäkorkeuden puolesta välistä. Erillinen painekoelaitteisto voidaan sijoittaa ulko-oveen. (1.)

3.6 Kerrostalon mittaus

Kerrostalossa ilmanpitävyys mitataan yksittäisistä asunnoista, yhdestä portaasta tai koko kerrostalosta kerralla. Ilmanpitävyyden mittaus voidaan tehdä painekoelaitteistolla tai rakennuksen tai huoneiston omalla ilmanvaihdolla. Nykyään yleistynyt huoneistokohtainen ilmanvaihto aiheuttaa sen, että koko rakennuksen mittaaminen kerralla on melkein mahdotonta muulla kuin erillisellä painekoelaitteistolla. (1.)

Yksittäisten huoneistojen ilmatiiveysmittauksessa ei eritellä ulkovaipan ja huoneistojen välisiä ilmavuotoja. Tämän takia koko talosta kerralla tehtävä mittaus tuo paremmin esiin ulkovaipan ilmavuodot. Koko rakennuksesta kerralla tehtävä

mittaus taas muuttaa huomattavasti sisätilavuuden suhdetta vaipan sisäpinta-alaan, verrattuna huoneistossa tehtävään mittaukseen. Tämän takia koko rakennuksesta tehtävä mittaus antaa pienemmän ilmavuotoluvun. (1.)

Yksittäisestä huoneistosta tehtävä mittaus

Kerrostalon ilmavuotoluvun määrittäminen yksittäisistä huoneistoista edellyttää vähintään kolmessa eri huoneistossa mittaamista. Huoneistot tulee valita mittaukseen eri kerroksista. Mittaukseen valitaan yksi huoneisto alimmasta ja ylimmästä kerroksesta sekä joka toisesta välikerroksesta. Pitää varmistua, että mitattavat huoneistot sisältävät kerrostalon kaikki ulkovaipan rakenneratkaisut. Kerrostalon ilmavuotoluku on eri huoneistojen mittaustulosten keskiarvo. (1.)

Huoneistossa tehtävässä mittauksessa painekoelaitteisto asennetaan huoneiston ulko-oveen, mutta paine-ero mitataan ulkovaipan ylitse. Paine-eromittaus olisi hyvä suorittaa puolesta välistä sisäkorkeutta. (1.)

Yhdestä portaasta tai koko rakennuksesta tehtävä mittaus

Koko kerrostaloa mitattaessa on varmistuttava, että kaikkien mittauksessa olevien huoneistojen sekä yleisten tilojen ovet ovat auki. Paras tapa on sijoittaa erillinen painekoelaitteisto kerrostalon keskikerrokseen. Laitteisto voidaan sijoittaa parvekkeen oviaukkoon ja mahdollisimman keskelle huoneiston sisäkorkeutta. Parvekkeen lasitusten pitää olla auki. (1.)

3.7 Vuotokohtien paikallistaminen

Ilmatiiveysmittauksen yhteydessä vuotokohtia voi paikallistaa lämpökameralla, merkkisavuilla sekä ilmavirtausmittarilla. Alipainekokeen aikana voi myös kädellä etsiä mahdollisia vuotokohtia, koska ilmavirta tuntuu selvästi.

3.7.1 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on ainetta rikkomaton rakennusten laadun- ja kunnonarviointimenetelmä. Sitä voidaan käyttää yhtenä tutkimusmenetelmänä uudisrakennusten laadunvarmentamisessa ja vanhojen rakennusten kuntotutkimuksissa. Lämpökuvauksen tarkoituksena on määrittää vaipan lämpötekninen toiminta, lämmöneristekerroksen toimivuus sekä rakenteellinen ilmanpitävyys. Lämpökuvauksella voidaan määrittää lämpövuotokohdat ja onko kyseessä ilmavuoto, kylmäsilta, eristyspuute sekä joissakin tapauksissa kosteusvaurio. (18.)

Viranomaismääräykset eivät edellytä lämpökuvaajalle ammattipätevyyttä. Lämpökuvausta tekevän henkilön pitäisi osoittaa pätevyytensä rakennusfysiikan, rakenteiden toiminnan, sekä lämpökuvauksen osalta. Tämän pätevyyden hän voi osoittaa lämpökuvauksen perustutkintotodistuksella ja VTT:n myöntämällä lämpökuvaajan henkilösertifikaatilla. (18.)

Lämpökuvauksessa käytettävän kameran pitää muodostaa kuvattavasta kohteesta lämpökuvan, joka esittää pintalämpötilajakauman ja kameralla voidaan mitata suoraan pintalämpötiloja. Kameran runko sekä ulkoiset lämpötilaolosuhteet eivät saa vaikuttaa mittaustulokseen. Kamerassa pitää olla myös kuvien tallennusmahdollisuus tulosten jälkikäsitteilyä, raportointia ja analysointia varten. Kameraa, jossa ei ole edellä mainittuja ominaisuuksia, voidaan myös käyttää rakennustyön aikaiseen laadunvarmentamiseen. (18.)

Lämpökamera on kalibroitava vähintään 2 vuoden välein valmistajalla tai valtuutetulla laitoksella. Lämpökameroiden mittaustarkkuus on +- 2 celsiusastetta. Sisätiloissa 20 Celsiusasteen lämpötilaolosuhteissa tehtävän mittauksen mittatarkkuus on käytännössä +- 1 celsiusastetta. (18.)

Mittausajankohta ja mittausolosuhteet

Lämpökuvaus voidaan tehdä rakenteilla olevasta rakennuksesta tai valmiista rakennuksesta. Rakenteilla olevasta rakennuksesta ei ole annettu mitään vaatimuksia mittausolosuhteille, vaan mittaus voidaan suorittaa yksilöidyllä tavalla.

Lämpökuvaus kannattaisi tehdä heti lämmöneristeiden, ikkunoiden ja ovien asennuksen jälkeen. Kuvauksella voidaan vielä vaikuttaa mahdollisiin vuotokoh-
tien parantamiseen. (18.)

Lämpökuvausta voidaan käyttää apuna ilmatiiveysmittauksissa kylmänä vuoden aikana. Lämpökuvaus olisi hyvä tehdä myös normaaleissa olosuhteissa ilman alipainetta, koska silloin olisi helppo tulkita kuvista, onko rakenteessa kylmäsilta vai ilmavuoto. Ulkoilman ja rakennuksen sisäilman välinen lämpötilan ero pitää olla vähintään 3 jaettuna vaipan U-arvolla. Nykyisen seinän U-vertailuarvon mukaan lämpötilan ero pitäisi olla 18 astetta. Viimeisen vuorokauden aikana ulko-
lämpötila ei saa muuttua yli 10 astetta. Alipaineen aikana pystytään lämpökuva-
uksen avulla havaitsemaan vuotokohtat. Rakennuksen vaippa kierretään läpi lämpökuvauksella. Kuvauksen aikana kannattaa pitää rakennuksen pohjapiirus-
tusta mukana ja merkitä mistä kohtaa kuva on otettu. Tämä helpottaa raportin teossa kuvien tulkintaa sekä paikallistamista. Lämpökuvat pitäisi ottaa noin 2 - 4 metrin päästä kuvauskohteesta. Kaikki vuotokohtat tulee kuvata sekä esittää lämpökuvausraportissa. (18.)

Lämpökuvaukseen valmistautuminen

Seinien ympäriltä pitää viimeistään edellisenä päivänä poistaa tavarat. Rakenteiden ympärillä pitäisi olla tyhjää tilaa vähintään 2 metriä. Mikäli halutaan kuvata kiinteiden kalusteiden sisään, pitää niiden ovet avata edellisenä päivänä. Lämpöpatterit pitää sulkea viimeistään 1 - 2 tuntia ennen lämpökuvausta, jotta seinä pääsee jäähtymään. Sisälämpötila ei saa kuvauksen aikana muuttua yli 2 astetta ja ulkolämpötila 5 astetta. (18.)

Lämpökuvien tulkinta

Lämpökuvien tulkinnessa käytetään viranomaisten määrittämiä vaatimuksia. Lämpökuvissa havaitut selkeät poikkeamat täytyy raportoida sekä esittää niiden korjaamista tai lisätutkimuksia. Lämpökuvista lasketaan lämpötilaindeksi, jos ne kuvataan sisäpuolelta rakennusta. Lämpötilaindeksillä arvioidaan vaipan lämpöteknistä toimivuutta. (18.) Taulukossa 4 on esitetty korjausluokat.

Taulukko 4 Asuin- ja oleskelutilojen korjausluokitus

Korjausluokka	Lämpötilaindeksi TI	
1. Korjattava	alle 61 %	Pinnan lämpötila ei täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa
2. Korjaustarve selvittävä	61- 65 %	Korjaustarve erikseen harkittava
3. Lisätutkimuksia	yli 65 %	Täyttää asumisterveydelle vaaditun tason, mutta saattaa piillä kosteus- tai lämpötekkinen riski
4. Hyvä	Yli 70 %	Täyttää hyvän tason

Taulukon 4 avulla voidaan tulkita lämpötilaindeksien avulla lämpökuvista korjauksen tarvetta. Luokitus on jaettu 4 eri ryhmään.

3.7.2 Merkkisavut

Merkkisavujen avulla voidaan ylipainekokeen aikana paikallistaa ilmavuotokohtia. Merkkisavuja on monessa eri muodossa kuten kynänä sekä ampullina (kuva 3.3).



Kuva 3.3 Merkkisavuampulli (19.)

Merkkisavun avulla käydään läpi talon vaippa ja etsitään ilmavuotokohtia. Savua tupsautellaan pieniä määriä luultaviin vuotokohtiin ja paikallistetaan vuodot visuaalisesti. Savu pitää kohdistaa kohtisuoraan havaittua vuotoa kohtaan. (20.)

Merkkisavut ovat hyviä, koska niitä voidaan käyttää vuodenaikaan katsomatta. Mikäli rakennuksen vaippa on suuri, saattaa olla työlästä etsiä vuotokohtia merkkisavujen avulla. Lämpökuvaus kannattaa suorittaa alipaineen aikana ja ylipaineen aikana varmistaa vuotokohtat merkkisavuilla. (20.)

3.7.3 Ilmavirtausmittarit

Ilmavirtausmittareilla voidaan paikallistaa vuotoja. Mittari asetetaan ilmavuodon kohdalle ja mitataan vuodon määrä. Mittarin hyvänä puolena on, että sillä saadaan vuotoilman suuruus tietoon.

4 ILMANPITÄVYYDEN SUUNNITTELU JA ALIURAKOITSIJAT

Suunnittelulla on suuri osuus vaipan tiiveyteen. Suunnittelulla voidaan parantaa huomattavasti rakennuksen vaipan tiiveyttä ja vähentää kylmäsiltojen muodostumista, käyttämällä järkeviä rakenneratkaisuja ja miettimällä rakenteiden liittymiä sekä vähentämällä läpivientejä. Ilmanpitävään vaippaan tarvitaan kaikkien osapuolten yhteispeliä.

4.1 Suunnittelun ohjaus ja sopimukset

Suunnittelun ohjaus on tärkeässä asemassa, kun halutaan panostaa rakennuksen ilmanpitävyyteen. Ohjauksella voidaan varmistaa halutut rakenneratkaisut ja ohjata suunnittelijoita haluttuun suuntaan. Ohjauksella tilaaja voi varmistaa oikeat materiaalit suunnitelmiin. Materiaalien merkintä suunnitelmiin helpottaa urakkatarjousten pyytämistä sekä varmistaa oikeiden materiaalien käytön rakentamisvaiheessa.

Rakennuksessa tehtävät mittaukset olisi syytä määritellä rakenne- ja talotekniikkasuunnittelijoiden sopimuksissa. Tämä edes auttaa heitä panostamaan vaipan tiiveyteen ja miettimään tekemiään ratkaisuja. Yksi tapa olisi antaa suunnittelijoille lähtöarvot, joiden alle heidän pitää päästä suunnitelmillaan. Ilmatiivey-

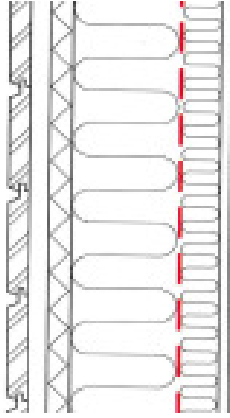
delle voitaisiin antaa suurimmaksi arvoksi n_{50} 1,5 1/h. Pitää muistaa, ettei kannata antaa liian tiukkoja arvoja, mikäli rakentamisella on vaikea päästä kyseisiin arvoihin. Edellä mainitulla asialla sopimuksissa saataisiin suunnittelijat panostamaan vaipan ilmanpitävyyden suunnitteluun. (8.)

4.2 Ilmanpitävyys suunnittelussa

Suunnittelijoiden pitäisi pelata yhteispeliä toistensa kanssa varmistuakseen suunnitelmien yhteensovittamisesta ilmatiiveyden kannalta. Suunnittelussa pitäisi välttää riskialttiiden liitosratkaisujen käyttöä, läpivientien määrää minimoida ja läpivientien sijoituspaikat pitäisi miettiä ennalta valmiiksi. Rakennusvaipan osat ja niiden väliset liitokset sekä läpiviennit on suunniteltava ja toteutettava niin, että niistä tulee ilmatiiviitä ja ilmanpitävyys ei vaarannu rakennuksen ikääntyessäkään. Rakenteiden suunnittelussa ja läpivienneissä pitää ottaa huomioon rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta, sisäilman laatu sekä viranomais määräykset. (1.)

Rakennerratkaisut vaikuttavat merkittävästi ilmatiiveyteen. Käyttämällä rakenteita, joissa voidaan minimoida läpivientien määrä sekä joissa on helppo tiivistää läpiviennit, saadaan vaipasta helpommin ilmanpitävä. Esimerkiksi betonisesta ulkoseinästä saadaan helpommin tiiviimpi kuin puisesta rankaseinästä, jossa käytetään höyrynsulkua.

Ilmanvaihtokanavien sijoittaminen vaipan sisäpuolelle vähentää läpivientien määrää. Rankarakenteisissa seinissä voidaan helposti vaikuttaa ilmatiiveyteen sijoittamalla höyrynsulku sisäpuolisen lisäkoolauksen taakse (Kuva 4.1). Näin sähköasiat voidaan asentaa seinään rikkomatta höyrynsulkua. Höyrynsulun ulkopuolella pitää kuitenkin olla vähintään 75 prosenttia seinän lämmöneristettä, jotta kosteus ei tiivisty höyrynsulkuun. Mikäli höyrynsulun sisäpuolelle tulee lämmöneriste, se asennetaan vasta, kun sisäpuoliset suurta kosteutta tuottavat työvaiheet on tehty ja suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta poistunut. Kuvassa 4.1 on höyrynsulku jätetty 50 mm päähän rakenteen sisäpinnasta. (1.)



Kuva 4.1 Höyrynsulku jätetty koolauksen taakse (3.)

Mikäli ei haluta tehdä lisäkoolausta seinään, voidaan sähköasiat asentaa pinta-asennuksina tai siirtää rasiat väliseiniin ja ehkäistä höyrynsulun läpiviennit.

Puurakenteisessa yläpohjassa kattotuolien alapintaan tehtävä koolaus pitää tehdä 50 mm puulla, tai vaihtoehtoisesti ristiinkoolata laudalla. Näin sähköasiat on helppo asentaa yläpohjaan, eivätkä ne jää painamaan höyrynsulkua rikki. Ristiinkoolaus helpottaa sähköjohtojen reititystä.

Rakennesuunnittelijan pitää tehdä suunnitelmat rakenteiden liittymistä sekä läpivienneistä, jotka liittyvät ulkovaipan tiiveyteen. Kuvien tulee olla helposti luettavia sekä niissä pitää olla esitetty tiiveys. Kuvat tulostetaan mittakaavaan 1:5. On myös tärkeää, että piirustuksissa esitetään läpivientien tiivistystavat sekä mahdolliset materiaalit. Suunnitelmat tulee tehdä tarpeeksi aikaisessa vaiheessa, jotta niiden vaikutus muihin töihin ja rakenteisiin voidaan ottaa huomioon työmaalla. Puurakenteisessa talossa voidaan joutua asentamaan höyrynsulkuja runkotyön yhteydessä, joten tiiveyssuunnitelmat pitää olla valmiina ennen runkotyötä. Höyrynsulun liitokset kahden tai useamman rakenteen kohdissa, pitää suunnitella etukäteen hyvän tiiveyden aikaansaamiseksi. Tästä esimerkkinä on ristikoilla toteutetun yläpohjan ja kantavan seinän liitos, jossa höyrynsulku pitää asentaa jo runkovaiheessa. (8.)

4.3 Ilmatiiveyden huomioiminen urakkasopimuksissa

Ilmatiiveys pitää ottaa huomioon tehtäessä LVIS- ja aliurakkasopimuksia. Urakkatarjousta pyydetessä pitää mainita tiiveyden varmistuksesta, koska se saattaa vaikuttaa urakkahintaan. Sopimukseen tulee kirjoittaa kenelle kuuluu vaipan läpivientien tiivistykset sekä miten tiivistykset tehdään, mikäli suunnitelmissa ei ole niitä mainittu. Sopimusvaiheessa on kerrottava, että kohteessa tullaan tekemään ilmatiiveysmittaus sekä ilmatiiveyteen kiinnitetään erityistä huomiota.

5 LAADUNVARMISTUS TYÖMAALLA

Ilmatiiveyden laadunvarmentamisella halutaan taata hyvä ja tasapuolinen laatu kaikissa yrityksen kohteissa. Yrityksessä olisi hyvä yhtenäistää ja vakiinnuttaa työmaiden välillä laadunvarmistus käytännöt. Nämä ohjeet olisi hyvä ottaa käyttöön yrityksen omassa tuotannossa sekä asuntorakentamisessa. Rakennuksen tiiveyden saavuttaminen lähtee jo suunnittelupöydältä ja etenee pikku hiljaa toteutukseen ja mittaukseen. Laadunvarmistus tarvitsee kaikkien osapuolten huomion, jotta haluttu laatu saavutetaan.

Työmaan laadunvarmistus koostuu kolmesta eri osa-alueesta, jotka ovat tehtäväkohtainen ja tilakohtainen laadunvarmennus sekä mittaukset. Laadunvarmistusohje on tarkoitettu työmaan avuksi laadunvarmentamisen ja oikeiden työtapojen saattamiseksi tietoisuuteen.

Tärkeää on tuoda työmaalla esille ilmatiiveyteen panostaminen muillekin kuin yrityksen omille työntekijöille. Tiiveyteen panostaminen ei auta elleivät kaikki ole mukana.

5.1 Tehtäväkohtainen laadunvarmistus

Vaipan ilmatiiveyden laadunvarmistuksen ensimmäinen osa on tehtäväkohtainen. Tehtäväkohtaisella laadunvarmistuksella varmistetaan tehtävän oikea työ-

tapa sekä sen laadunvarmistus työmaalla. Kyseinen työvaihe on tärkeä, koska siinä käydään asennustyöryhmän kanssa läpi tehtävälle asetetut tavoitteet ja työtavat. Tehtäväkohtainen laadunvarmistus pitää sisällään aloituskokouksen, mallityön tarkastukset ja loppupalaverin. Tehtäväkohtaiseen laadunvarmistukseen tehdään omat tarkistusasiakirjat, joita käytetään työmaalla.

Ennen tehtävän aloitusta pidetään aloituspalaveri, johon osallistuu koko asennustyöryhmä. Aloituspalaverissa käydään läpi tehtävän työtavat, vaatimukset, laatu ja aikataulu sekä näiden varmentamismenetelmät. Tärkeää on, että koko asennustyöryhmä on mukana, jotta kaikki ymmärtävät työnsisällön ja vaatimukset. Aloituspalaverista tehdään pöytäkirja, joka arkistoidaan laatukansioon.

Asennustyöryhmä tekee kyseisestä tehtävästä mallityön, joka tarkastetaan. Tarkastuksessa käydään läpi tiiveyteen vaikuttavat asiat. Mallityö korjataan, jos siinä on virheitä ja virheet merkataan pöytäkirjaan. Hyväksytyin mallityön jälkeen työryhmä voi jatkaa tehtävää. Muissa tarkastuksissa kiinnitetään huomiota mallityössä sattuneisiin virheisiin, jotta ne eivät uusiutuisi. Tämä vaihe osoittaa hyvin, onko työryhmä omaksunut tehtävän sisällön.

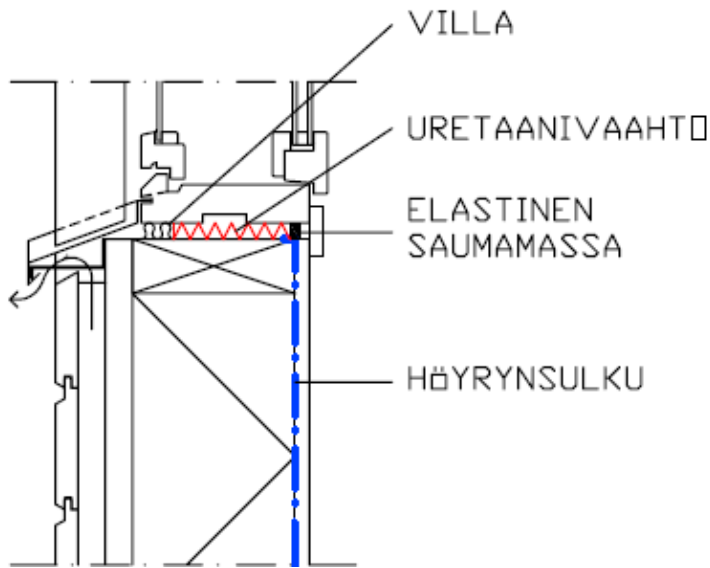
Työryhmä tekee tarkistusasiakirjan mukaan tarkastuksia tehtävään liittyvissä töissä. Tarkistusasiakirjat arkistoidaan laatukansioon.

Lopetuspalaveri on tiedon ja palautteen keräämisvaihe. Tämä on tärkeä, koska kyseisen palaverin pohjalta pystytään kehittämään tehtävää. Lopetuspalaverissa on hyvä puhua työryhmän kesken parannusvaihtoehdoista sekä pohtia mahdollisesti epäonnistuneita työvaiheita. Lopetuspalaverin pöytäkirja dokumentoidaan laatukansioon ja tehdään mahdollisesti parannuksia tehtävän sisältöön, jotta virheet eivät uusiutuisi.

Tehtäväkohtainen laadunvarmistus suoritetaan kaikista tehtävistä, joilla on tekemistä vaipan tiiveyden kannalta. Näitä ovat ikkuna-asennus, ulko-ovi-asennus, betonielementtien asennus, radonkaistat, vaipan läpivientien tiivistykset, höyrynsulun asennus ja rakenteiden liittymät.

5.1.1 Ikkunat ja ovet

Ikkunoiden asennuksessa pitää tarkistaa aina karmin ristimita, jotta puite tiivistyy kunnolla karmiin ja ettei väliin jää ilmarakoja. Karmin ja seinän väliin tulisi jättää vähintään 10 mm rako, jotta tiivistys voidaan tehdä kunnolla. Karmin ja seinän välin tiivistys voidaan tehdä eristysvaahdolla, mineraalivillalla tai kuituriiveillä. Hyvän lämmöneristyksen vaatiessa tiivistetään väli polyuretaanisauma-vaahdolla. Pitää myös huomioida, että karmi ei pullahda vaahdon takia. Kuvassa 5.1 on esitetty yksi tapa tiivistää ikkuna puurunkoiseen seinään.



Kuva 5.1 Ikkunan tiivistys höyrynsulkuun

Kuvasta 5.1 voidaan havaita, että karmin etupuoli tiivistetään villalla, jolloin vesihöyry pääsee haihtumaan pois. Villaa vasten on helppo vaahdottaa polyuretaani. Höyrynsulku käännetään karmin ja rungon väliin sekä vaahdotetaan rako ja kitataan se elastisella saumamassalla. Vaahdotuksen aikana ikkunalasien kaikki lukot pitää olla kiinni. Saumausvaahdon sisäpinta toimii höyrynsulkuna, niin kauan kunnes sitä leikataan. Yleensä saumavahto turpoaa yli karmin ja se joudutaan leikkaamaan. Raon höyrytiiviksi saaminen edellyttää tämän takia karmin kittaamista seinään elastisella saumamassalla tai vaihtoehtoisesti teip-
paamalla siihen tarkoitettulla teipillä. Kittauksen etuna on parempi äänieristys.
(21.)

Vaippaan asennettavien oviin käyvät samat ohjeet kuin ikkunan asennuksessa. Suuret ovet ja ikkunat pitää asentaa kiiloja apuna käyttäen. Huoneiston oven karmi ja seinän väli pitää tilkitä kivivillalla ääneneristyksen takia sekä kitata elastisella saumamassalla.

5.1.2 Betonielementit

Betonielementtien tiiveys pitää ottaa huomioon elementtiasennussuunnitelmassa. Suunnitelmassa pitää ottaa kantaa saumojen täyttötapaan, jotta saadaan tiivis vaippa.

On kolme työtapaa, joita käytetään saumojen täyttämässä. Kaikilla kolmella tavalla saadaan tiivis sauma, mutta toisissa joudutaan käyttämään enemmän työpanosta. Työtavan valintaan liittyy aikataulu, resurssit, raha sekä työn osaa-mistaito.

Tiivein tulos saadaan tekemällä saumoihin painemuotit ja juottamalla ne juotosbetonilla täyteen. Ulkoseinäelementtien juottaminen tuottaa vaikeuksia muotin teon kanssa ylemmissä kerroksissa. Työkohteeseen ei ole mahdollisesti saatavilla nostinta, jonka avulla päästään tekemään ulkoseinälle juotosmassan sisällä pitävä muotti. (1.)

Toinen tapa on pumpata saumat täyteen siihen tarkoitetulla massalla. Tämän tavan huonona puolena ovat ulkopuolelta vajaat saumat, mikäli ulkopuolella ei käytetä stopparia. Tämän takia saumat joudutaan paikkaamaan ulkopuolelta ennen lämmöneristeen asentamista seinään. Etenkin alasaumat saattavat jäädä erittäin vajaiksi, koska sauma saattaa olla matala ja toisella puolella ei ole stopparia, mitä vasten pumpata. Alasauman korkeuteen olisi hyvä kiinnittää huomiota kyseistä tapaa käytettäessä. Saumojen täyttöastetta voidaan tarkkaila poraamalla reikiä saumoihin sekä visuaalisesti sauman toiselta puolelta. Kyseiset tarkastukset pitää tehdä tätä tapaa käytettäessä. Kuvassa 5.2 on kanta-va ulkoseinän sisäkuorielementti. (22.)



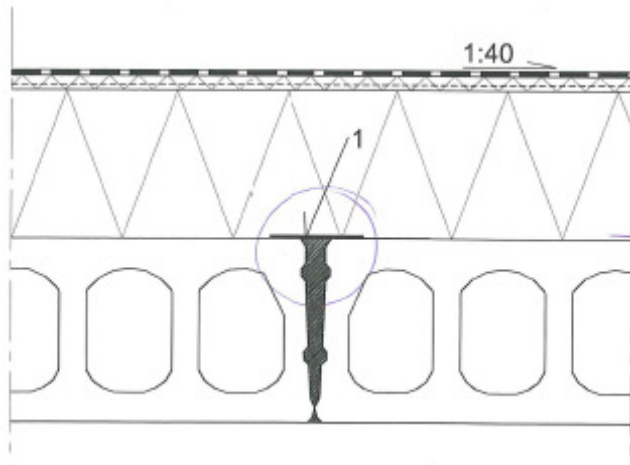
Kuva 5.2 Elementin alasauma tehty pumppauksella.

Kuvasta 5.2 voidaan nähdä erittäin vajaa elementin alasauma. Syyt sauman vajavaisuuteen ovat matala sauma sekä stopparin käyttämättä jättäminen.

Kolmas tapa soveltuu elementtien alasaumoihin. Elementin alle laitetaan valmiiksi juotosmassaa ja tämän jälkeen elementti nostetaan sen päälle. Massan vähän kovettuttua työnnetään ylimääräiset purseet pois. Tämä tapa on huono, jos elementtiä joudutaan siirtelemään paikallaan. Silloin on suuri riski, että saumaan jää tyhjää, koska massa pursuaa ulos saumasta. Tässä tavassa pitää käyttää tarpeeksi massaa elementin alla. (22.)

Saumoihin mahdollisesti tulevia suuria halkeamia estetään raudoituksella. Suuria halkeamia voidaan täyttää pintakäsittelyaineilla tai elastisilla massoilla. (1.)

Ontelolaatoista tehdyn yläpohjan tiiveyden voi varmistaa valamalla raudoitetun pintalaatan onteloiden päälle, levittämällä höyrynsulkumuovin onteloiden päälle tai liimaamalla saumojen päälle bitumikermikaistat. Kuvassa 5.3 on tiiveys varmistettu hitsaamalla ontelosauman päälle bitumikermikaista. (1.)



Kuva 5.3 Ontelolaattasauman tiivistys (3.)

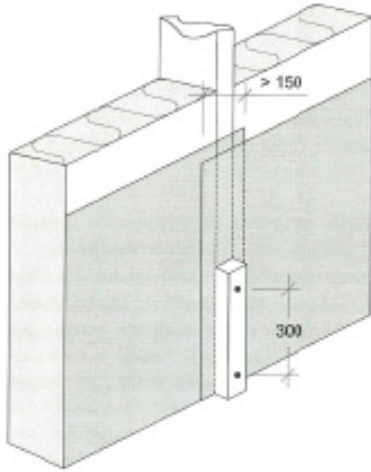
Bitumikermikaistojen pitää olla vähintään 200 mm leveitä sekä joustavia. Varmempi tapa on levittää kermi kauttaaltaan laatastun päälle. Varsinaisissa liikuntasaumoissa bitumikermikaistojen pitää olla tarpeeksi leveitä ja irrotettuja liikuntasaumojen kohdilta. (3.)

Muovikalvon taas pitää olla ehjä sekä hyvin tiivistetty. Muovikalvo ei ole hyvä vaihtoehto, koska sen alle saattaa jäädä rakennusaikana huomattavasti kosteutta. Myös muovikalvon tiivistäminen onteloiden päälle sekä sen ehjänä säilyttäminen on haastavaa. (1.)

5.1.3 Ilmansulku ja höyrynsulku

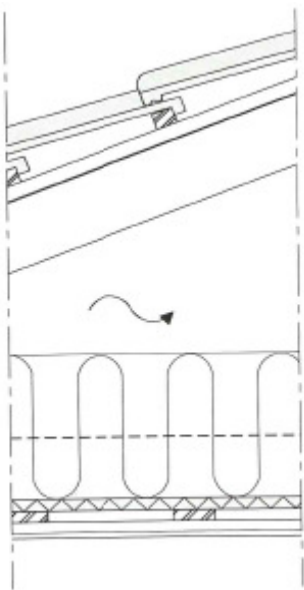
Höyrynsulkuna voidaan käyttää siihen tarkoitettua muovikalvoa, höyrynsulkupaperia tai levyistä höyrynsulkulevyä, kuten solumuovieristelevyä. Höyrynsulut toteutetaan yleensä kalvomaisilla tuotteilla, kuten höyrynsulkumuoveilla tai höyrynsulkupapereilla. Höyrynsulkumuovit ja -paperit tulisi liittää toisiinsa puristusliitoksella. Limitsleveyden pitää olla vähintään 150 mm, ja limitys pitää tehdä kahden kiinteän kappaleen väliin. Kappaleet pitää liittää vähintään 300 mm välein toisiinsa. Ruuvaus on tässä parempi tapa kuin naulaus, koska se pitää liitoksen tiiviimpänä ajan kuluessa. Mikäli liitosta ei pystytä tekemään puristusliitoksena, se pitää teipata tai tehdä tiivistysmassalla. Höyrynsulun liitoksissa ja

limityksissä pitää ottaa huomioon sauman tiiveys koko rakennuksen suunnittelulle. Kuvassa 5.4 on esitetty höyrynsulun limitys puristusliitoksena. (3.)



Kuva 5.4 Höyrynsulun limitys seinässä (3.)

Höyrynsulku voidaan tehdä myös levymäisenä esimerkiksi polyuretaanilevyllä. Hyviä puolia levymäisessä höyrynsulussa on läpivientien tiivistäminen sekä liitosten tiivistäminen. Levyjen asentaminen on hitaampaa sekä materiaalina kalliimpi ratkaisu kuin kalvot. Levyjäisen höyrynsulun paksuuden tulee olla vähintään 20 mm, ja tuotteen riittävästä höyrynsulusta pitää varmistua. Kuvassa 5.5 on esitetty yläpohjan höyrynsulku levyillä tehtynä. (1.)



Kuva 5.5 Yläpohjan höyrynsulku levyillä tehtynä (3.)

Yläpohjan höyrynsulku olisi järkevää tehdä levyillä, koska läpivientien tiivistäminen on helpompaa. Levymäiset höyrynsulut liitetään toisiinsa polyuretaanivaahdolla, ja sauman tiiveys varmistetaan teippaamalla sauma. Saumanleveyden tulee olla vähintään 10 mm, jotta sauma pystytään helposti vaahdottamaan polyuretaanivaahdolla. Levymäisissä höyrynsuluissa on hyvänä puolena läpivientien tiivistäminen. Läpivientien ympärille pitää jättää 10 mm rako, jotta läpivientävä kappale pystytään tiivistämään kunnolla höyrynsulkuun. (1.)

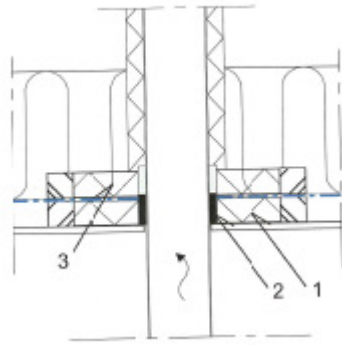
Läpiviennit

Höyrynsulun läpivienneissä pitäisi käyttää valmiita läpivientikappaleita. Näin voidaan parhaiten taata pitkäikäinen tiiveys. Kuvassa 5.6 höyrynsulkukalvo on tiivistetty läpivientilaipalla.



Kuva 5.6 Läpivienti tiivistetty läpivientilaipalla (15.)

Kuvasta 5.6 voidaan havaita, että valmiilla läpivientilaipalla saadaan tiivis liitos eikä sitä tarvitse jälkikäteen "parsia" tiiviiksi. Näin saatetaan helposti säästää rahaa ja aikaa, koska ei tarvitse jälkikäteen vielä mennä ullakolle tiivistelemään läpivientiä. Tämä tapa on myös varmempi, koska jälkikäteen tehtävä tiivistäminen saattaa unohtua, sekä sitä saattaa olla vaikea saada tiiviiksi ahtaalla ullakolla. Kalvomaisen höyrynsulun läpivienti voidaan myös tiivistää polyuretaanilevyllä. Tässä tapauksessa levy asennetaan höyrynsulun päälle. Levyyn tehdään reikä, jossa pitää olla 10 mm vaahdotusvara läpiviennin ympärillä. Levy on helppo tiivistää vaahdottamalla kiinni höyrynsulkuun. Kuvassa 5.7 höyrynsulun läpivienti on tiivistetty levyillä. (1.)



Kuva 5.7 Läpiviennin tiivistäminen levyillä (3.)

Kuvassa 5.7 näkyvä tapa on huomattavasti hitaampi tehdä kuin valmis läpivientikaulus. Levyihin on tehty noin 20 mm suurempi reikä kuin läpivietävä putki. Höyrynsulku on tiivistetty levypalasten väliin ja putki on tiivistetty levyihin.

Sähkörasian tiivistäminen kalvomaiseen höyrynsulkuun on vaikeaa. Yksi vaihtoehto on tehdä höyrynsulkuun pienempi reikä kuin rasia. Liitoksesta tulee tiivis, mutta ikääntyessä höyrynsulkumuovi saattaa haurastua ja läpivienti alkaa vuotaa. Sähköasiat voi tiivistää höyrynsulkuun myös kuvan 5.8 mukaisella kotelolla.

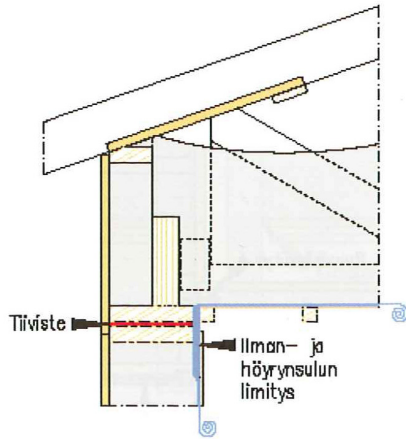


Kuva 5.8 Sähkörasian tiivistyskotelo (23.)

Kuvan 5.8 kotelo tiivistetään höyrynsulkuun sähkörasian ympärille. Työmaateknisesti on vaikeaa kiinnittää koteloa höyrynsulkuun, koska se tulee höyrynsulun ulkopuolelle. Vaikka kotelo saataisiin asennettua, siihen täytyy tehdä reikiä sähkörasiaan tuleville putkille ja ne pitäisi tiivistää. Paras vaihtoehto on välttää sähkörasioiden asentaminen ulkoseinille, jos höyrynsulku on suoraan sisäpinnassa. Olisi parempi asentaa rasiat väliseiniin. Muussa kuin asuinrakennuksessa voidaan myös harkita pinta-asennuksia.

Rakenteiden liittymät

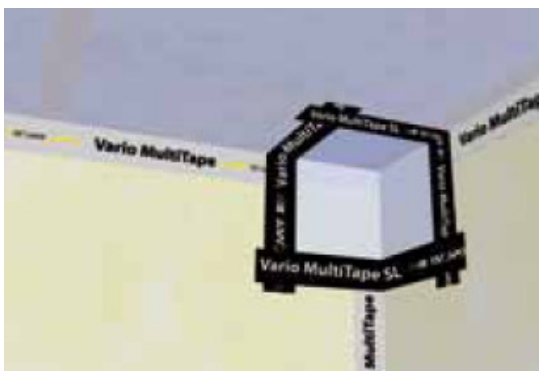
Rakenteiden liittymissä pitää olla tarkkana höyrynsulkujen limityksissä. Kuvassa 5.9 on esitetty höyrynsulun limitys ulkoseinän ja yläpohjan liittymässä.



Kuva 5.9 Höyrynsulun limitys seinän ja yläpohjan liitoksessa (8.)

Kuvasta 5.9 voidaan havaita, että höyrynsulun limitys tehdään kovaa kappaletta vasten.

Höyrynsulut on vaikeita toteuttaa kolmen eri rakenteen liitoksissa. Kalvomaisia höyrynsulkumuoveja voi olla vaikea asentaa nurkkaan ilmatiiviisti. Kuvassa 5.10 on esitetty kolmen rakenteen liittymä, jossa on käytetty valmista tiivistyskappaletta.



Kuva 5.10 Nurkan tiivistyskappale (24.)

Kuvassa 5.10 höyrynsulut on ensin asennettu ja sen jälkeen nurkka on tiivistetty käyttämällä tiivistyskappaletta. Tiivistyskappale on teipattu höyrynsulkuihin ilmatiiviisti.

Puurankatalossa mahdollisen välipohjan palkit lävistävät yleensä höyrynsulun (kuva 5.11). Tämän liitoksen tiiveys kannattaa miettiä valmiiksi ennen runkotyötä. Tiivistykseen on tehty valmiita tiivistyskappaleita.

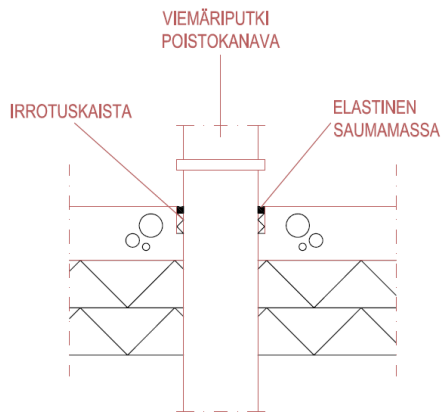


Kuva 5.11 Palkin läpivientikappale (24.)

Kuvassa 5.11 välipohjapalkki on tiivistetty valmiilla tiivistyskappaleella höyrynsulkuun. Tiivistyskappale on teipattu ilmatiiviisti palkkiin sekä höyrynsulkuun. Toinen ratkaisu on, ettei höyrynsulkua puhkaista välipohjapalkilla, vaan kannatus hoidetaan muuten kuin viemällä palkki seinän päälle.

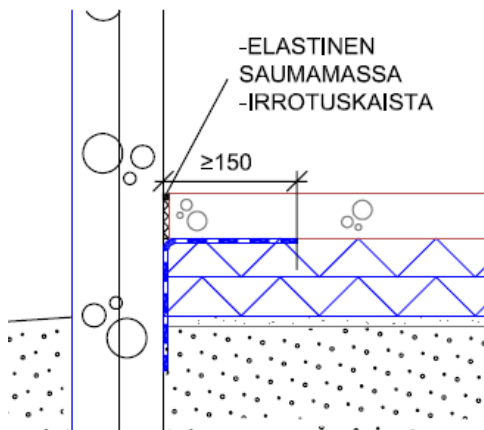
5.1.4 Maanvarainen alapohja

Maanvaraisessa betonilaatassa pitää ottaa huomioon tiiveyden kannalta läpivientien tiivistämiset sekä laatan ja seinän liitoksen tiiveys. Kaikki laatan lävistävät läpiviennit pitää irrottaa laatasta irrotuskaistalla noin puolesta välistä laattaa. Läpivienti kitataan elastisella saumamassalla maanvaraiseen lattiaan (kuva 5.12).



Kuva 5.12 Läpiviennin tiivistys alapohjassa

Laatan lävistävät putket kitataan tarpeen mukaan myös sisäpuolelta tai vaahdotetaan polyuretaanilla. Laatan lävistäviin seiniin sekä ulkoseinille pitää asentaa ilmatiivis radonkaista, joka käännetään laatan ja lämmöneristeen väliin. Radonkaistan pitää ulottua vähintään 150 mm laatan alle (kuva 5.13). Radonkaistat limitetään 50 mm toistensa päälle. Laatta irrotetaan perusmuurista irrotuskaisella ja kitataan perusmuuriin kiinni elastisella saumamassalla. Kuvassa 5.13 on esitetty laatan tiivistäminen betonista tehtyyn perusmuuriin. (25.)



Kuva 5.13 Maanvaraisen betonilaatan liitos betoniseen perusmuuriin

5.1.5 Tiivistykset

Rakennuksen monet kittaamalla tehtävät tiivistykset tehdään samanaikaisesti. Tämä johtuu yleensä siitä, että työ teetetään aliurakoitsijalla. Rakennuksen tiivistystöitä ovat ikkunoiden ja ovien kittaaminen, maanvaraisen alapohjan kittaukset ja LVIS-läpivientien kittaaminen. Näistä töistä kannattaa tehdä myös tehtävä-

kohtainen tarkastelu. Tärkeää kittauksessa on sauman eheys, tartunta sekä sauman paksuus. Sauman paksuus saattaa vaihdella ääniteknisistä syistä ulkoseinillä.

Ilmastointi- ja viemäriputkien tiivistys betonirakenteessa on helppo toteuttaa sisäpuolelta kittamalla elastisella saumamassalla. Varaukset holveissa tulisi juottaa tarpeeksi juoksevalla aineella. (25.)

Rakennuksien osastoiviin sisäseiniin ja välipohjiin pitää myös kiinnittää huomiota äänen, palon ja tiiveyden takia. Sisäseinät tehdään yrityksessä pääosin paikalla valaen. Valuseinien muotin kiinnitysreikiin pitää kiinnittää huomiota. Reiät pitäisi ääni-, palo- ja ilmatiiveys teknisesti juottaa kiinni juotosmassalla. Muotteja varten laitettavat puiset ohjauskiilat pitää poistaa heti suurmuottien purun jälkeen ja reiät pitää juottaa täyteen. Ääniteknisesti tärkeää on varmistaa, ettei seinän molemmin puolin ole samassa kohdassa pistorasioita.

5.2 Tilakohtainen laadunvarmistus

Tilakohtaisella laadunvarmistuksella tarkoitetaan yleispiirteistä tarkastusta. Siinä tarkastellaan rakenneosia kokonaisuutena. Siinä varmistetaan, että kaikki rakenneosan tiivistykset on tehty. Tilakohtaisessa laadunvarmistuksessa varmistetaan koko tilan tiiveys ennen peittävien rakenteiden sulkemista, koska on helppo vielä tehdä korjauksia tiiveyden saavuttamiseksi. Esimerkiksi ennen listoitusta tarkistetaan, että kaikki ikkunat on kitattu.

Tilakohtaisessa varmistuksessa käydään läpi yksitellen rakenteet, kuten seinät tai lattia. Joissakin tapauksissa rakennusosat joudutaan tarkistamaan kahteen kertaan. Esimerkkinä tästä on maanvarainen alapohja. Ensimmäinen tarkastus tehdään ennen lattian valua ja jälkimmäinen ennen päällysteiden asentamista. Tilakohtaisesta tarkastuksesta tehdään myös dokumentointi tarkastusasiakirjojen avulla. Mikäli tehtäväkohtaisen laadunvarmentamisen tarkastukset on tehty huolella, voidaan kyseiset vaiheet ohittaa tilakohtaisessa laadunvarmistuksessa.

5.2.1 Alapohjat

Maanvaraisen laatassa pitää tehdä kaksi eri tarkastusta. Ensimmäisessä tarkastuksessa ennen laatan valua tarkastetaan radonkaistojen ja irrotuskaistojen asennukset. Toisessa tarkastuksessa ennen pintarakenteiden tekemistä tarkastetaan läpivientien ja muut kittaukset.

5.2.2 Ulkoseinät

Puurakenteisissa ulkoseinissä tarkastuksia on kaksi. Ensimmäinen on höyrynsulun asennuksen jälkeen ja ennen levytystä. Tässä tarkastuksessa tarkastetaan läpivientien tiivistykset sekä höyrynsulun limitykset sekä liitokset. Mikäli ikkunat ja ovet tiivistetään teippaamalla höyrynsulkuun, pitää tässä vaiheessa tarkastaa myös ne. Jälkimmäinen tarkastus on kaikkien tiivistysten jälkeen, mutta ennen listoituksia. Tässä tarkastetaan kaikki kittaukset.

Betonirakenteisissa ulkoseinissä on myös kaksivaiheinen tarkastus. Ensimmäinen tarkastus on ennen tasoitusten aloittamista. Tässä vaiheessa tarkastetaan läpivientien tiivistykset sekä elementtisaumojen tiiveys ulkoseinissä. Sisäseinissä tarkastetaan muotin reikien paikkaukset sekä varausten tiivistykset. Toinen tarkastus on ennen listoituksia ja tarkastuslistalla on ikkunoiden ja ovien kittaukset sekä loput sisäseinien läpiviennit, jotka ovat alakattojen yläpuolella.

5.2.3 Yläpohjat

Puurakenteisessa yläpohjassa tarkastus on ennen levytystä. Tässä tarkastetaan höyrynsulun liitokset ja läpiviennit sekä ettei höyrysulussa ole reikiä.

Betonirakenteisessa yläpohjassa tarkastetaan läpivientien tiivistykset ennen tasoitusten tekemistä. Onteloyläpohjassa tarkastellaan myös saumojen tiiveys.

5.3 Mittaukset

Mittaus on viimeinen vaihe laadunvarmistuksessa. Mittauksilla varmistetaan ehjänä säilynyt vaipan tiiveys. Mittauksia voidaan tehdä rakennusvaiheessa oleviin rakennuksiin sekä valmiisiin rakennuksiin. Rakennustyön aikana tehtävillä mittauksilla pystytään vielä vaikuttamaan hyvin vaipan tiiveyteen, koska silloin on helpompi korjata vuotokohtia. Mittauksiin kuuluu vaipan ilmatiiveydenmittaus sekä lämpökuvaukset.

6 MITTAUSKOHDE

6.1 Kohteen yleistiedot

Mittauskohde valittiin sopivan aikataulun takia. Mittauskohde oli luovutusvaiheessa oleva puurakenteinen koulu. Kohteessa tehtiin mittauksen aikana viimeistelytyöt. Rakennus toteutettiin KVR-urakkamuotona, eli pääurakoitsija vastaa suunnittelusta ja toteutuksesta. Tästä urakkamuodosta voitaisiin puhua ”avaimet käteen” -periaatteella. Opinnäytetyön tilaaja toimi kohteen KVR-urakoitsijana.

Kohteessa on alapohjana maanvarainen 100 mm paksu teräsbetoni-laatta, jonka alla on 225 mm EPS-eristettä. Laatan alle on asennettu radonkaistat. Laatta on irrotettu 5 mm solumuovieristeellä perusmuurista, laatan lävistävistä seinistä sekä läpivienneistä. Lattia tasoitettiin pumpputasoiteella, joka tiivistettiin omalta osaltaan laatan muihin rakenteisiin. Ulkoseinät on toteutettu puurankaseininä. Tuulensuojana toimii 50 mm tuulensuojavilla. Höyrynsulkuna toimii höyrynsulkumuovi, joka on heti kipsilevyn takana sisältä päin katsottuna. Höyrynsulun limitykset tehtiin aina runkotolpan kohdalla. Yläpohja on toteutettu puuristikoidilla ja koolaus tehty 50x50 puulla. Höyrynsulkujen limitykset on tehty kahden puun välissä puristusliitoksena (kuva 6.1).



Kuva 6.1 Höyrynsulun puristusliitos yläpohjassa

Kohteen rakennesuunnittelussa ei otettu huomioon ilmatiiveyttä, muuten kuin radonkaistoilla alapohjassa. Rakennesuunnittelijan mukaan se johtuu siitä, etteivät tilaajat vaadi vielä tiiveyden esittämistä suunnitelmissa.

Rakentamisvaiheessa työmaalla panostettiin vaipan ilmanpitävyyteen. Höyrynsulun asennuksista käytiin aloituspalaveri työntekijöiden kanssa. Palaverissa käytiin läpi, miten limitykset tehdään ja läpivientien minimointi sekä läpivientien tiivistys. Kohteessa otettiin huomioon tiiveys välttämällä vaipan läpivientejä sekä tiivistämällä läpiviennit hyvin. Myös höyrynsulkujen limityksiin ja liitoksiin kiinnitettiin huomiota tekemällä ne puristusliitoksina. Kohteessa tiivistettiin kittaamalla kaikki ikkunat ja ovet runkoon. Ulkoseinille sijoitetut sähkörsiat vaihdettiin rakentamisvaiheessa pinta-asenteisiin, jotta ei tarvitsisi puhkoa höyrynsulkua ja osa rasioista sijoitettiin väliseiniin. Yläpohjan läpiviennit tiivistettiin solumuovilla ja polyuretaanilevyllä.

6.2 Mittauksien tavoite

Kohteessa oli tarkoitus tehdä ilmatiiveysmittaus ja sen apuna käyttää ilma-
vuotokohtien paikantamisessa lämpökameraa. Tarkoituksena oli etsiä vuoto-
kohtia vaipasta sekä selvittää, mihin asioihin pitää kiinnittää huomiota vaipan

tiiveyden saavuttamiseksi ja mitä pitää ottaa huomioon ilmatiiveysmittaukseen valmistautumisessa.

6.3 Ilmatiiveysmittaus

Ilmatiiveysmittaus suoritettiin 1,5 viikkoa ennen kohteen luovutusta. Mittaus tehtiin perjantai-iltapäivänä, koska tarkoituksena oli häiritä mahdollisimman vähän työntekoa. Tiivistykset oli tehty ennalta valmiiksi. Ilmatiiveysmittauksen ohessa oli tarkoitus etsiä ilmavuotoja alipainekokeen aikana lämpökuvauksella.

Mittauksesta rajattiin pois eri palo-osastoihin kuuluvat IV-konehuone sekä tekninen tila ja purunpoistuhuone. Näihin tiloihin ei ollut sisäkautta pääsyä, vaikka tilat sijaitsevat rakennuksen vaipan sisäpuolella.

Rakennuksen ilmanvaihtolaitteisto on eri palo-osastossa. Tämän takia ilmanvaihto oli helppo tiivistää palo-osastojen välisillä palopelleillä (kuva 6.2).



Kuva 6.2 Ilmanvaihtokanavien palopellit suljettuina

Kahdesta WC-ryhmästä jäteilma poistettiin huippumurin avulla ulkoilmaan, jotta tiivistettiin katolta (kuva 6.3).



Kuva 6.3 Huippuimuri tiivistetty

Tiivistämisessä käytettiin teippiä ja höyrynsulkumuovia (kuva 6.3). Keittiöstä oli oma jäteilmapoisto katolle. Se suljettiin katolta. Kaikki vesipisteet käytiin läpi ennen tiiveyskoetta. Lattiakaivoihin ja lavuaarien hajulukkoihin laskettiin vettä, jotta viemäristä ei pääsisi vuotoilmaa. Väestönsuoja oli ennen ilmatiiveyskoetta koepaineistettu, joten sitä kautta menevät ilmanvaihtoputket ja purunpoisto teknisiin tiloihin oli estetty. Ennen koetta varmistettiin kaikkien tuuletusikkunoiden sekä ulko- ovien olevan kiinni ja väliovet aukaistiin ennen mittausta. Ilmatiiveysmittalaitteisto sijoitettiin rakennuksen pääoveen, joka oli rakennuksen kaakkoon olevassa päädyssä (kuva 6.4).



Kuva 6.4 Mittauslaitteisto asennettu ulko-oveen

Mittauksessa käytettiin Minneapolis BlowerDoor laitteistoa (kuva 6.4). Kuvassa 6.4 näkyy koko ilmatiiveyslaitteisto sekä paine-eromittari. Kyseinen laitteisto on varustettu tietokoneohjatulla säätö- ja tiedonkeruujärjestelmällä. Laitteiston teho riittää puhaltamaan 7500 m^3 ilmaa tunnissa. Laitteisto soveltuu keskikokoisen kerrostalonkin ilmatiiveysmittaukseen, mikäli kerrostalossa on otettu ilmatiiveys huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa.

6.3.1 Ilmatiiveysmittauksen tulos

Rakennuksessa tehtiin yhteensä neljä ilmatiiveysmittausta, joista kaksi tehtiin alipainekokeena ja toiset kaksi taas ylipainekokeena. Ensimmäinen alipainekoe epäonnistui, koska mittauksen jälkeinen paine-eron mittaus epäonnistui. Tietokoneohjelma mittaa silloin paine-eron rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välillä. Tästä mittauksesta saimme n_{50} arvoksi $0,45 \text{ 1/h}$. Suoritimme heti perään uuden alipainemittauksen, joka antoi tuloksen $n_{50} = 0,46 \text{ 1/h}$. Jälkimmäistä arvoa

käytimme laskiessamme rakennuksen ilmavuotolukua. Ensimmäisen ylipainekokeen aikana rakennuksen ulko-ovia auottiin. Tämä vääristi mittauksen tulosta ja mittauksessa meni kauan aikaa. Tästä saimme tulokseksi $n_{50} = 0,64$ 1/h. Uusimme ylipainekokeen ja tyhjensimme rakennuksen muista henkilöistä. Tästä kokeesta saimme tuloksesi $n_{50} = 0,60$ 1/h, ja tätä arvoa käytettiin laskettaessa rakennuksen ilmavuotolukua. Rakennuksen ilmavuotoluvuksi saatiin $n_{50} = 0,5$ 1/h. Rakennus kelpaisi ilmavuotoluvun perusteella passiivitaloksi, koska alittaa passiivitalolle määritellyn ilmavuotoluvun 0,6 1/h ali- ja ylipaineella mitattaessa. Ilmatiiveysmittausten tulokset ovat liitteessä 1 ja ilmatiiveysmittausraportti liitteessä 3.

Rakennukselle laskettiin myös ilmavuotoluku q_{50} , joka ottaa huomioon rakennuksen sisätilavuuden suhteen vaipan pinta-alaan. Q_{50} arvoksi saatiin $0,7 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Sisäilmastoluokitus 2008 oppaassa suositellaan ilmanpitävyyden q_{50} arvon enimmäisarvoksi 1- $1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ sisäilmaluokissa S1 ja S2. (26.)

6.4 Lämpökuvaus

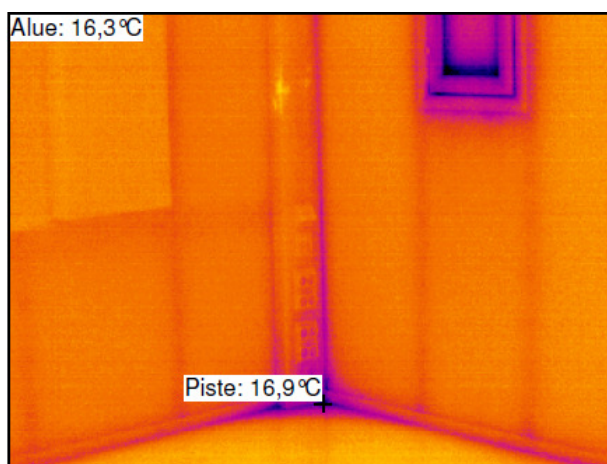
Kohteessa suoritettiin lämpökuvaus ilmatiiveysmittauksen yhteydessä sekä sen jälkeen. Alipainekokeen aikana tehtävässä lämpökuvauksessa oli tarkoitus etsiä vaipasta vuotokohtia. Lämpökuvausta suoritettiin sekä alipainekokeen aikana että alipainekokeen jälkeen, ennen rakennuksen ylipainekoetta. Alipainetta ei saatu pidettyä yllä kokeen jälkeen, joten jouduimme kuvaamaan osan lämpökuvista ilman alipainetta. Lämpökuvaus suoritettiin rakennuksen sisäpuolelta, kiertämällä talo ympäri. Lämpökuvien ottopaikat merkittiin pohjapiirustukseen, myöhemmän tulkinnan helpottamiseksi. Sääolosuhteet olivat hyvät lämpökuvauksen suorittamiseen. Lämpökuvaus jäi aika suppeaksi aikataulun tiukkuuden takia. Tämän takia kohteessa tehtiin seuraavalla viikolla laajempi lämpökuvaus.

Lämpökuvauksessa käytettiin FLIR ThermaCAM 695 -lämpökameraa (kuva 6.5). Kameralla pystyi tallentamaan sekä lämpökuvan että valokuvan kuvattavasta kohteesta. Kuvattaessa käytettiin apuna jalustaa, kameran vakavoittamiseksi ja lisänäyttöä, jonka avulla oli helpompi kuvata (kuva 6.5).



Kuva 6.5 FLIR ThermaCAM 695 -lämpökamera

Lämpökuvauksella ei löydetty pahoja vuotokohtia. Lämpökuvat ovat liitteessä 2. Vuotoja havaittiin tuuletusikkunoiden tiivisteissä sekä savunpoistoikkunoissa. Lämpökuvauksella havaittiin myös kylmäsiltoja rakennuksen ulkonurkissa (kuva 6.6).



Kuva 6.6 Lämpökuva rakennuksen ulkonurkasta.

Kuvassa 6.6 on kuvattu sisäpuolelta rakennuksen ulkonurkka, jossa on havaittavissa kylmäsilta. Lämpökuvauksella huomattiin ulko-ovien tiivisteiden vuodot.

Yläpohjaa kuvatessa rakennuksen sisävalaistus sekä ääneneristysvillat häiritsevät lämpökuvausta. Valot olisi pitänyt sammuttaa puolta tuntia aikaisemmin pois päältä.

7 PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä rakennuksen ilmanpitävyyteen ja sen mittaukseen sekä tehdä laadunvarmistusohje. Tässä mielestäni onnistuttiin hyvin, ja ohje on tulevaisuuden kannalta tärkeä yritykselle. Ohjeen avulla voidaan yhtenäistää yrityksen sisällä rakentamiskäytännöt sekä laadunvarmistus. Ohjeen avulla työjohto pystyy helpommin valmistautumaan mittauksiin sekä tekemään tarvittavat toimenpiteet ilmanpitävyyden kannalta.

Mittauskohteessa tehdyt mittaukset antoivat paljon tietoa niiden suorittamisesta ja niihin valmistautumisesta. Mittaus kannattaa tehdä sellaisena päivänä, jolloin rakennuksessa ei ole muita henkilöitä. Mikäli se ei ole mahdollista, pitää rakennus tyhjentää muista henkilöistä sekä lukita ovet. Näin voidaan välttää, että kukaan ei aukaise ovea tai ikkunaa painekokeen aikana. Mittauksen tekemiseen soveltuu hyvin lauantai, mikäli muina päivinä rakennuksessa työskennellään. Tämä sen takia, että se haittaa mahdollisimman vähän työntekoa sekä itse mittauksen suoritusta. Valmistelut voidaan tehdä ennakolta valmiiksi, vaikka rakennuksessa olisi muitakin henkilöitä työskentelemässä. Valmistelut voidaan tehdä perjantaina ja mittaukset lauantaina. Mittauskohteeseen kannattaa ennakolta perehtyä huolella, koska se nopeuttaa huomattavasti paikanpäällä tehtäviä valmisteluita. Tarkastusasiakirjan avulla on hyvä käydä läpi mittauksen valmistelut ennen mittausta, etteivät esimerkiksi mahdolliset varaukset jää tiivistämättä. Lämpökuvaukseen on hyvä varata aikaa, jotta vaippa ehditään kuvata ilman kiirettä. Lämpökuvaukseen kannattaa tehdä myös ilman painekoetta, koska silloin voidaan vertailla lämpökuvia painekokeessa saatuihin kuviin. Merkkisavuja kannattaa myös käyttää apuna ilmapuotojen paikallistamiseen.

Ilmatiiveysmittauksia tullaan tekemään jatkossa entistä enemmän. Luonnosvaiheessa olevat rakentamismääräykset edellyttävät kaikkiin rakennuksiin ilmatiiveysmittausta. Tällä hetkellä suuriin rakennuksiin tehtävät mittaukset ovat suhteellisen kalliita, mutta kilpailijoita tulee koko ajan lisää, mikä pudottaa mittauksien hintoja. Yhtenä vaihtoehtona on tehdä ilmatiiveysmittaukset itse. Itse tehtävissä mittauksissa saattaa olla huonona puolena puolueellisuus, jonka takia mittaukset halutaan teettää ulkopuolisella yrityksellä. Ilmatiiveysmittauksessa suurin aika menee rakennuksen tiivistämiseen. Tämä työ voitaisiin tehdä omana työnä ja tilata pelkästään ilmatiiveysmittaus ulkopuolelta ja näin säästää mittauksen kustannuksissa.

Ennakointi rakentamisessa ja suunnittelussa on avainasemassa. Talouden näkökulmasta katsottuna tiiveys pitää ottaa huomioon tarjouslaskennassa ja tavoitearviossa. Tähän auttaa se, jos tiiveysuunnitelmat on tehty alkuvaiheessa projektia. Ennakoimalla rakennusaikana säästyään monelta päänvaivalta. Suunnitelmien valmiusaste pitää olla korkea viimeistään rakentamisen alkamisvaiheessa, koska silloin ne voidaan ottaa huomioon työnsuunnittelussa ja toteutuksessa. Aliurakoitsijoiden sopimuksissa pitää ottaa huomioon rakennuksen ilmatiiveys, mikäli he joutuvat tekemään vaippaan läpivientejä. Sopimukseen on hyvä kirjata, miten läpiviennit tehdään, millä materiaalilla, miten tiivistetään sekä kenelle kyseiset työvaiheet kuuluvat.

Tilaaaja on ensikädessä se, joka voi vaikuttaa rakennuksen ilmanpitävyyteen. Tilaaaja tekee sopimukset suunnittelijoiden kanssa ja ohjaa suunnittelua haluaansa suuntaan. Suunnittelusopimukseen pitää sisällyttää tavoitteet rakennuksen ilmanpitävyydelle. Tämän avulla tilaaaja varmistaa tiiveyden huomioonottamisen suunnitelmissa. Tällä on merkittävä osuus rakennukseen ilmanpitävyyden kannalta. Suunnitteluvaiheessa päätetään, mihin energialuokkaan rakennus halutaan sijoittaa ja mitä rakenteita käytetään. Rakennusratkaisulla, osavalla suunnittelulla sekä suunnittelijoiden yhteistyöllä voidaan vaikuttaa paljon ilmatiiveyteen. Esimerkiksi valitsemalla puurankaseinään sellaisen rakennevaihtoehdon, jossa höyrynsulku jätetään sisäpuolisen koolauksen taakse, pystytään välttämään höyrynsulun läpivientien määrää. Suunnitelmien tekeminen selkeiksi ja helposti toteutettaviksi työmaalla edesauttaa saavuttamaan ilmatiiveyden.

Suunnittelijoilta tulee vaatia suunnitelmia rakenteiden liittymistä ja läpivienneistä tiiveyden kannalta. Niissä tulee olla esitetty tiiveys selkeästi ja helposti toteutettavasti.

Rakennuksen ilmatiiveyden eteen pitää ponnistella. Ei riitä, että on hienoja laadunvarmistusmenetelmiä kansioissa. Ilmatiiveyden saavuttamiseksi pitää uudet työtavat viedä ruohonjuuritasolle saakka. Loppukädessä työntekijät tekevät työvaiheet ja työnjohto neuvoo sekä valvoo työtä. Huolellisella työllä ja valvonnalla päästään haluttuun tulokseen.

Laadunvarmistusohjeen käyttöönotto työmailla on tärkeässä osassa. Tärkeää on ottaa ohje käyttöön työmaalla eikä jättää pölyttymään muiden papereiden joukkoon. Ohjeen sisäistäminen työmaalla vie oman aikansa. Ohjeesta oli tarkoitus tehdä mahdollisimman selkeä ja helposti luettava. Myös tarkastusasiakirjojen oli tarkoitus olla selkeitä. Ohjetta ei ole testattu työmaalla. Tämä johtaa siihen, että ohjeeseen tullaan luultavasti tekemään muutoksia. Ohjetta tulee kehittää työmaalta tulevan palautteen avulla. Ohjeen kehittäminen auttaa pitämään sen tiedot ajan tasalla. Tärkeää on myös päivittää ohjeeseen uudet määräykset sekä uudet työtavat säännöllisin väliajoin.

LÄHTEET

1. RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.
2. 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 nro TRT/1706/2008.
3. Aho, H & Korpi, M. (toim.) 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 141.
4. SFS-EN 13890. 2001. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). European standard.
5. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Määräykset ja ohjeet 2007. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.
<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>
(Luettu 15.10.2010)
6. Koski, H, Kouhia, I & Tuomaala, P. 2009. Energiatehokas rakentaminen. VTT. Koulutusaineisto.
7. Sisäilmayhdistys ry. Sisäilmastoseminaari 2010. Rakennuksen ilmatiivyyden ja tiiviysmittauksen merkitys energiatehokkaassa rakentamisessa.
http://www.sisailmayhdistys.fi/files/attachments/seminaari2010/sauli_palo_niitty-1_170310.pdf (Luettu 15.1.2011)
8. Matalaenergiarakentaminen asuinrakennukset. 2009. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.
9. Ympäristöministeriö. Vuoden 2012 energiatehokkuusvaatimukset lähtevät lausunnoille.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=366568&lan=fi&clan=fi>
(Luettu 15.10.2010)
10. Mölsä, S. 2010. Vuonna 2012 ohjataan kokonaisenergiankulutusta ja energiamuotojen valintaa. Rakennuslehti nro 29, 6.
11. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön luonnos rakennusten energiatehokkuudesta.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=121170&lan=fi>
(Luettu 15.10.2010)

12. Järvenpää, T. 2010. Lämpökuvaus korjausrakentamisessa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Korjausrakentamisen ylempi AMK- tutkinto. Opinnäytetyö. <https://publications.theseus.fi/handle/10024/15606> (Luettu 21.1.2011)
13. Betoni. Betoni-lehti 2/2008. Asuinrakennuksista ilmanpitäviä – uudesta ohjekirjasta apua suunnitteluun ja toteutukseen. <http://www.betoni.com/default.aspx?intObjectID=10192> (Luettu 20.11.2010)
14. Pigg, O. 2010. Ilmatiiveyden varmentaminen työmaalla. Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://publications.theseus.fi/handle/10024/13747> (Luettu 1.12.2010)
15. RT L-35877. 2001. Visux- höyryn- ja ilmansulun läpiviennit.
16. BlowerDoor GmbH. Multifan. http://www.blowerdoor.de/fileadmin/images/BlowerDoor/BlowerDoor-Multifan_engl.pdf (Luettu 1.2.2011)
17. Etelä-Suomen mittauspalvelu Oy. ESMp - kalusto. <http://www.esmp.fi/kalusto> (Luettu 1.2.2011)
18. RT 14-10850. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus.
19. Teknocalor Oy. Merkkisavuampulli. http://www.teknocalor.fi/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=37&Itemid=101 (Luettu 1.2.2011)
20. Sisäilmayhdistys. Ilmavirtaus ja paine-erot. http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/ilmavirtaus_ja_paine_ero/ (Luettu 1.2.2011)
21. RATU 1203-S. 2003. Ovet ja ikkunat, rakennuksen vaippa.
22. RATU 25-0281. 2004. Väli- ja ulkoseinäelementtityö.
23. Tiivistalo.fi. Läpivientikaulukset. <http://www.tiivistalo.fi/tuotteet/default.asp?sivu=l%E4pivientikaulukset> (Luettu 20.10.2010)
24. Isover Oy. Asennusohjeet. Saatavilla www-muodossa: <http://www.isover.fi/Suunnittelu/Ilmatiivis+rakentaminen/Vario+tuotteiden+ty%C3%B6+ja+asennusohjeet/T%C3%A4rke%C3%A4t+yksityiskohdat/> (Luettu 2.2.2011)
25. RT 81-10791. 2003. Radonin torjunta.

26.RT 07-10946. 2009. Sisäilmastoluokitus 2009