



Tuukka Päckilä

ILMATIIVEYDEN VARMISTAMINEN RAKENNUSTYÖMAALLA

ILMATIIVEYDEN VARMISTAMINEN RAKENNUSTYÖMAALLA

Tuukka Päckilä
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

Tekijä: Tuukka Päckilä

Opinnäytetyön nimi: Ilmatiiveyden varmistaminen rakennustyömaalla

Title of thesis: Ensuring the air tightness on construction site

Työn ohjaajat: Kimmo Illikainen, OAMK

Jari Osmanen, Temotek Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012 Sivumäärä: 88 + 2 liitettä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä rakennuksen ilmantiiveyden varmistamiseen ja kehittää laadunvarmistusta. Tutkimuksessa tarkasteltiin ilmatiiveyden varmistusta työmaan näkökulmasta, mutta myös ilmatiiveyden suunnitteluun kiinnitettiin huomiota. Työssä perehdyttiin ilmatiiveyden varmistuksessa käytettäviin työtapoihin, materiaaleihin ja laadunvarmistukseen. Työn tilaajana toimi rakennusliike Temotek Oy.

Teoriaosion aineisto on kerätty tutustumalla alan kirjallisuuteen ja aikaisemmin aiheesta toteutettuihin tutkimuksiin ja niiden tuloksiin. Teoriaosaan kerättiin tietoa ilmatiiveydestä, energiatehokkuudesta ja yleisimmistä ilmanvuotojen aiheuttajista. Lisäksi käsiteltiin työmaan laadunvarmistusta, ilmatiiveyden toteutusmenetelmiä ja käytettäviä materiaaleja tutkimusten ja kokemuseräisen työmailta hankitun tiedon perusteella.

Työssä käsiteltiin rakenteita yleisellä tasolla ja esimerkkikohteeksi valitussa As Oy Oulun Kotipuistossa. Tarkoituksena oli lisätä tietoa ilmatiiveyden toteutuksesta sekä saatavilla olevista tiivistysmateriaaleista ja niiden käytöstä. Työn esimerkkikohteeseen suunniteltiin ilmanvuodoille alttiiden rakenteiden liitosten toteutus detaljitasolla, työntoteuttajan näkökulmasta. Rakenteiden tiivistysdetaljit suunniteltiin siten, että ne ovat helposti toteutettavissa ja mahdollisilta työn suorituksesta aiheutuvista ilmanvuodoista päästäisiin eroon.

Opinnäytetyön avulla pyrittiin kehittämään ilmatiiveyden laadunvarmistusta rakennustyömaalla. Lisäksi tuotiin esille uusia markkinoille lähiaikoina tulleita materiaaleja ja tiivistystuotteita. Työssä saatiin kerättyä paljon tietoa siitä, mihin asioihin ilmatiiviin rakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa tulee kiinnittää huomiota.

Asiasanat: Ilmanpitävyys, ilmanvuotoluku, energiatehokkuus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
SANASTO	6
1 JOHDANTO	9
2 RAKENNUKSEN ILMATIIVEYS JA ENERGIA TEHOKKUUS	10
2.1 Energiatehokkuus	11
2.2 Ilmanvuotoluku	13
2.3 Määräykset	15
2.3.1 Määräykset 2010	16
2.3.2 Määräykset 2012	17
2.3.3 Määräykset tulevaisuudessa	20
2.4 Rakenteiden vuotokohdat	21
2.4.1 Suunnitteluratkaisista aiheutuvat vuodot	22
2.4.2 Työntoteutuksesta aiheutuvat vuodot	23
2.4.3 Rakenteista ja materiaaleista aiheutuvat vuodot	24
3 ILMATIIVEYDEN MITTAUS	27
3.1 Ilmanvuotoluvun mittaus	27
3.2 Mitattavat tilat	29
3.3 Mittaustavat ja menettelyt	31
3.4 Mittauslaitteisto	33
3.5 Mittausten suorittamisen ajankohta ja olosuhteet	35
3.6 Pientalon ilmatiiveyden mittaus	36
3.7 Kerrostalon ilmatiiveyden mittaus	37
3.7.1 Yksittäisissä huoneistoissa tehtävät mittaukset	37
3.7.2 Koko rakennuksessa tai portaassa tehtävät mittaukset	38
3.8 Vuotokohtien paikantaminen	39
3.8.1 Lämpökuvaus	39
3.8.2 Merkkisavut	40
4 ILMATIIVEYDEN HUOMIOIMINEN ASIAKIRJOISSA	42
4.1 Suunnittelun ohjaus- ja laadunvarmistus	42
4.2 Sopimukset	44

4.2.1 Suunnittelusopimukset	44
4.2.2 Aliurakkasopimukset	45
5 ILMATIIVEYDEN LAADUNVARMISTUS	46
5.1 Laadunvarmistuksen tavoitteet	46
5.1.1 Tehtäväkohtainen laadunvarmistus	47
5.1.2 Tilakohtainen laadunvarmistus	50
5.1.3 Ilmatiiveyden mittaus	51
5.2 Höyrynsulkumateriaalin valinta	51
5.3 Höyrynsulku- ja tiivistysteipit	53
5.4 Läpivientien tiivistys	54
5.5 Alapohja	56
5.6 Ulkoseinät	58
5.7 Välipohja	61
5.8 Yläpohja	63
6 ILMATIIVEYDEN VARMISTUS AS OY OULUN KOTIPUISTO	67
6.1 Tavoitteet	67
6.2 Alapohja	68
6.3 Ulkoseinät ja huoneistojen väliset seinät	71
6.4 Huoneistojen väliset seinät	75
6.5 Välipohja	76
6.6 Yläpohja	79
7 POHDINTA	83
LÄHTEET	85
LIITTEET	89

SANASTO

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*m ²)	ilmavuotoluku voidaan myös määrittää vaipan pinta-alaa kohti q_{50} -lukuna, joka kuvaa paremmin todellista ulkovaipan ilmanpitävyyttä suurissa rakennuksissa. Astuu voimaan 1.7.2012.
Konvektio	on lämmön siirtymistä lämpötilaerojen aiheuttamien virtausten mukana.
Kosteus	tarkoittaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa.

Lämpökamera	on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa säteilyn lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostuu.
Rakennuksen vaipalla	tarkoitetaan niitä rakennusosia, jotka erottavat lämpimän, puolilämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta. Vaippaan eivät kuulu rakennuksensisäiset, erilaisia tiloja toisistaan erottavat rakennusosat.
Sekarakenne	on runkorakenne, jossa on yhdistetty esimerkiksi betoni- ja puurakenteita.
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 ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen $W/(m^2K)$.
Painekoetta	käytetään koko rakennuksen tiiviystason määrittämisessä. Kokeessa ilmanvaihtoventtiilit ja muut rakennuksen vaippaan tehdyt aukot suljetaan ja tarvittaessa tiivistetään. Rakennuksen oviaukkoon asennetaan tiiviisti puhallin, jonka avulla raken-

nuksen sisätilan ja ulkoilman välille luodaan 50 Pa:n paine-ero. Puhaltimen läpi kulkeva ilmavirtaus [m^3/h] mitataan ja luku kema jaetaan rakennuksen sisäilmantilavuudella [m^3], jolloin saadaan ilmavuotoluku n_{50} [$1/\text{h}$].

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 kumibitumikermikais-toja, jotka ovat hitsattavia tai liimattavia.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön taustana toimivat tiukentuneet ja vuonna 2012 tiukkenevat Suomen rakentamismääräyskokoelman ilmatiiveys- ja lämmöneristysvaatimukset. Vuonna 2008 voimaan tulleissa rakentamismääräyksissä rakennuksen vaipan ilmatiiveys kuuluu lämpöhäviöiden osalta tasauslaskennan piiriin. Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa rakennukselle määrättävä ilmanvuotoluvun vertailuarvo on puolittunut vuoden 2010 rakentamismääräyskokoelman säädöksissä vuoteen 2008 nähden. Vuoden 2012 heinäkuun ensimmäinen päivä voimaan astuvissa rakentamismääräyskokoelman säädöksissä energiatehokkuusvaatimusten 20 % kiristysten ajatellaan tapahtuvan ensisijaisesti niin, että nykyisiä vaipan ja ilmatiivyyden vertailuarvoja ei tarvitse muuttaa.

Tulevaisuudessa määräyksiä ja ilmanvuotolukua tullaan kiristämään entisestään. Tämän myötä ilmatiivyyden mittaus- ja toteamismenetelmiin tullaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Energiatehokkuuden parantuessa ja eristepaksuuksien kasvaessa vaipan tiiveyden merkitys korostuu entisestään energian pitämisessä vaipan sisäpuolella ja kosteusvaurioiden välttämisessä. Rakentajille entistä tärkeämmäksi muodostuvat vaipan ilmatiivyyden kokonaisvaltainen laadunvarmistus ja ilmatiivyyden varmentaminen mittaamalla.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä rakennuksen ilmatiivyyden varmistamiseen ja parantaa laadunvarmistusta rakennustyömaalla. Työssä käsitellään rakennuksen ilmatiivyyden toteuttamiseen käytettäviä materiaaleja, tekniikoita, laadunvarmistusta ja mittauksia. Työn tilaajana toimii rakennusliike Temotek Oy.

Työssä käsitellään ilmatiivyyden varmistusta ja rakenneratkaisuja yleisellä tasolla ja opinnäytetyöhön kohteeksi valitussa rakenteilla olevassa As Oy Oulun kotipuistossa. Opinnäytetyöhön valitun kohteen rakenteita tarkastellaan työmaan työnjohdon ja asennusryhmän kanssa ja niiden toteutus suunnitellaan detaljitasolla siten, että ne ovat työmaaolosuhteissa helppo toteuttaa. Teoriaosioon hankitaan tietoa aiemmista tutkimuksista ja julkaisuista sekä valmistajien sivuilta.

2 RAKENNUKSEN ILMATIIVEYS JA ENERGIAEHOVUUS

Rakennusten ilmanpitävyyden merkitys energiatehokkuuteen on viime vuosina noussut merkittäväksi puheen aiheeksi, siihen kiinnitetään entistä enemmän huomiota ja se näkyy myös kiristyneissä energiamääräyksissä. Hyvällä ilmanpitävyydellä voidaan energian kulutuksen vähentämisen lisäksi pienentää muun muassa kosteusvaurioiden riskiä sekä parantaa ilmanvaihdon säädettävyyttä ja toimivuutta. (1, s. 13.)

Hallitsemattomien ilmanvuotojen vähentäminen parantaa sisäilmastoa ja asuinmukavuutta, kun esimerkiksi alapohjan epäpuhtaudet eivät pääse rakennuksen sisälle vuotokohdista ja vuotoilma ei aiheuta vedontunnetta. Tiiviillä, ilmanpitävällä rakenteella on merkitystä myös paloturvallisuuden kannalta, koska tiivis rakenne estää palon etenemistä rakenteessa. (1, s. 13.)

Rakenteiden ilmanpitävyydellä on olennainen osa tarkasteltaessa rakenteen kosteusteknistä toimivuutta. Lämpimään sisäilmaan sitoutunut kosteus voi kulkeutua konvektion avulla ilmanvuotokohdista sisältä ulospäin ja tiivistyä rakenteen sisään aiheuttaen kosteusvaurioita. Kylmä ulkoilmasta tuleva vuotoilma aiheuttaa rakenteiden jäähtyessä kosteuden tiivistymisriskiä ja edistää kosteusvaurioiden syntyä. (2, s. 11.)

Rakennuksen käytön kannalta asumisviihtyvyyteen vaikuttavat erityisesti alapohjan ja ulkoseinien alaosien ilmavuodot. Kylmä vuotoilma aiheuttaa seinien ja lattiarakenteiden sisäpintojen kylmenemistä ja ilmenee asukkaille ikävänä vedontunteena. Vuotavissa, vetoisissa taloissa pidetään yleensä yllä korkeampaa sisälämpötilaa kuin tiiviissä, vedottomissa taloissa vedon tunteen poistamiseksi ja asumismukavuuden lisäämiseksi. Vetoisuutta poistamalla ja rakenteita tiivistämällä voidaan vaikuttaa oleellisesti energian kulutukseen. (2, s. 11.)

Rakenteiden ilmanvuotokohdista voi asuntoihin tulla myös asumisviihtyvyyden kannalta häiritseviä melu- ja hajuhaittoja. Rivi- ja kerrostaloissa ilmanvuoto-ongelmat voivat ilmetä esimerkiksi häiritsevän melun tai tupakan ja ruuan käryjen kulkeutumisena huoneistosta toiseen. Lisäämällä huoneistojen välistä ilma-

tiiveyttä voidaan myös edistää paloturvallisuutta hidastamalla savukaasujen leviämistä rakenteen läpi. (2, s. 11.)

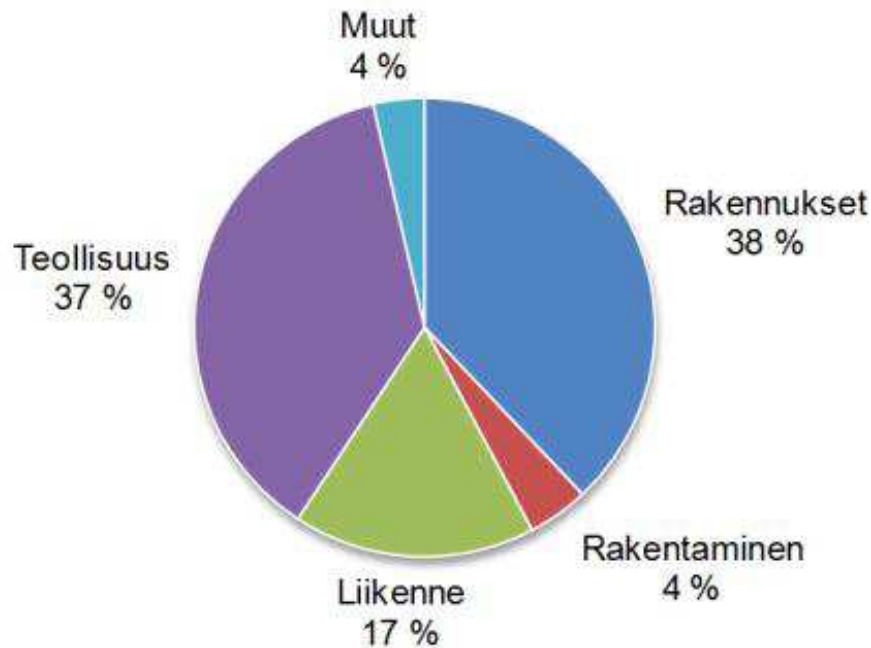
2.1 Energiatehokkuus

Energiatehokkaan rakentamisen ja energiankulutuksen vähentämisen taustalla vaikuttaa ilmastonmuutos. Ilmakehään kertyy yhä enemmän hiilidioksidia, mikä aiheuttaa kasvihuoneilmiötä ja ilmastonlämpenemistä. Ilmastonmuutokseen vaikuttaminen ja sen hillitseminen vaativat maailmanlaajuisia toimenpiteitä. Ilmakehän sisältämään hiilidioksidin määrään ja muihin päästöihin voidaan vaikuttaa pienentämällä energiankulutusta ja suosimalla uusiutuvien energialähteiden käyttöä. (3.)

Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Kioton ilmastopöytäkirja sekä Suomen energia- ja ilmastostrategia, jonka tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Euroopassa rakennukset kuluttavat enemmän energiaa kuin mitä liikenne tai teollisuus kuluttaa. Energiankulutusta voitaisiin pienentää jopa viidenneksellä, jos rakennuksien energiatehokkuutta ja lämmitysjärjestelmiä parannettaisiin. Koko Euroopan energiankulutuksesta jopa noin 40 % kuluu rakennuksissa. Suomessa rakennuksien energiankulutus koostuu lämmityksen, ilmanvaihdon, lämpimän veden ja valaistuksen tuottamiseen. Pelkästään rakennuksien lämmitys ja lämmityksen tuottamiseen tarvittavat prosessit tuottavat jopa 30 % Suomen kasvihuonepäästöistä. Kuvassa 1 on esitetty energian loppukäyttö Suomessa vuonna 2007. (4, s. 2, 8.)

Energian loppukäyttö 2007

Yhteensä 307 TWh



KUVA 1. Energian loppukäyttö vuonna 2007 (5, s. 1)

Kuvasta 1 on havaittavissa, että rakennus- ja kiinteistöala kuluttaa kansantaloudellisesti merkittävän osan tuotetusta energiasta. Rakennusten lämmitysenergian kulutusta voidaan pienentää lisäämällä vaipparakenteiden lämmöneristyspaksuutta tai parantamalla sitä. Lämmöneristyspaksuuksien lisääminen ei yksin riitä, vaan lisäksi tulee kiinnittää erityistä huomiota vaipan ilmapitävyyteen. (2, s. 9.)

Yksi tärkeimmistä hyvän ilmapitävyyden vaikutuksista on rakennuksen energiankulutuksen pieneneminen. Tiiviissä rakennuksessa lämpö ei karkaa ilmavirtausten mukana ulos eikä kylmää ilmaa tule sisälle. Vuotoilma aiheuttaa noin 15 - 30 % lämmitysenergian tarpeesta tavanomaisessa pientalossa, jonka n_{50} -luku on 4,0 1/h. Edelleen lämmitysenergian kulutus kasvaa noin 7 % jokaista n_{50} -luvun kokonaisuusyksikön muutosta kohti. (1, s. 2 - 3.)

Taulukossa 1 on esitetty Oulun kaupungin rakennusvalvonnan tiiveyskortin mukaan, kuinka merkittävästi ilmanvuotoluvun n_{50} -luvun muutos vaikuttaa energiansäästämiseen.

TAULUKKO 1. Ilmavuotoluvun vaikutus lämmitysenergian tarpeeseen (6, s. 1)

Ilmavuotoluvun vaikutus lämmitysenergian tarpeeseen:		
Tiiveys	Sanallinen arviointi	Energiansäästö
< 0,6	passiivitalon vaatimus	> 25 %
< 1,0	kiitettävä	> 21 %
1 ... 2	erittäin hyvä	14 ... 21 %
2 ... 3	hyvä	7 ... 14 %
3 ... 4	tydyttävä	0 ... 7 %
4	rak. määräysten vertailutaso	0 %
> 4	huono	kulutus kasvaa

2.2 Ilmanvuotoluku

Rakennuksen ilmavuodoilla tarkoitetaan rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välisen paine-erojen aiheuttamaa ilman virtausta eli konvektiota rakennuksen vaipan läpi. Paine-eroja aiheuttavat muun muassa ilmanvaihtolaitteet, tuuli, tulisijojen käyttö ja lämpötilaerot. Rakennuksen tiiviystason määrittämiseen käytetään yleisesti painekoetta, jossa sisä- ja ulkoilman välille luodaan puhaltimella paine-ero. Mittaukset suoritetaan käyttämällä erillistä mittauslaitteistoa tai rakennuksen omaa ilmanvaihtokonetta. Mittauksen tulokset ilmoitetaan ilmanvuotolukuna n_{50} tai q_{50} . (2, s. 7.)

Ilmanvuotoluku n_{50} [1/h] voidaan laskea kaavalla 1 (7, s. 11).

$$n_{50} = \frac{V_q}{V} \quad \text{KAAVA 1}$$

missä

V_q = ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli [m^3/h]

V = rakennuksen tilavuus [m^3]

Rakennuksen ilmanvuotoluku voidaan määrittää myös vaipan pinta-alaa kohti q_{50} -lukuna [$m^3/(h \cdot m^2)$]. q_{50} -luku voidaan laskea n_{50} -luvusta kaavalla 2. (7, s. 11.)

$$q_{50} = n_{50} * \frac{V}{A_E} \quad \text{KAAVA 2}$$

missä

n_{50} = ilmanvuotoluku, joka kuvaa rakennuksen ilmanpitävyyttä [$1/h$]

A_E = rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna [m^2]

V = rakennuksen tilavuus [m^3].

Ilmanvuotoluku kuvaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä. Ilmanvuotoluku n_{50} kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen tilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n ali- tai yli-paine. (7, s. 11.)

Rakennuksen pinta-alan kasvaessa yleensä myös n_{50} -luku pienenee, vaikka ilmanpitävyys ei paranisikaan. Tämä johtuu siitä, että rakennuksen sisätilavuuden kasvaessa yleensä myös rakennuksen tilavuuden (V) suhde rakennuksen vaipan pinta-alaan (A_E) kasvaa. Pientaloissa suhde V/A_E vaihtelee yleensä välillä 0,7 - 1,5. Kerrostaloissa mitattaessa koko porrashuonetta tai rakennusta sama suhde vaihtelee tavallisesti välillä 2,0 - 3,5. q_{50} -luku ottaa huomioon suhteen V/A_E . Tästä johtuen q_{50} -luku kuvaa paremmin vaipan todellista ilmanpitävyyttä suuremmissakin rakennuksissa. (7, s. 11.)

Tehtyjen tutkimuksien ja mittausten mukaan n_{50} -luku ei anna todellista kuvaa ilmanvuotoluvusta tarkasteltaessa esimerkiksi kerrostalon ilmatiiveyttä. Kerrostalon tai porrashuoneen sisätilavuuden suhde ulkovaipan pinta-alaan on noin kaksinkertainen verrattuna pientalon tai yksittäisen huoneiston kyseessä olevaan suhteeseen verrattuna. Tämän vuoksi kerrostalon ilmatiiveysmittauksissa saadaan huomattavasti pienemmät ilmanvuotoluvut verrattuna esimerkiksi pien-

talossa suoritettavien mittauksien tuloksiin. Ilmanpitävyyden mittaustuloksista saatu ilmapuotoluku tulisikin ilmoittaa sekä n_{50} - että q_{50} -lukuna. (7, s. 11.)

2.3 Määräykset

Kiristyvien rakentamismääräysten taustana ovat Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan sitoumukset päästöjen vähentämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Rakennuskannan osuuden ollessa koko maan energian kulutuksesta jopa 40 % ja kasvihuonepäästöjen aiheuttajista noin 30 % on kansallisten ja kansallisten ilmastomuutos sitoumuksien täyttäminen mahdotonta ilman olennaisia parannuksia rakennuskannassa. Muutosten tavoitteena on siirtyä kohti matalaenergiarakentamista määräysten porrastetulla kiristämällä. (8.)

Euroopan unionin rakennusten energiatehokkuutta koskevan energiatehokkuusdirektiivin tavoitteena on velvoittaa jäsenmaita energiatodistusten käyttöönottoon. Energiatehokkuusdirektiivi tavoitteena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja vähentää sen avulla hiilidioksidipäästöjä viidenneksellä koko EU:n alueella. Direktiivi sisältää kolme osa-aluetta: energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset, energiatodistuksen käyttöönoton sekä lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteiden määräaikaistarkastukset. (4, s. 8.)

Energiatehokkuusdirektiivin mukaan energiatehokkuuden parantamisessa on otettava huomioon ilmasto-olosuhteet, paikalliset olosuhteet, sisäilmasto-olosuhteet, muut ympäristön aiheuttamat erityisolosuhteet ja kustannustehokkuus. Energiatehokkuuden vaatimusten parantamiseen tarvittavat toimenpiteet eivät saisi vaikuttaa muihin rakennuksia koskeviin vaatimuksiin, kuten rakennuksen esteettömyyteen, turvallisuuteen ja rakennuksen suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Direktiivin vaikutus alueeseen kuuluu niin uudis- kuin korjausrakentaminenkin. (9, s. 2.)

Energiatehokkuusdirektiivin alaisuuteen kuuluvat Suomen kansallisen rakentamismääräyskokoelman osat ovat C3, D2, D3 ja D5. Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat uuden rakennuksen rakentamista ja ovat velvoittavia. Ohjeet eivät ole velvoittavia, vaan muitakin kuin niissä esitettyjä ratkaisuja voidaan käyttää, mikäli ne täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset. Korja-

us- ja muutostöitä suorittaessa määräyksiä sovelletaan vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu, laajuus sekä rakennuksen tai sen mahdollisesti muutettava käyttötarkoitus edellyttää, mikäli määräyksissä ei nimenomaan toisin määrätä. (4, s. 8; 10.)

2.3.1 Määräykset 2010

Vielä voimassa olevat rakentamismääräyskokoelman osat C3, D3 ja D2 on annettu 22.12.2008 ja ne astuivat voimaan 1.1.2010. Osassa C3 asetetaan rakennuksen lämmöneristystä koskevat määräykset ja osassa D3 rakennuksen energiatehokkuusvaatimuksia koskevat määräykset. Osassa D2 on esitetty rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat määräykset. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaa koskevat ohjeet sisältyvät osaan D5. Taulukossa 2 on nähtävissä voimaan tulleiden määräysten kiristävä vaikutus, joka on noin 30 % aikaisempaan, vuoden 2007 määräystasoon verrattuna. (11.)

Taulukossa 2 on esitetty rakennusosien kiristyneitä energiatehokkuuden vertailuarvoja.

TAULUKKO 2. Rakennusosien vertailuarvot 2010 (12, s. 5)

Rakennusosien U-arvot	C3 1976	C3 1978	C3 1985	C3 2003	C3 2007	C3 2010
Ulkoseinä	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16/0,17
Ikkuna	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0
Ovet	0,7	0,7	0,7	1,4	1,4	1,0
Muut laskennan lähtöarvot						
n50-luku (rak. tiiviys)	-	-	-	-	4	2
LTO:n vuosihyötysuhde	0	0	0	30%	30%	45%
Vaipan lämpöhäviön jousto	0	0	0	10 %	20 %	30 %

Vuonna 2008 voimaan astuneiden vuoden 2007 rakentamismääräysten perusteella vaipan ilmapitävyys kuuluu rakennusosien lämmönläpäisykertoimien ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton ohella lämpöhäviöiden tasauslaskennan piiriin. Vuoden 2010 määräyksissä ilmanvuotoluvun vertailuarvona käytetään laskelmissa $n_{50,vert}$ -luvun arvoa 2,0 1/h. Ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona voidaan käyttää aina myös rakentamismääräyskokoelmassa ilmoitettua $n_{50,suun}$ -luvun arvoa 4,0 1/h, joka ei vielä edellytä rakennuksen ilmanvuotoluvun mittausta. Tätä raja-arvoa pienemmän ilmanvuotoluvun käyttäminen suunnittelussa edellyttää, että ilmoitettu ilmanvuotoluvun arvo osoitetaan rakennusvalvonnalle joko mittaamalla tai muuta menettelytapaa käyttämällä. (7, s. 3.)

Vuoden 2010 määräyksissä vaipan hyvällä ilmapitävyydellä voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuusluokkaa energiatodistuksessa. Hyvällä ilmapitävyydellä voidaan lisäksi kompensoida rakennuksen muita lämpöhäviöitä. Käyttämällä normaalia parempaa ilmapuotolukua tasauslaskennassa voidaan esimerkiksi ylä- tai alapohjassa käyttää pienempää eristepaksuutta, määräysten sallimissa rajoissa. Ilmatiiveyden parantamisen ensisijaisena tarkoituksena tulisi kuitenkin olla rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen, heikentämättä vaipan lämmöneristystä tai ilmapuhtokoneen lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. (7, s. 3.)

2.3.2 Määräykset 2012

Ympäristöministeriö on 30.3.2011 julkaissut luonnokset uusista energiatehokkuutta parantavista rakentamismääräyksistä. Uudistuvien määräysten osat D2 ja D3 astuvat voimaan 1.7.2012 ja ne koskevat pelkästään uudisrakentamista. Uusien määräysten keskeisin muutos on siirtyminen kokonaisenergiantarkasteluun. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle määrätään rakennustyyppikohtainen yläraja, joka ilmaistaan niin sanotulla E-luvulla. E-luvun laskennassa huomioidaan rakennuksen käyttämän energiantuotantomuoto. Pientalojen E-luvun ylärajaan vaikuttaa lisäksi rakennuksen pinta-ala. (13.)

Uudistuksen mukaan energiatehokkuuden vaatimus esitetään rakennustyyppikohtaisena laskennallisena energialukuna, jonka raja arvoja ei saa ylittää. E-

luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu ostoenergian laskennallinen ominaiskulutus rakennustyyppin standardikäytöllä. Ominaiskulutuksella tarkoitetaan vuotuista kulutusta lämmitettyä nettoalaneliötä kohti. Taulukossa 3 on esitetty rakennustyyppikohtaiset E-luvun raja-arvot. (5, s. 12.)

TAULUKKO 3. Rakennustyyppikohtaiset E-luvun raja-arvot (5, s. 13)

Pientalo	Pinta-alan mukaan
Rivitalo	150 kWh/m ²
Asuinkerrostalo	130 kWh/m ²
Toimistorakennus	170 kWh/m ²
Liikerakennus	240 kWh/m ²
Majoitusliikerakennus	240 kWh/m ²
Opetusrakennus ja päiväkot	170 kWh/m ²
Liikuntahalli (pois lukien uima- ja jäähalli)	170 kWh/m ²
Sairaala	450 kWh/m ²
Muut rakennukset ja määräaika	E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta

Vuoden 2012 määräyksissä on annettu E-luvun laskemista varten kertoimet eri energiamuodoille, jotka kuvaavat luonnonvarojen käyttöä. Kuvassa 2 on esitetty eri energiamuodoille käytettäviä kertoimia.

	Suomi primäärienergia	Energiamuodon kerroin asetuksessa	Eurooppa primäärienergia
Fossiiliset	1	1	1
Sähkö	2,2	1,7	2,5
Kaukolämpö	0,9	0,7	-
Kaukojäähdytys	0,4	0,4	-
Uusiutuvat	1	0,5	0,2-1,1

KUVA 2. Energiamuotojen kertoimet (5, s. 5)

Kuvasta 2 on havaittavissa, miten eri energiamuodoille annetut kertoimet kannustavat käyttämään kaukolämpöä sekä uusiutuvia energialähteitä, kuten pellettiä ja maalämpöä. Kokonaisenergiatarkastelu koskee kaikkea rakennuksessa tapahtuvaa energiankulutusta. Lämmityksen lisäksi laskennassa otetaan huomioon esimerkiksi ilmastointi, valaistus ja lämmin vesi. (13.)

Uudistuvien rakentamismääräysten kiristävä vaikutus vuoden 2010 energiatehokkuusvaatimuksiin verrattuna on noin 20 %. Energiatehokkuusvaatimusten kiristymisen ajatellaan tapahtuvan ensisijaisesti siten, että vaipan ja ilmapitävyiden vertailuarvoja ei tarvitse muuttaa, vaan vuoden 2010 määräystaso säilyy niin sanottuna takarajana uusille määräyksille (taulukko 4). Rakennusten kokonaisenergiatarkastelu mahdollistaa siis kokonaisvaltaisen suunnittelun, jonka avulla energiatehokkuutta voidaan parantaa muilla keinoilla, esimerkiksi tarpeen mukaisesti ohjattuja teknisiä järjestelmiä käyttämällä, minimoimalla kylmäsiltoja ja niiden vaikutusta tai hyödyntämällä uusiutuvia omavaraisenergioita. (5, s. 10.)

TAULUKKO 4. Rakennusosien vertailuarvot 2012 (14, s. 4)

U-arvovaatimus	C3/1985	C3/2003	C3/2007	C3/2010 D3 /012
Ulkoseinä	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,22	0,16	0,15	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,22	0,20	0,19	0,17
Maata vasten oleva rakennusosa	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna tai ovi	2,1 (0,7)	1,4	1,4	1,0
Kattoikkuna		1,5	1,5	1,0
Ikkunapinta-ala	enintään 15 % kerrosalasta, enintään 70 % huoneen ulkoseinän alasta	enintään 15 % kerrosalasta, enintään 50 % rakennuksen ulkoseinien yht.lask. alasta	enintään 15 % kerrosalasta, enintään 50 % rakennuksen ulkoseinien yht.lask. alasta	15 % kerrosalasta, enintään 50 % rakennuksen julkisivupinta-alasta

Taulukosta 4 on nähtävissä, että vuonna 2012 voimaan astuvissa rakentamismääräyksissä vuoden 2010 määräysten rakennusosien lämmöneristysvaatimukset säilyvät takarajana uusille määräyksille.

Vaikka vuoden 2010 määräysten vaipan ja ilmapitävyyden vertailuarvot säilyvät takarajana uusille määräyksille, on ilmatiiveyden osalle tulossa merkittävä muutos. Rakennuksen ilmapitävyys ilmoitetaan aiemmin tilavuutta kohden ilmoitetun n_{50} -luvun sijaan q_{50} -lukuna, joka ottaa huomioon vaipan pinta-alan ja antaa todellisemman kuvan ilmapitävyydestä myös suurilla rakennuksilla. (5, s. 14; 15, s. 10 - 11.)

Rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$. Ilmanvuotoluku voi ylittää myös arvon $4,0 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$, mikäli rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmapitävyyttä. Käyttäessä pienempää ilmavuotolukua kuin $4,0 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$ se tulee osoittaa mittaamalla tai muuta menettelytapaa käyttämällä. Jos ilmapitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, käytetään rakennusvaipan ilmanvuotolukuna $4,0 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$. Tasauslaskelman vertailuarvona säilyy edelleen $2,0 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$. (5, s. 14; 15, s. 10 - 11.)

Uudistusten myötä myös rakentamismääräyskokoelman rakenne muuttuu osittain vuoden 2010 määräyksiin verrattuna. Rakentamismääräyskokoelman osa D3 Rakennusten energiatehokkuus kerää kaikki energiatehokkuusvaatimukset yhteen määräysosaan. Tämä tarkoittaa sitä, että rakentamismääräyskokoelman osa C3 Rakennusten lämmöneristys kumotaan ja se yhdistyy kokonaisuudessaan osaan D3 ja osassa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto esitetyt energiatehokkuusvaatimukset on siirretty osaan D3. Osassa D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta esitetään uudistettu laskentaohje energiatehokkuuden ja kylmäsiltojen tarkasteluun. Osassa C4 lämmöneristys esitetään lämmönläpäisykertoimien laskenta ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon valinta yhtenäistetään EN-standardien kanssa. Uudistusten ansiosta siirrytään yhteen, yhtenäiseen laskentamenetelmään. (5, s. 4; 16, s. 10.)

2.3.3 Määräykset tulevaisuudessa

Euroopan parlamentin toukokuussa 2010 hyväksymä rakennusten energiatehokkuutta parantava direktiivi astui voimaan kesällä 2010. Direktiivin mukaan energiatehokkuutta on edistettävä sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Uudisrakennusten tulee olla vuoden 2020 loppuun mennessä lähes nollaener-

giarakennuksia ja julkisten rakennusten jo vuoden 2019 alusta. Direktiivin mukaan myös korjausrakentamiselle on asetettava kansalliset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. (17.)

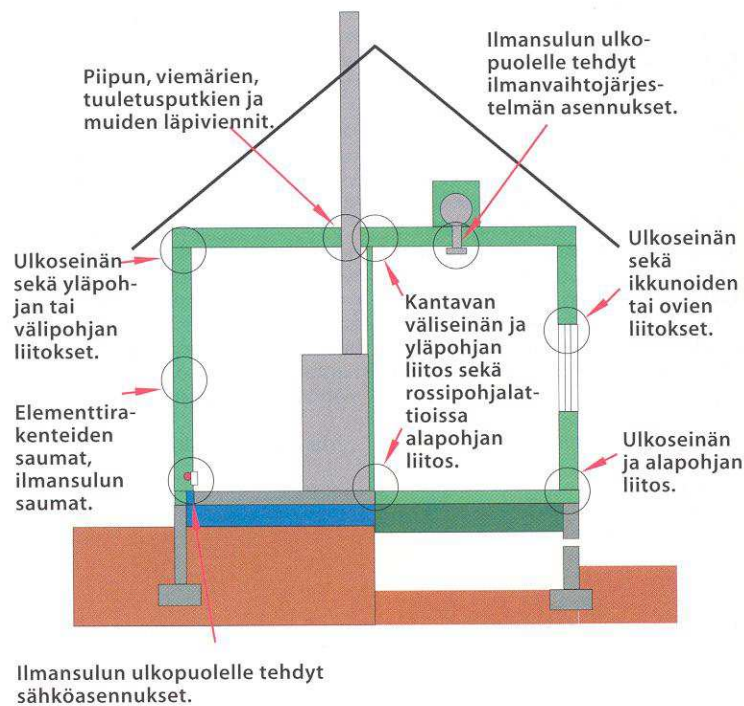
Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi velvoittaa jäsenvaltioita antamaan ja julkaisemaan korjausrakentamista koskevat lait, asetukset ja määräykset viimeistään 9. heinäkuuta 2012. Ympäristöministeriössä onkin valmisteilla korjausrakentamista koskevat energiamääräykset. Määräyksiä sovelletaan sellaiseen korjausrakentamiseen, jonka yhteydessä voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, muusta syystä aiheutuvan korjaus-, perusparannus- tai uusimistyön yhteydessä. (11.)

Asuntoministeri Jan Vapaavuori on vuonna 2010 käynnistänyt ERA17-Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017 -hankkeen. Energiaviisaasti rakennetulla ympäristöllä tarkoitetaan energiatehokasta, vähäpäästöistä ja laadukkaasti rakennettua ympäristöä, jossa ilmastonmuutoksen torjunnan edellytykset on täytetty. Hankkeen energiaviisauden ajatuksena on kiinnittää huomiota useaan eri tekijään: maankäyttöön, uudis- ja korjausrakentamiseen, rakennusten ylläpitoon ja uusiutuvan energian hyödyntämiseen. ERA17-toimintaohjelman tavoitteena on kannustaa Suomea ottamaan paikkansa energiatehokkuuden edelläkävijänä ja saavuttamaan vuodelle 2020 asetetut päästötavoitteet jo vuonna 2017, jolloin Suomi täyttää 100 vuotta. Hankkeen päämääränä on, että vuonna 2050 Suomessa on maailman paras energiatehokkaasti rakennettu ympäristö. (18.)

2.4 Rakenteiden vuotokohdat

Tampereen teknillisen yliopiston tekemän AISE-tutkimuksen perusteella rakennuksissa todetuista ilmanvuotokohdista suurin osa pientaloissa oli ulkoseinän ja yläpohjan liitoskohdissa sekä ulkonurkissa (kuva 3). Merkittäviä ilmanvuotokohtia esiintyi ikkunoissa ja ovissa sekä näiden liitoskohdissa ulkoseinään, ulkoseinän ja välipohjan liitoksessa sekä ilmansulun läpivienneissä. Kerrostaloissa suurimmat vuotokohdat olivat ikkunat, ovet ja niiden liitoskohdat. Muita merkittäviä vuotokohtia olivat ulkoseinän ja välipohjan liitos sekä ulkoseinän ja yläpoh-

jan liitos. Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen yleisimmät ilmanvuotokohdat. (2, s. 99.)



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

KUVA 3. Rakennuksen yleisimmät ilmanvuotokohdat (19, s. 41)

2.4.1 Suunnitteluratkaisuista aiheutuvat vuodot

Rakennuksen huolellinen suunnittelu on oleellinen osa ilmatiiviin rakennuksen toteutusta. Käyttämällä riskialttiita rakenteita ja liitosratkaisuja voidaan taata ilmatiiveyden kannalta huono lopputulos. Rakennuksen vaikea muoto, erilaisten rakennedetaljien määrä, läpiviennit, LVI-järjestelmien puuttuvat tai jopa mahdottomat tilavaraukset ja vaikeasti toteutettavat rakennusosien liitokset lisäävät ilmanvuotopaikkojen mahdollisuutta. Rakennusvaippa ja rakenteiden väliset liitokset tulee suunnitella siten, että ne on helppo toteuttaa ja niistä tulee ilmanpitäviä eikä niiden ilmanpitävyys vaarannu rakennuksen ikääntyessä rakenteiden taipumien ja muodonmuutosten johdosta. Tämä voidaan varmistaa määrittelemällä suunnitelmissa käytettäväksi pitkäaikaiskestävyyden omaavia raken-

nusmateriaaleja, kuten teippejä ja valmiita läpivientikappaleita. (20, s. 11; 7, s. 7 - 8.)

Ilmanvuotolukua ei voida sitoa pelkästään tiettyihin rakenneratkaisuihin, vaan työn toteuttajalle ja työn valvojalle on määritettävä selkeät ohjeet rakenteen toteuttamisesta. Detaljitason suunnittelussa täytyy huomioida rakenteen käytännön toteutus myös työn suorittajan kannalta, koska rakenteet monesti helppo toteuttaa ajatustasolla ja piirtää, mutta työmaaolosuhteissa vaikea toteuttaa. Piiloon jääviä rakenteita suunniteltaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteiden ilmatiiveyden varmistamiseen. Käyttämällä helposti toteutettavia, yksinkertaisia ja helposti tiivistettäviä ratkaisuja varmistutaan ilmatiiveydestä myös työn toteutuksen kannalta. (20, s. 11; 7, s. 7 - 8)

2.4.2 Työntoteutuksesta aiheutuvat vuodot

Rakennuksen vaipan hallitsemattomat ilmanvuodot aiheutuvat yleensä rakennusvaiheessa jääneistä raoista, asennuksissa vioittuneista höyrynsuluista, huonosti tiivistetyistä rakenteiden liittymistä ja läpivienneistä sekä käytössä kuluneista rakennusosista ja tiivisteistä. Rakenteiden liittymäkohdat ja liitoskohdat tulee tiivistää työmaalla huolellisesti ja työnvalvonnalla varmistaa ettei lopputulosta pilata sähkö- ja LVI-töiden tai viimeistelyiden aikana. (21; 7, s. 7.)

Vakioidussa rakentamistavassa, jossa tiettyä rakennetyyppiä toistetaan tai rakennetaan toistuvasti samankaltaisia rakennuksia, voi lähes huomaamatta syntyä rakenteisiin vuotokohtia, jos esimerkiksi LVIS-töiden yhteydessä tehtävät läpiviennit tiivistetään huolimattomasti tai suunnitelmista poikkeavasti. Ikkunoiden ja ovien asennuksessa on huomioitava, että ikkunat ja ovet asennetaan suoraan kulmaan, jotta karmien tiivisteet ottavat kaikissa kohdissa kiinni ikkunoiden ja ovien karmeihin. (7, s. 7 - 8.)

Karmin ristimitta jää useasti ikkunoiden ja ovien asennuksessa tarkistamatta. Vaikka ikkuna tai ovi on asennettu suoraan, rungon ja karmin väli on tiivistetty huolellisesti, on mahdollista, että ilmanvuoto tapahtuu ikkunan tiivisteiden kautta, mikäli karmin ristimittaa ei ole tarkastettu asennusvaiheessa. Tämän vuoksi ik-

kunoiden ja ovien oikeaoppinen säätäminen ja tiivisteiden kunnon tarkistaminen rakennusvaiheessa on erityisen tärkeää (7, s. 7 - 8.)

Ilmanpitävyys on rakennuksen kannalta tärkeä ominaisuus ja huolellisella työnsuorituksella kaikista käytössä olevista rakenteista pystytään toteuttamaan ilmanpitävyydeltään hyviä rakennuksia. Ilmatiiveyden toteuttamisen varmistamiseksi työntekijällä ja työnjohdolla tulee olla tieto siitä, miksi halutaan tehdä ilmapitävä rakennus, mihin ilmatiiveys vaikuttaa ja miten se käytännössä toteutetaan. Motivoimalla työntekijöitä varmistetaan että työ suoritetaan riittävällä huolellisuudella. (2, s. 9 - 11.)

2.4.3 Rakenteista ja materiaaleista aiheutuvat vuodot

Rankarakenteet

Rankarakenteisissa rakennuksissa vaipan ilmanpitävyydestä vastaava ainekerros sijoitetaan yleensä vaipan lämpimälle puolelle rakenteen sisäpinnan läheisyyteen. Rankarakenteisessa vaipassa ilmansulkuna voidaan käyttää esimerkiksi kalvoa, levyä tai ilmanpitävää solumuovieristettä. Useasti ilmansulkumateriaali toimii samalla myös höyrynsulkuna. Rakennuksen vaipan kaikkien osien tulee olla ilmanpitäviä ja käytettävien materiaalien tulee säilyttää ominaisuutensa koko rakennuksen suunnitellun käyttöajan. (7, s. 8 - 9 ; 2, s. 97.)

Rankarakenteissa suurimmat ilmavuotokohdat esiintyvät rakenteiden liitoskohdissa, ilmasulun jatkoksissa, ikkunoiden ja ovien liittymissä seinärakenteeseen ja LVIS-läpivientien tiivistyksissä. Vaikka rakennuksen vaipan ilmatiiveys olisi toteutettu höyrynsulkukerroksen osalta huolellisesti, on rakennustekniikan asentamisen yhteydessä vaarana syntyä vuotokohtia. LVIS-asennuksia suorittaessa on pyrittävä minimoimaan läpivientien määrä ja pyrkiä säilyttämään höyrynsulkukerros ehjänä asennuksen aikana ja viimeistelytyöiden yhteydessä. Ikkunoiden ja ovien ilmavuotokohdat aiheutuvat yleensä huolimattomasti tehdystä tiivistyksestä. (7, s. 8.)

Kalvomaisia ilmasulkuja ei saa kuormittaa millään tavalla. Esimerkiksi yläpohjan lämmöneriste voi ajan mittaan aiheuttaa kalvossa venymistä tai rikkoa jatkoskohdan. Sekarakenteissa ja liitettäessä kalvomaista ilmansulkua sellaisiin ulko-

seinärakenteisiin, joissa ei ole erillistä kalvomaista ilmansulkua, esimerkiksi betonirakenteisiin, liitoksen tulee säilyä ehjänä, vaikka rakenteet eläisivät eriaikaisesti. (7, s. 8; 2, s. 97.)

Betonirakenteet

Betonirakenteessa ei varsinaisesti tarvita erillistä ilman- tai höyrynsulkukerrosta, mikäli rakenteen paksuus on vähintään 100 mm. Betonirakenteissa suurimmat vuotokohdat esiintyvät ikkunoissa, ovissa, läpivienneissä ja niiden liitoksissa betonirakenteeseen. Muita vuotokohtia betonirakenteissa ilmenee ulkoseinän ja välipohjan liitoksissa sekä ulkoseinän ja yläpohjan liitoksissa. (2, s. 9 - 11.)

Betoniset seinäelementit ovat itsessään ilman pitäviä, kunhan suurten halkeamien syntyminen on estetty riittävän tiheällä raudoituksella. Elementtien väliset saumat toteutetaan juotosvaluilla ja elastisilla saumamassoilla, esimerkiksi kittaamalla. Juotosvalujen ilmanpitävyyden varmistamisessa olennaisin osuus on työn suorituksella. Elementeillä toteutetuilla seinärakenteilla heikko ilmanpitävyys johtuu yleensä heikosti toteutetuista elementtien välisistä liitoksista sekä ikkuna- ja oviaukkojen tiivistyksistä. (2, s. 100.)

Maanvaraisessa betonilaatassa vuotokohdat ilmenevät ulkoseinän ja laatan välisissä liitoksissa, sekä läpivientikohdissa ja läpivientien varauskohdissa. Maanvaraisen laatan ja ulkoseinän liitos tulee aina tiivistää elastisella saumamassalla ja tarvittaessa bitumikermikaistalla vuotokohtien välttämiseksi. Huolimatta siitä, että käytössä olevien läpivientien juuret olisi tiivistetty, voi mahdollisista läpivienti varauksista ja putkista tapahtua ilmavuotoja, mikäli niitä ei ole tiivistetty väliaikaisesti. Alapohjan ja ulkoseinän liittymän sekä alapohjan läpivientien ilmanpitävyys on erityisen tärkeä hyvän sisäilman saavuttamiseksi. (7, s. 8 - 9; 2, s. 22 - 99.)

Betonirakenteiset yläpohjat toteutetaan asuinrakennuksissa yleensä ontelolaa-toilla. Teräsbetoniset välipohja ja yläpohja elementit ovat rakenteellisesti itsessään yleensä ilmanpitäviä, mutta elementtien väliset saumat on ilmanpitävyyden varmistamiseksi tiivistettävä erikseen juotosmassalla. Saumavaluihin syntyy ajan myötä käytännössä aina halkeamia, joista ilmanvuodot tapahtuvat. Eri-

tyisesti halkeamia esiintyy elementtien reuna- ja päätyvaluissa. Yläpohjissa huonosti tiivistetyistä elementtisaumoista kulkeutuu konvektion mukana käytännössä aina suuri määrä kosteutta lämmöneristekerrokseen, koska rakennuksen yläosa on yleensä ylipaineinen. Yläpohjissa tämä ilmiö voidaan estää asentamalla elementtien välisten saumojen päälle ilmansulkukaistat, esimerkiksi kumi-bitumikermikaistat. Välipohjissa tämä ilmiö estetään yleensä elementtien päälle valettavalla pinta- tai tasaus valulla. (2, s. 23; 7, s. 8.)

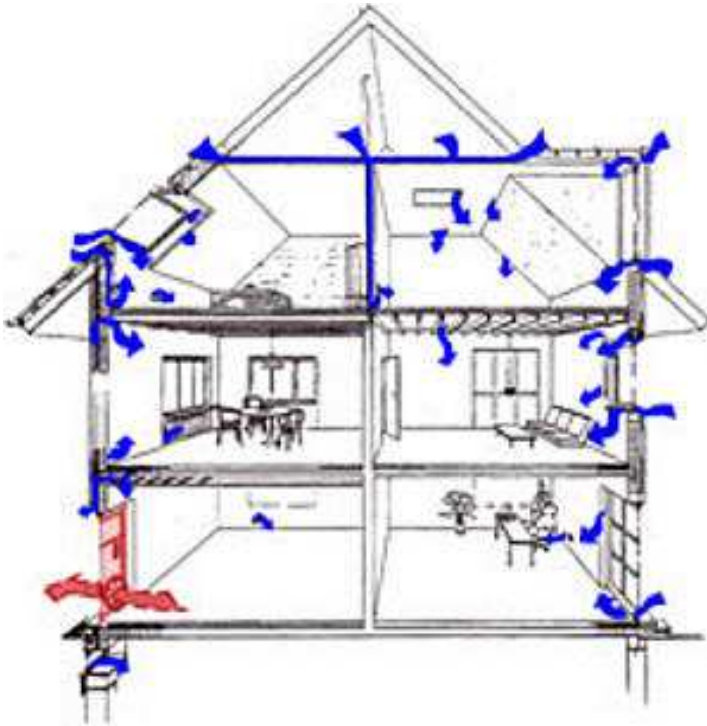
Sekarakenteita käyttäessä saattavat ilmanvuotokohdat aiheutua rungon suurista muodonmuutoksista. Kivi- ja puurakenteiden liittymä kohdat ovat usein huonosti suunniteltu eikä niiden toteutukseen ole kiinnitetty erityistä huomiota. Rakenteissa tapahtuvat muodonmuutokset, kuten taipumat, painumat sekä lämpö- ja kosteusliikkeet voivat aiheuttaa kivi- ja puurakenteiden liitoksissa eriaikaista rakenteiden elämistä ja näin ollen synnyttää ilmanvuotokohtia. Sekarakenteiden liitoksissa sijaitsevat vuotokohdat ovat usein piilossa ja niiden havaitseminen on hankalaa. Vuotokohtien paikallistaminen vaatii yleensä purkamista, minkä vuoksi rakennus vaiheessa tulisikin kiinnittää erityistä huomiota ilmatiiveyden toteuttamiseen. (2, s. 1.)

3 ILMATIIVEYDEN MITTAUS

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun mittaus 50 Pa:n paine-erolla tapahtuu standardissa SFS-EN 13829 määritellyllä tavalla. Ilmanvuotoluvun mittaus tapahtuu standardissa esitetyllä menetelmällä B rakennuksen vaipan testaus, missä rakennukseen tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot, tulisijat ja hormit suljetaan ilmatiiviiksi teippaamalla tai muuta luotettavaa menetelmää käyttäen. Tämän jälkeen luodaan haluttu paine-ero vaipan yli sisä- ja ulkoilman välille ja mitataan rakenteiden läpi vuotavan ilman määrä. Mittauksiin valmistuessa tulee varmistaa, että myös ikkunat ja ovet on suljettu tiiviisti. (7, s. 10 - 12.)

3.1 Ilmanvuotoluvun mittaus

Rakennuksen vaipan yli tapahtuvien ilmapuotojen mittauksessa voidaan käyttää joko ali- tai ylipainekoetta. Halutun paine eron saamiseksi rakennuksen ulkovai-pan yli pitää painekoetta käyttäessä määritellään ilman tilavuusvirta, joka täytyy puhalttaa rakennukseen tai sieltä pois. Ilmantilavuusvirrat määritellään portait- tain erisuuruisilla paine-eroilla vähintään 50 Pa:n paine-eroon saakka. Suositel- tavaa onkin, että painekoe mittaus suoritetaan sekä yli- että alipaineessa, koska vaipan ilmanvuotoluku saattaa muuttua oleellisesti paine-erojen suunnan muut- tuessa. Tämä johtuu pääosin siitä, että osa ilmansulun ilmanvuotokohdat saat- tavat sulkeutua tai avautua ilmanvirtauksen suunnan muuttuessa. Kuvassa 4 on esitetty tilanne, jossa rakennukseen on luotu alipaine painekoelaitteistolla. (7, s. 10 - 11.)



KUVA 4. Ilmanvuotoluvun mittaus alipaine kokeella (22)

Kuvassa 4 alipaine on luotu rakennukseen ulko-oveen asennettavalla paine-koelaitteistolla. Rakennukseen aiheutetun alipaineen vaikutuksesta ilma virtaa vaipan ulkopuolelta rakennuksen sisään ilmanvuotokohtien kautta.

Rakennuksen ilmanvuotoluku voidaan määrittää vaihtoehtoisesti myös alle 50 Pa:n paine-erolla, mikäli painekokeessa saavutetaan vähintään 30 Pa:n paine-ero ja mittaukset on tehty portaittain tasaisin välein vähintään kolmella eri paine-erolla. Kesä aikana ulkolämpötilan ollessa ≥ 15 °C ja tuulettomalla säällä, kun tuulen nopeus on ≤ 1 m/s, voidaan hyväksyä myös vähintään 20 Pa:n paine-ero. Käytettäessä alle 50 Pa:n paine-eroa määritellään sitä vastaava ilmanvuotoluku alemmissa paine-eroissa saaduista mittaustuloksista logaritmisella asteikolla ekstrapoloimalla. (7, s. 11.)

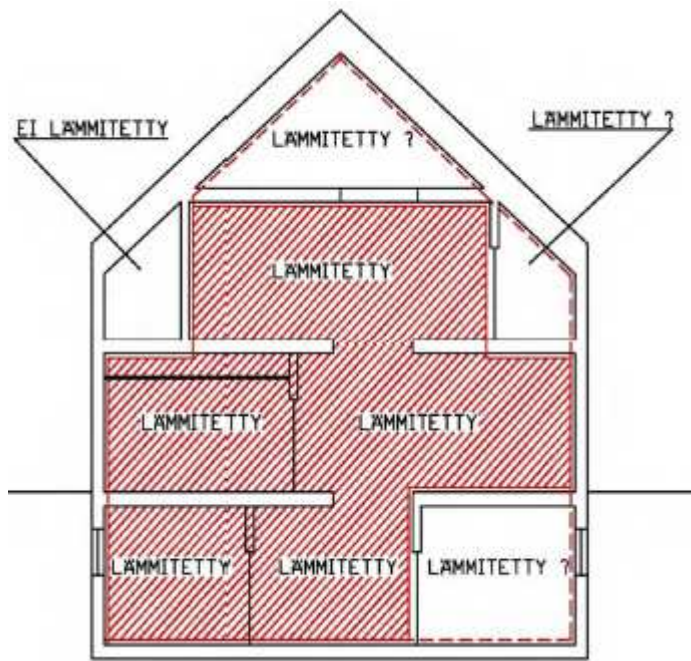
Painekokeessa mitattu ilmanvuotoluku ilmoitetaan joko n_{50} -lukuna tai q_{50} -lukuna, joka antaa todellisemman kuvan ilmanvuotoluvusta myös suurissa rakennuksissa. Ilmanvuotoluvun mittaustulokset annetaan käytettäessä n_{50} -lukua 0,1 1/h tarkkuudella ja käytettäessä q_{50} -lukua $0,1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ tarkkuudella. Mikäli mittaus suoritetaan sekä ali- että ylipaineessa ja ilmanvuotoluvut eroavat toisistaan enintään 0,5 1/h, ilmoitetaan rakennuksen ilmanvuotoluku niiden keskiar-

vona. Ilmanvuotolukujen erotessa toisistaan enemmän kuin 0,5 1/h valitaan rakennuksen ilmanvuotoluvuksi suurempi mitattu arvo. Mikäli tarvitaan pyöristysä, ne suoritetaan normaalien pyöristyssääntöjen mukaisesti. Ilmanvuotolukujen laskenta on esitetty luvussa 2.3. (7, s. 11.)

3.2 Mitattavat tilat

Ilmanvuotoluvun mittauksessa mitattaviksi tiloiksi otetaan yleensä mukaan kaikki tilat, jotka ovat selvästi ilmanpitävän vaipan sisäpuolella. Yleensä mitattaviin tiloihin kuuluvat kaikki lämmitetyt ja jäähdytetyt tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Vain tietyssä osassa rakennusta tehtävissä mittauksissa mitattavaan tilaan otetaan mukaan kaikki saman palo-osaston sisäpuolella sijaitsevat tilat. Mikäli mitattavaan tilaan liittyy lämmöneristetty tila, joka on jäähdytetty tai lämmitetty, mutta se on selvästi ilmanpitävän vaipan ulkopuolella eikä sillä ole erillistä tiivistä ilmansulkukerrosta, jätetään tila mittauksen ulkopuolelle. Mitattavaan tilaan otetaan siis mukaan esimerkiksi tekniset tilat, autotallit, varastot ja kellarit, mikäli ne ovat ilmanpitävän vaipan sisäpuolella. (7, s. 12.)

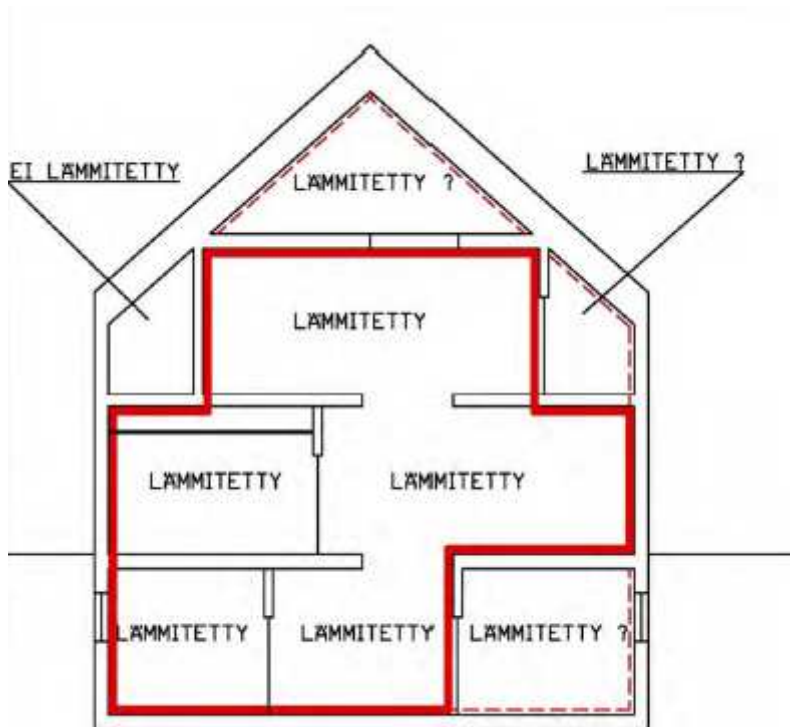
Ilmanvuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 määritellyllä tavalla. Osassa D5 määritelty laskentatapa poikkeaa joiltakin osin standardissa SFS-EN 13829 esitetystä tavasta. Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan rakennuksen ilmatilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei oteta huomioon rakennuksen ilmatilavuuden laskennassa. Huoneistojen tilavuus lasketaan samaa menetelmää käyttäen. Näin ollen huoneiston ilmatilavuuden laskenta poikkeaa osassa D5 määritetystä huoneiston ilmatilavuudesta siten, että väliseinät otetaan mukaan ilmatilavuuteen. Myös alle 160 cm korkeat tilat otetaan huomioon ilmatilavuuden laskennassa, kun taas standardin SFS-EN 13829 mukaan niitä ei tulisi huomioida. Alle 160 cm korkeiden tilojen huomioiminen laskelmissa kuvaa paremmin tutkittavan rakennuksen todellista ilmatilavuutta. Väliseinien laskeminen helpottaa laskentatyötä, mutta vaikutus lopputulokseen on vähäinen. Kuvassa 5 on esitetty periaate rakennuksen ilmatilavuuden laskennasta. (7, s. 12.)



KUVA 5. Rakennuksen ilmatilavuuden laskenta (23, s.10)

Ilmatilavuuden oikein laskeminen on tärkeää ilmanvuotoluvun kannalta. Kuvasta 5 on nähtävissä, mitä tiloja ilmanvuotoluvun laskemiseen tarvittavaan rakennuksen ilmatilavuuteen tulee ottaa huomioon. Mikäli laskettu ilmatilavuus on suurempi kuin todellinen laskennallinen tilavuus, vääristyy ilmanvuotoluku ja saadaan todellista pienempi ilmanvuotoluvun arvo.

Ilmoitettaessa ilmanvuotoluku q_{50} -lukuna myös rakennuksen vaipan pinta-alan tulee olla selvillä. Rakennuksen vaipan pinta-ala lasketaan sisämittojen mukaan. Vaipan pinta-alaan otetaan huomioon kaikkien mittauskohdetta ympäröivien alapohjien, seinien ja kattojen yhteenlaskettu pinta-ala. Kuvassa 6 on esitetty periaate vaipan pinta-alan laskennasta sisämittojen mukaan. (23, s. 10 - 11; 7, s. 11.)



KUVA 6. Rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan (23, s.11)

3.3 Mittaustavat ja menettelyt

Käyttäessä rakennuksen suunnittelussa ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona rakentamismääräyskokoelmissa ilmoitettua raja-arvoa pienempää ilmavuotolukua se tulee osoittaa mittaamalla tai muulla menettelyllä. Ilmoitusmenettely on yksi mahdollinen vaihtoehtoinen menettely ilmapitävyyden osoittamiseksi siten, että mittauksia ei tarvitse tehdä jokaisessa rakennuksessa. (7, s. 3.)

Ilmoitusmenettelyssä laadunvarmistuksen piiriin tulee kuulua kaikki kriittiset ilman pitävyyteen vaikuttavat vaiheet suunnittelussa, urakoinnissa, toteutuksessa ja työmaanvalvonnassa. Talotoimittaja voi valitsemisensa talotyypeissä käyttää ilmoitettuja ilmanvuotoluvun arvoja, mikäli ne on määritetty ilmoitusmenettelyn avulla. (7, s. 3.)

Ilmoitusmenettely koostuu kolmesta eri osa-alueesta, jotka ovat:

- tutkimus
- ilmoitus
- seuranta.

Ilmoitusmenettelyssä ulkoinen taho suorittaa ilmoitusmenettelyyn liittyvät tutkimukset. Talotoimittaja ja tutkimuksen tekijä sopivat yhdessä, mitkä talotoimittajan toteutusratkaisusta kuuluvat kunkin valitun talotyypin piiriin. Tehtävien tutkimusten tulee sisältää rakennuksen ilmatiiveysmittaukset sekä määrittelyt talotyypin kuvauksesta, käytettävistä liitoksista ja detaljeista, rakennusmateriaaleista, rakennusprosessista ja työmaavalvonnasta. Tutkimuksen tulee sisältää vähintään kuuden valmiin rakennuksen ilmanvuotoluvun mittaukset kustakin valitusta talotyyppistä. (7, s. 4 - 5.)

Tutkimuksiin valittujen rakennusten ilmanvuotolukujen perusteella lasketaan kyseessä oleville talotyyppille tai toteutusratkaisulle ilmanvuotoluku $n_{50, ilm}$ kaavalla 3. (7, s. 6.)

$$n_{50, ilm} = n_{50} + k * s_{n50}$$

KAAVA 3

missä

n_{50} = talotyyppin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennusten ilmanvuotolukujen keskiarvo [1/h]

k = kerroin, joka riippuu mitattujen rakennusten lukumäärästä

s_{n50} = talotyyppin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennusten ilmanvuotolukujen keskihajonta [1/h].

Ilmoitetussa ilmanvuotoluvussa otetaan huomioon mitattujen kohteiden lukumäärä ja saatujen mittaustulosten keskihajonta. Tutkimuksessa kaikki saadut ilmanvuotoluvun mittaustulokset otetaan huomioon, lukuun ottamatta sellaisia kohteita, joista ei ole saatu luotettavia mittaustuloksia. Ilmoitettu ilmanvuotolu-

vun arvo annetaan 0,1 1/h tarkkuudella ja pyöristykset suoritetaan normaalien pyöristyssääntöjen mukaisesti. (7, s. 6.)

Seurantamittaukset suorittaa talotoimittaja itse tai hänen valtuuttamansa taho. Seurantamittaukset tehdään kolmenvuoden jaksoissa ja niiden perusteella määritellään uudet talotyyppiä koskevat ilmanvuotoluvut seuraavan seurantajakson ajaksi. Seurantajakson aikana mitataan satunnaisesti eri asentajat ja mahdollisuuksien mukaan maantieteellisesti eri alueilla sijaitsevat rakennukset huomioon ottaen vähintään kolme kunkin valitun talotyyppin rakennuksista. (7, s. 6.)

Ilmoitusmenettelyn sijaan voidaan aina käyttää myös kohdekohtaista ilmanvuotoluvun mittausta. Tällöin suunnitteluvaiheessa tulisi käyttää varmalla puolella olevaa ilmanvuotoluvun suunnitteluarvoa, jotta sen saavuttaminen ei aiheuttaisi kohtuuttomia ongelmia. Kohdekohtaisen ilmanvuotoluvun mittauksen suorittajalla tulee olla riittävä ammattitaito ja pätevyys mittauksen suorittamiseen, lämpökamerakuvaukseen ja saatujen tulosten analysointiin. Mikäli rakennusvalvonta viranomainen epäilee tulosten luotettavuutta, heillä on mahdollisuus perustellusta syystä velvoittaa talotoimittaja teettämään tarvittava määrä mittauksia ulkopuolisella taholla mittausten luotettavuuden varmistamiseksi. (7, s. 3.)

3.4 Mittauslaitteisto

Rakennuksen ilmanvuotoluvun mittaus suoritetaan sitä varten valmistetulla painekoelaitteistolla tai vaihtoehtoisesti käyttämällä rakennuksen omia ilmanvaihtolaitteita. Käytettäessä rakennuksen omaa ilmanvaihtokonetta ilmanvuotoluvun mittaukseen ilmanvaihtojärjestelmänä tulee toimia joko keskitetty poistonilmanvaihtojärjestelmä tai keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Keskitetyllä poistoilmanvaihtojärjestelmällä voidaan suorittaa alipainekoe, kun huoneiston korvausilmakanavat suljetaan ja ilma tilavuusvirta mitataan puhaltimen tai IV-koneen poistoilma kanavasta. Koneellisella tulo- ja poistonilmavaihdolla varustetuissa rakennuksissa voidaan tehdä sekä ali- että ylipainekoe sulkemalla joko IV-koneen tulo- tai poistoilma kanava mittausten ajaksi ja mittaamalla ilmatilavuusvirta avoinna olevasta kanavasta. IV-koneen avulla tehtävissä ilmatiiveysmittauksissa on tärkeää varmistua, että mitattava tila sisältää kaikki tilat, joiden ilmanvaihdosta IV-kone huolehtii. (7, s. 10.)

Ilmatiiveyden mittaus olisi suositeltavaa kuitenkin ensisijaisesti suorittaa sitä varten rakennetulla painekoelaitteistolla, koska saatava mittaus tulos on luotettavampi, kuin IV-koneen avulla mitatessa. Painekoelaitteistojen mittaustarkkuudessa esiintyy käytännössä aina merkittäviäkin merkki- ja laitekohtaisia eroja. Yleensä mittaustarkkuus on laitteesta riippumatta riittävä suurilla ilmanvuotoluvuilla, mutta pienillä vuotoilmavirroilla ja ilmanvuotoluvun ollessa $<1,5 \text{ l/h}$ syntyy laitekohtaisesti vertaillessa merkittäviä eroja. (7, s. 10 - 13.)

Ilmanpitävyys raportissa tulee aina mainita mittauslaitteiston merkki ja laitteen soveltuvuus myös pienten ilmavirtojen ja ilmanvuotolukujen mittaukseen sekä tarkkuus eri ilmavirroilla, mikäli ne on määritelty laitteen valmistajan toimesta tai testitulosten avulla. Tästä syystä johtuen paikallinen rakennusvalvontaviranomainen voi perustellusta syystä edellyttää tarkistusmittaukset toisella laitteella, jos mittaustulokset on määritelty laitteistolla, jonka soveltuvuus on todettu puutteelliseksi tuloksena esitetyn kyseisen kohteen vuotoilmavirta- tai ilmanvuotolukutasolle. Kuvassa 7 on esitetty yleisesti käytössä oleva painekoelaitteisto. (7, s. 10 - 13.)



KUVA 7. Minneapolis Blower Door -painekoelaitteisto (24, s. 1)

Kuvassa 7 on esitetty Minneapolis Blower Door -paineoelaitteisto. Kyseisen valmistajan painekoelaitteistoilla kyetään mittaamaan tarkasti myös pieniä vuotoilmamääriä ja ilmanvuotolukuja. Laitteistoon kuuluu ulko-oveen asennettu kehys, johon on asennettu puhallin ja kutistusrengas. Puhaltimeen on kytketty paine-eromittari, joka on yhteydessä puhaltimeen ja tietokoneeseen asennettuun laitteiston mukana toimitettavaan Tectite-hallintaohjelmistoon. (24, s. 1 - 2.)

Ilmanvuotoluvun mittauksessa käytettävät painekoelaitteistot tulee kalibroida säännöllisesti. Ellei mittauslaitteiston valmistaja ole määrittänyt erillisiä kalibrointivälejä, mittauslaitteistot tulee kalibroida seuraavin väliajoin: Paineoelaitteisto, virtaus ja paine-eromittarit 2 vuoden välein ja lämpötila-anturit 4 vuoden välein. Mikäli laitteisto vaurioituu, kalibroinnit tulee suorittaa uudelleen tehtävien korjaustoimenpiteiden jälkeen. (7, s. 13.)

3.5 Mittausten suorittamisen ajankohta ja olosuhteet

Standardin SFS-EN 13829 B -menetelmän mukaisesti suoritettava ilmanvuotoluvun mittaus voidaan suorittaa joko valmiista tai rakenteilla olevasta rakennuksesta. Ilmatiiveyden mittaus suoritetaan usein vasta rakennuksen ollessa valmis, jolloin mittaustuloksina saadaan lopullinen ilmanvuotoluku. Valmiista rakennuksesta saadaan yleensä myös paras mittaustulos, mutta vuotokohtat usein myös hankala paikallistaa. Mikäli mittauksissa havaitaan vuotokohta, sen paikallistaminen ja korjaus on yleensä mahdotonta ilman rakenteiden purkua. Jos ilmanvuotoluvun suunnitteluarvoa on käytetty tasaaslaskennassa lämpöhäviöiden kompensoinnissa ja saatu mittaustulos poikkeaa suunnitteluarvosta, suoritetaan lisätiivistäminen ja uusintamittaus. Tarvittaessa tätä toimenpidettä jatketaan, kunnes päästään suunnitteluarvon mukaiselle tasolle. Tämän vuoksi rakennuksen ilmatiiveydestä tulisi varmistua jo rakennusaikana. (7, s. 12; 23, s. 12 - 14.)

Uusissa taloissa ilmanvuotoluvun mittaus on suositeltavaa suorittaa osana laadunvarmistusta. Mittaukset tulisi suorittaa, kun kaikki ulkovaipan ilmanpitävyyteen vaikuttavat rakennustyöt on tehty valmiiksi, mutta pintarakenteita ei ole asennettu ja mahdolliset lisätiivistykset voidaan vielä suorittaa. Hyvinä puolina rakennusvaiheessa tehdyssä mittauksessa on, että ilmansulkumateriaali on

nähtävillä, ilmanvuotokohdat löytyvät helposti, korjaukset onnistuvat helposti ja korjaukset on helppo toteuttaa. Ilmanvuotoluku ei kuitenkaan ole rakennusvaiheessa suoritetuissa mittauksissa aina lopullinen, vaan se täytyy usein vielä mitata uudelleen rakennuksen valmistuttua, lopullisen ilmanvuotoluvun selvittämiseksi. (7, s. 12; 23, s. 13.)

Paine-ero mittaus tulee aina pyrkiä suorittamaan tuulelta suojassa olevan julkisivun puolelta. Standardin SFS-EN 13829:n mukaisesti rakennuksen ja ulkoilman luonnollinen paine-ero ennen mittausta tai sen jälkeen ei saa ylittää arvoa ± 5 Pa. Ehdon täyttymiseksi tulee seuraavien ehtojen olla voimassa mittausajankohtana:

- Tuulen nopeuden tulee olla mittaushetkellä alle 6 m/s.
- Sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen suurimmalla korkeudella ei saa ylittää arvoa 500, koska savupiippuilmioilla olisi liian suuri vääristävä vaikutus saataviin mittaustuloksiin. (7, s. 11; 23, s. 13.)

3.6 Pientalon ilmatiiveyden mittaus

Puhuttaessa pientaloista ilmatiiveysmittauksen yhteydessä tarkoitetaan pientalolla pari- ja rivitaloja. Pientalossa ilmanvuotoluku voidaan määrittää mittaamalla ilmapitävyys vähintään yhdestä huoneistosta. Mikäli rivitalosta mitataan useampi kuin yksi huoneisto, yhden mitattavista huoneistoista tulee sijaita rakennuksen päädyssä. Pääty huoneisto valitaan aina mitattavien huoneistojen joukkoon, koska silloin mitattava tila rajoittuu mahdollisimman suurelta osain ulkovaippaan. Mitattaessa huoneistoja, joiden vaipassa on käytetty useita eri toteutusratkaisuja sisältäviä sekarakenteita, mitattavat huoneistot tulee valita siten, että ne sisältävät kaikkia rakennetyyppejä. Luotettavimpaan lopputulokseen päästään kuitenkin mittaamalla useita erilaisia huoneistoja tai kaikki rakennuksen huoneistot. (7, s. 13.)

Huoneistojen välillä saattaa ilmetä paine-erojen vaihtelua, riippuen ilmanvaihtokoneiden säädöistä. Mikäli halutaan selvittää pelkän ulkovaipan ilmanvuotoluku pientalosta, joka sisältää useita eri huoneistoja, ovat kaikki huoneistot paineistettava samaan paineeseen yhtä aikaa. Tämän avulla estetään paine-erojen

vuoksi tapahtuva vuotoilmanvirta huoneistosta toiseen, joka saattaa vääristää vaipan todellista ilmanvuotolukua. Paineistaminen voidaan toteuttaa asentamalla jokaiseen huoneistoon erillinen painekoelaitteisto tai painekoe suoritetaan käyttämällä huoneistojen omia ilmanvaihtokoneita samanaikaisesti. Tässä tapauksessa rakennuksen ilmanvuotoluku ilmoitetaan huoneistojen ilmanvuotolukujen keskiarvona. (7, s. 13.)

Pientaloissa suoritettavissa painekokeissa vaipan yli vallitseva paine-ero voidaan mitata yhdellä paine-eromittarilla. Käytettäessä painekoelaitteistoa paineeron mittaaminen tapahtuu käytännössä aina ulko-ovesta johon painekoelaitteisto on kiinnitetty. (7, s. 13.)

3.7 Kerrostalon ilmatiiveyden mittaus

Kerrostalokohteissa rakennuksen ilmanpitävyys voidaan mitata joko yksittäisestä huoneistosta, yhdestä tai useammasta portaasta tai koko rakennuksesta. Kerrostaloissa ilmanvuotoluvun mittaus voidaan suorittaa erillisellä painekoelaitteistolla, huoneistojen omilla ilmanvaihtokoneilla tai rakennuksen omalla keskitetyllä ilmanvaihtokoneella. Jos mittaus tehdään yksittäisistä huoneistoista tai useammasta kokonaisesta portaasta, kerrostalon ilmanpitävyys ilmoitetaan saatujen mittaustulosten keskiarvona. (7, s. 14.)

Yksittäisiä huoneistoja mitatessa ei eritellä vaipan ja huoneistojen välisten rakenteiden ilmanvuotoja, joten koko portaan tai rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen kerralla antaa tarkemman tuloksen vaipan todellisesta ilmanpitävyydestä. Toisaalta tutkittaessa suuren tilan ilmapitävyyttä mittaus muuttaa yleensä merkittävästi rakennuksen sisätilavuuden ja vaipan sisäpinta-alan välistä suhdetta. Tämän vuoksi n_{50} -luku pienenee, vaikka ulkovaipan ilmapitävyys ei parane verrattuna yksittäisten huoneistojen ilmatiiveyteen. (7, s. 14.)

3.7.1 Yksittäisissä huoneistoissa tehtävät mittaukset

Kerrostalon ilmanvuotoluvun määrittäminen yksittäisistä huoneistoista edellyttää, että mittaukset suoritetaan vähintään kolmessa huoneistossa. Mitattavien huoneistojen tulee sijaita eri kerroksissa siten, että vähintään yksi huoneisto mitataan alimmasta ja ylimmästä kerroksesta sekä vähintään yksi huoneisto

joka toisesta välikerroksesta. Mikäli ulkovaipan toteutuksessa on käytetty useita eri rakenneratkaisuja, mitattaviksi valittujen huoneistojen vaipparakenteiden tulee sisältää kaikkia käytettyjä rakennetyyppejä. Luotettavimpaan lopputulokseen päästäkseen onkin suositeltavaa, että ilmatiiveysmittaus suoritetaan koko portaasta tai rakennuksesta kerralla. (7, s. 14.)

Yksittäisissä huoneistoissa tehtävissä mittauksissa painekoelaitteisto asennetaan huoneiston ulko-oveen, mutta paine-eromittaus suoritetaan ulkovaipan yli. Paine-ero voidaan mitata huoneistokohtaisesti yhdellä paine-eromittarilla ja se suositellaan mitattavaksi huoneiston sisäkorkeuden puolivälistä. (7, s. 14.)

3.7.2 Koko rakennuksessa tai portaassa tehtävät mittaukset

Kerrostalossa ilmanvuotoluvun mittaus voidaan suorittaa myös koko portaasta tai koko rakennuksesta kerralla. Edellytyksenä on, että portaan tai rakennuksen huoneistojen ulko-ovet ovat porrashuoneeseen katsottuna avoinna ja huoneistoissa olevat ilmanvaihdon aukot sekä tulisijat ja hormit on suljettu tiiviisti. (7, s. 15.)

Mitatessa ilmatiiveyttä koko portaassa tai talossa painekoelaitteisto tulee ensisijaisesti asentaa rakennuksen keskikerrokseen esimerkiksi parvekeoveen. Jos painekoelaitteisto asennetaan lasitetun parvekkeen oveen, tulee varmistua siitä, että parvekelasit ovat auki ja puhaltimesta tuleva ilmavirta pääsee esteettömästi virtaamaan. Tällöin paine-erot voidaan mitata yhden laitteiston yhteydessä sijaitsevalla paine-eromittarilla. Jos paine-eroja ei mitata portaan sisäkorkeuden puolivälin korkeudelta, ne tulee mitata sekä ylimmästä että alimmasta kerroksesta, jotta sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero ei vaikuttaisi mittaustuloksiin merkittävästi. (7, s. 15.)

Mikäli painekoelaitteisto on asennettu alimman kerroksen ulko-oveen, on alipainekokeessa perusteltua mitata ilman tilavuusvirrat myös 50 Pa suuremmilla paine-eroilla. Tämä johtuu siitä että painekoelaitteisto säättää ilman tilavuusvirtaa laitteiston yhteydessä olevan paine-ero anturin ilmoittaman paine-eron mukaisesti, jolloin saadut lukemat vastaavat talon alaosassa olevaa paine-eroa. Todellisuudessa rakennuksen keskimääräinen paine-ero voi kuitenkin olla huo-

mattavasti pienempi kuin rakennuksen alaosan paine-ero, varsinkin talvisaikaan mitattaessa. (7, s. 15.)

3.8 Vuotokohtien paikantaminen

Mikäli ilmatiiveysmittauksissa ei päästä suunnitteluarvon vaatimalle tasolle, on mahdollista, että ilmansulkukerrokseen on jäänyt vuotokohtia. Vuotokohtat on yleensä hankala paikallistaa valmiista rakennuksesta silmämääräisesti. Vuotokohtien paikantamiseen on kuitenkin kehitetty apuvälineitä, jotka helpottavat vuotokohtien paikantamista myös piilossa olevista rakenteista. Paineekokeen yhteydessä vuotokohtat voidaan paikallistaa lämpökameralla alipainekokeen yhteydessä tai merkkisavuilla ylipainekokeen yhteydessä. Vuotokohtia voidaan lisäksi paikallistaa myös ilmapirtausmittareilla ja tunnustelemalla yleisiä vuotokohtia. (7, s. 12.)

3.8.1 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on luotettava tapa selvittää rakenteiden vuotokohtia. Lämpökuvaus on ainetta rikkomaton rakennuksen laadun- ja kunnonarviointimenetelmä. Lämpökuvaus suoritetaan lämpökameralla, joka ottaa vastaan lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimien muuttama mitattavan kohteen lähettämän lämpösäteilyvoimakkuuden eli infrapunasäteilyn lämpötilatiedoksi, josta kamera muodostaa lämpökuvan digitaalisesti reaaliajassa. (25, s. 5; 26, s. 1 - 2.)

Valmiiden rakenteiden lämpötekniisiä ominaisuuksia tarkastellessa lämpökuvauksen avulla edellytetään ympäröiviltä olosuhteilta seuraavia ominaisuuksia:

- Vähintään 12 tunnin aikana ennen lämpökuvauksen toteutusta ei ulkoilman lämpötila saa poiketa enempää kuin $\pm 10\text{ °C}$ lämpökuvauksen aloittamisajan lämpötilasta. Massiivirakenteissa kyseinen aika on 24 tuntia.
- Vähintään 12 tunnin aikana ennen lämpökuvauksen toteutusta ja sen aikana ilman lämpötilaero ulkovaipan ylitse ei saa alittaa lukuarvoa $3/U$, jossa U kuvaa rakennusosan teoreettista lämmönläpäisykerrointa $W/(m^2K)$. Vaipan ylitse vaikuttava lämpötilaero ei saa kuitenkaan olla alle 15 °C .

- Vähintään 12 tunnin aikana ennen lämpökuvausta ja sen aikana tarkastettava rakenneos ei saa olla alttiina auringon säteilylle. Jos näin on kuitenkin tapahtunut, se tulee merkitä raporttiin ja ottaa huomioon tuloksien analysoinnissa.
- Lämpökuvauksen aikana ei ulkoilman lämpötilan muutos saa poiketa enempää kuin $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ eikä huonelämpötilan muutos saa poiketa enempää kuin $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpökuvauksen aloittamisen ajankohdasta.
- Kuvattavan rakennuksen sisätiloissa tulee olla normaali käyttötilanteen mukainen lievä alipaine ulkoilmaan verrattuna. Painovoimaisen ilmanvaihdon alaisissa tiloissa katonraja on yleensä ylipaineinen, mikä on tulosten analysoinnissa otettava huomioon. Alipaine ei kuitenkaan saa olla yli 15 Pa:n, koska silloin ei ole kysymyksessä normaali käyttötilanne. (26, s. 3.)

Uudisrakennuksissa lämpökuvaus ja tiiveysmittaus voidaan suorittaa kaksivaiheisena mittauksena. Ensimmäinen vaihe toteutetaan, kun vaippa on ummessa ja ilmanpitäväkerros on asennettu sekä läpiviennit tiivistetty. Jälkimmäinen vaihe suoritetaan, kun kaikki pinnat on asennettu ja rakennus on valmis. (25, s. 24.)

Ensimmäisessä vaiheessa tarkistetaan ilmanpitävän kerroksen toteutuksen onnistuneisuus osana laadunvarmistusta. Rakennuksesta tehdään voimakkaasti alipaineinen ja lämpökuvauksella etsitään vaipan vuotokohdat mahdollisia korjauksia varten. Toisessa vaiheessa tiiveysmittaus tehdään normaaliin tapaan ja lämpökuvaus suoritetaan rakennuksen normaali paineessa ohjeistuksen mukaisesti. Lämpökuvaus tehdään pääsääntöisesti rakennuksen sisäpuolelta, jolloin mahdolliset ilmavuotokohdat ovat alipaineen vuoksi helposti havaittavissa. (25, s. 25.)

3.8.2 Merkkisavut

Liitosten ilmanpitävyyttä voidaan myös tutkia merkkiainemenetelmillä, esimerkiksi merkkisavulla tai merkkikaasulla (kuva 8). Merkkisavulla kartoittaessa ilmanvuotokohtia tulisi rakennuksen olla ylipaineinen, joten se suositellaan tehtä-

väksi painekokeen aikana. Merkkisavulla voidaan paikallistaa rakenteiden vuotokohdat silmämääräisesti, koska savu pyrkii kulkeutumaan ylipaineessa ilma-vuotokohdasta ilmavirran mukana ulos. Merkkisavutekniikka on erityisen hyvä tutkittaessa lattian ja seinän vierustan, katon ja seinän vierustan, ulkoseinien sähkörsioiden sekä ikkunoiden ja ovien vuotokohtia. (7, s. 5 - 12; 27, s. 3.)



KUVA 8. Merkkisavun käyttö ylipainekokeessa (7, s. 12)

4 ILMATIIVEYDEN HUOMIOIMINEN ASIAKIRJOISSA

Hyvä ilmatiiveys on ehdoton edellytys suunniteltaessa matala- tai passiivienergiataloa. Rakennuksen ilmanpitävyys tulisikin ottaa huomioon jo rakennuksen arkkitehtisuunnittelusta alkaen. Rakennusta suunniteltaessa tulisi välttää riskialttiiden liitosratkaisujen ja rakenteiden käyttöä. Vaipan läpivientien määrä tulisi minimoida ja läpivientien sijoituspaikat tulisi miettiä huolella ennakkoon. Tämä kuitenkin edellyttää, että ilmanpitävyyteen on kiinnitetty huomiota sekä rakennuksen suunnittelussa että toteutuksessa. Ilmatiiviin rakennuksen toteutus ei ole mahdollista ilman eri suunnittelijoiden ja työmaan välistä tiivistä vuorovaikutusta. (7, s. 7.)

4.1 Suunnittelun ohjaus- ja laadunvarmistus

Ilmatiiviin rakennuksen toteutuksessa suunnitteluratkaisuilla voidaan vaikuttaa oleellisesti energiatehokkuuteen. Hyvä suunnittelu, ammattitaitoiset suunnittelijat sekä kattavat ja viimeistellyt rakennus- ja erityissuunnitelmat ovat ensiarvoisen tärkeitä rakennussuunnittelussa. Rakentamista koskeva suunnitelma laaditaan siten, että se täyttää rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä hyvän rakennustavan vaatimukset. (28, s. 8 - 9.)

Suunnittelun ohjauksella voidaan keskeisesti ohjata rakennuksen suunnittelua haluttuun suuntaan. Suunnittelun ohjauksella pyritään varmistamaan, että suunnitteluprosessi johtaa asetettuihin tavoitteisiin sekä tuottaa vaatimusten mukaiset ja hyväksytyt suunnitelmat. Suunnittelun ohjausvaiheen tärkeimmät tehtävät ovat

- suunnitteluprosessin käynnistäminen
- suunnittelukokousten- ja katselmusten järjestäminen ja dokumentointi
- suunnittelun etenemisen ja toteutuksen valvonta
- suunnitteluratkaisujen valinta ja vertailu
- suunnitelmien tavoitteen mukaisuuden varmistaminen
- suunnitelmien hyväksyttäminen tilaajalla ja käyttäjällä

- rakennuslupa- ja muihin viranomaislupiin liittyvien toimenpiteiden valvonta
- tarvittavien lisä- ja muutostyö suunnitelmien teettäminen. (29.)

Suunnittelun ohjauksen yhtenä tarkoituksena on siis vaikuttaa käytettäviin ratkaisuihin ja materiaaleihin jo suunnittelun aloituksesta asti. Suunnittelun ohjauksessa tulisi varmistaa, että arkkitehti, rakennesuunnittelija ja LVIS-suunnittelijat pelaavat yhteispeliä ja ottavat toistensa tarpeet huomioon alusta asti. Esimerkiksi LVIS-laitteiden ja asennusten tilavaraukset tulisi ottaa huomioon jo tilasuunnittelussa. Yksinkertaisesti ja hyvin suunnitellut rakenteet, rakennedetailit ja riittävät tilaratkaisut ovatkin avainasemassa ilmanpitävän rakennuksen suunnittelussa. Ilmansulkukerroksen yhtenäisyys on varmistettava juuri detailien suunnittelulla ja huolellisella toteutuksella. Helposti toistettavat ja tiivistettävät rakenteet ovat tärkeä osa onnistunutta suunnittelutyötä. (20, s. 8 - 11.)

LVIS-suunnittelussa laitteille ja asennuksille varatut tilavaraukset ovat ensiarvoisen tärkeitä. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelua varten arkkitehdin, LVI-suunnittelijan ja rakennesuunnittelijan tulisi yhdessä varmistaa, että laitteille varattu tila on riittävä, ja mahdollistaa lyhyimmän toteutettavissa olevan kanavien reitityksen. Ilmanvaihtokanavien tulee sijaita ilmansulkukerroksen lämpimällä puolella siten, että vain raitis- ja jäteilmakanavat läpäisevät höyrynsulkukerroksen. LVI-läpivienneissä tulee käyttää valmiita laipallisia läpivientikappaleita ja ne tulee myös merkitä suunnitelmiin. (20, s. 11; 7, s. 9.)

Tilavarauksissa tulee ottaa huomioon myös sähköasennukset. Rakenteet tulee suunnitella siten, että myös sähköasennukset voidaan asentaa ilmasulkukerrosta rikkomatta. Kalvomaisia ilmansulkutuotteita käyttäessä tämä voidaan varmistaa sijoittamalla höyrynsulku noin 50 mm:n etäisyydelle rakenteen sisäpinnasta. Mikäli höyrynsulkukerroksen täytyy jostakin syystä asentaa pintamateriaalin välitörmään läheisyyteen, voidaan sähköasennukset toteuttaa pintavetona käyttämällä listarasioita tai sijoittamalla sähköpisteet väliseiniin. Sähköläpivientien määrä täytyy lisäksi minimoida ja käytettävät läpivientikappaleet merkitä suunnitelmiin. (7, s. 9; 2, s. 12 - 16.)

4.2 Sopimukset

Rakenteellisesti ja taloudellisesti kestävä ja rakennuksen huolto- ja korjauskustannukset huomioon ottava lopputulos toteutuu taitavalla suunnittelulla, huolellisella ja ammattitaitoisella työn suorituksella sekä osaavalla työmaavalvonnalla. Laadunvarmistuksen piiriin tuleekin kuulua kaikki rakennuksen ilmanpitävyyteen vaikuttavat tekijät ja vaiheet suunnittelussa, urakoinnissa, rakennustöissä ja työmaavalvonnassa. (28, s. 9; 7, s. 4.)

Suunnittelu tai rakennustyön tilaajan tulee vastata kohteen riittävästä suunnittelu-, asennus- ja laadunvarmistusohjeista. Sopimuksia laadittaessa tulee sopimuksiin sisällyttää ainakin määrittelyt rakennustyyppin kuvauksesta, käytettävistä liitoksista ja detaljeista, rakennustavoista, käytettävistä rakennusmateriaaleista, rakennusprosessista ja työmaavalvonnasta siltä osin kuin ne liittyvät ilmanpitävän rakennuksen suunnittelemiseen, toteuttamiseen ja laadunvarmistamiseen. (7, s. 4.)

4.2.1 Suunnittelusopimukset

Maankäyttö ja rakennuslain mukaan, jokaisen rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sitä koskevien määräysten ja säännösten sekä myönnetyn rakennusluvan mukaisesti. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä tulee olla riittävät edellytykset ja pätevä henkilöstö kyseisen veloitteen täyttämiseksi. (28, s. 9.)

Suunnittelutyön osuus verrattuna koko hankkeen kustannuksiin on vähäinen. Suunnittelun hinta ei saa olla ainoa ja tärkein suunnittelijan valintaperuste. Hyvällä, yksityiskohtaisella suunnittelulla rakennusvaiheessa saavutettava taloudellinen hyöty voi olla merkittävä. Suunnittelijan asiantuntemusta ja kokemusta voidaan hyödyntää sisällyttämällä suunnittelusopimukseen myös suunnitelmien toteutuksen työmaavalvonta. Erityisesti rakennesuunnittelijaa voidaan käyttää tärkeiden rakennusvaiheiden tarkastusten vastuuhenkilönä. (28, s. 9.)

4.2.2 Aliurakkasopimukset

Rakennustyön toteutuksella on merkittävä osuus ilmatiiviin rakennuksen toteutuksessa. Ilmanpitävyyden kannalta parhaaseen lopputulokseen päästään poistamalla mahdolliset toteutusvaiheessa syntyvät virheet ja puutteet välittömästi ja tehokkaasti. Vastuullisen rakennushankkeeseen ryhtyvän tehtävänä on huolehtia siitä, että rakennustyöt suoritetaan suunnitelmien, säännösten ja määräysten mukaisesti. (28, s. 9; 7, s. 10.)

Aliurakkasopimuksia sopiessa on tärkeää huolehtia, että tehtävä työ tulee suoritettua annettujen ohjeiden ja suunnitelmien mukaisesti. Erityisesti LVIS-sopimuksia solmittaessa tulee määrittää kenelle vaippaan tehtävien läpivientien tiivistys kuuluu, miten ne toteutetaan ja mitä materiaaleja työn toteutukseen tulee käyttää. Sopimuksista tulee käydä ilmi toteutettavan kohteen energia tehokkuusvaatimukset ja suunniteltu ilmanvuotoluku. Mikäli ilmanvuotoluku todenneetaan mittaamalla, myös sen tulee ilmetä sopimuksista. Painottamalla ilmatiiveyden merkitystä tehtävien työvaiheiden suorittamisessa ja sisällyttämällä ilmatiiveyden laadunvarmistus aliurakkasopimukseen säästetään kustannuksissa ja varmistutaan, että työvaiheet suoritetaan huolellisesti. (28, s. 9; 7, s. 4.)

5 ILMATIIVEYDEN LAADUNVARMISTUS

Energiatehokkaaseen ilmatiiviiseen rakentamiseen tähdätessä on suunniteltuun, työmaateknikoihin ja työnsuoritukseen kiinnitettävä entistä enemmän huomiota. Rakennus yrityksillä on omat laadunohjausjärjestelmänsä, mutta ilmatiiveyden toteutuksesta on puuttunut järjestelmällinen laadunvarmistusmenettely. Rakennusyrityksen tuotannossa käytettävät menetelmät ja työn toteutuksen tarkkuus vaihtelevat työmaasta ja työtekniikoista riippuen. Tämän vuoksi ilmatiiveyden taso saattaa yrityksen rakentamissa kohteissa vaihdella huomattavasti kohdekohtaisesti tarkastellessa. (28, s. 7 - 9; 2, s. 6 - 9.)

Ilmatiiveyden laadunvarmentaminen yksittäisenä työvaiheena on hankalaa, koska ilmatiiviin rakennuksen toteuttaminen koostuu useasta eri vaiheesta. Koska ilmatiiviin rakennuksen toteutus koostuu useasta eri työvaiheesta, laadunvarmistus tulee toteuttaa yksittäisten tehtävien tasolla ja lopuksi tarkastella kokonaisuutena. Ilmatiiveyden kannalta parhaaseen lopputulokseen päästään, mikäli mahdolliset toteutuksesta aiheutuneet virheet poistetaan välittömästi niiden synnyttyä. (7, s. 7 - 10.)

Ilmatiiveyden laadunvarmistus tulisi sisällyttää myös aliurakoitsijoiden tehtäviin. Aliurakoitsijoilta tulisi vaatia laatusuunnitelmat tehtävistä töistä ja tarkistaa aliurakoitsijoiden tekemät työvaiheet samaa menetelmää käyttäen kuin omien työvaiheiden laadunvarmistuksessa. Parhaaseen lopputulokseen päästään siten, että useampi henkilö tarkistaa ilmanpitävyyteen liittyvät työvaiheet omasta näkökulmastaan. (7, s. 4 - 10; 28, s. 9.)

Opinnäytetyössä pyrittiin kehittämään olemassa olevia laadunvarmistusmenetelmiä ilmatiiveyden laadunvarmistukseen paremmin sopivaksi. Ilmatiiveyden laadunvarmistuksen kehittämisen menetelmät on esitetty luvussa 5.1.

5.1 Laadunvarmistuksen tavoitteet

Energiatehokkaan ajattelun ja uudistuvien energiatehokkuusvaatimusten johdosta ovat rakennusyritykset pyrkineet panostamaan energiatehokkaaseen rakentamiseen osana yrityksen kilpailuvalttia. Tämä kuitenkin vaatii myös panos-

tamista suunnitteluun, käytettäviin materiaaleihin, työn toteutukseen ja ilmatiiveyden laadunvarmentamiseen. Laadunvarmistamisen tavoitteena on yhdistää ja vakinaistaa yrityksen sisäisiä käytäntöjä. Tällä varmistetaan kohdekohtaisesti samantasoinen, suunnitelmien mukainen laatutaso.

Ilmatiiveyden laadunvarmistus voidaan toteuttaa kolmivaiheisena prosessina. Ensimmäinen vaihe laadunvarmistusta on tehtäväkohtainen laadunvarmistus, jossa työvaiheita ja asennuksia tarkastellaan yksilötasolla työvaihekohtaisesti. Toinen vaihe laadunvarmistusta on tilakohtainen laadunvarmistus, jossa rakenteita tarkastellaan kokonaisvaltaisesti ennen peittävien rakenteiden asennusta. Lopuksi ilmatiiveyden toteutuksen ja laadunvarmistuksen onnistuneisuus varmistetaan ilmatiiveysmittauksella.

5.1.1 Tehtäväkohtainen laadunvarmistus

Työmaalla tapahtuvan ilmatiiveyden laadunvarmistuksen ensimmäinen vaihe on tehtäväkohtainen laadunvarmistus. Tehtäväkohtainen laadunvarmistus ulottuu työnsuunnittelusta tehtävän vastaanottoon asti. Tehtäväkohtaisessa laadunvarmistuksessa varmistetaan ilmatiiveyteen vaikuttavien työtehtävien oikea työtapa ja suunnitelmien mukaisuus. Tehtäväkohtainen laadunvarmistus pitää sisällään aloituskokouksen, mallityön ja sen tarkistuksen, tehtävän aikaisen laadunvalvonnan ja lopetuspalaverin.

Aloituspalaverissa työnjohto ja asennustyöryhmä käyvät läpi suoritettavan tehtävän päämäärän, tavoitteet ja oikeaoppiset suunnitelmien mukaiset työtavat. Aloituspalaverissa tulee olla mukana kaikki tehtävän suoritukseen osallistuvat työryhmän jäsenet. Aloituspalaverissa asetetaan työnsuoritukselle laadullinen tavoite, joka tarkistetaan mallityöllä ja jatkuvalla laadunvalvonnalla.

Tehtävän suorittava työryhmä tekee annetusta tehtävästä mallityön, jonka aloituspalaverin pitänyt työnjohtaja tarkastaa. Mallityön tarkistuksessa käydään läpi tehtävän suunnitelmien mukaisuus ja vaikutus ilmatiiveyteen. Mallityön tarkistuksessa havaitut puutteet korjataan ja ne kirjataan tarkistusasiakirjaan. Tehtävien korjausten ja mallityön hyväksymisen jälkeen työryhmä voi jatkaa annettua tehtävää mallityön asettamalla laatutasolla. Laadunvarmistusta jatketaan malli-

työn jälkeen ja havaitut puutteet korjataan välittömästi niiden havaitsemisen jälkeen.

Työvaiheen suorittamisen jälkeen pidetään lopetuspalaveri. Lopetuspalaverissa käydään läpi tehtävän onnistuneisuus ja se, päästiinkö aloituspalaverissa asetettuihin tavoitteisiin. Lopetuspalaverissa havaitut puutteet ja korjaukset käydään työryhmän kanssa läpi. Tavoitteena on kehittää tehtävän suoritusta, miettiä miten tehtyjä virheitä vältetään ja etsiä parannusehdotuksia myös työnsuunnitteluun.

Tehtäväkohtaisessa laadunvarmistuksessa tehtäviä tarkistuksia on rakennuksen tyypistä ja työvaiheiden määrästä riippuen useanlaisia. Ilmatiiviin rakennuksen toteutuksen kannalta tärkeää on, että ilmavuodoille alttiiden työvaiheiden toteutukseen ja laadunvarmistamiseen kiinnitetään erityistä huomiota. Seuraavissa kohdissa on esitetty laadunvarmistuksen kannalta kriittisimpiä osa-alueita.

Alapohjan ja perustustöiden laadunvarmistuksessa tulee huomioida seuraavat asiat:

- Perusmuurin ja alapohjan liitos on suunnitelmien mukainen.
- Ulkoseinän kalvomainen höyrynsulku on käännetty maanvaraisessa laattassa eristeen ja laatan väliin.
- Alueilla, jossa esiintyy radonia, sokkelin ja alapohjan liitos on tiivistetty esim. kumibitumikermikaistalla.
- Ontelolaatta-alapohjassa juotokset ja muut tiivistykset on tehty suunnitelmien mukaisesti.
- Kaikki alapohjan läpiviennit on tiivistetty suunnitelmien mukaisesti.
- Seinien liitoksissa on käytetty irrotuskaistaa ja rakenteiden liittymät on ki-tattu.

Elementtiasennusten laadunvarmistuksessa tulee huomioida seuraavat asiat:

- Elementtien pysty- ja vaakasaumat on valettu täyteen juotosmassalla eikä valuihin ole jäänyt reikiä.
- Saumavalujen halkeamisriski on estetty riittävällä raudoituksella.

- Väli- ja yläpohjissa on käytetty tarvittaessa elementtien saumoissa höyrynsulkukaistoja.
- Seinäelementtien juurien juotokset ovat tiiviit eikä valuihin ole jäänyt reikiä.
- Juotoksissa jääneet reiät on tiivistetty.

Höyrynsulkukerroksen asennuksen laadunvarmistuksessa tulee huomioitavat seuraavat asiat:

- Höyrynsulkukerros on asennettu oikein suunnitelmien mukaisesti.
- Höyrynsulkukerros on yhtenäinen ja ulottuu vaipan kaikkiin osiin.
- Kalvomaisen höyrynsulun liitoskohdat on limitetty vähintään 200 mm.
- Kaikki kalvomaisen höyrynsulun saumat ja liitokset on teipattu tai jatkokset on toteutettu puristusliitoksilla, jossa jatkoskohta puristetaan kahden kovan kappaleen väliin ruuvaamalla.
- Levymäisiä höyrynsulkutuotteita käytettäessä saumat on vaahdotettu ja teipattu.
- Höyrynsulkuun asennuksessa syntyneet reiät on paikattu.

Ikkuna- ja oviaasennusten laadunvarmistuksessa tulee huomioida seuraavat asiat:

- Ikkunat ja ovet on asennettu suunnitelmien mukaisesti.
- Ikkunan ja rakennuksen rungon väli on vaahdotettu tiiviiksi, käytettäessä tiivistykseen polyuretaanivaahtoa.
- Vaahdotus on ehyt eikä sitä ole leikattu.
- Ikkunat ja ovet on tilkitty mineraalivillalla, tilkkeet on asennettu huolellisesti eikä tiivistyksissä ole reikiä.
- Höyrynsulun liitos ikkunoihin ja oviin on toteutettu teippaamalla tai kittaamalla ja tiivistys on ehjä.
- Ikkunat ja ovet on asennettu suoraan kulmaan ja ristimitta on sama molemmissa suunnissa.

Läpivientien tiivistyksen laadunvarmistuksessa tulee huomioida seuraavat asiat:

- Putkien ja ilmanvaihtokanavien tiivistyksissä on käytetty suunnitelmien mukaisia laipallisia läpivientikappaleita.
- Sähköläpiviennit on toteutettu suunnitelmien mukaisilla laipallisilla läpivientikappaleilla.
- Teipeillä tehdyt tiivistykset on tehty kovaa kappaletta vasten ja tiivistys on ehjä.
- Betonirakenteissa tehdyt läpivientien tiivistykset on tehty valamalla ja kittaamalla.
- Sähköputket on tiivistetty kittaamalla ja läpivientien varaukset on tiivistetty väliaikaisesti vaahdottamalla tai teippaamalla.
- Elementtirakenteissa tehtaalla asennetut sähkövaraukset on tiivistetty.
- Palo-osastoiduissa läpivienneissä on käytetty palokatkotuotteita ja ne on tiivistetty huolellisesti.

Tehtäväkohtaisessa laadunvarmistuksessa suoritettavat tarkistukset tehdään kaikissa rakennuksen vaipan ilmatiiveyteen liittyvissä työvaiheissa. Tehtäväkohtaisessa laadunvarmistuksessa tarkastukset tehdään silmämääräisesti havainnoimalla ja tarvittaessa mittaamalla. Kaikki tehtävät tarkistukset ja toimenpiteet merkataan tarkistusasiakirjoihin (liite 1) ja dokumentoidaan työmaakansioon.

5.1.2 Tilakohtainen laadunvarmistus

Tilakohtainen laadunvarmistus on ilmatiiveyden laadunvarmistuksen toinen vaihe. Tilakohtaisessa laadunvarmistuksessa tilaa tarkastellaan kokonaisuutena ennen peittävien pintarakenteiden asennusta. Siinä tarkistetaan että tehtäväkohtaisessa laadunvarmistuksessa mikään osa-alue ei ole jäänyt huomioimatta, kaikki tiivistykset on suoritettu ja rakenteet vastaavat suunnitelmia. Huolella tehty tehtäväkohtainen laadunvarmistus nopeuttaa tilakohtaisen tarkastuksen tekemistä, koska yksittäisten työvaiheiden tarkastelu voidaan jättää tällöin vähemmälle ja tarkastella rakennetta kokonaisuutena.

Tilakohtaisessa laadunvarmistuksessa tarkistettavat osa-alueet voidaan jakaa neljään osaan. Tarkastettaviin rakennusosiin kuuluvat alapohjat, välipohjat, ylä-

pohjat sekä ulko- ja huoneistojenväliset seinät. Tilakohtaisessa laadunvarmistuksessa varmistetaan, että vaipan kiertävä ilmansulkukerros on yhtenäinen eikä siihen ole jäänyt vuotokohtia. Myös huoneistojen välisten seinien ja välipohjien ilmanpitävyys tulee tarkastaa silmämääräisesti. Tarkastettavina asioina voidaan pitää luvussa 5.1.1 ja 5.2 - 5.8 esitettyjä ilmanvuotojen kannalta kriittisiä osa-alueita. Kaikki tehtävät tarkistukset ja toimenpiteet merkataan tarkistusasiakirjoihin (liite 2) ja dokumentoidaan työmaakansioon.

5.1.3 Ilmatiiveyden mittaus

Ilmatiiveyden mittaus on laadunvarmistuksen viimeinen vaihe. Ilmatiiveysmittauksella varmennetaan työsuoritusten ja laadunvarmistuksen onnistuneisuus. Suorittaessa ilmatiiveysmittaus osana laadunvarmistusta suositellaan mittaukset tehtäväksi, kun kaikki vaipan tiiveyteen liittyvät asennukset ja tiivistykset on tehty, mutta peittäviä rakenteita ei ole asennettu. Tässä vaiheessa tehtävä- ja tilakohtaisessa laadunvarmistuksessa mahdollisesti huomioimatta jääneet rakennusosat ovat vielä tiivistettävissä.

Ilmatiiveysmittauksen yhteydessä mahdollisia vuotokohtia voidaan paikantaa lämpökuvauksella, merkkisavuilla tai käsin tunnustelemalla. Ilmatiiveysmittaukset suoritetaan standardissa SFS-EN 13829 määritellyllä tavalla. Ilmatiiveysmittauksia ja niiden toteutusta on tarkasteltu tarkemmin luvussa 3.

5.2 Höyrynsulkumateriaalin valinta

Höyrynsulkumateriaalin valinnalla voidaan vaikuttaa oleellisesti rakenteen toimintaan ja pitkäaikaiskestävyyteen. Rakenteesta riippuen höyryn- tai ilmansulun valintaa tulee miettiä rakenteen toimivuuden ja käyttötarkoituksen kannalta. Rakennuksen ilmatiiveyden toteutukseen voidaan käyttää muovikalvoa, ilmansulkupaperia, levyä tai ilmapitävää solumuovieristettä, jonka saumat on tiivistetty huolellisesti. Höyryn- tai ilmansulkumateriaalin valinnalla voidaan vaikuttaa olennaisesti rakennososan rakennusfysikaaliseen toimintaan ja ilmanvuotoluvun suuruuteen. (7, s. 8.)

Rankarunkoisissa rakennuksissa höyrynsulkukerros toteutetaan tavallisesti siihen tarkoitetuilla kalvomaisilla tuotteilla, jotka ovat muovikalvoja tai riittävän vesihöyryvastuksen omaavia paperipohjaisia ilmansulkukalvoja. Ilmansulkukerroksen ilmanläpäisykertoimen tulee olla riittävän pieni, jotta se estää haitalliset ilmavirtaukset rakennusosan läpi puolelta toiselle. Jos ilman sulku toimii rakenteessa myös höyrynsulkuna, sen vesihöyrynvastuksen tulee olla riittävän suuri, jotta sisäilman kosteus ei pääse haitallisessa määrin tunkeutumaan rakenteeseen. Ilman- tai höyrynsulkumateriaali tulee valita siten, että se säilyttää ominaisuutensa koko rakennuksen käyttöajan. (7, s. 8.)

Höyrynsulkukerros voidaan toteuttaa myös levymäisenä, esimerkiksi polyuretaanilevyllä. Levymäisiä eristeitä käytettäessä on tarkistettava sen ilma- ja höyrynpitävyys sekä pitkäaikaiskestävyys. Levymäisen höyrynsulkukerroksen asentaminen on työläämpää kuin kalvomaisen höyrynsulun asentaminen, mutta sen etuna on läpivientien helppo tiivistäminen sekä liitosten pitkäaikaiskestävyys. Levymäisen höyrynsulkukerroksen paksuus tulee olla vähintään 20 mm ja tuotteen riittävästä höyrynvastuksesta tulee varmistua. (7, s. 8 - 9.)

Suomessa ei ilmansulkutuotteilta vaadita rakentamista ohjaavien normien mukaan standardisointia. Useimpien ilmansulkutuotteiden valmistajien tuotteilta kuitenkin löytyy standardisointimerkintä. Yleisesti käytetyimpiä standardeja ovat SFS 4225 ja saksalaiset DIN-EN 4108-7 sekä DIN-EN 13984. Usein standardisoiduilta tuotteilta löytyvät myös CE-merkintä ja M1-päästöluokitus. (30, s. 12.)

Kalvo- ja levymäisiä höyrynsulkutuotteita löytyy usealta eri valmistajalta. Kalvomaisia tuotteita käytettäessä valittavana on perinteisiä PDE- ja LPED-höyrynsulkumuovikalvoja sekä nykyaikaisia älykkäitä, kosteutta tasaavia höyrynsulkumateriaaleja ja kankaita, joiden toiminta perustuu rakenteessa olevan kosteuden kuivumiskykyyn sekä sisälle että ulospäin. Laajasta valikoimasta ja standardisoinnista huolimatta saatavilla ei kuitenkaan toistaiseksi ole VTT:n tyyppihyväksymää tuoteperhettä. (30, s. 29 - 32.)

5.3 Höyrynsulku- ja tiivistysteipit

Ilmatiiveyden varmistamiseen käytettävien höyrynsulku- ja tiivistysteippien tulee olla riittävän tartuntakykyisiä ja pitkäaikaiskestävyyden omaavia. Tärkeimpiä höyrynsulkuteipin vaatimuksia ovat tartuntakyky ja pitkäaikaiskestävyys. Tiivistykseen käytettävien teippien tartuntakyky tulee säilyttää ominaisuutensa myös kylmissä olosuhteissa, koska talvella rakentaessa tulee usein tilanteita, joissa tiivistyksiä joudutaan tekemään myös pakkasessa. Käytettävien tiivistystuotteiden tulee tarttua alustaansa tiiviisti ja niiden tulee säilyttää tartuntakykynsä koko rakennuksen suunnitellun käyttöajan ajan. Lisäksi teippien tulee olla riittävän elastisia, eivätkä ne saa revetä painumien tai rakennusfysikaalisten ilmiöiden seurauksena. (2, s. 97; 7, s. 8 - 9.)

Viimevuosina on tullut markkinoille useita eri höyrynsulku- ja tiivisteippien valmistajia. Eri valmistajien tuotteissa on merkkikohtaisesti huomattavia eroja. Rakenteiden tiivistämiseen tulee käyttää sen hetkisen tiedon perusteella parhaat tekniset ominaisuudet omaavia tiivistystuotteita. (30.)

Oulun seudun ammattikorkeassa opinnäytetyönä tehdyn tutkimuksen mukaan teippien tartunta ominaisuudet korostuvat käytettäessä tavallista höyrynsulku-muovia, jonka pinta on tasainen ja liukas. PDE- ja LPED-muovikalvojen pintaan varautuu helposti staattista sähköä, joka kerää ympäristöstä pölyä ja likaa kalvon pintaan. Verkkovahvisteisia tai paperipohjaisia ilman- tai höyrynsulkukalvoja käytettäessä teippien tarttuvuus paranee pinnan epätasaisuuden ansiosta. Tärkeää on puhdistaa teipattava alue ennen teipin asennusta ja varmistaa, ettei teipin ja alustan väliin jää ilmakuplia. (30, s. 53.)

Tutkimuksen mukaan sisälämpötilassa tavalliseen höyrynsulkumuoviin tiivistettäessä parhaiten tarttuvimmiksi teipeiksi osoittautuivat butyyliteipit, Rakonor Sitko 186 ja 586 sekä KIP Barrier Tape. Heikoimmat tartuntaominaisuudet omaaviksi teipeiksi osoittautuivat Stokvis Tape ja Tescon No.1. (30, s. 54.)

Kylmissä olosuhteissa parhaan tartuntakyvyn omaaviksi teipeiksi osoittautuivat butyyliteipit, Rakonor Sitko 186 ja 586. Kylmissä olosuhteissa huonot tartunta-

ominaisuudet omaaviksi teipeiksi osoittautuivat Coroplast 1430 RPX, Coroplast 1410 RPX, Rakonor Sito 970 sekä Tescon No.1. (30, s. 54.)

Rakonor Sitko, Tescon No.1 ja Tescon Vana -tiivistysteippejä käyttävät myös useimmat talotehtaat. Rakonor Sitko -tiivistysteippiä jälleenmyyvät useimmat rautakaupat. Tescon-tiivistysteipit ovat tiivistalo.fi:n maahantuomia tuotteita ja niitä jälleenmyy esimerkiksi puukeskus. (30; 31.)

5.4 Läpivientien tiivistys

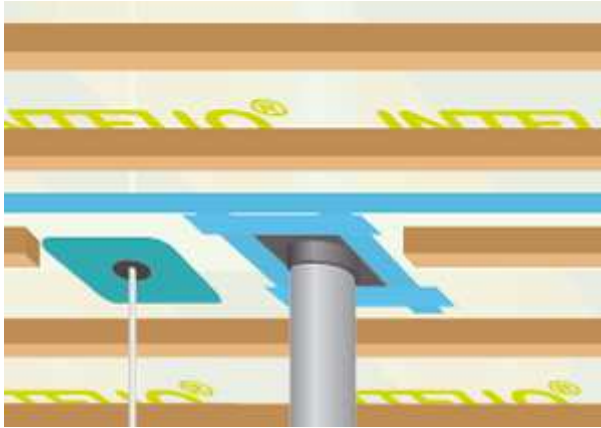
Rakennuksen suunnittelussa tulee välttää riskialttiiden liitosratkaisujen käyttöä, läpivientien määrä tulee minimoida ja läpivientien sijoituspaikat tulisi miettiä ennakolta valmiiksi. Rakennusvaipan liitokset ja läpiviennit tulee suunnitella siten, että niistä tulee ilman pitäviä ja että niiden ilmanpitävyys ei vaaranna rakennuksen ikääntyessä. Kaikki saumat, läpiviennit ja liitoskohdat tulee tiivistää työmaalla huolellisesti ja varmistaa, että lopputulosta ei pilata sähkö- ja LVI-asennusten tai viimeistelytöiden yhteydessä. (7, s. 7.)

Mikäli läpivientien tiivistyksessä käytetään teippejä, käytettävien tuotteiden tarjontaominaisuuksista ja pitkäaikaiskestävyydestä tulee varmistua. Teippaus pyritään tekemään tiivistä pintaa vasten. Yksittäisten putkien läpivienneissä tiivistys voidaan toteuttaa valmiilla läpivientikappaleilla. Läpiviennin tiivistys voidaan rankarakenteissa varmistaa myös solumuovieristeestä tehtävillä läpivienti kauluksilla. (2, s. 84.)

Käytettäessä solumuovieristeistä läpivientiä puurungon väliin tehdään apurunko, jonka väliin solumuovieriste vaahdotetaan. Läpivietäville putkille tai johdoille tehdään solumuoviin reikä ja läpivietävän kappaleen ympärys vaahdotetaan. Kivirakenteisessa rungossa läpiviennit tiivistetään vaahdottamalla ja kittaamalla tai juotosvalulla. Tiivistettäessä palo-osaston läpi kulkevia läpivientejä tiivistys tulee suorittaa käyttämällä hyväksyttyjä palokatkotuotteita. (2, s. 84.)

Valmiita läpivientikappaleita löytyy usealta eri valmistajalta. Käytettävissä on myös valmiiksi testattuja ja yhteen sovitettuja järjestelmiä, jotka on kehitetty talotehtaita ja rakennusalan yrityksiä varten. Valmiilla läpivientikappaleilla saadaan aikaiseksi nopeasti ilmatiivis liitos, verrattuna solumuovieristeestä tehtä-

vän läpiviennin hitauteen. Putki- ja sähköläpiviennit voidaan tiivistää esimerkiksi Tiivistalo.fi:n maahantuomilla Kaflex- tai Roflex-läpivientikappaleilla. Kuvassa 9 on esitetty sähkö- ja putkiläpivientien soveltuvat läpivientikappaleet. (31.)



KUVA 9. Roflex ja Kaflex läpivientikappaleet (31)

Kuvasta 9 on havaittavissa, miten valmiilla läpivientikappaleella saadaan kerralla toteutettua ilmatiivis liitos. Kuvan läpiviennit asennetaan höyrynsulkuun alapuolelta. Kauluksia on saatavina 6 - 250 mm:n kokoluokissa. Kaflex-läpivientikauluksissa on valmiina liimapinta. Roflex-läpivientikaulukset teipataan höyrynsulkuun käyttämällä esimerkiksi Tescon No.1 -höyrynsulkuteippiä. (31.)

Valmiiden läpivientikappaleiden tiiveys on kuitenkin syytä varmistaa käyttämällä saman tuoteperheen pitkäaikaiskestävyyden omaavaa tiivistysteippiä. Sähköläpiviennit voidaan vaihtoehtoisesti tiivistää vaahdottamalla syntynyt reikä ja tiivistämällä johto höyrynsulkumuoviin pitkäaikaiskestävyyden omaavalla höyrynsulkuteipillä. (2, s. 84; 7, s. 9.)

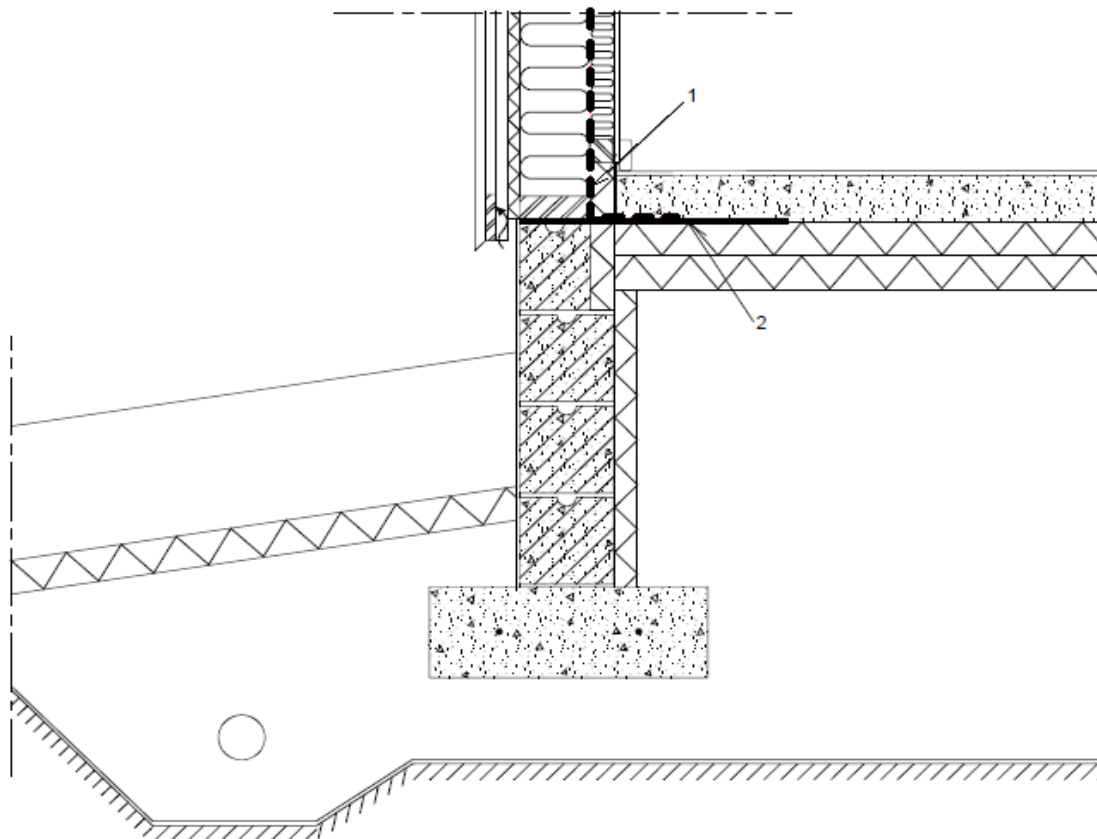
Tiivistettäessä savuhormien läpivientejä on huomioitava palomääräysten asettamat rajoitukset. Savuhormeja koskevat määräykset on annettu Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa E3 Pienten savupiippujen rakenteet ja paloturvallisuus. (2, s. 80.)

5.5 Alapohja

Alapohjan ilmatiiveys on hyvän sisäilman kannalta erityisen tärkeä. Erityisesti alapohjarakenteissa, joissa rakenteen läpi virtaava vuotoilma tuo mukanaan epäpuhtauksia, liitosten ja läpivientien tiiveyteen tulee kiinnittää huomiota. Alapohjan vuotokohdista sisäilmaan vuotoilman mukana kulkeutuvat maaperän mikrobit ja mahdollisesti esiintyvä radon-kaasu voivat aiheuttaa sisäilmaongelmaa ja vaarantaa rakennuksen käyttäjien terveyden. (2, s. 22 - 96.)

Maanvaraiset alapohjat

Maanvaraisissa alapohjarakenteissa käytettävät paikallavaletut teräsbetonilaatat ovat rakenteina itsessään ilmanpitäviä. Maanvaraisessa alapohjarakenteessa ilmatiiveyden kannalta huomiota tulee kiinnittää erityisesti rakenteiden liitoksiin ja läpivientien tiivistämiseen. Kuvassa 10 on esitetty yksi toteutustapa maanvaraisen alapohjan ja seinärakenteen välisen liitoksen toteuttamiseen. (2, s. 22.)



KUVA 10. Rankarakenteisen seinän ja maanvaraisen alapohjanliitos (2, s. 28)

Kuvassa 10 esitetyssä rakenteessa liitoksen ilmanpitävyys on varmistettu höyrynsulkukalvon ja kumibitumikermikaistan avulla. Rankarakenteissa ulkoseinän höyrynsulkumuovi limitetään lämmöneristeen ja teräsbetonilaatan väliin vähintään 200 mm (1). Mikäli alueella esiintyy radon-kaasua, käytetään lisäksi kumibitumikermikaistaa. Rankarakenteissa kumibitumikermikaista tuodaan suorana alaohjauspuun alta betonilaatan ja eristeen väliin (2). (2, s. 29.)

Seinärakenteen ollessa kivirakenteinen voidaan liitoksen ilmatiiveys varmistaa käyttämällä kumibitumikermikaistaa (2) sekä kittaamalla seinän ja laatan raja elastisella saumamassalla. Käytettäessä elementtirakenteita kumibitumikermikaista hitsataan elementin kylkeen ja käännetään betonilaatan alle. (2, s. 25 - 27.)

Maanvaraisen laatan lävistävät läpivientiputket voidaan laatan keskiosalla tiivistää valamalla. Mikäli läpivientiputkien epäillään aiheuttavan ilmavuotoja, voidaan tiivistys viimeistellä vielä kittaamalla ennen pintarakenteiden asennusta. Myös laatan lävistävät läpivientivaraukset on suositeltavaa tiivistää sisäpuolelta tiiviillä mineraalivillatilkkeellä, vaahdottamalla, teippaamalla tai kittaamalla. (2, s. 22.)

Tuulettuvat alapohjat

Kivirakenteinen tuulettuva alapohja toteutetaan yleensä ontelolaatoilla, joiden alapuolelle on valmiiksi kiinnitetty lämmöneristyslevy. Kivirakenteisten alapohjien ilmatiiveys toteutetaan saumavalujen lisäksi erillisillä ilmansulkukaistoilla tai pintavalulla. Pintavalua käytettäessä seinärakenteen mahdollinen kalvomainen ilmansulkukerros limitetään ontelolaatan ja pintavalun väliin vähintään 200 mm. Muussa tapauksessa liitoksen ilmatiiveys toteutetaan vaahdottamalla ja kittaamalla. Lisäksi alapohjan lämmöneristeen jatkuvuus tulee varmistaa vaahdottamalla eristeiden saumakohdat polyuretaanilla. Kivirakenteisen alapohjan läpiviennit voidaan tiivistää valamalla ja kittaamalla. (2, s. 22 - 35.)

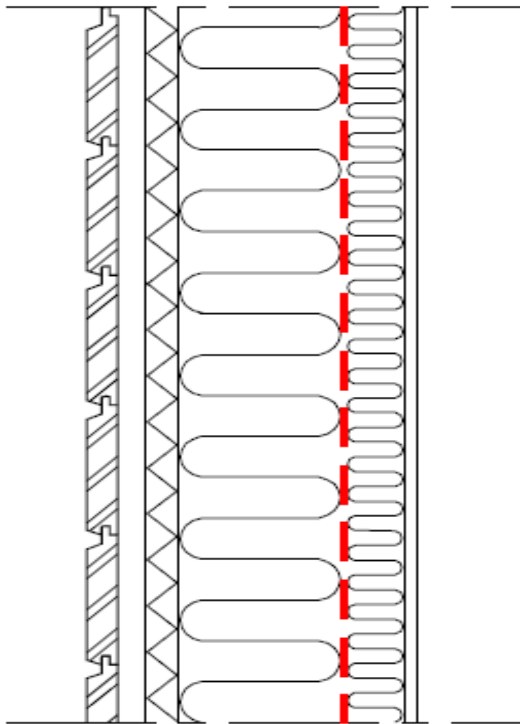
Puurakenteisissa alapohjissa suositellaan käytettäväksi erillistä ilmansulkukerrosta lattian levyrakenteen alla. Ilmansulkukerrosena voi toimia joko kalvomainen ilmansulkukerros tai muovieristelevy. Käytettäessä kalvomaisia ilmansulku-

kerroksia tulee saumat limittää vähintään 200 mm ja kaikki liitokset on teipattava. Muovieristelevyjä käytettäessä saumat vaahdotetaan ja teipataan. Ulkoseinillä ilmanpitävä kerros tulee limittää seinän ilmansulkukerrokseen rakenteesta riippuen, joko vaahdottamalla tai höyrynsulkumuovikaistalla. Läpiviennit tiivistetään kalvomaiseen ilmansulkukerrokseen valmiilla laipallisilla läpivientikappaleilla ja levymäiseen ilmansulkukerrokseen vaahdottamalla. (2, s. 23 - 37.)

5.6 Ulkoseinät

Rankarakenteiset seinät

Rankarakenteisten seinien ilmansulkukerros voidaan toteuttaa kalvomaisilla tai levymäisillä ilmansulkumateriaaleilla. Ilmansulkukerros toimii yleensä myös höyrynsulkuna. Rankarakenteisissa seinissä ilmansulkukalvo tulee sijoittaa noin 50 mm:n etäisyydelle sisäpinnan levystä (kuva 11). Tällöin ilmansulkukalvo on suojassa eivätkä esimerkiksi seinään lyötävät naulat tee siihen reikiä. Rakenne mahdollistaa myös upotettujen sähkörsioiden ja levyn takana kulkevien sähköputkitusten ja johdotusten kuljettamisen ilmansulkukerrosta rikkomatta. (2, s. 12.)



KUVA 11. Kalvomaisen höyrynsulun sijoitus rankarakenteessa (2, s. 13)

Kuvan 11 mukaisessa rakenteessa tulee ilmansulkukerroksen jatkoskohdat liittää vähintään 200 mm ja saumat teipata. Ilmatiiveyden kannalta parhaaseen lopputulokseen päästään kuitenkin, jos limityskohdat toteutetaan puristusliitoksilla, jossa kalvomainen ilmansulkumateriaali puristetaan kahden tiiviin kappaleen väliin ruuvaamalla. Kalvomaisia ilmansulkumateriaaleja käytettäessä vaipan läpiviennit tiivistetään käyttämällä valmiita laipallisia läpivientikappaleita. (7, s. 8 - 9.)

Käytettäessä ilmansulkumateriaalina levymäisiä tuotteita, kuten solumuovieristeitä, ne sijoitetaan rakenteeseen kalvomaisen höyrynsulun paikalle. Ilmansulkukerroksen sisäpuolelle jätetään 50 mm:n asennusvara sähköasennuksia varten. Levyjen väliset saumat tiivistetään polyuretaanivaahdolla ja saumat teipataan. Käytettäessä ilmansulkumateriaalina solumuovieristeitä tiivistetään vaipan läpiviennit vaahdottamalla ja tarvittaessa teippaamalla. (2, s. 13.)

Betonirakenteiset seinät

Betonirakenteissa ei varsinaisesti tarvita erillistä ilman- tai höyrynsulkukerrosta, mikäli rakenteen paksuus on vähintään 100 mm. Paikallavaletuissa- ja elementtirakenteissa ilmatiiveys yleensä toteutuu, mikäli rakenteen halkeilu on estetty riittävän tiheällä raudoituksella. Betonirakenteiden ilmapitävyys riippuu suurelta osin rakenteiden välisten liitosten toteutuksesta, elementtien välisistä juotosvauluista sekä ikkuna- ja oviaukkojen tiivistyksestä. Betonirakenteissa vaipan läpivientien tiivistys toteutetaan valamalla, vaahdottamalla ja kittaamalla. (2, s. 97.)

Harkko- ja tiilirakenteiset seinät

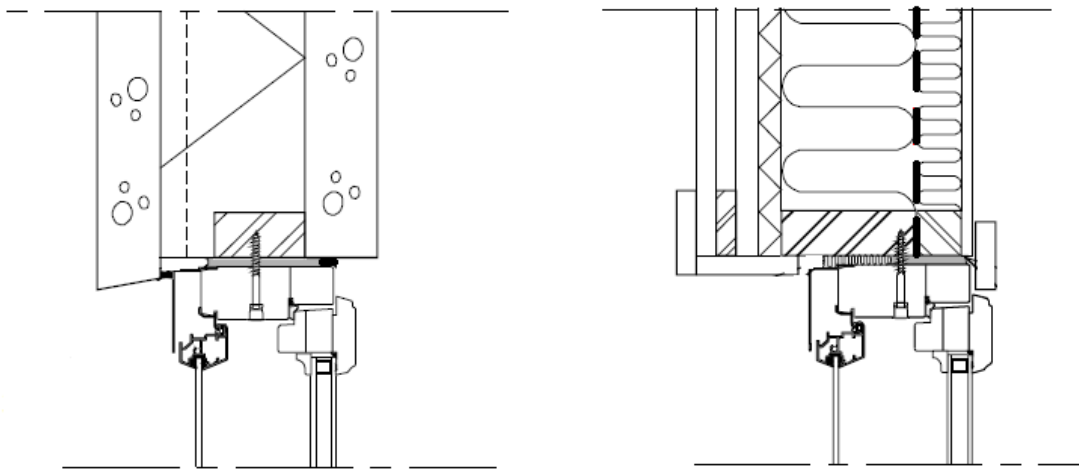
Muuratuilla harkko- ja tiiliseinillä itse rakenne sellaisenaan ei yleensä ole ilmapitävä. Muuratuilla rakenteilla ilmapitävyys perustuu pintakäsittelyihin. Harkko- ja tiilirakenteissa ulkoseinän pinnat tulee käsitellä rappamalla tai tasoittamalla molemmilla puolin. Puhtaaksi muuratuilla rakenteilla muuraustyö tulee suorittaa erittäin huolellisesti, ellei ilmapitävyyttä varmisteta erillisellä pintakäsittelyllä. Käytettävän pinnoituksen tulee liittyä tiiviisti muihin rakennusosiin, kuten ikkunoihin ja oviin. Käyttämällä ilmatiiveyden varmistamiseen erillistä pinnoitetta täytyy varmistaa, että pinnoitus ulottuu seinän ylä- ja alareunoihin saakka myös piiloon

jäävissä rakenneosissa. Harkko- ja tiiliseinissä vaipan läpivientien tiivistys hoidetaan vaahdottamalla ja kittaamalla. (2, s. 97.)

Ikkunat ja ovet

Ikkunoiden ja ovien liittymät ulkoseinään ovat yleisimpiä ilmanvuotokohtia rakennuksissa. Ikkunoiden ja ovien liittyminen ilmansulkuun toteutetaan polyuretaanivaahdolla, elastisella kittauksella tai riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaisominaisuudet omaavalla teipillä.

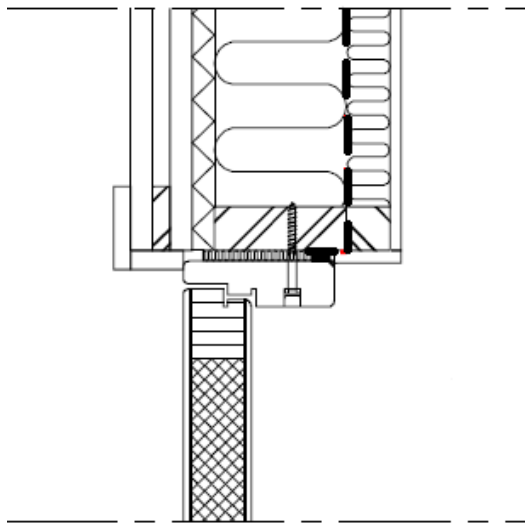
Ikkunoiden tiivistystapa riippuu runkorakenteesta. Rankarakenteisissa seinissä ilmansulun tiivistäminen ikkunarakenteeseen voi tapahtua esimerkiksi polyuretaanivaahdolla ja villatilkkeellä (kuva 12). Toinen tapa on käyttää eristykseen pelkkää villatilkettä ja tiivistää höyrynsulku ikkunan karmin käyttämällä pitkäaikaiskestävyyden omaavaa tartuntakykyistä teippiä. Tiivistysmenetelmästä riippumatta pintamateriaalin ja ikkunan karmin väli tulisi lisäksi tiivistää elastisella saumamassalla. (2, s. 80 - 81; 7, s. 9 - 10.)



KUVA 12. Ikkunan liittyminen betoni- ja rankarakenteeseen seinään (2, s. 80 - 81)

Kuvassa 12 esitetyissä ikkunan liitoksissa ilmatiiveys on toteutettu polyuretaanivaahdokaistalla. Lisäksi ikkunan karmin ja rungon välinen tyhjä tila on tilkitty mineraalivillalla. Betonirakenteessa karmin ja sisäkuoren väli on tiivistetty elastisella saumamassalla. Rankarakenteessa sisäverhouslevyn ja karmin väli on myös kitattu.

Ovien tiivistäminen ilmansulkukerrokseen toteutetaan mineraalivillalla tai joustavalla polyuretaanivaahdolla. Käytettäessä mineraalivillaa ilmansulkumateriaali tulee tiivistää karmiin elastisella saumamassalla tai teippaamalla. Mikäli käytetään polyuretaanivaahtoa, käytettävän vaahdon tulee olla ovien asennukseen tarkoitettua joustavaa polyuretaanivaahtoa, joka mahdollistaa karmien jälki säätämisen. Kuvassa 13 on esitetty mineraalivillatilkkeellä ja kittaamalla toteutettu ulko-oven liitos. (2, s. 80 - 81; 7, s. 9.)



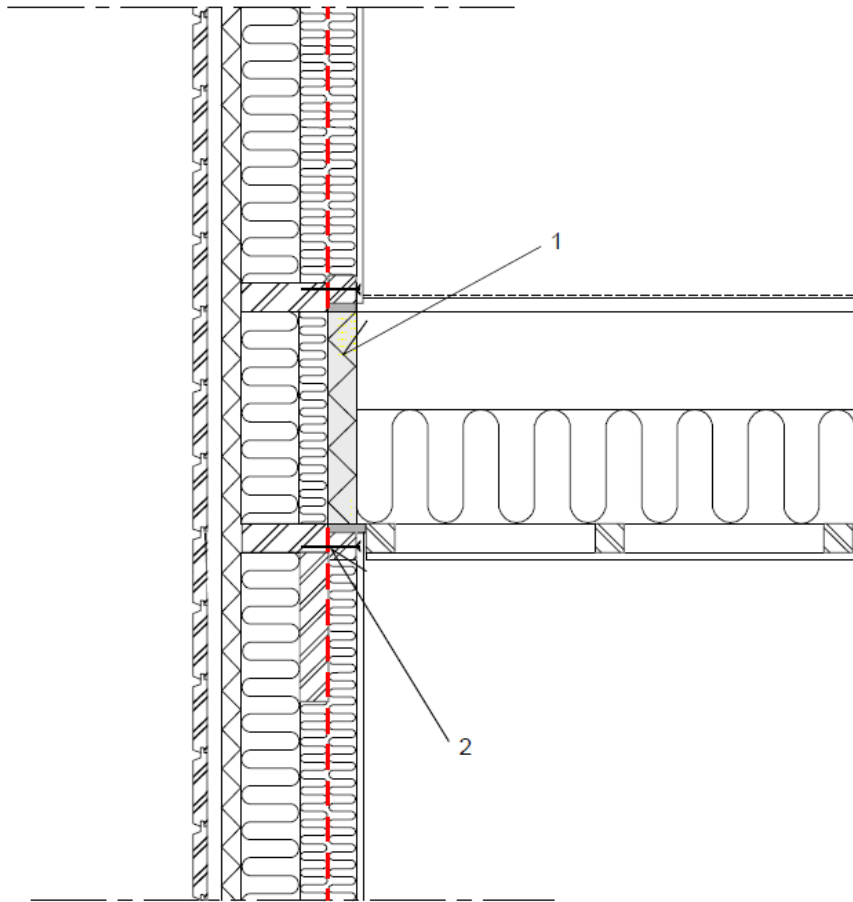
KUVA 13 Ulko-oven liittyminen ulkoseinärakenteeseen (2, s. 81)

5.7 Välipohja

Välipohjarakenteena toimii yleensä runkomateriaalista riippuen ontelolaatta- tai puurakenne. Kivirakenteissa, joissa kantavana rakenteena toimii betonirakenne, ei ilmatiiveyden saavuttaminen yleensä aiheuta ongelmia. Tämä kuitenkin edellyttää, että rakenteiden pinnoitus, juotosvalut ja läpivientien tiivistykset on toteutettu huolellisesti. (2, s. 72.)

Puurakenteisessa välipohjassa välipohjapalkisto työntyy yleensä seinärakenteen sisään riittävän tukipinnan saavuttamiseksi. Tämän vuoksi käytettäessä kalvomaisia höyrynsulkutuotteita on välipohjapalkiston väli toteutettava käyttämällä solumuovieristeitä (kuva 14). Solumuovieriste leikataan palkiston väliin sopivaksi siten, että solumuovieriste kiertää palkkien ympäri. Eristelevyjen saumat ja palkkien ympärys vaahdotetaan tiiviiksi polyuretaanivaahdolla. Lisäksi

ylä- ja alapuolen höyrynsulkumateriaalien limitys solumuovieristeeseen tulee toteuttaa vaahdottamalla, teippaamalla, kittaamalla tai puristusliitoksella. (2, s. 68 - 69.)



KUVA 14. Välipohjan ilmatiiviinliitoksen toteutus solumuovieristeellä (2, s. 68)

Kuvassa 14 esitetyssä välipohjan ja ulkoseinän liitoksessa ilmatiiveys on toteutettu solumuovieristeellä (1). Ala- ja yläpuolen kalvomainen höyrynsulku on tiivistetty runkorakenteeseen puristusliitoksella (2). Solumuovieriste on leikattu palkiston väliin sopivaksi. Solumuovieristeiden välit ja palkiston ympärykset on vaahdotettu tiiviiksi polyuretaanilla. Ala- ja yläpuolen höyrynsulkujen liitos solumuovieristeeseen on toteutettu vaahdottamalla ja teippaamalla. Käytettäessä myös ala- ja yläpuolisissa seinissä höyrynsulkumateriaalina solumuovieristettä toteutetaan kaikki liitokset vaahdottamalla ja teippaamalla. (2, s. 69 - 71.)

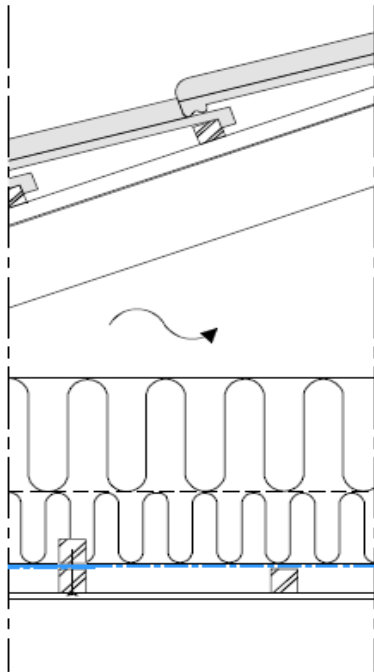
Mikäli välipohja toimii huoneistojen välisenä rakenteena, höyrynsulkukerroksen tulee sijaita myös välipohjassa. Tällöin välipohjan höyrynsulkumateriaali on limittävä ulkoseinän höyrynsulun kanssa ja välipohjapalkiston solumuovieristeen kanssa. Mikäli välipohjaan tulee höyrynsulkukerroksen lävistäviä läpivientejä, ne tulee tiivistää laipallisilla läpivientikappaleilla tai vaahdottamalla ja teippaamalla. Mikäli läpivienti johtaa palo-osastosta toiseen, tiivistykset tulee suorittaa palokatkotuotteilla. (2, s.69 - 71.)

5.8 Yläpohja

Puurakenteiset yläpohjat

Puurakenteisessa yläpohjassa ilmansulkukerros toimii yleensä myös höyrynsulkuna ja se sijoitetaan rakenteen sisäpinnan läheisyyteen. Ilmansulkumateriaalina voi toimia kalvomainen tai levymäinen kerros. (2, s. 18.)

Kalvomaisia ilmansulkumateriaaleja käytettäessä tulee varmistua, etteivät yläpuoliset lämmöneristekerrokset kuormita ilmansulkukalvoa tai sen jatkoskohtaa niin, että kalvo tai jatkoskohta ajansaatossa repeytyy. Kalvomaisen höyrynsulun päälle tulisi aina asentaa levymäinen lämmöneriste, riippumatta siitä käytetäänkö puhallusvillaa vai ei, koska levymäinen lämmöneriste yhdessä alapuolisen koolauksen kanssa estää ilmansulkukerroksen liiallisen kuormituksen. Ilmansulkukalvon jatkokset tulee yläpohjarakenteissa limittää vähintään 200 mm ja saumat teipata yhteen. Mikäli on epäilyksä käytettävän teipin pitkäaikaiskestävyydestä, jatkos tulisi toteuttaa puristusliitoksella. Tällöin jatkos sijoitetaan koolauksen kohdalle ja ristikoiden väliin asennetaan puristusliitosta varten vastakappaleimat (kuva 15). Liitos puristetaan tiiviiksi ruuvaamalla. (2, s. 18.)



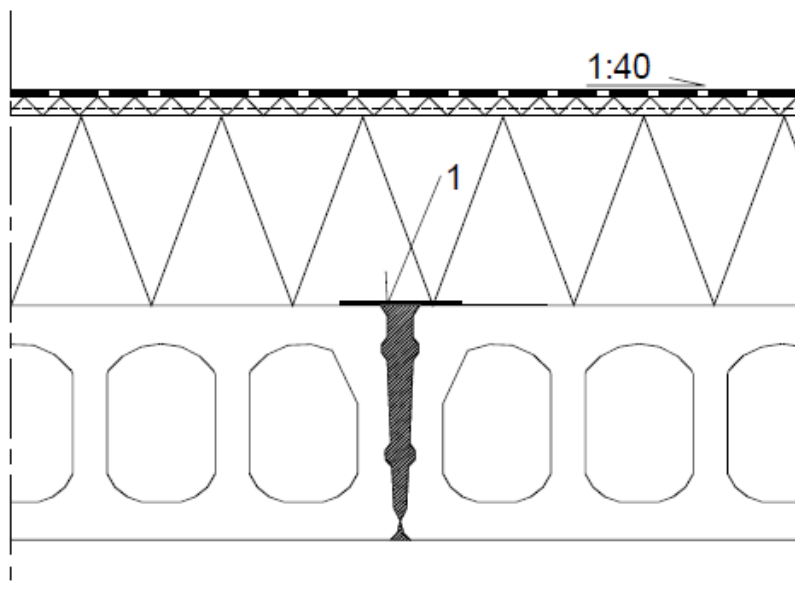
KUVA 15. Puurakenteinen yläpohja (2, s. 19)

Solumuovieristeitä käytettäessä levyt ovat yleensä niin jäykkiä, että ne kestävät yläpuolisen lämmöneristeen painon rikkoutumatta. Käytettäessä solumuovieristeitä levyjen väliset saumat vaahdotetaan ja teipataan. Solumuovieriste sijoitetaan rakenteeseen samaan paikkaan kuin kalvomainen höyrynsulku. Levymäisen tuotteen päälle tehdään ristiinkoolaus sähköasennusten helpottamiseksi. (2, s. 19.)

Yläpohjassa läpivientien tiivistys ja liitokset tulee suorittaa huolella. Kalvomaisia ilmansulkutuotteita käytettäessä läpiviennit tiivistetään valmiilla läpivientikappaleilla ja teippaamalla. Levymäisiä rakenteita käyttäessä yläpohjan läpiviennit tiivistetään vaahdottamalla läpivietävän kappaleen ympärys polyuretaanilla. Lisäksi liitos tulee varmistaa teippaamalla. Yläpohjan ja ulkoseinän höyrynsulkujen jatkuvuus tulee käytettävästä ilmansulkumateriaalista riippuen tiivistää joko teippaamalla tai vaahdottamalla. Kalvomaisia tuotteita käyttäessä jatkoskohta tulee limittää vähintään 200 mm ja saumat teipata. Parhaaseen lopputulokseen päästään kuitenkin teippauksen ja puristusliitoksen yhdistelmällä, jossa kohtavat höyrynsulut puristetaan esimerkiksi yläohjauspuun ja koolauksen väliin. (2, s. 84; 7, s. 8 - 9.)

Kivirakenteiset yläpohjat

Kivirakenteiset yläpohjat tehdään yleensä ontelo- tai TT-laatoista. Ontelolaatat ja muut teräsbetonielementit ovat itsessään ilmanpitäviä, mikäli niiden juotosva-lut, läpivientien tiivistykset ja liittyminen muihin ympäröiviin rakenteisiin on toteu-tettu huolellisesti. Yläpohjissa elementtien saumat tulee tiivistää saumavalujen lisäksi aina erikseen. Saumavalujen halkeamista aiheutuu käytännössä aina vuotokohtia, joista konvektion mukana kulkeutuu ylipaineiseen yläpohjaan suuri määrä kosteutta. Tämän vuoksi yläpohjan saumat tulee tiivistää kumibitumiker-mikaistoilla tai yhtenäisellä höyrynsulkukerroksella kosteusvaurioiden välttämiseksi (kuva 16). (2, s. 20 - 21.)



KUVA 16. Ontelolaattayläpohja (2, s. 21)

Kuvassa 16 ontelolaattayläpohjan elementtien väliset saumat on tiivistetty saumavalujen lisäksi hitsattavilla kumibitumikermikaistoilla (1). Ilmansulkukerros voidaan toteuttaa myös kauttaaltaan elementtien päälle levitettävällä muovikalvolla, hitsattavalla bitumikermillä tai laataston päälle valettavalla raudoitetulla pintavalulla. (2, s. 21.)

Käytettäessä kivrakenteisia yläpohjia tulee myös läpivientien tiivistykseen kiinnittää erityistä huomiota. Kivrakenteisissa yläpohjissa läpiviennit tiivistetään valamalla, vaahdottamalla ja kittaamalla. (2, s. 21; 7, s. 9.)

6 ILMATIIVEYDEN VARMISTUS AS OY OULUN KOTIPUISTO

Opinnäytetyöhön valittuna kohteena toimi rakenteilla oleva As Oy Oulun Kotipuisto. As Oy Oulun kotipuisto on Oulun Metsokankaalle rakennettava vapaa-rahoitteinen taloyhtiö. Kohteessa on yksi kaksikerroksinen luhtitalo ja kaksi yksikerroksista rivitaloa, joissa on yhteensä 17 asuntoa. Kaikissa rakennettavissa huoneistoissa on vesikiertoinen lattialämmitys ja huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä. Rakenteiden suunnitteluratkaisut ovat matalaenergiatasoa.

Kohteen alapohjarakenteena on maanvarainen 100 mm paksu teräsbetoni-laatta, jonka alla on 200 mm EPS LATTIA -eristettä. Ulkoseinärakenteena toimii 198 mm paksu puurankarunko ja sisäpuolinen 48 mm:n koolaus. Kalvomainen höyrynsulkumuovi on sijoitettu rungon ja koolauksen väliin. Tuulensuojalevynä toimii 9 mm:n tuulensuojakipsilevy. Huoneistojen väliset seinät ovat 180 mm paksuja teräsbetonielementtejä. Luhtitalon välipohjarakenteena toimii ontelolautoilla, joita kannattelevat huoneistojen väliset teräsbetonielementtiseinät. Yläpohja on ristikkorakenteinen ja lämmöneristeenä on 500 mm puhallusvillaa. Julkisivu on osittain puuverhoiltu ja osittain tiiliverhoiltu.

6.1 Tavoitteet

Suunnittelussa on käytetty ilmanvuotoluvun arvoa $n_{50, \text{suun}} = 1,0 \text{ l/h}$, mikä velvoittaa ilmanvuotoluvun todentamisen mittaamalla. Tämän vuoksi ilmatiiveyden varmistamiseen tulee kiinnittää toteutusvaiheessa erityistä huomiota.

Rakenteiden ilmatiiveys on otettu huomioon jo arkkitehtisuunnittelusta alkaen. Rakennusten kerroskorkeus on 2 650 mm, mikä mahdollistaa talotekniikan kuljettamisen höyrynsulkukerroksen sisäpuolella alaslaskuissa ja koteloissa. Ulkoseiniin on suunniteltu 50 mm:n sisäpuolinen koolaus sähköasennusten toteuttamisen helpottamiseksi ja läpivientien määrä on minimoitu.

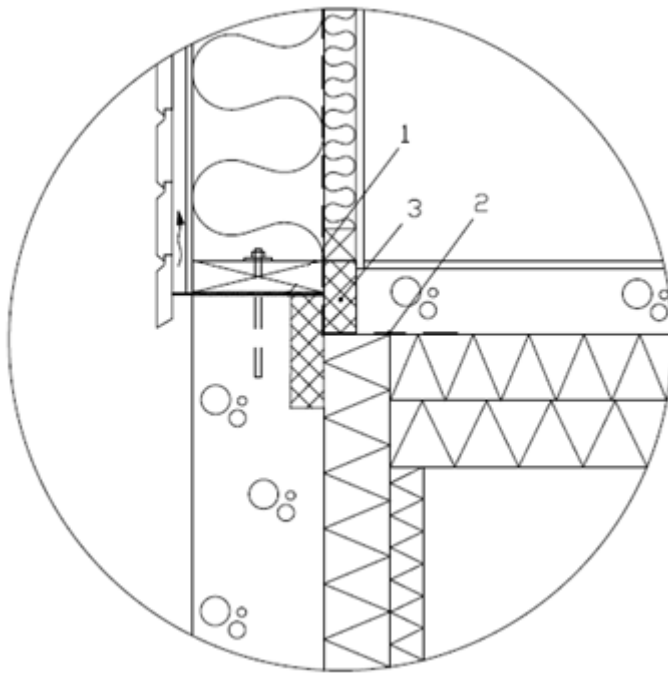
Rakennesuunnittelussa ilmatiiveyden toteutus on otettu huomioon kohtalaisella tasolla. Ilmanvuotokohdille riskialttiimmat rakenteet on suunniteltu detaljitasolla, mutta esimerkiksi ikkunoiden ja ovien liittymistä ulkoseinärakenteeseen ei ole otettu huomioon ilmatiiveyden kannalta.

Tavoitteena oli suunnitella ilmanvuotojen kannalta riskialttiiden rakenteiden liittymät detaljitasolla siten, että ne ovat helposti toteutettavissa ja lopputulos on mahdollisimman ilmatiivis. Rakenteiden liittymiä ja toteutusta on mietitty työmaalla yhdessä vastaavatyönjohtajan ja asennusryhmän kanssa. Myös ilmatiiviin rakennuksen toteutuksen merkitystä on painotettu asennusryhmälle työmaavierailujen yhteydessä.

6.2 Alapohja

Maanvarainen 100 mm paksu teräsbetoni-laatta on rakenteena itsessään ilmatiivis. Alapohjassa ilmatiivyyden kannalta kriittisimmät kohdat ovat ulko- ja huoneistojen välisten seinien liittyminen alapohjaan ja alapohjan läpivientien tiivistys.

Rankarakenteisen ulkoseinän liittyminen maanvaraiseen alapohjaan toteutetaan kääntämällä ulkoseinän höyrynsulkumuovi teräsbetoni-laatan ja eristeen väliin. Rakennuksen runko pystytetään ennen lattioiden valua. Tämä mahdollistaa höyrynsulkukerroksen asentamisen jatkuvana ulkoseinältä betoni-laatan alle (kuva 17).



KUVA 17. Ulkoseinän ja alapohjan liittymä

Kuvassa 17 esitetyn detaljin mukaisesti höyrynsulkukalvo (1) tuodaan ulkoseinältä jatkuvana betonilaatan ja eristeen väliin. Höyrynsulkukalvo käännetään betonilaatan alle 200 mm (2). Höyrynsulkukalvo puristetaan alajuoksua vasten ennen betonilaatan valua polyuretaanilevyllä (3).

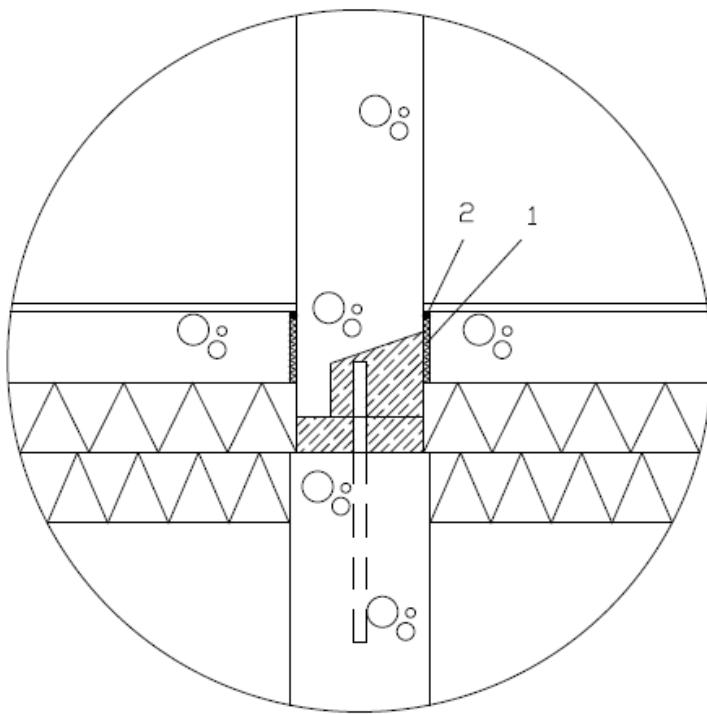
Höyrynsulkumateriaalin rikkoutumista tulee varoa asennusten aikana (kuva 18). Mahdollisesti syntyvät reiät paikataan Rakonor Sitko -höyrynsulkuteipillä. Lopullinen liitoksen ilmatiiveys saavutetaan betonilaatan valamisen jälkeen.



KUVA 18. Eristeen päälle käännetty höyrynsulkumuovi

Huoneistojen välisen seinän liittyminen alapohjaan

Huoneistojen väliset teräsbetoniseinät katkaisevat maanvaraisen alapohjarakenteen huoneistojen välillä. Huoneistojen välisten betonielementtiseinien ja maanvaraisen betonilaatan välinen ilmatiiveys toteutetaan kittaamalla (kuva 19).



KUVA 19. Huoneistojen välisen seinän ja alapohjan liitos

Kuvassa 19 esitetyn detaljin mukaisesti betonilaatan ja huoneistojen välisen seinän väliin asennetaan irrotuskaista ennen laatan valua (1). Liitoksen lopullinen ilmatiiveys saavutetaan kittaamalla liitoskohta elastisella saumamassalla (2).

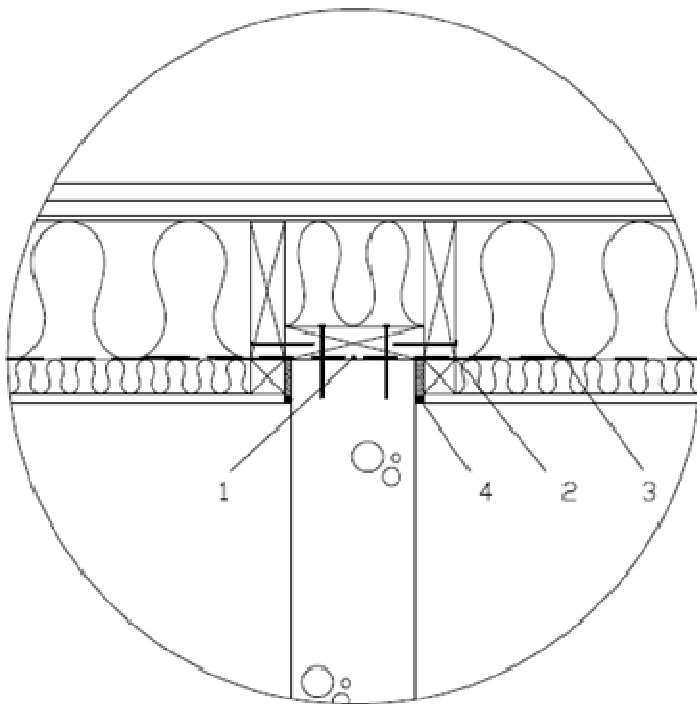
Maanvaraisen laatan läpivientien juuret tiivistetään laatan valun yhteydessä huolellisesti. Mahdolliset valuissa jääneet reiät valetaan umpeen juotosmassalla ja tarvittaessa läpivientien juuret kitataan elastisella saumamassalla. Laatan lävistävät putket ja varaukset tulee lisäksi tiivistää vaahdottamalla, kittaamalla tai teippaamalla.

6.3 Ulkoseinät ja huoneistojen väliset seinät

Rankarakenteisten ulkoseinien höyrynsulkumateriaalina käytetään 0,2 mm vahvaa muovikalvoa. Höyrynsulkumuovi asennetaan rungon ja koolauksen väliin. Kaikki saumat limitetään 200 mm ja liitosten reunat teipataan Rakonor Sitko -tiivistysteipillä. Asennuksissa syntyneet reiät paikataan. Höyrynsulkumateriaalin läpiviennit tiivistetään käyttämällä valmiita laipallisia läpivientikappaleita.

Huoneistojen välisen seinän liittyminen ulkoseinään

Huoneistojen välisen betonielementtiseinän liitos ulkoseinään toteutetaan viemällä höyrynsulkumuovi betoniseinän ohi jatkuvana. Höyrynsulkumuovi tiivistetään betoniseinään puristusliitoksella (kuva 20).



KUVA 20. Huoneistojen välisen seinän liittyminen ulkoseinään

Kuvassa 20 esitetty liitos toteutetaan asentamalla höyrynsulkukaista puristusliitoksella betoniseinän pätyyn rungon asennuksen yhteydessä (1). Puristusliitoksen ilmanpitävyys varmistetaan lisäksi höyrynsulkumuovikaistan päälle asennettavalla solumuovikaistalla. Tällä varmistetaan puristusliitoksen ilmanpi-

tävyys, vaikka elementin pinta ei olisikaan tasainen. Asennettu höyrynsulkukais-
ta limitetään seinän höyrynsulkumuovin (2) kanssa ja liitoksen saumat teipataan
(3). Sisäverhouslevyn asentamisen jälkeen levyn ja betoniseinän liitos kitataan
elastisella saumamassalla (4). Kuvassa 21 on esitetty detaljin mukaisesti run-
kovaiheessa toteutettu puristusliitos.

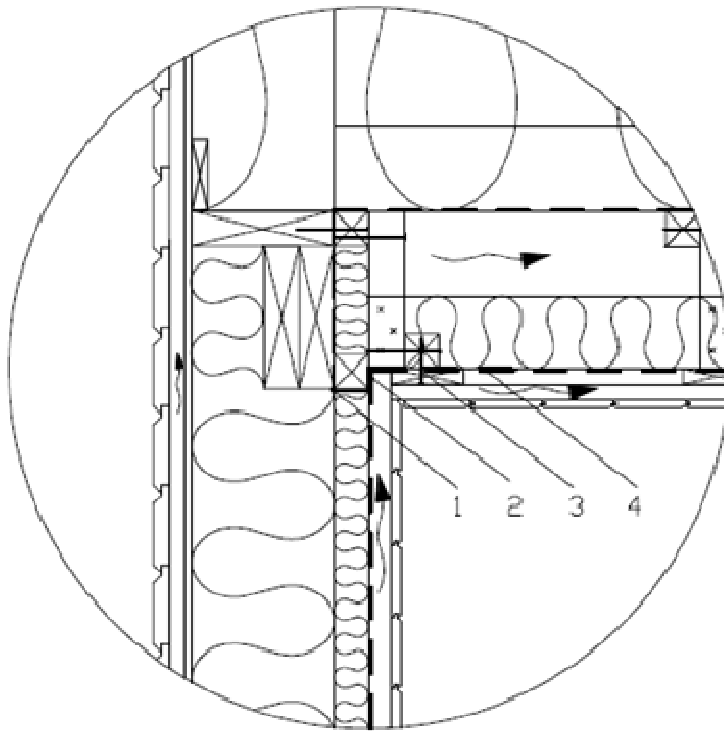


KUVA 21. Höyrynsulkukaistan puristusliitos betoniseinään

Sauna ulkoseinällä

Osassa asunnoista sauna rajoittuu ulkoseinään. Höyrynsulkumuovi poistetaan
ulkoseinästä saunan kohdalta ja koolauksen päälle asennetaan alumiinipaperi.
Seinän alumiinipaperi limitetään höyrynsulkumuovin kanssa.

Saunaan rakennetaan alakatto. Tämän vuoksi ulkoseinään ja alaslaskuun
asennettava alumiinipaperi tulee limittää alaslaskun yläpuolisen höyrynsulku-
kalvon kanssa. Liitos toteutetaan puristusliitoksella (kuva 22).

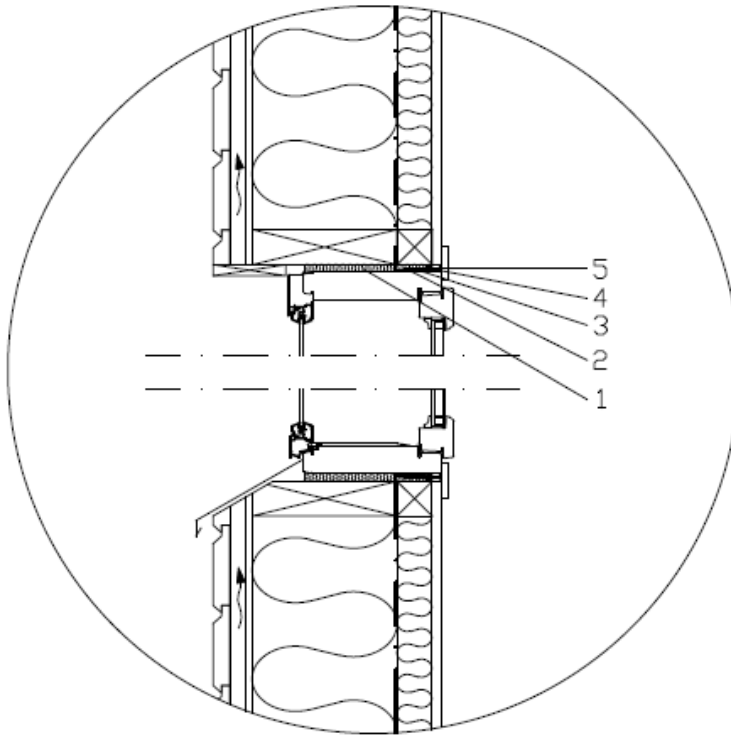


KUVA 22. Höyrynsulun ja alumiinipaperin liitos saunan kohdalla

Kuvan 22 detaljin mukaisesti alaslaskun yläpuolinen höyrynsulkumuovi (1) limitetään seinän alumiinipaperin (2) ja katon alumiinipaperin (4) kanssa 200 mm. Liitos toteutetaan puristusliitoksella koolauksen ja vastakappaleen väliin (3).

Ikkunat ja ovet

Ikkunoiden ja ovien tiivistys höyrynsulkumateriaaliin toteutetaan teippaamalla höyrynsulkumuovi karmin kylkeen Rakonor Sitko -tiivistysteipillä (kuva 23). Liitoksen ilmatiiveys voidaan lisäksi varmistaa kittaamalla.



KUVA 23. Ikkunan liittyminen ulkoseinärakenteeseen

Kuvassa 23 esitetyn detaljin mukaisesti ikkunan lämmöneristys toteutetaan mineraalivillalla (1). Seinän höyrynsulkumuovi (2) käännetään karmin päälle ja liitetään karmiin Rakonor Sitko -tiivistysteipillä (3). Karmin ja koolauksen väliin asennetaan riittävän paksu elementtinauha (4) liitoksen pitävyyden varmistamiseksi. Sisäverhouslevyn ja karmin väli voidaan lisäksi tiivistää kittaamalla (5).

Ulko- ovien asennuksissa noudatetaan samaa periaatetta kuin ikkunoiden asennuksessa. Kuvassa 24 on esitetty työmaalla toteutettu detaljin mukainen liitos.



KUVA 24. Ikkunan liittyminen ulkoseinärakenteeseen

6.4 Huoneistojen väliset seinät

Huoneistojen väliset betonielementtiseinät ovat rakenteena itsessään ilmatiivitä. Ilmatiiveyden kannalta elementtien asennuksissa tärkeää on, että elementtien saumat ja juuret tiivistetään huolellisesti juotosmassalla (kuva 25). Mikäli juotosvaluihin jää reikiä eivätkä saumat tule täyteen, ne tulee tiivistää huolellisesti valamalla tai paikkaamalla tarkoitukseen sopivalla massalla. Tasoittamalla ja maalaamalla seinät poistetaan elementtien halkeilusta mahdollisesti aiheutuvat ilmavuodot.



KUVA 25. Elementtien sauman juotosvalu

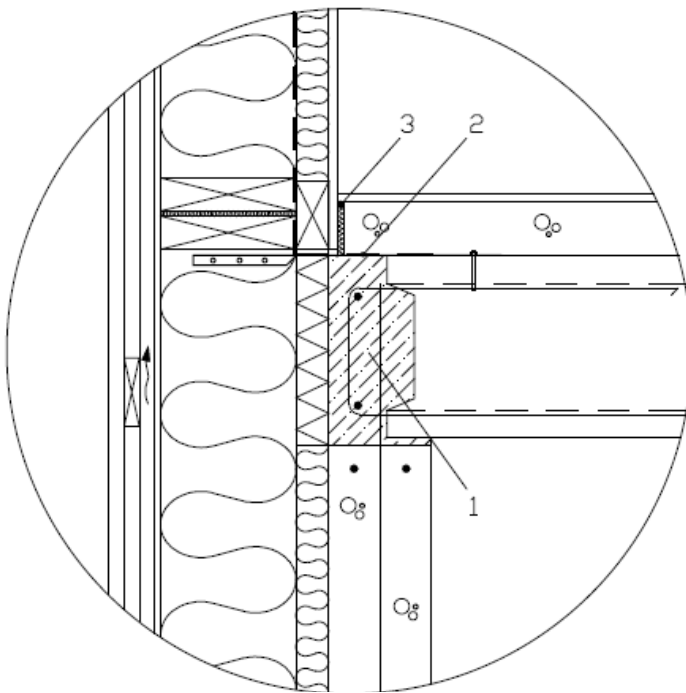
Huoneistojen välisten seinien LVIS-läpivientien juuret tiivistetään käyttämällä palokatko tuotteita. Betonielementtiseiniin tehtaalla asennettujen sähkörasioiden ja putkien juuret tiivistetään lisäksi kittaamalla tai vaahdottamalla.

6.5 Välipohja

Ontelolaatta välipohjan ilmatiiveys varmistetaan juottamalla elementtien saumat ja päädyt huolellisesti juotosmassalla. Saumavalujen halkeamisesta aiheutuvat ilmanvuodot ehkäistään valamalla ontelolaatatason päälle teräsbetoni laatta. Läpivientien tiivistys toteutetaan juotosvaluilla, vaahdottamalla ja tarvittaessa kittaamalla.

Välipohja päätyseinällä

Rakennuksen päätyseinillä välipohjaa kannattelee teräsbetoniseinä, jonka ulkopuolelle rakennetaan puurunko. Välipohjan alapuolisen seinän ilmatiiveyden varmistavana kerroksena toimii betonirakenne. Välipohjan yläpuolella ulkoseinä jatkuu rankarakenteisena. Välipohja liitoksen ilmatiiveys varmistetaan juotosvaluilla ja kääntämällä yläpuolisen ulkoseinän höyrynsulkukalvo ontelolaatan ja pintavalun väliin (kuva 26).

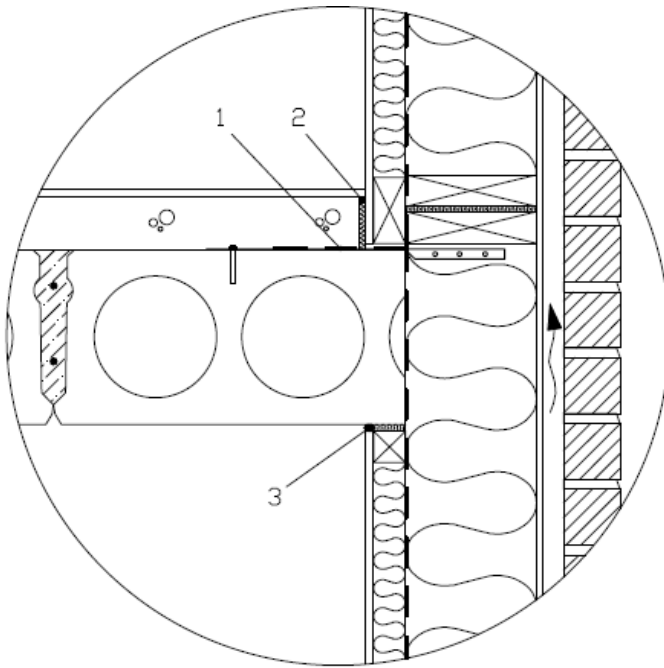


KUVA 26. Välipohjan liitos päätyseinään

Kuvassa 26 esitetyn detaljin mukaisesti ontelolaataston ilmatiiveys varmistetaan juotosvaluilla (1). Välipohjan yläpuolisen seinän höyrynsulkumuovi (2) käännetään ontelolaatan ja teräsbetonilaatan väliin 200 mm. lopullinen ilmatiiveys varmistetaan kittaamalla pintavalun ja ulkoseinän välinen liitos elastisella saumamassalla (3).

Välipohja sivuseinillä

Sivuseinillä ontelolaatta upotetaan sisäpuolisen koolauksen verran seinärakenteen sisään. Seinän höyrynsulkumuovi viedään jatkuvana välipohjarakenteen ohi. Ala- ja yläpuolisen seinän höyrynsulkumuovit limitetään ja käännetään pintavalun alle (kuva 27).



KUVA 27. Välipohjan liitos sivuseinään

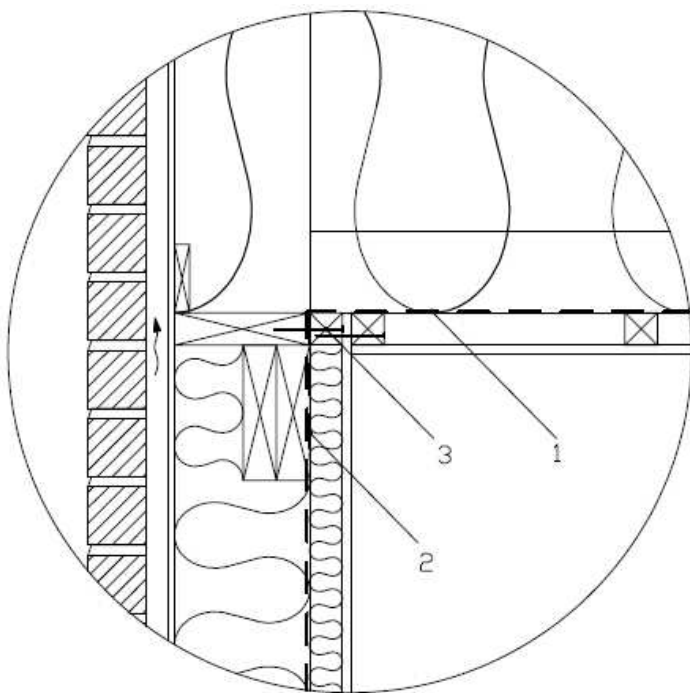
Kuvassa 27 esitetyn detaljin mukaisesti välipohjan ala- ja yläpuolisen seinän höyrynsulkukalvot limitetään 200 mm ja käännetään ontelolaatan ja teräsbetonilaatan väliin (1). Ontelolaataston päälle valettavan pintavalun ja seinän liitos tiivistetään kittaamalla elastisella saumamassalla (2). Ontelolaataston ja alapuolisen seinän koolauksen väliin jätetään painumavara, joka tilkitään mineraalivillalla. Lopuksi sisäverhouslevyn ja ontelolaatan raja kitataan elastisella saumamassalla (3).

6.6 Yläpohja

Yläpohjan höyrynsulkumateriaalina käytetään 0,2 mm vahvaa muovikalvoa. Höyrynsulkumuovi asennetaan ristikoiden alapaarteiden ja koolauksen väliin. Kaikki saumat limitetään 200 mm ja liitosten reunat teipataan Rakonor Sitko -tiivistysteipillä. Asennuksissa syntyneet reiät paikataan. Höyrynsulkumateriaalin läpiviennit tiivistetään käyttämällä valmiita laipallisia läpivientikappaleita.

Ulkoseinän ja yläpohjan liitos

Ulkoseinän ja yläpohjan höyrynsulkumuovit limitetään 200 mm ja liitoksen saumat teipataan Rakor Sitko -tiivistysteipillä. Liitos toteutetaan puristusliitoksella (kuva 28).

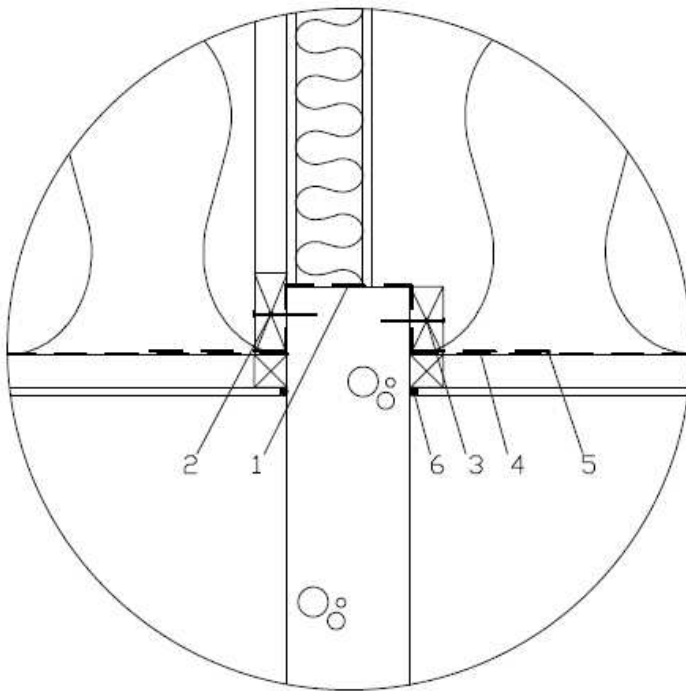


KUVA 28. Ulkoseinän liittyminen yläpohjaan

Kuvassa 28 esitetyn detaljin mukaisesti ulkoseinän höyrynsulkumuovi viedään ristikon alapaarteiden alapintaan (2). Yläpohjan höyrynsulkumuovi (1) käännetään ulkoseinälle 200 mm ja liitoksen reuna teipataan Rakonor Sitko -tiivistysteipillä. Liitoksen ilmatiiveys varmistetaan puristamalla limityskohta mekaanisesti yläohjaus puun ja yläpohjan koolauksen väliin (3).

Yläpohja huoneistojen välisen seinän kohdalla

Ennen palokatkoelementtien ja ristikoiden asennusta huoneistojen välisen seinän päälle asennetaan höyrynsulkumuovikaista. Höyrynsulkumuovikaista tiivistetään betoniseinään puristusliitoksella ja kaista limitetään yläpohjan höyrynsulkumuovin kanssa (kuva 29).



KUVA 29. Huoneistojen välisen seinän liitos yläpohjaan

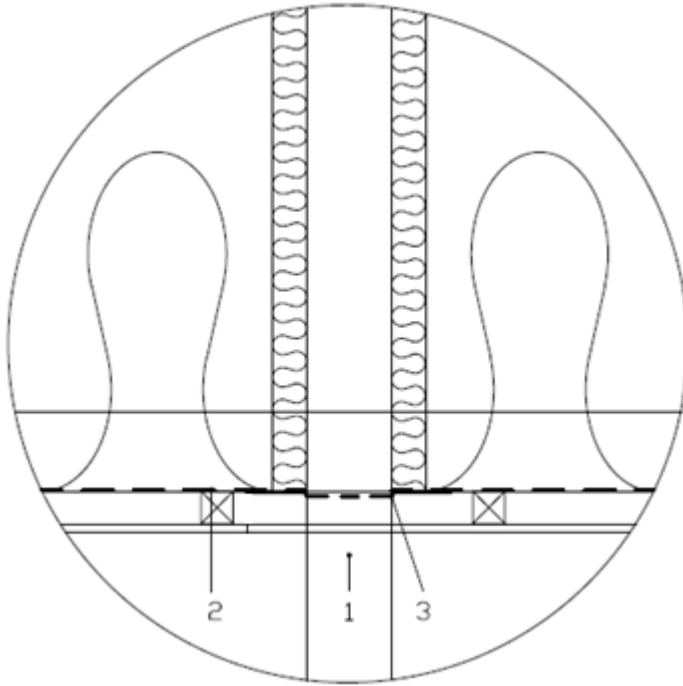
Kuvassa 29 esitetyn detaljin mukaisesti huoneistojen välisen seinän ylittävä höyrynsulkumuovi asennetaan ennen ristikoiden ja palokatkon asennusta (1). Höyrynsulkumuovi tiivistetään betoniseinään puristusliitoksella. Puristusliitos toteutetaan toiselta puolelta puristamalla ristikon alapäärre mekaanisesti betoniseinään (2). Toisen puolen puristusliitos toteutetaan kiinnittämällä 100 x 50 mm:n lankku mekaanisesti betoniseinään (3). Asennettu höyrynsulkumuovikaista limitetään yläpohjan höyrynsulkumuovin (4) kanssa 200 mm ja liitoksen reumat teipataan Rakonor Sitko -tiivistysteipillä (5). Sisäverhouslevyn asennuksen jälkeen levyn ja betoniseinän liitos tiivistetään kittaamalla elastisella saumamassalla (6). Kuvassa 30 on esitetty työmaalla detaljin mukaisesti toteutettu liitos.



KUVA 30. Yläpohjan ja huoneistojen välisen seinän liitos

Yläpohjan läpiviennit

Yläpohjan höyrynsulkumuovin läpivientien tiivistys toteutetaan käyttämällä valmiita laipallisia Uponor-läpivientikappaleita (kuva 31). Läpivientikappaleet asennetaan putkien asennuksen yhteydessä höyrynsulkumuovin yläpuolelta siten, että ne puristuvat tiiviisti höyrynsulkumuovin ja putkien eristyksen väliin.



KUVA 31. Yläpohjan läpiviennin tiivistäminen

Kuvassa 31 esitetyn detaljin mukaisesti höyrynsulkumuovin lävistävät putket (1) tiivistetään yläpohjan höyrynsulkumuoviin (2) käyttämällä valmiita laipallisia läpivientikappaleita (3). Mahdollisimman tiiviin lopputuloksen saamiseksi putkien juuret tulee lisäksi tiivistää höyrynsulkumuoviin teippaamalla Rakonor Sitko -tiivistysteipillä. Kuvassa 32 on esitetty työmaalla asennettu läpivientikappale.



KUVA 32. Yläpohjan höyrynsulkumuovin läpiviennin tiivistys

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä rakennuksen ilmatiiveyden varmistamiseen ja parantaa laadunvarmistusta rakennustyömaalla. Työssä käsiteltiin ilmatiiveyden laadunvarmistusta, ilmatiiveyden mittausta, rakenteiden toteutusta ja työn toteutukseen käytettäviä materiaaleja. Työssä suunniteltiin myös esimerkiksi valitun As Oy Oulun kotipuiston ilmanvuodoille alttiiden rakenteiden liittymien toteutus detaljitasolla siten, että ne ovat työmaalla helppo toteuttaa.

Tarkoituksena oli kerätä tietoa käytettävistä tiivistysmateriaaleista ja oikeaoppisista rakenteiden toteutusmenetelmistä työmaan näkökannalta katsottuna. Työssä pyrittiin keräämään tietoa ilmatiiveysmittauksista siten, että niihin osataan valmistautua työmaalla ja niitä osattaisiin käyttää osana ilmatiiveyden laadunvarmistusta.

Ilmatiiveyden laadunvarmistusta pyrittiin kehittämään siten, että se keskittyisi kokonaisvaltaiseen ilmatiiveyden tarkasteluun. Ilmatiiveyden kokonaisvaltaista laadunvarmistusta tulisi kuitenkin kehittää ja liittää se osaksi yrityksen laatu järjestelmää. Tällä varmistettaisiin työmaiden välillä yhtenäinen rakentamis- ja laadunvarmistuskäytäntö ja kohteissa suoritettavat ilmatiiveysmittausten tulokset saataisiin samalle tasolle.

Mielestäni opinnäytetyölle asetettuihin tavoitteisiin päästiin hyvin ja opinnäytetyöstä on jatkossa hyötyä työmaille. Työmaalla tehdyistä vierailuista oli opinnäytetyön tekemiseen suurta hyötyä. Rakenteita, niiden toteutusta ja käytettäviä materiaaleja pyrittiin miettimään yhdessä työnjohdon ja asennusryhmän kanssa siten, että niiden toteutus olisi helppoa ja saavutettaisiin mahdollisimman tiivis lopputulos. Tämä avasi uusia näkökulmia rakenteiden toteutuksen miettimiseen, koska myös työn toteuttajat saivat mahdollisuuden kertoa oman näkemyksensä asiasta.

Ilmatiiveyden laadunvarmistus tulisi aloittaa jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, koska suunnittelijoiden valinnalla, oikeaoppisella suunnittelun ohjauksella ja tehtävillä sopimuksilla voidaan oleellisesti vaikuttaa ilmatiiviin rakennuksen toteuttamisen lähtökohtiin. Vaadittava energiatehokkuusluokka tulisi olla

selvillä suunnittelutyön alusta asti ja eri suunnittelijoiden tulisi hyödyntää tiivistä yhteistyötä energiatehokkaan rakennuksen suunnittelemiseksi. Suunnitelmien valmiusasteen tulisi olla viimeistään työn alkaessa korkealla tasolla, koska silloin ne voidaan ottaa huomioon työnsuunnittelussa eikä työntoteuttajan tarvitse miettiä erikseen jokaista yksityiskohtaa.

Solmittaessa aliurakkasopimuksia tulisi määrittää selkeät tavoite ilmatiiveydelle. Ilmatiiveys asteen tulee selvittää tehtävistä sopimuksista ja ilmatiiveyden merkitystä tulee painottaa. Sopimukseen on hyvä kirjata mitä läpivientikappaleita ja materiaaleja käytetään sekä kenelle tehtävät tiivistykset kuuluvat.

Rakennuksen ilmatiiveys on kuitenkin vain yksi osa-alue energiatehokkaan rakennuksen toteutusta. Sen merkitystä tulisi miettiä kohdekohtaisesti eikä sitä tulisi ottaa ainoaksi päämääräksi energiatehokkaiden rakennusten toteutuksessa. Myös muiden energiatehokkuuden vaikuttavien työvaiheiden toteutus ja laadunvarmistus ovat yhtä tärkeää kokonaisuuden kannalta tarkasteltaessa. Laadunvarmistus tulisikin olla kokonaisvaltaista ja eri työvaiheiden painoarvoa tulisi miettiä energiatehokkuuden näkökulmasta.

LÄHTEET

1. Vinha, Juha - Korpi, Minna - Kalamees, Targo - Jokisalo, Juha - Eskola, Lari - Palonen, Jari - Kurnitski, Jarek - Aho, Hanna - Salminen, Mikko - Salminen, Kati - Keto, Matias 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
2. Aho, Hanna - Korpi, Minna 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 141. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
3. Työtehoseuranta. 2011. Kodin energiaopas. Saatavissa: <http://www.tts.fi/kodinenergiaopas/ymparisto/index.html>. Hakupäivä 11.1.2012.
4. Energiatodistusopas 2007. 2009. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=105735&lan=fi>. Hakupäivä 11.1.2012.
5. Vuolle, Mika 2011. Vuoden 2012 energiamääräyksen rakenne ja linjaukset. Energiatehokas seminaarin luentomateriaali syksyllä 2011.
6. Pientalolaatu: Tiiveyskortti. 2008. Rakennusvalvonta Oulu. Saatavissa: http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/laatukortit/Tiiveyskortti_A4-11_05_2010.FH11.pdf. Hakupäivä 7.1.2012.
7. RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.
8. Energiatehokkuutta parantavat rakentamismääräykset annettu. 2008. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=308006&lan=fi>. Hakupäivä 12.1.2012.

9. Direktiivi 2010/21/EU 2010. Rakennusten energiatehokkuus. Euroopan parlamentti ja neuvosto.
10. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=321569&lan=fi>. Hakupäivä 17.1.2012.
11. Rakentamismääräysten vaatimukset uudisrakentamiselle. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=20644&lan=fi>. Hakupäivä 17.1.2012
12. Kalliomäki, Pekka 2010. Ajankohtaista energiatehokkaasta rakentamisesta. Ympäristöministeriö. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/3132/Ajankohtaista_energiatehokkaasta_rakentamisesta_Pekka_Kalliomaki.pdf. Hakupäivä 18.1.2012.
13. Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380147&lan=FI>. Hakupäivä 19.1.2012.
14. Vuolle, Mika 2011. Lämmöneristysmääräysten 2012 täyttäminen. Energiatehokas seminaarin luentomateriaali syksyllä 2011.
15. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 24.1.2012.
16. Laitinen, Erkki 2010. Rakennusten energiamääräykset 2012. Luentomateriaali. Saatavissa: http://energiatodistus.motiva.fi/midcomserveattachmentguid-1dfd830c8a88c2cd83011dfae2e979d794d5d045d04/rakennusten_energiamaaraykset_2012.pdf. Hakupäivä 24.1.2012.

17. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. 2011. Ympäristöministeriö.
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=14527&lan=fi>. Hakupäivä 1.2.2012
18. Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. 2012. Tausta. ERA 17.
Saatavissa: <http://era17.fi/tausta/>. Hakupäivä 1.2.2012.
19. Järvenpää, Tapani 2010. Lämpökuvaus korjausrakentamisessa. Helsinki: Metropolia, Rakennus ja kiinteistöalan rakentamisen koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
20. Nieminen, Jyri - Jahn, Jenni - Airaksinen, Miimu 2011. Passiivitalon arkkitehtisuunnittelu. Promotion of European Passive Houses. Saatavissa: <http://northpass.ivl.se/download/18.7df4c4e812d2da6a416800079383/Passiivitalon+arkkitehtisuunnittelu.pdf>. Hakupäivä 2.2.2012.
21. Ilmanvaihdonperusteet. 1995. Sisäilmayhdistys. Saatavissa: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/. Hakupäivä 2.2.2012.
22. BlowerDoor measurements according to German Industrial and European Standard DIN EN 13829. 2011. Minneapolis. Saatavissa: <http://www.blowerdoor.de/en/blowerdoor.html>. Hakupäivä 5.2.2012.
23. Rakennusten ilmapitävyys ja mittaukset. 2011. Dimensio Oy. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/files/306/Rakennuksen_ilmapitavyys_ja_mittaukset.pdf. Hakupäivä 5.2.2011.
24. Minneapolis BlowerDoor Standard. 2011. Minneapolis. Saatavissa: http://www.blowerdoor.de/fileadmin/pdf/BlowerDoor-Standard_engl.pdf. Hakupäivä 7.2.2012.
25. Illikainen, Kimmo 2009. Lämpökuvaus. T523315 Korjausrakentamisen kuntotutkimukset. Opintojakson opetusmateriaalia syksyllä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
26. RT 14-10850. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus.

27. Ilmanpitävyysohje. 2010. Ruukki. Saatavissa:
<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Sandwich-paneelit/Energiapaneelit-ulkoseiniin/~media/Finland/Files/Rakentamisen%20ratkaisut/sandwich-paneelit/Ruukki-Sandwich-panel-SPA-Ilmanpit%C3%A4vyysohje.ashx>.
Hakupäivä 9.2.2012.
28. Aho, Heikki - Fränti-Pitkäranta, Marttiina – Sihvonen, Keijo – Kyttälä, Risto – Miller, Kai – Rämä, Markku 2000. Pientalotyömaan valvonta ja tarkistusasiakirja. Ympäristöopas 76. Helsinki: Ympäristöministeriö.
29. Rakennushankkeen hallinta. 2012. Prodeco. Saatavissa:
<http://www.prodeco.fi/index.php?p=Rakennushankkeenhall#Projektin%20osuunnittelu%20ja%20ohjaus>. Hakupäivä 10.2.2012.
30. Kalliokoski, Veli-Matti 2010. Vaipparakenteiden läpiviennit. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
31. Läpivientikaulukset. 2011. Tiivistalo.fi. Saatavissa:
<http://www.tiivistalo.fi/ohjeet/default.asp>. Hakupäivä 10.1.2012.

Tilakohtainen laadunvarmistus

Kohde: _____

Työnumero: _____

Laatija: _____

Päivämäärä: _____

Tarkastettavat kohteet		
Rakennus osa	Työmaalla tarkistettavat kohteet:	Käyty läpi: Päivämäärä ja kuittaus
1. ALAPOHJA	<ul style="list-style-type: none">Perusmuurin ja alapohjan liitos on suunnitelmien mukainen.Ulkoseinän kalvomainen höyrynsulku on käännetty maanvaraisessa laatassa eristeen ja laatan väliin.Alueilla jossa esiintyy radonia, perusmuurin ja alapohjan liitos on tiivistetty esim. kumibitumikermikaistalla.Seinien liitoksissa on käytetty irrotuskaistaa ja rakenteiden liittymät on kitattu elastisella saumamassalla.Ontelolaatta alapohjassa juotosvalut ja muut tiivistykset on tehty suunnitelmien mukaisesti.	
1.1 Läpiviennit	<ul style="list-style-type: none">Kaikki alapohjan läpiviennit on tiivistetty suunnitelmien mukaisestiLäpiviennit on tiivistetty valamalla ja kittaamalla.	

[illegible]

2.2 Läpiviennit	<ul style="list-style-type: none">• Vaahdotus on ehyt, eikä sitä ole leikattu.• Ikkunat ja ovet on tilkitty mineraalivillalla, tilkkeet on asennettu huolellisesti eikä tiivistyksissä ole reikiä.• Höyrynsulun liitos ikkunoihin ja oviin on toteutettu teippaamalla tai kittaamalla ja tiivistys on ehjä.• Ikkunat ja ovet on asennettu suoraan kulmaan ja ristimitta on sama molemmissa suunnissa.• Putkien ja ilmanvaihtokanavien tiivistyksissä on käytetty suunnitelmien mukaisia laipallisia läpivientikappaleita.• Sähköläpiviennit on toteutettu suunnitelmien mukaisilla laipallisilla läpivientikappaleilla.• Teipeillä tehdyt tiivistykset on tehty kovaa kappaletta vasten ja tiivistys on ehjä.• Betonirakenteissa tehdyt läpivientien tiivistykset on tehty valamalla ja kittaamalla.• Sähköputket on tiivistetty kittaamalla ja läpivientien varaukset on tiivistetty väliaikaisesti vaahdottamalla tai teippaamalla.• Elementtirakenteissa tehtaalla asennetut sähkövaraukset on tiivistetty.	
----------------------------------	---	--

3. HUONEISTO- JEN VÄLISET SEINÄT	<ul style="list-style-type: none">• Huoneistojen väliset seinät on toteutettu suunnitelmien mukaisesti.• Paikalla valetut seinät ovat suunnitelmien mukaiset, eikä valuihin ole jäänyt reikiä.• Elementtien pysty- ja vaakasaumat on valettu täyteen juotosmassalla, eikä valuihin ole jäänyt reikiä.• Saumavalujen halkeamisriski on estetty riittävällä raudoituksella.• Seinäelementtien juurien juotokset ovat tiiviit, eikä valuihin ole jäänyt reikiä.• Juotoksissa jääneet reiät on tiivistetty.• Elementtirakenteissa tehtaalla asennetut sähkövaraukset on tiivistetty.• Huoneistojen väliset läpiviennit on tiivistetty palokatkotuotteilla	
4. VÄLIPOHJA 4.1 Puurakentein en välipohja	<ul style="list-style-type: none">• Ilmansulkukerros on yhtenäinen eikä siinä ole reikiä.• Välipohjarakenne ja tehdyt tiivistykset on toteutettu suunnitelmien mukaisesti.• Käytettäessä kalvomaisia tuotteita, höyrynsulku kalvo on yhtenäinen ja liitokset on teipattu tai toteutettu puristusliitoksilla.	

<p>4.2 Kivirakentein en välipohja</p>	<ul style="list-style-type: none">• Levymäisiä höyrynsulkutuotteita käytettäessä levyjen saumat on vaahdotettu ja teipattu.• Asennuksissa syntyneet höyrynsulkumateriaalin reiät on paikattu.• Läpiviennit on toteutettu suunnitelmien mukaisesti laipallisilla läpivientikappaleilla.• Palo-osasto lävistävissä läpivienneissä on käytetty palokatko tuotteita.• Elementtien saumat on valettu täyteen juotosmassalla, eikä valuihin ole jäänyt reikiä.• Saumavalujen halkeamisriski on estetty riittävällä raudoituksella.• elementtien saumoissa on käytetty tarvittaessa höyrynsulku kaistoja tai laataston päälle on valettu ilmatiivis teräsbetoni-laatta.• Pintavalun ja ulkoseinän väliin on asennettu irrotuskaista ja liitos on kitattu elastisella saumamassalla.• Juotoksissa jääneet reiät on tiivistetty.• Läpiviennit on tiivistetty vaahdottamalla, juotosvaluilla ja kittamalla.• Palo-osasto lävistävissä läpivienneissä on käytetty palokatko tuotteita.	
--	---	--

<p>5. YLÄPOHJA</p> <p>5.1 Puurakentein en yläpohja</p>	<ul style="list-style-type: none">• Yläpohjarakenne on toteutettu suunnitelmien mukaan ja höyrynsulku kerros on yhtenäinen.• Kalvomaisia höyrynsulkumateriaaleja käytettäessä höyrynsulkumateriaali on yhtenäinen ja saumat on teipattu tai jatkokset on toteutettu puristusliitoksilla.• Levymäisiä höyrynsulkutuotteita käytettäessä levyjen saumat on vaahdotettu ja teipattu.• Yläpohjan eristemateriaali ei kuormita höyrynsulkumateriaalia tarpeettomasti.• Asennuksissa syntyneet reiät on paikattu.• Putkien ja ilmanvaihtokanavien tiivistyksissä on käytetty suunnitelmien mukaisia laipallisia läpivientikappaleita.• Sähköläpiviennit on toteutettu suunnitelmien mukaisilla laipallisilla läpivientikappaleilla.• Teipeillä tehdyt tiivistykset on tehty kovaa kappaletta vasten ja tiivistys on ehjä.• Levymäisiä höyrynsulkumateriaaleja käytettäessä läpiviennit on tiivistetty vaahdottamalla ja teippaamalla.	
--	---	--

5.2 Kivirakentei- nen yläpohja	<ul style="list-style-type: none">• Elementtien saumat on valettu täyteen juotosmassalla, eikä valuihin ole jäänyt reikiä.• Saumavalujen halkeamisriski on estetty riittävällä raudoituksella.• Elementtien saumoissa on käytetty tarvittaessa höyrynsulku kaistoja, höyrynsulkukalvoa tai laataston päälle on valettu ilmatiivis teräsbetonilaatta.• Juotoksissa jääneet reiät on tiivistetty.• Läpiviennit on tiivistetty vaahdottamalla, juotosvaluilla ja kittaamalla.	
---	--	--