

Ville Virtanen

ILMATIIVYDEN PARANTAMINEN UUDISRAKENTAMISESSA

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
2017

ILMATIIVIYDEN PARANTAMINEN UUDISRAKENTAMISESSA

Virtanen, Ville
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2017
Ohjaaja: Kujala, Mari
Sivumäärä: 32
Liitteitä: 1

Asiasanat: ilmatiivius, höyrynsulku, uudisrakentaminen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kuinka rakennustyömaalla tulisi toimia, jotta puurankarakenteisen uudisrakennuksen vaippa olisi mahdollisimman ilmatiivis. Tämä opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Rakennusliike A. Virtanen Oy:n kanssa tavoitteena pienentää heidän rakentamiensa uudiskohteiden ilmapuotolukua.

Rakennuksen ilmatiiviydellä tarkoitetaan rakennuksen vaipan ilmapitävyyttä eli sitä kuinka hyvin rakennuksen vaippa estää haitallista ilmanvaihtuvuutta rakenteen eri kerrosten läpi. Ilmatiivius vaikuttaa energiankulutukseen, kosteustekniseen toimivuuteen, sisäilman laatuun sekä asumisviihtyvyyteen. Rakennuksen ilmatiiviyttä tutkitaan tiiviusmittauksella, jossa selvitetään kuinka paljon rakennuksen vaippa päästää lävitseen vuotoilmaa 50 Pa:n paine-erossa. Yleisimpiä ilmapuotokohtia rakennuksessa ovat höyrynsulussa olevat epäjatkuvuuskohdat. Näitä ovat ulkoseinän ja yläpohjan liitoskohdat, ikkunat ja ovet sekä näiden liitoskohdat ulkoseinissä, ulkoseinän ja ilmansulun läpiviennit, ulkoseinän ja alapohjan liitoskohdat sekä ulkonurkat.

Puurankarakenteisissa rakennuksissa haitallinen ilmanvaihtuvuus ehkäistään asentamalla vaipan sisäpuolelle erillinen höyrynsulkumuovi. Höyrynsulkumuovin tulisi jatkua yhtenäisenä koko rakennuksen vaipan ympäri, jotta vaippa olisi tiivis. Haasteita tähän tuo höyrynsulkumuovin liitoskohdat ja läpiviennit sekä sen ehjänä pysyminen.

Alapohjan ja ulkoseinän välisessä liitoksessa suurin huomio tulee kiinnittää rakenteen liitoksiin ja läpivientien tiivistämiseen. Lattialaatan alle limitetään radonkaista, joka katkaisee ilmavirtauksen lattialaatan ja sokkelin välistä sekä estää haitallisen radonkaasun kulkeutumisen maaperästä huoneilmaan. Ulkoseinässä höyrynsulkumuovi asennetaan runkotalppien ja koolauksen väliin lämmöneristyksen lämpimämmälle puolelle. Yläpohjaan asennettava höyrynsulkumuovi niitataan kattoristikon alapääteeseen. Höyrynsulkumuovin asennuksessa tulee olla tarkka, jotta muovi ei rikkoonnu. Ikkuna- ja oviaukoissa ilmapuodot ehkäistään huolellisella ja oikeaoppisella ikkunoiden ja ovien asennuksella. Ylimääräisiä läpivientejä höyrynsulussa tulisi välttää. Pakolliset läpiviennit tuodaan yksitellen höyrynsulun läpi ja tiivistetään tarkoituksenmukaisilla läpivientikappaleilla tai teippaamalla ne huolellisesti. Höyrynsulkumuovin asennuksessa syntyneet reiät täytyy tiivistää erikseen höyrynsulkuteipillä, jossa on riittävä tartuntakyky. Jos höyrynsulkumuoviin tulee liitoskohta, täytyy se limittää ja teipata huolellisesti. Tarkalla ja huolellisella työllä on mahdollista saavuttaa ilmatiivis ja energialuokaltaan alhainen uudiskohde.

ENHANCING AIRTIGHTNESS IN NEW BUILDINGS

Virtanen, Ville

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction and Municipal Engineering

November 2017

Supervisor: Kujala, Mari

Number of pages: 32

Appendices: 1

Keywords: airtightness, vapor barrier, new buildings

The purpose of this thesis is to find the best ways of working on a construction site, for making as airproof building envelope as possible to a wooden building. The thesis was created in cooperation with Rakennusliike A. Virtanen Oy, and the target is to reduce air leakage in the buildings they are constructing.

Airtightness of a building means airtightness of the building envelope, meaning how well the building envelope resists unintentional air leakage between the different layers of the structure. Airtightness affects energy consumption, hygrothermal performance, indoor air quality, and quality of living. Airtightness of a building can be measured in terms of the leakage airflow rate through the building's envelope at 50 Pascal pressure difference. The leakage in buildings typically occurs in locations where the vapor barrier discontinues. These locations are junctions between external wall and roof, windows and doors and their junctions between external walls, through holes in the air seal and external wall, junctions between external wall and base wall, and external corners. Unintentional air leakage in wooden buildings can be prevented by installing a plastic vapor barrier sheet inside the envelope. The sheet must cover the entire envelope for the envelope to be tight. The junctions and through holes in the sheet are challenging locations, and keeping the sheet intact is another challenge.

At the junction between external wall and base wall, special attention must be paid to the junctions in the structure, and to sealing of the through holes. A radon prevention strip is placed under the floor tile to cut the airflow between floor tile and plinth, and to prevent harmful radon gas from drifting from the soil into the room. On the external wall, the plastic vapor barrier sheet is installed between the timber frame and studwork, on the warmer side of the heat insulation. On the roof, plastic vapor barrier sheet is attached to the tie beam of the roof truss.

When installing the plastic vapor barrier sheet, you must be careful not to break the sheet. In the window and door holes, air leakage is prevented with careful and correct installing of the doors and windows. You should avoid having extra through holes in the vapor barrier. Mandatory through holes are made one by one through the vapor barrier, and they are sealed with appropriate lead-in units, or by taping them carefully. The holes generated while installing the plastic vapor barrier sheet must be sealed with tuck tape with adequate adhesiveness. If there are seams in the plastic vapor barrier sheet, they must be overlapping and taped carefully. With careful and precise work, it is possible to achieve airproof and energy-efficient new building.

KÄSITTEET

Energiatehokkuus	Rakennuksen kuluttaman energian kustannustehokasta käyttöä.
Energiatodistus	Lain vaatima todistus rakennuksen energiatehokkuudesta. Se mahdollistaa rakennusten energiatehokkuuden vertailun rakennusten ominaisuuksien perusteella.
Epäjatkuvuuskohta	Tässä tapauksessa höyrynsulkumuovin yhtenäisyyden katkeaminen liitoskohdissa.
Höyrynsulku	Rakennekerros, jonka tarkoituksena on estää sisäilman vesihöyryn haitallinen siirtyminen rakenteeseen tai rakenteessa.
Ilmansulku	Ainekerros, jonka tarkoituksena on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle.
Ilmatiiviys	Rakenteen kyky estää haitallinen ilmanvaihtuvuus rakenteen eri kerrosten läpi.
Ilmavuotoluku	Ilmavuotoluku kertoo kuinka paljon rakennuksen vaipan läpi kulkee vuotoilmaa tunnissa vaipan pinta-alaa kohden 50 Pascalin paine-erossa. Ilmavuotoluku q_{50} kuvaa rakennuksen vaipan ilmapitävyyttä.
Kapillaari	Nesteen siirtyminen huokoisessa aineessa.
Kondensoituminen	Vesihöyryn tiivistyminen rakenteiden pintaan vedeksi.
Kosteuskonvektio	Kosteuden siirtyminen virtaavan ilman mukana paine-erojen vaikutuksesta.

Puurakenteinen talo	Rakennus, jossa kantavan rungon pääasiallinen rakennusmateriaali on puu.
Radon	haitallinen kaasu, jota esiintyy maaperässä.
Radonkaista	Ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää radonkaasun pääseminen maaperästä huoneilmaan.
Rakennuksen vaippa	Rakennusosien kokonaisuus, joka erottaa rakennuksen sisätilan ulkoilmasta ja maaperästä.
Tiiviysmittaus	Tiiviysmittauksen avulla tutkitaan rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä. Mittauksessa etsitään rakennuksen ilma- vuotokohtia paine-erojen avulla.
Tuulensuoja	Ainekerros, jolla estetään haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteeseen ja takaisin.
Uudisrakentaminen	Uusien rakennusten rakentaminen.
Vesihöyry	Veden kaasumainen olomuoto.

SISÄLLYS

KÄSITTEET

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Työn lähtökohta	7
1.2	Työn taustat ja tavoitteet.....	7
2	ILMATIIVIYS	9
2.1	Yleistä	9
2.2	Yleisimmät ilmavuotokohdat.....	10
2.3	Tiivysmittaus	11
3	RAKENNUSLIIKKEEN KÄYTTÄMÄT RAKENTEET.....	13
3.1	Alapohja.....	13
3.2	Ulkoseinät	14
3.3	Yläpohja.....	16
4	TIIVIYDEN PARANTAMINEN RAKENTEISSA	17
4.1	Alapohjan ja ulkoseinän välinen liitos.....	17
4.2	Höyrynsulkumuovin asentaminen ulkoseinään ja yläpohjaan.....	20
4.3	Huoneistojen välinen seinä	22
4.4	Höyrynsulkumuovin liitokset aukoissa.....	23
4.5	Höyrynsulkumuovin läpiviennit	25
5	UUDISKOHTTEEN TIIVIYSMITTAUKSEN TULOKSET.....	28
6	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Työn lähtökohta

Kiristyvät rakennusten energiatehokkuuden vaatimukset ovat nousseet uudisrakentamisessa isoon arvoon. Tämän taustalla on muun muassa uudisrakennuksille vuonna 2008 pakolliseksi tullut energiatodistus (Energiatodistus.info www-sivut 2017). Myös sisäilman laatuun sekä asumisviihtyvyyteen kiinnitetään nykyään entistä enemmän huomiota. Uudisrakennuksilta vaaditaankin nykyään entistä parempaa ilmatiiviyyttä, joka vaikuttaa erilaisten rakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen; rakennusvaipan ilmatiiveydestä on tullut yksi laadukkaan rakentamisen mittari. Tiivis rakennusvaippa säästää energiankulutusta sekä ehkäisee sisäilmaongelmia. Tästä syystä on erittäin tärkeää panostaa laadukkaaseen ilmatiiviiseen rakentamiseen sekä rakentamisen laadunvarmistukseen rakentamisen aikana. (Sarja 2010.)

Nykypäivänä rakentamisessa hyvin merkittävä tekijä on laatu. Asuntotuotannossa laatu toimii yhtenä kilpailuvalttina. Laadukkaan rakentamisen edellytyksenä on voimassaolevien rakennusmääräysten asianmukainen noudattaminen, hyvien ja hyväksytyjen rakennusmateriaalien käyttö sekä hyvän rakennustavan noudattaminen. Ilmavuotoluku toimii nykypäivänä yhtenä laadun mittaamisen työkaluna ja rakennuksen energialuokka on yksi myyntivaltti uudisrakentamisessa (Kotiranta 2017).

1.2 Työn taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui rakennuksen vaipan ilmatiiviyden parantaminen, koska asuinrakennusten rakentaminen ilmatiiviiksi on nykyaikana noussut merkittäväksi tekijäksi rakentamisessa. Tämän työn tarkoituksena on kehittää Rakennusliike A. Virtanen Oy:n toimintatapoja ilmatiiviyden parantamiseksi sekä löytää hyvä menetelmä mahdollisimman hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi ilmavuotoluvun pienen-

tämisessä. Yrityksen pääasiallinen toimiala on pari- sekä rivitaloyhtiöiden omatuotanto ja tämän takia tässä työssä keskitytään ilmatiiviiden parantamiseen vain uudisrakentamisessa.

Tässä työssä tavoitteena on selvittää mitkä ovat laadukkaimmat tavat toteuttaa rakennuksen vaipan ilmatiiviyden niin, että täytetään kaikki voimassaolevat rakennusmääräykset. Tarkoituksena ei ole tutkia ilmatiiviin rakenteen rakennusfysikaalisia ominaisuuksia, vaan selvittää, miten työmaalla tulisi toimia hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi. Koska rakennusliike rakentaa omatuotantona uusia puurakenteisia rivitaloyhtiöitä, tässä opinnäytetyössä tarkastellaan höyrynsulkumuovien asennustapoja eri rakenneosissa puurakenteisessa rivitalokohteessa. Rakenneosiossa keskitytään vain rakennusliikkeen käyttämiin tavanomaisiin rakennetyyppeihin.

Tämän työn aluksi kerrotaan yleisesti ilmatiivyydestä ja esitellään aiempaa tutkimustietoa ilmatiiviistä rakentamisesta. Seuraavaksi kuvaillaan lyhyesti rakennuksen vaipan rakenteita, joissa mahdolliset ilmavuodot esiintyvät. Tämän jälkeen selvitetään kuinka ilmansulku toteutetaan eri rakenteissa niin, että ilmavuodot ovat mahdollisimman vähäiset. Näissä osiossa esitellyt kuvat ovat rakennusliikkeen omia kuvia ellei muuta ole erikseen mainittu. Selvitys perustuu aiempaan tutkimustietoon, opinnäytetyötä varten käytyihin keskusteluihin sekä rakennusliikkeen aiempaan kokemukseen. Työn lopussa esitellään lyhyesti rakennusliikkeen uudiskohteeseen tehdyn tiiviysmittauksen tulokset.

2 ILMATIIVIYS

2.1 Yleistä

Rakennuksen ilmatiiviydellä tarkoitetaan rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä. Eli rakenteen kykyä estää haitallinen ilmanvaihtuvuus eri kerrosten läpi rakenteessa. Mitä tiiviimpiä rakennuksen ulkoseinä- ja katonrakenteet ovat, sitä vähemmän hallitsemattomia ilmapuottoja on. (Kauppinen 2011; Paloniitty 2013.)

Rakennusvaipan sekä tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin tiiviitä, että ne estävät sisäilman vesihöyryn haitallisen konvektion. Lisäksi ilmapuotot eivät saisi aiheuttaa merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Huomiota tulee erityisesti kiinnittää rakenteiden liitosten sekä läpivientien suunnitteluun ja rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tehtävä erillinen ilmansulku ellei rakenne itsessään ole riittävän ilmanpitävä. Puurankarakenteissa haitallinen ilmanvaihtuvuus ehkäistään asentamalla vaipan sisäpuolelle erillinen höyrynsulku- muovi, joka estää ilman ja vesihöyryn virtaamisen rakennuksen vaipan läpi. (Aho & Korpi 2009; Suomen RakMk C2 1998; Suomen RakMk D3 2012; Virkki 2017.)

Vaipan tiiviydellä on merkitystä energiatehokkuuteen, kosteustekniseen toimivuuteen, sisäilman laatuun sekä asumismukavuuteen. Rakennukset kuluttavat merkittävän osan, noin 40 % kokonaisenergiankulutuksesta ja sen vähentämisellä on suuri merkitys (Ympäristöministeriö www-sivut 2017). Vuoteen 2020 mennessä on tavoiteltu valtion talousarvioesityksessä parantaa energiatehokkuutta 20 % nykyisestä (Valtion talousarvioesitys 2009). Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri merkitys rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen. Tiiviissä, ilmanpitävässä rakennuksessa lämpö ei karkaa ilmapuotosten mukana ulos eikä kylmää ilmaa pääse vuotamaan sisälle rakennuksen vaipan lävitse. Kosteuskonvektion riski kasvaa etenkin talvella, kun sisäilman kosteus nousee tavallista korkeammaksi. Jos vaipassa on ilmapuotoreittejä, sisäilman kosteus pääsee kulkeutumaan ilmapuotosten mukana kylmiin rakenteisiin ja niiden osiin aiheuttaen mahdollisesti kosteusvaurioriskin. Hyvän ilmanpitävyyden ansiosta kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin ja näin estetään mahdollisten kosteuden tiivistyminen rakenteisiin. Kolmas tärkeä tekijä rakennuksen vaipparakenteiden hyvän

ilmatiiviuden kannalta on sisäilman laatu. Vaipan hyvä ilmatiiviyys parantaa sisäilman laatua, koska se vähentää mahdollisten ilman epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan talon rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta. Lisäksi vaipan tiiviyys estää vetoisuutta ja sisäpintojen kylmenemistä, mikä lisää asumisviihtyvyyttä. Tämän takia tulee kiinnittää erityistä huomiota tiiviiseen vaippaan sekä oikein säädettyyn ilmanvaihtoon. (Aho & Korpi 2009; Jokisalo, Kurnitski, Kalamees, Eskola & Jokiranta 2007; Kauppinen 2011; Paloniitty 2012; Vinha ym. 2009; Vinha ym. 2008; Vinha ym. 2005.)

2.2 Yleisimmät ilmavuotokohtat

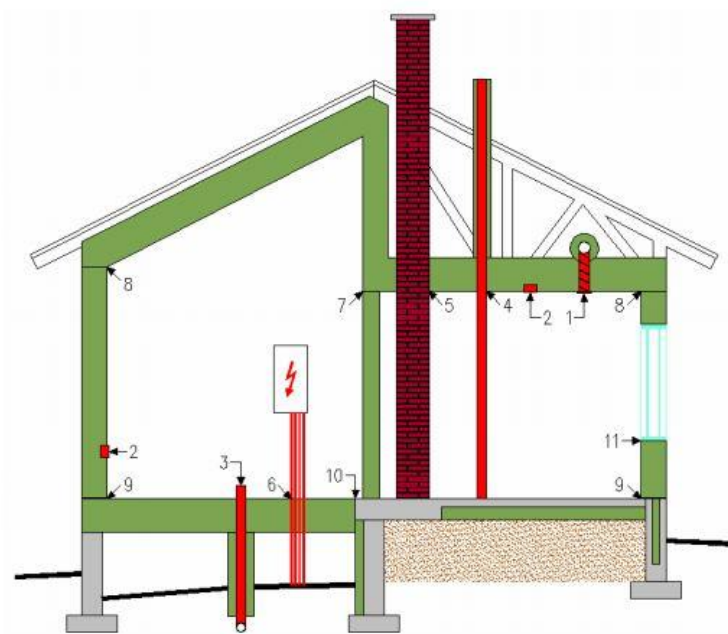
Rakennukseen voi syntyä ilmavuotokohtia, jotka aiheutuvat höyrinsulussa esiintyvistä epäjatkuvuuskohtista. Näitä epäjatkuvuuskohtia ovat erilaiset rakenneosat, ikkunat, ovet ja muut läpiviennit. Yleisimpiä ilmavuotokohtia puurakenteisissa pientaloissa ovatkin ulkoseinän ja yläpohjan liitoskohdat, ikkunat ja ovet sekä näiden liitoskohdat ulkoseiniin, ulkoseinän ja ilmansulun läpiviennit, ulkoseinän ja alapohjan liitoskohdat sekä ulkonurkat (Vinha ym. 2009).

Ilmavuoto riippuu rakenteiden kyvystä läpäistä ilmaa, vuotopaikkojen jakaumasta sekä ulko- ja sisäilman välisen paine-eron jakaumasta. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavia tekijöitä ovat ilmanvaihto, tuuli sekä ilman lämpötilaerot. Rakennuksen vaipan sisäpuolelle asennetun höyrinsulkumuovin on tarkoitus estää tätä epätoivottua ilmavuotoa. Ilmavuotokohtia paikannetaan yleisimmin ja tehokkaimmin lämpökuvauksella. Tiiviyksmittauksesta kerrotaan tarkemmin luvussa 2.3 Tiiviyksmittaus. (Kauppinen 2011; Sisäilmayhdistys www-sivut 2017.)

Energiaa säästävän pientalon suunnitteluohjeessa (Puuinfo www-sivut 2017) on kuvattu rakennuksen ulkovaipan yleisimpiä ilmavuotokohtia (kuva 1). Niitä ovat:

1. höyrinsulun ulkopuolelle teytyjen IV-asennusten läpiviennit
2. höyrinsulun ulkopuolelle teytyjen sähköasennusten läpiviennit
3. viemäreiden läpiviennit alapohjassa
4. viemärin tuuletusputken läpivienti yläpohjassa
5. savuhormin läpivienti yläpohjassa

6. sähköpääkeskuksen johtojen läpiviennit alapohjassa
7. kantavien väliseinien liittymät
8. ulkovaipparakenteiden liittymät
9. elementtien saumat
10. tuulettuvan ja maavaraisen alapohjan liittymä sekä
11. ikkunoiden ja ovien liittymät.

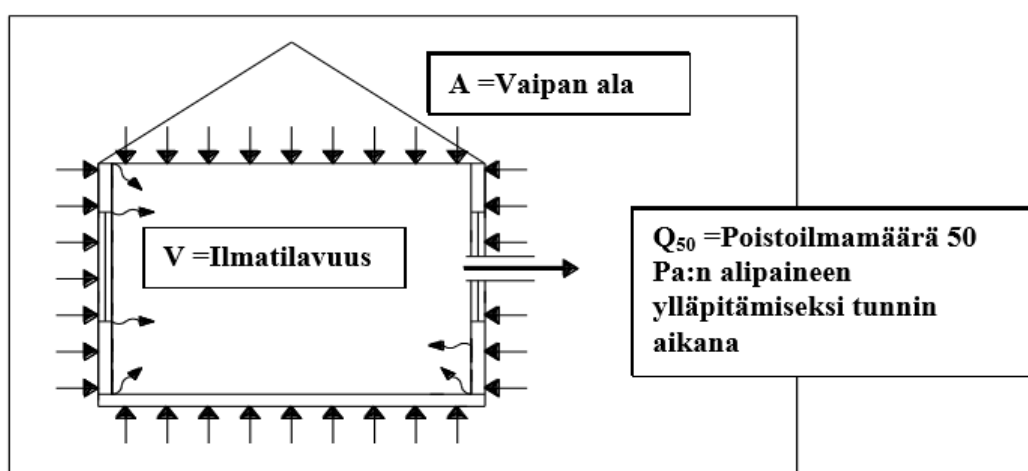


Kuva 1. Yleisimmät ilmavuotokohtat rakennuksen vaipassa (Puuinfo 2017)

2.3 Tiiviysmittaus

Energiatodistuksen myötä tiiviysmittaus on tullut pakolliseksi uudiskohteissa, koska energiatodistusta laadittaessa ilmavuotoluku on oltava selvillä. Tiiviysmittaus on myös osa laadunvarmistusta. Se on erittäin luotettava ja puolueeton. Mittaus on edullinen ja yksinkertainen sekä antaa selkeän kuvan rakennuksen ilmanpitävyydestä. Mittauksen yksi tarkoitus on myös paikallistaa mahdollisia ilmavuotoja. Rivitaloissa mittaus tulee tehdä vähintään 20 %:ssa huoneistojen lukumäärästä tai mitaten vähintään jokaisesta rakennuksesta yksi asunto. (Paloniitty 2013.)

Tiiviysmittauksella (kuva 2) mitataan rakennusvaipan tiiviys luomalla rakennuksen sisälle 50 Pa:n paine-ero. Mittauksessa saadaan kohteelle ilmavuotoluku q_{50} . Ilmavuotoluku kertoo rakennusvaipan keskimääräisen vuotoilman tunnissa rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Mitä isompi ilmavuotoluku sitä enemmän rakennuksen vaippa vuotaa ilmaa ulkoa sisälle. Nykymääräyksiensä mukaan rakennusvaipan ilmavuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. (Kauppinen 2011; Paloniitty 2013; SFS-EN ISO 9972.) Kuvassa 3 on esitetty luokitus A-G, joihin talot luokitellaan mittaustulosten perusteella.



Kuva 2. Vaipan tiiviysmittauksen periaate (Paloniitty 2013, s. 4)

Alle 0,6	A
0,7-1,0	B
1,1-1,5	C
1,6-2,0	D
2,1-3,0	E
3,1-4,0	F
Yli 4,1	G

Kuva 3. Tiiviysmittausluokitus (Rakennusterveys www-sivut 2017)

3 RAKENNUSLIIKKEEN KÄYTTÄMÄT RAKENTEET

3.1 Alapohja

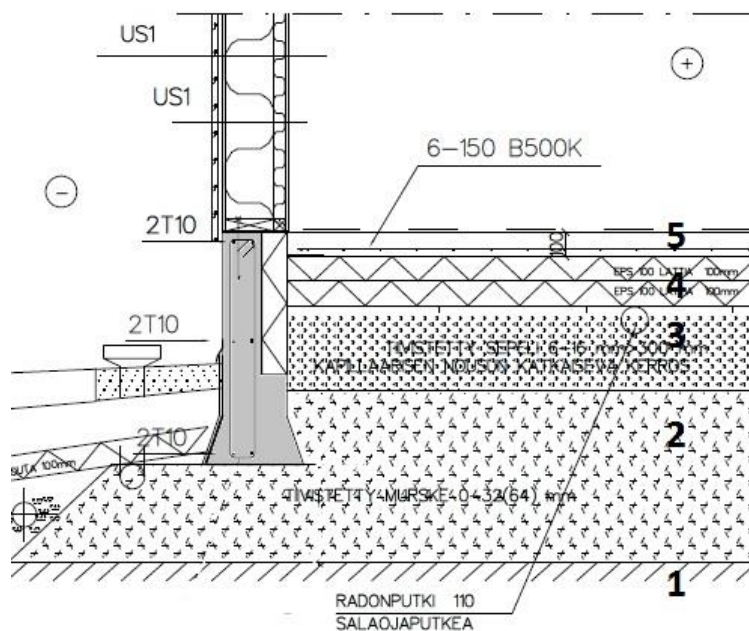
Alapohja on rakenteeltaan maanvarainen teräsbetoni-laatta, joka perustetaan routimattoman sorapatjan päälle. Antura ja sokkeli valetaan samanaikaisesti muotteja apuna käyttäen yhtenäiseksi. Sokkeli eristetään sisä- ja ulkopuolelta routaeristettä käyttäen. Sokkelin sisäpuoli täytetään routimattomalla maa-aineksella. Täytön ylimmäinen kerros on kapillaarisepeliä, joka estää kapillaarisen kosteuden nousemisen lattialaataan. Betonilaatan alla käytetään EPS-eristettä 200 mm. Lattialaatta on noin 100 mm paksu teräsbetoni-laatta. Lattiat valetaan jo ennen rungon pystytystä, jotta lattialaatan kuivumisaika voidaan maksimoida. (Alho 2007.)

Perustusleikkauskuvassa (kuva 4) on esitetty alapohjan rakenne. Kuvassa harmaalla on esitetty paikalla valettu sokkeli.

Alapohjan rakenteet perustusleikkauskuvassa ovat:

1. perusmaa
2. kerroksittain tiivistetty kalliomurske (koko 0–16 mm), jota vähintään 400 mm
3. tiivistetty kapillaarisepeli (koko 6–16 mm), jota vähintään 300 mm
4. EPS-eriste 200mm
5. teräsbetoni-laatta 100 mm.

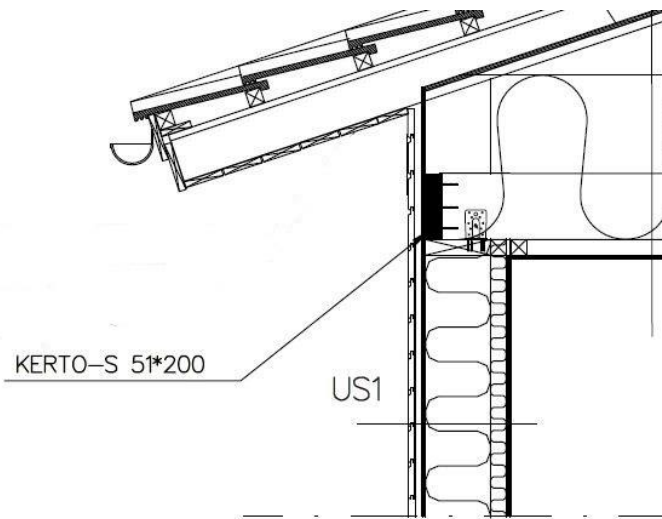
Sepelikerrokseen (kohta 3) on asennettu radonkaasun keruuputkisto, josta mahdollinen maasta nouseva radon ohjataan katolle.



Kuva 4. Alapohjan perustusleikkaus

3.2 Ulkoseinät

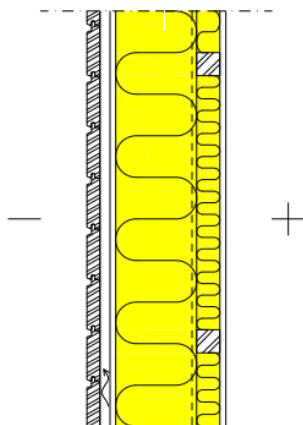
Ulkoseinät ovat pitkistä puutavarasta rakennettuja puurunkoisia seiniä, joissa eristettä on pääsääntöisesti noin 250 mm. Seinät verhoillaan ulkopuolelta tuulensuojalevyllä ja seinän julkisivu verhoillaan puupaneelilla. Runko on 200 mm vahvaa höylättyä sahatavaraa ja sisäpuoli koolataan vaakasuuntaan 48x48 mm puulla. Tasakerta toteutetaan runkotolppien päälle lappeelleen asennettavasta puusta, jonka päälle asennetaan 51x200 mm kertopuupalkki. Tällä rakenteella mahdollistetaan täysilevyinen eristepaksuus koko seinän korkeudella. (Alho 2017.) Kuvassa 5 on esitetty tasakertarakenne.



Kuva 5. Ulkoseinän tasakertarakenne

Ulkoseinän rakenneosat on eritelty kuvassa 6. Ulkoseinien rakenteet sisältä (+) ulospäin (-) ovat:

- kipsilevy 13 mm
- vaakakoolaus 48x48 K600 ja mineraalivilla 50 mm
- höyrynsulkumuovi
- runko 48x198 ja mineraalivilla 200 mm
- tuulensuojalevy 9 mm
- tuuletusrako ja pystykoolaus 22 mm sekä
- ulkoverhouslauta.



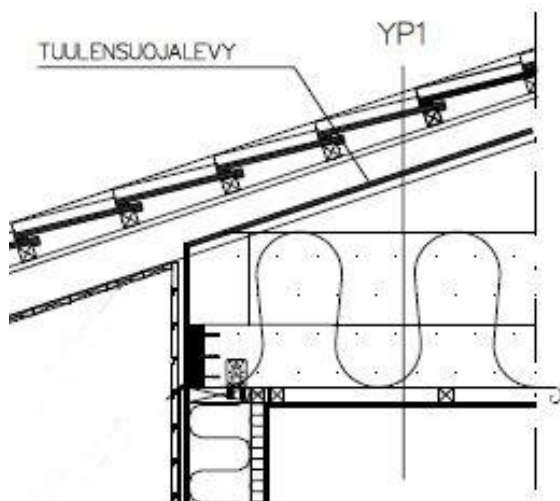
Kuva 6. Ulkoseinän rakenneleikkaus (Isover rakennekirjasto www-sivut 2017)

3.3 Yläpohja

Rakennuksen yläpohja toteutetaan puuristikoita käyttäen. Katteena on betonikattotiili. Puuristikoiden päälle asennetaan kondensiovesisuojaattu aluskate, jonka päälle asennetaan tuuletusrima sekä ruoteet. Yläpohjan eristeenä käytetään puhallusvillaa > 500 mm.

Kuvassa 7 on esitetty yläpohjan rakenteet. Rakenteet alhaalta ylöspäin ovat:

- kipsilevy 13 mm
- harvalaudoitus 22x100 K400
- höyrinsulkumuovi
- puhallusvilla > 500 mm
- kattotuolit
- aluskate
- tuuletusrima
- ruoteet 32x100
- betonikattotiili.

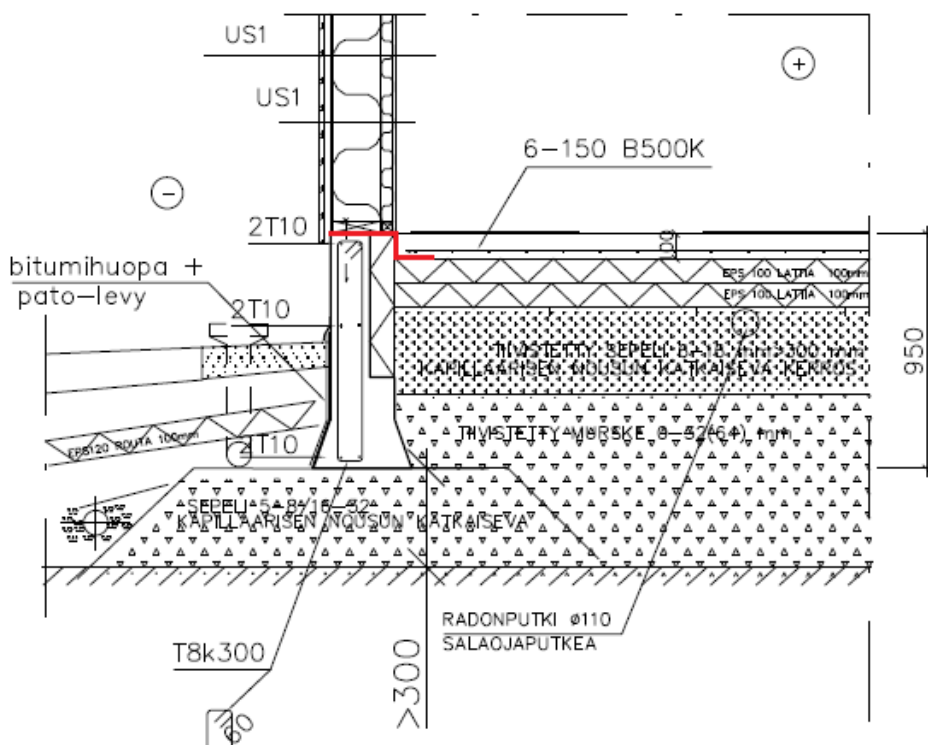


Kuva 7. Yläpohjan rakenteet

4 TIIVIYDEN PARANTAMINEN RAKENTEISSA

4.1 Alapohjan ja ulkoseinän välinen liitos

Maavarainen paikalla valettu teräsbetoni-laatta on itsessään riittävän ilmanpitävä rakenne, joten suurin huomio tulee kiinnittää rakenteen liitoksiin ja läpivientien tiivistämiseen (Aho & Korpi 2009). Perustusleikkauskuvassa (kuva 8) on esitetty punaisella viivalla alapuun alle ja betonivalun alle ulottuva radonkaista, joka katkaisee ilmavirtauksen betonilaatan ja sokkelin välistä. Radonkaista limitetään lattialaatan alle 300 mm. Sokkelin sisäpuolinen eriste viistetään, jotta radonkaista asettuu tiiviimmin. Näin ehkäistään myös se, että radonkaistaan ei tule terävää nurkkaa, joka voisi rikkoutua. Lisäksi radonkaistan tarkoitus on estää haitallisten radon kaasujen kulkeutuminen maaperästä huoneilmaan. Hyvän sisäilman kannalta erityisesti alapohjan ilmatiivyys on tärkeää, jotta maaperän mahdollisten epäpuhtauksien, kuten mikrobien ja radonin, pääsy sisäilmaan voidaan estää (Aho & Korpi 2009; Vinha ym. 2008).



Kuva 8. Radonkaista alapohjan ja ulkoseinän välisessä liitoksessa

Alapohjan ja ulkoseinien alaosan ilmavuodot vaikuttavat erityisesti asumismukavuuteen; Kylmä vuotoilma tuntuu vedontunteena ja aiheuttaa sisäpintojen kylmenemistä. Ikävän vedon lisäksi vetoisissa taloissa saatetaan pitää yllä korkeampaa sisälämpötilaa asumisviihtyvyyden lisäämiseksi, jolla on suora vaikutus energiankulutukseen. Näiden syiden takia alapohjan ja ulkoseinän liitoksiin on syytä kiinnittää huomiota. (Aho & Korpi 2009.) Radonkaistan ja alapuun välissä on vielä solumuovieriste tiivistämässä alapuun ja sokkelin väliä (kuva 9). Tämä on hyvä keino saada sokkelin ja lattian välisestä liitoksesta tiivis. Lisäksi alapuun ja sokkelin välinen sauma kitataan ulkopuolelta tiiviiksi, mikä ehkäisee ilmavuodon alapuun alta (kuva 10).

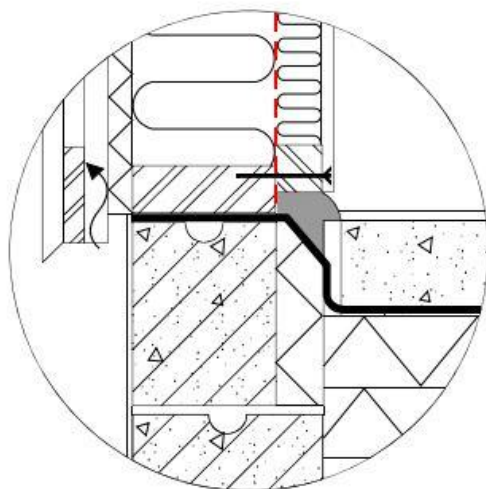


Kuva 9. Radonkaista asennettuna viistetyin eristeen päälle ja solumuovieriste alapuun alla



Kuva 10. Alapuun ja sokkelin välinen kitattu liitos

Seinän sisäpuolista alimmaista koolausta nostatetaan noin 20 mm lattian pinnasta. Seinästä tuleva ilmansulkukalvo puristetaan alapuun ja koolaustuun väliin. Lattian ja koolaustuun väliin jäävä rako tiivistetään vaahdottamalla se polyuretaanivaahdolla (kuva 11). Vaahdotus estää ilmavuodon seinän alapuun ja radonkaistan välistä (Aho & Korpi 2009). Koska lattia valetaan jo ennen seinien pystyttämistä, höyrynsulkumuovia ei voida viedä seinästä lattialaatan alle yhtenäisenä. Tämän takia höyrynsulun liittäminen seinästä lattiaan joudutaan tekemään jälkepäin.



Kuva 11. Höyrynsulkumuovi puristettuna ja vaahdotettuna alapohjan ja ulkoseinän välisessä liitoksessa (Aho & Korpi 2009, 31)

4.2 Höyrynsulkumuovin asentaminen ulkoseinään ja yläpohjaan

Ulkoseinään tuleva höyrynsulkukalvo sijoitetaan lämmöneristyksen lämpimämmälle puolelle ja lämmöneristyksestä 75 % tulee olla höyrynsulkukalvon ulkopuolella (Vinha 2007). Höyrynsulkumuovi asennetaan runkotolppien (48x198) sekä koolauksen (48x48) väliin. Näin höyrynsulun ulkopuolelle tuleva eristekerros edistää rakenteen kosteusteknistä toimintaa, koska vahvempi lämmöneristyskerros nostaa rakenteen lämpötilaa höyrynsulkukalvon kohdalla. Kosteuden kondensoituminen höyrynsulun sisäpinnassa vähenee ja riski homeen muodostumiselle on pienempi. (Vinha ym. 2008.) Höyrynsulku jää sisäseinästä noin 50 mm eristekerroksen taakse, jolloin sähköjohdot ja -rasiat pystytään asentamaan koolauksen välissä ilmansulkua rikkomatta. Höyrynsulkukalvo asennetaan eristekerroksen väliin rakennusteknisistä syistä. Tämä asennustapa ehkäisee myös höyrynsulkukalvon rikkoutumisen esimerkiksi jotakin esinettä seinään kiinnitettäessä. (Aho & Korpi 2009.)

Höyrynsulkumuovi kiinnitetään runkotolppiin nitomalla harvakseltaan koolauspuiden kohdalta. Asennuksessa tulee kiinnittää huomiota siihen, että muovi pysyy ehjänä ja suorana, eikä siihen jää ryppyjä. Höyrynsulku pyritään viemään asunnon läpi yhtenäisenä turhia jatkoksia välttäen. Jos höyrynsulkumuovia ei pystytä asentamaan yhtenäisenä, tulee saumat limittää vähintään 150 mm päällekkäin sekä teipata syntynyt sauma tarkoituksenmukaisella höyrynsulkuteipillä. Liitokseen olisi hyvä tehdä lisäksi myös puristusliitos, jos teipin tartuntakyvystä ja pitkäaikaiskestävyydestä ei ole varmuutta. Jos höyrynsulkumuoviin jää esimerkiksi kiinnityksestä aiheutunut reikä, tulee se paikata huolellisesti teippaamalla se tarkoituksenmukaisella höyrynsulkuteipillä (kuva 12). (Aho & Korpi 2009; Fise www-sivut 2017; RT 80-10974 2009.) Kuvassa 13 nähdään höyrynsulkumuovi asennettuna rungon ja sisäpuolen koolauksen väliin.



Kuva 12. Kiinnitysreiän tiivistäminen teippaamalla



Kuva 13. Höyrynsulkumuovi ulkoseinässä

Yläpohjaan höyrynsulkumuovi asennetaan samalla periaatteella kuin ulkoseinäänkin. Muovi niitataan kiinni kattoristikon alapaarteeseen yläpohjan koolauspuiden kohdalta.

Näin saadaan syntyneet reiät puristuksiin koolausta kiinnittäessä. Yläpohjan koolauksessa käytetään 22x100 mm sahatavaraa, joka kiinnitetään 400 mm jaolla. Tämä estää höyrynsulkumuovin venymisen yläpohjan eristeiden (puhallusvillan) painosta. (Aho & Korpi 2009; Virtanen 2017.) Yläpohjan höyrynsulkumuovin jatkoskohdat limittää vähintään 300 mm ja teipataan tarkoituksenmukaisella höyrynsulkuteipillä (kuva 14).



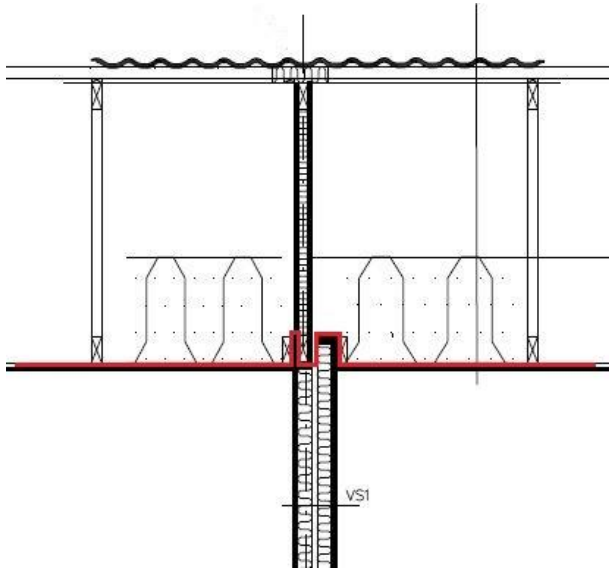
Kuva 14. Höyrynsulkumuovin limittäminen ja teippaaminen yläpohjassa

4.3 Huoneistojen välinen seinä

Rivitaloissa huoneistot täytyy erottaa toisistaan vesikattoon ulottuvilla huoneistojen välisillä seinillä. Tämä vaikeuttaa ilmatiiviyyden toteuttamista, koska höyrynsulun yhtenäinen läpivienti koko rakennuksen läpi on haastavampaa kuin vain yhden huoneiston käsittävässä rakennuksessa. (Virtanen 2017.)

Huoneistojen välinen seinä koostuu kahdesta toisistaan irti olevasta puurunkoisesta seinästä. Näiden seinien täytyy eristää ääntä huoneistojen välillä ja ne toimivat osas-

toivina rakenteina tulipalotilanteessa. Yläpohjan höyrinsulkumuovi asennetaan huoneistojen välisen seinän kohdalle jo ennen seinän rakentamista. Seinää rakennettaessa höyrinsulkumuovi pujotetaan palokatkoristikon ja rungon välistä seinän toiselle puolelle (kuva 15). Koko rakennuksen yläpohjassa kulkeva höyrinsulkumuovi on lopulta yhtenäinen, kun eri huoneistojen höyrinsulkumuovit on liitetty toisiinsa. (Virtanen 2017.)



Kuva 15. Höyrinsulkumuovi (punaisella) huoneistojen välisessä seinässä

4.4 Höyrinsulkumuovin liitokset aukoissa

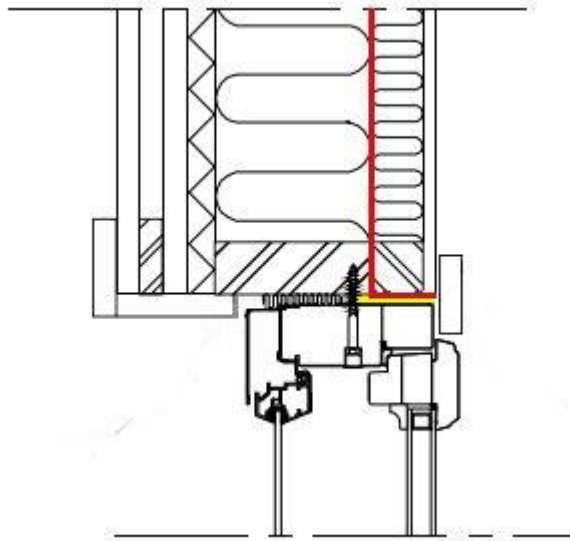
Ikkunat ja ovet luovat rakennuksen vaippaan aukkoja, joihin helposti syntyy ilmavuotoja. Rakenteisiin pääsevät ilmavuodot voidaan ehkäistä huolellisella ja oikeaoppisella ikkunoiden ja ovien asennuksella. Ikkuna- ja ovituotteiksi kannattaa valita laadukkaita tuotteita, joissa on asianmukaiset tiivisteet ja säädöt. Näin ehkäistään ikkunoiden ja ovien karmien välistä aiheutuvat ilmavuodot. (Virtanen 2017.)

Ikkunan asennus aloitetaan leikkaamalla höyrinsulkumuoviin keskeltä ikkuna-aukkoa ristikkäiset viillot kohti aukon kulmia. Tämän jälkeen muovikaistaleet käännetään ra-

kennuksen sisäseinälle. Syntyneeseen aukkoon asennetaan ikkuna. Asennuksessa varmistetaan ikkunan oikeanlainen toiminta ja tarvittaessa tehdään tarpeellisia säätöjä ikkunalehden toiminnan ja tiiveyden takaamiseksi. Tämän jälkeen ikkuna tiivistetään rakennuksen sisäpuolelta keskeltä karmia vaahdottamalla polyuretaanivaahdolla ikkunan ja asennusaukon väli (kuva 16). Vaahdottamisessa on oltava huolellinen, jotta vaahtoa tulisi juuri oikea määrä. Jos vaahtoa on liikaa ja se tursuaa sisäseinäpinnan ylitse, täytyy liika vaahto leikata pois, mikä heikentää vaahdon ilmanpitävyyttä. Kuvuessaan polyuretaanivaaho luo pintaansa ilmatiiviin kerroksen ja näin tiivistää ikkunaliitoksen. Vaahdolla ei täytetä koko ikkunaväliä, vaan rakennuksen ulkopuolelta ikkunan ja asennusaukon välinen rako tiivistetään mineraalivillalla. Kuvassa 17 nähdään ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen. Kuvaan punaisella on merkitty aukon sisäpintaan käännetty höyrynsulkumuovi ja keltaisella polyuretaanivaaho. (Aho & Korpi 2009; Virtanen 2017.)



Kuva 16. Vaahdotettu ikkunan ja asennusaukon väli



Kuva 17. Ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen (Aho & Korpi 2009, 81 muokattu)

Rakennuksen aukoissa olevat ovet asennetaan samalla periaatteella kuin ikkunatkin. Ovien säädöissä on oltava huolellinen, jotta ovilehti tiivistyy hyvin karmin tiivisteitä vasten. Näin ehkäistään ilmavuodot oviaukoissa. (Virtanen 2017.)

4.5 Hörynsulkumuovin läpiviennit

Rakennuksen vaipassa kaikkia ylimääräisiä läpivientejä hörynsulun läpi tulisi välttää. Rakennuksen vaipassa on kuitenkin pakollisia läpivientejä muun muassa putkiläpiviennit alapohjasta, ulos menevät sähköt, ilmastointiputkien läpiviennit yläpohjasta ja mahdolliset hormit. Läpiviennit tuodaan yksitellen hörynsulun läpi. Tämä helpottaa niiden tiivistämistä. Tiivistäminen tapahtuu tarkoitukseen soveltuvilla läpivientikapaleilla tai teippaamalla ne huolellisesti. (Aho & Korpi 2009; Virtanen 2017.)

Huonosti tiivistetyt läpiviennit aiheuttavat paikallisia ilmavuotoja, joiden mukana rakenteisiin voi siirtyä huomattavia määriä kosteutta tai sisäilmaan esimerkiksi mikrobeja. Työn huolellisuudella on suuri merkitys läpivientien ilmanpitävyyteen riippumatta siitä, mikä on valittu tiivistysmenetelmä. (Aho & Korpi 2009.)

Kuvassa 18 näkyy sähköjohto tiivistettynä teippaamalla höyrynsulussa. Höyrynsulku-muoviin tehdään pieni viilto, josta läpituotava sähköjohto pujotetaan läpi. Höyrynsul-kuteipistä leikataan pieniä palasia, joilla sähköjohto ja sitä ympäröivä höyrynsulku-muovi teipataan tiiviiksi. Teippaamisessa on huolehdittava teipattavien materiaalien puhtaudesta teipin tartuntakyvyn varmistamiseksi. (Aho & Korpi 2009; Virtanen 2017.)



Kuva 18. Läpiviennin tiivistys teippaamalla

Yläpohjassa höyrynsulkumuovin läpi tuotavat ilmastointiputket tiivistetään erillisellä tiivistysrenkaalla. Höyrynsulkumuoviin leikataan hieman läpivietävän kappaleen halkaisijaa pienempi reikä. Putki työnnetään reiästä varovasti läpi. Rakennusliikkeen käyttämässä putkessa on putken ympärillä valmiina uretaanieriste, joka työnnetään höyrynsulkua vasten. Höyrynsulun yläpuolen ja putken eristeen välinen väli vaahdotetaan polyuretaanivaahdolla. Tämän jälkeen putkeen asennetaan läpivientikaulus ja höyrynsulun alapuolen ja läpivientikauluksen väli vaahdotetaan samalla vaahdolla (kuva 19). Vaahdotuksen jälkeen läpivientikaulus kiristetään ruuveilla ja näin liitoksesta saadaan tiivis. (BetterPipe www-sivut 2017.)



Kuva 19. Ilmastointiputken läpiviennin tiivistys vaahdottamalla (BetterPipe [www-sivut](http://www.betterpipe.fi) 2017)

Rakennuksen alapohjasta joudutaan tuomaan viemäri- ja vesijohtoputkia betonilaatan läpi. Tämä saattaa aiheuttaa ilmavuotoja läpivientien juuresta. Läpivientien juuren tiivistys tapahtuu yleisimmin kittaamalla betonilaatan ja putken sauma. Ennen kittausta betonilaatta on imuroitava putkien läheisyydestä ja mahdollisesti pohjustettava kitin tartunnan turvaamiseksi. Kuvassa 20 näkyy tyypillisiä alapohjasta tulevia tiivistämättömiä putkiläpivientejä. (Aho & Korpi 2009; Virkki 2017.)



Kuva 20. Tiivistämättömät putkiläpiviennit alapohjassa

5 UUDISKOHTTEEN TIIVIYSMITTAUKSEN TULOKSET

Rakennusliikkeen uudiskohteen vaipan ilmatiiviyseratkaisut tehtiin ylläolevan selvityksen mukaisesti ja tämän jälkeen kohteessa suoritettiin ulkopuolisen toimesta tiiviysmittaus. Mittauspöytäkirjat ovat liitteenä (LIITE 1).

Kohteessa oli 15 asuntoa kuudessa eri rakennuksessa. Jokaisen rakennuksen yhteen huoneistoon suoritettiin tiiviysmittaus rakennusmääräysten mukaisesti. Tiiviysmittauksen tulokset vaihtelivat välillä $q_{50} = 0,26\text{--}0,55 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Mittausten korjatuksi keskiarvoksi saatiin $q_{50,\text{ilm.}} = 0,53 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Nykyään ilmavuotoluku saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, joten rakennuksen ilmatiiviyys on erittäin hyvä. Tiiviysmittausluokituksen mukaisesti jokainen rakennus sijoittuu A-luokkaan. Tiiviysmittaustulos vaikutti positiivisesti myös rakennuksen energialuokkaan; osa rakennuksista nousi energialuokituksessa C:stä B:hen.

Yksittäisiä ilmavuotokohtia ei mittauksen yhteydessä tutkittu sen tarkemmin, koska mittaustulos itsessään oli jo niin hyvä. Lisäksi mittaustulosten vaihteluväli oli niin pieni, että tarkempia tutkimuksia eri rakennusten ilmavuotokohtien välillä ei ollut tarpeen selvittää.

6 YHTEENVETO

Hyvän ilmatiiviyden saavuttamiseksi rakennustyön tärkeys on keskeisessä asemassa; kun halutaan tehdä ilmatiivis talo, tulee kiinnittää huomiota sekä rakennedetaljien suunnitteluun kuin itse työn suoritukseenkin. Hyvä suunnittelu ja huolellisuus työtä tehdessä on oleellista ilmatiiviiden rakenteiden toteuttamisessa. Tiiviiden rakenteiden tulee säilyttää ilmanpitävyytensä koko rakennuksen elinkaaren ajan. Jos rakenteisiin syntyy muodonmuutoksia esimerkiksi lämpötilavaihteluiden vuoksi, tulee valittujen materiaalien kestää nämä muutokset. Tämän vuoksi ei ole yhdentekevää mitä materiaaleja tiivistystyöhön valitaan. Esimerkiksi höyrynsulkuteipin liimapinnan tulee kestää koko rakennuksen käyttöikä irtoamatta. Valitsemalla laadukkaat ja kestävät materiaalit mahdollistetaan rakennuksen pysyminen ilmatiiviinä myöskin käyttöönoton jälkeen.

Hyvän ilmanpitävyyden seurauksena kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin eikä myöskään kylmä ulkoilma pääse jäädyttämään rakennetta. Näin vältetään homeen kasvulle otolliset olosuhteet ja kosteuden tiivistyminen. Lisäksi asumisviihtyvyys lisääntyy, koska sisäilman laatu paranee ja vedontunne vähenee. Myös kokonaisenergiankulutus pienenee, koska hallitsematon vuotoilma on saatu kuriin ja näin lämpöhäviö on pienempi.

LÄHTEET

Aho, H. & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 141. Tampere. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka.

Alho, A. 2017. Keskustelut. Insinööritoimisto Antti Alho.

BetterPipe www-sivut 2017. Viitattu 25.10.2017. <https://betterpipe.fi/asennus/>

Energiatodistus.info www-sivut 2017. Viitattu 30.8.2017. <http://energiatodistus.info/>

Fise www-sivut 2017. Viitattu 21.10.2017 <http://fise.fi/asiasana/hoyrynsulku/>

Isover rakennekirjasto www-sivut 2017. Viitattu 22.10.2017. <https://www.isover.fi/rakennekirjasto/us1104-ulkoseina-puurunko-puuverhoilu>

Jokisalo, J., Kurnitski, J., Kalamees, T., Eskola L. & Jokiranta K. 2007. Ilmanpitävyyden vaikutus vuotoilmanvaihtoon ja energiankulutukseen pientaloissa. SIY Raportti 25, Sisäilmastoseminaari, 241–246.

Kauppinen, T. 2011. Rakennusten ilmanpitävyys. Teoksessa Rakentajain kalenteri 2011. Helsinki: Rakennustieto Oy, 123–131.

Kotiranta, M. 2017. Keskustelut. Asuntokauppa Mika Kotiranta Oy.

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

Paloniitty, S. 2013. Rakennusten tiiviysmittaus. Teoksessa Rakentajain kalenteri 2013. Helsinki: Rakennustieto Oy, 155–161.

Puuinfo www-sivut 2017. Energiaa säästävä pientalo, suunnitteluohje matalaenergiarakentamiseen. Tulostettu 23.10.2017. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/energiaa-saastava-pientalo/energiaasaastava-pientalo.pdf>

SFS-EN ISO 9972. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:2015). 2015. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS.

Suomen RakMk C2. 1998. Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

Suomen RakMk D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Rakennusterveys www-sivut 2017. Viitattu 31.8.2017 <http://www.rakennusterveys.com/>

RT 80-10974. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. 2009. Helsinki: Rakennustieto.

Sarja, A. 2010. Rakennuksen tiiviys. Teoksessa Rakentajain kalenteri 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy, 385–394.

Sisäilmayhdistys www-sivut 2017. Viitattu 23.10.2017 <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>

Valtion talousarvioesitys 2009 www-sivut 2017. Viitattu 2.9.2017. <http://budjetti.vm.fi/indox/sisalto.jsp;jsessionid=A710257114493E45157B4AAE125771E3?year=2009&lang=fi&maindoc=/2009/TAE/he/he.xml&opennode=0:1:347:655:1533:1637:1641>

Vinha, J. 2007. Hydgrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions. A Method for Determining the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. Tampere University of Technology, Publication 658.

Vinha, J., Lindberg, R., Pentti, M., Mattila, J., Lahdensivu, J., Heljo, J., Suonketo, J., Leivo, V., Korpi, M., Aho, H., Lähdesmäki, K. & Aaltonen, A. 2008. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusselostus nro TRT/1706/2008.

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, J., Mikkilä, A. & Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tutkimusraportti 131. Tampere. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka.

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. & Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140. Tampere. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka.

Virkki, T. 2017. Keskustelut. Insinööritoimisto Tivira.

Virtanen, A. 2017. Keskustelut. Rakennusliike A. Virtanen Oy.

Ympäristöministeriön www-sivut 2017. Viitattu 28.8.2017. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto

LIIKTEET

LIIKTE 1