

Jussi Romu

Työohje tiiviin asuinkerrostalon rakentamiseksi

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jussi Romu

Työn nimi: Työohje tiiviin asuinkerrostalon rakentamiseksi

Ohjaaja: Heikki Ylihärsilä

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 32

Liitteiden lukumäärä: 5

Nykyiset energiatehokkuusvaatimukset edellyttävät rakennuksilta tiettyä tiiveystasoa. Ilmanvuotoluku q_{50} kertoo, kuinka paljon ilmaa rakennusvaipan läpi virtaa tunnissa vaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Tätä parempaa tiiveystasoa haluttaessa on rakentamisen laatuun ja ilmansulun huolelliseen tiivistämiseen kiinnitettävä huomiota.

Tässä työssä on pyritty kokoamaan esimerkkiratkaisuja, kuinka toteuttaa ilmatiivis ulkoseinä asuinkerrostalossa. Esimerkkiratkaisut on laadittu koskemaan työn tilaajan, Peab Oy:n käyttämiä rakennetyyppejä, mutta ovat käytettävissä myös muissa vastaavantyyppisissä rakenteissa. Tuloksena on työmaalla työntekijöille jaettava työohje, jossa on selostettu yksinkertaisesti miten tiivistys tulisi tehdä sekä työnjohtajalle tarkoitettu tarkastuslista.

Asiasanat: Energiatehokkuus, Ilmanpitävyys, n_{50} -luku

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology
Degree programme: Construction Engineering
Specialisation: Building Construction

Author: Jussi Romu

Title of the thesis: Working instruction to build an air-tight residential storage building

Supervisor: Heikki Ylihärstilä

Year: 2012 Number of pages: 32 Number of appendices: 5

Energy efficiency requirements these days require a certain level of air-tightness. Air leak number q_{50} shows the amount of air that flows through the envelope of a building in an hour per the area of the envelope. Air leakage number q_{50} must be less than $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. If a better level of air tightness is wanted, the quality of the building and the careful sealing of vapor barrier must be paid attention to.

The purpose of the thesis is to gather up examples on solutions how to make the exterior walls of residential storage buildings airtight. The solutions are made to concern the structures used by Peab Oy, the orderer of this thesis. They can also be used on other similar structures. As a result there is a working instruction to be given to the workers on site, in which it is simply described how to make the sealing. There is also a checklist for the supervisor to help the quality control.

Keywords: Energy efficiency, air-tightness, n_{50} numerical value

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLTÖ	4
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	5
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Tutkimuksen tausta	10
1.2 Tutkimuksen tavoite	10
1.3 Tutkimuksen rajaus	10
2 RAKENNUSTEN ILMANPITÄVYYS	11
2.1 Ilmanpitävyyden merkitys	11
2.2 Energiatehokkuusvaatimukset	12
2.3 Vaipan ilmanpitävyys	15
2.4 Tarkasteltavat rakenteet.....	17
3 TYÖOHJE ILMANPITÄVIEN LIITOSTEN TOTEUTTAMISEKSI ..	19
3.1 Sekarakenteiset ulkoseinät	19
3.2 Ulkoseinän ja välipohjan liitos	21
3.3 Ikkunat ja ovet	23
3.4 Läpiviennit.....	24
4 YHTEENVETO	28
LÄHTEET	30
LIITTEET	32

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Diffuusio	Diffuusio on kaasumolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksessa olevia yksittäisen kaasun pitoisuuseroja. Diffuusiolla kaasun siirtyminen korkeammasta pitoisuudesta alempaan pitoisuuteen.
Höyrinsulku	Rakennekerros, jonka tehtävänä on estää sisäilmassa olevan vesihöyryn haitallinen siirtyminen diffuusiolla vaipparakenteeseen
Ilmansulku	Ainekerros, jonka tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle. Kerroksellisissa vaipparakenteissa on oltava rakenteen sisäpinnassa ilmansulun lisäksi aina riittävän vesihöyrytiivis höyrinsulku. Yleensä sama ainekerros toimii sekä ilman- että höyrinsulkuna.
Ilmanvuotoluku, n_{50}	Rakennusvaipan ilmanvuodon suuruus 50 Pa paine-erolla ilmanpitävyydestä. Ilmanvuotoluku kuvaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä ja sen yksikkö on 1/h (vaihtoa tunnissa).
Ilmanvuotoluku, q_{50}	Rakennusvaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissämmittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja.
Konvektio	Konvektiolla tarkoitetaan ilman virtausta paine-eron vaikutuksesta. Virtaavan ilman mukana siirtyy samalla myös lämpöenergiaa ja kosteutta.

Ostoenergia

Ostoenergia on energiaa, joka hankitaan rakennukseen esimerkiksi sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta ja uusiutuvan tai fossiilisenpolttoaineen sisältämänä energiana. Ostoenergia koostuu lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodotain eriteltynä, missä on otettu huomioon vähennykset uusiutuvasta omavaraisenergiasta.

E-luku

E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden.

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. E-luvun raja-arvot rakennustyyppistä riippuen	14
Kuvio 2. Energiamuotojen kertoimet ja niiden vaikutus	15
Kuvio 3. Muurattu ulkoseinärakenne	18
Kuvio 4. Höyrynsulku välipohjan ja betoniväliseinien kohdalla	22
Kuvio 5. Höyrynsulkukaistaleiden teippaus	22
Kuvio 6. Vaakaleikkaus höyrynsulun sijainnista välipohjan kohdalla	23
Kuvio 7. Ikkunan tiivistäminen	24
Kuvio 8. Läpivientien teippaus ulkoseinässä	25
Kuvio 9. Vaakaleikkaus läpivientien toteutuksesta polyuretaanilevyn/EPS-levyn avulla ulkoseinässä	26
Kuvio 10. Pystyleikkaus läpivientien toteutuksesta polyureteenilevyn/EPS-levyn avulla ulkoseinässä	27

1 JOHDANTO

Rakennusten energiatehokkuus on aiheuttanut paljon keskustelua viime vuosina rakennusalalla. Energiämääräykset ovat muuttuneet tiuhaan tahtiin, joten uusia rakenneratkaisuja joudutaan kehittämään jatkuvasti. Rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on yksi merkittävimpiä ja edullisimpia yksittäisiä keinoja vaikuttaa talojen energiankulutukseen (Aho & Korpi 2009, 7).

Kesällä 2010 voimaan tulleen EU-direktiivin mukaan energiatehokkuutta on edistettävä paitsi uudisrakentamisessa myös olemassa olevassa rakennuskannassa. Vuoden 2020 loppuun mennessä uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiatasoa. Suomessa rakentamismääräyksiä tiukennettiin vuoden 2010 alussa 30 % ja siirryttiin matalaenergiarakentamisen suuntaan. Vuoden 2012 aikana määräyksiä kiristetään edelleen 20 %. (Ympäristöministeriö 2011a.)

Vuoden 2010 alussa tulivat voimaan rakentamismääräyskokoelman osat C3, D3 ja D2. Uudet määräykset kiristyvät noin 30 prosenttia aikaisempaan määräystasoon verrattuna. Rakentamismääräyskokoelman osassa C3 muuttuivat lämpimien ja puolilämpimien tilojen lämmöneristystä koskevat määräykset (RakMK C3 2010). Osa D3 koskee rakennuksen energiatehokkuusvaatimuksia. Osa D2 asettaa vaatimuksen ilmanvaihdon poistoilmasta talteenotettavalle lämpömäärälle. (Ympäristöministeriö 2012a.)

Uusimmat rakentamismääräykset ympäristöministeriö on antanut 30.3.2011. Uudet määräykset tulevat voimaan 1.7.2012 ja koskevat vain uudisrakentamista. Uudistukset eivät muuta lämmöneristysvaatimuksia vaan keskittyvät kokonaisenergiatarkasteluun. Jokaiselle rakennustyyppille määrätään kokonaisenergiankulutuksen yläraja, joka ilmaistaan niin sanotulla E-luvulla. Rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto vaikuttaa E-luvun laskentaan. Pientalojen vaatimustaso riippuu pinta-alasta siten, että pienemmillä taloilla on lievemmat vaatimukset. Eri energiamuodoille annetut kertoimet kannustavat uusiutuvien energianlähteiden sekä kaukolämmön käyttöön. Määräysten muutos antaa suunnittelulle lisää vapautta. Kokonaisenergiatarkastelu ottaa huomioon lämmityksen lisäksi myös ilman-

vaihdon, lämpimän veden sekä valaistuksen. Tarvittavan E-luvun voi siis saada aikaan usealla eri tavalla. Uusien määräysten on laskettu parantavan energiatehokkuutta noin 20 prosentilla nykymääräyksiin verrattuna. Investointikustannuksia uudet määräykset eivät juurikaan lisää ja joissain tapauksissa voidaan saada aikaan jopa säästöjä. (Ympäristöministeriö 2011b.)

Uudet määräykset lisäävät energiatehokkuutta järkevällä tavalla, sillä lämmöneristysvaatimukseen ei tällä kertaa puututtu. Koska kaikki energiankulutus otetaan huomioon, kannustaa se esimerkiksi kehittämään uusia järjestelmiä energian kiertämiseen tai valaistuksen tarkempaan suunnitteluun.

Yksi uusista keinoista energiatehokkuuteen pyrittäessä on energiatodistus, joka kertoo rakennuksen kuluttaman energiamäärän. Energiatehokkuuden perusteella rakennukselle määritellään energialuokka asteikolla A-G. Energiatodistus on vaa-dittu kaikilta uudisrakennuksilta 1.1.2008 lähtien. Myytäessä tai vuokrattaessa kiinteistö tai sen tiloja energiatodistus on ollut pakollinen myös olemassa oleville kiinteistöille vuoden 2009 alusta lähtien. Ennen 1.1.2008 valmistuneille omakotitaloille ja enintään kuuden asunnon asuinrakennuksille energiatodistus on vapaaehtoinen. Uudisrakennuksille todistuksen antaa pääsuunnittelija ja olemassa oleville rakennuksille FISE Oy:n pätevoittämä henkilö. (Ympäristöministeriö 2010.)

Energiatodistuksen ilmoittaman energiatehokkuusluvun laskennassa otetaan huomioon rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen lisäksi myös laitteiden sähköenergiankulutus sekä jäähdytysenergiankulutus, mikäli rakennus on varustettu jäähdytysjärjestelmällä. Rakennuksen ilmanpitävyys vaikuttaa merkittävästi energiatehokkuuslukuun. Lämmitysenergiankulutuksen laskennassa vuotoilman lämmitykseen tarvittava energiamäärä lasketaan käyttämällä ilmanvuotolukua $n_{50}=4,0$ 1/h. Mikäli halutaan käyttää pienempää ilmanvuotolukua, on se todistettava mittauksella tai muulla soveltuvalla tavalla. (A 765/2007.)

1.1 Tutkimuksen tausta

Tutkimuksen tilaajana on Pohjoismainen rakennuskonserni Peab Oy, joka on yksi suurimmista rakennusyhtiöistä Pohjoismaissa. Suomessa Peab työllistää yli 850 ihmistä. Yrityksellä ei ole olemassa olevaa yleistä ohjetta tiiviiden rakenteiden toteuttamiseksi. Ilmansulkukerroksen tiivistys on tehty yleisesti käytössä olleiden käytäntöjen mukaisesti. Kyseisillä toimenpiteillä on saatu aikaiseksi riittävä tiiveystaso, mutta tavoitteiden kiristyessä yksityiskohtiin on keskityttävä tarkemmin.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa työmaaolosuhteisiin soveltuva työohje, joka selkeästi ja yksityiskohtaisesti kertoo miten vaipan tiivistys tulisi toteuttaa. Ohje laaditaan koskemaan asuinkerrostaloja, sillä tilaajan pääasialliset rakennuskohteet ovat asuin- ja liikekerrostaloja sekä julkisia rakennuksia. Peab rakentaa Pohjanmaalla kerrostalot paikallavalaen, joten ohje käsittää erillisen ilmansulkukerroksen liitosten ja läpivientien tiivistämisen vain ei-kantavan puurunkoisen ulkoseinän osalta.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Tutkimuksessa keskitytään ulkoseinän ja välipohjan liitoksiin, vaipan puhkaiseviin läpivienteihin sekä ovien ja ikkunoiden liitoksiin. Tutkimusten mukaan kerrostaloissa ikkunoiden ja ovien liitokset ovat yleisimmät ilmanvuotokohtat (Vinha ym. 2009, 34). Ala- ja yläpohjan liitokset ulkoseinän kanssa ovat myös tyypillisiä vuotokohtia, mutta varsinkin paikallavaletut yläpohjat ovat itsessään varsin ilmanpitäviä, mistä syystä ulkoseinän ja yläpohjan liitos on rajattu työstä pois.

2 RAKENNUSTEN ILMANPITÄVYYS

Rakennuksen ilmanpitävyys on merkittävä osa rakennuksen energiatehokkuutta. Tiiveys myös pienentää kosteusvaurioiden riskiä sekä parantaa sisäilman laatua. Etenkin alapohjan epäpuhtauksien pääsy huoneilmaan saadaan estettyä tiiviillä rakenteella.

2.1 Ilmanpitävyyden merkitys

Tiivis rakenne estää ilman liikkumisen paine-erojen vaikutuksesta sisään ja ulos. Ilmavirtausten mukana lämmin ilma karkaa ulos ja tilalle virtaa kylmää ilmaa. Paine-erot aiheutuvat mm. lämpötilaeroista, tuulesta ja ilmanvaihtolaitteista. Energiankulutuksen pieneneminen onkin yksi tärkeimmistä hyvän ilmanpitävyyden vaikutuksista. Noin 15–30 % lämmitysenergiantarpeesta tavanomaisessa pientalossa, jonka n_{50} -luku on 4,0 1/h, aiheutuu vuotoilmasta. Mikäli ilmanvuotoluku kasvaa, lämmitysenergian kulutus kasvaa noin 7 % jokaista n_{50} -luvun kokonaisyksikön muutosta kohti. (Aho & Korpi 2009, 7.) Tutkimusraportista (Vinha ym. 2008, 27) käy ilmi, että tietyntilaisissa olosuhteissa riski homeen kasvulle on suurimmillaan ilmanvuotoluvun ollessa välillä 2-4 1/h. Tätä suuremmilla ja pienemmillä ilmanvuotoluvun arvoilla riski pienenee. Tästä syystä pitäisi siis pyrkiä saamaan rakennusten ilmanvuotoluvut pienemmäksi kuin 2,0 1/h.

Ilmanvaihdon ja sisäilman laadun hallinta hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa on helpompaa kuin hatarassa rakennuksessa. Kun ilma tulee ilmanvaihtojärjestelmän kautta, se voidaan suodattaa epäpuhtauksilta ja myös esilämmittää toisin kuin esimerkiksi ikkunan raosta vuotava ilma. Kun kaikki ilma poistuu ilmanvaihtojärjestelmän kautta, saadaan lämmöntalteenottolaitteiston todellinen hyötysuhde paremmaksi. Maaperässä mahdollisesti esiintyvän radonin ja mikrobien pääsy huoneilmaan voidaan estää kiinnittämällä erityishuomiota alapohjan ilmanpitävyyteen, mikä vaikuttaa oleellisesti sisäilman laatuun. (Aho & Korpi 2009, 7-8.)

Tutkimuksen mukaan (Vinha ym. 2008, 12) hyvällä ilmanpitävyydellä ei juuri ole huonoja vaikutuksia rakenteiden toimintaan. Tiiviissä talossa yksittäiset pienetkin vuotokohdat voivat silti aiheuttaa ongelmia. Mikäli ilmanvaihtolaitteisto on säädetty väärin, paine-erot rakennuksessa voi kasvaa hyvin suuriksi. Sisäpuolinen ylipaine voi siirtää sisäilmassa olevaa kosteutta vaipassa olevan reiän kautta rakenteeseen, mikä saattaa aiheuttaa kosteusvaurioita. Alipaineen vaikutuksesta taas ulkoilman epäpuhtaudet voivat siirtyä pienenkin vuotokohdan kautta sisäilmaan.

Myös kosteustekninen toimivuus on osittain riippuvainen ilmanpitävyydestä. Sisäilmaan sitoutunutta kosteutta voi kulkeutua konvektion avulla ja tiivistyä rakenteisiin aiheuttaen kosteusvaurioita. Huokoisia villaeristeitä käytettäessä rakenteessa on oltava riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulkukerros, ettei sisäilman kosteus siirry konvektion vaikutuksesta eristekerrokseen. Kylmä vuotoilma jäähdyttää rakenteita ja myös tämä voi aiheuttaa kosteuden tiivistymisen riskin. (Aho & Korpi 2009, 8.)

Ilmanpitävyys vaikuttaa myös huomattavasti asumisviihtyvyyteen. Kylmä vuotoilma aiheuttaa epämiellyttävän vedon tunteen sekä jäähdyttää sisäpintoja. Usein vetoisissa taloissa sisälämpötila on korkeampi, jotta asumismukavuus olisi samalla tasolla ilmanpitävien talojen kanssa. Näin vetoisuus vaikuttaa välillisesti myös energiankulutukseen. (Aho & Korpi 2009, 8.)

Ilmavuotokohtien kautta asuntoihin pääsee myös ylimääräisiä hajuja sekä melua. Esimerkiksi tupakan ja ruoan käryt voivat kulkeutua huoneistosta toiseen asuinkerrostaloissa. Myös paloturvallisuus parantuu ilmanpitävyyden parantuessa, sillä savukaasujen leviäminen rakenteiden läpi hidastuu. (Aho & Korpi 2009, 8.)

2.2 Energiatehokkuusvaatimukset

Energiatehokkuusvaatimuksia kiristetään jatkuvasti ja viimeisin muutos tuli voimaan vuoden 2010 alussa. Muutos kiristi vaatimustasoa noin 30 prosentilla. Suurimmat muutokset koskivat lämmöneristysvaatimuksia rakentamismääräyskokoelman osassa D3. Vaipan jokaisen rakennusosan lämmönläpäisykertoimen U vertai-

luarvot muuttuivat tiukempaan suuntaan. Ainoastaan hirsiseinä eroteltiin omaksi rakennusosakseen ja sen vertailuarvoa kevennettiin. (RakMK C3 2010.)

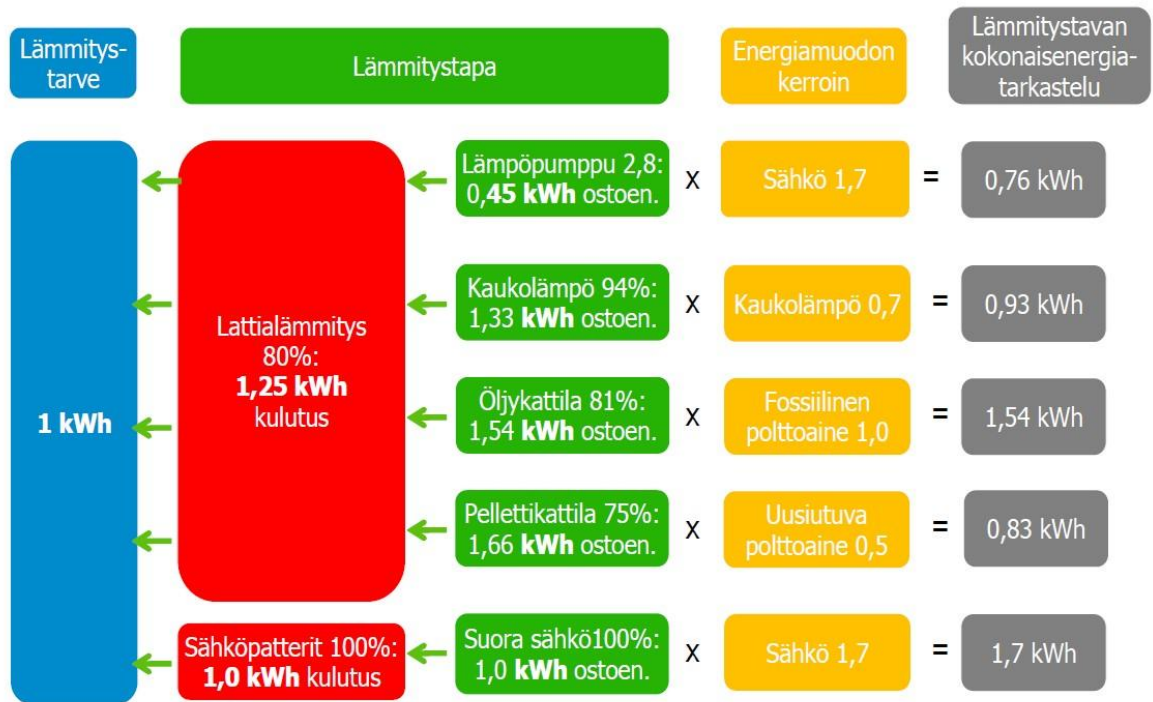
Toinen oleellinen muutos koski rakentamismääräyskokoelman osaa D2, johon lisättiin vaatimus ilmanvaihdon poistoilmasta talteen otettavasta lämpömäärästä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Vastaavaa lämpöenergian määrän pienentämistä voidaan kompensoida parantamalla vaipan lämmöneristystä tai ilmanpitävyyttä tai vaihtoehtoisesti vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muulla tavalla kuin poistoilman lämmöntalteenotolla. (RakMK D2 2010.)

Rakennusmääräyskokoelman osat D2 ja D3 tulevat muuttumaan jälleen 1.7.2012 (Ympäristöministeriö 2012b). Muutoksessa C3 poistuu kokonaan rakennusmääräyskokoelmasta ja sisältyy osaan D3. D3:n oleellisin muutos koskee kokonaisenergiakulutusta. Rakenteiden lämmöneristysvaatimukset säilyvät ennallaan, mutta sen sijaan energiankulutusta pyritään rajoittamaan asettamalla jokaiselle rakennukselle käyttötarkoitukseluokan mukaan E-luku, jota ei saa ylittää. E-luvun raja-arvot on esitetty kuviossa 1. E-luku on rakennuksen vuodessa kuluttaman ostoenergian määrä rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. Tämä energiamäärä painotetaan vielä energiamuotojen kertoimilla. Kertoimilla pyritään ohjaamaan energiantuotantoa enemmän uusiutuvien energiamuotojen suuntaan. Kuviossa 2 on esimerkkilaskelma kuinka paljon ostoenergiaa eri lämmitysmuodoilla vaaditaan 1 kWh:n lämmitystarpeella sekä mikä on energiamuotokertoimilla painotettu kulutusarvo. E-luvun laskennassa otetaan huomioon kaikki rakennuksessa käytettävä energia kuten esimerkiksi valaistus ja kodinkoneet. Myös ihmisten tuottama lämpö huomioidaan. Rakennus on myös rakennettava siten, etteivät tilat lämpene liiaksi. Mikäli rakennus on varustettava jäähdytysjärjestelmällä, on sen energiankulutus otettava myös huomioon E-lukua laskettaessa. Pientaloissa E-luvun raja-arvo riippuu rakennuksen koosta siten, että pienemmillä rakennuksilla E-luvun vaatimus on pienempi kuin suuremmilla, eli pienempi rakennus saa kuluttaa enemmän kuin iso. Hirsitalojen E-lukuvaatimus on myös riippuvainen pinta-alasta, mutta on pienempi kuin vastaavankokoisilla pientaloilla. Alle 50 m² rakennuksia ja kesäkäyttöön tarkoitettuja loma-asuntoja uudet määräykset eivät koske (Energiamääräykset 2012). Rakennusvaipan ilmanpitävyydelle on myös

asetettu raja-arvo. Vaipan tulee olla niin ilmanpitävä, että ilmvirtaukset vuotokoh-
tien läpi eivät aiheuta haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai energiatehok-
kuudelle. Vaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla korkeintaan $4(\text{m}^3/(\text{h m}^2))$. Mikäli ra-
kennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat ilmanpitävyyttä,
voi ilmanvuotoluku ylittää arvon $4(\text{m}^3/(\text{h m}^2))$. Parempi ilmanpitävyys tulee osoittaa
mittaamalla tai muulla menettelyllä. Asuinkerrostaloissa vähintään 20 % huoneis-
toista täytyy tällöin mitata. Mittaus voidaan suorittaa myös rakennuksen omalla
ilmanvaihtolaitteistolla, mutta tällöin korkeintaan 25 % lämmitetystä nettoalasta
voidaan jättää pois mittauksesta. Jos mittausta ei suoriteta, käytetään ilmanvuoto-
lukuna arvoa $4(\text{m}^3/(\text{h m}^2))$. (RakMK D3 2012.)

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, A_{netto}	kWh/m ² vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150
Luokka 2	Asuinkerrostalo		130
Luokka 3	Toimistorakennus		170
Luokka 4	Liikerakennus		240
Luokka 5	Majoitusliikerakennus		240
Luokka 6	Opetusrakennus ja päiväkot		170
Luokka 7	Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli		170
Luokka 8	Sairaala		450
Luokka 9	Muut rakennukset ja määräaikaiset rakennukset		E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta

Kuvio 1. E-luvun raja-arvot rakennustyyppistä riippuen (RakMk D3 2012).



Kuvio 2. Energiamuotojen kertoimet ja niiden vaikutus (Energiamääräykset 2012).

2.3 Vaipan ilmanpitävyys

Rakennusten ilmanpitävyyttä on tutkittu Suomessa painekoemenetelmällä viimeisen parinkymmenen vuoden ajan. Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Teknillisen korkeakoulun LVI-tekniikan laboratorio ovat tehneet laajan tutkimuksen 100 puurunkoisessa pientalossa, 20 hirsitalossa, 50 kivialossa ja 56 kerrostaloasunnossa. Tutkimuksien mukaan kivialojen ilmanpitävyys on parempi kuin puurunkoisten pientalojen. Puurunkoisten talojen n_{50} -luvun keskiarvo oli 3,9 1/h kun kivialoilla vastaava luku oli 2,3 1/h. Kerrostalot oli jaettu puukerrostaloihin (keskiarvo 2,9 1/h), betonielementtikerrostaloihin (1,6 1/h) sekä kerrostaloihin, joiden välipohjat olivat paikallavalettuja (0,7 1/h). Viimeisen ryhmän muut vaipan rakenteet olivat pääosin betonielementtejä. Puurunkoisista taloista elementtirakenteiset olivat keskimäärin tiiviimpiä kuin paikalla rakennetut talot. Kivialot, joissa oli kivrakenteinen yläpohja, olivat ilmanpitävämpiä kuin talot, joissa oli puurakenteinen yläpohja. (Aho & Korpi 2009, 9.)

Tutkimuksessa olleissa taloissa oli hajontaa taloryhmien sisällä, mikä osoittaa että ilmanpitävyys on erityisesti riippuvainen rakentamisen laadusta ja tiivistystyön huolellisuudesta. Halutessa ilmanpitävä talo, on tiiviyteen kiinnitettävä erityistä huomiota niin rakennedetaljien suunnittelussa kuin työn suorituksessakin. Huolellisella työllä voidaan toteuttaa ilmanpitävyydeltään hyviä rakennuksia rakennetyypistä riippumatta. (Aho & Korpi 2009, 9.)

Tutkimuksessa löydettiin tyypillisimmät vuotokohtat lämpökameran avulla. Pientaloissa peräti 37 % ilmapuotokohdista oli ulkoseinän ja yläpohjan liitoskohdassa. Muita merkittäviä vuotokohtia olivat ikkunoiden ja ovien liitokset ulkoseinään (31 %), ulkoseinän ja välipohjan liitos (12 %) ja ilmansulun läpiviennit (8 %). Kerrostoaloissa pääosa vuotokohdista kohdistui ikkunoihin ja oviin ja niiden liitoskohtiin ulkoseinään (72 %). Ulkoseinän ja välipohjan liitos (12 %) ja ulkoseinän ja yläpohjan liitos (8 %) olivat seuraavaksi suurimmat vuotokohtat. (Aho & Korpi 2009, 9.)

Ellei rakenne itsessään ole riittävän ilmanpitävä, toteutetaan ilmatiiviyys yleensä erillisellä ilmansulkukerroksella. Kerroksellisissa rakenteissa täytyy aina olla höyrynsulku, joka useimmiten toimii myös ilmansulkukerroksena. Muurattujen rakenteiden ilmansulkukerroksena on yleensä tasoitekerros ja puurakenteissa käytetään erillistä kalvomaista tai levymäistä ilman- ja höyrynsulkukerrosta. Massiivisissa rakenteissa ei usein tarvita erillistä ilmansulkukerrosta, mutta tällöinkin on kiinnitettävä erityistä huomiota liitoskohtiin. (Aho & Korpi 2009, 10.)

Ilmanpitävän kerroksen on jatkuttava yhtenäisenä koko rakennuksen vaipan ympäri, sillä huonosti toteutetut ilmansulkukerroksen liitoskohdat aiheuttavat erityyppisiä ongelmia riippuen ilmapuotokohdan sijainnista. Esimerkiksi alapohjan ja ulkoseinän välinen ilmapuoto vaikuttaa yleensä lähinnä asumismukavuuteen, kun taas yläpohjan ja ulkoseinän välinen ilmapuoto ei niinkään aiheuta vedontunnetta, mutta saattaa johtaa kosteusongelmiin yläpohjassa. (Aho & Korpi 2009, 10.)

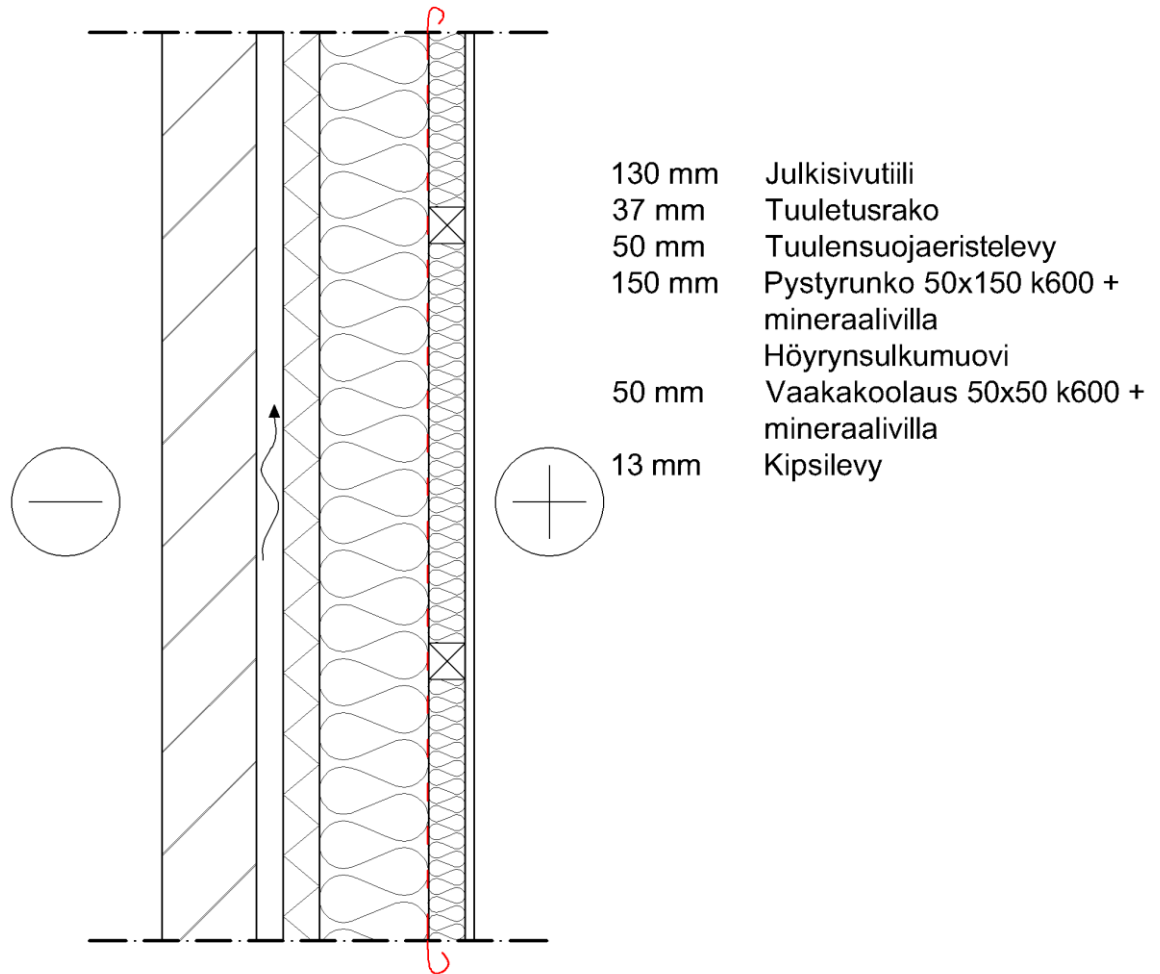
Jokainen rakennuskohde vaatii huolellisen yksityiskohtien suunnittelun ilmanpitävyyden osalta. Etenkin sekarakenteiden yhteensovittaminen on haasteellista ilmanpitävyydelle, sillä valmiita ohjeellisia ratkaisuja on melko vähän. Ilmanpitävän kerroksen jatkuminen rakennusosasta toiseen tulee suunnitella kokonaisuutena

ilmanpitävyyden varmistamiseksi. Hyvän suunnittelun lisäksi on erittäin oleellista, että työn tekijällä ja työnjohdolla on halu ja motivaatiota tehdä ilmanpitävä rakennus. (Aho & Korpi 2009, 10.)

Ilmansulkukerros tulee suunnitella ja toteuttaa siten että se säilyy ilmanpitävänä koko rakennuksen käyttöajan. Pienet muodonmuutokset eivät saa aiheuttaa merkittäviä halkeamia tai muita muutoksia rakenteisiin ja niiden liittymiin. Rakennusaikana ilmansulkuun syntyvät reiät ja repeämät tulee paikata vaahdottamalla, kittaamalla tai riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä riippuen ilmansulkukerroksen tyypistä. Ilmansulkuna käytettävien materiaalien tulee olla kestäviä ja erityisesti rakenneosien liitoksissa ja muissa piiloon jäävissä ratkaisuissa on kiinnitettävä huomiota pitkäaikaiskestävyyteen, sillä ratkaisujen parantaminen myöhemmin on hyvin vaikeaa. (Aho & Korpi 2009, 11.)

2.4 Tarkasteltavat rakenteet

Länsi-Suomen alueella Peab rakentaa kerrostaloja lähinnä paikkallavalaen. Väli-pohjarakenne toteutetaan joko ontelolaatoilla tai paikkallavalaen. Ilmanpitävyyttä ajatellen paikkallavalarunko on betonirakenteen osalta helppo, sillä rakenne itsessään on ilmatiivis. Haasteen luo kuitenkin ei-kantavat ulkoseinät, jotka ovat puurakenteisia ja tällöin syntyy sekarakenteinen rakennus. Sekarakenteessa ilmansulkukerroksen liittäminen tiiviisti rakenteiden välillä vaatii erityistä tarkkuutta. Puurunkoisessa julkisivussa käytetään ilmansulkukerrosena tavallista höyrynsulku-muovia. Muovin sijainnissa rakenteessa on käytetty kahta eri tapaa. Aikaisemmin muovi on yleisesti sijoitettu suoraan sisäverhouslevyn taakse. Tällöin esimerkiksi sähkörsioiden asentaminen ilmansulkua rikkomatta on hankalaa. Nykyään käytössä oleva tapa on asentaa muovi 50 mm vaakarungon ulkopuolelle kuten käy ilmi kuvioista 3. Näin muovi on suojassa kahden eristekerroksen välissä ja esimerkiksi sähköjohtoille on hyvin tilaa ilman pelkoa että ilmansulku vaurioituu. Ovien ja ikkunoiden liitoksissa karmin ja rungon väli vaahdotetaan uretaanivaahdolla, jonka sisäpuolelle laitetaan solumuovitiiviste ja lopuksi elastinen kitti.



Kuvio 3. Muurattu ulkoseinärakenne

3 TYÖOHJE ILMANPITÄVIEN LIITOSTEN TOTEUTTAMISEKSI

Yksi suurimmista haasteista hyvää ilmanpitävyyttä haettaessa lienee työntekijöiden motivoinnissa. Koska rakennusala tunnetusti on varsin konservatiivista, etenkin vanhemmilla työntekijöillä saattaa olla virheellisiä käsityksiä tiiveyden vaikutuksista. Tästä syystä työnjohtajien tulisi painottaa ennen ilman-/höyrynsulun asentamisen aloittamista, että ilmanpitävyys on yksi tärkeimmistä energiatehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä. Ilmanpitävyys on myös yksi laadun indikaattoreista ja tämän vuoksi ammattiyhdistyksen omaavien rakentajien tulisi panostaa huolellisuuteen niin tässä kuin kaikissa muissakin työvaiheissa. Liitteissä 1 - 4 on yksinkertaistettu kooste työohjeista työntekijöitä varten ja liitteessä 5 tarkastuslista työnjohtajalle laadun valvomisen helpottamiseksi.

3.1 Sekarakenteiset ulkoseinät

Betonirakenne on itsessään ilmanpitävä eikä vaadi erillistä ilmansulkukerrosta, mutta puurakenteisessa seinässä täytyy olla ilmansulkukerros, joka yleensä sijaitsee lähellä rakenteen sisäpintaa ja jonka tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle. Lisäksi puurankaseinään tarvitaan aina riittävän vesihöyrytiivis höyrynsulku, joka sijoitetaan rakenteen sisäpintaan. Useimmiten sama ainekerros toimii sekä ilman- että höyrynsulkuna. Tavanomaisesti puurankaseinien ilman-/höyrynsulkukerros toteutetaan kalvomaisilla tuotteilla eli muovikalvoilla tai riittävän vesihöyryvastuksen omaavilla paperipohjaisilla ilmansulkukalvoilla. Myös levymäisen ilmansulkukerroksen toteuttaminen on mahdollista esimerkiksi solumuovieristyslevyä käyttäen. (Aho & Korpi 2009, 12.)

Ilmansulkukalvo voidaan sijoittaa suoraan sisäverhouslevyn taakse, mutta parempi vaihtoehto on jättää se noin 50 mm etäisyydelle sisäpinnasta lämmöneristeen sisään. Tällöin ilmansulkukerros on paremmin suojassa ja esimerkiksi seinään lyödyt naulat eivät tee siihen reikiä. Upotetut sähkörsiat ja levyn takana kulkevat sähköputkitukset on myös mahdollista asentaa rikkomatta ilmansulkukerrosta. Kun ilmansulun sisäpuolelle tulee lämmöneriste, tulee se asentaa vasta, kun sisäpuoli-

set suurta kosteusrasitusta aiheuttavat työvaiheet on tehty ja suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut. Mikäli sisäpuolinen lämmöneriste asennetaan liian aikaisin, saattaa rakennusaikainen kosteus tiivistyä ilmansulkukerroksen sisäpintaan ja aiheuttaa kosteuden kertymistä sisäverhouslevyn taakse. Kun ilmansulkukalvo sijaitsee lämmöneristeen sisällä, tulee ainakin 75 % lämmöneristeen paksuudesta olla kalvon ulkopuolella. Kun ilmansulun sisäpuolella käytetään ristiinkoolausta, tulee pystyrungon ulkopuolella käyttää hyvin lämmöneristävää tuulensuojalevyä, jotta puurungon kylmäsiirtavaikutus olisi mahdollisimman pieni. (Aho & Korpi 2009, 12.)

Kalvomaisen ilmansulun heikkoja kohtia ovat jatkoskohdat. Suoralla seinäosalla jatkokset saadaan parhaiten ilmanpitäviksi limittämällä vierekkäiset kalvot ja puristamalla limityskohta kahden puun väliin. Tämä onnistuu kun sisäpuolella käytetään pystykoolausta. Limityksen leveyden tulisi olla vähintään 150 mm. Puristusliitos tulee tehdä käyttäen riittävän tiheää (k300) ruuvikiinnitystä. Naulaliitos ei tuota riittävää puristusta rimojen välille ja liitos löystyy puun kosteusmuutosten seurauksena. (Aho & Korpi 2009, 14.)

Käytettäessä vaakakoolausta sisäpuolella ei puristusliitoksen tekeminen ole mahdollista, jolloin vaihtoehtona on teipata limityksen reuna toiseen kalvoon riittävän pitkäaikaiskestävyyden omaavalla tarkoitukseen sopivalla teipillä. Tällöin limitysleveys voi olla pienempi, kunhan jatkos on yhtenäinen koko seinän korkeudelta. Varmin vaihtoehto on tehdä sekä teipattu että puristettu liitos. Nurkissa ilmansulun yhtenäisyys tulee varmistaa riittävällä limityksellä ja teippauksella tai puristuksella. Jatkoskohdan tulee olla nurkassa aina jommankumman seinän puolella. (Aho & Korpi 2009, 14.)

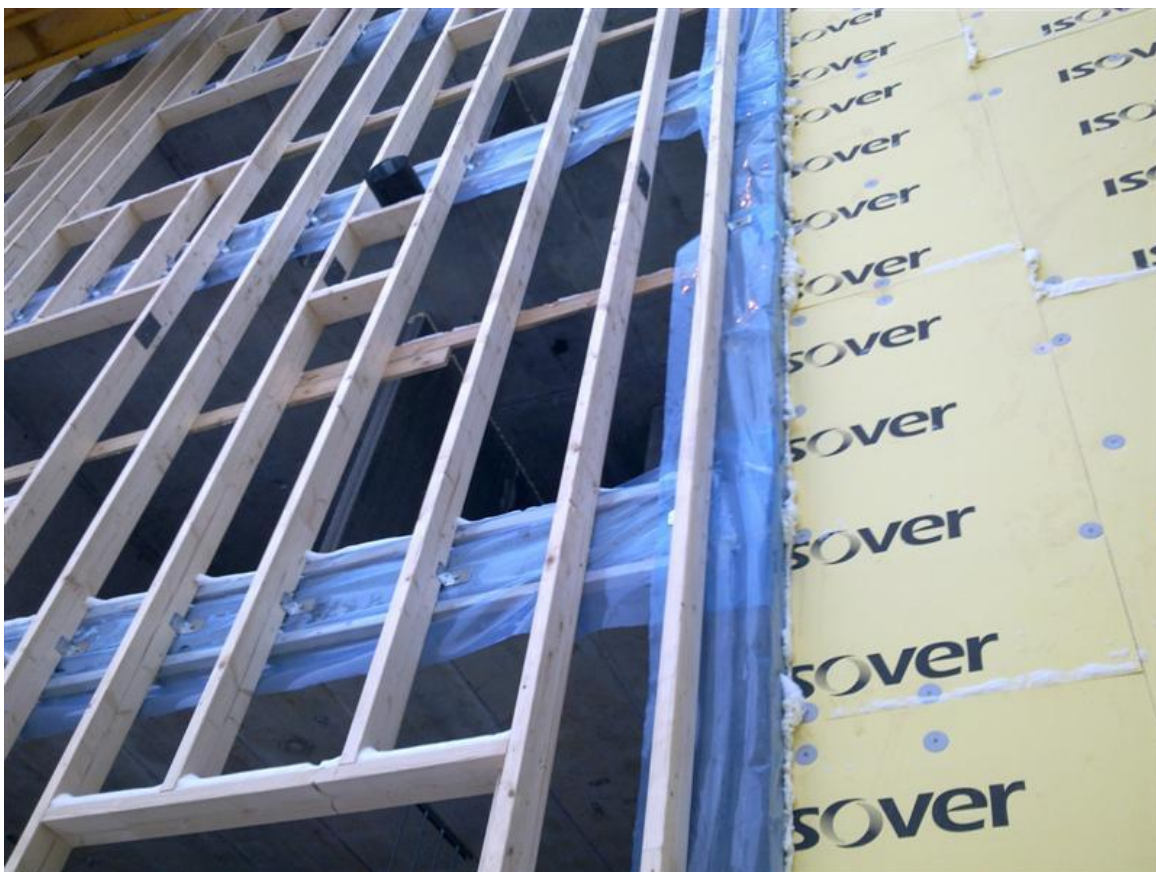
Jotta seinärakenne toimisi oikein, tulee sisäpuolisen ilmansulkukerroksen lisäksi myös lämmöneristeen ulkopuolella olevan tuulensuojakerroksen olla yhtenäinen ja tiivis. Jos lämmöneristekerrokseen pääsee ulkoa kylmää ilmaa, voi se aiheuttaa sisäistä konvektiota huokoisessa lämmöneristeessä sekä rungon ja eristeen väliin jäävissä raoissa alentaen näin lämmöneristeen eristävyyttä ja ulkovaipan energiatehokkuutta. Tuulensuojakerroksen tulisi olla mahdollisimman hyvin vesihöyryä

läpäisevää, jottei rakenteeseen syntyisi kosteuden kertymisen mahdollistavaa rajapintaa. (Aho & Korpi 2009, 15.)

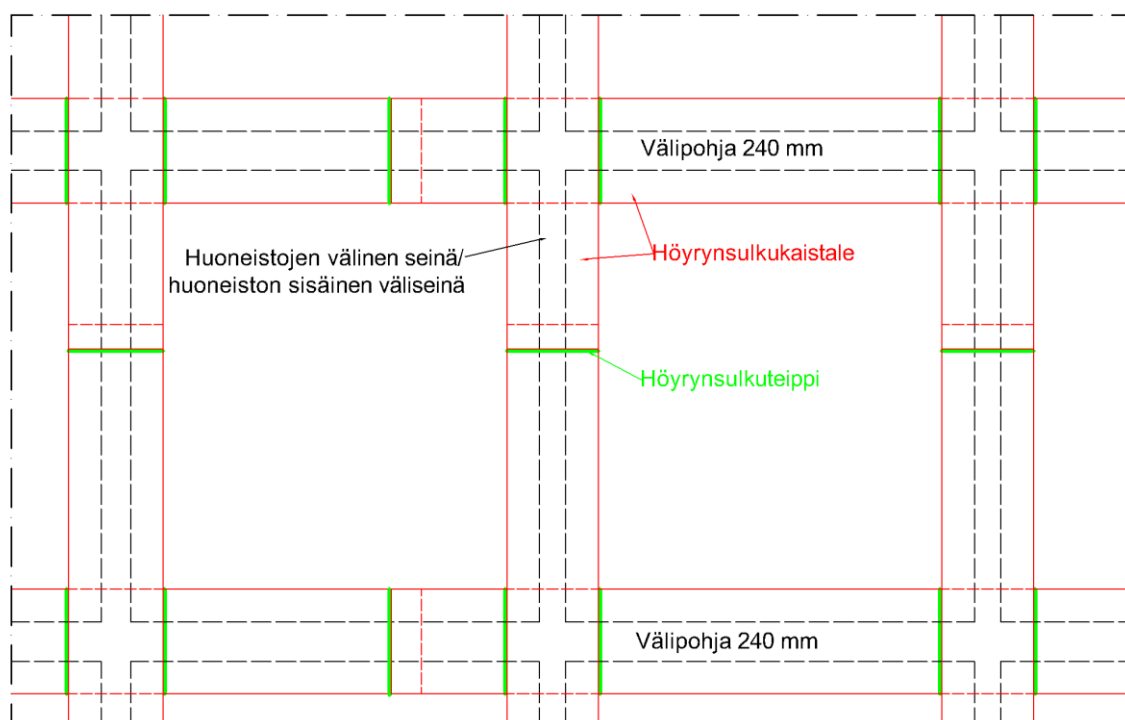
3.2 Ulkoseinän ja välipohjan liitos

Ulkovaipan ilmansulkukerroksen on jatkettava yhtenäisenä myös välipohjan ja kantavien betoniväliseinien kohdalla. Tämä liitoskohta voidaan toteuttaa asentamalla muovikaistaleet välipohjan ja runkotolppien väliin, kuten tähänkin asti on tehty (Kuvio 4). Kaistaleiden on oltava riittävän leveitä (n. 1 m), jotta kerrosten välisen muovin teippaus onnistuu. Muovikaistaleiden liitoskohdat on teipattava huolellisesti ulkopuolelta höyrynsulkuteipillä ennen runkopuiden asentamista, kuten kuviossa 5 on esitetty. Seinien ja pilareiden sekä välipohjan kohdalla teippaaminen sisäpuolelta on erittäin vaikeaa tai jopa mahdotonta, sillä kun puurunko on asennettu, ei teippiä saati käsiä saa mahtumaan muovin ja betonin väliin. Asennettaessa muovikalvoa kerrosten väliin, on kalvon reunat teipattava huolellisesti muovikaistaleisiin riittävän pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä tai vaihtoehtoisesti käytettävä puristusliitosta mikäli mahdollista. Ilmansulkukalvo on hyvin herkästi rikkoutuva kunnes sisäpuolen eriste ja sisäverhouslevy on asennettu. Mikäli kalvoon tulee reikiä, on ne paikattava heti huolellisesti höyrynsulkuteipillä.

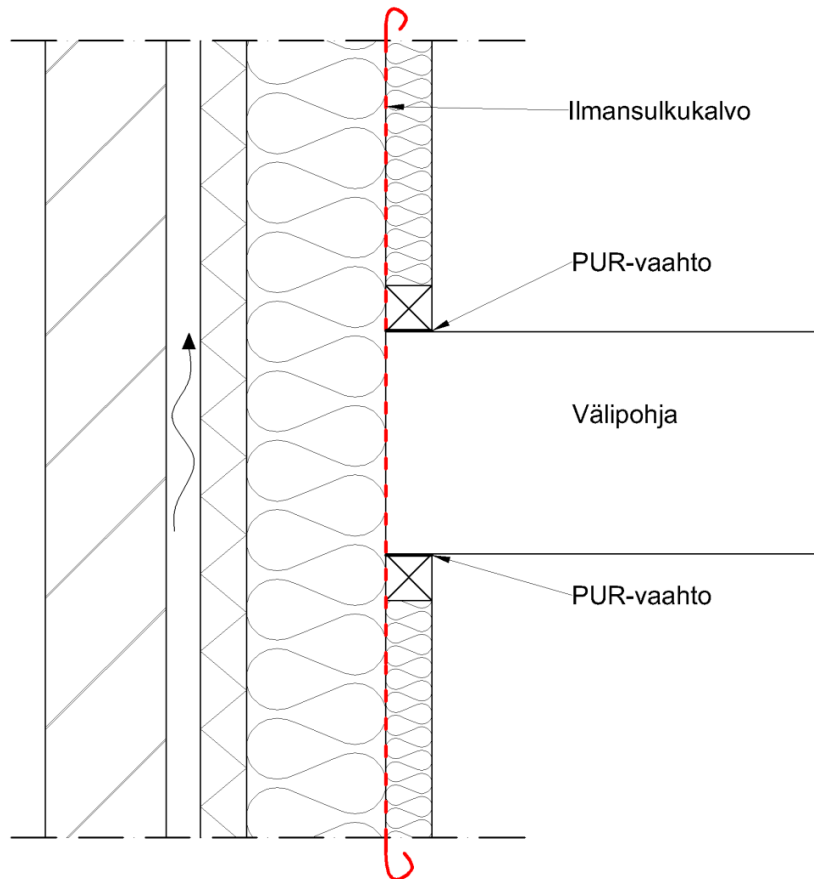
Vaakakoolauksen ala- ja yläpuiden sekä välipohjan väli (kuvio 6) tulee vaahdottaa polyuretaanilla, jotta saavutetaan huoneistojen välinen tiiveys. Näin saadaan estettyä esimerkiksi hajujen siirtyminen huoneistosta toiseen. Myös huoneistojen välisen seinän ja pystypuun väli on vaahdotettava. Jos välipohjana on ontelolaatasto ja se vaatii painumavaran, on vaakarungon ylimmäinen puu jätettävä painumavaran verran irti laatasta. Väliin laitetaan villaa ja päällimmäiseksi elastinen kittaus.



Kuvio 4. Höyrynsulku välipohjan ja betoniväliseinien kohdalla



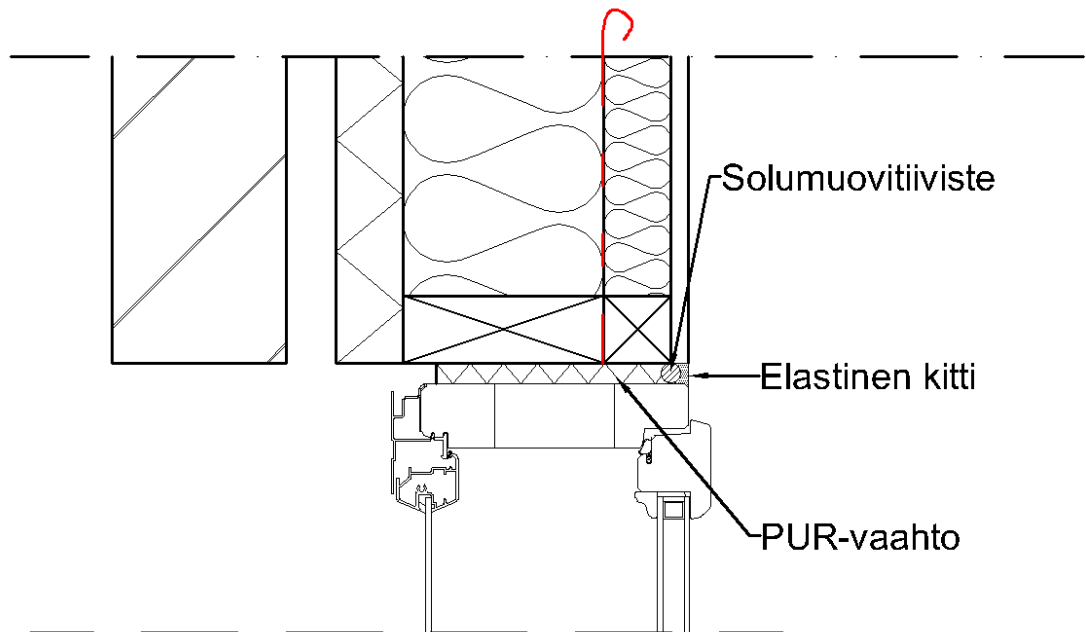
Kuvio 5. Höyrynsulkukaistaleiden teippaus



Kuvio 6. Vaakaleikkaus höyrynsulun sijainnista välipohjan kohdalla

3.3 Ikkunat ja ovet

Ikkunoiden ja ovien liitokset ovat yleisimpiä ilmavuotopaikkoja kerrostaloissa runkorakenteesta riippumatta (Vinha ym. 2009, 34). Tämän takia ovien ja ikkunoiden liitoksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota ja tiivistystyö on tehtävä huolellisesti. Ovet ja ikkunat tiivistetään polyuretaanivaahdolla. Koko väliä ei pidä täyttää vaahdolla, vaan ulkoreunaan on jätettävä tuuletusrako. (Aho & Korpi 2009, 81). Vaahdottamisen jälkeen tulisi solumuovieriste asentaa heti kuvion 7 osoittamalla tavalla, ettei polyuretaani paisu liikaa sisäpuolelle. Näin saadaan yksi aikaa vievä työvaihe pois, kun ylimääräistä uretaanivaahdosta ei tarvitse rapsuttaa pois solumuovieristeen tieltä. Lopuksi päällimmäiseksi laitetaan elastinen kittaus.



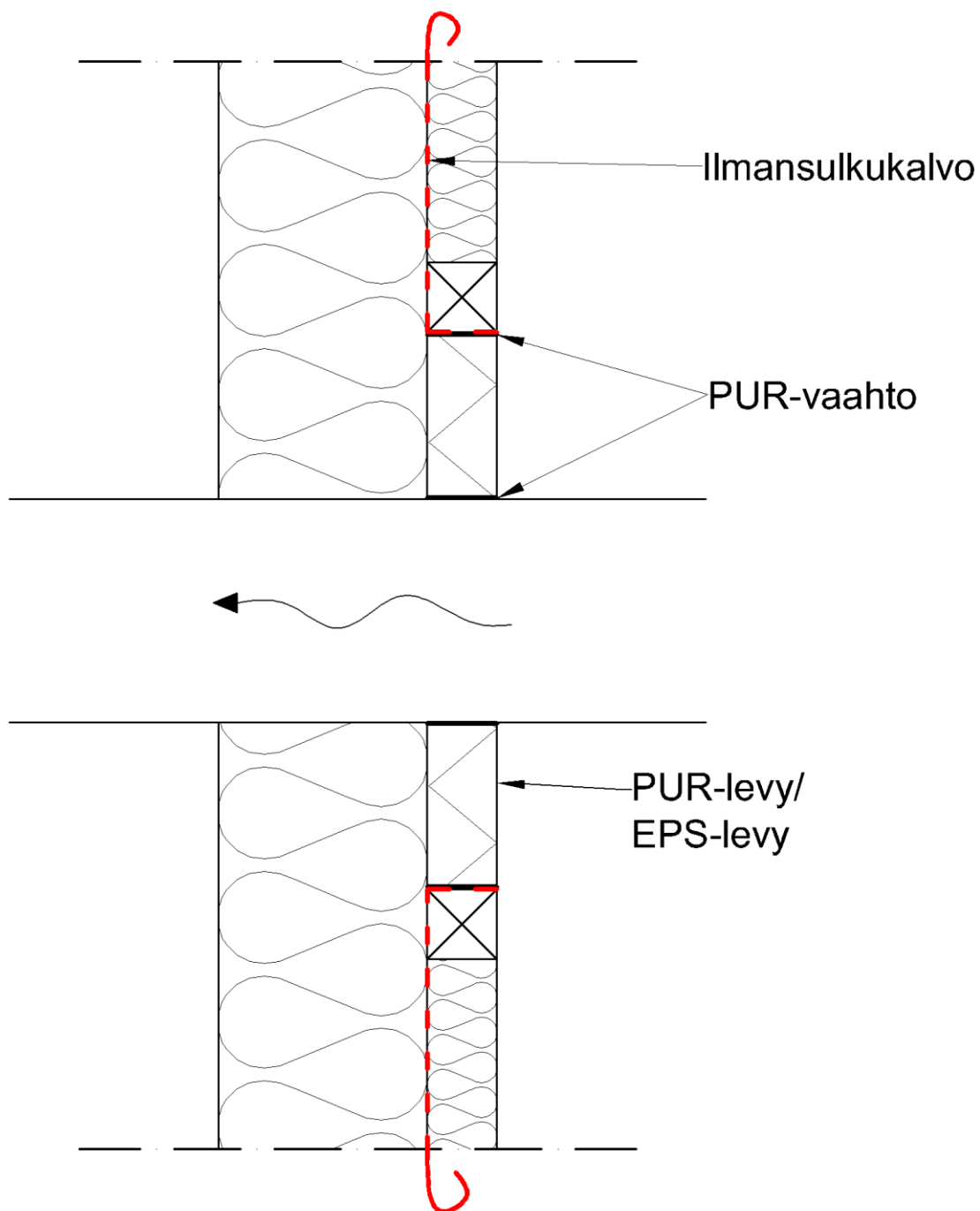
Kuvio 7. Ikkunan tiivistäminen

3.4 Lämpiviennit

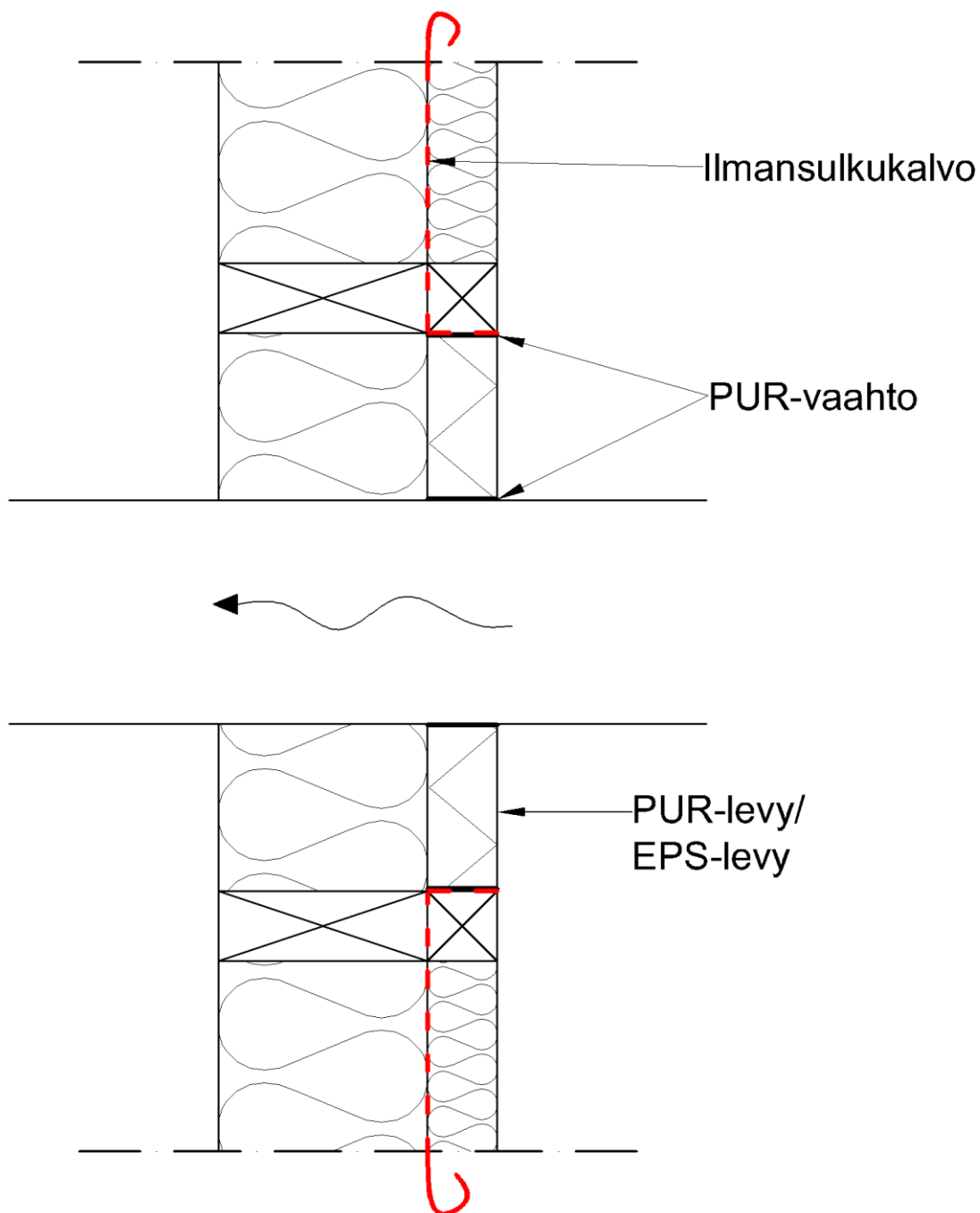
Läpivientien ilmanpitävyyteen vaikuttaa ennen kaikkea työn huolellisuus riippumatta tiivistysmenetelmästä. Huonosti tiivistetyt läpiviennit aiheuttavat paikallisia ilma- vuotoja ja näin rakenteeseen voi päästä huomattavia määriä kosteutta tai sisäilmaan voi siirtyä mikrobeja tai muita epäpuhtauksia. Mikäli läpiviennin tiivistys tehdään käyttäen höyrynsulkuteippiä, on varmistuttava sen pitkäaikaiskestävyydestä. (Aho & Korpi 2009, 84.) Helpointa läpivientien tiivistäminen on erillisillä läpivientikauluksilla, mutta niiden käyttö tuo lisäkustannuksia. Yksittäisten läpivientien tiivistäminen onnistuu hyvin teippaamalla, kunhan työn huolellisuuteen kiinnitetään huomiota (Kuvio 8). Kun läpivientejä on useampia samassa kohdassa, on läpiviennin tiiviiksi saaminen teippaamalla erittäin vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tällöin tiivistykseen voi käyttää solumuovieristyslevystä tai polyuretaanilevystä (PUR) tehtyjä kauluksia. Läpiviennin kohtaan vaakakoolaukseen on laitettava myös pystyriimat, joiden väliin PUR-levy laitetaan. Ilmansulkukalvo taitetaan PUR-levyn ja sisäkoolauksen väliin ja väli täytetään polyuretaanivaahdolla. PUR-levyyn tehdään reiät läpivientejä varten ja saumat vaahdotetaan (Kuviot 9 ja 10). PUR-levyä tai solumuovieristyslevyä käyttäen saadaan aikaan erittäin tiivis läpivienti myös yksittäisille läpivienneille. (Vinha ym. 2009, 121–131.)



Kuvio 8. Lämpivientien teippaus ulkoseinässä



Kuvio 9. Vaakaleikkaus läpivientien toteutuksesta polyuretaanilevyn/EPS-levyn avulla ulkoseinässä



Kuvio 10. Pystyleikkaus läpivientien toteutuksesta polyuretaanilevyn/EPS-levyn avulla ulkoseinässä

4 YHTEENVETO

Energiamääräykset ovat kiristyneet jatkuvasti ja tulevat mahdollisesti kiristymään tulevaisuudessa sillä fakta on, että koska rakennukset kuluttavat 38 % energian loppukäytöstä vuonna 2007 (Energiamääräykset 2012) on rakennuskannan energiankulutus saatava pienemmäksi. Monet suhtautuvat tähän epäilevästi ja pelkäävät kasvavien eristyspaksuuksien lisäävän rakennusten kosteusvaurioita. Pelko ei ole täysin aiheeton, sillä teoriassa riski on olemassa. Tästä huolimatta myös erittäin energiatehokkaita rakennuksia on mahdollista rakentaa ilman minkäänlaisia kosteus- tai sisäilmaongelmia. Tämä vaatii kuitenkin erinomaista laatua rakentajilta, eikä virheisiin juuri ole varaa. Ilmanpitävyys on yksi merkittävimpiä tekijöitä kosteusteknisesti toimivassa rakennuksessa ja myös eräs laadun indikaattoreista.

Rakennusmateriaalista riippumatta voidaan rakentaa ilmatiiviitä taloja. Tiiviiden lisäksi rakennuksen ilmanvaihto täytyy olla täysin hallittu ja tarkasti säädetty. Muutoin rakennuksen painesuhteet voivat olla epätasaiset eivätkä halutut energiansäästötavoitteet välttämättä täyty.

Työn perimmäisenä tavoitteena on saada parannettua rakennusten ilmanpitävyyttä ohjeistamalla työntekijöitä. Työmailla on monenlaisia rakentajia, joista osalla saattaa olla paljonkin tietoa ilmanpitävyydestä ja sen merkityksestä, mutta osalla voi olla hyvinkin vanhentuneet tiedot ja siksi saattaa esiintyä välinpitämättömyyttä tiiveyttä kohtaan. Työnjohtajien tiedot toivon mukaan ovat ajan tasalla, mutta he eivät välttämättä huomaa opastaa työntekijöitään aina riittävästi. Siksi jonkinlainen ohjenuora on hyvänä apuna molempien osapuolten työtä ajatellen.

Tuloksena syntyneet työhjeet ja tarkastuslista, jotka ovat liitteenä, toivon mukaan helpottavat toimintaa työmaalla. Vaikka ohjeet on laadittu koskemaan paikallavallettuja kerrostaloja, ovat ne osaltaan käyttökelpoisia myös muun tyyppisissä rakennuksissa.

Lisänä tässä työssä olisi voinut olla myös ala- ja yläpohjan liitokset ulkoseinän kanssa. Toisaalta, paikallavaletuissa rakenteissa nämä eivät ole niin kriittisiä kohtia ja näillä ohjeilla myös kyseisten liitosten toteutus onnistuu.

LÄHTEET

A 765/2007. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta.

Aho, H., Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 141.

Energiamääräykset 2012. Uusien rakennusten energiamääräykset 2012 PowerPoint-esitys. Ympäristöministeriö

RakMK D3 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010. Ympäristöministeriö.

RakMK D3 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö.

RakMK D2 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010. Ympäristöministeriö.

RakMK C3 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Ympäristöministeriö.

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. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 140.

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. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti N:o 1706.

Ympäristöministeriö. 2010. Energiatodistus. [WWW-dokumentti]. Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 16.2.2012]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/energiatodistus

Ympäristöministeriö. 2011a. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. [WWW-dokumentti]. Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 15.2.2012]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/default.asp?node=14527&lan=fi

Ympäristöministeriö. 2011b. Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu. [WWW-dokumentti]. Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu

15.2.2012]. Saatavissa:

www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380376&lan=fi&clan=fi

Ympäristöministeriö. 2012a. Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. [WWW-dokumentti]. Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 15.2.2012]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/default.asp?node=20644&lan=fi

Ympäristöministeriö. 2012b. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [WWW-dokumentti]. Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 17.2.2012]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/rakentamismaaraykset

LIITTEET

LIITE 1: Ulkoseinän ja välipohjan liitos

LIITE 2: Ikkunat ja ovet

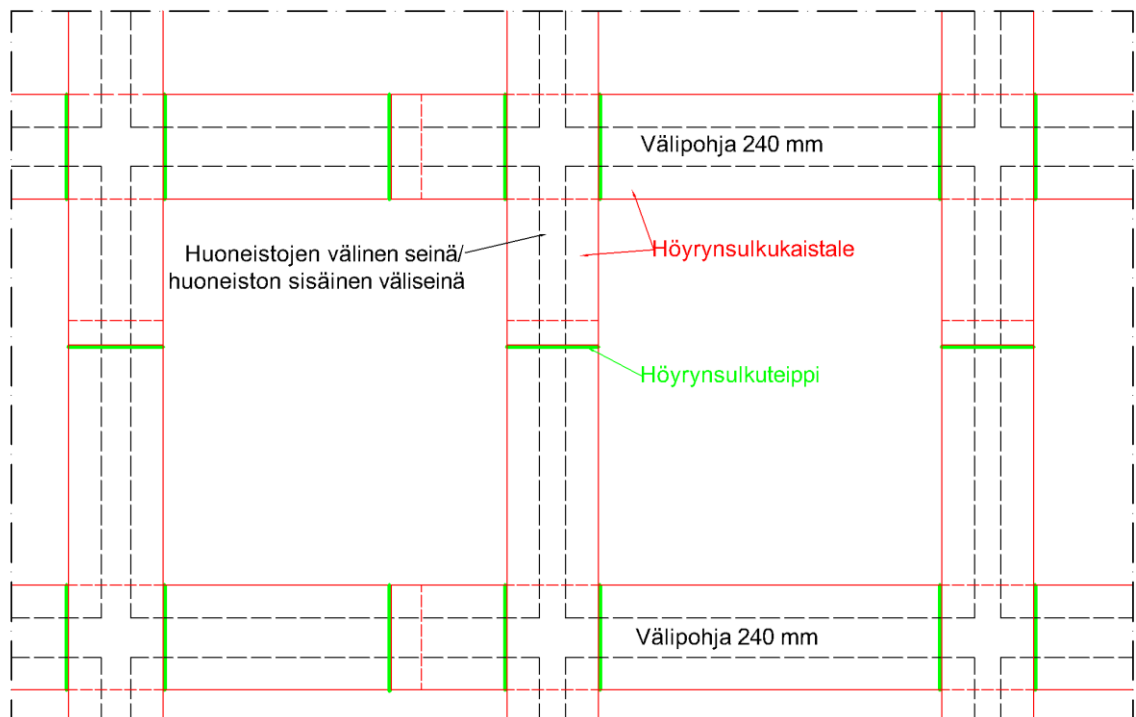
LIITE 3: Läpiviennit

LIITE 4: Puurakenteinen ulkoseinä

LIITE 5: Työnjohtajan tarkastuslista

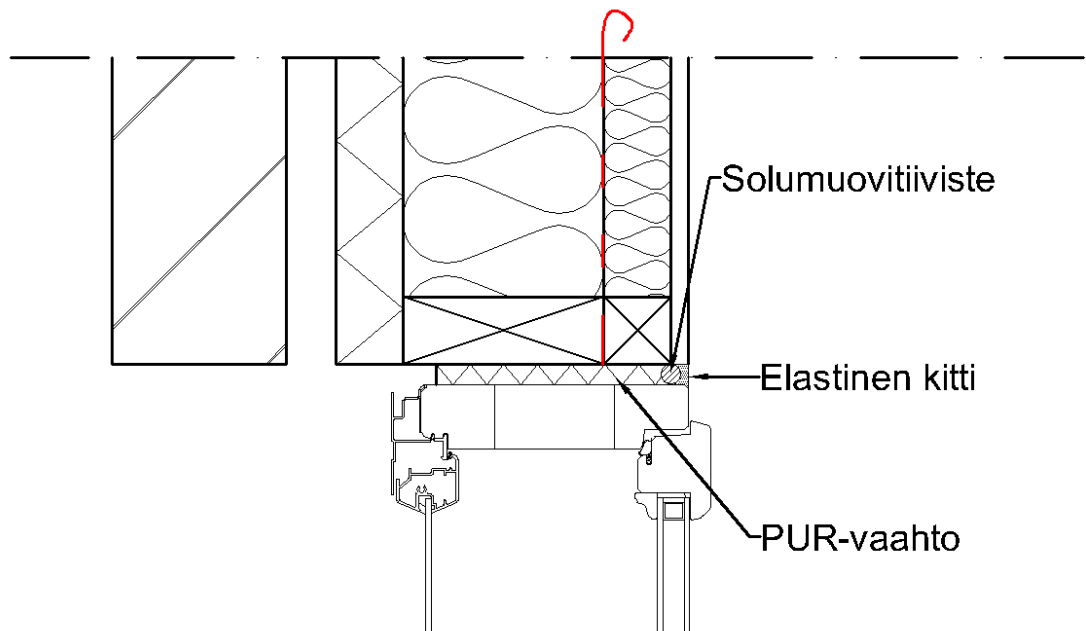
ULKOSEINÄN JA VÄLIPOHJAN LIITOS

- Höyrnsulkukaistat asennetaan betoniväliseinien ja välipohjien kohdalle
- Höyrnsulkukaistojen jatkokset ja liitokset on teipattava höyrnsulkuteipillä huolellisesti ennen puurungon kiinnittämistä
- Höyrnsulkukaistojen on oltava riittävän leveitä, että kerrosten välisen muovin teippaaminen onnistuu.
- Jatkoslimitys vähintään 100 mm ja kaistojen leveys vähintään 1 m



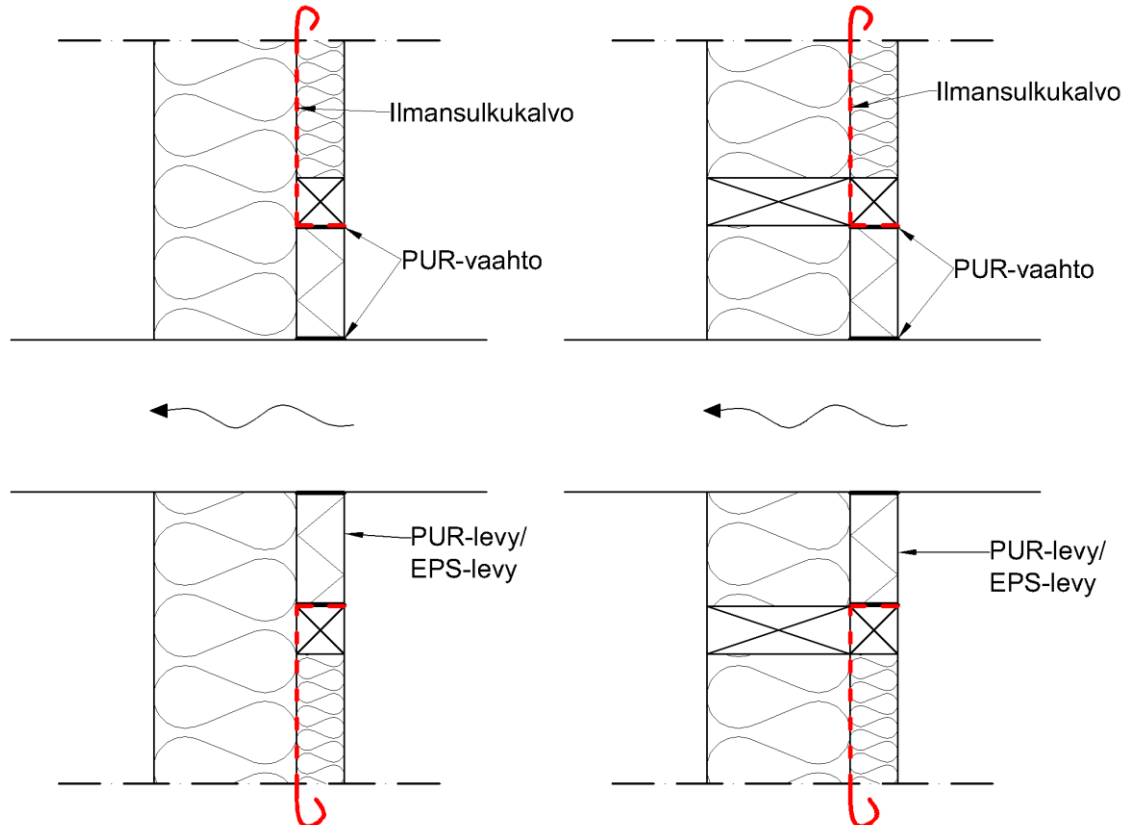
IKKUNAT JA OVET

- Ovien ja ikkunoiden liitokset vaahdotetaan uretaanilla
- Solumuovitiiviste asennetaan heti vaahdotuksen jälkeen
- Solumuovitiiviste n. 10 mm syvyydelle seinän sisäpinnasta
- Lopuksi saumat kitataan



LÄPIVIENNIT

- Yksittäisten läpivientien tiivistäminen voidaan toteuttaa teippaamalla, valmiilla läpivientikauluksilla tai esim. jäykällä muovieristyslevyllä
- Teippaus on suoritettava huolellisesti
- Jos useita läpivientejä vierekkäin, toteutettava jäykällä muovieristelevyllä:
 - Höyrinsulkumuovi taitetaan vaakarungon ja eristelevyn väliin
 - Väli vaahdotetaan uretaanilla
 - Eristelevyyn tehdään reiät läpivientejä varten ja niiden saumat vaahdotetaan



TYÖNJOHTAJAN TARKASTUSLISTA

- Työntekijöiden motivointi tiiveyden tärkeydestä
- Höyrynsulkukaistojen jatkokset välipohjien ja -seinien kohdalla on teipattu
- Höyrynsulkukaistat ovat riittävän leveitä molemmin puolin seinää/välipohjaa
- Höyrynsulkumuovi on teipattu huolellisesti kastoihin ja mahdolliset jatkokset on teipattu
- Höyrynsulussa ei ole reikiä tai ne on teipattu
- Läpiviennit on huolellisesti tiivistetty
- Ikkunat ja ovet on huolellisesti vaahdotettu ja solumuovieriste asennettu oikealle syvyydelle
- Vaahtoa tulee olla 2/3 karmin leveydestä