

Mikael Aaltonen

# Puukerrostalon tiiveyteen liittyvät rakenteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriytyö

24.04.2013

Tekijä(t) Otsikko	Mikael Aaltonen Puukerrostalon tiiveyteen liittyvät rakenteet
Sivumäärä Aika	36 sivua + 1 liite 24.04.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Rakennusinsinööri Maaria Laukkanen Tulosyksikön johtaja Tero Nikkanen Työpäällikkö Mikko Vaittinen
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin energiatehokkaan puukerrostalon ilmatiivyyteen liittyviä rakenteita ja niiden toimivuutta suunnitelmien perusteella. Lisäksi työssä tutkittiin matala-energiarakentamista ja ilmatiivyyden vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen ja rakenteiden tekniseen toimivuuteen. Työn tilaajayrityksenä toimi Skanska Talonrakennus Oy ja esimerkkikohteena oli yrityksen tarjouslaskennassa oleva energiatehokas puukerrostalohanke.</p> <p>Työn tavoitteena oli laatia selvitys matalaenergiarakentamisesta ja siihen liittyvistä yleisistä vaatimuksista, niiden vaikutuksesta puukerrostalojen rakentamiseen ja erityisesti tiivistämiseen. Tehtävänä oli kartoittaa esimerkkikohteen ilmatiivyyteen liittyvien rakenteiden ongelmakohtat ja tutkimalla kyseisen projektin, sekä muiden samankaltaisten kohteiden rakennedetaljeja löytää ratkaisuja, joilla kohteen tiiveysvaatimukset täytyisivät.</p> <p>Tietoa kerättiin tutkimalla Suomen Rakentamismääräyskokoelmaa sekä rakennusalalla käytettyjä tietopalveluja ja laatujärjestelmiä, kuten Suomen Rakennusinsinöörien Liiton aiheeseen liittyviä julkaisuja ja Rakennustiedon RT-net-verkkosivuja. Haastatteleamalla tilaajayrityksen edustajia sekä esimerkkikohteen tuoteosatoimittajia ja rakennesuunnitelmien laatijoita kartoitettiin ilmatiivyyteen liittyvien rakenteiden ongelmakohtia.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena esimerkkikohteen rakennesuunnitelmiin ja suunnitelmien toteutukseen tehtiin parannusehdotuksia rakenteiden ilmatiivyyden kannalta. Tulosten avulla Skanska Talonrakennus Oy pyrkii kehittämään tulevien kohteiden ilmatiivyyteen liittyvien rakenteiden suunnittelua ja toteutusta. Parannusehdotuksia tulisi tarkastella vertailemalla saatuja tuloksia kohteen valmistumisen aikana ilmeneviin ongelmiin ja kehittää niitä edelleen ilmatiivyyseratkaisujen parantamiseksi sekä ilmatiivyydestä saatavien hyötyjen maksimoimiseksi.</p>	
Avainsanat	ilmatiiviyys, energiatehokkuus, puukerrostalo, passiivitalo, matalaenergiatalo

Author(s) Title	Mikael Aaltonen Structures that affect the airtightness of a wooden multi-storey apartment building
Number of Pages Date	36 pages + 1 appendix 24.04.2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction and Site Management
Instructor(s)	Maaria Laukkanen, Civil Engineer Tero Nikkanen, District Manager Mikko Vaittinen, Construction Chief
<p>In this thesis, the structures that affect the air tightness of an energy-efficient multi-storey apartment building and their functionality, were researched. The thesis also includes research about low-energy construction and the effects of air tightness on energy-efficiency and the technical functionality of the structures. The research was made for Skanska Talonrakennus Oy</p> <p>The primary goal of the thesis was to compile a report about the requirements of low-energy construction and their effects on building and airproofing a wooden apartment building. By studying the blueprints of one of Skanska Talonrakennus Oy's construction projects, the goal was to find the problematics that might cause air leakage through the structures and then find solutions that fill the requirements regarding air tightness for the project.</p> <p>The data was collected mainly from literature commonly used in the building trade dealing with the topic in hand. Skanska Talonrakennus Oy employees and structural engineers, working for the project, were interviewed in order to gain information regarding air tightness problematics.</p> <p>As a result of the research, proposals for improvement were made for the structures effecting air tightness of the Skanska Talonrakennus Oy's construction project. Proposals were made for both the blue prints and the execution of the structures. With the help of the results, Skanska hopes to improve the planning and methods of future airproofing projects and thus exploit the benefits gained by airtight wooden apartment buildings.</p>	
Keywords	air tightness, energy-efficiency, wooden apartment building

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoite ja näkökulma	2
1.3	Opinnäytetyön rajaus	3
1.4	Tutkimusmenetelmät	3
2	Energiatehokas rakentaminen	4
2.1	Matalaenergiatalo	4
2.2	Passiivienergiatalo	7
3	Puukerrostalojen ominaisuudet ja rakentaminen Suomessa	10
4	Ilmatiiviyden merkitys ja todentaminen	11
5	Kohteen esittely ja taustatietoa	16
6	Rakennuksen ilmanpitävyyteen vaikuttavat tekijät	18
6.1	Ulkoseinä - Alapohja	19
6.2	Ulkoseinä - Ulkoseinä	21
6.3	Ulkoseinä - Välipohja	25
6.4	Ulkoseinä - Yläpohja	27
6.5	Ikkunat ja ovet	29
6.6	Läpiviennit ja varaukset	31
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Rakenteiden ilmanpitävyys - Tarkastuslista	

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Kiinnostus puukerrostalorakentamiseen lisääntyi Suomessa 2000-luvun lopussa. Yksi syy tähän olivat Ruotsissa saadut positiiviset kokemukset puun käytöstä kerrostalorakentamisessa. Tässä vaiheessa vanhat palomääräykset kuitenkin mahdollistivat pelkästään neljäkerroksisten puutalojen rakentamisen ilman tuntuvia lisäkustannuksia. Huhtikuussa vuonna 2011 astuivat voimaan uudet palomääräykset, jotka mahdollistivat kahdeksankerroksisten puukerrostalojen kustannustehokkaan rakentamisen. Siitä lähtien puukerrostalojen suosio on ollut tasaisessa kasvussa.

Toinen voimakkaassa kasvussa oleva rakentamistrendi on matalaenergiarakentaminen. Suomen rakentamismääräyksiä on uusittu kaksi kertaa viimeisen kolmen vuoden aikana ja molemmilla kerroilla määräyksiä on kiristetty juuri rakennusten energiatehokkuuteen liittyen.

Helsingin asuntotuotantotoimisto on yksi Suomen pääkaupunkiseudun suurimmista rakennuttajista. Helsingin kaupunkiin kuuluvan organisaation tehtävä on vastata kaupungin oman asuntotuotannon rakennuttamisesta kaupungin tavoitteiden mukaisesti. Asuntotuotantotoimisto, eli ATT, on seuraamassa Suomessa vallitsevaa rakennustrendiä. He ovat järjestäneet suunnittelun ja rakentamisen laatukilpailun (SR-kilpailun), jonka kohteena on neljä energiatehokasta puukerrostaloa. Ne rakennetaan Pukinmäkeen Eskolantien 4:ssä sijaitsevalle tontille. Kerrosalaa tontilla on 7700 k-m<sup>2</sup> ja se tulee käyttää kokonaan. Tontti jaetaan kahdelle hankkeelle. Rakennusoikeudesta puolet on varattu asumisoikeusasuntojen rakentamiseen ja puolet vuokra-asuntotuotantoon. Kilpailun pohjalta toteutettavaksi valitaan rakennusten ja ympäristön arkkitehtonisen ja teknisen laadun, energiatehokkuuden ja asuttavuuden perusteella paras ehdotus. Tulevan kohteen urakkamuoto on kokonaisvastuurakentamis- eli KVR-urakka. KVR-urakassa pääurakoitsijalle kuuluu kohteen rakentamisen lisäksi rakenneratkaisujen suunnittelu.

Skanska on kansainvälisesti toimiva ruotsalainen kiinteistökehitys- ja rakennuskonserni, joka kuuluu kymmenen suurimman rakennusliikkeen joukkoon maailmassa. Skanska Talonrakennus Oy:n asuntorakentamisyksikkö, jolle tämä opinnäytetyö tehdään, on yksi mukaan kutsutuista rakennusyrytyksistä. Skanska Talonrakennus Oy kuuluu kan-

sainväliseen Skanska-konserniin ja sen vastualueet Suomessa ovat asunto-, liike- ja toimitilarakentaminen, teollisuusrakentaminen, julkinen rakentaminen, korjausrakentaminen sekä talotekniset LVIS-palvelut. Koska heillä ei ole aiempaa kokemusta näin laajasta puukerrostalohankkeesta, eikä heillä ei ole omaa elementtitehdasta, ovat he pyytäneet yhteistyökumppanikseen Metsä Wood Oy:n vastaamaan tulevan kohteen tuoteosatoimituksesta. Metsä Wood Oy kuuluu noin 30 maassa toimivaan Metsä Group -konserniin. Metsä Wood on puutuotetoimittaja, joka kehittää, valmistaa ja markkinoi puupohjaisia ratkaisuja rakennusalan ammattilaisille ja tavallisille kuluttajille. Yrityksen tuotteisiin kuuluu kaikki sahatavarasta asennettuihin puurunkoihin. [5.], [6.]

Tuoteosatoimituksella tarkoitetaan, että Metsä Wood toimittaa ja asentaa tiettyjä rakenneosia tulevaan kohteeseen. Mitkä rakennusosat kuuluvat heidän vastualueeseensa, päätetään yritysten välisten neuvottelujen kautta. Kyseisen kohteen yksinkertainen tehtäväjako on, että Skanska tekee maarakennustyöt, pihatytöt sekä rakennusten perustukset, minkä jälkeen Metsä Wood toimittaa ja asentaa rungon vesikattoon asti. Sisäpuolen rajapinta on höyrynsulku. Metsä Wood luovuttaa rakennukset ilmatiivinä ja tämän jälkeen Skanska viimeistelee sisätyöt sekä talotekniikan.

ATT on kilpailun arviointikriteereissä painottanut rakenneratkaisujen energiatehokkuutta. Yksi tärkeä tekijä rakennusten energiatehokkuutta arvioidessa on ulkovaipan ilmatiiveys. Sekä Skanskalla, että Metsä Wood Oy:lla on kokemusta tiiviiden puutalojen rakentamisesta, mutta Eskolantien puukerrostaloille asetettu ilmatiiveysvaatimus on tiukempi kuin mitä kumpikaan yritys on entisissä rakennusprojekteissa kokenut. Näin ollen Skanska Talonrakennus Oy haluaa tutkia tulevan puukerrostalohankkeen tiiveyteen liittyviä rakenteita ja niihin liittyviä ongelmakohtia, jotta ATT:n järjestämästä tarjouskilpailusta voitaisiin suoriutua parhaalla mahdollisella menestyksellä.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite ja näkökulma

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia selvitys matalaenergiarakentamisesta ja siihen liittyvistä yleisistä vaatimuksista, sekä sen vaikutuksesta puukerrostalojen rakentamiseen ja erityisesti tiivistämiseen. Tavoitteena on kartoittaa Eskolantien rakennuskohteen tiiveyteen liittyvien rakenteiden ongelmakohtat ja tutkimalla kyseisen projektin sekä muiden samankaltaisten kohteiden rakennedetaljeja, löytää ratkaisuja, joilla kohteen tiiveysvaatimukset täyttyisivät.

Näkökulma tutkimuksessa on tiiveyteen liittyvien rakenteiden toteutuksessa ja osittain rakennesuunnittelussa. Tutkimuksessa keskitytään matalaenergiarakentamisen asettamiin vaatimuksiin puukerrostalojen tiiveydelle ja siihen liittyviin rakenteisiin. Tutkimuksesta saadut tulokset viedään suunnittelupöydälle suunnittelijoiden avuksi.

### 1.3 Opinnäytetyön rajaus

Tarkasteltavana on rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveyteen liittyvien rakenteiden ja rakenneratkaisujen suunnittelu, toteutus ja toimivuus. Tutkimuksessa ei huomioida rakennusten lämpimien tilojen rakenteiden, kuten huoneistojen välisten seinien ilmatiivisteknistä toimivuutta eikä rakenteiden muita teknisiä ominaisuuksia, kuten lämmöneristävyyttä ja kosteussulkua. Näiden rakenteiden oletetaan olevan asianmukaisesti suunniteltuja ja toteutettavissa.

### 1.4 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön suorittamiseen tarvittaviin taustatietoihin lukeutuvat matalaenergiarakentamisen yleiset vaatimukset ja ehdot, puukerrostalorakentamisen vaatimukset sekä niiden vaikutus rakennuksen ilmantiiveyden toteuttamiseen. Opinnäytetyössä selvitetään myös ilmatiivyyden vaikutus rakennuksen elinkaareen ja tekniseen toimivuuteen, sekä se, miten tiiveysmittaus tulisi oikeaoppisesti suorittaa. Tietojen keräämiseksi tutkitaan Maankäyttö- ja Rakennuslakiin kuuluvaa Suomen Rakentamismääräyskokoelmaa, sillä RakMK:n määräykset ovat velvoittavia uudisrakentamisessa. Täydentävänä tiedonlähteenä käytetään Suomen Rakennusinsinöörien Liiton aiheeseen liittyviä julkaisuja ja Rakennustiedon RT-net-verkkosivua, jotka molemmat ovat rakennusalan monipuolisia tietopalveluja ja laatujärjestelmiä sekä yleisesti rakennusalan käytettyjä.

Haastattelemalla Skanska Talonrakennus Oy:n ja Metsä Wood Oy:n edustajia, sekä tutkimalla tulevan kohteen ja yritysten samankaltaisten rakennusprojektien rakennedetailjeja kartoitetaan tulevan kohteen ilmatiivyyteen liittyvät rakenteet, niiden ongelmakohdat ja rakenteiden tiiviystöiden vastuualueet. Näiden tietojen avulla, sekä tutkimalla muita aiheeseen liittyviä tutkimuksia ja julkaisuja, pyritään löytämään kohteen tiivysvaatimukset täyttäviä rakenneratkaisuja.

## 2 Energiatehokas rakentaminen

Matalaenergiarakentaminen perustuu kokonaisvaltaiseen rakennuskonseptiin. Rakennuksen energiatehokkuus riippuu monesta eri tekijästä ja hyvä lopputulos syntyy vain, jos kaikki osa-alueet suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti. Energiatehokkuuteen vaikuttavat arkkitehtuuriratkaisut sekä rakenne- ja talotekniikkajärjestelmät. Näiden yhteistoiminnan tuloksena saavutetaan energiatehokas rakennus. Muita huomioonotettavia tekijöitä rakennukseen liittyviä ratkaisuja tehdessä ovat elinkaarikustannukset, laatuvaatimukset sekä hankekohtaiset erityispiirteet, esimerkiksi rakennuspaikalla vallitsevat olosuhteet.

Rakennuksen elinkaaren energiankulutukseen vaikuttaa moni asia, kuten käyttäjien elämäntavat ja rakennuksen ulkovaipan tiiveys. Suurin vaikuttava tekijä on kuitenkin rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät. Näin ollen lämmitysmuodon valinta on hyvin tärkeä osa kokonaisuutta. Jotta lämmitys ja jäähdytys olisivat mahdollisimman tehokasta ja energiankulutus vähäistä, on rakennuksen ulkovaipan oltava hyvin suunniteltu ja toteutettu. Lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen perusteella rakennukset voidaan jakaa kahteen eri rakennuskonseptiin, matalaenergiatalo ja passiivienergiatalo. [1, s.9-10.]

### 2.1 Matalaenergiatalo

Vanhan määritelmän mukaan matalaenergiataloksi kutsuttiin rakennusta, jonka lämmitysenergian tarve oli noin puolet verrattuna sellaiseen taloon, joka täytti voimassa olevien rakentamismääräysten vaatimukset. Vuonna 2010 voimaan astuivat uudet tiukemmat rakentamismääräykset ja samalla matalaenergiatalon määritelmä muuttui. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2010) matalaenergiatalon määritelmä on seuraava:

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä [2, s.5].

Matalaenergiatalo on ainoa energiatehokkaan rakentamisen tavoitteeksi soveltuvista käsitteistä, joka on määritelty Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa (2010).



Rakennusinsinööriliiton määritelmä matalaenergiatalolle eroaa hieman Suomen Rakentamismääräyskokeelman määritelmästä. RIL:n määritelmässä matalaenergiatalo on selkeästi nykyistä normitasoa energiatehokkaampi rakennus, kun taas RakMK:n vastaavat vaatimukset eivät paljoakaan poikkea normitalon vaatimuksista. Vuonna 2012 voimaan astuneet rakentamismääräykset eivät enää erottele matalaenergiataloa ja normitaloa. Hyvällä suunnittelulla RIL:n asettamat vaatimukset matalaenergiatalolle voidaan kuitenkin saavuttaa hyvin pienillä lisäkustannuksilla. Mikäli nämä vaatimukset täyttyvät, on rakennus varmasti RakMK:n mukainen. Tärkeimmät tekijät ovat hyvä lämmöneristävyyttä, tiivis ulkovaippa sekä toimiva ja energiatehokas ilmanvaihtojärjestelmä. Rakennusvaipan ja ilmanvaihdon teknisiä ohjearvoja on lueteltu taulukossa 1-2. Taulukon 1 ohjearvot käsittelevät kerrostaloja ja taulukon 2 pientaloja. [2, s.12.], [3.]

Taulukko 1. Kerrostalojen rakennusvaipan ja ilmanvaihdon määrävien ominaisuuksien ohjeellisia arvoja Jyväskylän ilmastotiedoilla. [1, s.34.]

Tekninen tekijä	Normitalo RakMK D3-määräys, 2012	Matalaenergiatalo M-50	Passiivitalo P-25
U-arvot, W/m <sup>2</sup> K			
- alapohja maanvastainen	0,16	0,12	0,10
- alapohja ryömintätilaan	0,17	0,10	0,10
- alapohja ulkoilmaan	0,09	0,09	0,08
- ulkoseinä	0,17	0,14	0,12
- yläpohja	0,09	0,08	0,08
- ikkunat	1,0	0,9	0,8
- ovet	1,0	0,6	0,5
Vaipan ilmanvuotoluku n <sub>50</sub> , 1/h	< 2,0	< 0,8	< 0,6
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde %	> 45	> 65	> 75

Taulukko 2. Pientalojen rakennusvaipan ja ilmanvaihdon määräävien ominaisuuksien ohjeellisia arvoja Jyväskylän ilmastotiedoilla. [1, s.34]

Tekninen tekijä	Normitalo RakMK D3-määräys, 2012	Matalaenergiatalo M-50	Passiivitalo P-25
U-arvot, W/m <sup>2</sup> K			
- alapohja maanvastainen	0,16	0,12	0,10
- alapohja ryömintätilaan	0,17	0,10	0,08
- alapohja ulkoilmaan	0,09	0,08	0,08
- ulkoseinä	0,17	0,12	0,08-0,10
- yläpohja	0,09	0,08	0,07
- ikkunat	1,0	0,8	0,7/0,8
- ovet	1,0	0,6	0,5
Vaipan ilmanvuotoluku n <sub>50</sub> , 1/h	< 2,0	< 0,8	< 0,6
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde %	> 45	> 70	> 80

Taulukoissa 1 ja 2 käytetty luokkanimike Normitalo vastaa rakennusta, joka täyttää vuoden 2012 RakMK:n asettamat määräykset. Kuten aikaisemmin on todettu, rakennukset voidaan jakaa kahteen energiatehokkuusluokkaan matalaenergiatalo ja passiivitalo. Taulukoissa 1 ja 2 on käytetty nimikkeitä matalaenergiatalo M-50 ja passiivitalo P-25. Rakennusinsinööriliiton ohjeiden mukaan energiatehokkuusluokkajakoa voidaan tarkentaa energiantarveluokilla, jotka matalaenergiatalolle ovat M-30, M-35, M-40, M-45 ja M-50. Passiivitalolle vastaavat luokat ovat P-15, P-20 ja P-25. Esimerkiksi M-50 tarkoittaa matalaenergiataloa, jonka tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen nettoenergian ominaistarve on enintään 50 kWh/(m<sup>2</sup> a), eli 50 kilowattituntia lämmitettävien tilojen yhtä pinta-alayksikköä kohti vuodessa. Tilojen lämmityksen nettoenergian ominaistarve muodostuu rakennuksen lämpöhäviöistä (vaipan johtumishäviöt, vuotoilmahäviöt, ilmanvaihtohäviöt) vähennettynä rakennukseen tulevilla aurion säteilyenergialla sekä sisäisistä lämmönlähteistä vapautuvalla lämpöenergialla. Jäähdytystä käsitellään vastaavalla tavalla. M-50 ja P-25 ovat siis energiatehokkuusluokkien vähimmäisvaatimukset täyttäviä rakennuksia. Vuoden 2010 määräysten mukaan normitalon vastaava arvo on kerrostaloilla noin 85 kWh/(m<sup>2</sup> a) ja pientaloilla noin 95 kWh/(m<sup>2</sup> a). Arvot vaihtelevat rakennuksen sijainnin perusteella. Taulukkojen arvot pätevät Jyväskylän ilmastotiedoilla. Muille paikkakunnille käytetään muuntokerrointa. Muuntokerroimien arvot näkyvät taulukossa 3 ja taulukossa mainittujen alueiden rajat näkyvät kuvassa 1. [1 s.29.], [4 s.139.]

Taulukko 3. Alueelliset lämmitysenergian kulutustasot verrattuina Jyväskylän olosuhteisiin. [1, s.29]

Energiatehokkuusluokka	Etelä-Suomi	Keski-Suomi (Jyväskylä)	Pohjois-Suomi
Normitalo 2010	0,90	1,00	1,25
Matalaenergiatalo	0,88	1,00	1,27
Passiivitalo	0,85	1,00	1,33

Taulukoissa 1 ja 2 käytetty tekninen tekijä, U-arvo, kuvaa eri rakennusosien lämmöneristyskykyä. Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. Lämmön talteenoton vuosihyötysuhde kuvaa rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta talteen otettavaa lämpömäärää. Lämpömäärän on RakMK:n mukaan vastattava vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. [1 s.15.], [7.]

## 2.2 Passiivenergiatalo

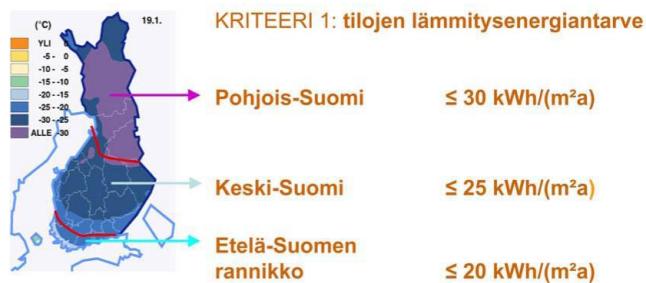
Passiivitalo, joka on suora käänös saksankielisestä termistä *Passivhaus*, on matalaenergiataloa energiatehokkaampi rakennus. Ensimmäinen passiivitalo valmistui vuonna 1991 Saksan Darmstadtissa. Vuonna 1996 passiivitalon kriteerien ja ratkaisujen kehittäjä, tohtori Wolfgang Feist, perusti saksalaisen Passivhaus-instituutin. Passiivitalo ei tarkalleen ottaen ole standardi, vaan vapaaehtoisesti asetettava energiatehokkuustavoite. Koska passiivitalo nimeä ei ole suojattu tai rekisteröity on Passivhaus-instituutin passiivitalomäärittelmistä tehty monta eri versiota. Keski-Euroopassa käytetään Passivhaus-instituutin passiivitalomäärittelmää, kun taas Pohjois-Euroopan maat ovat muodostaneet omat määrittelmänsä, jotka huomioivat Keski-Euroopan olosuhteista poikkeavan ilmaston.

Kuten matalaenergiatalossakin, passiivitalon kriteerien täyttäminen edellyttää tarkkaa suunnittelua ja suunnittelijoiden yhteistyötä sekä erityisen huolellista ja laadukasta rakennustöiden toteuttamista. Passiivitalojen pieni energiantarve saavutetaan yleisesti ilmatiiviillä ja hyvin lämpöä eristävällä ulkovaipalla sekä tehokkaalla ilmanvaihdon lämmön talteenotolla. Muita tyypillisiä ratkaisuja ovat ikkunoiden ja ovien hyvä lämmöneris-

tys sekä varaavan massan ja ilmaislämmönlähteiden, kuten aurinkoenergian, ihmisten ja laitteiden, tehokas hyödyntäminen. Passiivitalojen energiansäästökeinojen pääpaino ei ole teknisissä laitteissa, vaan passiivisissa ratkaisuissa, mihin myös rakennuskonseptin nimi viittaa.

Passiivitalon määritelmä perustuu kolmeen tunnuslukuun, jotka ilmaisevat tilojen lämmitysenergiatarpeen, rakennuksen kokonaisprimäärienergiatarpeen ja mittaukseen perustuvan ilmavuotoluvun.

## SUOMALAINEN PASSIIVITALO



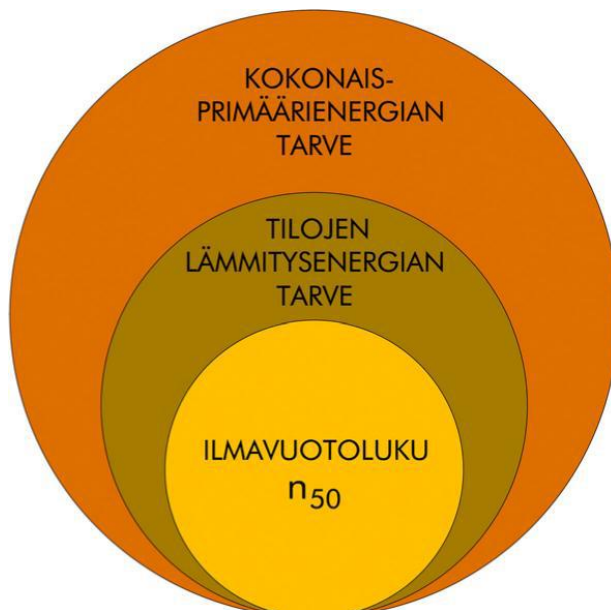
Kuva 1. Suomalaisen passiivitalon kriteerit rakennuksen lämmitysenergiatarpeelle ja kokonaisprimäärienergiatarpeelle. [3.]

Tilojen lämmitysenergiatarve ilmaisee, kuinka paljon energiaa tarvitaan halutun sisälämpötilan ylläpitämiseen. Lämmitysjärjestelmän ominaisuuksia ei huomioida. Tilojen lämmitysenergiatarpeeseen voidaan vaikuttaa ulkovaipan ratkaisuilla, ilmanvaihdon lämmön talteenotolla ja ilmaisenergianlähteitä hyödyntämällä. Koska lämmitysener-

giantarvetta tarkastellaan neliometriä kohti, ei rakennuksen koko suoranaisesti vaikuta kriteerien saavuttamiseen. Pienessä rakennuksessa lämpöhäviöitä aiheuttavaa ulkovaippaa on kuitenkin suhteessa lämmitettävään tilavuuteen enemmän kuin isossa rakennuksessa. Tämän vuoksi pieni rakennus on pääsääntöisesti vaikeampi toteuttaa passiivitalona kuin suuri.

Kokonaisprimäärienergiantarpeeseen lasketaan kaikki energia, jonka rakennus tarvitsee painotettuna energiamuodosta riippuvalla primäärienergiakertoimella. Kuvasta 1 nähdään, että sekä lämmitysenergian- että kokonaisprimäärienergiantarpeen vaatimus vaihtelee sen mukaan, missä päin Suomea rakennus sijaitsee.

Vaipan ilmavuotoluvun  $n_{50}$  vaatimus on passiivitaloille  $<0,6$  1/h, sama pätee koko Suomessa. Rakennuksen ilmavuotoluku mitataan työmaalla painekokeessa, jossa sisä- ja ulkotilan välille synnytetään 50 Pascalin paine-ero. Luku ilmoittaa, kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen ilma vaihtuu kyseisessä paine-erossa, eli rakennuksen ilmatiiheyden. Eri talotyyppien ilmanvuotoluvun ohjearvoja on esitetty taulukoissa 1 ja 2.



Kuva 2. Passiivitalon kolmen tunnusluvun vaikutus toisiinsa [3.]

Passiivitalon kolme kriteeriä ovat riippuvaisia toisistaan. Rakennuksen ulkovaipan hyvä ilmantiiveys mahdollistaa pienen lämmitysenergiantarpeen. Pieni lämmitysenergiantarve taas alentaa rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarvetta. Jokaisen kriteerin ollessa tärkeä osa passiivitalon määritelmää, on kuitenkin lämmitysenergiantarvetta kos-

keva kriteeri määritelmän ydin. Tämä ohjaa energiansäästön painopisteen ulkovaipan ratkaisuihin. Ilmavuotoluvun mittaaminen varmistaa toteutuksen laadun ja kokonaisprimäärienergiantarpeen laskeminen varmistaa sen, että rakennuksessa käytettävät laitteet, valaistus ja käytettävä energiamuoto ovat mahdollisimman energiatehokkaita. [3.]

### **3 Puukerrostalojen ominaisuudet ja rakentaminen Suomessa**

Puukerrostaloiksi kutsutaan rakennuksia, joiden kantavat rakenteet ovat pääosin puuta. Puukerrostalot verhoillaan usein puulla, sillä kuluttajat suosivat puuta näkyviin pintoihin. Näin ei kuitenkaan tarvitse tehdä. Rakennusten julkisivujen verhousmateriaalina voidaan myös käyttää tiiltä tai rappauستا. Huhtikuussa vuonna 2011 uudistuneet palomääräykset mahdollistavat puun käytön tietyin edellytyksin myös puukerrostalojen asunnoissa, latioissa, seinissä ja katoissa. [8 s.4.]

Puun käyttö asuntorakentamisessa on Suomessa aina ollut suosittua, mutta se on rajoittunut pientalo- ja vapaa-ajan rakentamiseen. Tällä sektorilla puun markkinaosuus on pysyvästi ollut 80-90 %. Vastaava luku kerrostalorakentamisessa on ollut noin 2 %. Suomessa yksi keskeinen puurakentamista jarruttava tekijä on se, että meillä on erittäin vahva ja osaava betonteollisuus ja teräsrakenneteollisuus. Betonteollisuus aloitti 1970-luvulla ja terästeollisuus 1990-luvulla voimakkaan kehitystyön. Näin ollen ne ovat kehittäneet järjestelmiään pidempään ja systemaattisemmin kuin puutuoteteollisuus. 1990-luvulla puukerrostalorakentamista pyrittiin kehittämään ja lisäämään, mutta hyvä kehittämisvire hiipui jo 2000-luvun alussa. Silloiset pohjoisamerikkalaiset rakennusjärjestelmät olivat hankalia toteuttaa Suomessa, eikä niillä päästy haluttuun rakentamisen tasoon. 2000-luvun lopulla puukerrostalohankkeista kiinnostuttiin uudelleen Ruotsin positiivisten kokemusten perusteella. Suuret metsäyhtiöt alkoivat kehittää puurakentamisen järjestelmiä ja heidän yhteistyöstään syntyi runkoPES, PuuElementtiSysteemi, joka on avoin puuelementtistandardi. PES-järjestelmä vakioi puurakentamisessa rakennusrungon liitosjärjestelmän ja loi näin yhteiset pelisäännöt Suomen puukerrostalorakentamiselle. [9.], [10.]

Puurakentamisen kilpailukyky perustuu asennusnopeuteen ja ekologisuuteen. Puukerrostalon rakentamisen aiheuttamat luonnonvarojen ja energian kulutus sekä hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät kuin tavanomaisilla taloilla. Säästöä tulee niin materiaalien valmistuksessa kuin keveiden osien kuljetuksissa. Lisäksi puurakenteet varastoivat

puuhun kasvun aikana sitoutuneen hiilidioksidin kunnes rakennus poistetaan käytöstä ja puuosat poltetaan energiaksi. Puukerrostaloja koskevat samat energiatehokkuusvaatimukset kuin muitakin vastaavia taloja. Puupinnoilla on myös todettu olevan myönteinen vaikutus sisäilman laatuun, sillä ne tasaavat kosteuden vaihteluita, jolloin pölyn määrä vähenee ja ilma koetaan miellyttävämmäksi. [8 s.5.]

#### **4 Ilmatiivyyden merkitys ja todentaminen**

Ilmavuodot ovat rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välisten paine-erojen aiheuttamaa ilman virtausta. Rakennuksen paine-eroja voivat aiheuttaa mm. ilmanvaihtolaitteet, tuuli, tulisijojen käyttö ja lämpötilaerot. Mikäli rakennuksen ulkovaipan rakenteet eivät ole tiiviisti asennettu, tapahtuvat ilmavuodot rakenteiden läpi. Tämän tyyppiset vuodot voivat olla haitallisia sekä rakenteille, että asukkaille. Ne vaikuttavat asumisviihtyvyyteen, terveyteen, rakenteiden elinikään, rakennuksen energiatehokkuuteen ja tätä kautta myös asumiskustannuksiin. Tiiviissä rakennuksessa ilmanvaihtolaitteiston tulee olla riittävän tehokas ja hyvin tasapainotettu, koska ilma ei vaihdu käytännössä lainkaan vuotokohtien kautta.

Asumisviihtyvyyteen vaikuttaa yleisesti vedontunne ja lämpötilaerot. Erityisesti alapohjien ja ulkoseinien alaosan ilmavuodot tuovat asuntoihin kylmää ilmaa, joka tuntuu asukkaille ikävänä vedon tunteena ja aiheuttaa sisäpintojen kylmenemistä. Esimerkiksi kylmät lattiat ovat yleinen ongelma vanhemmissa taloissa. Vuotavissa rakennuksissa myös tuulinen sää voi lisätä vedon tunnetta ilmanvaihdon kasvaessa.

Ilmanpitävän rakennuksen ilmanvaihtoa ja sisäilman laatua voidaan paremmin kontrolloida. Ilmanvaihtojärjestelmän kautta tuleva ilma voidaan suodattaa epäpuhtauksista, toisin kuin esimerkiksi ikkunan raosta vuotava ilma. Ilmatiiviissä rakennuksessa ulkoilma ja mahdollisesti rakenteissa piilevät haitalliset aineet ja mikrobit eivät pääse virtaamaan sisäilmaan. Erityisesti alapohjan ilmanpitävyys on tärkeää sisäilman laadun kannalta. Ilmanpitävä alapohja estää maaperässä esiintyvän ja terveydelle haitallisen radonkaasun pääsyn sisäilmaan.

Rakenteiden kestävyys kannalta merkittävin tekijä on rakennuksen ilmatiivyyden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Kosteusvauriot syntyvät, kun rakenteeseen pääsee enemmän kosteutta kuin mitä kuivuminen sallii, jolloin rakenteen kos-

teuskuormitus on suurempi kuin sen kuivumisvara. Kosteutta voi päästä rakenteisiin sekä ulko- että sisäkautta. Kosteuskuormituksen aiheuttajia on monia, mutta sisäpuolisen kosteuskuormituksen aiheuttaa usein rakenteiden läpi kulkevat ilmavirtaukset. Lämpimään sisäilmaan sitoutunut kosteus voi kulkeutua konvektion, eli lämmön tai paine-erojen aiheuttamien virtausten avulla ilmavuotokohtista kylmiin rakenteisiin ja tiivistyä niiden pinnalle. Tämä aiheuttaa huomattavan kosteusvaurioriskin. Myös kylmän vuotoilman aiheuttama rakenteiden jäähtyminen aiheuttaa kosteuden tiivistymisriskin.

Hyvän ilmanpitävyyden omaavien rakennusten yksi tärkeimmistä eroista vuotavaan rakennukseen on pienempi energiankulutus. Tiiviissä rakennuksessa lämpö ei pääse karkaamaan ilmavuotokohtien kautta ulos eikä kylmää ilmaa pääse sisään. Koska ilmavuodoista johtuva energiahukka vähenee, lämmitysenergian kulutus pienenee. Kun ilma poistuu ilmanvaihtojärjestelmien venttiilien kautta, koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän toiminta on tehokkaampaa ja lämmön talteenottolaitteistosta saadaan suurempi hyöty. Lämmitysenergian kulutuksen lisäksi ilmatiiviys vaikuttaa myös rakennusten kokonaisenergiankulutukseen. Esimerkiksi pientaloissa kokonaisenergiankulutuksen lisäys on keskimäärin 4% jokaista  $n_{50}$ -luvun kokonaisuusyksikön lisäystä kohti. On kuitenkin huomattava, että todellisuudessa rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen vaikuttaa oleellisesti myös asukkaiden asumistottumukset ja esimerkiksi ilmanvaihdon toiminta. [11.]

Rakennuksen tiivistason määrittämiseen käytetään painekoetta. Paineekoeteessa mitataan 50 Pa paine-eron ylläpitämiseksi tarvittava ilmavirtaus. Virtaus mitataan puhaltimen läpi kulkevasta ilmasta. Jotta koe voidaan suorittaa, on tutkittavan rakennuksen ilmanvaihtoventtiilit ja muut rakennuksen vaippaan tarkoituksellisesti tehdyt aukot suljettava ja tarvittaessa tiivistettävä. Puhallin asennetaan tiiviisti rakennuksen yhteen ovi- tai ikkuna-aukkoon.





Kuva 3. Usean puhaltimen painekoelaitteistolla saadaan mitattua suurempienkin rakennusten ilmatiiveys. [15, s.15.]

Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  saadaan jakamalla saatu ilmavirtauslukema rakennuksen sisätilavuudella.

$$n_{50} = \frac{\dot{V}}{V}$$

$\dot{V}$  = Ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$V$  = rakennuksen sisätilavuus ( $\text{m}^3$ )

Vuonna 2012 uudistunut RakMK:n osa D3 määrittää ilmanvuotoluvun vaipan pinta-alaa kohti  $q_{50}$ -lukuna ( $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ).  $q_{50}$ -luku voidaan laskea  $n_{50}$ -luvusta alla olevalla kaavalla.

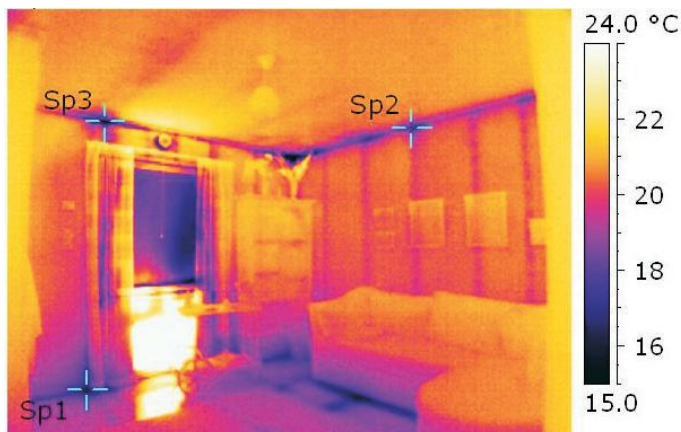
$$q_{50} = n_{50} \cdot \frac{V}{A_E}$$

$A_E$  = rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan lasketuna ( $\text{m}^2$ )

Rakennuksen tilavuuden kasvaessa  $n_{50}$ -luku pienenee, vaikka vaipan ilmanpitävyys ei paranekaan. Tämä johtuu siitä, että rakennuksen sisätilavuuden kasvaessa yleensä myös suhde  $V/A_E$  kasvaa. Pientaloissa suhde vaihtelee tyypillisesti välillä 0,7-1,5 kun taas kerrostaloissa  $V/A_E$  suhde on tyypillisesti välillä 2,0-3,5, jos ilmanpitävyys mitataan koko portaan tai koko rakennuksen mittauksena. Tästä johtuen suuremmissa raken-

nuksissa ulkovaipan todellista ilmanpitävyyttä kuvaa paremmin  $q_{50}$ -luku. Rakennuksen energialukua laskettaessa käytetään ilmanvuotolukua  $n_{50}$ , mutta on suositeltavaa laskea myös  $q_{50}$ -luku.

Pelkkä painekokeen suorittaminen ei yksinään paljasta rakennuksen vuotokohtia. Painekokeen yhteydessä vuotokohtien paikantamiseen suositellaan lämpökamerakuvausta ja merkkisavun käyttöä. Lämpökamerakuvaus tehdään usein kaksivaiheisena, ensin normaaleissa paineolosuhteissa ja sitten aiheuttamalla rakennukseen määritellyt paineolosuhteet. Vertailemalla näitä kahta kuvaa, erotetaan ilmavuotokohtat kylmäsilloista paremmin. Kylmäsillalla tarkoitetaan lämpöeristeen läpäisevää, lämpöä johtavaa rakenneosaa. Vapauttamalla merkkisavua ilmaan huoneiston ollessa ylipaineistettu voidaan seurata mistä kohtaa rakenteita savu imeytyy ulos. Tämä helpottaa mahdollisten vuotokohtien paikantamisen. [11.]



Kuva 4. Kuva otettu normaaleissa paineolosuhteissa. [11.]



Kuva 5. Kuva otettu 50 Pa:n alipaineessa. [11.]



Kuva 6. Ylipainekesteessä vuotokohtia voi paikallistaa merkkisavun avulla. [11.]

Asuinkerrostalojen ilmavuotoluku voidaan osoittaa mittaamalla koko rakennus kerrallaan tai vähintään 20 % huoneistoista. Mikäli mittaus suoritetaan rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla, voidaan enintään 25 % rakennuksen tilojen lämmitetystä nettoalasta rajata mittauksessa pois. [11.]

Tulevassa Eskolantien kohteessa ilmavuotoluku on suunniteltu mitattavaksi koko rakennuksessa kerrallaan, sillä tämä antaa tarkemman kuvan ulkovaipan ilmatiiviyydestä. Painekeste on myös suunniteltu suoritettavaksi kaksi kertaa per rakennus. Ensimmäinen mittaus tulee suorittaa Metsä Wood Oy:n työosuuden ollessa valmis. Näin pystytään varmistamaan höyrynsulkumuovien ehjyys ennen sisäpintojen viimeistelyä, mikä helpottaa mahdollisten korjaustoimenpiteiden tekoa. Koska Metsä Wood Oy:llä on vastuu ulkovaipan tiiveydestä omien rakenteidensa osalta, varmistaa ensimmäinen mittaus heidän työnsä laadun. Toinen mittaus suoritetaan talotekniikan ollessa asennettu, läpivientien ollessa tiivistetty ja sisäpintojen ollessa melkein valmiita. Tällä mittauksella tarkistetaan läpivientien tiivistämistöiden laatu ja samalla Skanska Talonrakennus Oy:n työosuuden laatu.

## 5 Kohteen esittely ja taustatietoa

Tuleva kohde sijaitsee Pukinmäessä Eskolantie 4:ssä ja koostuu neljästä puukerrostaloista. Skanska Talonrakennus Oy on suunnitellut tontille yhden seitsemänkerroksisen, kaksi kuusikerroksista ja yhden viisikerroksisen talon. Kuvassa 7 on esitetty kohteen asemapiirros. Korkein rakennus, talo numero 4, sijaitsee tontin pohjoispäädyssä. Tontin eteläpäädyssä parkkialueen vieressä sijaitsee talo numero 1, joka on kohteen matalin rakennus. Rakennusten rungot ovat puurakenteisia. Hissikuilut, alapohjat ja väestönsuojat sekä portaiden askelmat ovat betonirakenteisia. Sisäpuolen seinäpinnat ovat maalattuja levypintoja ja julkisivut ovat suurimmaksi osaksi rakennuslevyä, joka viimeistellään rappauksella. Julkisivussa on kuitenkin pyritty tuomaan myös puuta näkyville ulokeparvekelinjoissa ja ylimpien kerrosten ulkoseinissä. Näihin pintoihin asennetaan kuningaspaneelia, joka on Metsä Wood Oy:n kehittämä massiivinen puupaneeli. Rakennusten julkisivuja on esitelty kuvassa 8.



Kuva 7. Eskolantie 4:n asemapiirros.



Kuva 8. Eskolantie 4:n julkisivupiirros.

Rakennusten rungon pystytys kuuluu Metsä Wood Oy:n urakkaan. Yrityksen tuoteosa-toimitus perustuu pilari-palkki-laatta järjestelmään. Työ alkaa perustusten ollessa valmiita, jolloin he aloittavat pystyttämällä puisen rungon massiivisista kertopuupilareista ja -palkeista. Rungon päälle asennetaan aluskatteeseen asti valmiit vesikattoelementit, jonka jälkeen rakennus sääsuojataan kiinnittämällä suojamuovia kauttaaltaan julkisivuihin. Seuraavaksi asennetaan välipohjajaelementit, jotka nostetaan paikoilleen rakennusten sivuista. Välipohjien ollessa paikoillaan asennetaan rakennusten julkisivut suurelementteinä ja viimeiseksi asennetaan rakennusten parvekejärjestelmät. Kuvassa 9 havainnollistetaan Metsä Wood Oy:n tuoteosa-toimituksen asennusjärjestystä. Kuva ei liity Eskolantien kohteeseen.



Kuva 9. Metsä Wood Oy:n tuotesatoimituksen vaiheet. [14, s.9.]

## 6 Rakennuksen ilmanpitävyyteen vaikuttavat tekijät

ATT esittää tulevan projektin kulutustavoitteissa ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  arvoksi 0,6 1/h. Kulutustavoitteet ovat ohjeellisia. Urakoitsijan tulee tarjouksessaan esittää omat tavoitteet, jonka mukaan hanke pisteytetään. Skanska Talonrakennus Oy on kuitenkin ottanut tavoitteekseen päästä ATT:n esittämään ilmavuotolukutavoitteeseen. Yritys rakensi vuosina 2011-2012 Myllypuroon rivi-, pari- ja pienkerrostaloja puuelementeistä. Kohteen ilmatiiviysluvun  $n_{50}$  tavoite oli  $< 1,0$  1/h. Tavoitteeseen päästiin, mutta ei aivan ilman ongelmia. Kohteen ilmatiiviysmittauksista ja korjaustoimenpiteistä vastasi Skanska Talonrakennus Oy:n työnjohtaja Jean Toljander. Hänen mukaansa suurimmat vuotokohdat olivat talotekniikan läpivientikohdat. Näissä kohdissa höyrynsulku puhkaistiin ja tiivistettiin uudestaan talotekniikan asennuksen jälkeen. Mitään erityisiä läpivientikapaleita ei käytetty.



Metsä Wood Oy:lla on enemmän kokemusta puukerrostalojen rakentamisesta. Kuitenkaan täysin vastaavaa kohdetta, ilmatiivyyden ja energiatehokkuuden kannalta, ei heidänkään historiastaan löydy. Eskolantien projektissa Metsä Wood Oy:tä edustaa yrityksen kehitys- ja suunnittelupäällikkö Jaakko Länsiluoto. Hänen mukaansa heidän vanha kohteensa, joka on puukerrostalokortteli Viikin Latokartanossa, on rakenneratkaisuiltaan lähimpänä tulevan kohteen suunnitteilla olevia rakenteita. Eskolantiellä tullaan käyttämään pitkälti samoja rakenneratkaisuja ja materiaaleja, muutamia muutoksia lukuun ottamatta. Viikin rakennusten ilmatiivyytluku  $n_{50}$  oli mittausvaiheessa 0,7-0,8 1/h. Länsiluodon mielestä tulevan kohteen ilmatiivystavoitteeseen päästään noudattamalla äärimmäistä huolellisuutta tiivystöiden viimeistelyssä. Hänen mielestään tavoitteeseen pääseminen ei vaadi rakenteellisia muutoksia. Viikin kohteessa vuotokohtia tutkittiin ennen ilmatiivyyttämittausta lämpökameroiden avulla. Useimmiten vuotokohdat löytyivät ikkunoiden ja ovien liitoskohdista sekä tiivistämättömistä läpivientikohdista.

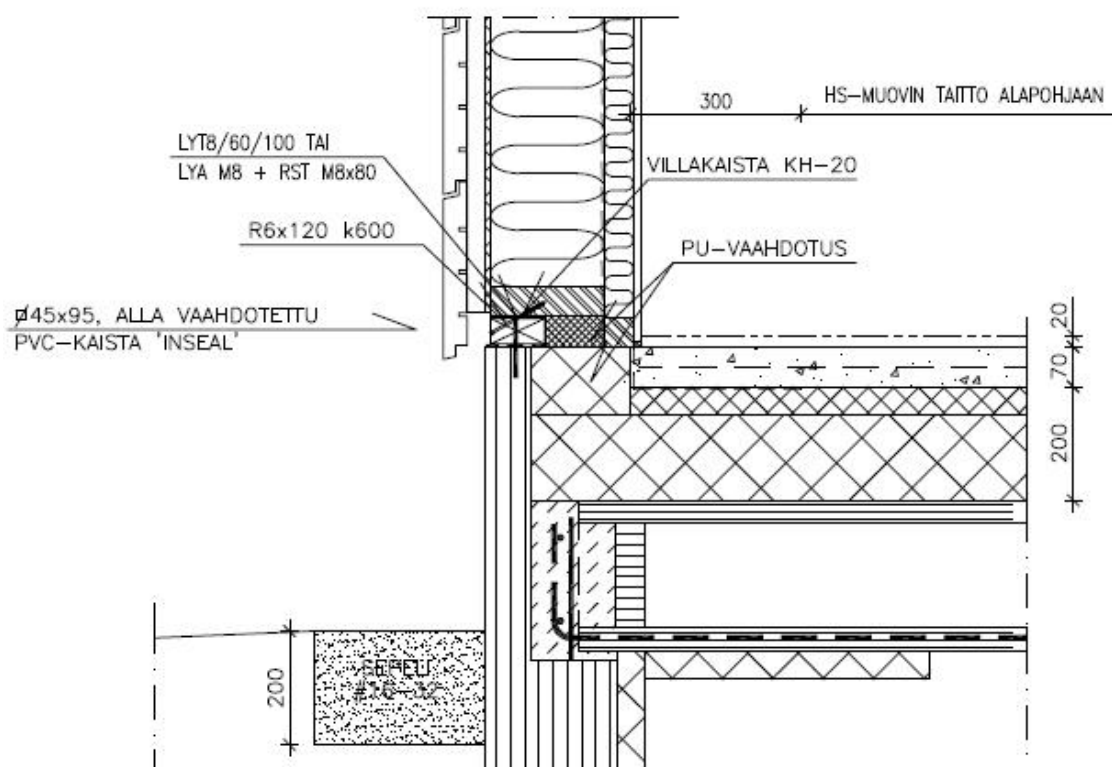
Metsä Wood Oy:n ulkoseinärakenteissa lämmöneristeenä toimii mineraalivilla. Mineraalivilla päästää läpi kosteutta ja ilmaa, joten rakenteiden ilmatiiviyys riippuu höyrynsulun sijainnista rakenteissa ja asennuksen laadusta. Näin ollen nämä kaksi asiaa ovat tärkeimmät tutkimuskohteet Eskolantien rakennusten ilmatiivyyden kannalta. Kohteessa höyrynsulkumateriaalina käytetään höyrynsulkumuovia, joka samalla toimii ilmansulkukerroksena.

Vaikka Metsä Wood Oy:n Viikin kohteen ilmatiivyytluku oli hyvä, ei se riitä Skanskan asettamaan tavoitteeseen. Molempien yritysten aiempien kokemusten perusteella läpivientikohdat sekä ikkunoiden ja ovien liitoskohdat ovat kriittisiä potentiaalisia vuotokohtia. Muita mahdollisia vuotokohtia ovat sellaiset rakenteet, missä höyrynsulku katkeaa ja kahden rakenteen höyrynsulkumuovi tulee limittää. Tällaisia ovat elementtien ja eri rakennusosien liitoskohdat. Koska tämä on yritysten ensimmäinen yhteinen projekti, on tässä opinnäytetyössä valittu tutkittavaksi kaikki edellä mainitut potentiaaliset vuotokohdat. Tällä tavoin Skanska haluaa varmistaa Metsä Wood Oy:n suunnitteleminen rakenteiden toimivuuden ilmatiivyyden kannalta.

## 6.1 Ulkoseinä - Alapohja

Alapohjan ja ulkoseinän välinen ilmanvuoto koetaan usein asumisviihtyvyyttä heikentävänä vetona. Eskolantien kohteessa, kuten Viikin kohteessa, alapohjarakenteena toimii

tuulettuva ontelolaattakenttä. Lämmöneristeeksi asennetaan 200 mm solupolystyreenilevyjä, joiden päälle valetaan 70 mm paksu teräsbetonilaatta. Ulkoseinän rakenne on ulkoa sisälle seuraavanlainen: rapattava julkisivulevy, pystykoolaus 42x198 k600 / lämmöneristevilla 200 mm, polyeteenikalvo, joka toimii höyrynsulkumuovina, pystykoolaus 48x48 k600 / lämmöneristevilla 50 mm ja lopuksi kipsilevy. Seinärakenteissa höyrynsulkumuovi kulkee 50 mm paksun pystykoolauksen takana. Seinän liittyessä alapohjaan höyrynsulku taitetaan alapohjaan niin, että se kulkee valettavan teräsbetonilaatan alla 300 mm vaakasuunnassa.

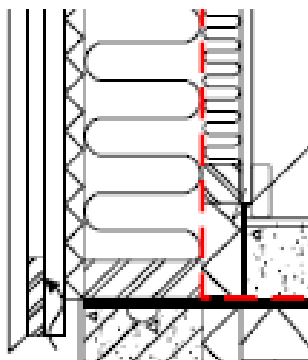


Kuva 10. Ulkoseinä - alapohja liitosdetalji [16.]

Ilmatiiviuden kannalta teoriassa tämä liitos on tiivis, mikäli työ tehdään huolellisesti. Ulkoseinäelementin alareunaan tulee jättää tarpeeksi pitkä höyrynsulkumuovilipare, joka ylettää taittumaan suunnitelmien mukaisesti alapohjaan. Ulkoseinäelementti rakennetaan elementtitehtaalla, joten asia tulee huomioida jo siellä ja tarkistaa työmaalla vastaanoton yhteydessä. Elementin asennusvaiheessa pitää huolehtia, että lipare ei missään vaiheessa jää puristuksiin elementin alle, vaan jää makaamaan alapohjan eristeen päälle. Elementiasennusryhmälle tulee perehdytysvaiheessa selvittää rakenteen tekninen toimivuus ja lipareen tärkeys, jotta sitä ei leikata asennusvaiheessa irti.



Toinen huolellisuutta vaativa vaihe on teräsbetoni-laatan rauditus ja valu. Raudotteet eivät saa missään vaiheessa puhkaista höyrynsulkumuovia. Tämän riskin välttämiseksi muovi voitaisiin vaihtoehtoisesti tuoda suoraan alas teräsbetoni-laatan alapinnan tasoon ja sitten kääntää laatan alle. Ilmansulkukerrosta vasten tulisi vielä asentaa muovieristelevykaista joka suojaisi muovia raudoitukselta. Kuvassa 11 on havainnollistettu ratkaisua. Ilmansulkukerros on merkitty punaisella.



Kuva 11. Höyrynsulkumuovin sijainti ulkoseinä-alapohja liitoksessa. [12,s.28.]

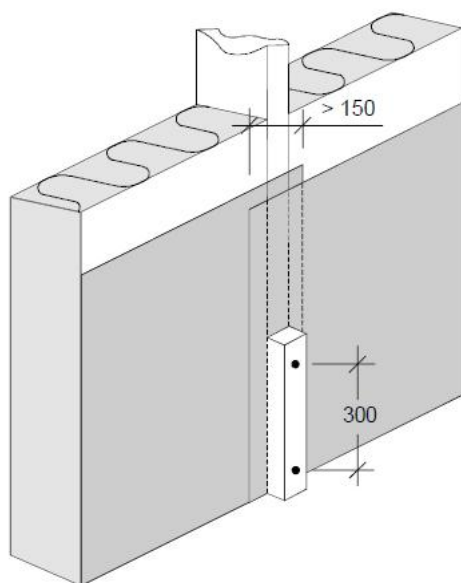
Valuvaiheessa pitää tarkistaa, että muovi jää tasaisesti makaamaan laatan ja eristeiden väliin. Tämän voi varmistaa esimerkiksi kiinnittämällä höyrynsulkumuovi eristelevyihin höyrynsulkuteipillä. Lämmöneristekerroksen yhtenäisyyden varmistamiseksi eristelevyosaumat tulisi vaahdottaa polyuretaanivaahdolla tiiviiksi. Teräsbetoni-laatta puristaa oikein asennetun höyrynsulkumuovin eristettä vasten, jolloin ilmaa ei pääse vuotamaan rakenteisiin. Liitos varmistetaan asentamalla lattianrajaan, rakennuslevyn alle, höyryä ja ilmaa läpäisemätön elastinen rakennuskitti.

## 6.2 Ulkoseinä - Ulkoseinä

Puurankaseinissä höyrynsulkumuovi voidaan sijoittaa joko suoraan sisäpinnan levyn taakse tai noin 50 mm etäisyydelle siitä lämmöneristeen sisään. Eskolantien kohteen seinärakenteissa noudatetaan jälkimmäistä tapaa, joka myös on suositeltavampi hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi. Ilmansulkukerros on silloin paremmin suojassa, eivätkä esimerkiksi seinään lyödyt naulat tee siihen reikiä. Upotetut sähköasiat ja levyn takana kuljetettavat sähköputkitukset voidaan tällöin tehdä rikkomatta ilmansulkukerrosta. Tärkeää on huomioida, että ilmansulun sisäpuolinen lämmöneriste tulee asentaa vasta, kun sisäpuoliset, suurta kosteusrasitusta aiheuttavat työvaiheet on tehty ja suu-

rin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on kuivunut. Esimerkiksi lattian teräsbetonilaa-  
tan valu kuuluu näihin työvaiheisiin. Jos sisäpuolinen lämmöneriste asennetaan liian  
aikaisin, rakennusaikainen kosteus voi kondensoitua ilmansulkukerroksen sisäpintaan  
ja aiheuttaa kosteusvaurioita sisäpinnan levyyn ja lämmöneristeeseen. Eskolantien  
kohteessa tämä pitää ottaa huomioon rakennusaikataulussa. Aikataulussa ja työmaalla  
on varmistettava, että nämä työvaiheet menevät oikeassa järjestyksessä. [12, s.12.]

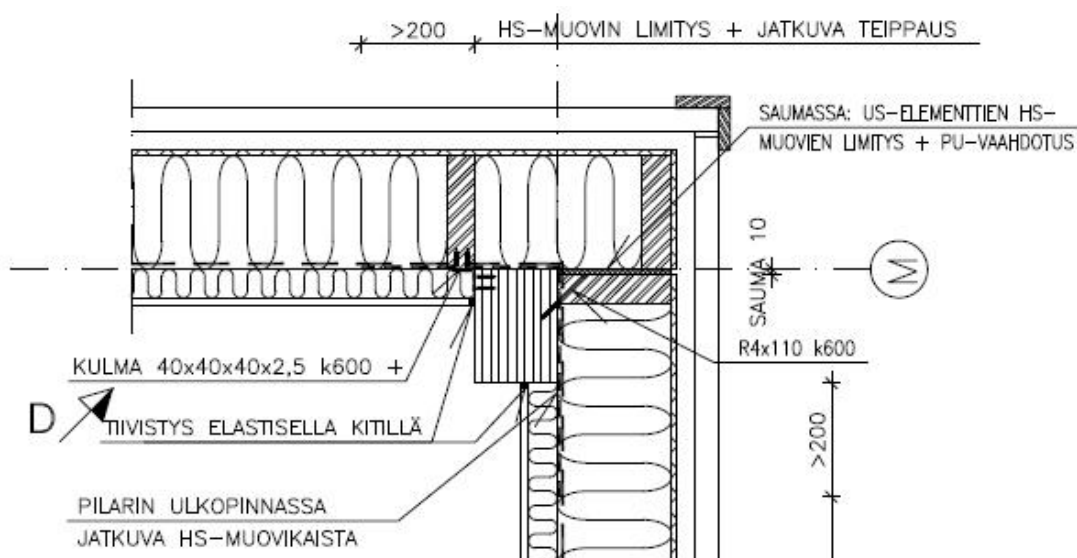
Ulkoseinissä potentiaalisia ilmanvuotokohtia ovat höyrynsulkumuovin jatkoskohdat,  
jotka sijaitsevat elementtien liitoskohdissa nurkissa ja mahdollisesti myös suoralla sei-  
näosalla. Jatkokset saadaan ilmanpitäviksi limittämällä kahden ulkoseinäelementin  
vierekkäiset kalvot. Suositeltava limityksen leveys on vähintään 150 mm. Ilmanpitävyy-  
den varmistamiseksi limityksen reunat tulee joko teipata tarkoitukseen sopivalla teipillä  
tai puristaa limityskohta kahden puun väliin. Puristus tulee varmistaa tiheällä ruuvikiin-  
nityksellä. Naulat eivät sovi kiinnitykseen koska nauloilla puurimojen välille ei saada  
riittävä puristusta ja liitos löystyy puun kuivuessa. Suositeltu ruuvijako on k300. Var-  
min vaihtoehto on teippauksen ja puristusliitoksen yhdistelmä. Tätä suositellaan varsin-  
kin, jos teipin tartuntakyvystä ja pitkäaikaiskestävyydestä ei ole varmuutta. Koska Es-  
kolantien seinärakenteeseen tehdään sisäpuolen koolaus, voidaan puristusliitos toteut-  
taa esimerkiksi runkotolpan ja sisäpuolisen pystykoolauksen väliin. [12, s.14.]



Kuva 12. Periaatekuva kahden ulkoseinäelementin höyrynsulkumuovien limityksestä. [12, s.15.]

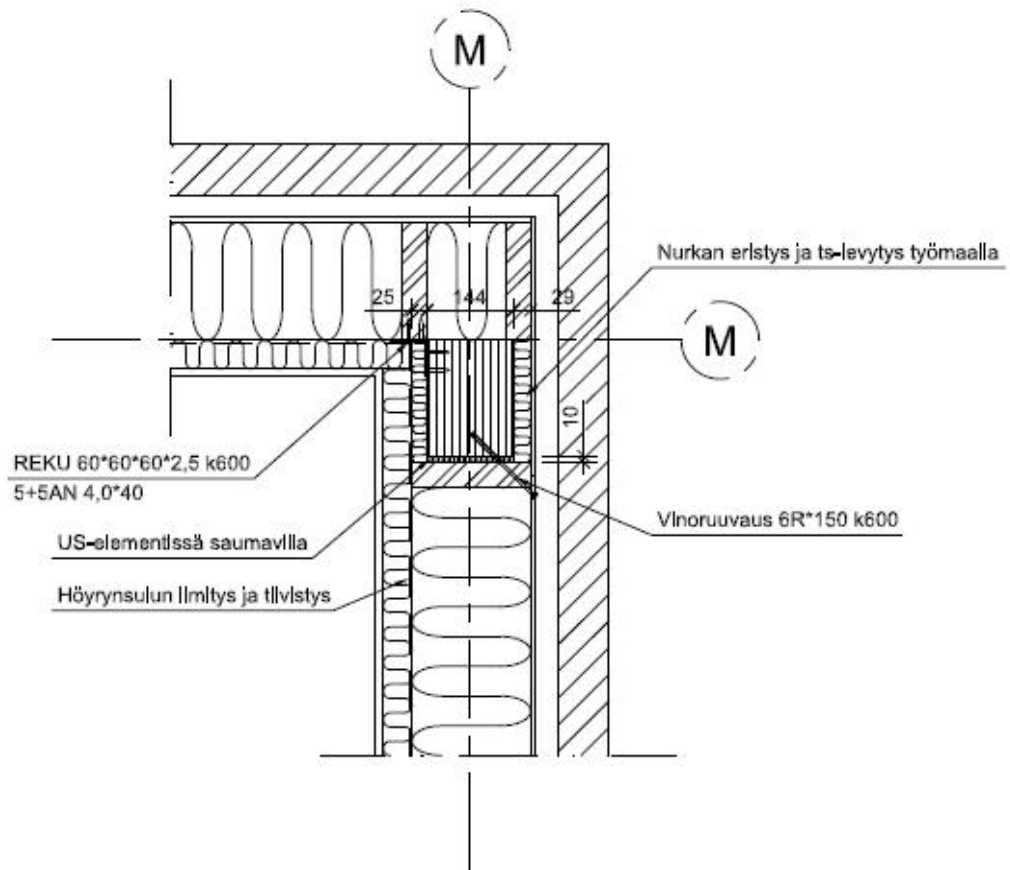
Kuvassa 13 ja 14 on esitetty Viikin kohteen ulkoseinäelementtien nurkkaliitos. Liitos vastaa Eskolantien kohteen vastaavaa liitosta. Nurkissa runkopilari voi sijaita joko ulkoseinän sisäpuolella (kuva 13) tai ulkoseinän sisällä (kuva 14). Koska runkopilarit asennetaan ennen ulkoseiniä, on seinien höyrynsulkumuovit mahdotonta limittää toisiinsa ilman välikappaleita. Tämä koskee nurkkia, missä runkopilari sijaitsee seinän sisäpuolella. Tässä tapauksessa, ennen seinien asennusta, pilarin ulkopuolelle asennetaan ylhäältä alas asti höyrynsulkumuovilipare, joka toimii välikappaleena. Seinäelementtien höyrynsulkumuovit viedään elementtisauman ulkopintaan ja sauma vaahdotetaan tiiviiksi polyuretaanivaahdolla. Välikappaleena toimiva muovilipare yhdistää seinien ilmansulkukerrokset ja se teipataan molempien seinien höyrynsulkumuoviin 200 mm etäisyydellä runkopilarin pinnasta. Ulkoseinäelementtien asennusvaiheessa tulee olla erityisen tarkka, että lipare pysyy suorassa pilarin takana ja limitys riittää molemmille seinille. Tarkkuutta pitää myös olla elementtisauman tiivistämisessä. On tarkistettava, että höyrynsulkumuovi ei jää ryppyyn elementtien väliin.

Yksi puristusliitos syntyy runkopilarin ja toisen seinäelementin runkotolpan välillä. Suunnitelmissa tämän liitoksen ruuvikiinnityksen jako on k600. Jaon voisi tiivistää suositeltuun k300 varmistaakseen liitoksen puristuksen riittävyyden. Nurkkaliitoksen pitkäaikaiskestävyyden voisi vielä varmistaa tekemällä puristusliitoksen myös toiseen seinäelementtiin. Kiinnittämällä toisen runkotolpan kuvassa 13 ylemmän elementin runkopilarin vieressä olevaan runkotolppaan höyrynsulun limitys saataisiin puristettua pystykoolauksen avulla.



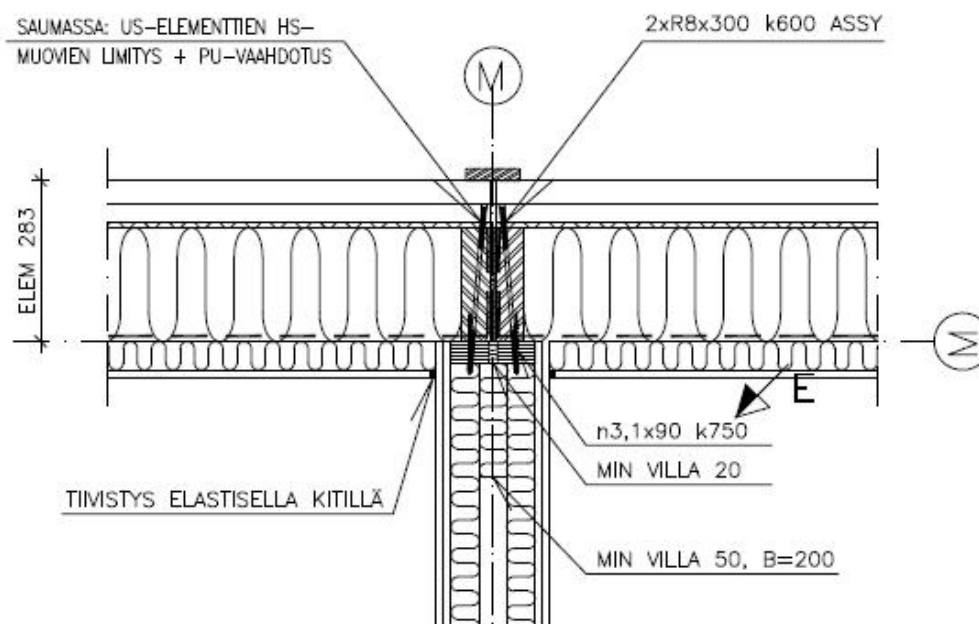
Kuva 13. Ulkoseinäelementtien nurkkaliitos missä runkopilari sijaitsee seinien sisäpuolella. [16.]

Nurkissa, missä runkopilari sijaitsee seinien sisällä, ilmansulkukerrosten limitys on helpommin toteutettavissa. Välikappaletta ei tarvitse käyttää. Puristusliitos voidaan toteuttaa kuvassa 14 alemman seinäelementin runkotolpan ja pystykoolauksen väliin. Seinärakenteissa puristusliitosten kohdalla on kylmäsilnan riski, sillä seinän ulkopinnasta sisäpintaan on pelkästään puuta. Kylmäsilta-vaikutuksen katkaisemiseksi on suositeltavaa käyttää hyvin lämpöä eristävää tuulensuojalevyä seinärakenteen ulkopinnassa.



Kuva 14. Ulkoseinäelementtien nurkkaliitos, missä runkopilari sijaitsee seinien sisällä. [16.]

Kuvassa 15 on esitetty ulkoseinäelementtien liitos huoneistojen välisen seinän kohdalla. Tässä kohdassa seinien höyrynsulkumuovit viedään elementtisauman ulkopintaan ja sauma tiivistetään polyuretaanivaahdolla. Teoriassa tämä liitos on tiivis, mutta ilmanpitävyyden varmistamiseksi sauman ulkopuolelle voisi asentaa ilmaa läpäisemättömän elastisen rakennuskitin.

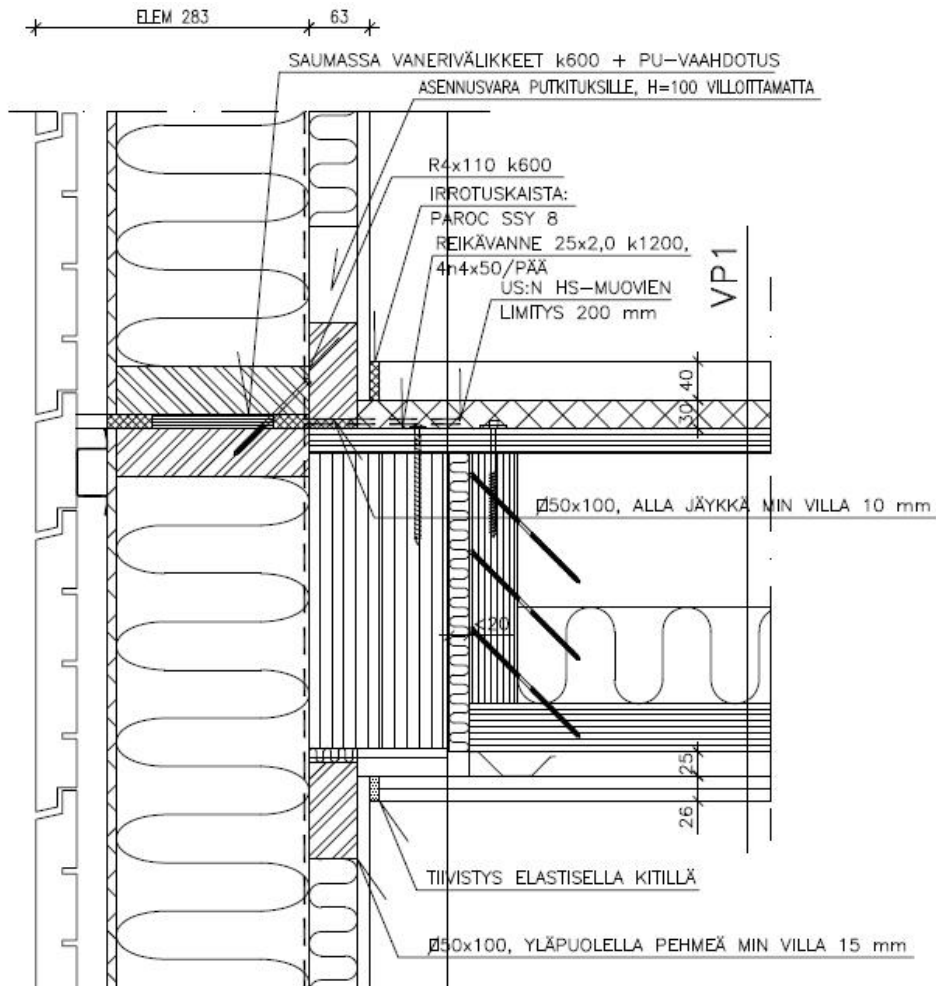


Kuva 15. Ulkoseinäelementtien liitos huoneistojen välisen seinän kohdalla. [16.]

### 6.3 Ulkoseinä - Välipohja

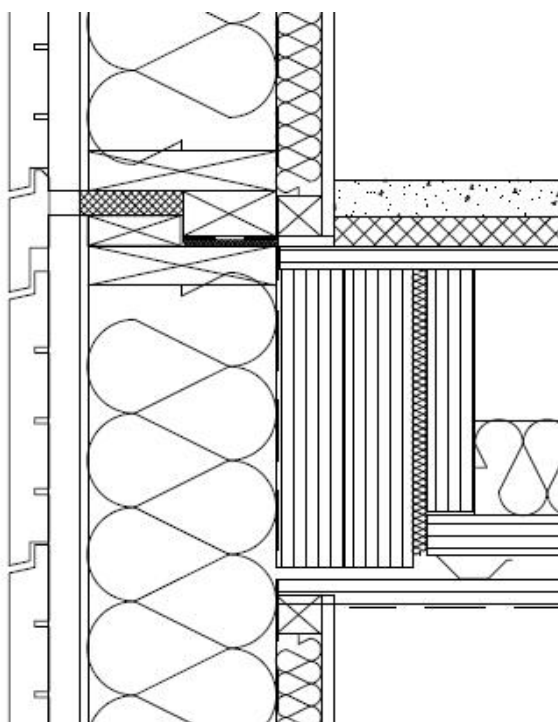
Kuvassa 16 on esitetty välipohjan liittyminen ulkoseiniin. Metsä Wood Oy:n ilmoittaman tuoteosien asennusjärjestyksen mukaan välipohjaelementit asennetaan ensin ja ulkoseinäelementit vasta tämän jälkeen. Liitoksessa seinäelementtien ilmansulkumuovit taitetaan välipohjan päälle niin, että ne kulkevat 200 mm vaakasuunnassa välipohjan päälle asennettavan askeläänieristeen ja valettavan lattiatasoitteen alla. Kuten ulkoseinän ja alapohjan liitoksessa valettava lattiatasoite puristaa ilmansulkumuovit välipohjaa vasten tiivistäen kyseisen liitoksen. Laatan paino ei kuitenkaan vastaa alapohjan päälle valettavaa teräsbetoni-laattaa. Näin ollen ilmanpitävyyden varmistamiseksi seinistä tulevat muovilipareet tulisi teipata tarkoituksenmukaisella teipillä tiiviisti välipohjaelementin yläpintaan. Elementtitehtaalla tulee varmistaa ulkoseinien ilmansulkumuovilipareiden pituus, jotta ne yltyvät taittumaan välipohjan päälle suunnitelmien mukaisesti. Ele-

menttien asennusvaiheessa on tarkistettava, että muovilipareet eivät jää puristuksiin seinäelementtien väliin. Seinäelementtien sauma tiivistetään polyuretaanivaahdolla. Tämä varmistaa liitoksen ilmanpitävyyden. Mikäli liitos toteutetaan huolellisesti suunnitelmien mukaan, on liitos tiivis.



Kuva 16. Välipohjan liittyminen ulkoseiniin. [16.]

Kuvassa 17 on esitetty vaihtoehtoinen välipohjan liittymä ulkoseinään. Tätä liitosta on suunniteltu Eskolantien kohteeseen. Liitoksessa ulkoseinien ilmansulkumuovi taitetaan ulkoseinäelementtien väliin. Muovi voidaan teipata kunkin ulkoseinän kohdalla valmiiksi paikoilleen elementtitehtaalla. Näin ollen asennusryhmän ei tarvitsisi huolehtia muoviliipareiden kohdistamisesta ja asennusvaiheen riskit pienentyisivät. Liitoksen tiiviys varmistetaan vaahdottamalla elementtisaumat polyuretaanivaahdolla. Tässäkin tapauksessa seinäelementtien höyrinsulut jäävät puristukseen ja liitoksen muutokset, verrattuna alkuperäiseen, eivät teoriassa vaikuta liitoksen ilmanpitävyyteen.



Kuva 17. Vaihtoehtoinen välipohjan liittämätarkaisu. [17.]

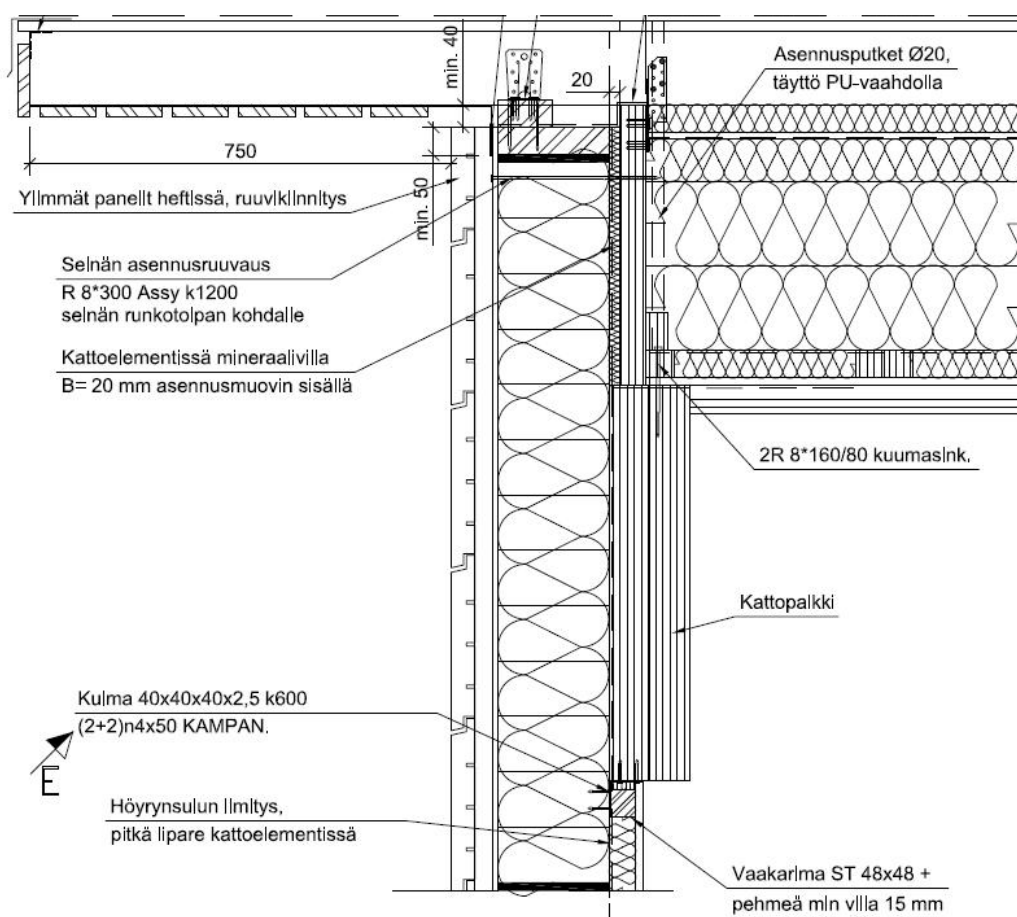
#### 6.4 Ulkoseinä - Yläpohja

Kuvassa 18 on esitetty yläpohjan liittyminen ulkoseinään kantavan kattopalkin kohdalla. Kuvan mukaan tässäkin liitoksessa käytettäisiin höyrinsulkumuovista välikappaletta elementtien muovien liittämiseen. Metsä Wood Oy:n rakennesuunnittelija Asko Kerosen mukaan asia ei kuitenkaan ole näin. Todellisuudessa yläpohjaelementistä jätetään tarpeeksi pitkä höyrinsulkumuoviliipare, joka taitetaan kattopalkin taakse ja limitetään ulkoseinäelementin höyrinsulun kanssa kattopalkin alapuolelle. Limitys on suunniteltu vähintään 300 mm pitkäksi. Ulkoseinän höyrinsulkumuovi jatkuu elementin yläpäähän.



Höyrynsulkumuovi jää puristuksiin yläpohjaelementin ja kattopalkin väliin. Tämä ei kuitenkaan varmista limityksen pitkäaikaiskestävyyttä, koska limityksen kestävyys jää teippauksen varaan. Pitkäaikaiskestävyyden varmistamiseksi on suositeltavaa, että limityskohtaan toteutetaan puristusliitos vaakaan.

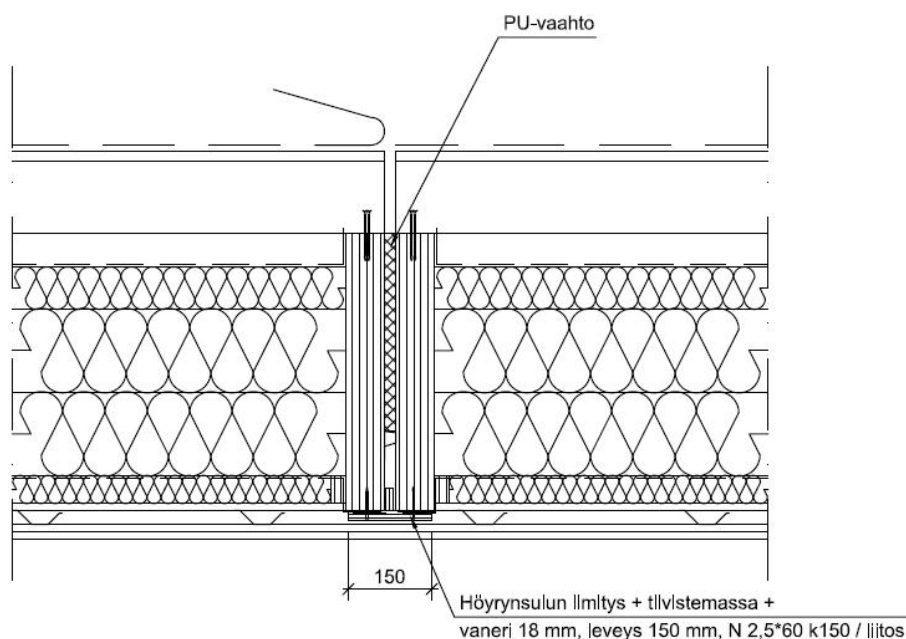
Elementtien asennusvaihe vaatii huolellisuutta asennusryhmältä. Elementtitehtaan tulee yläpohjaelementin valmistuksen aikana huolehtia höyrynsulkumuoviliipareen riittävästä pituudesta. Asennusryhmän tulee tarkistaa tämä myös asennuksen yhteydessä. Lisäksi asennuksen yhteydessä tulee tarkastaa, että muoviliipare asettuu tasaisesti kattopalkkia vasten ja että vaadittu 300 mm:n limitys toteutuu kaikissa kohdissa. Mikäli liitos toteutetaan suunnitelmien mukaan, on se teoriassa ilmanpitävä.



Kuva 18. Yläpohjan liittyminen ulkoseinään. [16.]



Kattoelementtien saumakohtien liitosdetalji on teoriassa ilmatiivis. Elementtien höyrynsulkumuovi taitetaan palkkien alle ja limitetään. Limityksen leveys on 150 mm ja varmistettu 18 mm paksun vanerilevyn avulla toteutetulla puristusliitoksella. Puristusliitoksen ruuvien jako on suositeltu k150. Liitos viimeistellään vaahdottamalla elementtien väli polyuretaanivaahdolla. Kuvassa 19 on esitetty liitoskohdan suunnitelma.



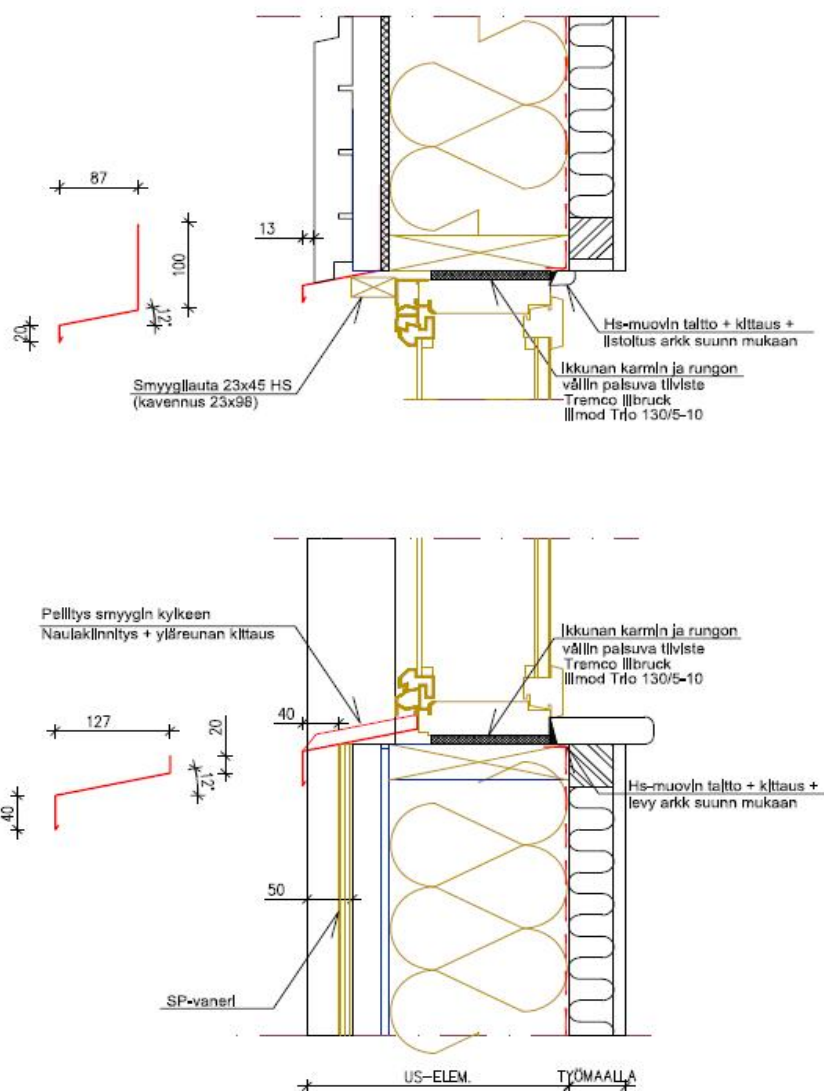
Kuva 19. Kattoelementtien liittyminen toisiinsa. [16.]

## 6.5 Ikkunat ja ovet

Eskolantien kohteen ikkunat asennetaan ulkoseinäelementteihin jo elementtitehtaalla. Asennuksen suorittavat elementtitehtaan asentajat Metsä Wood Oy:n suunnittelemien detaljien mukaan. Näin toimittiin myös Metsä Wood Oy:n edellisessä kohteessa Viikissä. Kuten kuvassa 20 näkyy, ulkoseinän höyrynsulkumuovi taitetaan seinäelementin runkopalkkia vasten. Karmin ja rungon väliin asennetaan paisuva tiiviste, joka puristaa höyrynsulkumuovin palkkia vasten tiivistäen liitoskohdan. Ilmanpitävyys varmistetaan kittaamalla liitos sisäpuolelta tarkoituksenmukaisella kitillä.

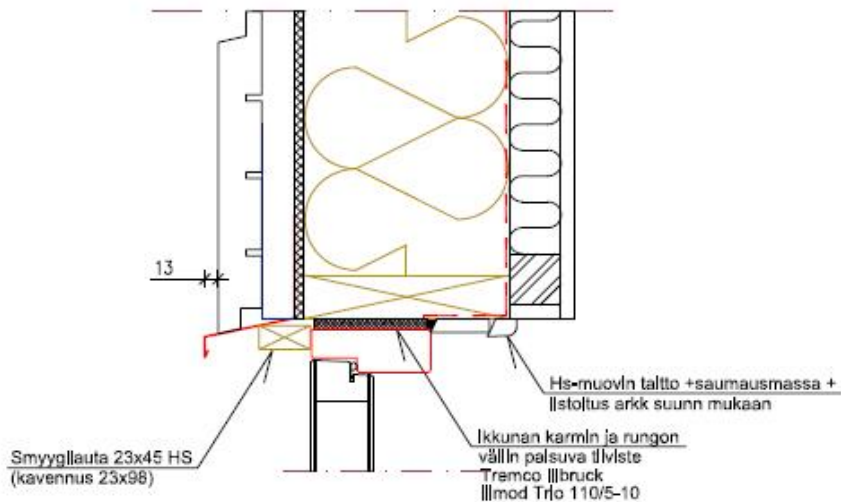
Seinäelementin höyrynsulkumuovi taitetaan ikkunan karmin ja rungon väliin vasta työmaalla. Elementin tullessa työmaalle höyrynsulkumuovi kulkee yhtenäisenä ikkunan sisäpuolella. Muovin on tarkoitus suojata ikkunaa ensimmäisten sisätyövaiheiden aika-

na, jotka voivat aiheuttaa kosteusvaurioita ikkunoille. Kun rakennusaikainen kosteus on kuivunut, muovi leikataan ikkunan ympäriltä, taitetaan paikoilleen ja tiivistetään suunnitelmien mukaan. Skanska Talonrakennus Oy:n työnjohtaja Reijo Rämäsen mukaan riskinä tässä työjärjestyksessä on, että muovi leikataan liian lyhyeksi ja se ei riitä taitumaan rungon ja tiivisteiden väliin eikä näin ollen puristu tiiviisti runkoa vasten. Tässä tapauksessa liitoskohtaan syntyy mahdollinen vuotokohta. Tämän riskin välttämiseksi ja liitoksen ilmanpitävyyden varmistamiseksi liitoksen tiivistäminen pitäisi suorittaa elementtitehtaalla ikkuna-asennuksen yhteydessä. Näin voitaisiin varmistaa, että höyryn-sulkumuovi taitetaan tarpeeksi syväälle. Liitoksen kittaus tulisi kuitenkin tehdä työmaalla. Ikkunan eteen tulisi elementtitehtaalla asentaa erillinen suojamuovi kaistale, joka poistettaisiin työmaalla kosteuden tasaannuttua.



Kuva 20. Ikkunakarmin ylä- ja alareunan liittyminen ulkoseinään. [16.]

Oven liitoskohta (kuva 21) ja sen tiivistäminen on täysin vastaava kuin ikkunan. Koska lopulliset ovet asennetaan vasta työmaalla, ei liitoksen tiivistystöissä ilmene vastaavia riskejä kuin ikkunan liitoksessa.



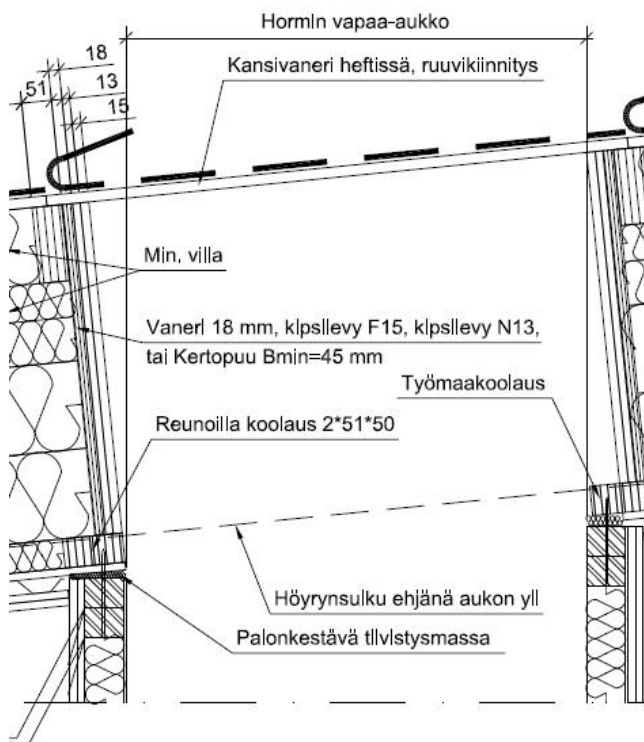
Kuva 21. Ovikarmin liittyminen ulkoseinään. [16.]

## 6.6 Lämpiviennit ja varaukset

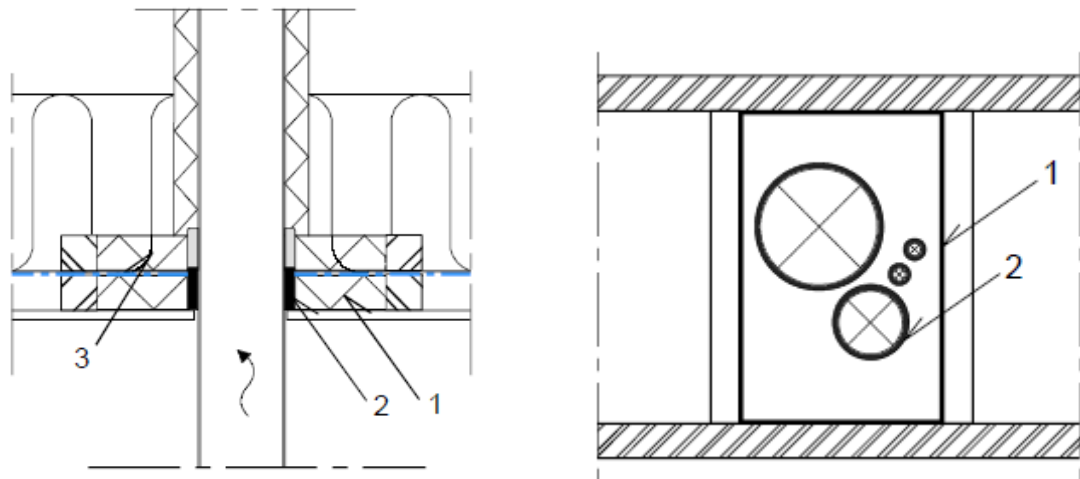
Lämpivientejä on rakennuksessa paljon ja jo yksi tiivistämätön läpivienti vaikuttaa oleellisesti rakennuksen ilmanpitävyyteen. Näin ollen läpivientien ja varausten tiiviys on usein ratkaisevassa asemassa rakennuksen ilmanpitävyyden kannalta. Lämpivientien tiiviiden hallitsemiseen vaikuttavat jo suunnittelupöydällä tehtävät ratkaisut. Mallintamalla rakennuksen rakenteet ja lisäämällä malliin kaiken talotekniikan voidaan läpivientikohdat päättää etukäteen ja näin valita ilmatiiviiden ja rakenteiden muun toimivuuden kannalta edullisin kohta. Kun läpivientikohdat on suunniteltu tarkasti etukäteen, voidaan suuri osa varauksista ja läpivientikappaleista esivalmistella ja asentaa valmiiksi elementtitehtaalla. Tämä vähentää työmaalla tehtävien reikien määrää. Jokaisen ilmastointi-, lämpö-, vesi- ja sähköputken läpivientiä on vaikeata suunnitella etukäteen, mutta etukäteen voidaan kuitenkin päättää alueet, mihin läpiviennit keskitetään. Tämä helpottaa tiivistystöiden valvontaa ja tarkastelua työmaalla.

Kerrostaloissa talotekniikka pyritään usein nostamaan kerroksesta toiseen aina vesikattolle asti keskitetyksi hormien kautta. Hormeille tulee elementtitehtaalla tehdä varaus etukäteen. Kuvassa 22 on esitetty hormivarauksen sijoitus yläpohjaan. Kuvan suunnit-

telman mukaan hormissa kulkevat putket tulisi viedä höyrynsulkumuovista läpi ja tiivistää jälkikäteen esimerkiksi teipillä. Puurankarakenteissa, joiden ilmansulkuna on kalvo, usean putken läpivientien tiivistämiseen on kuitenkin suositeltavaa käyttää solumuovieristyslevyistä tehtyjä kauluksia (1). Läpivientikohtaan vaahdotetaan puurakenteiden väliin jäykkä solumuovieristyslevy, johon läpivientiputket voidaan sen jälkeen tiivistää vaahdottamalla (2). Ilmansulkukalvon tiivistys kaulukseen voidaan tehdä esimerkiksi teippaamalla tai jättämällä kalvo kahden solumuovieristyslevyn väliin (3). Kuva 23 esittää edellä mainittujen ratkaisujen periaatteet. [12, s.84.]

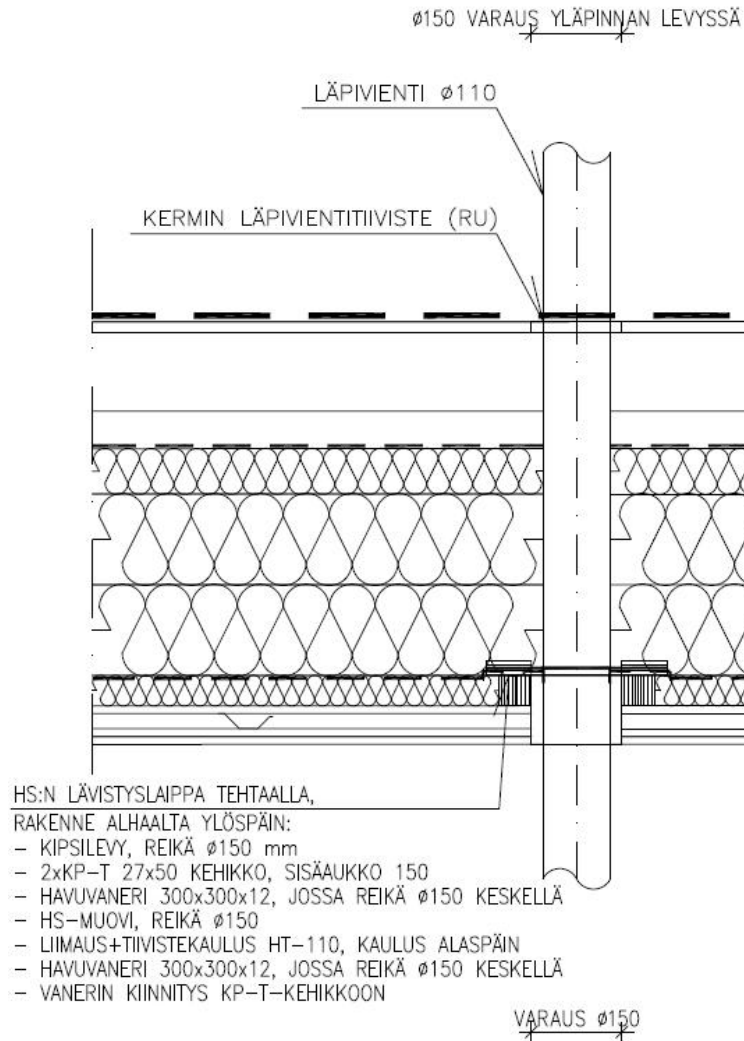


Kuva 22. Yläpohjan hormivaraus. [16.]



Kuva 23. Putkiläpivientien tiivistäminen solumuovieristyslevykauluksella kuvattu sivulta ja yläpuolelta. [12, s.86.]

Yksittäisten putkien tiivistys voidaan tehdä läpivientilaipoilla. Mikäli ympäröivä pinta on riittävän jäykkä, voidaan putkiläpiviennit tiivistää myös vaahdottamalla tai elastisella kitillä. Läpivientilaipat helpottavat höyrynsulun läpivientikohdan tiivistämistä. Tiivistyskappaleita löytyy myös vesikaton pintarakenteiden läpäisemiseen, mutta rakennuksen ilmanpitävyyden kannalta höyrynsulun läpäiseminen on ratkaisevampaa. Kuvassa 24 on esitetty Metsä Wood Oy:n Viikin kohteen yläpohjan läpivientiä. Putken tiivistämiseen on käytetty Vilpen HT-110 tiivistekaulusta. Kyseistä tiivistekaulusta löytyy erikokoisena ja valmistajia löytyy monta. Halkaisija vaihtelee 50-130 mm välillä. Kuvassa 25 on esitetty kyseisen läpivientikappaleen kokoja ja hintatietoja. Tämän opinnäytetyön puitteissa ei kuitenkaan tutkita eri tiivistyskappalevaihtoehtoja. Läpivientikappaleiden käyttö ei itsessään varmista läpivientien ilmanpitävyyttä. Työn huolellisuudella on suuri vaikutus läpiviennin ilmanpitävyyteen valitusta tiivistysmenetelmästä huolimatta. Näin ollen läpivientien ilmatiiviuden varmistamiseksi rakennusprojektissa tulee painottaa läpivientien suunnitelmien tarkkuuden, huolellisen asennustyön ja töiden valvomisen tärkeyttä.



Kuva 24. Yksittäisen putken läpivienti yläpohjasta. [16.]

### Höyrysulun tiivisteet

	Ø mm	Pakkaus	Tuotenro	€/kpl ALV 0%	EAN -koodi
<b>HÖYRYSULUN TIIVISTE</b> Valmistettu EPDM-kumista. HT on 30 mm korkea.	HT-50 Ø 50	20	71205	18,15	6417323712055
	HT-75 Ø 75	20	71207	18,70	6417323712079
	HT-110 Ø 110	20	71211	20,10	6417323712116
	HT-125 Ø 125	20	71213	21,05	6417323712130
	HT-160 Ø 160	20	71216	33,70	6417323712161
HTH on 130 mm korkea.	HTH-110 Ø 110	20	71212	21,70	6417323712123



Kuva 25. Vilpe Oy:n höyrinsulun läpäisemiseen tarkoitetut tiivistyskappaleet. [18, s.32.]

## 7 Yhteenveto

Tiuhaan tahtiin tiukentuvat rakentamismääräykset ja asunnonostajien ympäristötietoisuus pakottavat rakennuttajia valitsemaan energiatehokkaita rakenneratkaisuja uusiin kohteisiin. Koska puu mielletään ympäristöystävällisenä rakennusmateriaalina, on sen käyttö lisääntynyt matalaenergiarakentamisen kasvun myötä. Näin ollen voi sanoa, että Eskolantien kohde on malliesimerkki Suomessa suosioon nousseista rakentamistrendeistä.

Sekä puukerrostalorakentaminen että matalaenergiarakentaminen ovat kuitenkin suhteellisen uusia rakennuskonsepteja Suomen rakennusyrityksille. Varmistaakseen suunniteltujen rakenteiden teknisen toimivuuden ja lopputuloksen korkeatasoisen laadun päätti Skanska Talonrakennus Oy tutkia Eskolantien hankkeen tiiveyteen liittyviä rakenneratkaisuja. Matalaenergiarakentaminen on kokonaisvaltainen rakennuskonsepti ja lopputulokseen vaikuttaa moni hankkeen aikana tehdyistä valinnoista. Ilmatiiviillä ulkovaipalla mahdollistetaan kuitenkin muiden, rakennuksen energiatehokkuuden kannalta merkittävien tekijöiden suurempi vaikutus. Tämän lisäksi hyvällä ilmatiiviydellä pystytään parantamaan asukkaiden viihtyvyyttä sekä rakenteiden teknisiä ominaisuuksia. Näiden perusteella rakennuksen ilmatiiviyden tulisi olla hyvin keskeisessä roolissa hanketta suunnitellessa.

Puutalojen ilmatiiviyttä ja elementtien liitoksia suunniteltaessa ja toteutettaessa tärkeimmät huomioon otettavat asiat ovat työryhmän perehdyttäminen rakenteen tekniseen toimivuuteen, höyrynsulun sijoittaminen rakenteeseen ja höyrynsulun limityksien toteuttaminen. Työryhmän perehdytyksellä vähennetään turhia virheitä asennuksen yhteydessä. Hyvä työtulos on helpommin saavutettavissa kun asennusryhmä ymmärtää, miksi asioita tehdään tietyllä tavalla. Tämä parantaa myös työmotivaatiota. Motivoinut työryhmä tekee todennäköisemmin myös huolellisempaa työtä ja kuten opinnäytetyössä aikaisemmin todettiin, on työn huolellisuudella suuri vaikutus lopputulokseen. Höyrynsulun oikealla sijoittamisella rakenteeseen varmistetaan höyrynsulun ehjyys muiden työvaiheiden aikana ja näin varmistetaan myös sen toimivuus. Limitysten toteuttamistavalla voidaan vaikuttaa höyrynsulun ja samalla koko rakennuksen ilmanpitävyyden pitkäaikaiskestävyyteen. Jotta nämä asiat toteutuisivat, on kaikkia työvaiheita valvottava huolellisesti.



Eskolantien rakennushanketta varten tutkituista detaljeista ei ilmennyt rakenneongelmia, mitkä vaikuttaisivat rakennusten ilmatiiviyteen. Kaikki liitoskohdat ovat suunnitelmien mukaan ilmatiiviitä. Näin ollen hankkeelle asetettu ilmatiivystavoite on suunnitelmien perusteella saavutettavissa. Parannusehdotuksilla pyritään kuitenkin parantamaan liitosten pitkäaikaiskestävyyttä, minimoimaan asennusaikaisia virheitä sekä varmistamaan tavoitteiden saavutettavuutta. Hyvällä pitkäaikaiskestävyydellä rakennuksen ilmatiivystaso pysyy samana pidemmän aikaa, jolloin siitä saatava hyöty on suurempi. Minimoimalla asennusaikaiset virheet mahdollistetaan ilmatiivystavoitteen saavuttaminen ilman ylimääräisiä töitä, jolloin vältetään lisäkustannuksilta. Tämän opinnäytetyön liitteeksi laadittiin tarkastuslista, missä jokaisen liitoskohdan tärkeimmät parannusehdotukset on mainittu lyhyesti. Tämän tarkastuslistan tarkoitus on auttaa ilmatiivystyön tehtäväsuunnittelua työmaalla.

Tämän tutkimuksen tulokset tulisi tarkastaa kyseisen kohteen tai samankaltaisen kohteen valmistuttua. Näin voitaisiin tutkia liitosten ja parannusehdotusten toimivuutta, sekä tarpeen vaatiessa jatkaa puukerrostalojen tiiveyteen liittyvien rakenteiden kehittämistä, jotta ilmatiiviistä rakennuksesta saatava hyöty voitaisiin maksimoida.



## Lähteet

- 1 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2010. RIL 249-2009, Matalaenergiarakentaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry
- 2 Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa D3
- 3 Verkkodokumentti,  
[http://www.passiivi.info/download/passiivitalon\\_maaritelma.pdf](http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf), luettu 11.1.2013
- 4 Verkkodokumentti,  
[www.betoni.com/Download/22478/Betonirakenteiset\\_pientalot.pdf](http://www.betoni.com/Download/22478/Betonirakenteiset_pientalot.pdf), luettu 25.1.2013
- 5 Verkkodokumentti,  
<http://www.metsagroup.fi/Metsagroup/rakennejaomistus/Pages/Default.aspx>, luettu 15.2.2013
- 6 Verkkodokumentti, <http://www.metsawood.fi/yritys/Pages/Strategia.aspx>, luettu 15.2.2013
- 7 Suomen Rakentamismääräyskokoelma osa D2
- 8 Verkkodokumentti,  
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalo/puukerrostalo.pdf>, luettu 19.2.2013
- 9 Verkkodokumentti,  
[http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS\\_0\\_201\\_354\\_404\\_1325\\_43/http%3B/tekes-ali1%3B7087/publishedcontent/publish/fi\\_content/campaigns/puuska/lisaa/puukerrostalorakentaminen.pdf](http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0_201_354_404_1325_43/http%3B/tekes-ali1%3B7087/publishedcontent/publish/fi_content/campaigns/puuska/lisaa/puukerrostalorakentaminen.pdf), luettu 19.2.2013
- 10 Verkkodokumentti,  
<http://www.puuinfo.fi/ajankohtaista/puukerrostalorakentamisen-teollisen-prosessin-lapimurto-on-tapahtunut>, luettu 19.2.2013
- 11 Rakennustieto, RT-kortisto, korttinumero: RT 80-10974
- 12 Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

- 13 Verkkodokumentti, <http://www.skfastening.fi/WebRoot/1134990/Page.aspx?id=1135154>, luettu 27.3.2013
- 14 Verkkodokumentti, <http://www.metsawood.fi/ammattirakentaminen/kerrostalojarjestelma/Pages/Default.aspx> , luettu 28.3.2013
- 15 Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka. 2012. Tutkimusraportti 160, Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- 16 Metsä Wood Oy:n Viikin kohteen rakennepiirustukset
- 17 Insinööritoimisto Asko Kerosen tekemä luonnos Eskolantien ulkoseinä-välipohja liitoksesta
- 18 Verkkodokumentti, [http://www.vilpe.com/Suomeksi/Loivat\\_katot/Esitteet](http://www.vilpe.com/Suomeksi/Loivat_katot/Esitteet) , Vilpe ja SK-fastening hinnasto 2013, luettu 3.4.2013

## Rakenteiden ilmanpitävyys - Tarkastuslista

### Ulkoseinä - Alapohja

- Asennusryhmä perehdytetty rakenteen teknisestä toimivuudesta
- Ulkoseinän höyrynsulkumuovilipareen pituus tarkistettu elementin vastaanoton ja asennuksen yhteydessä
- Höyrynsulku ei saa jäädä puristuksiin seinäelementin alle
- Ulkoseinäelementin höyrynsulku taitettu alapohjaan suunnitelmien mukaisesti
- Lipare teipattu eristelevyihin höyrynsulkuteipillä
- Alapohjan lämmöneristekerros vaahdotettu polyuretaanivaahdolla tiiviiksi
- Teräsbetoniilaatan raudoitustyön yhteydessä höyrynsulkumuovin suojaus, raudoitus ei saa puhkaista höyrynsulkumuovia
- Valun jälkeen lattiarajan kittaus höyryä ja ilmaa läpäisemättömällä elastisella rakennuskitillä

### Ulkoseinä - Ulkoseinä

- Höyrynsulun limitys vähintään 150 mm
- Limitys teipattu ja puristusliitos toteutettu, puristus tiheällä ruuvikiinnityksellä k300
- Höyrynsulun sisäpuolen lämmöneristekerros tulee asentaa vasta suurta kosteusrasitusta aiheuttavien työvaiheiden (esim. lattiavalut) jälkeen
- Ulkoseinäelementtien liitoksen (suora liitos) ulkopuolen kittaus

### **Ulkoseinä - Välipohja**

- Ulkoseinäelementtien höyrynsulkumuovilipareiden pituuden tarkistus asennusvaiheessa
- Höyrynsulku ei saa jäädä puristuksiin seinäelementin alle
- Höyrynsulkumuovin taitto ja teippaus välipohjan yläpintaan, askeläänieristeen alle
- Ulkoseinäelementtien vaakasauman tiivistys polyuretaanivaahdolla

### **Ulkoseinä - Yläpohja**

- Yläpohjaelementin lipareen pituuden tarkistus, limitys vähintään 300 mm tai suunnitelmien mukaan
- Ulkoseinän höyrynsulku jatkuu elementin yläpäähän
- Limityksen varmistaminen puristusliitoksella vaakaan
- Yläpohjaelementtien väliset saumat, HS-limitys vähintään 150 mm tai suunnitelmien mukaan
- Puristusliitos ja ruuvien jako k150, mikäli puristus toteutetaan 18 mm vanerilevyllä
- Sauman vaahdotus polyuretaanivaahdolla

### **Ikkunat ja ovet**

- Höyrynsulun taitto runkopalkin ja karmin väliin, ikkunoiden kohdalla tämä tulisi tehdä jo elementtitehtaalla
- Paisuvan tiivisteiden asennus
- Liitoksen kittaus sisäpuolelta tarkoituksenmukaisella kitillä
- Ikkunoiden suojamuovi poistetaan vasta rakennusaikaisen kosteuden kuivuttua

### **Läpiviennit ja varaukset**

- Läpivientien suunnitelmien tarkistus
- Yläpohjan hormiläpivientien tiivistys solumuovieristelevykauluksella
- Läpivientilaippojen käyttö yksittäisissä putkiläpivienneissä, laipat asennettava elementtitehtaalla mikäli mahdollista
- Tiivistystyön huolellinen toteutus ja valvonta