



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Rakennustuotantotekniikka

INSINÖÖRITYÖ

ILMATIIVEYDEN VARMENTAMINEN TYÖMAALLA

Työn tekijä: Olli Pigg

**Työn ohjaajat:
Tapani Järvenpää
Ilkka Leskelä**

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2010

lehtori Tapani Järvenpää



ALKULAUSE

Tämä insinööriyö tehtiin NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisen yksikölle. Haluan kiittää työn ohjaajia; tuotantopäällikkö Ilkka Leskelää, NCC Rakennus Oy, sekä lehtori Tapani Järvenpää, Metropolia AMK. Lisäksi haluan kiittää työn ohjausryhmää, johon kuului NCC Rakennus Oy:ssä: suunnittelupäällikkö Ilkka Forsell, työmaapalvelupäällikkö Tapio Mäkelä ja mittausasiantuntija Tommi Aronranta sekä Optiplan Oy:ssä suunnittelupäällikkö, Kimmo Liljeström.

Helsingissä 12.4.2010

Olli Pigg



TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Olli Pigg

Työn nimi: Ilmatiiveyden varmentaminen työmaalla.

Päivämäärä: 29.3.2010

Sivumäärä: 58 s.

Koulutusohjelma:

Suuntautumisvaihtoehto:

Rakennustekniikka

Rakennustuotantotekniikka

Työn ohjaaja: lehtori Tapani Järvenpää

Työn ohjaaja: tuotantopäällikkö Ilkka Leskelä

Tämä tutkimus tehtiin NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisen yksikölle. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää laadunvarmistusmenettelyn tarkastusten vaikutusta rakennuksen ilmatiiveyteen. Tulosten perusteella oli tarkoitus tarkastella ilmatiiveyden laadunvarmistuksen laajuutta tulevaisuudessa. Lisäksi tutkimuksen tavoitteena oli jatkokehittää keväällä 2009 Metropolia AMK:lle tehdyssä projektityössä kehitettyä ilmatiiveyden laadunvarmistuksen toimintamallia. Tutkimus rajattiin koskemaan pelkästään betonirakenteisia asuin-kerrostaloja.

Työssä tutkittiin laadunvarmistustoimenpiteiden vaikutusta ilmatiiveyteen työmaatestien avulla. Testeissä suoritettiin ikkunoiden ja parvekkeen ovien asennustarkastus ja dokumentoitiin puutteet. Dokumentit tarkastuksista lähetettiin työmaalle ja niiden perusteella työmaa teki tarvittavat korjaukset. Myöhemmin samassa kohteessa suoritettiin ilmatiiviysmittaukset, jolloin nähtiin asennustarkastuksen vaikutukset ilmatiiveyteen. Vuotokohdat paikannettiin lämpökameralla. Testikohteita otettiin tutkimukseen mukaan yhteensä kaksi. Ilmatiiveyden laadunvarmistuksen toimintamallia kehitettiin työmaatestien ohessa. Teoria aiheeseen saatiin alan kirjallisuudesta ja aiemmista tutkimuksista. Lisätietoa aiheesta hankittiin haastattelemalla alan ammattilaisia.

Ilmatiiviysmittauksissa mitattiin ilmanvuotoluvuksi, joka kuvaa rakennuksen ilmatiiveyttä, mitattiin testikohde 1:ssä 0,64 1/h, ja testikohde 2:ssa 0,44 1/h. Mittauksista saatujen tulosten perusteella huomattiin, että hyvin asennetut ikkunat ja parvekkeen ovet vähentävät ilmavuotoja. Siten myös niiden laadunvarmistus on tärkeässä osassa, jotta saavutetaan hyvä ilmatiiveyden taso. Lisäksi voidaan päätellä, että ikkunoiden ja parvekkeen ovien karmien ja seinän sauman sisäpinnan kittauksella vältetään karmivuodot. Testauksen tarkistuksissa keskityttiin laadunvarmistuksen tarkastuksiin asuntojen osalta, mutta mittauksissa huomattiin, että yleisiin tiloihin ja käytävään tulee myös kiinnittää huomiota. Materiaalivalinnoissa tulee kiinnittää huomiota materiaalin käyttöikään, jotta ilmatiiviys säilyy pitempään.

Avainsanat: Ilmatiiveys, Ilmanvuotoluku, Ilmatiiveyden laadunvarmistus



ABSTRACT

Name: Olli Pigg

Title: Securing of the air tightness on site

Date: 29 March 2010

Number of pages: 58

Department:
Civil Engineering

Study Programme:
Construction and site management

Instructor: Ilkka Leskelä, Production Manager

Supervisor: Tapani Järvenpää, Lecturer

This thesis was done for the unit of apartment building of NCC Rakennus Oy. The objective of the study was to investigate the effect of the quality control procedure on the air tightness of a building. On the basis of the results it was intended to examine the scope of the quality control of air tightness in the future. Furthermore, the objective of the work was to further develop the model of air tightness quality control developed in the project work in spring of 2009. The study was limited to concrete structured blocks of flats only.

In the study the effect of quality control procedure on the air tightness was examined with the help of site tests. In the tests the installation inspection of the windows and balcony doors was performed and the shortcomings were documented. The documents about the inspections were sent to a site and on the basis of them the site made the necessary corrections. Later the measurement of air tightness was performed in the same location in which case the effects of the installation inspection on the air tightness were seen. The leaks were located on a thermographic camera. Altogether two test sites were included in a study. The model of the quality control of the air tightness was developed in addition to the site tests. The theory to the subject was obtained from the literature of the field and from earlier studies. The additional information about the subject was got by interviewing the professionals of the field.

In pressurization tests air tightness was measured to be 0,64 1/h in test site 1, and 0,44 1/h in test site 2. On the basis of the results that were obtained from the measurements it was noticed that the windows and balcony doors that have been well installed reduce air leaks. Thereby is quality control an important element so that a good air tightness level can be gained. Furthermore, one can conclude that the frame leaks are avoided with the cementation of the inner surface of the seam between window or door frame and wall. The checkings of the testing were concentrated on the quality control for apartments but in the measurements it was noticed that attention has to be paid also to the general premises and path. In the material choices attention has to be paid to service life, so that the air tightness will be preserved for a longer period of time.

Keywords: Air tightness, Rate of leakage, Quality control of air tightness,

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEISTÖ

1	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta ja aikaisemmat tutkimukset	1
1.2	Tutkimuksen tavoite	1
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
1.4	Tutkimuksen haasteet	2
1.5	Tutkimuksen rajaus	2
2	RAKENNUSTEN ILMATIIVEYS	4
2.1	Rakennusten ilmatiiveys yleisesti	4
2.2	Energiamääräysten kiristyminen	6
2.2.1	<i>Määräykset 2010</i>	7
2.2.2	<i>Määräykset 2012</i>	8
2.2.3	<i>EU-direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta</i>	11
2.3	Yleisimmät vuotokohdat betonirakenteisissa rakennuksissa	11
2.3.1	<i>Rakenteista johtuvat ilmavuodot</i>	12
2.3.2	<i>Suunnitteluratkaisuiden vaikutus ilmatiiveyteen</i>	14
3	ILMATIIVEYDEN LAADUNVARMENTAMISEN TOIMINTAMALLI	17
3.1	Ilmatiiveyden laadunvarmentaminen	17
3.2	Toimintamalli	18

3.3	Tehtäväkohtainen laadunvarmentaminen	19
3.4	Tilakohtainen laadunvarmentaminen	24
3.5	Ilmatiiveysmittaus	27
3.6	Menettelytapaohje ja tarkastusasiakirjat	30
3.7	Suunnittelun osuus varmennuksessa	30
4	TESTAUS	32
4.1	Testauksen tarkoitus ja tavoite	32
4.2	Vuotojen paikannus lämpökameralla ilmatiiveysmittauksessa	33
4.3	Testikohteet	34
4.3.1	<i>Testikohde 1: Rosendalinkuja 4</i>	34
4.3.2	<i>Testikohde 2: Syyskaste</i>	35
4.4	Tarkastukset	35
4.4.1	<i>Tarkastusmenetelmät</i>	35
4.4.2	<i>Haasteet tarkastuksissa</i>	36
4.4.3	<i>Tarkastukset testikohde 1</i>	37
4.4.4	<i>Tarkastukset testikohde 2</i>	38
4.5	Ilmatiiveysmittaus ja vuotojen paikantaminen	38
4.5.1	<i>Valmistelut</i>	38
4.5.2	<i>Mittaustapahtuma</i>	43
4.5.3	<i>Mittaustulokset: testikohde 1</i>	46
4.5.4	<i>Mittaustulokset testikohde 2</i>	48
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET	51
5.1	Testauksen johtopäätökset	51
5.2	Muut huomiot testauksessa	52
5.3	Toimintamallin kehitys	54

5.4	Kehitysehdotukset	54
5.4.1	<i>Ilmastiiveyden varmentamisen toimintamalli</i>	54
5.4.2	<i>Jatkotoimenpiteet</i>	55
VIITELUETTELO		57

KÄSITTEISTÖ

E-luku	Energiatehokkuusluku. Tarkoittaa rakennuksen käyttämää energiaa suhteessa sen pinta-alaan.
Energiatodistus	Energiatodistus kuvaa rakennuksen energiatehokkuutta. Sen perusteella kiinteistölle annetaan energialuokka väliltä A-G.
Green Living	Green Living on osa NCC:n Green-kehitysohjelmaa, jonka tavoitteena on kehittää energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja asunto-, kauppapaikka- ja toimitilarakentamiseen sekä nykyisen rakennuskannan korjaamiseen. Green Living -projekti keskittyy kestävän asumisen haasteisiin.
Ilmatiiviysmittaus	Ilmatiiviysmittauksessa määritetään rakennuksen ilmatiiviys.
n ₅₀ -luku	Ilmavuotoluku kuvaa, kuinka monta kertaa mittauskohteen ilmamäärä vaihtuu tunnin aikana 50 Pa ali- tai ylipaineessa. Yksikkö 1/h.
Ilmavirtausmittari	Ilmavirtausmittari ilmoittaa sen anturin läpi virtaavan ilman nopeutta. Yksikkö m/s.
Indeksaalilaskenta	Lämpökuvauksen raportoinnissa käytettävä laskenta, joka havainnoi rakenteen lämpöteknistä toimivuutta.
Konvektio	Konvektio on lämmön siirtymistä lämpötilaerojen aiheuttamien virtausten mukana.
Lämpökamera	Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa säteilyn lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostuu.

Menettelytapaohje	Menettelytapaohje on työmaalle suunnattu ohje ilmatiiveyden varmentamisen suorittamiseen.
Nollaenergiatalo	Nollaenergia talo on rakennus, joka tuottaa yhtä paljon energiaa kuin kuluttaa.
Radon	Radon on hajuton, mauton ja näkymätön radioaktiivinen jalokaasu. Se aiheuttaa keuhkosyöpää.
Rakennuksen ilmatiiviyys	Rakennuksen ilmatiiviyys kuvaa, kuinka paljon rakenteen läpi pääsee virtaamaan ilmaa paineerojen vaikutuksesta.
Rakennuksen kokonaisenergia	Rakennuksen käyttämä energia kokonaisuudessaan. Sisältää lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja kiinteistösähkön kulutuksen.
RS-kohde	Rakennuttajan omaperustaista asuntotuotantoa. RS tarkoittaa hankkeen rahoitusjärjestelmää (Rahoituslaitoksen suosittama.)
Sekarakenne	Sekarakenteella tarkoitetaan yhdistettyä runkorakennetta, jossa on yhdistetty esimerkiksi betonirunkoon kevytrakenteinen parvekkeen seinä.
U-arvo	U-arvo eli lämmönläpäisykerroin kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä.

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta ja aikaisemmat tutkimukset

Ympäristöministeriön uudet energiamääräykset astuivat voimaan vuoden 2010 alusta. Määräykset kiristävät rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia kahdessa osassa; ensin 30 prosenttia vuonna 2010 ja arviolta 20 prosenttia lisää vuonna 2012. Syy ympäristöministeriön toimiin on ajankohtainen ilmastonmuutos ja ilmastonlämpeneminen. Tiukemmilla energiamääräyksillä pyritään parantamaan rakennusten energiatehokkuutta ja samalla vähentämään ilmastonmuutosta nopeuttavia kasvihuonekaasupäästöjä. Yksi osa energiatehokkuuden parantamisesta on rakennusvaipan ilmatiiveyden parantaminen, johon tämä työ tähtää.

NCC on huomionnut kiristyvät energiamääräykset käynnistämällä NCC Green Living -projektin vuonna 2008. Sen tavoitteena on kehittää ratkaisuja ja toimenpiteitä NCC:n asuntokohteiden energiatehokkuuden parantamiseksi sekä kehittää kokonaan uusia konsepteja ympäristöystävällisten asuinympäristöjen toteuttamiseen. /1./ Tämä työ tehdään osana Green Living -projektia.

Keväällä 2009 kehitettiin Metropolia AMK:n projektityössä NCC Rakennus Oy:lle alustava toimintamalli ilmatiiveyden varmistamiseksi. Toimintamallia ei ehditty testata tarpeeksi projektityön aikana, jolloin sitä on tarpeellista vielä testata ja jatkokehittää. Ilmatiiveydestä on tehty insinöörityö Metropolia AMK:ssa keväällä 2009. Siinä käsiteltiin rakennuksen ilmanpitävyyttä, tehtiin ilmatiiveysmittauksia ja selvitettiin vuotokohtia. Työssä kehitettiin myös tarkastuskortti laadunvarmistukseen. Työssä ei kuitenkaan tutkittu laadunvarmentamistoimenpiteiden vaikutusta ilmanvuotolukuun, mikä on tässä työssä pääasia.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Pääasiallinen tavoite tutkimukselle oli selvittää laadunvarmentamistoimenpiteiden vaikutukset ilmanvuotolukuun. Lisäksi tavoitteena oli jatkokehittää projektityössä kehitettyä ilmatiiveyden laadunvarmentamismallia tuotantoon sopivaksi. Myös suunnitteluratkaisuiden vaikutusta ilmatiiveyteen sekä

suunnittelijan osallistumista laadunvarmentamiseen tullaan tarkastelemaan tutkimuksessa.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen suunnittelussa sovittiin työn ohjausryhmän kanssa kriittisimmät rakenteet, joihin keskitytään. Rakenteet/rakennusosat valittiin kokemusperäisesti aiempien NCC Rakennus Oy:n suorittamien ilmantiiveysmittausten tulosten perusteella. Näissä valituissa rakenteissa/rakennusosissa suoritettiin laadunvarmennus asennuksen osalta työmaalla. Tarkastuksen suoritti al-lekirjoittanut. Myöhemmin rakennuksen vaipan valmistuttua kohteessa suoritettiin ilmantiiveysmittaukset. Mittausten perusteella tutkittiin laadunvarmistustoimenpiteiden vaikutusta ilmanvuotolukuun. Mittauksia tuettiin lämpökameraaikannuksella, jolla ilmennettiin vuotokohtia. Mittausten perusteella tullaan päättämään ilmantiiveyden varmentamisen taso NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisessa.

Projektityössä kehitettiin ilmantiiveyden varmentamiseen kaksivaiheinen varmentamismalli. Tässä työssä jatkokehittiin sitä edelleen, jotta se olisi tarpeeksi yksinkertainen ja soveltuisi siten paremmin tuotantoon. Varmentamismallia kehitettiin työmaatestien sekä omien kokemusten perusteella.

Teoriaosuuteen tietoa hankittiin aiemmista tutkimuksista, alan kirjallisuudesta sekä internet-tietolähteistä. Lisäksi haastateltiin alan ammattilaisia yrityksen sisältä.

1.4 Tutkimuksen haasteet

Tutkimuksen suurimpana haasteena oli testauksen suoritus aikataulussa. Haaste aiheutui testauksen luonteesta; testin tarkastukset piti tehdä ennen peittäviä rakenteita, mutta testin mittaukset voitiin suorittaa vasta työmaan loppuvaiheessa. Tästä syystä testikohteiden valinnalla oli suuri vaikutus testauksen onnistumiseen ja siten koko tutkimuksen onnistumiseen.

1.5 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus rajattiin koskemaan pelkästään betonirakenteisia asuinkerrostaloja. Rakenteet testauskohteissa vaihtelivat laajemman näkökulman vuoksi, mutta kaikille rakenteille yhteistä oli, että seinien sisäkuori sekä ala-, väli- ja

yläpohja olivat betonista. Laadunvarmentamisen vaikutuksien testaus rajattiin koskemaan pelkästään kriittisimpiä rakenteita/rakennusosia ilmatiiveyden kannalta. Tutkimus kohdennettiin pelkästään uudisrakentamiseen.

2 RAKENNUSTEN ILMATIIVEYS

2.1 Rakennusten ilmatiiveys yleisesti

Rakennusten seinämien yli vallitsee yleensä paine-ero, joka aiheutuu lämpötilaeroista tai tuulesta. Paine-erot synnyttävät helposti seinien läpi ilmavirtauksia, jotka lisäävät säästä riippuen tarpeettomasti ilmanvaihtoa ja lämmönkulutusta. Sään vaikutuksen suuruus riippuu rakennuksen vaipan tiiviydestä ja ilmanvaihtotavasta. Erityisesti hatarassa rakennuksessa seinien läpi virtaavan ilmavirran suuruus kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa. Energian kulutuksen kannalta rakennuksen vaipan tulisi olla tiivis. Toisaalta tiivis vaippa estää lämpimällä säällä painovoimaisen ilmanvaihdon. /2, s. 76./

Rakenteen Kosteustekninen toiminta

Rakenteiden ilmanpitävyydellä on suuri merkitys myös kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Lämpimään sisäilmaan sitoutunut kosteus voi kulkeutua konvektion avulla ilmavuotokohdissa sisältä ulospäin ja tiivistyä rakenteeseen aiheuttaen kosteusvaurioita. Myös kylmän vuotoilman aiheuttama rakenteiden jäähtyminen aiheuttaa kosteuden tiivistymisriskin. /3, s. 8./

Asumismukavuus

Asumismukavuuteen vaikuttavat erityisesti alapohjan ja ulkoseinien alaosan ilmavuodot. Kylmä vuotoilma tuntuu asukkaille ikävänä vedon tunteena ja aiheuttaa sisäpintojen kylmenemistä. Rakennuksen vetoisuuden poistamisella voidaan lisäksi vaikuttaa välillisesti energiankulutukseen. Vetoisissa taloissa pidetään usein yllä korkeampaa sisälämpötilaa kuin ilmanpitävissä taloissa saman asumismukavuuden saavuttamiseksi. /3, s. 8./

Melu- ja hajuhaitat

Ilmavuotokohdista tulee asuntoihin myös melua ja hajuja. Kerrostaloissa ilmavuoto-ongelma voi ilmetä esimerkiksi tupakan ja ruoan käryjen kulkeutumisena huoneistosta toiseen. Ilmanpitävyys parantaa myös paloturvallisuutta hidastamalla savukaasujen leviämistä rakenteen läpi. Tiiviillä rakenteilla voidaan estää myös radonin pääsy rakenteiden läpi sisäilmaan. Tämä on erittäin tärkeä ominaisuus radonpitoisilla maa-alueilla, koska tällöin kyseessä on asukkaiden terveys eikä pelkästään rakenteelliset ominaisuudet. /3, s. 8./

Ilmanvuotoluku

Rakennusten tiiviyttä kuvataan Suomessa yleisesti ilmanvuotoluvulla, joka ilmoittaa suoraan kuinka monta kertaa ilmatilavuus vaihtuu tunnissa, kun paine-ero vaipan yli on 50 Pascalia. Ilmavuotoluvun symboli on n_{50} ja yksikkö 1/h. /2, s. 76 – 77./ Suomen rakennusmääräyskokoelma antaa viitteellisiä arvoja tyyppillisistä rakennusten ilmanvuotoluvuista (taulukko 1).

Taulukko 1. Tyyppillisiä vaipan ilmanvuotolukuja /4/

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

Taulukosta 1 ilmenee tyyppillisiä ilmanvuotolukuja erilaisille rakennuksille. Rakennukset on jaoteltu pientaloihin sekä asuinkerrostaloihin ja toimistorakennuksiin. Taulukko jaottelee ilmanpitävyyden kolmeen eri luokkaan: hyvä, keskimääräinen ja heikko, sekä kertoo kuinka kyseisissä luokissa ilmanpitävyyteen on panostettu.

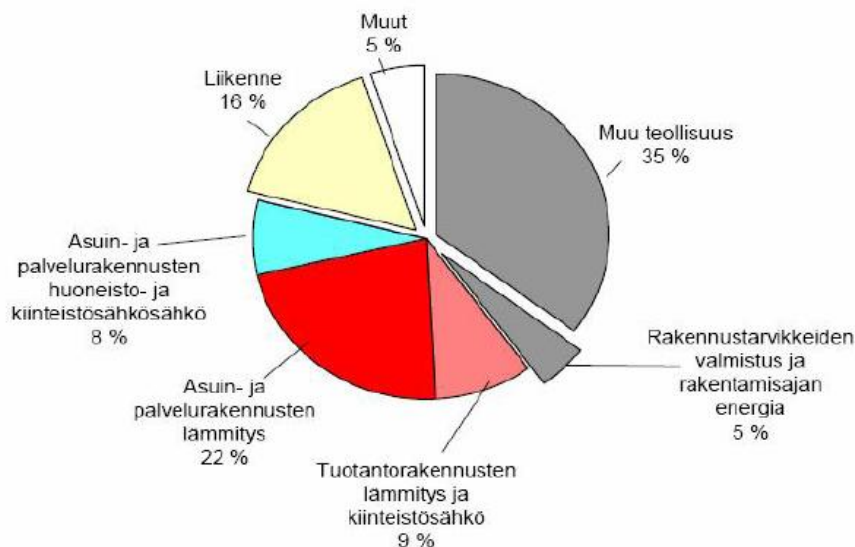
Passiivitalon määritelmä

Pyrittäessä rakennuksen passiivitalomääritelmään, tulee ilmatiiveydestä yksi keskeisistä vaatimuksista. Passiivitalon määritelmässä pyritään saavuttamaan kolme eri kriteeriä: rakennuksen lämmitysenergiantarve, rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarve ja ilmatiiveys. Kriteerien raja-arvot vaihtelevat eri maiden kesken johtuen erilaisista olosuhteista. Verrattaessa Suomen kriteerejä sekä kansainvälisiä kriteerejä on kuitenkin ilmanvuotoluvun raja-arvo sama: 0,6 1/h. Näin ollen pyrittäessä passiivitalomääritelmään, tulee ilmatiiveyden kannalta päästä kyseiseen raja-arvoon./5./

2.2 Energiamääräysten kiristyminen

Suomessa rakennuskanta kattaa tällä hetkellä melkein 40 prosenttia koko energiakulutuksesta kuvan 1 mukaisesti. Siten myös rakennukset ovat suurin yksittäinen hiilidioksidipäästöjen tuottaja Suomessa. /5./

Energian loppukäyttö Suomessa 2003, Yhteensä 308 TWh



Kuva 1. Energian loppukäyttö Suomessa vuonna 2003 /6/

Kuvan 1 ympyrädiagrammi esittää energian loppukäytön Suomessa vuonna 2003. Siitä ilmenee rakennusten lämmittämiseen käytetty energia.

EU:n tavoitteena on vähentää päästöjä 21 prosenttia vuodesta 2005 vuoteen 2020 mennessä. Tähän myös Suomi on sitoutunut muiden EU:n jäsenvaltioiden kanssa. EU on myös valmis nostamaan tavoitteensa 30 prosenttiin, jos muutkin alueet lähtevät sopimukseen mukaan. Tavoitteisiin pääsemiseksi EU ohjaa jäsenmaitaan rakennusten energiatehokkuutta koskevalla direktiivillään. VTT:n laskelmien mukaan merkittävin yksittäinen keino päästöjen vähentämiseen on rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. Tästä syystä ympäristöministeriö on kiristänyt Suomen rakennusmääräyskokoelman energiamääräyksiä vuoden 2010 alusta. Määräykset kiristyvät lisää vuonna 2012. /7./

Yksistään rakennuksen energiatehokkailta ominaisuuksilla ei kuitenkaan pystytä pienentämään energiankulutusta, koska rakennuksen energiankulutus koostuu lämmityksen tarpeesta, sähkölaitteiden kuluttamasta energiasta sekä jäähdytykseen kulutetusta energiasta. Kuitenkin lämmitysenergian tarpeeseen ratkaisulla on suuri vaikutus. Myös ihmisten toiminnalla on suuri vaikutus energiankulutukseen. Energiatehokkaiden ratkaisuiden tuoma hyöty vähenee, jos asukas ei osaa käyttää ilmastointi- ja lämmityslaitteita oikein. Myös asukkaiden käyttämien elektronisten laitteiden sähkönkulutuksella on oma vaikutuksensa rakennuksen käyttämään energiaan.

2.2.1 Määräykset 2010

Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaan vuoden 2010 uudistuneet energiamääräykset kohdistuvat lämmöneristävyyteen, ilmantiiveyteen sekä lämmön talteenottoon (taulukko 2). Määräyksiä tavoitte on vähentää energiankulutusta 30 prosenttia.

Taulukko 2. Rakennusosien energiatehokkuusmääräykset 2010 /8/

Rakennusosien U-arvot	1976	1978	1985	2003	2007	2010 annettu (lausuntoversio)	2012 ?
Ulkoseinä	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17 _(0,14) 0,40 hirsis.	?
Yläpohja	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09 _(0,09)	?
Alapohja	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16/0,17 _(0,14/0,11)	?
Ikkuna	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0 _(1,0)	?
Ovet	0,7	0,7	0,7	1,4	1,4	1,0 _(0,7)	?
Muut laskennan lähtöarvot							
n50-luku	6	6	6	4	4	2	?
LTO:n vuosihyötysuhde	0	0	0	30%	30%	45% _(50%)	?
Vaipan lämpöhäviön jousto	0	0	0	10 %	20 %	30 % _(30%)	?
Kokonaisenergiavaatimus							x kWh/m ² ?
Primäärienergiavaatimus							x kJ/m ² ?

Kuten taulukosta 2 näkyy, pudotetaan lämmöneristävyyden U-arvoja 60-70 prosenttiin vuoden 2007 määräysten tasosta. Poikkeuksena ovat hirsirakenteiset seinät, joiden U-arvo on 0,40 W/m²K. Käytännössä tämä tarkoittaa eristyspaksuuksien kasvamista, jotta saavutetaan paremmat U-arvot rakenteille, kuten taulukosta 3 näkyy.

Taulukko 3. Eristyspaksuudet 2010 /8/

Rakennusosien lämmön-läpäisykertoimet	2007		2010		2012 ?	
Ulkoseinä	0,24	160 mm mineraalivillaa	0,17	+ 60 % 200 ... 250 mm mineraalivillaa		
Yläpohja	0,15	250 ... 300 mm mineraalivillaa	0,09	+ 100 % 500 ... 600 mm mineraalivillaa		
Alapohja	0,24	100 ... 150 mm eristettä	0,16/ 0,17	+ 40 % 150 ... 200 mm eristettä		
Ikkuna	1,4		1,0			
Ovet	1,4		1,0			

Taulukon 3 mukaisesti U-arvo määräysten kiristyminen lisää eristepaksuuksia; ulkoseinissä 60 prosenttia, yläpohjassa 100 prosenttia ja alapohjassa 40 prosenttia. Taulukossa esitetään myös nykyisten määräysten vaatimat eristemäärät (mm). Nämä arvot ovat siis tarkoitettu lämpimille tiloille. Puolilämpimille tiloille on omat määräyksensä.

Ilmanvuotoluvun laskenta-arvona käytetään vuoden 2010 alusta n_{50} -lukua 2. Ilmanvuotolukuna voidaan käyttää myös pienempää lukua, jos se pystytään osoittamaan ilmantiiveysmittauksella tai muulla menettelyllä.

Lämmön talteenoton minimivuosihiötysuhde kasvaa 45 prosenttiin edellisistä määräyksistä. Vaipan lämpöhäviöiden jousto kasvaa 30 prosenttiin. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennusvaipan yksittäinen lämpöhäviö saa olla 30 prosenttia vertailuarvoja suurempi, jos ylitys tasataan muilla lämpöhäviöön vaikuttavan ominaisuuden paremmalla arvolla. Esimerkiksi jos lämmöneristyksen U-arvo on vertailuarvoja huonompi, voidaan lämpöhäviön ylitys korvata paremmalla lämmön talteenoton hyötysuhteella ja paremmalla ilmatiiveydellä.

2.2.2 Määräykset 2012

Vuonna 2012 määräyksien tavoitteena on kiristää vaatimuksia lisää 20 prosenttia. Määräykset tosin ovat vasta luonnosvaiheessa ja täyttä varmuutta tulevista muutoksista ei vielä ole.

Luonnoksen mukaan vuonna 2012 voimaan tulisi kokonaisenergiatarkastelu. Tällä tarkoitetaan sitä, että rakennuksen kokonaisenergian käyttöä aletaan rajoittaa. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen koko energiankulutusta tarkastellaan pinta-alaan nähden. Se on suuri muutos 2010 tulleisiin määräyksiin, joissa otettiin enemmänkin kantaa teknisiin arvoihin, kuten lämmön talteenottoon sekä vaipan lämpöhäviöihin. Edellä mainittuihin teknisiin arvoihin liittyviä muutoksia ei vielä tiedetä. /9./

Toinen uudistus energiamääräyksiin tulisi olemaan luonnoksen mukaan energialähteen huomioiminen rakennuksen energiatehokkuudessa. Silloin jokaiselle energiamuodolle annetaan sille ominainen kerroin, kuten taulukossa 4.

Taulukko 4. Kertoimia eri energiamuodoille /10./

Sähkö	2,0
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

Taulukossa 4 ilmenee mahdollisia kertoimia eri energiamuodoille. Kerroin muodostuu sen mukaan, kuinka energiatehokas energialähde on.

Tuleva rakennusten energiatehokkuusluku, eli E-luku, lasketaan kertomalla rakennuksen laskennallinen ostoenergia energiamuotokertoimella. Energiatehokkuusluvun laskentaa tullaan myös muuttamaan. Uusi laskentatapa on myös paljon tarkemmin rajattu kuin vanha tapa./10./

Energiatehokkuusluku on osa energiatodistusta, joka määrää rakennuksen energialuokan. Energiatehokkuusluokat on jaoteltu porrastetusti välille A-G, joista A on paras luokka. Energiatodistus on osa energiaselvitystä, joka tehdään uudisrakentamisessa rakennuslupaa haettaessa./11./

E-luvun laskennassa lämpöhäviöissä ilmatiiveys myös huomioidaan uudella tavalla. Tällä hetkellä lämpöhäviöenergioiden laskennassa käytetään ilmatiiveyden vuotoilmavirran laskentakaavassa mittauskohteen ilmamäärää, kun

taas uudessa tavassa käytetään vaipan pinta-alaa. Tämä tasapuolistaa erimallisten rakennusten vertailua. Varsinkin yksikerroksisen ja monikerroksisen rakennuksen vertailussa on huomattava ero vaipan pinta-alalla suhteessa ilmamäärään. Kansainvälisesti vaipan pinta-ala vuotoilmamäärässä huomioidaan jo tällä hetkellä, mutta Suomessa käytäntö on tällä hetkellä erilainen. Seuraavassa on esitys E-luvussa käytettävästä vuotoilmamäärän kaavasta, kuva 2, ja alempana tällä hetkellä käytettävästä kaavasta RakMK:n osa D5 mukaan, kuva 3.

$$q_v = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot x} A,$$

- q_{50} rakennusvaipan keskimääräinen ilmanvuotoluku $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$, kohta 3.3.5;
 A rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna) m^2 ;
 x kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15;
 3,6 kerroin, joka muuttaa ilmavirran m^3/h yksiköstä l/s yksikköön.“

Kuva 2. Vuotoilmamäärän laskentakaava, ehdotus 2012 /10/

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = n_{\text{vuotoilma}} V / 3600$$

- $q_{v, \text{vuotoilma}}$ vuotoilmavirta, m^3/s
 $n_{\text{vuotoilma}}$ rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, $1/\text{h}$
 V rakennuksen tilavuus, m^3
 3600 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos $\text{m}^3/\text{h} \rightarrow \text{m}^3/\text{s}$.

Kuva 3. Vuotoilman laskentakaava 2010 /4/

Vuoden 2012 energiamääräysten luonnoksessa on esitys myös energiatehokkuuden vaikutuksesta kiinteistöveroön. Energiatehokkaamassa rakennuksessa olisi tämän mukaan pienempi kiinteistövero kuin energiaa tuhlaavassa rakennuksessa. Tällä tavalla kannustettaisiin käyttäjiä panostamaan energiatehokkuuteen. Haasteena kyseisessä ehdotuksessa on, miten ener-

giatehokkuus voidaan todentaa verolainsäädännön edellyttämällä tavalla. Varsinkin eri lämmitysmuotojen arvottaminen lainsäädännön mukaan vaatii vielä tarkentamista ja tutkimusta. Verolainsäädäntö asettaa myös vaatimuksia energiatehokkuuden määrittelijälle. /11./

2.2.3 EU-direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta

Kuten edellä on mainittu, on EU:n tavoitteena vähentää päästöjä 21 prosenttia vuoteen 2020 mennessä vuoden 2005 tasosta. Täten EU on tehnyt direktiivin rakennusten energiatehokkuudesta. Direktiiviteksti ei vielä ole valmis, vaan se on vielä käsittelyvaiheessa. Direktiivin mukaan energiamääräykset kiristyvät vielä reippaasti tämän hetken tasosta vuoteen 2020 mennessä. Siten Suomessa on määräyksiin odotettavissa muutoksia vuoden 2012 jälkeenkin. Direktiivin mukaan vuonna 2020 tulisi rakennusten olla lähes energiaomavaraisia.

Lähes energiaomavaraisella rakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus. Tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä on pääosin katettava uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuva energia./12./

Täten vuonna 2020 Suomessa pitäisi rakentaa lähes nollaenergiataloja. Direktiivin mukaan rakennuksen käyttöenergia tulisi lisäksi koostua pääosin uusiutuvista energiamuodoista. Lisäksi korjausrakentamisen vaatimustasoa nostetaan. Direktiivi kiristäisi määräyksiä portaittain, todennäköisesti muutamien vuosien välein, jotta tavoitteisiin päästään. /12./

2.3 Yleisimmät vuotokohdat betonirakenteisissa rakennuksissa

Rakennuksen vaippa koostuu monista eri rakenneosista. Jokaisessa liitoskohdassa, sekä materiaaleissa itsessään on aina riski ilmavuotoihin. Yleisimmät ongelmakohdat rakennusten ilmanpitävyydessä ovat rakenteiden liitoskohdissa, saumoissa, kulmissa sekä ikkunoiden ja ovien liitoksissa rakennusrunkoon. Ilmanpitävän kerroksen tulee jatkua yhtenäisenä koko rakennuksen vaipan ympäri, joten eri rakenneosien ilmansulkujen tulee liittyä tiiviisti toisiinsa. Heikosti toteutetut ilmanpitävän kerroksen liitoskohdat aiheuttavat erilaisia ongelmia riippuen ilmavuotokohdan sijainnista rakennuksessa. Työmaaolosuhteissa rakennusvaippa on haastava saada täysin ilmatiiviiksi. Kuitenkin mahdollisimman hyvään ilmatiiveyteen työmaalla on pyrittävä.

vä, ja ilmapuotoriskit eliminoitava. Myös suunnitteluratkaisuilla on olennainen osa ilmatiiveydessä. Ratkaisuiden on oltava sellaisia, että tiiveys voidaan toteuttaa työmaalla ilman suurempia hankaluuksia. /3./

2.3.1 Rakenteista johtuvat ilmapuodot

Betonielementtirakenteet

Materiaaleista betoni on itsessään tarpeeksi ilmatiivis, jos valu on oikein tehty ja rakenteeseen ei ole jäänyt ns. ”rotankoloja”. Betonirakenteissa siten tiiveyden kannalta olennainen osa on saumojen tiivistys. Tämä tulisi suorittaa mieluiten juotosvaluna, jos mahdollista. Juotosbetoni on tarpeeksi juoksevaa, jolloin massa tunkeutuu pienimpiinkin rakoihin. Juotosvaluilla tiivistys voidaan helposti tehdä vaakarakenteissa, kuten ylä- ja alapohjan läpivientien tiivistyksessä.

Seinien betonielementtirakenteissa yleisesti pystysaumot tehdään pystysaumapumppauksella. Tällöin tiiviys ei välttämättä ole yhtä hyvä kuin juotosvalulla tehdyssä saumassa, mutta huolellisella työllä työn tulos on kuitenkin riittävä. Halkeamisen syntyminen tulee estää riittäväällä raudoituksella tai tiivistämällä syntyneet halkeamat esimerkiksi pintakäsittelyllä tai joustavalla massalla kittaamalla. Pystysauma voidaan valaa myös juotosvaluna, jolloin tiiviys on parempi, mutta työn suoritus vaativampi. /13./

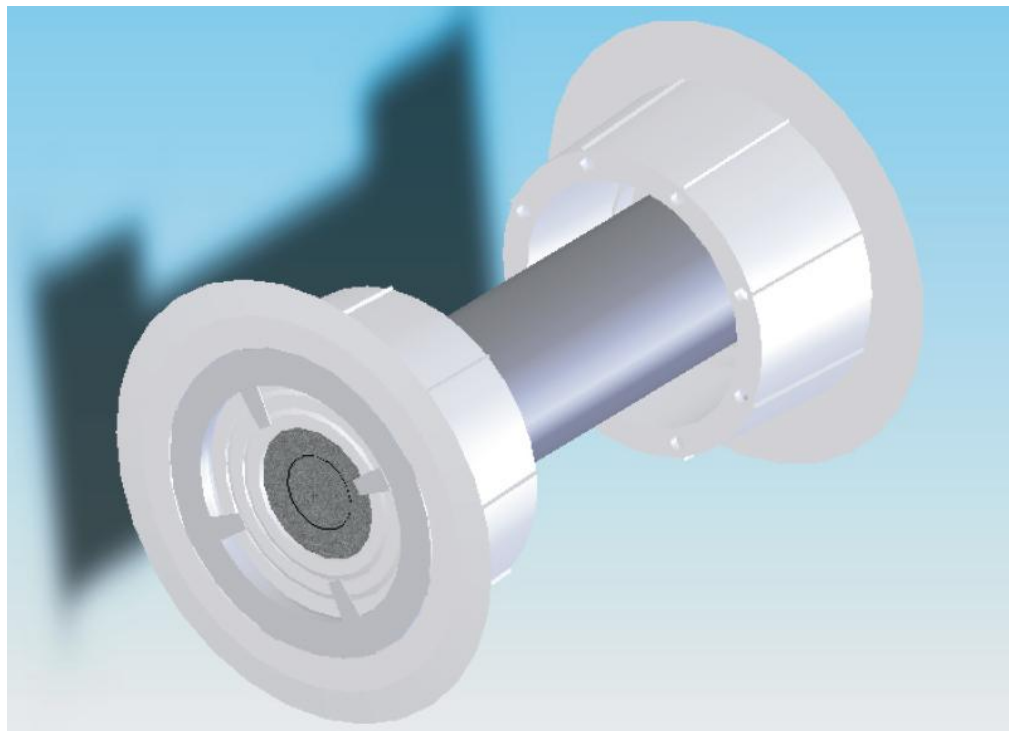
Elementtien alasauma tehdään yleensä alusmassaa käyttäen. Tällöin tiiviys on riittävä, jos seinäelementtiä ei heiluteta paikallaan asennuksen yhteydessä. Silloin vaarana on, että sauma ei ole tasapaksu joka kohdasta, jolloin rakoja saattaa syntyä. Alasauma on myös mahdollista tehdä juotosvaluna. Se tosin on työläämpi vaihtoehto muottitöiden ja jälkitöiden takia, mutta silloin saadaan varmemmin aikaiseksi ilmatiiviitä rakenteita. Paikallavalurakenteissa nämä ongelmat vähenevät, ja niitä pidetäänkin tiiviimpinä rakenteina kuin elementtirakenteita.

Läpiviennit

Läpivientien tiivistyksessä käytettävät materiaalit tulee valita huolellisesti. Materiaalien tulee olla ominaisuuksiltaan käyttökohteeseen tarkoitettu. Esimerkiksi kosteissa tiloissa tulee käyttää materiaalia, joka kestää kyseiset olosuhteet. Myös materiaalien käyttöikä tulee olla tarpeeksi pitkä, jotta tiive-

ys säilyy tulevaisuudessakin. Tiivistyksessä on myös huomioitava ympäröivien rakenteiden mahdolliset liikkeet kosteuden tai lämpötilavaihtelujen vuoksi. Tällöin on käytettävä materiaalia, jolla on elastisia ominaisuuksia.

Läpivientien tiivistyksessä voidaan myös käyttää erillisiä läpivientikappaleita, kuten kuvassa 4, jolloin erillistä tiivistystä ei välttämättä vaadita. Läpivientikappale voidaan asentaa betonivaluun tai myös jälkiasennuksena valmiiseen rakenteeseen. Läpivientikappaleita on markkinoilla viemäri-, lämpö-, ja sähköläpivienneille, mutta IV-läpivienneille ei kyseisiä läpivientikappaleita ole myynnissä ainakaan Suomessa. /14/



Kuva 4. Jälkiasenteinen läpivientikappale /15/

Kuvassa 4 on esitetty jälkiasenteinen läpivientikappale lämpöputkille tai sähköjohtoille. Putkeen voidaan asentaa eripaksuisia putkia, ja sen pituutta voidaan säätää seinän paksuuden mukaan.

Läpivientien tiivistämisessä tulee huomioida myös palomääräykset. Osastovan rakenteen läpivienneissä tiivistyksessä materiaalilla on oltava paloa kestävät ominaisuudet. Läpivienti voidaan toteuttaa joko palokatkomassalla tai erillisellä palonkestävällä läpivientikappaleella. Läpivientikappale voidaan myös jättää varaukseksi, jos halutaan jättää mahdollisuus lisätä tekniikkaa

myöhemmin. Tällöin kuitenkin tulee valmistajalta varmistaa tiiveysominaisuudet kappaleelta./16./

Ikkunat ja ovet

Betonirakenteisissa asuinkerrostaloissa suurimmat riskit on havaittu olevan ikkunan ja ovien liitoksissa rakennusrunkoon. Siksi niiden tiivistykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota./17./

Tällä hetkellä on yleisesti karmin ja rakennusrungon väli tiivistetty polyuretaanivaahdolla. Materiaali itsessään on ilmatiivistä, mutta sen käytössä on huomioitava muutamia asioita. Vaahdotusta ei saa leikata, muuten se menettää tiiveytensä. Tämä tapahtuu yleensä, jos vaahdotus pursuu yli reunojen. Jos vaahdotusta leikataan, tulee se lisäksi kitata sisäpuolelta, jotta ilmatiiveys säilyy. Vaihtoehto karmin ja rungon välin tiivistykselle on villoitus. Mieneraalivilla ei kuitenkaan ole ilmatiivis, joten sauma on silloin lisäksi kitattava sisäpuolelta. Ikkunoissa ja ovissa tulee huomioida karmin eläminen, jos karmi on puusta tehty. Karmi saattaa elää kosteuden ja lämpötilojen vaihtelujen vuoksi, ja se tulee huomioida tiivistystä tehdessä. Tästä syystä polyuretaanivaahdotus on riskialtis vaihtoehto, koska kuivuttuaan se ei kestä muodonmuutosta, vaan halkeaa. Vaahdotus tulee tehdä vasta kun rakennuksen sisälle on saatu vakiintuneet lämpöolot, jolloin voidaan ehkäistä suurimmat lämpövaihtelut rakenteessa. Tämä tulee huomioida varsinkin talviaikaan rakennettaessa. Eristys ja kittaus yhteensä on paras tapa tehdä tiivistys, jos halutaan varmistua rakenteen tiiveydestä. Silloinkin on varmistettava käytettävän saumausmassan tarpeeksi pitkä käyttöikä ja muodonmuutoskestävyys./18./

2.3.2 Suunnitteluratkaisuiden vaikutus ilmatiiveyteen

Suunnitteluratkaisuilla on suuri merkitys työmaan toteutukseen. Rakennuksen suunnittelussa tulee välttää riskialttiiden liitosratkaisuiden käyttöä ja läpivientien määrä tulisi minimoida. Läpivientien sijoituspaikat tulisi miettiä ennakolta valmiiksi, jotta työmaalla ei tule ongelmaa niiden sijaintien tai tilan ahtauden takia./13, s.17./ Ilmatiiveyden kannalta yksinkertaiset liitosrakenteet ovat toteutuksen laadun kannalta hyvä ratkaisu. Siten ilmatiiveys ja sen toteutus tulee huomioida jo suunnittelupöydällä. Betonirakenteisissa asuin-

kerrostaloissa, joissa on huoneistokohtainen ulkoilmakanava, kuten kuvassa 5, tuottaa kanavan ja rungon tiivistys usein ongelmia.



Kuva 5. Huoneistokohtainen ulkoilmakanava seinien kulmassa

Kuvassa 5 esitetään ulkoilmakanavan sijaintia huoneistossa. Rakenteen ongelmana on kanavan ja seinän liitoksen tiivistys. Yläkulmasta se on varsin vaikea tiivistää kittaamalla tilan ahtauden vuoksi.

Tämä ongelma voitaisiin myös estää asentamalla pätkä eristettyä IV-kanavaa valuun elementtitehtaalla. Tällöin työmaalla jatkettaisiin kanava elementtiin asennetusta kappaleesta, ja eristeet liimattaisiin yhteen, jolloin saataisiin tiivis rakenne. Tätä tapaa on käytetty ennenkin, mutta vähissä määrin./14./ Toinen vaihtoehto ongelman ratkaisuun olisi kanavan sijainnin muutos. Se tosin muuttaisi koko huonejärjestystä tai kasvattaisi huomattavasti koteloiden kokoa.

On huomattu, että sekarakenteet olevan varsin vaikea toteuttaa käytännössä. Sekarakenteilla tarkoitetaan esimerkiksi puisen ja betonirakenteisen rungon yhdistämistä. Silloin ilmatiiviin rakennekerroksen jatkaminen rakenteesta toiseen on haastavaa, ja rakenteen tiiveys ei välttämättä ole pitkäikäinen. Edellä mainitussa esimerkissä pitäisi puurakenteen höyrynsulkukalvo saada

limitettyä betonirakenteeseen. Tällaista rakennetta on käytetty kevytrakenteisissa parvekkeen seinissä muun rungon ollessa betonirakenteinen. Sekarakenteissa ongelmaksi saattaa myös muodostua eri materiaalien erilaiset kosteus- ja lämpöliikkeet. Tällöin rakenteisiin saattaa muodostua vuotoja aiheuttavia rakoja. Näin olleen sekarakenteita tulisi välttää tai suunnitella ne tarpeeksi hyvin, jotta saavutettaisiin vaadittava ilmatiiveystaso. /19./

Suunnittelijan tulee myös tehdä piirustuksiin tarpeeksi selkeät detaljipiirrokset, jotta myös tekijälle selviää suunnittelijan näkemys rakenteesta. NCC Rakennus Oy:ssa tämä on huomioitu kehittämällä yhteistyössä Optiplan Oy:n kanssa oma runkorakenteiden tiiveysdetaljikoelma. Detaljeissa kerrotaan, kuinka rakenteet tulee tehdä, jotta niistä tulee tiiviit. Detaljeissa otetaan myös kantaa käytettäviin tiivistysmateriaaleihin. Tiiveysdetaljit tulevat käyttöön jokaisessa ns."RS-kohteessa", jossa haetaan A-luokan energiatehokkuutta.

3 ILMATIIVEYDEN LAADUNVARMENTAMISEN TOIMINTAMALLI

3.1 Ilmatiiveyden laadunvarmentaminen

Ilmatiiveys on tähänkin asti tiedostettu rakentamisessa. Siten myös ilma-
vuotoja on pyritty estämään aiemminkin. Ilmatiiveydestä on kuitenkin puuttu-
nut järjestelmällinen laadunvarmistusmenettely. Tästä syystä ilmatiiveystaso
saattaa vaihdella paljonkin yrityksen sisällä riippuen kohteesta, koska yhteis-
tä käytäntöä ei ole ollut tuotannossa. Uusien energiamääräysten johdosta
ilmatiiveys on alkanut herättää enemmän huomiota, ja siten yrityksiltä löytyy
kiinnostusta paremman tason saavuttamiseksi. Jotta ilmatiiveys saataisiin
paremmalle tasolle, tulee sille kehittää toimiva laadunvarmistusmenettely ja
ohjeistus siihen.

NCC Rakennuksen keskeinen laadunhallinnan väline on toistuva tehtävän
suunnittelu ja -ohjaus. Tarkoituksena on johtaa kaikki merkittävät työkokoi-
naisuudet tehtävän suunnittelu ja -ohjausprosessin mukaisesti. /20./

Tämä on myös yleinen käytäntö rakennusalalla. Toistuva tehtävänohjaus
toimiikin yksittäiselle tehtävälle hyvin laadunvarmistustoimenpiteenä, mutta
ilmatiiveys asettaa laadunvarmistukselle omat haasteensa. Ilmatiiveys koos-
tuu monesta eri työkokonaisuudesta ja rakenteesta, kuten elementtiasen-
nuksesta sekä ikkuna- ja oviaasennuksesta. Siten sen laadunvarmennus on
vaikeasti hallittava kokonaisuus, joka pitäisi saada yhtenäistettyä. Tähän ke-
hitettiin keväällä 2009 projektityössä toimintamalli, jossa yhdistetään tehtä-
väkohtainen ja tilakohtainen laadunvarmentaminen. Toimintamalli pyrkii sii-
hen, että laadunvarmentamiseen ei jäisi aukkoja, joka helposti käy kun yrite-
tään hallita kokonaisuutta, joka koostuu monesta tekijästä. Toimintamalli on
esitetty luvussa 3.2.

Ilmatiiveyden laadunvarmentamisessa tulee sen painoarvoa kuitenkin miettiä
tarkkaan. Koska rakentaminen koostuu todella monesta tekijästä, ei pelkäs-
tään yhtä asiaa voida painottaa liikaa. Tällöin saattaa muut osa-alueet kär-
siä. Ilmatiiveys tulee huomioida samalla painoarvolla kuin kaikki muutkin ra-
kentamisen osa-alueet, mutta tärkeää on kuitenkin sen esiintuominen uute-
na asiana, jotta kaikki ovat tietoisia siitä. Laadunvarmennusmenettely tulee
myös olla tarpeeksi yksinkertainen, jotta sitä on helppo käyttää tuotannon
työkaluna.

3.2 Toimintamalli

Ilmatiiveyden laadunvarmentamisen toimintamallilla tarkoitetaan koko ilmatiiveyden laadunvarmistuksen prosessia kaikkine osineen. Toimintamalli (kuva6), tulee käyttöön kaikissa NCC Rakennus Oy:n ”RS-hankkeissa”, joissa tavoitellaan A-luokan energiatehokkuutta. Toimintamallia käyttämällä on tarkoituksena saavuttaa yrityksen tavoitteet ilmatiiveystasossa.

Ilmatiiveyden varmentamisen toimintamalli



Kuva 6, Prosessikaavio ilmatiiveyden varmentamisen toimintamallista

Kuvan 7 prosessikaaviossa on esitetty, kuinka ilmatiiveyden varmentamisen prosessi kulkee. Prosessi koostuu kolmesta vaiheesta, joista dokumentaatio kulkee aina seuraavaan vaiheeseen. Jokaisesta vaiheen dokumentit kootaan yhteen ilmatiiveyden varmentamisessa.

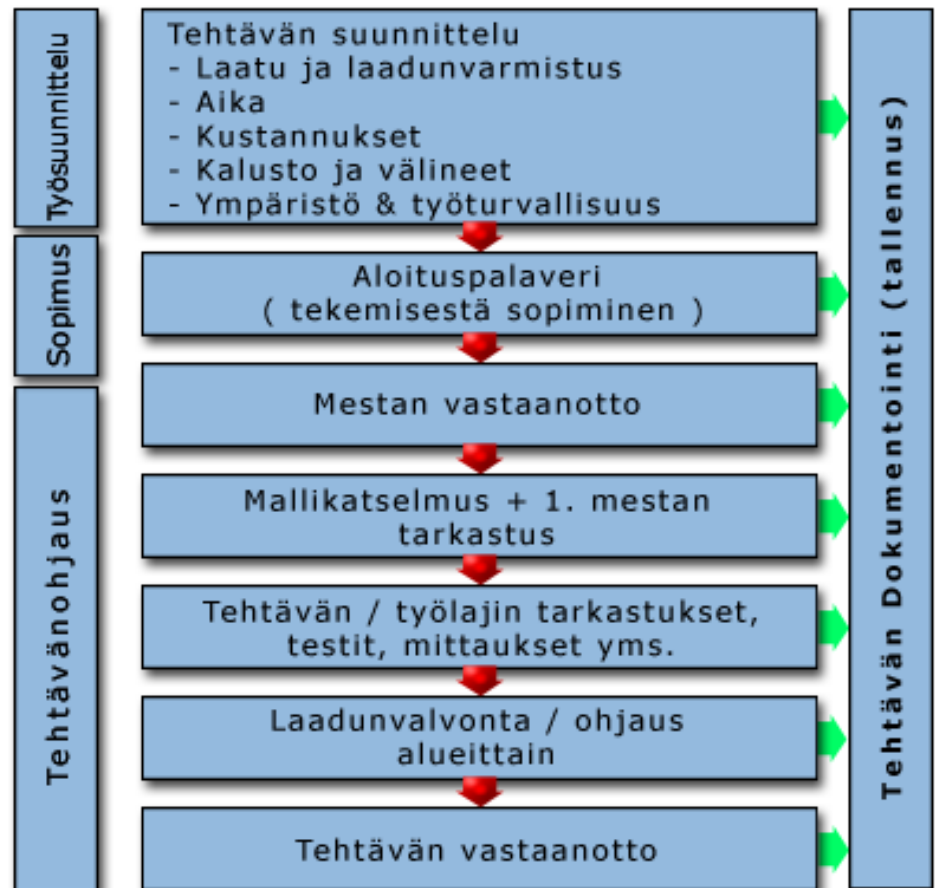
Toimintamalli on jaettu laatua varmentaviin toimiin sekä laatua todentaviin mittauksiin. Laatua varmentavat toimet ovat tehtäväkohtainen ja tilakohtainen laadunvarmistus. Laatua todentavia mittauksia ovat ilmatiiveysmittaus sekä mahdollisesti mittauksen tukena käytettävä rakennusaikainen paikannus lämpökameralla. Ilmatiiveyden varmennus on siten kolmivaiheinen. Ilmatiiveysmittaus siis todentaa jo saavutetun ilmatiiveyden tason, mutta mittauksen ajankohdasta johtuen rakenteita ei voida enää korjata mittauksen jälkeen rakenteita rikkomatta. Siksi laatua varmentavia toimia tulee tehdä jo työn ja työnsuunnittelun aikana, jotta päästään tavoitteisiin ilmatiiveyden

suhteen ja saadaan rakennettua kerralla valmista. Tehtäväkohtaiselle ja tilakohtaiselle laadunvarmistukselle on lisäksi kehitetty menettelytapaohje, joka kertoo, kuinka varmennustoimet tulee tehdä. Ilmatiiveyden laadunvarmistuksen työmaalla koordinoi vastaava työnjohtaja, joka jakaa toimenpiteiden vastuut. Laatu varmentavat toimenpiteet suorittaa tehtäväkohtaisessa laadunvarmistuksessa kyseisestä tehtävästä vastuussa oleva työnjohtaja. Suunnittelijan tulee myös osallistua osaan tarkastuksista.

Ilmatiiveyden varmentaminen tulee osaksi NCC Rakennus Oy:n laadunvarmistusmatriisia, josta ilmenee projektin työvaiheiden vaatimat laadunvarmistustoimenpiteet.

3.3 Tehtäväkohtainen laadunvarmentaminen

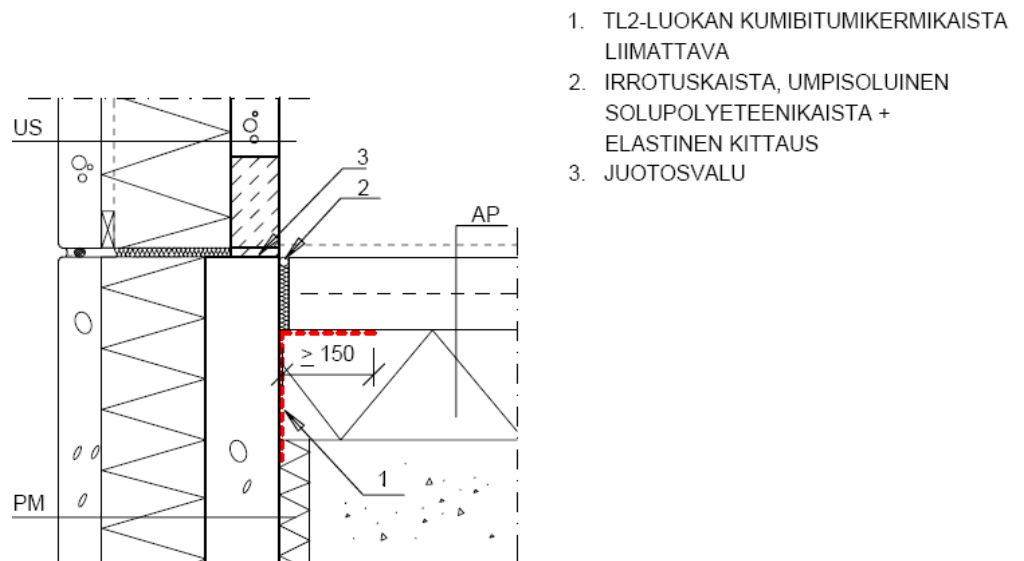
Tehtäväkohtaisella laadunvarmistusmenettelyllä tarkoitetaan, että ilmatiiveys varmistetaan osana eri työtehtävien, joissa on mahdollisuus ilmavuotoriskiin, laadunvarmistusta. Tehtäväkohtainen laadunvarmistus tehdään NCC Rakennus Oy:n tehtävänohjausmallin(kuva 7) mukaisesti. Siten laadunvarmistus ulottuu aina työsuunnitteluvaiheesta tehtävän vastaanottoon asti. Laadunvarmistus tehdään samalla tavalla kuin aiemminkin, mutta nyt siinä huomioidaan muiden vaatimusten lisäksi ilmatiiveys.



Kuva 7. NCC Rakennus Oy:n tehtävänohjausmalli /20/

Kuvan 7 prosessikaaviossa esitetään tehtävänohjauksen kulku tehtävän-suunnittelusta tehtävän vastaanottoon asti, sekä laadunvarmistuksessa tarvittava tehtävän dokumentointi.

Työn toteutusta suunniteltaessa pitäisi miettiä, onko kyseisellä työtehtävällä vaikutusta vaipan ilmatiiveyteen. Yleisesti sellaisia ovat kaikki tehtävät, joissa ollaan tekemisissä rakennusvaipan, varsinkin sisäkuoren kanssa, tai jossa viedään tekniikkaa siitä läpi. Näin ollen tulee myös suunnitella, miten rakenteesta saadaan tehtyä ilmatiivis. Työsuunnittelussa on tärkeässä roolissa luvussa 2.3.2 mainitut tiiveysdetaljit(kuva 8). Detaljeista ohjeistetaan, miten rakenne tulisi toteuttaa, ja millä materiaalilla. Detaljeista selviää myös rakenteita, joissa tiiveysasia tulee huomioida.



Kuva 8, Ote runkorakenteiden tiiveysdetalji /21./

Kuvassa 8 nähdään tiiveysdetaljin kuva maanvaraisen laatan ja sokkelikiiven välisestä liitoksesta. Oikealla on kerrottu liitoksessa käytettävistä materiaaleista. Lisäksi tiiveysdetaljeissa on työohjeet kyseiselle rakenteelle.

Työnsuunnittelussa havaitut asiat siirretään tehtäväsuunnitelmasta eteenpäin muihin laadunvarmistuksen osiin. Näistä tärkeimpiä ovat aloituspalaveri, mallikatselmus ja laadunvalvonta. Aloituspalaverissa työntekijöitä tai heidän edustajaa ohjeistetaan tehtävän suorituksessa vaadittavista asioista. Heille tulee myös selvittää, miksi kyseisiä asioita vaaditaan, jotta päämäärä tulee selväksi. Mallikatselmuksessa tarkastetaan, onko työn laatu vaatimusten mukaista. Tämä on siksi tärkeää, että vaadittava laatutaso selvitetään aikaisessa vaiheessa, jotta jatkossa tehtävä työ täyttäisi vaatimustason. Näin myös saadaan vertailukohta myöhemmin tehtävään työhön. Kuitenkaan pelkkä työntekijöiden ohjeistus ei riitä, vaan työtä tulee myös valvoa jatkuvasti myös mallikatselmuksesta eteenpäin. Betonirakenteisissa asuin-kerrostaloissa ilmatiiveyden kannalta kriittisiä työvaiheita ovat seuraavat: perustukset, runkotyöt, joko paikalla valettu -, elementti- tai sekarunko, ikkuna- ja oviaasennus sekä kaikki läpivienteihin liittyvät työt. Työvaiheet ovat siis yleisimmin esiintyviä kyseisissä kohteissa, mutta ilmatiiveyden kannalta tärkeitä työvaiheita voi olla enemmänkin riippuen käytettävästä rakenteesta. Työvaiheet ja työvaiheissa tarkistettavat asiat tulee myös huomioida tapauskohtaisesti.

Perustustöiden osalta huomioitavia asioita ovat seuraavat

- Alapohjan liitos sokkeliin on suunnitelmien mukainen. Maanvaraisessa alapohjassa tulee tiivistää laatan ja sokkelin väli. Myös laatan liikuntasaumat on tiivistettävä tiiveysdetaljin ohjeiden mukaisesti kyseisessä alapohjaratkaisussa.
- Maa-alueilla, jossa esiintyy radonia, tulee huomioida tiukemmat tiiviysvaatimukset. Ohjeet on esitetty tiiveysdetaljeissa.
- Ontelolaatta-alapohjassa ei ole vaatimuksia liitoksen tiivistämiselle, koska sen päälle valettavan pintalattian oletetaan olevan tiivis.

Elementtiasennuksen osalta huomioitavia asioita ovat seuraavat

- Elementtisaumat (pysty- ja vaakasaumat) on valettu täyteen, eikä saumassa ole reikiä. Valuissa tulee välttää halkeamariski.
- Seinäelementtien alasaumoissa tulee varmistua alamassan riittävästä käytöstä, jos kyseistä tekniikkaa käytetään.
- Hormielementtien liitos alapohjaan on valettu umpeen.

Ikkuna- ja ovi-asennuksessa huomioitavat asiat ovat seuraavat

- Liitokset rakennusrunkoon on vaahdotettu täyteen, jos tiivistyksessä käytetään polyuretaanimassaa. Kylmänä vuodenaikana vaahdotus tapahtuu kun rakennuksessa on lämpö päällä. Samalla tarkastetaan ikkunan tiivisteet ja mahdollisesti säädetään ikkunaa, jotta se käy hyvin.
- Vaahdotus on ehyt. Jos vaahdotusta on leikattu, se menettää höyrynsulun ja sauma on lisäksi kitattava.
- Sauman kittaus on ehjä ja täyttää koko sauman leveyssuunnassa, jos sauma kitataan. Kittauksessa on käytetty tiiveysdetaljin ohjeistamaa materiaalia.
- Ikkunoiden ja ovien ristimitta tarkastetaan asennuksen jälkeen, jotta karmien muoto on säilynyt samana.
- Ikkunoiden ja ovien kunto on hyvä. Tarkastus tehdään silmämääräisesti.
- Asennuksessa on käytetty asennuskiiloja valmistajan ohjeiden mukaisesti, jotta karmi ei pääse vääntymään.

Läpivientien tiivistyksessä huomioitavat asiat ovat seuraavat

- Tiivistys on ehjä, ja täyttää koko tiivistettävän välin.
- Tiivistys on tehty valamalla tai tiiveysdetaljin ohjeistamalla materiaalilla.
- Palo-osastoidussa rakenteessa tiivistys on tehty palokatkotuotteilla.

Laadunvarmistuksen tarkastukset tehdään pääosin silmämääräisesti sekä myös mittaamalla. Mittausvälineiden käytön laajuus riippuu mittausajankohdasta. Ikkunoiden ja ovien asennuksen ja tuotteen mittatarkkuuksia tarkastettaessa työvälineinä voidaan käyttää sopivan kokoista vesivaakaa, ja mitanauhaa. Mahdollista on myös käyttää laseretäisyysmittaria, joka antaa tarkemman mittaustuloksen.

Kylmänä vuodenaikana voidaan myös riittävän paine-eron salliessa käyttää apuna pistelämpömittaria ja lämpökuvausta vuotojen ja rakentamisvirheiden havaitsemisessa. Rakennusaikainen rakenteiden lämpökuvaus onkin yleinen käytäntö NCC Rakennus Oy:ssä kylmänä vuodenaikana. Myös ilmavirtausmittausta, voidaan käyttää vuotojen havaitsemiseksi voimakkaassa alipaineessa. Tämä on kuitenkin hidas tapa, jollei jo valmiiksi tiedetä vuotokohtia. Varsin hyvä keino vuotokohtien havaitsemiseksi on myös kädellä tunnustelu ja merkkisavun käyttö. Tarpeeksi suuressa paine-erossa kädellä tuntee selvästi vuotokohdat esimerkiksi ikkunan karmin ja rakennuksen rungon saumasta.

Ilmatiiveyden varmentamisen dokumentointi tapahtuu samalla tavalla kuin tehtäväkohtaisessa laadunvarmistamisessakin. Laadunvarmistamisen asiakirjoihin(kuva 9) lisätään ilmatiiveyden kannalta olennaiset asiat. Vaatimukset kirjataan tehtäväsuunnitelmaan, josta ne siirretään muihin laadunvarmistamisen osioihin ja asiakirjoihin.

Asennuksen aikana

4. Asennuskiilat ikkunakulmissa ja pitämässä ikkunakarmipaketti paikoillaan.
5. Asennuspalojen/puukiilojen käyttö isojen ikkunoiden kiinnityspisteessä saranapuolella.
6. Uretaanivaahdotus ei sotke karmia/ pullista karmeja. Ovissa villotus+ kittaus.
7. Vaahdotus ehyt, jos leikataan menettää hörynsulun ja vaatii kittauksen.
8. Ristimitoititus tarkistettu ja pystyosat passissa sekä suorassa (ei kaareva).
9. Ikkunan aukeaminen ja sulkeminen sekä tiivisteiden toimivuus sekä sisäpuutteen tiiveys tarkastettu.
10. Karmin ja aukon välinen tiiveys on tarkastettu.

Asennuksen jälkeen

11. Merkkää ylös mahd. puutteet/ vauriot, joita oli tuotteessa, huomioi lasitus: naarmut, valumat yms.
12. Ovien kynnyks/ karmit suojattu.

	<i>Paikka</i>				
<i>Vaatus</i>					
1					
2					

Kuva 9, Ote ikkuna- ja oviasennuksen malliasennuksen dokumentoinnista /20/

Kuvassa 9 on esitetty asiakirjamalli malliasennuksen dokumentoinnissa. Siinä on listattu vaatimukset työn eri vaiheissa. Alempana on taulukko, johon kuitataan vaatimusten täytyminen.

Dokumentoinnilla on tärkeä osa laadunvarmistuksen todistusarvoa, mutta myös ilmatiivyyden vaatimusten muistamisessa rakentamisen aikana. Dokumentoinnissa voidaan käyttää apuna myös valokuvausta. Varsinkin peittyvien rakenteiden kuvaus on hyvä tapa, jotta voidaan tarvittaessa todistaa tehty työ ilman, että rakennetta tarvitsee avata.

3.4 Tilakohtainen laadunvarmentaminen

Tilakohtaisessa laadunvarmentamisessa näkökulma vaihtuu olennaisesti tehtäväkohtaisesta laadunvarmistuksesta. Kun tehtäväkohtaisessa varmistuksessa keskitytään työtehtäviin, tarkastellaan tilakohtaisessa tarkistuksessa tilaa kokonaisuutena. Eli käytäntö on samankaltainen kuin esimerkiksi itselleluovutuksessa, jossa tiloja käsitellään kokonaisuuksina, kuten asunto kerrallaan.

Tilakohtaisen laadunvarmentamisen tarkoituksena on varmistaa, että mitään ei ole jäänyt huomaamatta tehtäväkohtaisessa tarkastuksessa. Tilakohtaisessa tarkastuksessa keskitytään pelkästään ilmatiivyyteen, jolloin siinä ei huomio karkaa muihin asioihin, kuten tehtäväkohtaisessa tarkastuksessa

saattaa käydä. Varsinkin läpivientien tiivistyksen tarkistus saattaa helposti unohtua. Myös yleiset tilat saattavat jäädä vähemmälle huomiolle rakennettaessa. Asuntoihin kiinnitetään enemmän huomiota luonnollisesti asumismukavuuden saavuttamiseksi, mutta yleiset ja tilat ja käytävät käyttävät yhtä lailla lämmitysenergiaa huolimatta pienemmästä suunnittelulämpötilasta. Yleisissä tiloissa epäpuhtauksien pääseminen rakenteiden kautta sisälle on myös yhtä lailla ongelma kuin asunnoissakin. Näin ollen yleisiin tiloihin päätettiin kiinnittää huomiota ilmatiiveyden varmentamisen tilakohtaisissa tarkastuksissa.

Kokonaisuuden hallitsemiseksi ilmatiiveyden tilakohtainen tarkastus on jaettu kolmeen eri osa-alueeseen: alapohjaan, yläpohjaan ja seiniin. Jako on tehty myös aikataulullisista syistä, jotta tarkastus ehditään tekemään ennen peittäviä rakenteita. Se on tärkeää varsinkin suurissa projekteissa, joissa rakentamisen eri vaiheet limittyvät eri lohkoissa. Tarkastuksissa kyseisistä kokonaisuuksista tarkastetaan samat osa-alueet kuin tehtäväkohtaisissakin tarkastuksissa.

Tarkastuksen laajuus tulee päättää tehtäväkohtaisen tarkastuksen perusteella. Jos tehtäväkohtaisessa tarkastuksessa on tarkastettu esimerkiksi ikkuna-asennus hyvin, ja se on dokumentoitu, ei tilakohtaisessa tarkastuksessa kannata enää asennusta tarkastaa toistamiseen. Se kuitenkin vaatii asennuksesta tarpeeksi hyvän dokumentoinnin.

Alapohja

Alapohjan tarkastuksen toteutus vaihtelee riippuen alapohjarakenteesta. Maanvaraisessa alapohjassa tulee alapohjan alapuoliset rakenteet tarkastaa ennen laatan valua. Tiiveysdetaljin mukaan laatan ja sokkelin kulmaan sekä liikuntasauvojen kohtiin tuleva kumibitumikermikaista jää laatan alle, jolloin sen asennus tulee tarkastaa ennen valua. Laatan yläpinnan ja seinän välisen sauman kittaus taas tapahtuu myöhemmin, jolloin alapohjan tarkastusta ei tällöin voida tehdä kerralla. Tosin kittauksen tarkastus voidaan sijoittaa seinien tarkastukseen sisäpuolelta. Tuulettuvissa ontelolaatta-alapohjissa kermiä ei vaadita kuten maanvaraisessa alapohjassa, jolloin samaa ongelmaa ei ole. Ontelolaatta-alapohjan päälle tulee yleisesti lattiatasoite, jolloin rakennetta voidaan pitää tiiviinä. Kuitenkin alapohjan alapuoliset eristykset tulee tarkastaa. Yhteistä näille yleisimmille alapohjarakenteille kuitenkin on

läpivientien tiivistyksen tarkistus. Alapohjan läpi tulevista läpivienneissä onkin havaittu puutteita tiivistyksessä. Varsinkin sähkö- ja telekeskuksiin tulevien johtojen ja putkikourun välin tiivistys jää helposti puutteelliseksi, ja näin aiheuttaa ilmavuotoja. Läpiviennit tulee tiivistää tiiveysdetaljin ohjeiden mukaisesti. Alapohjan tarkastus ontelolaattaisissa alapohjissa voidaan suorittaa läpivientien tiivistyksen jälkeen, koska alapohjan alla pystyy liikkumaan. Tarkastus tulee järjestää mahdollisuuksien mukaan tehtäväksi kerralla, jotta menetelmästä ei muodostu liian monimutkaista.

Seinien tarkastus sisäpuolelta

Seinien tarkastus tapahtuu sisäpuolelta. Siinä tarkastus tehdään asuntokohtaisesti sekä yleiset tilat erikseen. Seinien tarkastuksessa keskitytään elementtisaumojen, ikkuna- ja ovi-asennuksen sekä läpivientien tiiveyteen. Elementtisaumat tarkastetaan silmämääräisesti. Tarkastus tulee jakaa helposti hallittaviin kokonaisuuksiin, jotta tarkastus ei paisu liian laajaksi, muttei kuitenkaan hajaannu liian moneen osaan. Tarkastuksen ajoitus ja työvaiheiden valmius kuitenkin rajoittavat tarkastuksen laajuutta. Tarkastus suoritetaan kun rakennuksen vaippa on tarkastusosasta valmiina. Ikkunat ja parvekkeen ovet on asennettu ja läpiviennit tiivistetty. Kuitenkin ajoitus on oltava ennen kuin peittäviä rakenteita aletaan tehdä, ja siten se tulee miettiä kyseisen kohteen aikataulun mukaan. Yleisesti sopiva ajankohta on, kun vesikatto on tehty ja lämmöt on päällä.

Yläpohja

Yläpohjan tarkastuksessa tarkistetaan läpivientien tiivistys. Tarkastus suoritetaan ennen kuin yläpohjan eristeiden asentamista aloitetaan, jolloin rakenne jäisi peittoon. Yläpohjan rakenteen ollessa ontelolaatoista, tulee huomioida ontelosaumojen tiivistys, jos sellaista vaaditaan.

Alapohjasta tarkistettavat asiat ovat seuraavat

- Alapohjan läpivientien tiivistys.
- Maanvaraisessa laatasta laatan ja seinän välinen tiivistys.
- Ontelolaatta-alapohjassa alapuolinen eristys.

Seinissä tarkistettavat asiat ovat seuraavat

- Elementtisaumat on täynnä, eikä niissä ole reikiä tai halkeamia.
- Ikkuna- ja ovi-asennus. Huomioi myös käytävän ikkunat.
- Seinien läpiviennit on tiivistetty.

Yläpohjassa tarkistettavat asiat ovat seuraavat

- Läpiviennit on tiivistetty.
- Mahdollinen ontelosaumojen tiivistys.

Tarkistusmenetelmät ovat samat kuin tehtäväkohtaisessakin laadunvarmentamisessa, luvussa 3.3.

Dokumentointi ilmatiiveyden laadunvarmentamisessa tehdään tarkistuskortteihin. Tarkistuskortit on jaettu erikseen kolmeen osaan kuten tarkastuskin. Tarkistuskortit toimivat myös muistilistoina ilmatiiveydestä.

3.5 Ilmatiiveysmittaus

Ilmatiiveysmittauksen tavoitteena on rakennuksen riittävän ilmapitävyyden tason syntyminen ja todentaminen. Kerrostalojen tapauksessa ilmanpitävyys mitataan joko yksittäisistä huoneistoista, yhdestä tai useammasta portaasta tai koko rakennuksesta. Eri menetelmillä mitattuja kerrostaloja voidaan käyttää saman talotyypin ilmoitetun ilmavuotoluvun määrittämiseen. Jos mittaus tehdään yksittäisistä huoneistoista tai useammasta portaasta, kerrostalon ilmanpitävyys on saatujen mittaustulosten keskiarvo.

Ilmanpitävyuden määrittäminen yksittäisten huoneistojen mittaustuloksista edellyttää huoneistojen mittausta eri kerroksista siten, että yksi huoneisto mitataan alimmasta ja ylimmästä kerroksesta ja lisäksi mitataan yksi huoneisto vähintään joka toisesta välikerroksesta. /3./

Ilmatiiveysmittaus suoritetaan n. 1-2 kuukautta ennen kohteen luovutusta. Mittausta ennen tulee mittaustulosten vaipan olla valmis tiiveyden osalta ja läpiviennit tiivistetty.

Mitattavan kohteen kunnolle annetaan seuraavia vaatimuksia.

- Mitattavat huoneistot pitää olla pölypuhtaina ja seinävieret vapaina.
- Seinät ja katot on pyyhitty esim. harjalla ja lattiat imuroitu.
- Ikkunoiden, ulko-ovien ja ulkoseinäsaumojen sekä lattian rajaan pääsy pitää olla esteetön.
- Kohteesta tulee tietää sen tilavuus (huoneistoala X vapaa kerroskorkeus).

Mitattavan kohteen IV-venttiilit tukitaan tai vaihtoehtoisesti ilmanvaihtolaitteisto laitetaan pois päältä, jotta mittaustilanteessa korvausilmaa ei pääse IV-kanavia pitkin kohteeseen. Puhallin asennetaan joko ulko-oveen, kuten kuvassa 10, tai ikkunan tuuletusluukun paikalle.



Kuva 10. Alipaineen synnyttävä puhallin ja mittauslaitteisto

Mittauksessa tutkittavaan tilaan aiheutetaan puhaltimella 50 Pascalin alipaine ulkoilmaan nähden. Vuotokäyrä ajetaan 5 - 10 Pascalin välein 20 - 60 Pascalin välillä. Alipaineen ylläpitämiseksi tarvittava ilmamäärä mitataan ohjelma-avusteisesti. Tämä ilmamäärä jaettuna tutkittavan tilan ilmatilavuudella tai muulla vaipan alaa kuvaavalla suurella antaa tulokseksi ilmavuotoluvun n_{50} , joka antaa kuvan tutkittavan rakennuksen tai sen osan ilmanpitävyydestä. Suomessa ilmavuotoluku on esitetty yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa (alipaineen ylläpitämiseksi tarvittava ilmamäärä/rakennuksen ilmatilavuus). /2./

Mittauksessa voidaan käyttää myös ylipainemittausta, jossa vastaavasti tilaan puhalletaan ilmaa, jotta saavutetaan 50 Pascalin ylipaine. Yli- ja alipainemittauksista lasketaan keskiarvo. Ylipainemittauksessa voidaan huomata joitain vuotokohtia, jota ei alipainemittauksissa välttämättä huomata, kuten kevytrakenteisen höyrynsulun limityksen vuotoja. Ylipainemittauksessa tulee kuitenkin huomioida ulkoilman tuulenopeus, joka vaikuttaa mittaus tulokseen. Ylipainemittaus tulisivin suorittaa mahdollisimman tyynellä säällä. Tämä pätee myös alipainemittaukseen. Ylipainemittaus kuitenkin on herempi tuulelle kuin alipainemittaus.

Ilmavuotojen kartoittamiseksi käytetään merkkisavua tai ilmavirtausmittaria ilmatiiveysmittauksen jälkeen. Alipainepuhallin jätetään mittauksen jälkeen päälle, jolloin alipainetta tulisi olla kohteessa vähintään 50 - 60 Pascalia. Merkkisavuampullilla tai ilmavirtausmittarilla (kuva 11) tarkastetaan yleisimmät vuotokohtat.



Kuva 11. Ilmavirtausmittaus

Kuvassa 11 esitetään ilmapvirtausmittari, joka kertoo anturin läpi virtaavan ilman (m/s), ja näin ollen ilmentää vuotokohtaa.

Ilmapvirtausmittarin sijaan voidaan myös tehdä ilmapvirtauksen tunnustelu. Alipaineistetussa tilassa vuotokohtat huomataan helposti ilmapvirtauksen ollessa voimakkaampi kuin normaalissa painetilanteessa. Ilmavuotoja voidaan havainnoida myös paikantamalla ne lämpökameralla mittauksen aikana.

Tulosten perusteella määritetään kohteen keskimääräinen ilmantiiveysluku. NCC on asettanut seuraavat kriteerit ilmanvuotoluvulle asuntotuotannossa. Asuntojen laskennallinen keskiarvo tulisi olla alle 1,5 1/h. Yksittäisen asunnon mitattu ilmanvuotoluku ei tulisi olla yli 2,0 1/h. Jos ilmanvuotoluku ylittää arvon 2,0 1/h, edellyttää se parannustoimenpiteitä työmaalta. Ilmanvuotoluvun ylittäessä arvon 2,5 1/h, on kyseessä merkittävä ilmavuoto, josta raportoidaan ylempiin tasoihin. Mittauksen raportissa otetaan kantaa tarvittaviin jatkotoimenpiteisiin. Jos päädytään korjaustoimenpiteisiin, suoritetaan sen jälkeen mahdollinen uusintamittaus.

3.6 Menettelytapaohje ja tarkastusasiakirjat

Ilmatiiveyden varmentamisen toimintamallin käyttö tulee tehdä samalla tavalla jokaisessa kohteessa, jotta varmentaminen taso saadaan samalle linjalle yrityksen sisällä. Siksi varmentamiselle on tehtävä menettelytapaohje. Menettelytapaohjeessa neuvotaan varmentamisen kulku ja tapa sekä tehtäväkohtaisessa että tilakohtaisessa tarkastuksessa. Menettelytapaohje on ohjekortti tarkastuksen tekijälle.

Ilmatiiveyden tilakohtaisen varmentamisen tarkastuskortit ja menettelytapaohje tulevat yhteisesti käyttöön NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisessa. Ne tulevat saataville NCC:n sisäisissä tietojärjestelmissä Projectiassa sekä MOSS:ssa. Ne ovat järjestelmiä, joihin yrityksen toimihenkilöillä on käyttöoikeudet. Tehtäväkohtaisen tarkastuksen vaatimukset lisätään niihin liittyvien tehtävien tarkastuskortteihin.

3.7 Suunnittelun osuus varmennuksessa

Ilmatiiveyden varmennuksen hoitaa pääosin työmaan työnjohto, mutta myös suunnittelijan tulee ottaa osaa siihen. Varsinkin ilmatiiveyden kannalta kriittisten rakenteiden mallityön tarkastuksessa suunnittelijan tulisi olla läsnä.

Suunnittelija kuitenkin tietää parhaiten kuinka rakenne toimii, ja samalla saadaan suunnittelijan hyväksyntä tehdylle työn laadulle. Suunnittelijan tarkastamaa mallia voidaan jatkossa käyttää vertailukohtana jatkossa. Rakenteista varsinkin ikkunoiden ja parvekkeen ovissa mallin tarkastus on tällaisia toimia vaativa rakenne. Myös alapohjan läpi tulevien läpivientien tiivistys kannattaa hyväksyttää suunnittelijalla.

4 TESTAUS

4.1 Testauksen tarkoitus ja tavoite

Testauksen tarkoituksena oli tarkastella laadunvarmistustoimenpiteiden vaikutusta rakennuksen ilmatiiveyteen. Testauksessa suoritettiin ikkunoiden ja parvekkeen ovien asennustarkastus. Näissä rakenteissa on huomattu eniten ilmavuotoja yksikön suorittamissa ilmatiiviysmittauksissa. Tehtävän ohjauksen laadunvarmistustoimenpiteitä, jotka on esitetty luvussa 3.3, ei tehty kokonaisuutena, vaan keskityttiin pelkästään asennustarkastukseen. Näin ollen muut tehtävän ohjauksen toimenpiteet jätettiin testauksessa ulkopuolelle.

Testikohteet valittiin tutkimuksen aikataulun perusteella. Yhteensä testikohteita valittiin kaksi. Koska laadunvarmistustoimenpiteiden ajankohta kyseisistä työvaiheista mittausajankohtaan on pitkä, rajoitti se testauskohteiden valintaa, jotta tutkimus saataisiin ajoissa valmiiksi. Testauskohteiden valinnassa pyrittiin, että kohteiden rakenteet olisivat erilaisia. Seinä- ja yläpohjarakenteiden osalta tämä onnistuikin, mutta alapohjarakenteet kohteissa ovat samanlaiset. Kummassakin kohteessa alapohja on tuulettuva ontelolaatta-alapohja. Kohteista valittiin sopivassa vaiheessa oleva lohko, jossa tarkastukset tehtiin. Molemmissa testikohteissa valittiin kokonainen rappukäytävä. Ensimmäisessä testikohteessa oli kaksikymmentäyksi asuntoa ja toisessa testikohteessa kolmetoista asuntoa. Kohteissa tarkastukset suoritettiin jokaiseen asuntoon. Tilakohtaisen tarkastuslistan toimivuutta testattiin ensimmäisessä kohteessa eri ajankohtana kuin asennustarkastukset. Yhteistä molemmille kohteille oli, että ikkunoiden tiivistyksessä oli käytetty vaahdotusta ja lisäksi sisäpuolen kittautusta.

Tarkastuksissa jokainen tarkastettu rakennusosa dokumentoitiin tarkastuslistalle. Lisäksi otettiin kuvia tilanteissa, joissa asennuksessa huomattiin virhe. Lopuksi tarkastuksesta tehtiin yhteenveto, jossa kerrottiin asennuksen onnistuminen ja mahdolliset korjattavat asiat. Yhteenveto ja tarkastuslista lähetettiin työmaan toimihenkilöille.

Myöhemmin testikohteissa suoritettiin ilmatiiveysmittaus. Mittaukseen otettiin mukaan yhteensä 34 asuntoa. Normaalisti kohteesta mitataan minimissään kolme asuntoa, joista lasketaan keskiarvo. Tutkimuksen kannalta oli tarpeellista ottaa suurempi otanta, jotta tulokset antaisivat mahdollisimman tarkan

kuvan kohteen ilmatiiveystasosta. Kummassakin testikohteessa päätettiin mitata koko rakennuksen lohko kerralla, koska ilmatilavuus oli tarpeeksi pieni mittauslaitteistolle. Näin mittaus pystyttiin suorittamaan nopeammin, ja samalla saatiin koko rapun ilmatiiveystaso selville, eikä pelkästään erillisten asuntojen.

Ilmatiiveysmittaukseen otettiin mukaan myös vuotojen paikannus lämpökameralla. Tämä nähtiin tutkimuksen kannalta tarpeelliseksi ottaa mukaan ilmentämään mahdollisia vuotokohtia. Lisäksi sillä on mittausten dokumentoinnin kannalta tutkimuksen arvoa lisäävä vaikutus.

4.2 Vuotojen paikannus lämpökameralla ilmatiiveysmittauksessa

Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään lämpökamerapaikannusta ilmatiiveysmittauksen tukena. Lämpökameralla paikantaminen havainnoi vuotokohtia paremmin kuin pelkkä vuotojen tunnustelu ja siten vuotokohdat on myös helpompi löytää mittauskohteesta. Lämpökameran käyttö vuotojen paikantamisessa ei ole normaali käytäntö yrityksen tekemissä ilmatiiveysmittauksissa, mutta tämän työn kannalta se oli tärkeä osa dokumentointia ja auttoi analysoimaan vuotojen syitä.

Lämpökuvauus on ainetta rikkomaton menetelmä, jossa hankitaan ja analysoidaan lämpösäteilyinformaatiota rakenteista lämpökameran avulla. Lämpökamerakuvauksella voidaan arvioida ja todentaa rakennusten, rakenteiden ja rakennusmateriaalien toimivuutta, laatua ja kuntoa. Rakentamisen laadunvalvonnassa tärkeitä lämpökamerakuvauksella todennettavia kohteita ovat suunnitellun lämmöneristystason saavuttaminen, lämmöneristyskerroksen toimivuus eli rakenteen lämmönpitävyys ja rakenteellinen tiiviys eli mahdolliset ilma- ja lämpövuotokohdat. /22, s. 7./

Lämpökamera antaa kaksiulotteisen lämpötilajakaumakuvan, joka voidaan visualisoida isotermein tai värien avulla. Käytetyn lämpötila-alueen asteikko näkyy kuvan vieressä ja lämpökuvan värit riippuvat täysin asetetusta lämpötila-asteikosta kuten kuvassa 12. Lämpötila-asteikko täytyy osata valita oikein, jotta lämpökuvasta voidaan havaita pienimmätkin lämpötilaerot. Joissakin kameramalleissa kamera itse säätää lämpötila-asteikon sopivaksi. /23./

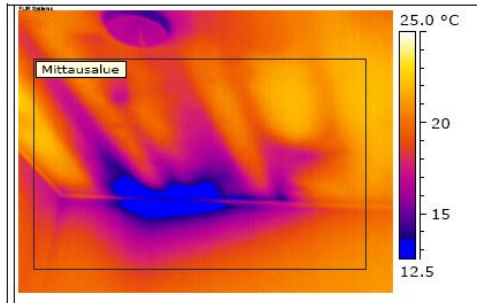
RAKENNUSAIKAISET LÄMPÖKUVAT

Sivu 1/1

26.2.2009

XX	Työnumero: XX
----	---------------

Huoneisto: XX	Kuvauspäivämäärä: 23.10.2007
---------------	------------------------------



Lämpökuva 1.

Tekstikommentti	Arvo	Mittausparametri	Arvo
Asunto XX	-	Emissiivisyys	0.95
Tunniste	Arvo	Etäisyys	3.0 m
Mittausalue: Maks	22.4 °C	Taustalämpötila	22.5 °C
Mittausalue: Min	9.5 °C		
Isol	13.5 °C		
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	49		

Tuuli/suunta	2 m/s (Etelä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	-
Pilvisyys	Selkeä	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-3 Pa
Ulkoilman lämpötila	-3.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	22.5 °C

Kuva 12. Lämpökuvausraportti seinän ja katon saumasta

Kuvan 12 mittausraportissa näytetään vierekkäin lämpökuva sekä tavallinen kuva rakenteesta. Lisäksi siinä kerrotaan alueen minimi sekä maksimi lämpötila ja rakenteen lämpöteknistä toimivuutta kuvaavan lämpötilaindeksin. Tietojen määrä raportissa vaihtelee tapauskohtaisesti.

4.3 Testikohteet

4.3.1 Testikohde 1: Rosendalinkuja 4

Kohde sijaitsee Vantaalla. Kohde koostuu kolmesta eri rapusta, joissa on yhteensä 61 asuntoa. Tutkimuksen tarkastusten ja mittauksen kohde oli A-rappu, jossa sijaitsee 21 asuntoa.

Kohteen rakenteet ovat seuraavat

- Alapohja: EPS+Ontelolaatta + pintavalu
- Seinät: Sisäkuorielementti + villa + ohutrappaus, 1.krs seinät sandwich-elementtejä ja myös osa 2. krs. seinistä. 6. krs seinät pohjoiseen päin ovat myös sandwich-elementtejä.
- Yläpohja: Ontelolaatasto + kevytsora + pintavalu + vedeneristys
- Ikkunaliitos: vaahdotus + kittaus
- Ikkunat: Fenestra Primus 100 MSE, Primus 101 MSE sauna.

4.3.2 Testikohde 2: Syyskaste

Kohde sijaitsee Vantaalla. Rakennus koostuu kahdesta rapusta, joissa on yhteensä 25 asuntoa. Tutkimuksen tarkastusten ja mittauksen kohde oli A-rappu, jossa sijaitsee 13 asuntoa.

Kohteen rakenteet ovat seuraavat

- Yläpohja: Ontelolaatta + puhallusvilla (harjakatto)
- Seinät: Sisäkuorielementti + eriste + tiilimuuraus (Tien puoleinen julkisivu), Sisäkuorielementti + mineraalivilla + rappaus(Sisäpiha ja päädyt), Sandwich- elementti (1krs.)
- Alapohja: Ontelolaatta + eriste
- Ikkuna-as.: Vaahdotus + kittaus
- Ikkunat: Fenestra Primus 100 MSE, Primus 101 MSE sauna.

4.4 Tarkastukset

4.4.1 Tarkastusmenetelmät

Ristimittojen tarkastus

Ikkunoista tarkastettiin ristimitta karmin sisäreunasta. Mittauksessa käytettiin Hilti PD4 -laseretäisyysmittaria. Ikkuna avattiin ja mitat otettiin sisäreunasta, koska ulkoreunasta mitat olisivat olleet epätarkkoja sekä mittaus olisi ollut hankala toteuttaa, varsinkin yksin. Laseretäisyysmittarilla mittaus onnistuu myös yksin. Mittarilla ei tosin saa aivan todellisia ristimittoja, koska mittarin peräpää ei ylety muotonsa takia aivan kulmaan saakka. Eroa todelliseen ristimittaan on n. 10 mm. Siten saatua ristimittaa ei voida suoraan verrata ikkunan pysty- ja vaakamittoihin. Kuitenkin ristimitta on verrattavissa ikkunan toi-

seen ristimitaan, koska virhe todelliseen ristimitaan on sama. Muuten mitaustapa on tarkka. Virhemarginaalia testattiin mittauksissa muutamassa ikkunassa, jolloin eroksi muodostui +/- 1 mm. Siten saatuja mittoja voidaan ristimittojen vertailussa pitää luotettavana. Ikkunoista tarkastettiin myös silmämääräisesti ulkopuitteen ja karmin väli, jolloin nähtiin ulkopuitteen osalta, asettuuko puite karmiin hyvin.

Karmien suoruus

Ikkunoista ja ovista tarkastettiin myös karmien suoruudet. Tarkastuksessa käytettiin 80 cm pitkää passia, jolla tarkastettiin karmin jokainen osa. Vaahdottamalla tiivistetyissä ikkunoissa saattaa huolimaton vaahdotus pullistaa karmia, mikä saattaa aiheuttaa ristimittojen vääristymisen, jolloin puite ei asetu karmiin tiiviisti.

Vaahdotus ja kittaus

Vaahdotuksesta tarkastettiin, ettei se ole jäänyt vajaaksi ja ettei siinä ole reikiä. Samoin kittauksesta tarkastettiin ehjyys, ja että se täyttää koko sauman. Vaahdotus ja kittaus tarkastettiin silmämääräisesti.

Dokumentointi

Tarkastukset kirjattiin mittauspöytäkirjaan, johon on kirjattu erikseen jokaisen ikkunan ja oven mitat, ristimitat, suoruus, kittauksen ehjyys sekä testikohte 2:ssa ikkunoiden ja ovien vaahdotus. Ikkunat ja ovet paikannettiin ikkunakarttaan. Ikkunakarttana käytettiin kohteen esitteestä kopioituja asuntojen pohjakuvia. Mahdolliset puutteet tarkastuksissa kuvattiin.

4.4.2 Haasteet tarkastuksissa

Testauksessa olennainen osa oli ikkunoiden ja parvekkeen ovien asennustarkastus. Siinä tulee tarkastaa asennuksen osalta karmien suoruus sekä karmin ristimitat, jotta ikkunapuite istuu hyvin aukkoon. Lisäksi tiiveyden kannalta olennainen karmin ja rakennusrungon välinen tiivistys tulee tarkastaa. Ongelmana ristimittojen tarkastuksessa on toleranssien puute. Valmistaja antaa ikkunoiden ristimitoille seuraavia vaatimuksia:

Lävistäjien suurin sallittu pituusero voi olla 1,5 - 6,0 mm riippuen puitteen tai tuuletusluukun suurimmasta mitasta (leveys tai korkeus). Mikäli suorakulmaisuus poikkeaa tästä, tulee ensin tarkastaa, että ikkunat on asennettu ja säädetty valmistajan toimittamien ohjeiden mukaan./24./

Tämä tieto on peräisin valmistajan laatuohjeesta. Sitä ei ole kuitenkaan ole yksilöity tietyn kokoiselle ikkunalle. Tämä hankaloittaa mittaustulosten analysointia, jolloin ristimittojen sallittu erotus joudutaan arvioimaan. Valmistajan ohjeiden mukaan ulkopuitteen ja karmin käyntivälin mukaan katsotaan, että karmi on suorassa ja ristimitassa. Tosin, jos käyntivälit ovat samankokoisia, asettuu puitekin siihen oikein, jolloin tiivisteet täyttävät raon. Ongelma käyntivälin tarkastuksessa on sisäpuitteen asettumisessa, jota ei pystytä tarkastamaan. Parvekkeen ovelle ei anneta asennusohjeen mukaan toleransseja ristimitoille. Ohjeessa annetaan arvot puitteen ja karmin väliselle käyntivälille.

Testikohteen 1 parvekkeen ovissa oli suojat n. 1 m:n korkeuteen asti, mikä hankaloitti mittausta sekä suoruuden tarkastusta, ja mittaustulokset eivät ole niin tarkkoja kuin ikkunoissa.

Tuuletusikkunoiden mittausta oli myös haastavaa, koska ikkuna on niin kapea. Käsi oli hankala saada ikkunan väliin avaamatta ikkunalehtien lukitusta toisiinsa. Tämä hidasti mittausta huomattavasti.

Testikohteessa 1 ikkunat ja ovet oli ehditty kittaamaan ennen tarkastusta, jolloin vaahdotusta ei pystytty tarkastamaan sen ollessa peitossa. Tältä osin tarkastus jäi puutteelliseksi.

4.4.3 Tarkastukset testikohde 1

Ristimittojen erotukset olivat 5-0 mm:n välillä. Joskin yhden parvekeoven ristimitta heitti 8 mm:ä. Tätä tosin ei voida välttämättä pitää paikkansapitävänä tuloksena, koska suojaus häiritse mittausta. Ainoat huolestuttavat tulokset antoivat muutamat tuuletusikkunoiden ristimittojen erotukset (5 mm), koska ikkuna on niin pieni (1,312 X 0,315 m). Asennuksen suoritti Ikkunavalmistajan oma asennusryhmä.

Ikkunoiden ja ovien kittaukset olivat valmiit A-rapussa. Kittaukset tarkastettiin silmämääräisesti ja tunnustelemalla. Koska tarkastushetkellä oli pakkasta ulkopuolella, saattoi mahdolliset vuotokohdat havaita myös tunnustelemalla

vallitsevan paine-eron vuoksi. Reikiä ja halkeamia esiintyi jossain määrin ja useasta parvekkeen ovesta oli unohtunut kitata alasauma. Kittauksen halkeamille on todennäköisesti ollut syynä väärän tiivistysaineen käyttö. A-rapussa käytettiin akryylimassaa, joka ei sovellu niin paksuihin saumoihin kutistumisvaaran vuoksi. Tiivistysmateriaali vaihdettiin B- ja C-rapussa elementtikittiin, joka täyttää sisäilmavaatimukset. Näin voidaan jatkossa välttyä halkeamilta ja kittauksen irtoamiselta. Ikkunoiden ja ovien karmit olivat ainakin passilla tarkastettuna suorat. Kittauksen suoritti aliurakoitsija.

4.4.4 Tarkastukset testikohde 2

Tarkastus suoritettiin kahdessa eri osassa, koska ensimmäisellä kerralla kitasta ikkunoihin ja parvekkeen oviin ei oltu vielä tehty. Ensimmäisellä kerralla tarkastettiin ikkunan asennus ja tiivistys polyuretaanivaahdolla. Toisella kertaa tarkastettiin pelkkä kittaus. Tämä oli hyvä vaihtoehto, koska samalla nähtiin miten vaahdotus oli onnistunut.

Ikkunoiden ristimittojen ero vaihteli keskimäärin 0-2 mm välillä, muutamaa poikkeamaa lukuun ottamatta. Suurin ero oli 5 mm, joka oli A11 parvekkeen ovesta. Lukemaa ei välttämättä voida pitää luotettavana, koska oven kynnyks oli suojattu, mikä saattoi häiritä mittausta. Asennuksen suoritti NCC:n omat työntekijät. Uretaanivaahdotus täytti kaikissa ikkunoissa koko karmin ja rungon välin.

Kittaus oli tehty jokaiseen ikkunaan ja parvekkeen oveen, paitsi asunnon A6, jonka parvekkeen oven alareuna oli jäänyt kittaamatta. Kittauksista löytyi pientä rakoilua reunoilla sekä muutama isompi reikä. Raoista ei kuitenkaan tuntunut tulevan ilmavirtaa läpi, joten ei voida varmasti sanoa, ulottuvatko reiät läpi asti. Useassa parvekkeen ikkunan ja oven välisessä saumassa kitiin alta paistoi paikoin vaahdotus. Kittauksen suoritti NCC:n omat työntekijät.

4.5 Ilmatiiveysmittaus ja vuotojen paikantaminen

4.5.1 Valmistelut

Ennen mittauksen suorittamista jouduttiin tekemään joukko valmistelevia toimenpiteitä. Koska mittauksessa mitataan rakenteiden läpi vuotavaa ilmamäärää, tulee kaikki mahdolliset korvausilmareitit tukkia.

Tarvittavat toimenpiteet riippuvat mittaustavasta. Mittaus voidaan suorittaa asuntokohtaisesti tai koko rakennus/porras kerralla. Kummassakin testikohteessa mittaus suoritettiin koko portaassa. Näin ollen myös käytävissä ja yleisissä tiloissa jouduttiin suorittamaan valmistelevia toimenpiteitä.

IV-kanavat

Tärkein osa tiivistyksiä on ilmavaihtokanavien tulppaaminen. Kaikki mahdolliset ulkoilmakanavat sekä jäteilmakanavat tulee saada suljettua. Asuntokohtaisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä tämä tarkoittaa, että jokaisesta mittauslohkossa sijaitsevasta asunnosta joudutaan nämä kyseiset kanavat tulppaamaan. Kummassakin testikohteessa on käytössä edellä mainittu järjestelmä. Käytännössä tiivistys suoritetaan asuntokohtaisesta ilmanvaihtokoneesta. Vaihtoehtoinen tapa olisi tulpata katolta kyseisten koneiden huippuimurit sekä rakennuksen ulkopuolelta ulkoilmakanavat. Tämä tosin on käytännössä vaikea toteuttaa kerrostaloissa, koska ulkoilmakanavien tukkimiseen tarvittaisiin nostin, sillä kanavien päät sijaitsevat ulkoseinissä. Täten tiivistäminen suoritettiin ilmanvaihtokoneista, kuten kuvassa 13. Tiivistämisessä voidaan käyttää ilmastointiteippiä tai tiivistyspalloa. testikohteissa käytettiin kumpaakin menetelmää.



Kuva 13, Svegon ILTO 270 -ilmanvaihtokoneen tiivistys

Kuvassa 13 on ilmanvaihtokoneeseen tehty tarvittavat tiivistykset. Alakulmassa poistoilmapuhaltimen ilmanottoaukko on teipattu umpeen. Ylhäällä koneen ulkoilmakanava on myös teipattu, jolloin varmistutaan, ettei koneen kautta pääse korvausilmaa, joka häiritsee mittausta.

Asuntojen ilmavaihtokanavien lisäksi tulee huomioida käytävän sekä yleisten tilojen ilmavaihtokanavat. Testikohteissa käytävän ilmavaihto suljettiin teippamalla katolla sijaitseva huippuimuri, johon oli kytketty käytävän poistoilma. Raitisilmakanavat tulpattiin sisäpuolelta. Tarvittavat tiivistykset selvitettiin ilmanvaihtokuvista sekä asuntojen ilmanvaihtokoneiden kanavakaavoista (kuva 14).

Yleiset tilat ja käytävä

Johtuen mittauksen ajankohdasta oli kummassakin testikohteessa rakenteita keskeneräisinä yleisissä tiloissa. Tästä syystä jouduttiin tekemään väliaikaisia tiivistyksiä, jotta keskeneräisistä rakenteista ei syntyisi tulosta huonontavia ilmavuotoja. Kummassakin kohteessa tiivistettiin sähkö- ja telekeskuksiin tulevat läpiviennit(kuva 15).



Kuva 15, Sähköläpiviennin väliaikainen tiivistys

Kuvassa 15 on läpivienti tiivistetty muovipussilla, joka on täytetty polyuretaanivaahdolla. Tämä mahdollistaa tukkeen poiston siististi mittauksen jälkeen.

Testikohteessa 1 oli lisäksi joitakin yleisten tilojen kaivoja valamatta paikoilleen, jolloin tilasta oli suora yhteys alapohjaan. Nämä reiät tiivistettiin polyuretaanivaahdolla alapuolelta.

Yhteistyö työmaan kanssa

Ilmatiiveysmittauksen aikana mittauslohko on rauhoitettava muulta liikenteeltä, jotta voidaan varmistua tuloksen oikeellisuudesta. Koska mittaukset suoritettiin koko rapussa, oli se suljettava mittauksen ajaksi. Näin ollen tulee työmaan johdon ja työntekijöiden oltava tietoisia mittauksen ajankohdasta ja

sen aiheuttamista häiriöistä työmaalla. Työmaan johtoa informoitiin asiasta ja sitä kautta tieto siirtyi myös työntekijöille.

Ilmamäärien mittaus

Ilmantiiveysluvun määrittelyssä tarvitaan mittauskohteen tilavuus. Mittaus suoritettiin osin kuvista ja osin paikan päällä mitaten. Työpiirustuksista selvitettiin asuntojen pinta-alat. Työmaalla mitattiin asunnon korkeus sekä alakattojen ja koteloiden tilavuudet. Nämä vähennettiin koko asunnon tilavuudesta riippuen oliko niiden ilmatila yhteydessä muuhun asuntoon esimerkiksi tarkastusluukkujen ollessa auki. Yleisten tilojen sekä käytävän pinta-alat ja korkeudet laskettiin kuvista ja mahdolliset tarkennukset ilmamääriin tehtiin työmaalla. Nämä yhteensä laskettuna on koko mittauslohkon ilmamäärä.

4.5.2 *Mittaustapahtuma*

Mittauksessa ja vuotokohtien paikannuksessa käytettiin seuraavia laitteita:

Mittauslaitteisto

- Oviaukkoon asennettava puhallin ja painekoelaitteisto Minneapolis BlowerDoor (APT4 - kalibroitu 9/09)
- Kannettava tietokone, Fujitsu Siemens
- Hygropalm 0, lämpötila-/kosteusmittari.

Vuotojen paikannuslaitteisto

- Thermoanemometri Airflow TA7
- Digitaalikamera Hp Photosmart R817
- Lämpökamera Flir P25
- Kemiallinen merkkisavu Dräger.

Kummassakin case-kohteessa ilmantiiveysmittaus siis suoritettiin koko rapusta mukaan lukien asunnot, käytävän ja yleiset tilat. Tämän mahdollistivat kummankin kohteen tarvittavan pienet ilmamäärät sekä tiiviit rakenteet. Mittauslaitteiston maksimi puhallusteho riittää yhteensä n. 7500 m³ tilavuuteen, jos rakennus on tarpeeksi tiivis. Testikohteessa 1 tilavuus oli 4321 m³ ja testikohde 2:ssa 2453m³. Puhaltimen teho riitti kummassakin kohteessa riittävän painetason saavuttamiseksi.

Kyseisellä mittaustavalla saadaan ilmantiiveyslukuun mukaan muutkin tilat kuin asunnot. Nämä tilat kuitenkin käyttävät lämmitysenergiaa yhtä lailla kuin asunnotkin, joten mittaustulos on täten paljon monipuolisempi. Yleisten tilojen mittauksella myös saatetaan havaita vuotokohtia, jotka muuten saattaisivat unohtua.

Mittaustapahtuma aloitettiin mittauskaluston asennuksella. Puhallinovi asennettiin suurin piirtein keskelle rakennusta korkeussuunnassa, jotta kaikkialle mittaushetkellä saataisiin mahdollisimman tasaiset paineolot. Paineolot ovat joka tapauksessa erilaiset alimmassa ja ylimmässä kerroksessa, vaikka rakennus olisikin paineistettu. Testikohteessa 1 puhallinovi asennettiin 3. kerroksessa asunnon parvekkeen oveen, ja testikohteessa 2 toiseen kerrokseen. Tämän jälkeen varmistettiin, että kaikki ovet ja ikkunat olivat suljettuna.

Ennen varsinaisen mittauksen aloitusta mittaushetkellä puhallin laitettiin päälle ja nostettiin painetta, jonka jälkeen kaikki tiivistykset tarkistettiin. Tarkistuksen tarkoituksena oli varmistaa, etteivät puutteelliset tiivistykset aiheuta mittaustulosta häiritseviä vuotoja. Tiivistykset tarkistettiin tunnustelemalla sekä ilmavirtausmittarilla. Paineen noston jälkeen lisäksi mitattiin paineolot(kuva16) alimmassa, ylimmässä ja keskimmaisessä kerroksessa. Tällä varmistettiin, että mittaustulokset ovat luotettavia joka puolella rakennusta. Tämän jälkeen aloitettiin varsinainen mittaus.



Kuva 16, Paine-eron mittaus

Kuvassa 16 on esitetty paine-eron mittaus ulko- ja sisäpuolen välillä. Paine-mittarin anturi on asennettu tuuletusikkunan välistä ulkopuolelle.

Mittausta varten mittauskohde jouduttiin rauhoittamaan noin tunnin ajaksi. Itse mittauksessa ei kestä hyvissä olosuhteissa niin kauaa, mutta häiriöiden varalta on hyvä, että mittaukselle varataan tarpeeksi aikaa. Olosuhteisiin vaikuttaa paljon tuulen voimakkuus ja vaihtelevuus. Voimakas tuuli aiheuttaa erilaisia paine-eroja tyneen ilmaan verrattuna, jolloin mittauskäyrän hajonta lisääntyy. Tämä myös aiheuttaa mittauksen keston pitenemistä. Testikohteessa 2 sää oli tyyni, jolloin mittaustulos saatiin nopeasti. Testikohteessa 1 taas sää oli tuulinen, ja lisäksi tuuli oli puuskittaista. Tämä aiheutti pientä viivettä mittauksen kestossa ja mittauskäyrän hajontaa. Aikataulumääreissä kuitenkin pysyttiin.

Mittauksen jälkeen rakenteiden annettiin jäähtyä lisää noin puoli tuntia, jonka jälkeen voitiin aloittaa vuotokohtien paikannus. Paikantamisen aikana mittauskohdetta pidettiin puhaltimella alipaineisena paikantamisen helpottamiseksi. Vuotokohdat paikannettiin lämpökameralla. Vuotokohdista pääsi rakenteen läpi kylmää ulkoilmaa, joka jäähdytti paikallisesti rakenteen vuotokohdan ympärillä. Viilentynyt rakenne näkyi lämpökameran etsimessä, jonka jälkeen rakenteesta varmennettiin ilmapuoto tunnustelemalla. Alipaineistuksessa tilassa vuotokohta tuntuu selvästi iholla. Apuna tunnustelussa käytettiin lisäksi savuampullia.

Näin läpi käytiin koko mittauskohteen ulkoseinät, alapohja ja yläpohja sekä niihin liittyvät rakenteet. Lämpökameralla paikannetut vuotokohdat merkittiin rakennuksen pohjakuviin myöhempää käyttöä varten. Näin otetut lämpökameran kuvat voidaan paikallistaa helposti työmaalla pohjakuvan avulla. Paikantamisen jälkeen tehdyt tiivistykset poistettiin, ja mittaus oli valmis.

4.5.3 Mittaustulokset: testikohde 1

- Ilmanvuotoluku $n_{50} = 0,64$ (+/- 2.6%) 1/h
- Vuotoilmamäärä $V_{\text{vuotoilma}} = 2754 \text{ m}^3$
- Ilmamäärä $V = 4321 \text{ m}^3$

Tulosta huonontavia vuotoja löytyi sekä yleisistä tiloista että asunnoista. Selviä vuotokohtia paikannettiin yhteensä 39 kappaletta, joista 22 sijaitti yleisissä tiloissa ja 17 asunnoissa.

Asunnot

Asunnoissa suurin osa vuodoista aiheutui ikkunoista ja parvekkeen ovista, yhteensä 15 kappaletta. Näistä vuotokohdista 3 kappaletta oli karmivuotoja. Karmivuodolla tässä yhteydessä tarkoitetaan karmin ja apukarmin välistä tiivistystä.

Karmivuotoja aiheuttivat

- Puutteellinen vaahdotus ja kittaus
- Väärien materiaalien käyttö.

Kohteessa tiivistys oli tehty polyuretaanilla ja lisäksi kitattu sisäpuolelta akryylimassalla. Vuotojen syytä ei voida varmasti selvittää, koska ikkunoiden ja ovien listoitus oli tehty. Loput vuodot ikkunoissa ja parvekkeen ovissa johtui tiivisteiden läpi päästämistä ilmapuodoista, yhteensä 12 kappaletta.

Tiivistevuotoja aiheuttivat

- Parvekkeen ovissa roskaa tiivisteiden välissä
- Osassa parvekkeen ovissa oli suojat vielä paikallaan, jolloin tiiviste ei toiminut oikein.
- Tiiviste oli irti
- Karmiväli aukinainen
- Karmin korkoero.

Tiivistevuodon aiheutti myös metalliosa asunnon A4 makuuhuoneen tuuletusikkunassa(kuva 17).



Kuva 17, Asunnon A4 makuuhuoneen tuuletusikkuna

Kuvan 17 ikkunassa näkyy metalliosa karmissa vasten tiivistettä. Tämä painoi tiivistettä kasaan ja näin aiheutti tiivistevuodon.

Lisäksi asunnoista löytyi yhteensä kaksi kappaletta elementtisaumoista aiheutuvaa vuotoa. Vuotojen syytä ei pystytty havaitsemaan, koska jalkalistat olivat asennettuina. Todennäköisesti vuodot aiheutuvat halkeamasta tai reiästä seinäelementin alasaumassa.

Yleisissä tiloissa vuotoja aiheuttivat seuraavat rakenteet

- Mittausalueella sijaitsi yhteensä 4 kappaletta ulko-ovia, joista jokaisesta löytyi sekä tiiviste- että karmivuotoa. Ovien tiivistevuodoille ei löytynyt mitään selvää syytä, mutta karmivuodot aiheutuivat puutteellisesta vaahdotuksesta. Myös ulko-ovissa sijaitsevat tuuletusluukut vuotivat, vaikka olivatkin kiinni.
- Alapohjan luukusta aiheutui ilmavuotoa. Vuoto johtui luukun rakenteesta, joka ei ole ilmatiivis.
- Portaiden/ lepotasolaattojen varaukset ulkoseinässä olivat jääneet tiivistämättä. Se aiheutti vuotoa melkein jokaisessa liitoksessa.
- Savunpoistoluukun tiivisteet.

Lisäksi vuotoja aiheutui keskeneräisistä rakenteista. Näitä olivat lämpöputkien ja kaivojen läpiviennit, joita ei oltu valettu umpeen. Näihin läpivienteihin jouduttiin tekemään väliaikaisia tiivistyksiä, joilla ei kuitenkaan saatu rakennetta aivan tiiviiksi. Lisäksi sähkö- ja telekaappien alapohjien läpivienneistä aiheutui vuotoja väliaikaisesta tiivistyksestä huolimatta. Lämmönjakohuoneesta löytyi myös muutama vuoto elementtisaumoista, joihin oli jäänyt joko halkeamia tai reikiä.

4.5.4 Mittaustulokset testikohde 2

- ilmanvuotoluku $n_{50} = 0,44$ (+/- 0.2 %) 1/h
- Vuotoilmamäärä $V_{\text{vuotoilma}} = 1086 \text{ m}^3$
- Ilmamäärä $V = 2452,6 \text{ m}^3$

Tulosta huonontavia ilmavuotoja löytyi sekä yleisistä tiloista että asunnoista. Yhteensä paikannettuja vuotokohtia löytyi yhteensä 27 kappaletta. Näistä 11 kappaletta sijaitsi yleisissä tiloissa ja käytävässä ja 16 asunnoissa.

Asunnot

Samoin kuin testikohde 1:ssä, johtui suurin osa asuntojen ilmavuodoista ikkunoista ja parvekkeen ovista, yhteensä 12 kappaletta. Niistä eniten aiheutui tiivistevuodoista. Asunnoista löytyi myös muutama mahdollinen karmi vuoto, mutta sitä ei voitu varmasti paikallistaa.

Syitä tiivistevuodoille olivat seuraavat

- Tiiviste oli lytyssä.
- Karmit eri tasossa.
- Ikkunan lukko ei paina tarpeeksi ikkunaa kiinni.
- Tiivisteiden jatkos oli irronnut tai muuten oli huonosti paikallaan(kuva 18).



Kuva 18, Tuuletusikkunan tiivisteiden jatkos tiivisteiden päällä

Kuvan 18 alareunassa näkyy ilmavuotoa aiheuttava tiivisteiden jatkoskohta. Tiivisteiden pää on toisen tiivisteiden päällä, jolloin jää rako tiivisteiden ja karmien väliin.

Asunnoista löytyi paikannuksessa myös vuotoja elementtisaumoissa. Vuoto-kohtia löytyi yhteensä 4 kappaletta, ja kaikki sijaitsivat seinäelementin alasaumassa. Vuodot johtuvat joko reiästä ja halkeamasta saumassa. Myös

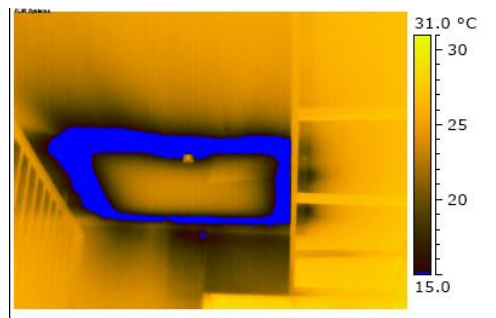
testikohde 2:ssa oli jalkalistat asennettu, joten vuotojen syytä ei voitu varmistaa.

Yleiset tilat ja käytävä

Testikohde 2:ssa yleisten tilojen vuodot johtuivat samoista syistä kuin testikohde 1:ssä. Vuotoja aiheuttivat ulko-ovet, alapohjan läpiviennit ja savunpoistoluukku. Näiden lisäksi löytyi vielä muita syitä ilmavuodoille.

Muita ilmavuodon aiheuttajia

- Käytävän ikkunat 1. kerroksessa. Vuodot johtuivat todennäköisesti puutteellisesta vaahdotuksesta.
- Sähköläpiviennit ulkoseinissä.
- Yläpohjan luukku ullakolle ei mennyt tasaisesti kiinni aiheuttaen voimakasta ilmavuotoa(kuva 19).



Lämpökuvaa 24.



Kuva 19, Paikannettu ilmavuoto yläpohjan luukussa /27./

Kuvassa 19 näkyy lämpökameran paikannus sekä sen vieressä tavallinen kuva luukusta. Kuvasta näkyy kuinka luukun vasen reuna roikkuu. Paikannuskuvaa osoittaa voimakasta ilmavuotoa luukun jokaisella reunalla.

5 TUTKIMUKSEN TULOKSET

5.1 Testauksen johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää laadunvarmistuksen tarkastuksen vaikutuksia rakennuksen ilmatiiveyteen työmaatestauksella. Tutkimuksen testaus kohdennettiin ikkuna- ja oviaasennuksen asennustarkastukseen asunnoissa, koska niissä on havaittu ilmatiiviysmittauksissa paljon vuotoja. Testauksessa ikkuna- ja oviaasennukselle tehtiin kahdessa testikohteessa asennustarkastus, ja myöhemmin vaikutuksia tutkittiin ilmatiiviysmittauksissa. Ilmatiiviysmittausten tuloksien perusteella tutkittiin, voidaanko hyvällä laadunvarmistuksella, tässä tapauksessa pelkästään laadunvarmistuksen asennustarkastus, vaikuttaa ilmatiiveyden parantumiseen, vai johtuuko vuodot rakenteellisista syistä. Ilmatiiviysmittauksissa mitattiin asuntojen lisäksi yleiset tilat ja käytävät. Testauksen ohessa jatkokehitettiin projektityössä kehitettyä ilmatiiveyden varmentamisen toimintamallia työmaalla tehtyjen havaintojen ja mittaustulosten perusteella.

Testikohteissa suoritettujen ilmatiiviysmittausten tulokset olivat hyviä. Molempien kohteiden ilmanvuotoluvut olivat alle yrityksen suorittamien mittausten keskiarvon alle. Tällä hetkellä yrityksen keskiarvo ilmanvuotoluvulle on n. 0.7 - 0,8 1/h.

Testikohteiden ilmanvuotoluvut olivat seuraavat

- Testikohde 1: 0,64 1/h
- Testikohde 2: 0,44 1/h

Mittaustulokset olivat myös selvästi yrityksen tavoitteen alle. Tällä hetkellä ilmanvuotolukutavoite betonirakenteisille asuinkerrostaloille on 1,5 1/h. Tosin tavoitetta tullaan kiristämään jatkossa. Suomen rakentamismääräyskokoelman antamat ilmanvuotolukujen arvot hyvälle ilmatiiveydelle asuinkerrostalolle ovat välillä 0,5 – 1,5 1/h. Mittaustulokset sijoittuvat tämän luokituksen alarajalle, testikohde 2 jopa sen alle. Passiivitalon määritelmässä ilmanvuotoluvun raja-arvo on 0,6 1/h. Testikohde 2 pääsee tähän määritelmän sisään, ja testikohde 1 lähelle sitä.

Molemmissa testikohteissa oli ikkunoiden ja parvekkeen ovien asennus onnistunut hyvin. Asuntojen osalta ei löytynyt kuin muutama asennuksesta joh-

tuva ilmavuoto. Nämä vuodot johtuivat puutteellisesta karmin ja apukarmin välisestä tiivistyksestä. Suurimmaksi osaksi vuodot ikkunoiden ja parvekkeen ovien osalta johtuivat ikkunoiden rakenteesta. Näitä vuotoja olivat tiivistevuodot, jotka johtuivat tiivisteen kiinnittymisestä puitteeseen, karmien korkeeroista ja ikkunan lukon toiminnasta. Lisäksi tiivistevuotoja aiheuttivat roskat ja väliaikaiset suojat tiivisteen välissä. Rakenteellisia vuotoja aiheuttivat lisäksi ikkunoiden karmivälit, jotka osassa ikkunoita aiheuttivat vuotoa. Tämä tosin voi myös johtua asennuksesta, jos ikkunaa on käsitelty asennettaessa liian rajusti.

Mittaustuloksiin vaikuttivat siis asuntojen lisäksi yleisten tilojen ja käytävien vuodot johtuen mittaustavasta. Yleisissä tiloissa vuodot aiheutuivat suurimmaksi osaksi rakenteellisista seikoista ja väliaikaisista tiivistyksistä, mutta myös työvirheistä. Kuitenkin mittaustulos olisi todennäköisesti ollut lähellä samaa, jos mittaus olisi suoritettu pelkästään asunnoissa, koska suuri ilmamäärä tasoittaa tulosta.

Mittaustulosten perusteella ikkunoiden ja ovien asennuksen onnistumisella on siis selvästi suuri vaikutus ilmatiiviyteen, koska asennusvirheistä johtuvia virheitä löytyi niin vähän. Tosin ei voida selvästi osoittaa vaikutuksen suuruutta, koska yksittäisen vuodon vaikutusta ilmanvuotolukuun on vaikea arvioida. Myöskään tässä tutkimuksessa tehtyjen tarkastusten vaikutusta ilmatiiviyteen ei voida nähdä konkreettisesti. Kuitenkin kummassakaan testikohteessa ei enää mittaustilanteessa löytynyt asennuksesta aiheutuvia vuotoja, jolloin asennuksen taso on viimeistään tarkastusten jälkeen ollut hyvä. Siten myös laadunvarmuuden toimenpiteillä on suuri rooli hyvän ilmatiiviyden saavuttamiseksi, koska laadunvarmistuksen tarkoitus on varmistua onnistuneesta asennuksesta.

5.2 Muut huomiot testauksessa

Kummassakin testikohteessa ikkunoiden ja parvekkeen ovien karmin ja apukarmin väli oli tiivistetty vaahdotuksen lisäksi kitillä. Tämä selvästi vähensi karmivuotojen mahdollisuutta verrattuna yrityksen aiempiin mittauksiin, koska karmivuotoja ei löytynyt kuin muutama kummassakin testikohteessa. Sauman kittaus on siis erittäin tehokas tapa poistaa karmivuodot. Kittauksessa tulee kuitenkin muistaa tarpeeksi pitkäaikaisen materiaalin käyttö ja huolellinen asennus. Tarkastuksissa huomattiin kittauksissa joitakin reikiä ja

halkeamia. Nämä edellä mainitut ongelmat eivät todennäköisesti vaikuttaneet ilmatiiveyteen mittaushetkellä, mutta voivat olla tulevaisuudessa ongelma, jos polyuretaanivaahdotus alkaa halkeilla rakenteiden kosteus- ja lämpöliikkeiden johdosta, ja sauman tiiviys on pelkästään kittauksen varassa. Yksi mahdollinen syy ainakin rakoiluun sauman reunoilla voi olla kittauksessa käytetty akryylimassa, joka ei ole suositeltava niin suuriin saumoihin sen halkeamisvaaran vuoksi. Saumojen tiivistyksessä käytettävä materiaali tulee valita tiiveysdetaljien ohjeiden mukaisesti.

Vuotojen syiden perusteella voidaan päätellä, että materiaaleilla on tärkeä osa ilmatiiveydessä. Tuotannon laadunvarmistuksella saadaan ilmatiiveyden kannalta puutteet kuriin, mutta kaikkia vuotoja siltäkään ei saada poistettua. Mittauksissa selvisi, että suurin osa vuodoista johtui rakenteista kuten ovista ja ikkunoista niin asuntojen kuin yleisten tilojen osalta. Osa vuodoista on vaikea havaita normaali paineoloissa työmaalla kuten käytävän ikkunat ja asuntojen ikkunoiden tiivisteiden kiinnittyminen. Täten myös materiaalivalmistajien tulee panostaa tuotteidensa laatuun, jotta päästäisiin parempiin tuloksiin ilmatiiveydessä.

Yleisiä tiloja ei huomioitu tarkastuksissa, koska alun perin mittaukset oli tarkoitus suorittaa asuntokohtaisesti. Mittausten aikana kuitenkin huomattiin, että yleisiin tiloihin tulee myös panostaa laadunvarmentamisessa. Yleisten tilojen ilmapuodoista ei aiheudu asumismukavuuteen vaikuttavia haittoja, mutta ne kuitenkin vaikuttavat koko rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen ja rakennuksen terveyteen. Myös tiettyihin rakenteisiin tulisi panostaa hankinnoissa. Kuten mittauksissa huomattiin, eivät ala- ja yläpohjan luukut ole tiiviitä. Myös käytävän ulko-ovissa oli vuotoja tiivisteissä, vaikka mitään selvää syytä sille ei löytynyt. Vuotoja löytyi myös työvirheistä, kuten ikkunoiden ja ovien vaahdotuksessa. Yleisten tilojen huomioimiseksi päätettiin luvussa 3 esitettyä laadunvarmistuksen toimintamallia kehittää siihen suuntaan, että myös yleiset tilat ja käytävät tulee laadunvarmistuksessa huomioida.

Tarkastuksissa huomattiin pieniä eroja ikkunoiden ristimitoissa. Kuitenkaan pienet erot eivät mittausten perusteella aiheuttaneet ikkunoiden puutteellista toimintaa ja samalla ilmapuotoja. Täten voidaan Fenestran laatuohjeen toleranssia, esitetty luvussa 4.2.2, ristimitassa pitää luotettavana, sillä tarkastuksissa havaitut ristimitat pysyivät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta näissä raja-arvoissa.

Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin testauksessa. Mittaustuloksilla voidaan esittää, että laadunvarmistuksella oli vaikutusta ilmatiiveyteen, mutta vaikutuksen suuruutta on vaikea arvioida. Kuitenkin testikohteiden ilmapuotoluku oli pienempi kuin yrityksen mittausten keskiarvo, ja selvästi pienempi kuin yrityksen tavoite. Tavoitteena oli tutkia ilmatiiveyttä asuntojen osalta, mutta tutkimukseen tuli mittauksien osalta myös muut tilat, jolloin myös ilmatiiveyden varmentamisen toimintamallia voitiin kehittää lisää. Näin ollen tutkimuksen tavoitteet jopa ylitettiin.

5.3 Toimintamallin kehitys

Ilmatiiveyden varmentamisen toimintamallia jatkokehitettiin testien havaintojen perusteella. Toimintamalliin saatiin yksinkertaistettua alkuperäisestä versiosta. Siitä saatiin karsittua ylimääräisiä osia pois, jolloin sen kokonaisuus on helpompi hallita. Yleiset tilojen huomioiminen ilmatiiveyden varmentamisessa lisättiin toimintamallin menettelytapaohjeeseen, joka on esitetty luvussa 3.6. Siinä on toimintaohjeet ilmatiiveyden varmentamisen toimintamalliin. Päivitetty versio toimintamallista on esitetty luvussa 3.

Mittaustulosten ja yrityksen aiempien mittausten keskiarvon perusteella hyvällä rakentamisella ilman suuria panostuksia päästään alle yrityksen asettaman tavoitteen. NCC:n tekemät aiemmat mittaukset kuitenkin vaihtelevat yksikön sisällä, jolloin kaikilla työmailla tulos ei ole näin hyvä. NCC tulevaisuudessa kiristää ilmanvuotoluvun tavoitettaan välille 0,5 – 0,7 1/h, jolloin myös ilmatiiveyden varmentamiseen tulee panostaa. Tällöin tämän tutkimuksen toimintamallin käyttö varmistaa yrityksen yhtenäisen linjan ilmatiiveyden varmentamisessa.

5.4 Kehitysehdotukset

5.4.1 *Ilmatiiveyden varmentamisen toimintamalli*

Ilmatiiveyden varmentamisen toimintamallia ei ole kokonaisuudessaan vielä testattu. Täten ei vielä tiedetä, miten se toimii käytännössä. Varsinkin tilakohtaisen tarkastuksen toimivuudesta ja käytettävyydestä on vain vähän kokemusta. Varsinkin tilakohtaisen tarkastuksen aikataulullinen toimivuus tulisi selvittää, koska ilmatiiveyden varmentaminen jatkuu koko työmaan ajan. Siksi haasteeksi voi tulla tarkastusten jaksotus sopiviin lohkoihin, jotta koko-

naisuus pysyy hallinnassa. Tämä tulee miettiä työmaakohtaisesti. Toimintamallia tulisi testata kokonaisuutena koko projektin ajan, jolloin sen puutteet ja hyvät ominaisuudet tulisivat esille. Siten siihen voitaisiin tehdä tarvittavat korjaukset ja tarkennukset. Toimintamallia testataan lähitulevaisuudessa testityömaalla, minkä jälkeen päätetään käytetäänkö toimintamallia sellaiseenaan vai muutetaanko sen laajuutta.

5.4.2 *Jatkotoimenpiteet*

Materiaalivalmistajat

Materiaalien laatu on tärkeä osa ilmatiiveyttä. Varsinkin työmaalla käytettävien valmisosien laatuun on tuotannossa enää vaikeaa vaikuttaa. Tästä esimerkkinä varsinkin ikkunat ja parvekkeen ovet, joista löytyi tutkimuksen mittauksissa puutteita. Tästä syystä ikkunoiden ja parvekkeen ovien valmistajien pitäisi valvoa paremmin tuotteidensa laatua, jotta se vastaisi valmistajien antamia lupauksia.

Yrityksen hankinnan tulee myös huomioida laatu- ja hinta-asioiden lisäksi. Valmistajan valinnassa tulisi miettiä, ovatko kyseisen valmistajan tuotteet vastanneet laadultaan valmistajan lupauksia. Mahdollisesti tulisi myös vaihtaa valmistajaa, jos tuotteissa on jatkuvasti puutteita eivätkä reklamaatiot auta asiaa.

Mineraalivillan käyttö ovien ja tiivistysmateriaalina

Asiantuntijahaastattelussa sekä ohjausryhmän kokouksessa tuli ilmi puutteita parvekkeen ovien ja ulko-ovien tiivistyksessä. Näissä molemmissa on käytetty paljon polyuretaanivaahtoa. Ovien karmit oven avautuessa joutuu kovalle rasitukselle, jolloin karmit saattavat vääntyä oven painosta. Silloin paine siirtyy karmien ja apukarmien väliseen tiivistysmateriaaliin. Polyuretaani alkaa pitemmän päälle tällaisessa tilanteessa murtua tai haljeta aiheuttaen ilmavuotoja ja oven käyntiongelmia. Tästä syystä vuosikorjauksissa joudutaan usein uusimaan vaahdotuksia, jotta ovi voidaan uudelleen säätää ja että vuotokohta saadaan korjatuksi, mikä aiheuttaa työmaalle kustannuksia.

Ovissa tulisi tästä syystä käyttää tiivistyksessä villaa ja kittausta, jolloin rakenne antaa periksi vääntymiselle ja palautuu takaisin. Kittauksessa tulee käyttää tarpeeksi elastista materiaalia.

Mittauksiin valmistautuminen työmaalla

Työmailta saadun palautteen perusteella ilmatiiviysmittauksista ei ole saatu tarpeeksi tietoa. Varsinkin mittauksiin valmistautumiseen kaivattiin ohjeita, jotta ennen mittausta osattaisiin tehdä oikeita toimenpiteitä. Tästä syystä yrityksen sisäisiin tietojärjestelmiin, joihin työmaan toimihenkilöillä on pääsy, tulisi saada ohje mittauksiin valmistautumisesta.

LVIS -läpiviennit

Läpiviennit ovat aina riskirakenne ilmatiiveyden kannalta. Tästä syystä läpivientien tekoon ja tiivistykseen tulee kiinnittää huomiota. Jotta työmaalla osattaisiin tehdä läpiviennit oikein, tulee siihen olla kunnon ohjeistus. Ohjeistuksella saataisiin myös toimintatavat samanlaisiksi yrityksen sisällä. Tämä tullaan huomioimaan tiiveysdetaljien päivitettyssä versiossa.

Varsinkin asuntokohtaisen ulkoilmakanavan läpiviennin tiivistys on vaikea tehdä käytännössä sen sijainnin vuoksi. Siinä on joillain työmailla käytetty elementtitehtaalla valmiiksi seinäelementtiin asennettua eristettyä putken kappaletta, johon voidaan suoraan liittää jatko ilmavaihtokoneelle sisäpuolelta. Tämä ratkaisu on saanut hyvää palautetta työmailta, joissa sitä on käytetty, ja sitä tulisi käyttää jatkossa kaikilla työmailla, jotta päästäisiin eroon vaikeasti tehtävistä tiivistyksistä.

Rakennuksen tiiveysdetaljit

Rakennuksen tiiveysdetaljit ovat olennaisessa osassa ilmatiiviiden rakenteiden tekoa. Detaljeissa kerrotaan työohjeet kyseiselle rakenteelle ja käytettävät materiaalit. Detaljit auttavat mahdollistavat yhtenäiset työtavat yrityksen sisällä. Tällä hetkellä rakennuksen tiiveysdetaljit ovat kehitysasteella, ja niistä vielä puuttuu osa detaljeista. Tiiveysdetaljeita kuitenkin kehitetään koko ajan, jolloin puutteet saadaan korjatuksi, ja kaikille tiivistettäville rakenteille saadaan oma detaljinsa.

VIITELUETTELO

- [1] Starnet, NCC Rakennus Oy:n tietojärjestelmä.
- [2] Seppänen, Olli - Seppänen Matti, *Sisäilmasto ja LVI-tekniikka*. Jyväskylä: Sisäilmayhdistys ry, Gummerus Kirjapaino Oy. 1996.
- [3] Aho, Hanna – Korpi, Minna, *AISE-tutkimusraportin luonnos*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Teknillinen korkeakoulu. 2008.
- [4] Ympäristöministeriö, *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta* (Suomen rakennusmääräyskokoelma, osa D5). Helsinki. 2010
- [5] VTT, passiivitalosivusto, *Passiivitalon määritelmä* [verkkodokumentti, viitattu 26.3.2010]. Saatavissa: <http://passiivitalo.vtt.fi/files/passiivitalon%20maaritelma.pdf>
- [6] Rakennusten energiankäyttö:nykytilakatsaus, matalaenergia- ja passiivitalot. Pekka Tuomaala, Jyri Nieminen. 2007 [viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: [http://87.94.1.73/archive/409_Rakennusten_energiank%20E4ytt%20F6_-_matalaenergiatalot_\(30.11.2007\).pdf](http://87.94.1.73/archive/409_Rakennusten_energiank%20E4ytt%20F6_-_matalaenergiatalot_(30.11.2007).pdf)
- [7] Rakennuslehti nro 32. ilmestynyt 15.10.2009. sivu 10
- [8] Lukkarinen, Pekka, Rakentamisen ohjaus. Seminaariesitys. Kajaani: Ympäristöministeriö. 2009 [viitattu 6.1.2009]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=109449&lan=fi
- [9] Suunnittelupäällikkö Kimmo Liljeströmin haastattelu 21.1.2010. Optiplan Oy.
- [10] Kurnitski, Janek. *Rakennusten energiatehokkuuden osoittaminen kiinteistöveron porrastusta varten*. Teknillisen korkeakoulun julkaisuja B85. Espoo: Teknillinen Korkeakoulu 2009.
- [11] Ympäristöministeriö. *Rakennusten kiinteistöveron porrastaminen energiatehokkuuden ja lämmitystavan perusteella* [verkkodokumentti]. 14.10.2009 [viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=110023&lan=fi>
- [12] EU- direktiivin 2002/91 luonnos.
- [13] Rakennusteollisuus RT Oy. *Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmapitävyyden laadunvarmistusohje, RT 80-10974*. Helsinki. Rakennustietokustantamo Oy. 2009
- [14] LVI-valvoja Hannu Tannerin haastattelu 21.1.2010. Optiplan Oy.
- [15] Sewatek Oy, Sewatek-timanttiläpivienti esite [verkkodokumentti, viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: http://www.sewatek.fi/index.php?option=com_content&view=category&id=21&Itemid=51

- [16] Palokatkoasiantuntija Janne Siposen haastattelu 12.3.2010. Palokatkomiehet Oy.
- [17] Mittausasiantuntija Tommi Aronrannan haastattelu 12.9.2009. NCC Rakennus Oy.
- [18] Työpäällikkö Viljo Simosen haastattelu 5.2.2010. NCC Rakennus Oy.
- [19] Työpäällikkö Jouni Karvasen haastattelu 6.2.2009. NCC Rakennus Oy
- [20] Projectia, NCC Rakennus Oy:n sisäinen tietojärjestelmä.
- [21] MOSS, NCC Rakennus Oy:n sisäinen tietojärjestelmä.
- [22] Heikkinen, Martti – Kauppinen Timo, *Lämpökuvaus ja tiiviysmittaus rakennusten toimivuuden määrittämisen työkaluina - Vaipan ilmanvuotoluvut Oulun asuntomessujen erillisissä pientaloissa*. Luentomoniste. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. 2009.
- [23] Paloniitty, Sauli - Kauppinen, Timo, *Rakennusten lämpökuvaus*. Jyväskylä: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. 2006.
- [24] Fenestra Oy, Ikkunoiden ja ovien laatuohje [verkkodokumentti, viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: <http://www.fenestra.fi/portal/suomi/ikkunat/>
- [25] Svegon ILTO Oy, Svegon ILTO 270 asennus-, suunnittelu- ja käyttöohje [verkkodokumentti, viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: http://www.ilto.fi/file/4934/Ilto_270_kayttoohje.pdf
- [27] Case-2 kohteen ilmatiiviysraportti.

Tämä on esimerkki kaksisivuistesta liitteestä, miten se pitää merkitä...

Tämä on siis sen kaksisivuisen liitteen toinen sivu....