

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotanto
Niko Innanen

Opinnäytetyö

Rakennusten ja rakenteiden ilmanpitävyys

Ohje tavoitteiden saavuttamiseksi

Työn ohjaaja DI Hannu Kauranen
Työn teettäjä Arkta Oy, DI Tommi Alanen
Tampere 2010

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Rakennustuotanto

Innanen, Niko

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Kesäkuu 2010

Hakusanat

Rakennusten ja rakenteiden ilmanpitävyys

36 sivua+6 liitesivua

DI Hannu Kauranen

Arkta Oy, valvojana DI Tommi Alanen

ilmatiiviys, energiatehokkuus

Tiivistelmä

Asuinrakennusten energiatehokkuudesta on tullut muuttuneiden määräysten myötä tärkeä tekijä rakennuksia suunniteltaessa ja rakennettaessa. Energiatehokkuutta on jo parannettu eristepaksuuksia lisäämällä sekä käyttämällä hyötysuhteeltaan parempia ilmanvaihtolaitteita. Energiatehokkuutta voidaan lisätä entisestään suunnittelemalla ja rakentamalla yhä tiiviimpiä rakennuksia. Ilmatiiviys on tärkeää myös ilmanvaihtolaitteiden optimaalisen toiminnan takia.

Tässä työssä on pyritty löytämään menetelmät, joiden avulla rakennusten ilmatiiveyttä voidaan parantaa niin suunnittelu- kuin rakentamisvaiheessa. Ilmatiiviyden parantaminen on tehokas ja samalla edullinen tapa parantaa asuinrakennusten energiatehokkuutta ja asumisviihtyvyyttä. Siksi on tärkeää, että suunnitelmat ja työmenetelmät tarkistetaan ja niistä annetaan yksiselitteiset ohjeet.

Opinnäytetyössä on laadittu yksinkertaiset ja yksiselitteiset ohjekortit ilmanpitävyystavotteiden saavuttamiseksi asuinrakentamisessa. Ohjekortit ovat työn liitteenä. Työssä on keskitytty puu- ja betonielementtisiin rivitaloihin sekä betonielementtisiin kerrostaloihin. Ohjekorteissa käydään läpi keskeisimmät asiat, jotka tulee ottaa huomioon rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa.

Työssä on annettu selkeät ohjeet, kuinka tiiviys todetaan ja tarkastetaan työmaalla sekä kerrotaan ilmatiiviyksmittauksen suorittamisen periaatteet.

Koska ilmatiiviys takaa rakennuksen toimivuuden ja parantaa asumisviihtyvyyttä, tulee ilmatiiviudesta tulevaisuudessa entistä tärkeämpi tekijä rakennuksen lopulliselle käyttäjälle eli asukkaalle.

TAMPERE POLYTECHNIC

Construction Engineering

Construction Management

Innanen, Niko

Air tightness in buildings and structures

Engineering Thesis

36 pages, 6 appendices

Thesis Supervisor

Hannu Kauranen (MSc)

Commissioning Company

Arkta Oy, Supervisor: Tommi Alanen (MSc)

June 2010

Keywords

air tightness, energy efficiency

Abstract

Due to changed regulations, energy efficiency has become an important factor when designing and building residential buildings. Energy efficiency has already been improved by using thicker insulators and by using more efficient air conditioners. Energy efficiency can be further improved by designing and building even tighter buildings. Air tightness is also important for the optimal operation of air conditioning.

The focus of this thesis is to discover suitable methods for improving air tightness of buildings in both the design stage and the building stage. It is important that appropriate plans and work methods are used and that unambiguous instructions are given concerning airtight building. Improving air tightness is an efficient and economical way of improving energy efficiency in residential buildings.

Included in this thesis are simple and unambiguous instruction cards for attaining air tightness goals in residential buildings. The instruction cards are attached to the thesis. This thesis focuses on wood element and concrete element row houses and concrete element apartment buildings. The instruction cards contain the most essential things that need to be considered when designing and implementing structures. This thesis gives simple instructions for verifying tightness and for checking it at the construction sites. The principles of conducting air tightness measurements are also dealt with.

Air tightness guarantees the functionality of a building and makes the living environment more attractive. Therefore, in the future air tightness will be an even more important factor for the end user of a building, in other words the resident.

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Rakennustuotanto

Innanen, Niko

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Kesäkuu 2010

Hakusanat

Rakennusten ja rakenteiden ilmanpitävyys

36 sivua+6 liitesivua

DI Hannu Kauranen

Arkta Oy, valvojana DI Tommi Alanen

ilmatiiviys, energiatehokkuus

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Arktan kanssa. Työn tulokset tulevat olemaan osa Arktan laadunvalvontajärjestelmää, ja ne yhtenäistävät suunnittelua sekä tuotannon toteutusta työmaalla. Tämän tutkintotyön tuloksia sovelletaan välittömästi rakennusliikkeen tuotannossa.

Olen ollut Rakennustoimisto Arkta Oy:n palveluksessa useana kesänä sekä syksystä 2009 lähtien opiskelujeni ohessa. Olen työskennellyt vastaavien mestarien alaisuudessa työmaainsinöörin tehtävissä. Työtehtävissäni olen saanut kokemusta rakentamisen kaikista eri vaiheista ja vastuuni on kasvanut eri tehtävistä saamani kokemuksen myötä.

Erityiskiitokset työn valmistumisesta Tampereen ammattikorkeakoulun Hannu Kauraselle, Arkta Oy:n kehitysinsinöörille Tommi Alaselle ja Rakennustoimisto Arkta Oy:n toimitusjohtajalle Jukka Pääkköselle. Ilman heidän väsymätöntä painostustaan ja apuaan tämä työ olisi jäänyt tekemättä.

Niko Innanen
7.6.2010 Tampere

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| 1 Johdanto..... | 6 |
| 1.1 Tausta | 6 |
| 1.2 Tutkintotyön tavoitteet ja rajaukset..... | 7 |
| 1.3 Tehtävät..... | 7 |
| 1.4 Tutkintotyön tilaaja | 8 |
| 2 Ilmatiiviys rakentamisessa..... | 9 |
| 2.1 Tiiviyden vaikutus rakennuksen toimivuuteen | 10 |
| 2.2 Ilmatiiviyden saavuttaminen | 10 |
| 3 Määräykset ja vaatimukset | 11 |
| 4 Tiiviyden toteaminen..... | 13 |
| 4.1 Yhden asunnon ilmatiiviyden mittaus..... | 14 |
| 4.2 Kerrostalon ilmatiiviyden mittaus..... | 15 |
| 4.2.1 Koko porrashuoneen ilmatiiviyden mittaus | 16 |
| 4.2.2 Yksittäisen huoneiston ilmatiiviyden mittaus..... | 16 |
| 4.3 Lämpökamerakuvaus | 17 |
| 4.4 Tiiviyden toteaminen ilmoitusmenettelyllä..... | 18 |
| 4.4.1 Tutkimus | 19 |
| 4.4.2 Ilmoitus | 20 |
| 4.4.3 Seuranta | 21 |
| 5 Suoritetut ilmatiiviysmittaukset..... | 23 |
| 5.1 Koy Niemenkoskentie 1 | 23 |
| 5.1.1 Asunto C9 | 23 |
| 5.1.2 Asunto B5 | 25 |
| 5.2 Kalkunvuorenkatu 32 | 29 |
| 5.2.1 Viidennen kerroksen asunto..... | 29 |
| 5.2.2 Kolmannen kerroksen asunto..... | 29 |
| 6 Vaipan yleisimmät rakenteet ja oleelliset asiat niiden tiivistämisessä | 31 |
| 6.1 Alapohja | 31 |

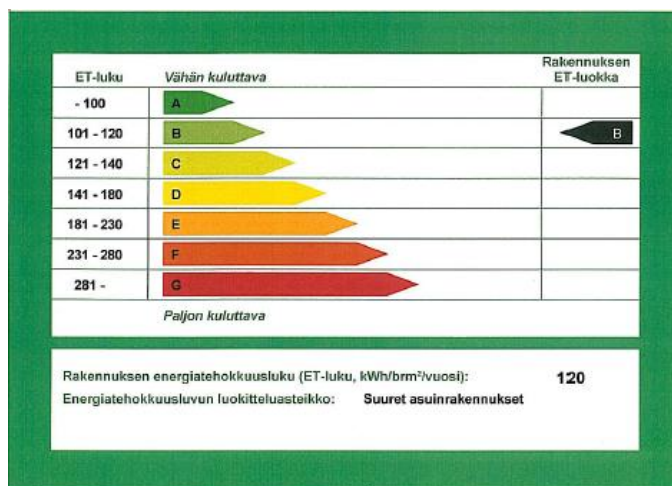
| | |
|--|----|
| 6.2 Betoni ja puuelementtiseinät | 31 |
| 6.3 Ikkunat ja ovet | 32 |
| 6.4 Puu- ja betoniyläpohja..... | 32 |
| 7 Yhteenveto..... | 34 |
| Lähdeluettelo | 35 |
| Liitteet | |

1 Johdanto

1.1 Tausta

Arktan tavoite on rakentaa energialuokaltaan vähintään B-energialuokan (kuva 1) asuntoja. Tavoitteen saavuttamiseksi yrityksen täytyy kehittää suunnittelua ja tuotantomenetelmiään. Tehokkain tapa lähestyä B-energialuokkaa nykyisillä rakennusmenetelmillä ja materiaaleilla on kiinnittää erityistä huomiota rakennusten ja rakenteiden ilmanpitävyyteen. Kun lattian, seinien ja katon eristevahvuuksien kasvaminen halutaan minimoida, B-energialuokkaan pääseminen vaatii ilmavuotoluvun (n_{50}) arvoksi alle 2,0 1/h. Arktan tavoite on saavuttaa vuodesta 2010 lähtien ilmavuotoluvun arvoksi puurakenteisissa rivitaloissa alle 2,0 1/h ja kivirakenteisissa kerrostaloissa alle 1,0 1/h. Tämä tarkoittaa D-luokan ilmanpitävyyttä rivitaloissa ja B-luokan ilmanpitävyyttä kerrostaloissa (kuva 1). Tähän arvoon pääseminen vaatii suunnittelun, työmenetelmien ja työn valvonnan ohjeistamista. (Pääkkönen 2009–2010; Alanen 2009–2010.)

Uudet energialuokitukset ovat lisänneet rakentajien paineita rakentaa ja tuottaa jatkuvasti vaativammille tilaajille riittävän energiatehokkaita asuin- ja toimistorakennuksia. Energiankulutuksen vähentäminen ja sitä kautta asumiskustannusten pienentäminen on tullut merkittäväksi valintatekijäksi asunnon hankkijalle. Energiatehokkuudesta on tullut yksi tärkeimmistä myyntivalteista asuntomarkkinoilla. (Tenkula 2010; Majaharju 2010.)



Kuva 1: Energiatodistuksen energiatehokkuusluokka (Arkta, 2010)

1.2 Tutkintotyön tavoitteet ja rajaukset

Tutkintotyön tavoitteena on laatia yksinkertaiset ja yksiselitteiset ohjekortit ilmanpitävyystavoitteiden saavuttamiseksi asuinrakentamisessa. Ohjekortit tulevat työn liitteeksi. Työssä keskitytään puu- ja betonielementtisiin rivitaloihin sekä betonielementtisiin kerrostaloihin. Ohjekorteissa käydään läpi keskeisimmät asiat, jotka tulee ottaa huomioon rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa.

Korteissa esitetään selkeitä yksityiskohtia liitosten, läpivientien, ovien ja ikkunoiden tiivistämisestä työselityksineen. Työssä annetaan selkeät ohjeet, kuinka tiiviys todetaan ja tarkastetaan työmaalla. Lopuksi kerrotaan mittauksen suorittamisen periaatteet.

Laadittavat ohjekortit edesauttavat hyväksi todettujen menetelmien vakiintumista kaikissa tuotannon vaiheissa. Korttien täydentämisen tulee jatkua, kun uusia menetelmiä ja ratkaisuja ilmenee.

1.3 Tehtävät

Opinnäytetyössä suoritetaan seuraavat tehtävät:

- Ohjetta laadittaessa tutkitaan ensin kirjallisuutta ilmatiiviudesta ja määritetään ne kohdat, joissa on kehittämistarvetta niin suunnittelussa kuin toteutuksessakin.
- Kirjallisen tutkimuksen ohessa käydään haastattelemassa tiiviiden asiantuntijoita, suunnittelijoita, työmaamestareita sekä eri asiantuntijoita. Näiden haastatteluiden ja kokemusten avulla selvitetään eri käytäntöjen toimivuutta ja määritetään oikeat menetelmät, joilla rakennukset pystytään suunnittelemaan ja rakentamaan ilmatiiviiksi.
- Mitataan kahden Arktan rakentaman kohteen, yhden kerrostalon ja yhden puurivitalon, ilmatiiviydet. Kummastakin kohteesta mitataan kaksi huoneistoa tai asuntoa. Näiden mittausten avulla on tarkoitus selvittää nykyinen ilmatiiviytaso ja eri työmenetelmien vaikutus ilmanvuotolukuun.
- Mittausten ja havaintojen perusteella valitaan ohjeeseen oikeat suunnittelu- ja työmenetelmät.

- Ohjeeseen tehdään tyyppidetallit ja niihin lisätään LV-, sähkö- ja ilmastointiläpiviennit ja osoitetaan reitit putkille kyseisessä rakenteessa.
- Etsitään edellä mainituille putkille oikeat reitit rakennuksessa niin, että ne mahdollisimman vähän heikentäisivät rakennuksen ilmantiiviyttä.
- Päivitetään yleiset arkkitehti- ja rakennesuunnitelmat vastaamaan ohjetta.
- Kootaan detaljipankki, jossa joka kuvan alla on aina selvitys käytetyistä työmenetelmistä ja materiaaleista.

1.4 Tutkintotyön tilaaja

Tutkintotyön tilaaja Arkta on vuonna 1988 perustettu ylöjärveläinen perheyritys. Konsernin johtajana toimii liikkeen perustaja Esa Kiiveri. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Työväentalontielle Ylöjärvellä. Arktan toimialoina ovat asuin-, liike-, toimisto- ja teollisuusrakentaminen Pirkanmaan alueella. Konsernilla on yhteensä 26 työntekijää vakituudessa työsuhteessa. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2009 36,3 miljoonaa euroa. Arkta on Rakennusteollisuus ry:n jäsenyritys ja sillä on RALA (Rakentamisen Laatu ry) pätevyystodistus. (Pääkkönen 2009–2010.)

Arkta konserni jakaantuu kolmeen eri osakeyhtiöön, jotka toimivat tiiviissä yhteistyössä. Arkta Rakennuttajat Oy vastaa kaavoituksesta, maanhankinnasta, hankesuunnittelusta, rakennuttamisesta ja asuntomyynnistä. Rakennustoimisto Arkta Oy huolehtii rakentamisesta, ja Arkta Oy on konsernin emoyhtiö. (Arkta Oy 2010.)

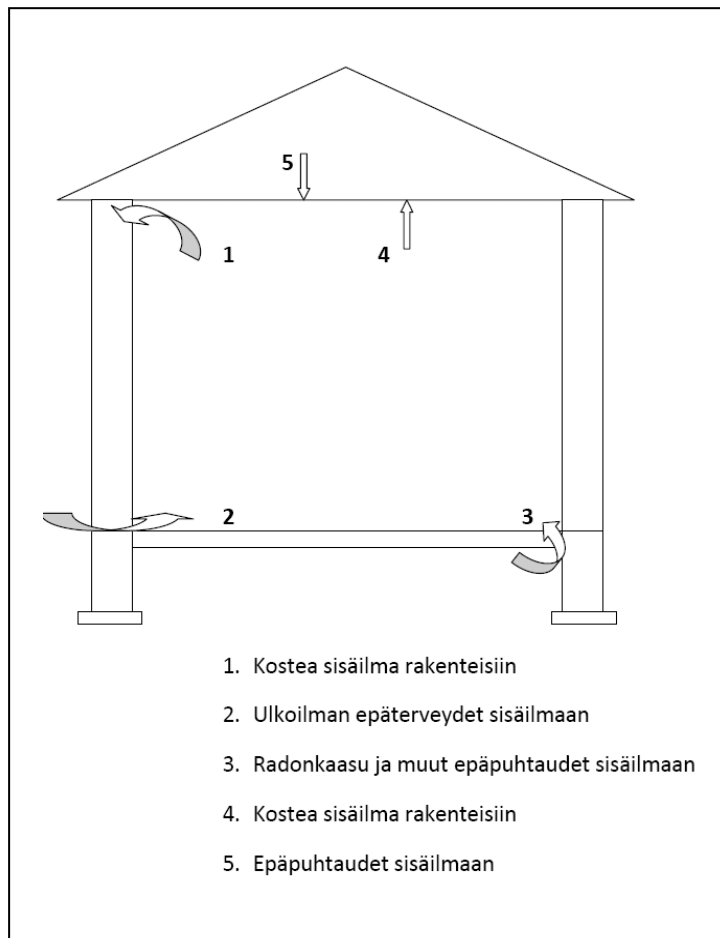
Arkta rakentaa keskimäärin 150 asuntoa vuodessa. Suurin osa asunnoista on joko betonielementtirivitaloja, betonielementtikerrostaloja tai puuelementtirivitaloja.

2 Ilmatiiviys rakentamisessa

Rakennuksen vaipan tiivydellä on suuri merkitys rakennuksen kosteusteknisen toiminnan varmistamisessa, energiakulutuksen pienentämisessä ja asumisviihtyvyyden sekä sisäilman laadun takaamisessa (kuva 2).

Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Esimerkiksi pientaloissa kokonaisenergiakulutuksen lisäys on jopa 5 prosenttia jokaista n_{50} -luvun kokonaisuusyksikön lisäystä kohti. (Aho-Korpi 2009, 7.)

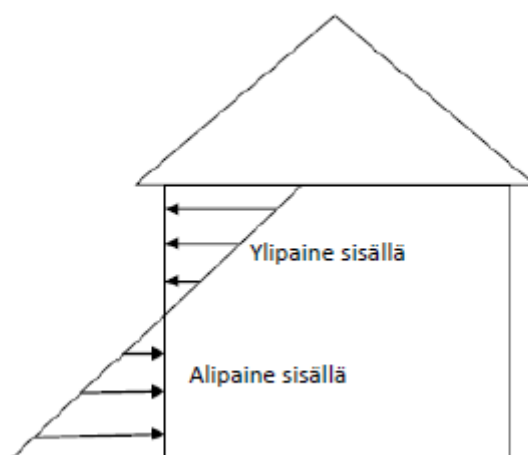
Hyvää ilmanpitävyyttä tulisi ensisijaisesti hyödyntää vain rakennuksen energiatehokkuutta parantavana tekijänä ilman, että vastaavasti heikennetään vaipan lämmöneristystä tai lämmön talteenoton hyötysuhdetta.



Kuva 2: Ilmatiiviuden merkitys rakentamisessa

2.1 Tiiviiden vaikutus rakennuksen toimivuuteen

Tiiviys alapohjassa estää yleensä haitallisen virtauksen vaipan ulkopuolelta sisäilmaan. Tällä torjutaan terveydelle haitalliset hiukkaset sekä myös radonkaasun pääseminen hengitysilmaan. Tiiviys yläpohjassa sekä seinän yläpinnassa estää lämpimän sisäilman pääsyn rakenteisiin ja varmistaa näin rakenteen toimivuuden. Nämä virtaukset johtuvat paine-eroista rakennuksissa (kuva 3). (Sisäilmayhdistys 2010; Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2010, 7.)



Kuva 3: Paine-ero asunnon sisällä

2.2 Ilmatiiviiden saavuttaminen

Rakennuksen tiiviiden parantaminen ei merkitse rakentamiskustannusten suurta nousua. Tiiviiden parantaminen edellyttää kaikilta osapuolilta oikeaa asennetta ja huolellisuutta. Se vaatii myös työmaalla oikea-aikaisia toimenpiteitä ja tarkastuksia. Suunnittelijat ja urakoitsijat on veloitettava huolehtimaan tilaajan vaatimuksien täyttymisestä rakennusten tiividydessä, esimerkiksi lisäämällä tiiviysvaatimukset osaksi hankinta- ja urakkasopimuksia.

3 Määräykset ja vaatimukset

Rakennuksen ilmanpitävyys on määritelty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 Rakennusten lämmöneristys alaluvussa 2.3 Vaipan ja tilojen välisten rakenteiden ilmanpitävyys:

2.3.1

Sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille tai rakenteille ja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku.

Selostus

Rakennusten kosteusteknisestä suunnittelusta on määräyksiä ja ohjeita rakentamismääräyskokoelman osassa C2.

Selostus

Rakennusten sisäilmaston ja ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelusta on määräyksiä ja ohjeita rakentamismääräyskokoelman osassa D2








2.3.2

Ikkunan ja oven liittyminen ympäröiviin rakenteisiin tulee olla ilmanpitävä. Karmin ja puitteen tiivistämiseen käytettävien tarvikkeiden tulee olla sellaisia, että ne kestävät käytössä esiintyvät rasitukset oleellisesti vaurioitumatta eivätkä aiheuta vaurioitumisen vaaraa ympäröiville rakenteille. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 2010, 5.)

Rakennuksen ilmanpitävyys ilmoitetaan ilmanvuotoluvun n_{50} avulla.

Ilmanvuotoluku kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus virtaa rakennuksen vaipan läpi tunnissa, kun paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä on 50 Pascalia. Kuvassa 4 on esitetty tiiviysmittausluokitus ilmanvuotoluvun n_{50} perusteella. A-luokan ilmatiiviys vaatii Ilmavuotoluvun arvoksi alle 0,6.

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS

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

Kuva 4: Ilmatiiviyysluokitus (Arhta 2010)

4 Tiiviiden toteaminen

Kun ilmanvuotoluvun raja-arvoa (n_{50} , raja) käytetään suunnittelussa (n_{50} , suun.), se ei edellytä ilmanvuotoluvun mittaamista tai ilmoitusmenettelyllä toteamista. Vuonna 2010 ilmavuotoluvun raja-arvona käytetään lukua 4,0 l/h. Jos halutaan käyttää tätä arvoa pienempää lukua, arvo tulee todeta mittaamalla tai ilmoitusmenettelyllä rakennusvalvonnalle. Rakennuksen tiiviys todetaan mittaamalla asunnon vaipan tiiviys 50 Pascalin alipaineessa. (RT 80-10974 2009, 3.)

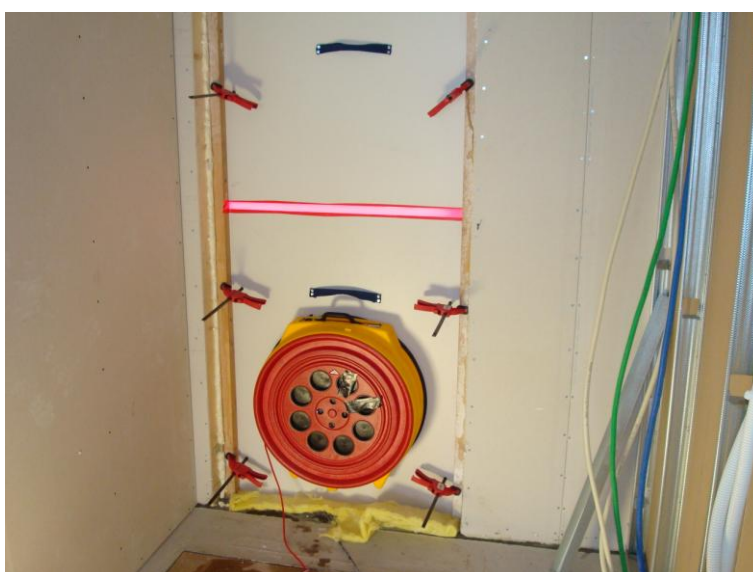
Ennen ilmatiiviysmittauksen aloittamista tulee työmaan huolehtia seuraavista toimenpiteistä, ellei asioista ole erikseen sovittu mittaajan kanssa.

1. Mitattavat asunnot imuroidaan ja siivotaan ylimääräisestä tavarasta. Näin varmistetaan tulosten oikeellisuus ja se, että laitteet toimivat moitteettomasti.
2. Sähkön saanti varmistetaan asunnon sisäpuolelle niin, että se ei heikennä vaipan tiiviyyttä.
3. Kaikki läpiviennit, josta ilma saa kulkea, teipataan. Jokainen läpivienti varmistetaan vielä ennen mittausta.
4. Varmistetaan, että mahdolliset jakolaatikot ja nousukaivot on tiivistetty, ja että altaissa ja vesilukoissa on vettä. (Tanila 2009–2010.)

Tällä hetkellä on suositeltavaa käyttää ilmanvuotoluvun ilmoituksessa mittausmenetelmää. Toinen vaihtoehto on ilmoitusmenettely, mutta kunnittain on vielä epätietoisuutta ilmoitusmenetelmän käytöstä. Kunnissa ei ole vielä selvää se, kuinka yhtenäisiä suunnittelu- ja rakenneratkaisujen tulee olla eri kohteiden välillä, jotta ilmoitusmenetelmä on mahdollinen. Sääntöjen ja ohjeiden selventyessä ilmoitusmenetelmästä tulee kuitenkin varteenotettava ja kannattava vaihtoehto rakennuksen ilmanvuotoluvun toteamiseksi.

4.1 Yhden asunnon ilmatiiviuden mittaus

Mittaus toteutetaan sitä varten tehdyllä painekoelaitteistolla (kuva 5 ja kuva 6) tai vaihtoehtoisesti rakennuksen tai huoneiston omilla ilmanvaihtolaitteistoilla. Suositeltavampaa on käyttää painekoelaitteistoa, koska sillä saadaan luotettavampi lopputulos. Painekoelaitteisto sijoitetaan yleensä ulko-oveen, vaikka paine-ero on pyrittävä mittaamaan tuulelta suojassa olevan julkisivun puolelta.



Kuva 5: Painekoelaitteisto sijoitettuna ulko-oveen



Kuva 6: Tietokone laskee ilmavuotoluvun mittauspaikalla

Mittaus tulisi suorittaa rakennuksen ollessa ulkovaipaltaan lopullisessa laajuudessaan valmis, kuitenkin niin että vaipan mahdollista lisätiivistämistä voidaan vielä tehdä. Mittaus suoritetaan, kun höyrynsulku on kokonaan asennettu ja ikkunat ja ovet ovat paikoillaan.

Mitattavaan alueeseen otetaan mukaan kaikki rakennuksen lämmitetyt ja jäädytetyt tilat tai tilat, jotka selkeästi ovat ilmanpitävän vaipan sisäpuolella. Lisäksi otetaan mukaan tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Mittausta suoritettaessa kaikkien ikkunoiden ja ulko-ovien tulee olla suljettuina. Asunnon ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot (esimerkiksi korvausilmaventtiilit ja ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmakanavat) sekä takat ja hormit tulee sulkea teippaamalla tai muulla luotettavalla tavalla. Kun edellä mainitut tiivistystoimenpiteet on tehty, määritetään ilman tilavuusvirta, joka täytyy puhaltaa rakennukseen (ylipainekoe) tai sieltä pois (alipainekoe). Näin rakennuksen ulkovaipan yli saadaan haluttu paine-ero. Kun tarvittavat mittaukset on tehty, lasketaan ilmanvuotoluku n_{50} kaavalla 1. (RT 80-10974 2009, 10-12.)

$$n_{50} = \frac{V^{\wedge}}{V} \quad (1)$$

V^{\wedge} = ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pascalin paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli (m^3/h)

V = rakennuksen sisätilavuus (m^3) (RT 80-10974 2009, 11.)

4.2 Kerrostalon ilmatiiviiden mittaus

Kerrostalon ilmatiiviiden mittaukseen on olemassa kaksi vaihtoehtoa. Voidaan mitata useampia yksittäisiä huoneistoja tai koko porrashuoneen ilmanvuotoluku. Mittauksessa voidaan käyttää joko painekoelaitteistoa tai rakennuksen omaa ilmanvaihtolaitteistoa. Koe on kuitenkin tehtävä vain toista menetelmää käyttäen. Normaalikäyttöön mitoitettun asuinkerrostalon IV-kojeen teho ei yleensä

kuitenkaan riitä tarvittavan ilmanpaineen saavuttamiseksi. (RT 80-10974 2009, 14-16.)

4.2.1 Koko porrashuoneen ilmatiiviyden mittaus

Kun mitataan koko porrashuoneen ilmanvuotoluku, saadaan selville koko rakennuksen ulkovaipan tiiviys. Jos mittaukseen käytetään painekoelaitteistoa, laitteisto tulee sijoittaa keskelle rakennusta pystysuunnassa, koska rakennuksen paine-eron tasapainopiste sijaitsee yleensä puolella välissä rakennusta (kuva 3). Kun mittaus suoritetaan alhaalta sisääntulo-ovesta, paine-ero yläkerrassa katon rajassa ei ole sama kuin heti mittauspisteen vieressä alakerrassa. Jos olosuhteiden vuoksi ei ole mahdollista mitata keskeltä taloa, rakennuksen sisään on ajettava reilusti yli 50 Pa:n paine-ero. Menettelyllä varmistetaan, että myös rakennuksen yläosassa saavutetaan vaadittava paine-ero vaipan yli. Koska porrashuone on niin laaja alue, on sen vuoksi syytä käyttää erillistä mittausryhmää, joka tarkkailee ja huolehtii siitä, että 50 Pa:n paine-ero saavutetaan joka puolella rakennusta. Mittauksen aikana on asuntojen ulko-ovien oltava auki. (RT 80-10974 2009, 14-16.)

4.2.2 Yksittäisen huoneiston ilmatiiviyden mittaus

Kun mitataan yksittäisen huoneiston ilmanvuotolukua, mittaus voidaan suorittaa samalla tavalla kuin pientalon tiiviyden mittaaminen, eli huoneiston ovesta. Koko porrashuoneen mittaukseen verrattuna tämä mittaus ei kerro pelkästään sitä, kuinka tiivis huoneiston ulkovaippa on vaan myös sen, kuinka paljon ilmaa häviää toisiin huoneistoihin, porraskäytävään sekä mahdollisiin hormeihin. Yleensä hankalimmat tiivistettävät paikat kerrostalossa ovat juuri hormit sekä läpiviennit, jotka tulevat seinän läpi käytävältä huoneistoon. Tästä seuraa useimmiten, että huoneistokohtaisilla mittauksilla saavutetaan heikompi ilmavuotoluku. (RT 80-10974 2009, 14-16.)

4.3 Lämpökamerakuvaus

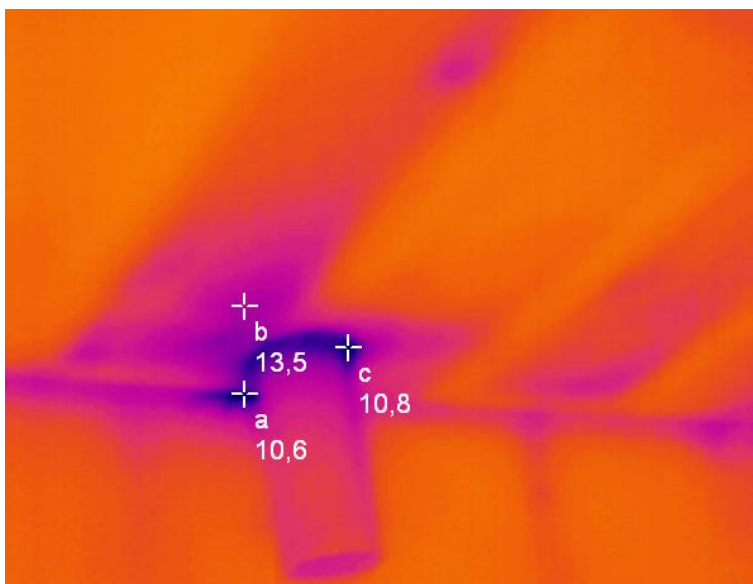
Ulkovaipan ilmanvuotokohtia on yleensä vaikea, usein jopa mahdotonta, paikantaa pelkän tiiviysmittauksen perusteella. Paikantaminen on kuitenkin tärkeää, jotta ongelmakohdat saadaan korjattua ja saavutetaan haluttu tiiviystaso rakennuksessa. Tiiviysmittaukseen onkin hyvä yhdistää lämpökamerakuvaus.

Lämpökamerakuvaus on helpoin tapa paikantaa ilmanvuotokohdat pintoja rikkomatta. Kun vuotokohta on paikannettu, se on helpompi ja halvempi korjata kuin koko rakenteen avaaminen ja tiivistäminen. Nykyaikaiset lämpökamerat ovat pieniä ja helppokäyttöisiä (kuva 9).

Kuvassa 7 on lämpökameralla otettu tavallinen kuva ilmastointiputkesta katossa. Kuvassa 8 on lämpökameran kuva samasta kohdasta. Siinä näkyvät infrapunaväreillä lämpöerot, joita katossa on läpiviennin kohdalla.



Kuva 7: Lämpökameralla otettu normaalikuva ilmastointiputken läpiviennistä.



Kuva 8: Lämpökameralla otettu kuva ilmastointiputken läpiviennistä



Kuva 9: Lämpökamera

4.4 Tiiviiden toteaminen ilmoitusmenettelyllä

Tiiviys voidaan todeta myös ilmoitusmenettelyllä. Arkta voi tulevaisuudessa käyttää myös tätä mahdollisuutta, jos se nähdään kannattavaksi ja tarpeenmukaiseksi. Seuraavassa käydään ilmoitusmenettelyn keskeiset osat läpi.

Talotoimittaja, tai tässä tapauksessa pääurakoitsija, voi käyttää joissain talotyypeissään ilmoitettuja ilmanvuotoluvun arvoja. Tämä edellyttää riittävän yhtenäisiä suunnittelu-, työ-, asennus- ja laadunvarmistusohjeita ilmanpitävyyden saavuttamiseksi talotyypeittäin.

Ilmoitusmenetelmän käyttöönotto vaatii tutkimuksen, ilmoituksen ja seurannan. (RT 80-10974 2009, 4.)

4.4.1 Tutkimus

Tutkimuksessa tulee käydä läpi ainakin seuraavat kohdat:

- kuvaus talotyypistä
- käytettävät detaljit
- rakennustapa
- rakennusmateriaalit
- kuvaus rakennusprosessista
- selvitys työmaavalvonnasta
- mittaustulokset.

Tutkimus on tilattava ulkopuoliselta taholta. Tutkimuksen tilaaja antaa luettelon kutakin talotyyppiä edustavista rakennuksista, ja ulkopuolinen taho valitsee näistä mitattavat kohteet. Uudesta, juuri tuotantoon tulleesta talotyypistä mitataan vähintään kuusi kyseessä olevan talotyypin rakennusta. Mittaukset voivat olla myös aikaisemmin toteutettuja, mutta myös niiden tulee olla ulkopuolisen mittaamia ja asianmukaisesti dokumentoituja. Ilmanvuotoluvut lasketaan aikaisemmin esitetyn kaavan 1 avulla. (RT 80-10974 2009, 4-5.)

4.4.2 Ilmoitus

Tutkimuksessa mitattujen n_{50} -arvojen perusteella lasketaan kaikille talotyypeille ja toteutusratkaisuille ilmoitettu ilmanvuotoluku ($n_{50,ilm}$) kaavalla 2.

$$n_{50,ilm} = n_{50} + k \cdot s_{n50} \quad (2)$$

n_{50} = talotyypin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennuksien ilmanvuotolukujen keskiarvo (1/h)

k = kerroin, joka riippuu mitattujen rakennusten lukumäärästä

s_{n50} = talotyypin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennuksien ilmanvuotolukujen keskihajonta (1/h)

Keskihajonta s_{n50} lasketaan kaavalla 3

$$s_{n50} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{50,i} - n_{50})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

$n_{50,i}$ = yksittäisen rakennuksen ilmavuotoluvun mittaustulos (1/h)

n = talotyypin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennusten lukumäärä

Kerroin k lasketaan kaavalla 4

$$k = 0,674 + \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

n = talotyypin tai toteutusratkaisun mitattujen rakennusten lukumäärä

Kaikki tutkimuksessa mitatut rakennuksen ilmavuotoluvut otetaan mukaan talotyypin ilmoitetun ilmavuotoluvun määrittämiseen. Pois jätetään ainoastaan ne rakennukset, joista ei ole saatu riittävien luotettavia mittaustuloksia. Jos talotyyppi sisältää liitosten tai vaipan osien vaihtoehtoisia toteutuksia, lasketaan ilmavuotoluku ensin kullekin ratkaisulle erikseen. Näiden ilmavuotolukujen keskiarvo on talotyypin yhdistetty ilmavuotoluku.

Rakennuttaja voi käyttää ilmoitettuna ilmavuotolukuna korkeampaa arvoa kuin ohjeen mukaan määritetty arvo. Ilmoitusmenettelyssä kyseisen talotyypin asunnon ilmavuotoluku ei kuitenkaan välttämättä erikseen mitattuna saavuta ilmoitettua arvoa. Jokaisen talotyypin asunnoista vähintään 75 prosenttia saavuttaa ilmoitetun arvon. Yhdenkään talotyypin asunnon tai rakennuksen ilmavuotoluku ei saa kuitenkaan olla yli 0,5 l/h suurempi kuin talotyypin ilmoitettu arvo. (RT 80-10974 2009, 6.)

4.4.3 Seuranta

Ilmanpitävyyden seuranta tapahtuu kolmen vuoden jaksoissa. Seuranta alkaa talotyypin tai talotyyppien tutkimuksen valmistuttua. Seurantajakson aikana mitataan satunnaisesti mahdollisimman erilaisia rakennuksia. Erilaisuudella tarkoitetaan tässä esimerkiksi sijainnista ja työntekijöistä johtuvaa erilaisuutta. Mittaukseen otetaan mukaan vähintään kolme kyseisen seurantajakson aikana valmistuneista talotyypin rakennuksista. Seurantamittauksessa käytetään kaavan 2 samaa kertoimen k arvoa kuin tutkimuksen yhteydessä. Tällöin seurannassa saatu ilmavuotoluvun arvo on vertailukelpoinen tutkimuksessa saadun arvon kanssa.

Jos seurantamittauksessa saatu tulos on eri kuin tutkimuksesta saatu tulos, voidaan suorittaa lisämittauksia, jotta saadaan kattavampi otos talotyypin ilmavuotoluvusta. Jos ilmavuotoluku poikkeaa vieläkin aiemmasta luvusta, käytetään seuraavan kolmen vuoden ajanjaksolla saatua uutta arvoa. (RT 80-10974 2009, 6-7; Paloniitty 2010; Vinha 2010; RATEKO 2010.)

Ilmoitusmenettelyn tarkemmat säännöt ja ohjeistukset löytyvät ohjeesta RT 80-10974. Tässä työssä ei ole oleellista keskittyä tähän menettelyyn, vaan saada ilmavuotoluku mitattua jokaisessa rakennuskohteessa erikseen. Siten saadaan tämän menettelyn periaatteet ohjeistettua työmaalle.

5 Suoritetut ilmatiiviysmittaukset

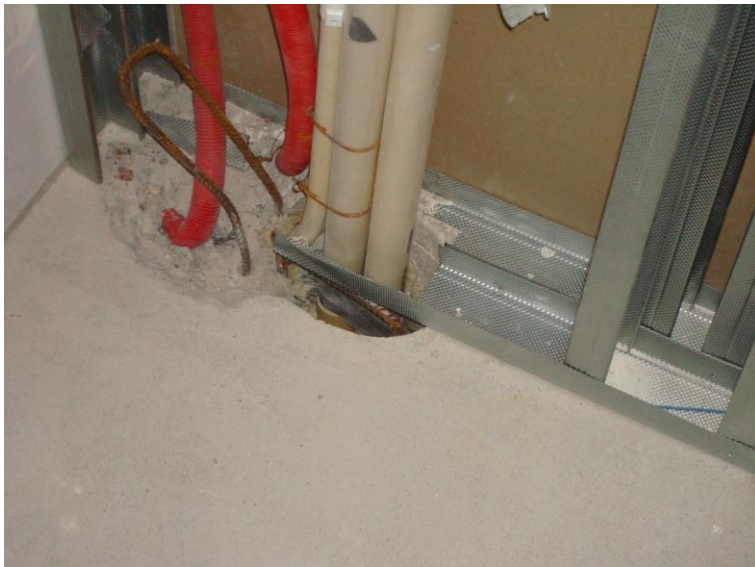
Opinnäytetyön yhteydessä tehtiin kaksi ilmatiiviysmittausta Arktan asuntokohteissa. Ensimmäinen mittaus suoritettiin Niemenkoskentie 1:n työmaalla Lempäälässä, jossa mitattiin puuelementtirivitalon kahden asunnon ilmatiiviys. Toinen mittaus tehtiin Tampereella, Kalkunvuorenkatu 32:n työmaalla, jossa mitattiin betonielementti-kerrostalon kaksi huoneistoa.

5.1 Koy Niemenkoskentie 1

Kohteessa mitattiin kahden rivitalon päätyhuoneiston ilmatiiviydet. Tarkoitus oli myös tutkia alapohjan läpivientien, sekä ikkunan ja ovien kittauksen vaikutusta ilmapuotolukuun. Asunnot C9 (80,5 m²) ja B5 (55,5 m²) mitattiin. Ilmapuotoluvun mittauksen lisäksi asunnoissa suoritettiin lämpökamerakuvaus vuotokohtien paikantamiseksi. Lämpökamerakuvaus suoritettiin ensin huoneen sen hetkessä paineessa (ilmanvaihtokone poissa päältä) ja sen jälkeen 50 Pascalin alipaineessa vuotokohtien paikantamiseksi.

5.1.1 Asunto C9

Niemenkoskentie 1:n ensimmäisenä mitatusta asunnosta (C9) oli jätetty betonijuotokset pois lattiasta tulleista putki- ja sähkövarauksista (kuva 10). Ikkunan ja oven karmit oli myös jätetty kittaamatta (kuva 12). Seinän, lattian ja sokkelin väli oli tiivistämättä (kuva 11). Tarkoitus oli tutkia kyseisten tiivistyksien vaikutusta ilmapuotolukuun. Asunnossa oli höyrynsulku ja levykatto tehtynä. Katosta tulleet läpiviennit oli tiivistetty kuten aikaisemminkin. Ilmanvaihtuventtiilit tiivistettiin teippaamalla. Jakolaatikon kansi jätettiin kuitenkin teippaamatta (kuva 13). Mittaus suoritettiin etuovesta painekoelaitteella (kuva 5). Mittauksessa ilmapuotoluvuksi saatiin 2,3 l/h.



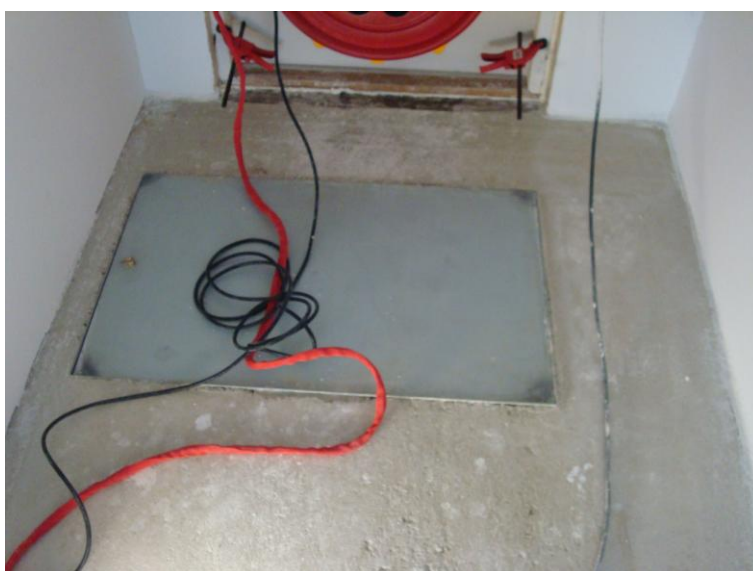
Kuva 10: Putkiläpiviennin juuressa ei ole juotosbetonia



Kuva 11: Lattian raja tiivistämättä ulkoreunalta



Kuva 12: Ikkunan ja oven karmit kittaamatta



Kuva 13: Jakolaatikko tiivistämättä

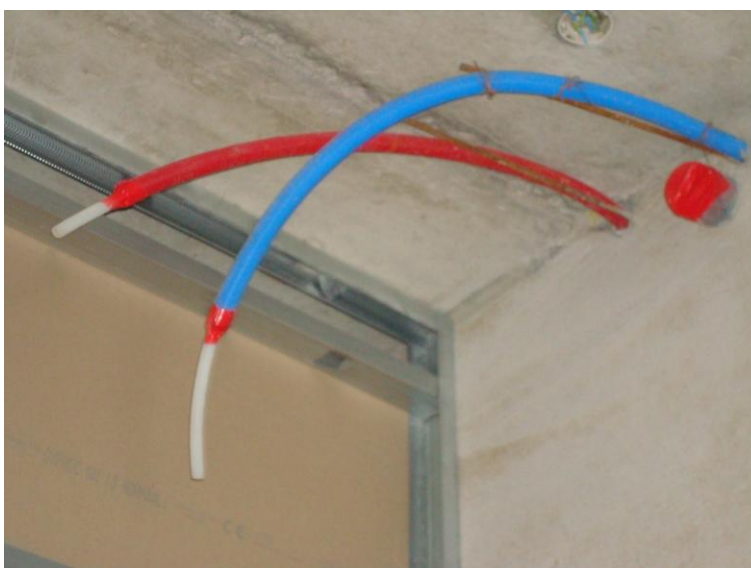
5.1.2 Asunto B5

Niemenkoskentie 1:n toisena mitatusta asunnossa (B5) oli juotettu betonilla lattiasta läpi tulleiden LV- ja sähkövarausten putkien ympärykset (kuva 14). Sähkön varausputki oli myös täytetty villalla ja sen jälkeen tiivistetty vielä ohuella kerroksella polyuretaania. Näin sähköjohdot on suositusten mukaan vaihdettavissa. Ikkunoiden ja ulko-ovien karmit oli tiivistetty polyuretaanin lisäksi elastisella kitillä (kuva 18). Seinän ja lattian raja oli tiivistetty myös elastisella kitillä

(kuva 19). Mittaukset suoritettiin etuovesta painekoelaitteella.

Ensimmäinen mittaus antoi ilmavuotoluvuksi 4,3 l/h. Ilmavuotoluvun huonon arvon takia tutkittiin teippauskohdat uudelleen ja huomattiin, että yksi halkaisijaltaan 110mm viemäriputki (kuva 17) ja ilmastointikojeen yksi halkaisijaltaan 100mm putki oli teippaamatta (kuva 16). Teippauksien jälkeen koe suoritettiin uudelleen ja n_{50} -luvuksi saatiin 2,1 l/h.

Toisen mittauksen yhteydessä huomattiin ilmavirtausta eteisessä sijaitsevasta jakolaatikosta. Koska jakolaatikon kohdalla tässä kyseisessä asunnossa oli myös nousukaivo, päätettiin kokeilla kuinka paljon ilmaa häviää sen jakolaatikon kannen kautta. Kansi teipattiin reunoiltaan umpeen (kuva 15) ja suoritettiin kolmas mittaus. Kolmannessa mittauksessa ilmavuotoluvun arvoksi saatiin 1,6 l/h.



Kuva 14: Putkien läpiviennit tiivistetty betonilla



Kuva 15: Jakolaatikko tiivistetty teippaamalla



Kuva 16: Ilmastointikojeen teippaamatta jäänyt 100mm putki



Kuva 17: Lattiassa teippaamatta jäänyt viemäriputki



Kuva 18: Ikkunan ja oven karmit kitattu



Kuva 19: Lattian raja kitattu ulkoseinän osalta

5.2 Kalkunvuorenkatu 32

Kohteessa mitattiin kahden samalla kohtaa rakennuksessa, mutta eri kerroksissa sijaitsevien asuntojen ilmanvuotoluvut. Mitattavat asunnot sijaitsivat kolmannessa ja viidennessä (ylin) kerroksessa. Huoneistojen alat olivat kummassakin 73 m^2 ja ilmatilavuus 187 m^3 . Asunnoissa oli ontelolaatta ala- ja yläpohja sekä betonielementtiseinät. Mittaus suoritettiin kummassakin asunnossa huoneiston ulko-ovesta. Mittauksessa tutkittiin ovien ja ikkunoiden karmien kittauksen vaikutusta ilmatiiviysluvun arvoon.

5.2.1 Viidennen kerroksen asunto

Viidennen kerroksen asunnon kaikki ikkuna- ja ovikarmit oli tiivistetty kittamalla. Ilmastointiventtiilit oli pussitettu, ja kaivoissa ja vesilukoissa oli vettä. Ilmanvuotoluvuksi viidennen kerroksen asunnossa saatiin $0,4 \text{ 1/h}$.

5.2.2 Kolmannen kerroksen asunto

Kolmannen kerroksen asunto oli toteutettu kuten viidennenkin kerroksen. Erona oli, että ikkuna- ja ovikarmit oli jätetty kittaamatta. Karmin ja seinän välissä oli

käytetty eristeenä polyuretaanivaahtoa. Ilmavuotoluvuksi kolmannen kerroksen asunnossa saatiin 0,4 l/h.

6 Vaipan yleisimmät rakenteet ja oleelliset asiat niiden tiivistämisessä

Tässä luvussa on lueteltu tärkeimmät asiat ilmatiiviyden saavuttamiseksi asuinrakennuksissa. Tarkemmat ohjeet ja työmenetelmät on esitetty ohjekorteissa, jotka ovat tämän työn liitteenä (liite 1).

6.1 Alapohja

- Jos putkiläpiviennit alapohjassa ympäröidään ennen lattia valua villalla, tulee villa poistaa kokonaan valun jälkeen ja mahdollisesti suorittaa lisäeristystä polyuretaanivaahdolla. Tämän jälkeen putken ympäryks tulee juottaa betonilla lattian tasoon ja läpiviennit putken kohdalta tiivistää tarpeen vaatiessa kittauksella. Juotos ja kittaus tulee suorittaa kun toinen puoli kevyistä väliseinistä on levytetty.
- Maanvaraisen lattian ulkoseinät tulee kitata (erotuskaista tulee poistaa vähintään 1cm laatan alle) ja tasoittaa niin, että seinänvierus tulee tiiviiksi.
- Radonkaista tulee kiinnittää ulko- tai väliseinäsokkeliin ennen mahdollista pystysuuntaisen EPS-eristeen asentamista ja kääntää laatan alle eristelevyn päälle. Näin vältetään radonkaistan rikkoutuminen myöhemmässä vaiheessa.
- Jakolaatikko tulee tiivistää kannen osalta kumitiivisteellä.
- Sähköjohtojen varausputket tulee tiivistää villalla ja pienellä polyuretaanikerroksella niin, että sähköt olisivat vielä tulevaisuudessa vaihdettavissa.

6.2 Betoni ja puuelementtiseinät

- Seinäläpiviennit tulee tiivistää kittaamalla.
- Puuelementtiseinän alapinnan eristys tulee varmistaa polyuretaanilla.
- Puuelementtiseinät tulee tehdä niin, että höyrynsulun jälkeen sisäpuolella on 50mm eristevilla ja 2”2” koolaus, jossa voidaan vetää tarvittavat sähköt rikkomatta höyrynsulkumuovia. **Työmaan on huolehdittava riittävästä lämmityksestä ja kuivatuksesta rakennusaikana. Tällä toimenpiteellä vältetään rakennusvaiheen aikaisen kosteuden pääseminen ja**

tiivistyminen villatilaan. Näin estetään homeen kasvulle otolliset olosuhteet. (Alatalo 2009-2010.)

- Juotoksen täytyminen tulee varmistaa betoniseinäliitoksessa riittäväällä elementtien välillä.
- Mittamiehen tulee merkitä kattotuolin alapinnan taso seinään. Sähkömies jatkaa sähköputket ja paikkari/rakennusmies tuo sähköputket mittamiehen merkitsemään linjan alapuolelta niin, että sähköjohdot voidaan vetää harvalaudoitus tilassa höyrynsulkumuovia rikkomatta.
- Kerrostalossa huoneiston ja käytävän välisen seinän sähköläpiviennit tulee paikata siihen soveltuvalla paloluokitetulla massalla (esimerkiksi Hiltin palokatkomassa).

6.3 Ikkunat ja ovet

- Jos höyrynsulku menee ikkunan yli, se tulee katkaista puolesta välistä puitteen ja seinän rakoa, jotta saadaan mahdollisimman hyvä tartunta ja tiiviys höyrynsululle tällä kohdalla.
- Lasin kittaus ikkunapuitteeseen tulee olla moitteettomassa kunnossa.
- Kun ikkunan tai oven lämmöneristys tehdään polyuretaanivaahdolla, tulee se suorittaa niin, että asennusvälissä olevaa polyuretaania ei jouduta leikkaamaan enää listoituvaiheessa.
- Jos oven ja seinän välinen asennusväli täytetään villalla, tulee ovet kitata sisäpuolelta eristämisen jälkeen.

6.4 Puu- ja betoniyläpohja

- Sähköläpiviennit tuodaan harvalaudoitustilassa välissä niin, että höyrynsulkua ei rikota. Paikkaus tulee varauksissa kuitenkin ulottaa seinäelementin yläreunaan asti. Näin varmistetaan, että äänet eivät kantaudu asunnosta toiseen.
- Jos höyrynsulun läpi on mentävä, tulee jokainen läpivientiputki tuoda omasta reiästä. Jos putkia tuodaan samasta reiästä useampia, läpivientikohdan ilmatiiviyttä on vaikea saavuttaa.
- Teippaus tulee ehdottomasti suorittaa vähintään + 5 Celsiusasteessa.

- Höyrinsulun jatkos teipataan tiiviisti siihen tarkoitettulla ja hyväksytyllä teipillä. (Tiivistalo 2010)
- On tehtävä tai ostettava valmiita n. 300x300 muovin paloja, joihin tehdään läpivientiä varten hieman pienempi reikä. Muovi teipataan höyrinsulkuun ja myös tiukasti putkeen. Ympärillä oleva kohta varmistetaan teipillä.
- Höyrinsulkumuovi tiivistetään betoniseinään esimerkiksi Sikaflex-15LM liimalla ja kiinnitetään puuliitoksella. Puun, betonin ja muovin liitos tiivistetään lisäksi elastisella kitillä alapuolelta.
- Ontelolaattojen liitokset tulee juottaa umpeen ja varmistaa ilmatiiviys bitumi-kermillä, joka on vähintään 100mm yli ontelolaatan urasta. Suositeltavaa on laittaa kermi kauttaaltaan yläpohjaan.

7 Yhteenveto

Suoritettujen mittausten perusteella voidaan päätellä, että alapohjan läpivientien tiivistäminen parantaa ilmavuotolukua noin 0,2 yksikköä. Todellisuudessa parannusta voi tulla jopa 0,4 yksikköä, koska Niemenkoskentie 1:n asunnon C9:n jakolaatikon kohdalla ei ollut nousukaivoa, joten ilma häviö tällä kohtaa voi olla pienempi kuin B5:n kohdalla, jossa oli nousukaivo. Jakolaatikon tiivistämisellä on suuri vaikutus ilmavuotoluvun arvoon. Tiivistetyn ja tiivistämättömän jakolaatikon ero mittauksen perusteella oli 0,5 yksikköä. Jakolaatikat tulee tiivistää laatikon mukana tulevalla tiivistenauhalla.

Lämpökamerakuvauksella havaittiin, että elementtien liitoskohdat ja läpivientien tiivistäminen ovat ilmatiiviuden kannalta kaikkein kriittisimmät kohdat. Niiden tiivistämiseen ja toteutukseen tulee keskittyä normaalia huolellisemmin.

Ikkuna- ja ovikarmin seinän liitoksen tiivistämisellä kittauksella ei ole mitään merkitystä ilmavuotoluvun arvoon. Polyuretaanivaaho tiivistää karmit riittävän hyvin. Karmin ja seinän välin vaahdottaminen tulee tehdä kuitenkin niin, että vaaho ei laajentuessaan ja kuivuessaan tule yli seinäpinnasta. Näin polyuretaanin pintaan sen kovettuessa muodostamaa ilmanpitävää kalvoa ei jouduta leikkaamaan ikkunalistoja laitettaessa.

Tiiviysmittauksen perusteella voidaan sanoa, että nykyisillä menetelmillä asunnoissa saavutetaan tavoiteltu ilmatiiviystaso. On syytä kuitenkin muistaa, että tämä vaatii jokaiselta rakentamisprosessiin osallistuvalla erityistä huolellisuutta ja tarkkaavaisuutta omassa työssään. Putkien, sähköjohtojen ja hormien tiiviys tulee aina tarkistaa jokaisen huoneiston kohdalta erikseen eikä luottaa työn tasaisuuteen. Oikeiden suunnitelmien ja työmenetelmien löytäminen parantaa entisestään hyvää ilmanpitävyyttä ja antaa tulevaisuutta ajatellen mahdollisuuden päästä erinomaisiin arvoihin ilmanpitävyydessä.

Lähdeluettelo

Aho Hanna - Korpi Minna, Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen Yliopistopaino Oy 2009. 100 s.

Alanen, Tommi. Keskustelut 2009-2010. Arkta Oy. Ylöjärvi.

Alatalo, Ari. Keskustelut 2009-2010. Pohjola-Talot Oy. Lempäälä.

Arkta Oy [www-sivu]. [viitattu 27.4.2010] Saatavissa: www.arkta.fi

Majaharju, Marita. Keskustelut 2010. Arkta Rakennuttajat Oy. Ylöjärvi.

Paloniitty, Sauli. Keskustelu 11.2.2010. Hämeen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Pääkkönen, Jukka. Keskustelut 2009-2010. Rakennustoimisto Arkta Oy. Ylöjärvi

RATEKO, koulutus, Rakennusten energiatehokkuus. 11.2.2010. Tampere.

RT 80-10974, Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustietosäätiö. 2009. 24 s.

Sisäilmayhdistys. [www-sivu]. [viitattu 13.2.2010] Saatavissa: www.sisailmayhdistys.fi

Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 Rakennusten lämmöneristys. 2009. 10 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 Rakennusten sisäilma ja ilmanvaihto.2010. 37 s.

Tanila, Juha. Keskustelut 2009-2010. Wisehouse Oy. Lempäälä.

Tiivistalo. [www-sivu]. [viitattu 18.3.2010] Saatavissa: www.tiivistalo.fi

Tenkula, Mikko. Keskustelut 2010. Arkta Rakennuttajat Oy. Ylöjärvi.

Vinha, Juha. Keskustelu 11.2.2010. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Liitteet

Liite 1: Ohjekortit, 6 s.