
TIIVIYSMITTAUS ENERGIATEHOKKAAN RAKENTAMISEN VALVONTAKEINONA

Järvenpään Mestariasunnot Oy:n omistama Mestaritorppa



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Kestävän kehityksen koulutusohjelma
Hyvinkää

Jonna Heinonen

HYVINKÄÄ

Kestävän kehityksen koulutusohjelma
Ympäristösuunnittelija

Tekijä	Jonna Heinonen	Vuosi 2014
Työn nimi	Tiiviysmittaus energiatehokkaan rakentamisen valvontakei- nona. Järvenpään Mestariasunnot Oy:n omistama Mestari- torppa	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Järvenpään Mestari-toiminta Oy, joka on osa Järvenpään kaupunkikonsernia. Työn tavoitteena oli valvoa Mestari-toiminnan rakennuttaman vuokrakerrostalokohteen, Järvenpään Mestari-torpan, ilmatiiviyttä ja samalla rakennustyön laatua. Rakennuskohde on palkittu vuoden 2013 ilmastoystävällisimpänä kerrostalona. Valvonnalla haluttiin varmistaa että kohde valmistuessaan täyttää sille asetetut ilmatiiviysvaatimukset.

Samanaikaisesti kohteessa suoritettiin paljon muitakin rakennustöitä, jotka on raportoitu tähän työhön. Lisäksi on suoritettu Rakennusten tiiviysmittaajan henkilösertifikaattiin johtava koulutus ja siihen liittyvät näyttötyöt ja kokeet. Koulutuksella varmistetaan se, että mittauksia suorittavilla henkilöillä on riittävästi tietoa ja taitoa, jotta mittaukset suoritetaan oikein.

Tiiviysmittaus ja lämpökuvaus ovat tehokkaita ja helppoja keinoja varmistaa rakennustöiden laatua ja rakennusten ilmatiiviyttä sekä varmistua myös hormien yms. tiiviydestä, koska mittaukset tehdään huoneistokohtaisesti. Mittauksia tilaavien on hyvä varmistua siitä, että mittajaalla on riittävästi asiantuntemusta mittauksen suorittamiseen. Mittauksilla saadaan helposti tarkkaa tietoa rakennustöiden mahdollisista puutteista sekä virheistä jotka monesti aiheuttavat harmia rakennuksen käytön aikana. Mittauksia voidaan tehdä koko rakennusprojektin ajan, jolloin puutteet voidaan korjata mahdollisimman helposti ja aikaisessa vaiheessa.

Rakennusten tiiviysmittaus ja sen yhteydessä tai erikseen suoritettava rakennuksen lämpökuvaus tulevat yleistymään, kun rakennusmääräykset kiristyvät koko EU:n alueella 2019 ja 2021. Jo nyt pystytään rakentamaan kohteita, jotka täyttävät tuolloin voimaan astuvat rakennusmääräykset. Tällaiset kohteet vaativat vähintään tiiviysmittauksen, jotta rakennusluvan ehdot voidaan todistaa täytetyiksi ja rakennus saadaan käyttöön.

Avainsanat Tiiviysmittaus, lämpökuvaus, ilmanvuotoluku, painekoe

Sivut 55 s. + liitteet 7 s.

HYVINKÄÄ

Degree Programme in Sustainable Development

Author

Jonna Heinonen

Year 2014**Subject of Bachelor's thesis**

Building air leakage test as a surveillance method for energy efficient construction

ABSTRACT

The client for this thesis was Järvenpään Mestaritoiminta, which is a part of the concern owned by the city of Järvenpää. The aim of the thesis was to supervise the air leakage rate and the quality of construction work on a site under construction. The site, Järvenpään Mestartorppa, was constructed by Järvenpään Mestaritoiminta Oy. The site was awarded as the most climate friendly apartment building in the year 2013. The surveillance also insured that the site will meet the demands that were set up to it, regarding building air tightness.

A lot of other construction tasks were done on site simultaneously. Those tasks are reported in this thesis. Also the training and tests for the courses leading to the personal certification were completed. Certification training was done in building air tightness measurement. The training and education aim to make sure that the person is capable of doing the measurements right.

Air leakage testing and thermal imaging are efficient and easy ways to insure the quality of construction work and the air tightness of the building. It also secures the air tightness of different kind of conduits etc, since the measurements are done flat by flat. A client ordering the measurements should make sure that whoever is doing the job, has enough expertise to it. Measurements give the client accurate information of the work quality, and also of the possible flaws that can cause trouble while using the building. They can be done throughout the project, which helps the client to fix the possible problems at an early stage and as easily as possible.

Air leakage tests and thermal imaging will become more common. This is because of the fact that the building codes will be tighter in the whole EU area by 2019 and 2021. It is possible to make buildings now which fulfill the upcoming new building codes. Air leakage tests are needed for those sites. The test is the only way to proof that the site meets the demands set in the building codes.

Keywords Air leakage test, thermal imaging, air leakage rate, pressure test**Pages** 55 p. + appendices 7 p.

KÄSITTEET JA TERMIT

Painekoe

Koe jolla testataan rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä, ali- ja/tai yli-paineistamalla rakennus.

Tiiviysmittaus (ks. painekoe)

Ilmanvuotoluvun q_{50} ja n_{50} määrittäminen rakennuksen ulkovaipalle. Suoritetaan 50 Pa:n paine-erossa. Ilmavuotokohtia voidaan myös etsiä muussa alipaineessa, kunhan alipaine on normaalia käyttötilannetta suurempi.

Ilmanvuotoluku q_{50} [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$]

Rakennuksen vaipan keskimääräinen vuotoilmavirta tunnissa 50 Pa:n paine-erolla. Ilmoitetaan rakennusvaipan pinta-alaa kohden, muodossa kuutiota tunnissa per neliö [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$].

Ilmanvuotoluku n_{50} (1/h)

Montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta 50 Pa:n ali- tai ylipaineessa. Ilmoitetaan muodossa vaihtoa per tunti (1/h).

Ulkovaippa/vaippa

Rakennekerrokset, jotka erottavat rakennuksen sisätilat kylmästä ulkoilmasta.

Rakennuksen vaipan ala

Rakennuksen ulkoseinät aukotuksineen sekä alapohja ja yläpohja. Lasketaan sisämittojen mukaan.

Alapohja

Rakennuksen alimman kerroksen lattia ja sen rakenteet.

Yläpohja

Rakennuksen ylimmän kerroksen yläpuolinen rakenne.

Huoneiston vaipan ala

Huoneiston/asunnon ulkoseinät, asuntojen väliset seinät, asunnon ja portaikon välinen seinä, alapohja ja yläpohja. Eli asuntoa rajaavat seinät aukotuksineen sekä lattia ja katto. Käytetään mitattaessa kerrostalo- tai rivitalohuoneistojen tiiviyyttä.

Rakennuksen/huoneiston sisätilavuus

Rakennuksen/huoneiston vaipan alan rajaama tilavuus. Tilavuudesta vähennetään mahdollisten välipohjien tilavuus.

Välipohja

Eri kerrosten välinen rakenne. Alakerrassa kattorakenne ja yläkerrassa lattiarakenne.

Nollaenergiatalo

Rakennus, joka tuottaa vuositasolla yhtä paljon energiaa kuin kuluttaa.

Passiivitalo

Rakennus, jonka lämmitysenergian tarve on huomattavasti pienempi kuin samankokoisten rakennusten tarve keskimäärin. Suomessa VTT on antanut passiivitaloille määritelmät sijainnin, lämmitysenergiantarpeen, kokonaisprimäärienergiantarpeen ja ilmanvuotoluvun mukaan.

Emissiivisyys

Jonkin kohteen pinnan kyky heijastaa säteilyä. Ilmaistaan desimaalilukuna nollan ja ykkösen välillä. Jos kohteen emissiivisyys on suuri, se heijastaa vain vähän ympäristön energiaa ja säteilee paljon lämpöä. Jos emissiivisyys on pieni, kohde heijastaa paljon ympäristön energiaa ja säteilee vähän lämpöä.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TIIVISTÄ RAKENTAMISTA.....	2
2.1	Ilmatiiviyys ja sen merkitys rakentamisessa	2
2.2	Rakennuksen painesuhteet	3
2.3	Ilmatiiviyys ja rakenteen kosteustekniikka	6
2.4	Ilmatiiviyys ja energiankulutus	7
2.5	Ilmatiiviyden vaikutus asumismukavuuteen	10
3	RAKENNUSTEN TIIVIYSMITTAUS JA LÄMPÖKUVAUS	11
3.1	Rakennusten tiiviysmittaus	12
3.1.1	Tiiviysmittauskalusto	12
3.1.2	Mittauksessa tarvittavat suureet ja lähtötiedot	14
3.1.3	Mittauksen edellytykset.....	16
3.1.4	Mittauksen kulku	18
3.1.5	Mittausraportit	20
3.1.6	Mittaajien koulutus	21
3.2	Rakennusten lämpökuvaus	23
3.2.1	Lämpökuvauskalusto	24
3.2.2	Kuvauksen edellytykset.....	25
3.2.3	Kuvauksen lähtötiedot ja suorittaminen	27
3.2.4	Lämpökuvausraportti.....	29
3.2.5	Kuvaajien koulutus	31
4	MESTARITORPPA	32
4.1	Järvenpään Mestariasunnot Oy ja Mestari toiminta Oy	32
4.2	Mestari torppa	33
4.3	Käytännön toimenpiteet kohteessa.....	36
4.4	Mittaukset kohteessa	42
4.4.1	Painetesti 13.2.2014.....	42
4.4.2	Tiiviysmittaus 6.3.2014	45
4.4.3	Tiiviysmittaus 9.4.2014	48
5	POHDINTA.....	51
	LÄHTEET	54
Liite 1	Tiiviysmittauspöytäkirja	
Liite 2	Tiiviysmittausraportti	
Liite 3	Sewatek holviläpivienti esite	

1 JOHDANTO

Rakennusala on elänyt muutoksen aikoja 2000-luvulla. Rakennusten energiatehokkuutta on määrätietoisesti pyritty parantamaan. Tämä on lisännyt erilaisten matalaenergiaratkaisujen suosiota. Uusien ratkaisujen toimivuutta myös tutkitaan tarkemmin. Yksi näistä tutkimusmenetelmistä on rakennusten tiiviiden mittaus.

Alan muutoksen taustalla on koko EU:n laajuinen muutosprosessi. Euroopan Unionin niin sanottu 20-20-20-tavoite vaikuttaa myös rakennusalaan. Vuoteen 2020 mennessä EU:n alueella on tavoitteena leikata kasvihuonekaasupäästöjä 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta, parantaa energiatehokkuutta 20 prosenttia, ja kasvattaa uusiutuvien energialähteiden osuus 20 prosenttiin. Uusilta julkisilta rakennuksilta vaaditaan lähes nollaenergiatasoa 1.1.2019 alkaen. Sama vaatimus koskee kaikkia uusia rakennuksia 1.1.2021 alkaen.

Rakennusosalalla on merkittävä vaikutus tavoitteiden toteutumiseen. Sekä Suomen että koko EU:n alueella rakennuskanta vastaa noin 40 prosenttia kokonaisenergiankulutuksesta. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisella voidaanakin saavuttaa suuria säästöjä energiankulutuksessa. (Kurnitski 2012, 96.)

Jotta rakennus olisi mahdollisimman energiatehokas, sen täytyy olla tiivis ja estää lämmitysenergian karkaaminen ulos. Tiivis rakennus myös parantaa asumisviihtyvyyttä estämällä vedon syntymisen ja epäpuhtauksien kulkeutumisen huoneilmaan. Tiiviyys myös parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta ja ehkäisee home- ja kosteusvaurioiden syntymistä.

Tiiviyttä mitataan Suomessa standardin SFS-EN 13829 mukaisesti. Paine-kokeessa käytetään yleensä kaupallista tiiviysmittauslaitteistoa. Usein apuna on myös lämpökamera. Paine-kokeessa pyritään paikantamaan rakennuksesta ne kohdat, joista ilmaa vuotaa hallitsemattomasti ulos. Samalla selvitetään mahdollisten korjaustoimenpiteiden tarve.

Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu rakennusten tiiviysmittaajien ja rakennusten lämpökuvaaajien henkilösertifiointikoulutusta, jonka järjestäjänä Suomessa toimii Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus Rateko. Lisäksi työssä on tutustuttu tiiviysmittaukseen ja lämpökuvaukseen käytännössä osallistumalla rakennuksen tiiviiden mittajaan henkilösertifiointikoulutukseen ja suorittamalla tiiviysmittauksia ja lämpökuvauksia käytännössä.

Käytännön toimenpiteet ja mittaukset on suoritettu työn tilaajana toimineen Järvenpään Mestaritoiminta Oy:n rakennuttamassa kohteessa, Mestari- torpassa Järvenpäässä. Mestari- torppa on rakenteilla oleva kerrostalokohde, jonka tulisi valmistua syyskuussa 2014. Mestari- torppa valittiin Suomen ilmastoystävällisimmäksi kerrostaloksi vuonna 2013. Kilpailun järjestäjänä toimivat Rakennusteollisuus RT ja Green Building Council Finland. Samalla on tutustuttu paikan päällä energiatehokkaaseen rakentamiseen ja sen vaatimuksiin.

2 TIIVISTÄ RAKENTAMISTA

Rakennusten energia- ja ekotehokkuuteen on alettu kiinnittää tarkempaa huomiota muun ympäristötietoisuuden kasvaessa. Ilmastonmuutoksen myötä ympäristöasiat ovat nousseet enemmän esille. Rakennusalalla muutokset ovat kuitenkin alalla työskentelevän silmissä tuntuneet hitailta. Vastata viime vuosina asiaan on kuitenkin tullut selvästi havaittavia muutoksia. Erilaiset nollaenergia- ja passiiviratkaisut ovat lisääntyneet selvästi.

Suomessa rakentamista ohjaa Maankäyttö- ja rakennuslaki. Tarkemmat ohjeet ja säännökset, jotka koskevat rakentamista, on koottu Rakentamismääräyskokoelmaan (RakMK). RakMK:n sisältämät säännökset ovat velvoittavia. Määräykset ovat perinteisesti koskeneet uusia rakennuksia, mutta niitä sovelletaan osin myös muutos- ja korjaustöissä. RakMK:ta uudistettaessa asetuksista tulee käymään ilmi, koskeeko se uudisrakentamista vai muutos- tai korjaustöitä. (Ympäristöministeriö 2014.)

Vuonna 2012 rakentamisessa siirryttiin niin sanottuun kokonaisenergiatar- kasteluun (RakMK D3 2012). Nyt uudisrakennusten energiatehokkuutta ohjataan niin sanotun E-luvun kautta. E-luku lasketaan kaavalla

$$\frac{\text{rakennukseen ostettu energia} \times \text{energiamuodon kerroin}}{\text{lämmitetty nettoala}}$$

Rakennuttaja saa kuitenkin itse määritellä keinot, joilla vaadittu energiatehokkuus saavutetaan. Jotta vaadittu taso saavutetaan, tarvitaan rakennukseen muun muassa aiempaa merkittävästi parempaa lämmöneristystä ja ilmatiiviyyttä. (Kurnitski 2012, 7–8.)

Uudet määräykset koskevat kaikkia uusia työpaikka- ja asuinrakennuksia ym. rakennuksia, mikäli niissä käytetään energiaa ilmanvaihdon ja tilojen lämmitykseen, jotta saadaan ylläpidettyä sisäilmasto-olosuhteita. Määräykset eivät koske kasvihuoneita, väestönsuojia, loma-asuntoja, joissa ei ole lämmitysjärjestelmää ja joka on tarkoitettu kokovuotiseen käyttöön, määräaikaista rakennuksia, enintään 50 m²:n kokoisia rakennuksia, muita kuin asuinkäyttöön tarkoitettuja maatalousrakennuksia sekä tuotantorakennuksia joissa tuotantoprosessi luovuttaa merkittävästi lämpöä. (Kurnitski 2012, 10.)

2.1 Ilmatiiviys ja sen merkitys rakentamisessa

Rakenteen tiiviydellä viitataan yleensä vesihöyryn kulkeutumiseen rakenteen läpi molekyylyltasolla. Termi sekoitetaan usein rakenteen ilmatiiviuden kanssa, jolla tarkoitetaan rakenteen hengittävyyttä tai epähengittävyyttä. Ilmatiiviydellä mitataan rakenteen kykyä vastustaa ilman liikettä sen läpi (Paloniitty 2013, 12.). Molemmat termit ovat kuitenkin tärkeitä, kun pyritään rakentamaan energiatehokkaita ja terveitä rakennuksia.

Rakennusten energiatehokkuuden parantuessa ilmatiiviin vaipparakenteen merkitys kasvaa. Hallitsemattomat ilmapuodot aiheuttavat rakennukselle ja sen käyttäjille monia riskejä ja haittoja. Suomen rakentamismääräysko-

koelmassa (RakMK D3 2012.) onkin määritelty raja-arvot rakennuksen ilmanvuotoluvulle:

RakMK D3 2012 Kohta 2.3.2

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4[m^3/(h m^2)]$. Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon $4[m^3/(h m^2)]$, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Määräys jättää siis kuitenkin jotain lukijan oman tulkinnan varaan. Uudisrakennuttajille määräyksessä ei kuitenkaan liene kovin paljon tulkinnan varaa, varsinkaan asuinrakennusten kohdalla. On vaikea keksiä sellaista rakenteellista ratkaisua asuintiloihin, joka oikeuttaisi ylittämään määräyksen antaman arvon.

Rakentamismääräyskokoelman suosituksen mukaan rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun q_{50} tulisi olla enintään 1. Tällä halutaan varmistaa rakennuksen kosteustekninen toimivuus, hyvä sisäilmasto ja energiatehokkuus. Jos rakennuksen suunnittelussa on käytetty pienempää arvoa kuin 4, se tulee osoittaa mittaamalla tai muulla menettelyllä. Muulla menettelyllä tarkoitetaan esimerkiksi joidenkin talotehtaiden käyttämiä laadunvarmistusmenettelyjä.

Rakentamismääräyskokoelma antaa ohjeet myös niin sanotulle lämpöhäviöiden tasauslaskennalle. Tasauslaskennassa verrataan rakennuksen lämpöhäviötä vertailuratkaisuun. Lämpöhäviöön lasketaan mukaan rakennuksen vaipan johtumislämpöhäviö sekä ilmanvaihdon ja vuotoilman yhteenlaskettu lämpöhäviö. Tämä lämpöhäviö saa olla enintään vertailuratkaisun suuruinen. Ilmavuotoluvun vertailuarvona tässä laskennassa käytetään arvoa $2 [m^3/(h m^2)]$.

2.2 Rakennuksen painesuhteet

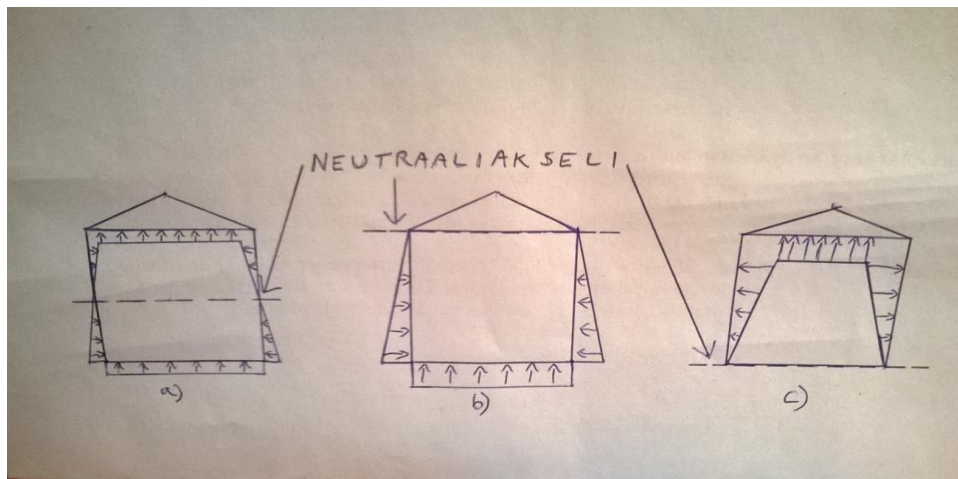
Maapallon ympärillä oleva ilmassa aiheuttaa niin sanotun ilmakehän paineen. Sen suuruuteen vaikuttavat erilaiset ilmakehän sääilmiöt sekä korkeus, jolta paine mitataan. Rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välisestä paine-eroista puhuttaessa paine-eron yksikkönä käytetään pascalia (Pa). (Paloniitty 2013, 8.)

Tiiviysmittauksessa puhaltimella tai ilmanvaihtokoneilla luotavaa 50 pascalin paine-eroa ei normaaliolosuhteissa synny. Rakennusmääräyksissä suositeltavaksi suurimmaksi alipaineeksi rakennuksessa käyttötilanteessa esitetään 30 pascalia. Rakennukset tulisi pitää alipaineisina. Tämä estää lämpimän sisäilman virtaamisen mahdollisten ilmavuotokohtien kautta rakenteiden läpi kohti ulkoilmaa. Ulospäin kulkiessaan lämmin sisäilma jäähtyy ja voi tiivistyä rakenteisiin. (Paloniitty 2013, 8.)

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa neljä tekijää. Nämä ovat savupiippuilmiö, ilmanvaihto, tuuli sekä rakennuksen ilmatiiviys. Savupiippuilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa lämmin ilma nousee ylös ja aiheuttaa näin rakennuksen yläosaan ylipainetta. Lämmin ilma nousee ylös, koska se on tiheydeltään pienentynyt.

Kun rakennuksen yläosa on tällaisessa tilanteessa ylipaineinen, kylmä ilma virtaa sisään rakennuksen alaosasta. Samalla ylös noussut lämmin ilma virtaa rakennuksen yläosista ulos. Ilmiö korostuu sisä- ja ulkoilman lämpötilaerojen ja rakennuksen korkeuden kasvaessa. (Paloniitty 2013, 9.)

Alaosan alipaineisen ja yläosan ylipaineisen painekentän välissä on niin sanottu neutraaliakseli. Tällä akselilla sisäilmanpaine vastaa ulkoilman painetta. Neutraaliakselin sijainti riippuu siitä, missä rakennuksen mahdolliset ilmvuotokohdat sijaitsevat (Kuva 1). (Paloniitty 2013, 9.)



Kuva 1. Neutraaliakselin sijainti kun ilmvuotokohdat ovat a) tasaisesti jakautuneet, b) rakennuksen yläosissa ja c) rakennuksen alaosissa. (Björkholtz 1997, 77.)

Savupiippuilmiön aiheuttamien paine-erojen suuruus voidaan myös laskea seuraavalla kaavalla (Björkholtz 1997, 77.):

$$\Delta p = 0,043 \times \Delta t \times h, \text{ jossa}$$

Δp = paine-ero pascaleina

$\Delta t = t_s - t_u$ (°C) (sisälämpötila – ulkolämpötila)

h = etäisyys neutraaliakselista

Savupiippuilmiö on painovoimaisen ilmanvaihdon perusta. Rakennukseen saadaan kylmää ilmaa tuloilmaventtiileistä ja usein myös rakennuksen vaipan vuotokohdista, sillä painovoimainen ilmanvaihto on tyypillinen vanhoissa taloissa. Ilma lämpenee rakennuksen sisällä, nousee ylös ja poistuu rakennuksesta poistoilmaventtiilien kautta. Painovoimainen ilmanvaihto on ongelmallinen kuumina kesäpäivinä, jolloin ei tuule eikä sisä- ja ulkoilman välillä ole lämpötilaeroja.

Useimmat uudet rakennukset varustetaan koneellisella ilmanvaihdolla. Koneellinen ilmanvaihto voi hoitaa vain poistoilman, jolloin puhutaan koneellisesta poistoilmavaihdosta. Järjestelmä voi hoitaa myös tuloilman, jolloin puhutaan koneellisesta poisto- ja tuloilmavaihdosta. Koneellinen poistoilmavaihto puhaltaa ilmaa sisältä ulos poistoilmaventtiilien kautta, jolloin rakennuksen sisälle syntyy alipaine ja rakennukseen pääsee virtaamaan raikasta ulkoilmaa korvausilmaventtiilien kautta.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto puhaltaa huoneilman pois poistoilmaventtiileistä. Tilalle tuleva ilma voidaan puhdistaa, lämmittää ja jäähdyttää koneellisesti. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon etuna on sen tarkka säädeltävyys. (Paloniitty 2013, 12.)

Ilmanvaihtojärjestelmä säädetään yleensä niin, että rakennuksen sisällä vallitsee noin 0–10 pascalin alipaine. Tiivis vaippa edesauttaa järjestelmän toimivuutta. Mitä vähemmän ilmavuotoja vaipassa on, sitä tarkemmin ilmanvaihtojärjestelmä toimii. (Paloniitty 2013, 12.)

Tuulen vaikutus rakennuksen painesuhteisiin on vaikea määrittää tarkasti. Vaikutus vaihtelee tuulen voimakkuuden, suunnan, rakennuksen sijainnin ja muodon mukaan. Rakennus voi olla myös hyvin tuulelta suojattu, jolloin tuulen vaikutus on tietenkin heikompi. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että rakennuksen tuulen puoleiselle seinälle kohdistuu ylipaine, ja vastakkaiselle seinälle alipaine. Tuulen aiheuttamaa painetta voidaan kuitenkin arvioida yhtälöllä. Tätä yhtälöä kutsutaan Bernoullin yhtälöksi (Paloniitty 2013, 10.):

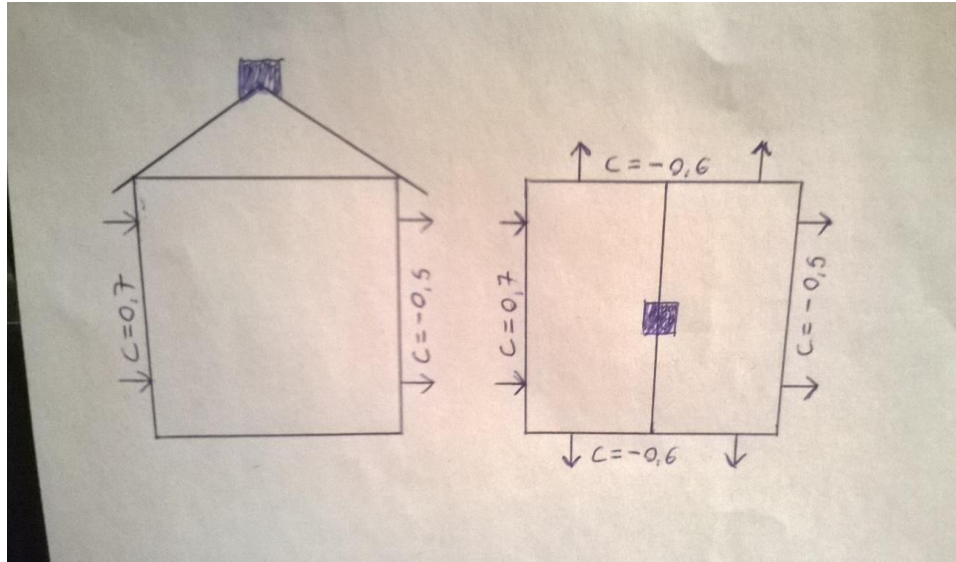
$$\rho = c \times \frac{1}{2} \times \rho v^2, \text{ jossa}$$

ρ = tuulen aiheuttama paine-ero

c = rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva vakio (kuva 2)

ρ = ulkoilman tiheys, kg/m^3

v = tuulen nopeus, m/s



Kuva 2. Pelkistetyin rakenteen muotokertoimet. (Paloniitty 2013, 11.)

Tilanteessa, jossa ulkoilman tiheys on $1,3 \text{ kg/m}^3$, ja tuuli on 5 m/s , tuulen aiheuttama paine tuulenpuoleisella seinällä lasketaan seuraavasti:

$$\rho = 0,7 \times \frac{1}{2} \times 1,3 \text{ kg/m}^3 \times 5^2 \text{ m/s} = 11,4 \text{ Pa}$$

Vastakkaiselle seinälle aiheutuva paine on taas

$$\rho = -0,5 \times \frac{1}{2} \times 1,3 \text{ kg/m}^3 \times 5^2 \text{ m/s} = -8,1 \text{ Pa}$$

Viimeinen rakennuksen painesuhteisiin vaikuttava tekijä on rakennuksen vaipan ilmatiiviyys. Mitä tiiviimpi vaippa on, sitä vähemmän siitä vuotaa ilmaa hallitsemattomasti ulos. Tiiviissä rakennuksissa on välttämätöntä olla koneellinen ilmanvaihto, sillä niissä ilma ei poistu rakennuksesta vuotokohtien kautta.

Rakennuksen sisältämän ilman tulee vaihtua 0,5 kertaa tunnissa. Tätä arvoa kutsutaan ilmanvaihtokertoimeksi. Se vaihtelee rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi luokkahuoneiden ilmanvaihtokerroin on 6. Jos esimerkiksi rakennuksen tilavuus on 250 m^3 , rakennuksen ilmasta on tunnin aikana vaihdettava 125 m^3 , kun ilmanvaihtokerroin on 0,5. Mitä tiiviimpi rakennuksen vaippa on, sitä enemmän ilmanvaihtokone tuo ilmaa rakennukseen, koska ilma ei poistu vuotokohtien kautta.

2.3 Ilmatiiviyys ja rakenteen kosteustekniikka

Suomessa rakenteisiin kohdistuu suuria kosteus- ja lämpötilaeroja vuodenaikojen vaihtelun myötä. Kosteutta on ilmassa ja sitä kertyy rakenteisiin monessa muodossa, muun muassa vetenä, lumena ja jäänä. Tämä asettaa rakenteille omat erikoisvaatimuksensa. Tiivis ja huolellisesti toteutettu vaippa minimoi kosteuden siirtymisen rakennuksiin ja sen rakenteisiin.

Kosteus voi siirtyä talon rakenteisiin ja rakenteissa useammalla tavalla. Näistä diffuusio ja konvektio siirtävät kosteutta ilman mukana ja vaikuttavat siten eniten juuri ilmatiiviiden kautta rakenteen kosteustekniseen toimintaan.

Diffuusiossa kosteus siirtyy vesihöyryn mukana. Kosteus siirtyy vesihöyrynsapaine-erojen mukaan, aina alemman pitoisuuden suuntaan. Eri materiaalikerrokset vastustavat vesihöyryn siirtymistä lävitseen. Tätä materiaalin kykyä vastustaa kosteuden liikettä kutsutaan vesihöyryn vastukseksi (Z). Rakennus tulisi suunnitella niin, että ulospäin mentäessä rakenne harvenee vesihöyryn läpäisevyyden suhteen. (Rateko 2013b.)

Konvektiossa taas kosteus siirtyy ilmavirran mukana. Virtaus voi olla pakotettua tai luonnollista. Pakotettuja virtauksia ovat ilmanvaihdon, ihmisen liikkeen ja tuulen aiheuttamat ilman liikkeet. Luonnollista konvektiota esiintyy harvoin. (Rateko 2013b.)

Ilma sisältää kosteutta lähes aina. Lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä enemmän kosteutta kuin kylmä. Ilma voi sisältää tietyssä lämpötilassa enintään tietyn määrän kosteutta. Tätä määrää kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Kun kyllästyskosteus ylittyy, kosteus alkaa tiivistyä pisaroiksi. Kylästyskosteus ilmoitetaan grammoina ilmakeuutiota kohti.

Useimmiten ilman sisältämä kosteus ilmoitetaan kosteusprosentteina, RH. Kosteusprosentti ilmaisee, kuinka monta prosenttia ilmassa on kosteutta, verrattuna kyseisen lämpötilan kyllästyskosteuteen.

Lämmin sisäilma voi kulkeutua ilmavuotopaikoista ulos, mikäli rakennuksen painesuhteet eivät ole toimivat. Tämä aiheuttaa kosteus- ja homevau-

rioriskin. Esimerkiksi +20 °C ilman kyllästyskosteus on 17,28 g/m³, ja -5 °C ilman kyllästyskosteus on vain 3,33 g/m³ (Björkholtz 1997, 44.). Suomen oloissa tällaiset lämpötilaerot sisä- ja ulkoilman välillä ovat varsin tavomaisia. Kun lämmin sisäilma kulkeutuu ulospäin rakenteessa, se viilenee. Viileän ilman kyllästyskosteus on huomattavasti pienempi, ja lämpimän ilman sisältämä kosteus alkaa tiivistyä rakenteisiin. Kosteus voi aiheuttaa rakenteissa vakaviakin vaurioita.

Ilmavirran sisältämä kosteus eli kosteusvirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Björkholtz 1997, 58.):

$$g = v \times Q, \text{ jossa}$$

g = kosteusvirta, g/s

v = vesihöyrypitoisuus ilmassa, g/m³

Q = ilmavirta, m³/s

Jos tiedetään lisäksi ohuessa rakenteessa, esimerkiksi höyrynsulkumuovissa, olevan reiän koko ja rakennuksen ja ulkoilman välinen paine-ero, voidaan laskea reiästä kulkeutuva ilmavirta seuraavalla yhtälöllä (Björkholtz 1997, 58.):

$$Q = 0,8 \times A \times \sqrt{\Delta p}, \text{ jossa}$$

Q = ilmavirta, m³/s

A = reiän pinta-ala, m²

$\sqrt{\Delta p}$ = neliöjuuri paine-erosta

Tilanteessa, jossa höyrynsulkumuovissa olisi esimerkiksi 10 kappaletta reikiä, joiden koko on 10 mm x 10 mm, kosteutta kulkeutuisi rakenteisiin ilmavirran mukana seuraavasti 10 vuorokauden aikana (rakennus 3,5 pascalia ylipaineinen, kosteutta huoneilmassa 5,5 g/m³):

$$\text{ilmamäärä: } Q = 0,8 \times (0,01 \times 0,01) \times \sqrt{3,5} \times 3600s \times 240h = 129m^3$$

$$\text{kosteusvirta: } g = 5,5g/m^3 \times 129m^3 = 710g = 0,7 \text{ kg}/10 \text{ vrk/per } 1 \text{ reikä}$$

(Paloniitty 2013, 17.)

Tällaisessa tilanteessa siis melko pienistä aukoista kulkeutuisi esimerkiksi 10 vuorokauden aikana rakenteisiin noin 7 kiloa vettä. Todellisuudessa ilman kosteus vaihtelee päivittäin, joten kosteutta kulkeutuu joinain päivinä enemmän ja joinain päivinä vähemmän. Laskelma osoittaa silti, kuinka helposti kosteusvaurioita voi syntyä. Ilmatiivis rakenne vaikuttaa siis osaltaan merkittävästi rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen.

2.4 Ilmatiiviyys ja energiankulutus

Energiankulutuksen vähentäminen on yksi tärkeä syy ilmatiiviiseen rakentamiseen. Koko Euroopan laajuinen muutos siirtää rakentamisen lähes nol-laenergiatasolle vuoteen 2021 mennessä. Tämän muutoksen myötä myös Suomen rakennusmääräyksiin tehtiin muutoksia vuonna 2012.

Kaikki hallitsemattomat ilmavuodot rakennuksen vaipan läpi lisäävät energiankulutusta. Jos rakennuksen painesuhteet eivät ole toimivat, ilma- vuodoista ulos kulkeutuva ilma on lämmintä sisäilmaa. Sen lämmittämiseen on käytetty energiaa. Lämmin ilma myös aiheuttaa ulos kulkeutues- saan ja viiletessään kosteusvaurioriskin rakenteisiin. Kun painesuhteet ovat oikeat, ja rakennus on lievästi alipaineinen, sisään kulkeutuu kylmää ilmaa, jonka lämmittäminen kuluttaa energiaa. Tiivis vaippa minimoi il- man liikkeen rakenteen läpi.

Tiivis vaipparakenne on yksi keino säästää energiaa. Rakennuksen koko- naisenergiankulutukseen vaikuttavat myös talotekniset järjestelmät, sää- olosuhteet sekä sähkölaitteet ja niiden käyttömäärät.

Rakennuksen tiivyyden vaikutus energiankulutukseen voidaan laskea. Läh- tötietoina tarvitaan rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} , rakennuksen vaipan ala, paikkakunnan lämmöntarveluku/astepäiväluku sekä tarkasteltavan ajanjakson pituus. Laskutoimitukseen tarvittavat kaavat löytyvät Suomen Rakentamismääräyskokoelman osasta D3 2012.

Ilmavuotokohtien kautta virtaavan vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} \times (T_s - T_u) \times \Delta t / 1000, \text{ jossa}$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$H_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

T_s = sisäilman lämpötila, °C

T_u = ulkoilman lämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Laskutoimituksessa vähennyslaskun $T_s - T_u$ paikalle sijoitetaan käytettä- vä astepäiväluku/lämmitystarveluku. Luvut on taulukoitu Rakentamismää- räyskokoelman osaan D3 2012. Ne löytyvät myös paikkakunnan mukaan esimerkiksi Ilmatieteenlaitoksen internet-sivuilta.

Vuotoilman ominaislämpöhäviö lasketaan seuraavasti:

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i \times c_{pi} \times q_v, \text{ vuotoilma, jossa}$$

$H_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_v, \text{ vuotoilma}$ = vuotoilmavirta, m³/s

Vuotoilmavirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = (q_{50} / 3600 \times X) \times A_{\text{vaippa}}, \text{ jossa}$$

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = \text{vuotoilmavirta, m}^3/\text{s}$$

$$q_{50} = \text{rakennusvaipan ilmanvuotoluku [m}^3/(\text{h m}^2)]$$

$$A_{\text{vaippa}} = \text{rakennusvaipan pinta-ala, m}^2$$

X = kerroin, joka muuttaa 50 Pa:n paine-erolla tapahtuvan vuodon määrän vastaamaan normaalissa paine-erossa tapahtuvaa vuotoa. Kerroin on 1-kerroksisille rakennuksille 35, 2-kerroksisille 24, 3–4 kerroksisille 20 ja 5-kerroksisille tai yli 5-kerroksisille 15.

3600 = kerroin, jolla ilmavirta muutetaan yksiköstä m³/h yksikköön m³/s

Tiiviuden merkitystä energiankulutukseen voidaan nyt tutkia esimerkkilaskelmalla. Oletetaan Jyväskylässä sijaitsevan 1-kerroksisen rakennuksen vaipan alaksi 300 m² ja ilmanvuotoluvuksi q₅₀ 4,0. Tarkastellaan koko vuoden energiankulutusta vuotokohtien kautta. Jyväskylän astepäiväluku koko vuodelle on 4782 (Rateko 2013b).

Lasketaan ensin vuotoilmavirta

$$q_{v, \text{vuotoilma}} (\text{m}^3/\text{s}) = (4/3600 \times 35) \times 300 \text{ m}^2 = 0,0095 \text{ m}^3/\text{s}$$

Seuraavaksi lasketaan vuotoilman ominaislämpöhäviö

$$H_{\text{vuotoilma}} (\text{W/K}) = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1000 \text{ Ws/(kgK)} \times 0,0095 \text{ m}^3/\text{s} = 11,4 \text{ W/K}$$

Nyt voidaan laskea vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia

$$Q_{\text{vuotoilma}} (\text{kWh}) = 11,4 \text{ W/K} \times 4782 \times 24\text{h} / 1000 = 1308 \text{ kWh}$$

Kun tiedetään vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energiamäärä kilowattitunteina, voidaan energiansäästö ilmanvuotoluvun muuttuessa laskea myös euromääräisenä. Vattenfallin energianeuvonnan mukaan sähkön kokonaishinta on noin 15 snt/kWh (Vattenfall 2013.). Hinta tietenkin vaihtelee sopimusehtojen ja paikkakunnan mukaan, mutta laskelmassa käytetään arvoa 15 snt/kWh. Tällöin esimerkkilaskelman vuotoilman lämmittämiseen kuluisi vuodessa

$$1308 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €/kWh} = 196,20 \text{ €}$$

Jos rakennus olisi rakennettu Rakentamismääräyskokoelman suosituksen mukaisesti, eli ilmanvuotoluku olisi 1,0, energiankulutus olisi vain neljäsosan laskelman mukaisesta arvosta. Kilowattitunteina energiaa kuluisi siis

$$1308 \text{ kWh} / 4 = 327 \text{ kWh} \rightarrow 327 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €/kWh} = 49,05 \text{ €}.$$

Tiiviillä ja hyvin toteutetulla vaipparakenteella voidaan siis selvästi säästää energiaa ja sitä kautta myös rahaa.

2.5 Ilmatiivyyden vaikutus asumismukavuuteen

Ilmatiivis vaipparakenne vaikuttaa merkittävästi myös asumismukavuuteen. Voimakkaat ilmavuodot aiheuttavat erittäin epämiellyttävää vedon tunnetta. Ilmavuotojen kautta huoneilmaan voi kulkeutua myös terveydelle haitallisia epäpuhtauksia ulkoilmasta, maaperästä ja rakenteista. Erilaisia epäpuhtauksia ovat muun muassa katupöly, pienhiukkaset, siitepöly ja radon. Ne voivat aiheuttaa monia erilaisia oireita, kuten esimerkiksi nuhaa, yskää ja allergisia oireita.

Vedon tunne on yksi yleisimpiä koettuja haittoja sisätiloissa. Vedon tunne voi johtua vaipan ilmavuodoista, mutta siihen vaikuttavat myös sisäilman lämpötila ja tilan erilaisten pintojen lämpötilat. (Sisäilmayhdistys n.d.) Tiivis vaipparakenne edesauttaa sisälämpötilan pysymistä tasaisena, mikä myös vähentää vedon tunnetta. Myös suorat ilmavuotoreitit jäävät pois, jolloin ilman liike tilassa vähenee, eikä vetoa pääse syntymään. Kylmän ulkoilman liike sisälle vaipan vuotokohdista voi aiheuttaa myös homerisikin, sillä se jäädyttää rakenteita ja voi muodostaa materiaalikerrosten välisille rajapinnoille homeelle otolliset kasvuolosuhteet (Paloniitty 2013, 20.).

Rakennuksiin kulkeutuvista epäpuhtauksista tunnetuin lienee radon. Radonin ehkäisyssä tärkein merkitys on muilla suojakerroksilla ja keinoilla. Oikein rakennettu radonperustus estää kaasun pääsemisen sisätiloihin tehokkaasti. Ilmatiivis vaipparakenne varmistaa osaltaan, ettei haitallista kaasua kulkeudu sisälle.

Vaippa ehkäisee myös muiden epäpuhtauksien kulkeutumista huoneilmaan. Mitä vähemmän ilmaa kulkee vaipparakenteen läpi, sitä vähemmän myös epäpuhtauksia pääsee huoneilmaan. Kun tila on paineistettu oikein, ilma pyrkii virtaamaan alipaineen suuntaan eli ulkoa sisälle. Epäpuhtaudet kulkeutuvat nimenomaan rakennuksen ulkopuolelta sisäpuolelle. Näin ollen tiiviin vaipan merkitys epäpuhtauksien torjunnassa korostuu.

Ilma kulkeutuu sisälle kaikista mahdollisista paikoista. Alapohjan kautta sisälle kulkeutuva ilma tuo mukanaan epäpuhtauksia maaperästä. Seinien ja katon läpi kulkeutuva ilma taas tuo mukanaan ilmassa olevat epäpuhtaudet. Niiden määrä vaihtelee myös rakennuksen sijainnin mukaan. Kaupunkialueilla epäpuhtauksien määrä voi olla huomattavastikin suurempi kuin harvaan asutuilla seuduilla.

Uusiin rakennuksiin asennetaan useimmiten koneellinen poisto- ja tuloilmanvaihto. Tiivis vaippa ei päästä ilmaa lävitseen, jolloin rakennuksen sisällä oleva ilma ei vaihdu riittävän tehokkaasti. Tällöin tarvitaan koneellista ilmanvaihtoa.

Koneellisen tuloilman etuna on se, että sisälle tuleva ilma ajetaan suodattimien läpi, ennen kuin se puhalletaan rakennukseen sisälle. Näin ilmasta saadaan poistettua epäpuhtauksia, ja sisäilman laatu paranee. Suodattimet tulee muistaa vaihtaa säännöllisin väliajoin, jotta ne toimivat mahdollisimman tehokkaasti.

3 RAKENNUSTEN TIIVIYSMITTAUS JA LÄMPÖKUVAUS

Rakennusten tiiviysmittaus ja lämpökuvaus kulkevat usein käsi kädessä. Lämpökamera on oivallinen apuväline tiiviysmittaajalle rakennuksen ilmavuotopaikkoja etsittäessä. Tiiviysmittaus ja lämpökuvaus tulevat yleistyään tulevaisuudessa yhtenä tärkeänä laadunvalvontamenetelmänä energiavaatimusten kiristyessä.

Tiiviysmittausta ei nykyään tehdä vain siksi, että saataisiin kartoitettua rakennuksen vaipan ilmavuotokohdat. Uusien säännösten mukaan rakennuksilla tulee olla niin sanottu E-luku, joka ilmoittaa rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen. E-luku ilmoitetaan rakennuksen energiatodistuksessa.

Energiatodistukset tulivat pakollisiksi kaikessa uudisrakentamisessa vuonna 2008. Vuodesta 2009 lähtien se on vaadittu suurien rakennusten myynti- ja vuokraustilanteissa sekä uusissa pientaloissa. Viimeisin uudistus tehtiin 1.6.2013. Energiatodistus vaaditaan vuoden 1980 jälkeen rakennetuille pientaloille myynnin ja vuokrauksen yhteydessä. (Ympäristöministeriö 2013.)

Jatkossa todistus tarvitaan kaikille rakennuksille. Ennen vuotta 1980 rakennetuilta pientaloilta vaaditaan energiatodistus 1.7.2017 alkaen myynnin ja vuokrauksen yhteydessä. Rivi- ja ketjutaloilta sekä toimisto- ja liikkerakennuksilta todistus vaaditaan 1.7.2014 alkaen. Hoitoalan rakennuksilla ja kokoontumis- ja opetusrakennuksilla on oltava energiatodistus 1.7.2015 alkaen. (Ympäristöministeriö 2013.)

E-luvun laskenta on laaja operaatio, jonka yhtenä osana on rakennuksen ilmanvuotoluku. Uudisrakennusten osalta ilmanvuotoluku ilmoitetaan jo rakennuslupavaiheessa. Sitä käytetään apuna laskettaessa rakennuksen lämpöhäviöitä ja lämmöntarvetta. Energiatodistuksen tiedot tarkastetaan ennen rakennuksen vastaanottoa, jolloin myös ilmanvuotoluku voidaan tarkistaa mittaamalla. Käytössä oleviin rakennuksiinkin voidaan laatia energiatodistus tai tehdä energiakatselmus. Näiden yhteydessä ilmanvuotoluvun selvittäminen tiiviysmittauksella tulee ajankohtaiseksi. (Palmi 2013, 16.)

Kuten jo aiemmin mainittiin, Rakentamismääräyskokoelmassa on määritetty ilmanvuotoluvulle maksimi- ja suositusarvot. Maksimi ilmanvuotoluku on $q_{50} 4,0 \text{ [m}^3\text{/(h m}^2\text{)]}$ ja suositus on $q_{50} 1,0 \text{ [m}^3\text{/(h m}^2\text{)]}$. Jos ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona on käytetty alle 4,0:aa, se tulee todistaa mittaamalla tai muulla menettelyllä.

Koska energiavaatimukset muuttuvat lähes passiivitasolle vuoteen 2021 mennessä, tiiviysmittaukset tulevat käytännössä pakollisiksi. Passiivitalon yksi määritelmä VTT:n mukaan on ilmanvuotoluvun n_{50} arvo 0,6. Tämä alittaa selvästi Rakentamismääräyskokoelman mittaamalla todistettavan raja-arvon 4,0.

3.1 Rakennusten tiiviysmittaus

Rakennuksen tiiviysmittauksen tarkoituksena on määrittää rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} . Aiemmin ilmanvuotolukuna käytettiin arvoa n_{50} , mutta 1.7.2012 lähtien luku on ilmoitettu q_{50} -arvona. Tosin myös n_{50} -luku on edelleen ajankohtainen, sillä sitä tulee käyttää sellaisen rakennuksen ilmanvuotoluvun arvona jonka rakennuslupa on haettu ennen 1.7.2012. Asiakkaalle toimitettavassa tiiviysmittausraportissa ilmoitetaan yleensä molemmat luvut.

Toinen syy tiiviysmittaukselle on rakennuksen vaipan ilmapuotokohtien paikantaminen. Kun ilmapuotokohdat ja ilmanvuotoluku on määritetty, voidaan arvioida mahdollisten korjaustoimenpiteiden tarve. Ilmapuotojen paikkaaminen varsinkin valmiista rakennuksesta voi olla hyvin hankalaa ja kallista. Siksi tiiviysmittaus kannattaisi tehdä vähintään kerran myös rakennusvaiheessa. Silloin mahdolliset vuodot on vielä helppo korjata. Ilmapuotojen merkitystä rakenteiden toimivuudelle on esitelty luvussa 2.

Rakennuksen ilmanvuotolukuna ei kuitenkaan saa koskaan käyttää keskeneräisessä rakennuksessa tehdyn mittauksen tulosta. Lopullinen tiiviysmittaus ja käytettävä ilmanvuotoluku tulee aina olla määritelty valmiissa rakennuksessa tehdyssä mittauksessa. Tiiviysmittaus on kuitenkin erinomainen keino tarkistaa ja valvoa rakennustyön laatua myös itse työn aikana.

3.1.1 Tiiviysmittauskalusto

Tiiviysmittaus suoritetaan joko tarkoitukseen suunnitellulla kaupallisella tiiviysmittauslaitteistolla tai rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla. Omia ilmanvaihtokoneita käytetään yleensä vain suurien kohteiden mittauksissa. Useimmiten apuna on myös tiiviysmittauslaitteisto. Tässä työssä käsitellään vain pienempien kohteiden tiiviysmittauksia, joten rakennuksen omien ilmanvaihtokoneiden käyttöön tiiviysmittauksessa ei perehdytä tarkemmin.

Kaupallisesta tiiviysmittauslaitteistosta käytetään joskus myös englanninkielistä nimitystä *blower door system*. Mittauslaitteistoon kuuluu aina puhallin joka on varustettu ilmamäärämittauksella, ovikehikko, ovipressu, ohjausyksikkö, paine-eromittari, virtajohdot sekä paine-eroletkut. Mittaus voidaan tehdä näillä välineillä, mutta niiden ohjaamiseen ja tulosten esittämiseen on kehitetty tietokoneohjelma.

Tietokoneohjelma ohjaa mittausta automaattisesti. Mittaajan tulee syöttää tietyt lähtöarvot ohjelmaan, jonka jälkeen ohjelma suorittaa mittauksen. Ohjelman avulla voidaan luoda myös asiakkaalle toimitettava mittauspöytäkirja, josta ilmenee kaikki mittaukseen liittyvä data sekä ilmanvuotoluvut. Ohjelmaan syötettäviä lähtöarvoja esitellään luvussa 3.1.2.

Suomessa käytetyimmät mittauslaitteistot ovat Retrotecin ja Minneapolisin valmistamia. Työssä perehdytään tarkemmin juuri Retrotecin valmistamaan laitteistoon. Käytännössä laitteistoilla ei ole juuri mitään eroa, ja

on täysin makuasia kumman laitteiston mittaaja haluaa omaan käyttöönsä valita. Retrotecin laitteistoon kuuluva tietokoneohjelma on nimeltään FanTestic, ja se on ladattavissa Retrotecin kotisivuilta ilmaiseksi. Ohjelman saa rekisteröityä omiin nimiinsä puhaltimen ja paine-eromittarin sarjanumeroilla.

Suurin ero löytyy laitteistojen mittauskapasiteetista ja käyttöalueesta. Tämä ilmoitetaan kuutioina tunnissa. Minneapolisin käyttöalue on $19 \text{ m}^3/\text{h}$ (50 Pa) – $7200 \text{ m}^3/\text{h}$ (50 Pa). Vastaavasti esimerkiksi Retrotecin malli 1000 (Kuva 3) antaa käyttöalueeksi $8 \text{ m}^3/\text{h}$ (50 Pa) – $9514 \text{ m}^3/\text{h}$ (50 Pa). (Paloniitty 2013, 30.) Mittaajan kannattaa siis miettiä, millaisia kohteita mittaa ennen laitteiston hankintaa. Pientaloihin, päiväkoteihin ynnä muihin vastaavan kokoluokan rakennuksiin molemmat laitteistot riittävät varsin hyvin.



Kuva 3. Retrotec 1000 tiivysmittauslaitteisto ovikehikkoon asennettuna.

Kohteeseen tarvittavan mittauslaitteiston voi päätellä myös laskemalla kohteessa tarvittavan ilmamäärän. Laskeminen onnistuu muutaman ennakkotiedon avulla. Mitattavasta kohteesta täytyy tietää joko kohteen vaipan ala tai kohteen ilmatilavuus sekä kohteen arvioitu ilmanvuotoluku tai kohteen ilmatiiivysvaatimus. (Paloniitty 2013, 35.)

Jos kohteesta tiedetään vaipan ala, täytyy ilmanvuotoluku olla muodossa q_{50} . Jos taas tiedetään kohteen ilmatilavuus, täytyy ilmanvuotoluvun olla muodossa n_{50} . q_{50} -luku voidaan muuttaa n_{50} -luvuksi kaavalla

$$n_{50} = q_{50} \times (A_E/V), \text{ jossa}$$

n_{50} = ilmanvuotoluku (1/h)

q_{50} = ilmanvuotoluku [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$]

A_E = vaipan ala sisämittojen mukaan laskettuna, m^2

V = rakennuksen ilmatilavuus, m^3

(Paloniitty 2013, 14.)

Kohteeseen tarvittavan ilmamäärän laskemiseksi on kaksi kaavaa:

$$Q_{\text{ilmamäärä}} = n_{50, \text{ arvioitu}} \times V, \text{ jossa}$$

$$Q_{\text{ilmamäärä}} = \text{tarvittava ilmamäärä, m}^3$$
$$n_{50, \text{ arvioitu}} = \text{kohteen arvioitu ilmanvuotoluku, 1/h}$$
$$V = \text{kohteen tilavuus, m}^3$$

$$Q_{\text{ilmamäärä}} = q_{50, \text{ arvioitu}} \times A_{\text{vaippa}}, \text{ jossa}$$

$$Q_{\text{ilmamäärä}} = \text{tarvittava ilmamäärä, m}^3$$
$$q_{50, \text{ arvioitu}} = \text{kohteen arvioitu ilmanvuotoluku, [m}^3/\text{(h m}^2\text{)]}$$
$$A_{\text{vaippa}} = \text{kohteen vaipan ala, m}^2$$

(Rateko 2013b.)

Näiden kaavojen avulla voidaan määrittää kohteeseen sopiva puhallin. Useimmiten kaavoja tarvitaan mitattaessa suurempia kohteita, joihin tarvitaan useampia puhaltimia. Pientalot ovat vain muutaman sadan kuution suuruisia, joten niitä mitattaessa laskelmia ei tarvita.

Tiiviysmittaaja tarvitsee myös paljon muuta kalustoa kuin vain tiiviysmittauslaitteiston ja tietokoneen mittaushjelmineen. Jotta mittaaja voi mitata ja laskea kaikki tiiviysmittauksessa tarvittavat suureet ja lähtöarvot, tarvitaan ainakin laseretäisyysmittari, tuulimittari ja lämpömittari. Myös ilman kosteus on usein mitattava, sillä lämpökameraa käytetään paljon ilmapuotokohtien paikantamiseen. Lämpökuvaukselle on olennaista tietää ilman kosteus. Kaikki tiiviysmittauksessa käytettävät mittalaitteet tulee olla asianmukaisesti kalibroituja, ja niiden sarjanumerot tulee ilmoittaa mittausraportissa.

Mittaajan on myös huolehdittava siitä, että mittaus täyttää standardin EN 13829 vaatimukset. Yksi näistä on rakennuksen tarkoituksellisten ilmanvaihtoreittien tukkiminen. Näitä ovat esimerkiksi liesituulettimen ja takan hormit sekä IV-kanavat. Ne tulpataan mahdollisuuksien mukaan kumipalloilla. Usein käytettyjä palloja ovat amerikkalaisen jalkapallon sisäkumit. Ne paikat, joita ei voida tulpata palloilla, tukitaan teipillä ja muovilla.

Lisäksi mittaajan pakin sisältöön kuuluvat vähintään työkalusarja (ruuvi-meisseleitä, räikkä ja hylsyjä yms.), laskin, muistiinpanovälineet, kamera mittaussjärjestelyjen dokumentoimiseksi, taskulamppu, mittanauha sekä merkkisavu ilmapuotojen etsintään. Lisäksi tikkaat on hyvä olla aina mukana. Jatkojohto on myös hyvin tärkeä apuväline. Puhallin tarvitsee verkkovirtaa, eikä kannettavan tietokoneen akun kesto välttämättä aina riitä. Samoin paine-eromittari voi tarvita verkkovirtaa akkujen loppuessa.

3.1.2 Mittauksessa tarvittavat suureet ja lähtötiedot

Tiiviysmittaus tuottaa kaksi erilaista ilmanvuotolukua. Niitä kutsutaan tiiviysmittausyksiköiksi, ja ne ovat q_{50} -luku ja n_{50} -luku. (Rateko 2013b.)

$$q_{50} = Q_{50} / A, \text{ jossa}$$

q_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 pascalin paine-erolla, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$
 Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 pascalin paine-erolla, m^3/h
 A = rakennuksen/mitattavan osan vaipan ala, m^2

$$n_{50} = Q_{50} / V, \text{ jossa}$$

n_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 pascalin paine-erolla, $1/\text{h}$
 Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 pascalin paine-erolla, m^3/h
 V = rakennuksen/mitattavan osan sisätilavuus, m^3

(Rateko 2013b.)

Kuten jo kaavoista huomataan, mittauksessa tarvitaan tietoa mitattavan kohteen vaipan alasta ja tilavuudesta. Vaipan alaan lasketaan ulkoseinien pinta-ala aukotuksineen, alapohjan ala sekä yläpohjan ala. Kerrostaloissa ja rivitaloissa lasketaan huoneistoa rajaavat seinät aukotuksineen sekä lattian ja katon pinta-alat. Kaikki lasketaan rakennuksen sisämittojen mukaan. Mittaaja syöttää tietokoneohjelmaan omien laskelmiensa virheprosentin, joka vaikuttaa koko mittaustuloksen virheprosenttiin. Mittaukset ja laskelmat kannattaakin aina tehdä useampaan kertaan ja mieluummin myös useamman henkilön toimesta.

Kohteen lattiapinta-ala lasketaan aina paikan päällä. Helpoin apuväline työhön on laseretäisyysmittari. Pinta-alan voi arvioida myös piirustuksista ja verrata sitä paikan päällä saatuun tulokseen. Jos tulokset ovat huomattavan erilaiset kuin rakennuksen piirustuksissa oleva arvo, kannattaa laskelmat tarkistaa.

Lattiapinta-alaa tarvitaan laskettaessa rakennuksen ilmatilavuutta. Tilavuuteen otetaan mukaan sisämittojen mukaan lasketun vaipan alan rajaama tilavuus. Tästä vähennetään mahdollisten välipohjien tilavuus. Tilavuus saattaa olla hankalakin suure laskettavaksi. Alaslaskettujen kattojen päälle voi olla vaikea nähdä, jolloin rakennuksen kokonaiskorkeuden määrittäminen voi olla vaikeaa. Alakattojen päällä oleva ilmatila useimmiten kuuluu tiiviysmittaukseen mukaan, sillä alakatot ovat erittäin harvoin ilmatiiviitä, tai alaslasku on niin pieni, että alakaton voidaan katsoa olevan kiinni yläpohjassa. Myös rakennuksen ilmatilavuus löytyy piirustuksista, joten piirustuksia kannattaa käyttää hyväksi myös tilavuuslaskelmien tarkistuksessa.

Kaikki edellä mainitut paikan päällä lasketut suureet syötetään tietokoneohjelmaan ennen mittauksen aloittamista. Lisäksi ohjelmaan syötetään sisäilman ja ulkoilman lämpötila. Ulkoilman lämpötilan kanssa on oltava tarkka, sillä sen vaikutus mittaustulokseen on suuri. Mittauslaitteisto on kalibroitu $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan. Kun lämpötila muuttuu, ilman tiheys muuttuu. Tämä vaikuttaa puhaltimen läpi kulkevaan ilmamäärään, jota puhallin mittaa ilmanvuotoluvun laskemiseksi. Puhallin korjaa ilmamäärää sen lämpötilan perusteella minkä mittaaja ohjelmaan syöttää.

Ohjelmaan syötetään myös vallitseva tuulen nopeus. Tuulen nopeus on tärkeä suure sen vuoksi, koska tiiviysmittaukselle on olemassa tuulirajat. Tuulirajat ja muut edellytykset tiiviysmittaukselle esitellään seuraavassa luvussa (3.1.3).

Vallitsevan ilmanpaineen löytää yleensä erilaisten sääpalveluiden kautta. Paineen yksikön kanssa tulee olla tarkka, sillä esimerkiksi Ilmatieteenlaitos käyttää yksikkönä hehtopascaleita, kun taas esimerkiksi Retrotecin tietokoneohjelmaan paine syötetään kilopascaleina. FanTesticin hyvänä puolelana on se että ohjelman asetuksista saa päälle varoitukset, jolloin kone ilmoittaa, jos paineen yksikkö on väärä.

Lisäksi ohjelmaan voidaan syöttää rakennuksen korkeus, korkeus merenpinnasta, rakennuksen tuulen suojaisuus, mittajaan tiedot, tilaajan tiedot, onko mittaja rakennuksen sisällä vai ulkopuolella sekä laskettujen suureiden virheprosentti. Lisäksi on hyvä olla tiedossa kohteen rakennetiedot, jotta voidaan arvioida mahdollisten ilmavuotojen reittejä.

3.1.3 Mittauksen edellytykset

Standardi EN 13829 asettaa tietyt vaatimukset tiiviysmittauksen tekemiselle ja olosuhteille. Suomessa mittaus tehdään mittausmenetelmän B mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen ne aukot, joista ilman on normaalitilanteessa kuljettava, tukitaan. Näitä reittejä ovat esimerkiksi tulisijojen hormit, korvausilmaventtiilit, ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmakanavat sekä liesituulettimen hormi. Tulppaus olisi parempi tehdä ulkopuolelta, sillä näin saataisiin näkyviin kanavissa ja hormeissa mahdollisesti olevat vuodot. Tulppaus ulkopuolelta käsin ei ole välttämättä kovin helppoa, joten hyvin usein päädytään tulppaamaan kanavia sisäpuolelta (kuva 4).



Kuva 4. Esimerkki IV-koneen tulppauksesta sisäpuolelta.

Mittaus pyritään rajaamaan yleensä seuraavien kriteerien mukaisesti. Ensimmäisestään pyritään mittaamaan koko rakennus/huoneisto, eli ulkovaipan rajaama tila. Mittaus voidaan rajata myös rakennuksen pääkäyttötarkoituk-

sen mukaisiin tiloihin, tai niihin tiloihin, jotka ovat ilmanvaihtoteknisesti samaa tilaa. (Rateko 2013b.)

Rivitalojen ja kerrostalojen mittauksen rajausta poikkeaa pienrakennuksista. Niistä voidaan mitata joko vähintään 20 prosenttia asunnoista/huoneistoista ja käyttää näiden mittausten keskiarvoa koko rakennuksen ilmanvuotolukuna, tai mitata kaikki asunnot/huoneistot ja laskea näistä keskiarvo koko rakennuksen ilmanvuotoluksi. Jos asunnoista mitataan vain osa, pyritään valitsemaan mittauksiin ne asunnot, joissa on eniten ulkovaippaa. Kerrostalo voidaan mitata myös porraskäytävän kautta yhtenä kokonaisuutena, niin sanottuna porrashuonemittauksena.

Sääoloille on myös olemassa tiettyjä rajoituksia. Standardin mukaan tuulen nopeus ei saa ylittää 6 m/s tai 3 Beaufortin asteikolla. Tällöin tuulen aiheuttamat painenvaihtelut ovat liian suuria, samoin kuin sen aiheuttamat paine-erot rakennuksen eri puolille. Itse puhallin on myös asennettava tuulelta suojaisaan paikkaan vaikka tuuli olisi alle standardin asettaman raja-arvon.

Sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrotaan rakennuksen korkeudella ennen mittauksen aloittamista. Lopputulos ei saa ylittää arvoa 500 m°C. Tällaisissa oloissa savupiippuvaikutuksella on liian suuri vaikutus lopputulokseen. Ongelmaa ei tule matalissa rakennuksissa, mutta kerrostaloissa tilanne on varmistettava. Korkeissa rakennuksissa mittaus tulisi myös aina suorittaa neutraaliakselilta. Matalissa rakennuksissa mittaus voidaan tehdä lähes mistä tahansa.

Puhallin mittaa ennen varsinaista painetestiä niin sanotun lähtöpaineen eli nollapaineen. Tämän paine-eron tulisi olla alle 5 Pa. Jos se on yli 5 Pa, mittausta voidaan jatkaa, mutta alipainetestin lisäksi on suoritettava myös ylipainetesti. Tällöin ilmanvuotolukuna on käytettävä näiden testien keskiarvoa.

Kun painetesti on tehty, puhallin mittaa myös niin sanotun loppupaineen. Lähtöpaineen ja loppupaineen paine-ero tulee olla alle 5 Pa. Jos ero on yli 5 Pa, testin tulosta ei tule hyväksyä. (Paloniitty 2013, 51–52.)

Jos kohteessa on suoritettu sekä alipaine että ylipainetesti, ilmanvuotolukuna käytetään näiden testien keskiarvoa. Mittaus on uusittava, jos testien tulokset eroavat toisistaan yli 0,5 m³/h m². Mikäli tilanne on sama myös uusintamittausten jälkeen, on rakennuksen ilmanvuotolukuna käytettävä suurempaa testitulosta.

Painetesti tulee ajaa siten, että ilmavirtaus mitataan vähintään viidellä tasaisiin väliajoin olevalla paine-erolla. Suurimman paine-eron tulee olla vähintään 50 pascalia. Suositeltavat paine-erot joita painetestissä käytetään, ovat 30 pa, 40 pa, 50 pa, 60 pa ja 70 pa. (Paloniitty 2013, 51–52.)

Jos 50 pascalin paine-eroa ei saavuteta, testi voidaan ajaa 20 tai 30 pascalin paine-eroon asti, kolmella eri paine-erolla. Tällöin kuitenkin on otettava huomioon muuttuneet vaatimukset sääolosuhteille. Jos saavutetaan vain

30 pascalin paine-ero, tuulen nopeuden tulee olla alle 3 m/s ja ulkoilman lämpötilan yli 0 °C. Jos saavutettava paine-ero on vain 20 pascalia, tuulen nopeuden on oltava alle 1 m/s ja ulkoilman lämpötilan yli 15 °C. (Paloniity 2013, 38.)

Tiiviysmittaus tulee aina tehdä valmiissa rakennuksessa. Mittauksen voi tehdä rakennusaikana osana laadunvalvontatyötä, mutta rakennusaikaisen mittauksen tulosta ei saa käyttää rakennuksen ilmanvuotolukuna. Myös tiiviysmittausraportissa tulee mainita, onko kyseessä rakennusaikainen vai lopullinen mittaus. Raporttiin tulee myös merkitä muut standardista poikkeavat olosuhteet ja järjestelyt.

3.1.4 Mittauksen kulku

Saavuttaessa mittauspaikalle on ensin laskettava tarvittavat suureet. Nämä suureet ovat rakennuksen lattiapinta-ala, vaipan ala sekä rakennuksen ilmatilavuus. Heti alkuun kannattaa myös asettaa paikoilleen kaikki tarvittavat mittarit, kuten lämpö- ja kosteusmittarit. Mittaustulokset tarkentuvat, kun mittareiden annetaan tasaantua mittausoloihin. Tuulen nopeus ja suunta tulee mitata kohteen välittömästä läheisyydestä, mieluummin muualta eri paikalta.

Sen jälkeen sammutetaan kohteen mahdollinen ilmastointi ja aloitetaan tulppaustyöt. Jos kohteessa suoritetaan myös varsinainen lämpökuvaus, on tilaajaa ohjeistettava etukäteen tietyistä järjestelyistä. Näitä järjestelyjä käsitellään luvussa 3.2.2. Tulppaukset suoritetaan mahdollisuuksien mukaan palloilla. Ne putket, joita ei voida tulppata palloilla, tukitaan teippaamalla. Tulppauksen yhteydessä varmistetaan myös se, että kohteen kaikissa viemäreissä on vettä. Samalla voidaan tarkistaa, että kohteen kaikki ikkunat on suljettu ja mahdolliset väliovet ovat auki, jotta ilma pääsee kiertämään mittauksen aikana esteettömästi. Tulppausjärjestelyt kannattaa aina myös valokuvata. Näin varmistetaan se, että mittaus on toistettavissa tarvittaessa myöhemmin samoilla ehdoilla.

Kun tulppaukset on tehty, voidaan asentaa puhallin ja muut mittauslaitteet paikoilleen. Puhallin asennetaan tuulelta suojaisaan paikkaan. Kerrostalohuoneistoissa ovikehikko ja puhallin asennetaan mahdollisuuksien mukaan aina parvekkeen oven paikalle.

Puhaltimesta kulkee paine-eroletku laitteiston mukana tulevaan paine-eromittariin. Tämä letku ilmoittaa puhaltimen kautta kulkevan ilmamäärän. Koska mittauslaitteistojen toiminta-alueet ovat hyvin laajat, tarkan mittaustuloksen saamiseksi puhaltimeen kuuluvat niin sanotut kuristusrenkaat. Nämä renkaat pienentävät puhaltimen aukkoa, jonka läpi ilma kulkee. Mittaajan on ilmoitettava ohjelmaan käytettävä kuristusrenkas, jotta ohjelma osaa laskea puhaltimen ilmamäärän oikein. Tämän tiedon syöttämisessä on oltava tarkka, sillä väärän kuristusrenkaan syöttäminen ohjelmaan aiheuttaa sen, että mittauksen lopputulos on täysin väärä. FanTestic-ohjelmassa kuristusrenkaan voi vaihtaa jälkeenpäin ja laskettaa ohjelmalla uuden ilmanvuotoluvun. Minneapolisin ohjelmistossa tätä mahdollisuutta ei ole. Kannattaa kuitenkin pyrkiä syöttämään kuristusrenkas oikein, jol-

loin mittauksen virheprosentti pienenee. On myös suositeltavaa kuvata puhallin käytettävän kuristusrenkaan kanssa.

Paine-eromittarista taas viedään paine-eroretku ovikehikossa olevan reiän kautta ulos. Tämä letku mittaa sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa. Lisäksi paine-eromittari kytketään USB-kaapelilla tietokoneeseen. Mittausta ohjaava tietokoneohjelma saa tarvittavat tiedot paine-eromittarin kautta. Puhallin tarvitsee myös verkkovirran. Nämä kaikki kytkennät on mittajaan tehtävä aina paikan päällä. Letkuja on kuitenkin vain muutama ja ne on hyvin selkeästi merkitty.

Kun valmistelut on tehty, voidaan tietokoneohjelmaan syöttää tarvittavat lähtötiedot ja suureet. Sen jälkeen voidaan aloittaa niin sanottu manuaali-ajo. Tässä vaiheessa kohteeseen luodaan 50 Pa:n paine-ero, yleensä alipaine, ja tarkistetaan tulppausten ja ovikehikon tiiviys merkkisavulla ja mahdollisesti lämpökameralla. Samalla voidaan alustavasti kartoittaa ilmavuotokohtia. Manuaali-ajo voidaan suorittaa joko ohjaamalla puhallinta paine-eromittarin kautta tai säätämällä puhaltimen käyntivoimakkuutta sen omasta ohjaimesta. Tätä ohjainta kutsutaan joskus myös nimellä tyristorisäädin.

Kun manuaali-ajo on suoritettu ja tulppausten ilmanpitävyys varmistettu, ajetaan varsinainen painetesti. Kone aloittaa testin mittaamalla lähtöpaineen. Lähtöpaineen mittauksen ajaksi puhallin peitetään laitteiston mukana tulevalla peitteellä. Mittauksen jälkeen peite poistetaan ja puhallin lähtee käyntiin. Puhallin luo mittajaan määrittelemät alipaineet, ja mittaa jokaisesta paine-erosta alipaineen ylläpitämiseksi tarvittavan ilmamäärän. Näiden tietojen avulla ohjelma luo mittausraporttiin niin sanotun ilmavuotokäyrän (*building leakage curve*). Tätä tarkastellaan tarkemmin seuraavassa luvussa. Kun mittaus on suoritettu kaikilla tarvittavilla paineeroilla, puhallin peitetään uudelleen ja mitataan loppupaine.

Tarvittaessa alipainetestin jälkeen puhallin käännetään paikallaan toisinpäin ja ajetaan vielä ylipainetestti. Jotkin ilmavuotopaikat saattavat paikantua ylipainetilanteessa helpommin ja jotkut ilmavuodot saattavat tukkeutua. Ylipainetestti tapahtuu täysin samalla tavoin kuin alipainetestti. Kone mittaa lähtöpaineen, ilmamäärät tietyillä paine-eroilla sekä loppupaineen.

Mittauksen jälkeen voidaan jälleen tarvittaessa ajaa puhallinta manuaalisesti ja kartoittaa ja dokumentoida mahdolliset ilmavuodot tarkemmin. Tämä riippuu siitä kuinka tarkan tutkimuksen mittauksen tilaaja haluaa, ja tietenkin myös siitä täyttikö mittauksen tulos rakennukselle asetetut vaatimukset ilmanvuotoluvun suhteen. Ilmavuodot löytyvät yleensä helpoiten merkkisavun ja lämpökameran avulla. Vuotojen paikantamisesta kerrotaan tarkemmin käytännön mittauksia esittelevässä luvussa.

Kun kaikki mittaukset on suoritettu ja mahdolliset ilmavuodot paikannettu, voidaan mittausjärjestelyt purkaa. Varsinkin tulppaukseen käytettyjen pallojen kanssa täytyy olla tarkkana, ettei yksikään pallo unohdu.

3.1.5 Mittausraportit

Mittausta ohjaava ohjelma tuottaa automaattisesti niin sanotun tiivysmittauspöytäkirjan. Tämä pöytäkirja sisältää kaiken datan mittauksesta. Tiivysmittausraportin taas kirjoittaa tiivysmittaaja. Raportin on oltava niin selkeä, että vaikka lukijalla ei olisi mitään tietoa tiivysmittauksesta, hän ymmärtää, mistä asiassa on kyse, mitä järjestelyjä tehtiin ja mitkä ovat mittauksen tulokset. Raportin on oltava myös niin kattava, että sen perusteella joku muu voi suorittaa samassa kohteessa tiivysmittauksen samoilla ehdoilla. Usein mukaan liitetään kohteen pohjapiirustus.

Sekä pöytäkirja että raportti lähetetään mittauksen tilaajalle. Niistä tulee käydä ilmi tilaajan tiedot sekä mittajaan tiedot. Molempien osalta tulee merkitä nimi- ja osoitetiedot. Lisäksi mittajaan osalta merkitään yritys sekä VTT:n henkilösertifikaatin numero. Raporttiin tulee merkitä kaikki poikkeavat olosuhteet ja järjestelyt, jotka eivät noudata tiivysmittauksen standardia. Tällainen poikkeus on esimerkiksi rakennusaikainen tiivysmittaus.

Kohteen tietoihin kuuluvat osoitetiedot sekä tarkemmat tiedot rakennuksesta. Näitä ovat muun muassa talotyyppi (omakotitalo, kerrostalo), lämmitysjärjestelmä (suora sähkö, maalämpö), ilmanvaihtojärjestelmä (painovoimainen vai koneellinen), talon rakenne (puuseinät, maanvarainen laatta yms.), ja rakennuksen kokonaiskorkeus. Lisäksi merkitään kohteessa mitatut suureet, mittauksen virheprosentti, mittauksen ajankohta, mittauksen rajaus sekä kohteen ilmanvuotoluku.

Raporttiin dokumentoidaan vähintään kirjallisesti havaitut ilmavuodot. Mikäli vuotopaikoista on selkeitä valokuvia, ne voidaan liittää raporttiin. Valokuvien määrä on kirjoittajan omassa harkinnassa. Niitä kannattaa käyttää järkevästi ja asiaa selkeyttäen. Usein raporttiin liitetään myös lämpökuvia sillä niissä ilmavuodot näkyvät varsin selkeästi. Lämpökuvien rinnalla kannattaa käyttää valokuvia, sillä lämpökuvasta ei aina käy ilmi selkeästi, mistä päin kohdetta se on otettu. Jos ilmavuotoja löydetään, mittajaan tulee arvioida raporttiin niiden korjaustarve. Korjaustarvetta voi olla hankala määrittellä. Vuodot voivat valmiissa talossa olla niin pieniä ja niin vaikeassa paikassa, että niiden korjaaminen olisi suhteettoman kallista. Selkeät rakennusvirheet ja terveydelle mahdollista haittaa aiheuttavat vuotokohdat tulee kuitenkin korjata.

Mittausohjelmisto piirtää mittauspöytäkirjaan ilmavuotokäyrän. Ohjelmisto laskee puhaltimen akselin paine-erosta ja kuristusrenkaan tiedosta niin sanotun mitatun ilmamäärän. Tämän ilmamäärän lämpötila korjataan ohjelmistossa automaattisesti. Mittauslaitteisto on kalibroitu +20 °C lämpötilaan. Kun lämpötila muuttuu, ilman tiheys muuttuu. Ilman tiheyden muutos taas vaikuttaa puhaltimen läpi kulkevaan ilmavirtaan. Siksi mittajaan täytyy syöttää sisä- ja ulkolämpötilat ohjelmaan oikein. Mittaaja myös ilmoittaa ohjelmalle, tehdäänkö mittaus rakennuksen sisä- vai ulkopuolelta. Myös kuristusrenkas täytyy syöttää oikein. Kun ohjelmisto tietää oikeat lämpötilat ja kuristusrenkaan, se korjaa ilmavirtaukset ja piirtää mitattujen pisteiden kautta ilmavuotokäyrän. (Paloniitty 2013, 54–55.)

Ilmavuotokäyrä mallintaa ilmavuodot tietyssä paine-erossa, ja se perustuu kaavaan

$$V_{\Delta pr} = C_L \times (\Delta p_r)^n, \text{ jossa}$$

$V_{\Delta pr}$ = ilmavirtaus tietyllä paine-erolla, m^3/h

C_L = ilmavuotokerroin, $m^3/(h \times Pa^n)$

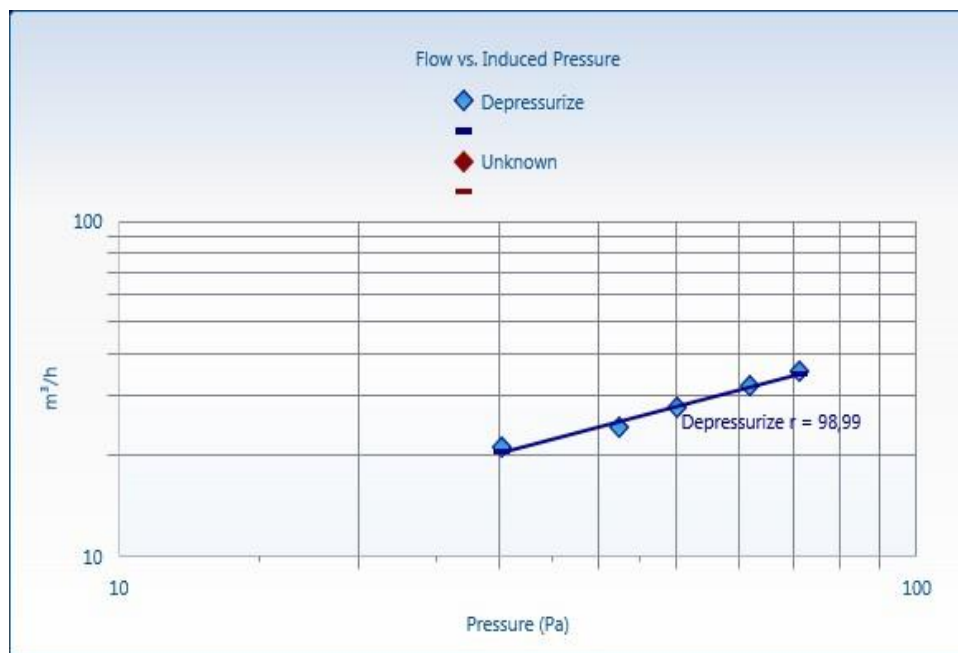
Δp_r = tietty paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolella, Pa

n = virtauksesta johtuva eksponentti, vaihtelee yleensä 0,5 ja 1,0 välissä.

Kutsutaan myös ilmavuotokäyrän kaltevuussuhteeksi

(Paloniitty 2013, 55.)

Nämä matemaattiset parametrit määrittävät laskelman, jolla selvitetään, millä ilmamäärällä ilmavuotokäyrä leikkaa 50 Pa:n paine-eron. Tästä pisteestä saadaan vuotoilmavirta 50 pascalin paine-erossa. Ohjelma laskee myös mittaussarjasta oman vuotokäyrän (Kuva 5). Tästä saadaan korrelaatiokerroin prosentteina. Tämä on samalla vastaavuussuhde sille kuinka hyvin mittaus osuu laskennalliselle ilmavuotokäyrälle. (Paloniitty 2013, 55.)



Kuva 5. FanTestic-ohjelman piirtämä ilmavuotokäyrä. Kyseinen käyrä on vain alipainetestille. Jos kohteessa olisi tehty ylipainetesti, sen ilmavuotokäyrä piirtyisi samaan pohjaan. Korrelaatiokerroin r ilmoittaa mittaustulosten osuvan laskennalliselle ilma- vuotokäyrälle 98,99 prosenttisesti.

3.1.6 Mittaajien koulutus

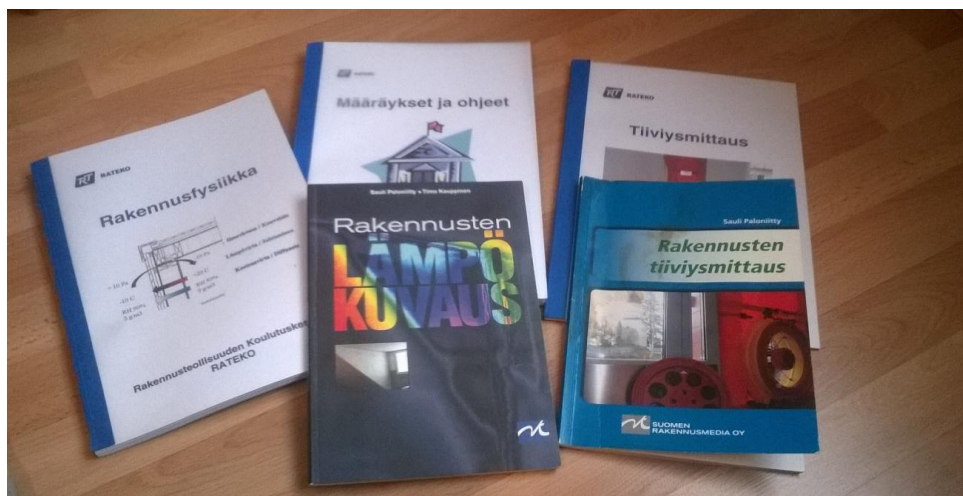
Suomessa rakennusten tiiviysmittaajia kouluttaa Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus Rateko. Koulutus on rakennusten tiiviiden mittaajan henkilösertifiointiin valmistava. Sertifikaattia haetaan VTT:ltä. Tiiviiden mittaajan koulutus on tarkoitettu rakennusalan henkilöille. Koulutuksen tavoitteena on varmistua siitä, että rakennuksen tiiviyksiä mittaavat henkilöt ovat työhön päteviä. (Rateko, n.d.)

Koulutukseen osallistuvalla henkilöltä toivotaan osaamista myös lämpökameran käytöstä. Osaamisen voi todistaa aiemmalla työkokemuksella, rakennusten lämpökuvaajan henkilösertifikaatilla tai kansainvälisellä LEVEL 1-tason lämpökamerakoulutuksella. On myös mahdollista käydä tiivyyden mittaajan ja lämpökuvaajan henkilösertifiointikoulutukset samaan aikaan, joten aiempi kokemus kameran käytöstä ei ole pääsyaatimus tiivyyden mittaajan kurssille vaikka Ratekon esitteessä niin väitetäänkin.

Sekä tiivyyden mittaajan että lämpökuvaajan sertifiointikoulutukset ovat 3+3 päiväisiä ja niitä järjestetään esimerkiksi Hämeen ammattikorkeakoulun tiloissa Visamäessä, Hämeenlinnassa. Kurssipäivinä opiskelijat ovat oikeutettuja lounaaseen ja välipaloihin koulun ruokalassa. Kolmen päivän kurssikokonaisuuksien välissä on noin kahden kuukauden tauko. Tänä aikana opiskelijoille lähetetään kirjalliset välitehtävät, jotka käydään läpi seuraavan kurssikokonaisuuden aluksi. Välitehtävät eivät ole koe, eikä niillä ole merkitystä siihen, läpäisekö koulutuksen vai ei.

Tiivyyden mittaajan sertifiointikoulutus maksaa 1 950 euroa henkilöltä. Koska tiivyyden mittaajan ja lämpökuvaajan koulutusten kolme ensimmäistä kurssipäivää ovat samat, voi opiskelija osallistua vain kolmelle jälkimmäiselle kurssipäivälle. Tällöin kurssin hinta on 1 200 euroa. Jos taas suorittaa molemmat koulutukset samaan aikaan, kurssien yhteishinta on 3 000 euroa.

Ensimmäisinä kurssipäivinä opiskellaan rakennusfysiikkaa. Opetussisältöön kuuluu rakenteiden toiminta, kosteus ja sen hallinta sekä lämmöneristys. Kurssilla opetellaan laskemaan muun muassa rakenteiden vesihöyrynvastusta, rakenteiden U-arvoja, lämmönvastuksia sekä ilman kosteuksia. Muita käsiteltäviä asioita ovat muun muassa rakennusten painesuhteet ja niiden muodostuminen sekä lämpökamerakuvauksissa olennaisesti tarvittava lämpötilaindeksi. Alussa tutustutaan myös tiivysmittauksen ja lämpökuvauksen perusteisiin (Kuva 6).



Kuva 6. Henkilösertifiointikurssin oppimateriaaleja.

Koulutuksen toisella osiolla perehdytään enemmän rakennusten tiiviysmittaukseen. Koulutuksessa tutustutaan tarkemmin rakennusten painesuhteisiin käytännössä, ja tehdään erilaisia mittauksia laboratorio-oloissa. Kurssiin kuuluu myös pieni esittely lämpökuvauksesta ja kuvien tulkinnasta. Jos lämpökuvauksesta ei ole mitään kokemusta, on varsin suositeltavaa käydä ainakin LEVEL 1-tason koulutus ennen jälkimmäisiä kolmea kurssipäivää. Viimeisenä kurssipäivänä suoritetaan tiiviysmittaus käytännössä, kahdessa eri kohteessa.

Koulutuksen jälkeen opiskelija osallistuu halutessaan kirjalliseen kokeeseen. Kokeita järjestetään eri puolella Suomea muutaman kuukauden välein. Koepaikkakuntia ovat esimerkiksi Helsinki, Hämeenlinna, Kuopio ja Oulu. Kokeessa testataan sekä rakennusfysiikan että tiiviyn mittaamisen osaaminen. Koe on läpäistävä mikäli haluaa hakea ja saada tiiviyn mittaajan henkilösertifikaatin.

Opiskelijan on myös lähetettävä Ratekolle tarkastettavaksi näyttötyö. Näyttötyö on käytännössä itsenäisesti tehtävä tiiviysmittaus. Mittauksesta kirjoitetaan standardin mukainen raportti, ja sen mukana lähetetään myös mittauspöytäkirja. Kun näyttötyö ja kirjallinen koe on suoritettu hyväksytysti, opiskelija saa kurssin suorituksesta kirjallisen todistuksen.

Todistus liitetään henkilösertifikaatin hakulomakkeeseen mukaan, samoin kuin mahdollinen todistus lämpökameran käytön osaamisesta. Hakulomakkeeseen merkitään aiempi työkokemus rakennusalalta, tiiviysmittauksista sekä lämpökameran käytöstä. Mukaan liitetään myös kasvokuva henkilökorttia varten.

Sertifikaatti on ensimmäisen haun jälkeen voimassa kaksi vuotta. Sertifioidun henkilön on lähetettävä VTT:lle vuosittain raportti (1-2) suorittamistaan töistä sekä ilmoitettava mahdolliset tarkastuskohteet, jos VTT haluaa tulla tarkastamaan työn paikan päälle. Sertifikaatin omaavan henkilön on myös osallistuttava säännöllisesti täydennyskoulutuksiin ja raportoitava ne VTT:lle. Lisäksi hakijan on maksettava sertifikaatin vuosimaksu (105 euroa + alv vuonna 2012). Kun kaikki ehdot täyttyvät, sertifikaatti uusitaan joko kahdeksi tai viideksi vuodeksi kerrallaan. (VTT 2010.)

3.2 Rakennusten lämpökuvaus

Lämpökameraa on käytetty Suomessa rakennusten lämpöteknisen toiminnan tutkinnassa ja kiinteistöjen kunnonarvioinnissa yli 20 vuotta. Lämpökuvauksen etuna on se, että se on ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä jolla voidaan arvioida rakenteiden, rakennusten ja rakennusmateriaalien kuntoa, toimivuutta ja laatua. Kameroiden käyttö yleistyi 1990-luvulla voimakkaasti. Tällöin markkinoille tulivat kameramallit jotka on varustettu jäähdyttämättömillä ilmaisimatriiseilla. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 7.)

Lämpökuvauksen juuret ovat sotilaskäytössä. Ensimmäiset sovellukset sen ulkopuolella tehtiin 1950-luvun Ranskassa. Rakennusten lämpökuvaukset aloitettiin 1960-luvulla Ruotsissa. Kamerat perustuivat skanneriteknii-

kaan ajalla 1958–1995. Tekniikka oli kuitenkin hankala, sillä kameran ilmaisimateriaalit olivat herkkiä lämpösäteilylle vain nestemäisen tyypin lämpötilassa. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 15–16.)

Nykyisten lämpökameroiden toiminta perustuu matriisitekniikkaan. Siinä jokaisella kuvapisteellä on oma ilmaisimensa. Kamera mittaa kuvattavan kohteen lähettämän (emittoiman) lämpösäteilyn. Kamera muuntaa lämpösäteilynvoimakkuuden reaaliajassa lämpötilatiedoksi. Nämä tiedot kamera taas muuntaa näytöllään näkyväksi kuvaksi, eli lämpökuvaksi. (Ratko 2013a.)

Lämpökameralle on monia käyttökohteita rakennusalalla. Tiiviysmittauksien yhteydessä sillä paikannetaan ilmavuotoja. Muita käyttökohteita ovat muun muassa kosteusvaurioiden ja kosteusriskin havainnointi, lämmityslaitteiden toiminta, eristevikojen havaitseminen sekä sulakkeiden ylikuormituksen tutkinta. Sähkölaitteiden kuvauksissa on eroavaisuuksia muihin rakennuskuvauksiin, joten niiden kuvaamiseen koulutetaan myös erikseen täydennyskoulutuksilla. Tässä työssä ja sen oheismittauksissa ja kuvauksissa lämpökameraa on käytetty tiiviysmittauksen yhteydessä ilmavuotojen paikantamiseen. Siksi työssä esitellään lämpökameran käyttöä lähinnä ilmavuotojen paikantamisen ja erilaisten eristevikojen havaitsemisen kannalta.

3.2.1 Lämpökuvauskalusto

Lämpökuvaajan tärkein työkalu on tietenkin itse lämpökamera (Kuva 7). Lämpökamera on varsin kallis hankinta, sillä niiden hinta alkaa noin 2000 eurosta. Kalleimmat mallit saattavat maksaa jopa 30 000 euroa. Kamera täytyy valita sen mukaan, mitä kohteita kuvaa ja kuinka paljon. Kameran laatu ja erottelukyky ja niiden myötä tietenkin hinta, on myös alan toimijoiden kesken hiukan kiistanalainen asia. On vaikea perustella ostajalle 30 000 euron laitteen hankintaa, jos 10 000 euron laitteella saavutetaan täsmälleen sama lopputulos.



Kuva 7. Fluke Ti105 -lämpökamera.

Rakennusten lämpökuvausta varten kameran tulee olla mittaava, tasapainottava ja kuvantava mittalaite. Kameran on siis muodostettava kuvattavasta kohteesta lämpökuva, jossa on esitetty kohteen pintalämpötilajakauma. Kameran rungon ja ulkopuolisten olosuhteiden tuottamat lämpötilanvaihtelut eivät saa vaikuttaa mittaustulokseen. Lisäksi kamerassa tulee olla tallennusmahdollisuus. Tämä mahdollistaa tulosten raportoinnin, jälkikäsitteilyn ja analysoinnin. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 48.)

Tulokset kootaan lämpökuvausraportiksi kameran mukana tulevalla tietokoneohjelmistolla. Siinä kuvien väriskaalaa voidaan muokata, jotta kuvasta saadaan selvempi. Lisäksi kuviin voidaan lisätä tarvittavia huomautuksia. Ohjelmaan merkataan myös tarvittavat tiedot kuvauskohteesta ja kuvaushetkellä vallineista olosuhteista. Tähän työhön liittyvät lämpökuvaukset on tehty Fluke Ti105 -kameralla, ja kuvat on käsitelty Fluken SmartView-ohjelmistolla.

Kameran ja tietokoneohjelman lisäksi lämpökuvaaja tarvitsee valikoiman muita erilaisia mittareita. Näitä ovat paine-eromittari, lämpömittari, tuulimittari sekä ilmankosteusmittari. Kaikki mittarit tulee olla asianmukaisesti kalibroituja. Mittarit ovat lähestulkoon samat kuin tiiviysmittauksessa. Ainoa lisäys on ilmankosteusmittari. Lämpökuvaajan ei tarvitse kantaa mukanaan niin laajaa välineistöä kuin tiiviysmittaajan. Usein kuitenkin lämpökuvaus ja tiiviysmittaus suoritetaan samaan aikaan ja sama henkilö tekee ne.

Lämpökuvauksen yhteydessä saattaa ilmetä tarve erilaisille kosteusmittauksille. Rakenteiden kosteutta mittaavat useimmiten sertifioidut henkilöt, joten lämpökuvaajalla ei välttämättä ole mukanaan lainkaan kosteusmittareita. Kuvaaja voi ilmoittaa lisätutkimuksen tarpeen lämpökuvausraportissa. Tosin on myös henkilöitä, joilla on hallussaan asianmukainen sertifiointi kosteusmittauksiin. Nämä henkilöt voivat suorittaa kosteusmittauksia kuvauksen yhteydessä, mikäli lämpökuvauksen tilaaja niin haluaa.

3.2.2 Kuvauksen edellytykset

Lämpökuvaukselle annetaan ohjeita Ratu-suunnitteluohje 1213:ssa, sekä RT-ohjekortissa 14-10850. Molemmilla kuvaukselle annetaan tiettyjä ohjeita ja vaatimuksia. Molemmat ovat ladattavissa Rakennustiedon tietopalvelusta. Lataaminen edellyttää kuitenkin kirjautumista Ratu- ja RT-kortistoon. Kirjautuminen on maksullista.

Lämpökuvaukselle ei anneta mitään mittaolosuhteita koskevia vaatimuksia, jos kuvaus suoritetaan rakennusaikaisena laadunvalvontakuvauksena. Tällöin kuvauksen toteuttaminen voi vaatia yksilöityjä ratkaisuja. Kuvauksessa pitäisi kuitenkin saada tuotua esiin rakenteiden mahdolliset lämpötekniset puutteet. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 49.)

Kun taas kuvataan valmiita rakenteita ja niiden lämpöteknistä toimintaa, vaatimuksia on kohtuullisen paljon. Ulkoilman lämpötila ei saa poiketa enempää kuin ± 10 °C kuvauksen aloittamisajankohdan lämpötilasta kuvauksen edeltävien 12 tunnin aikana. Kuvauksen aikana taas ulkolämpötila ei

saa poiketa enempää kuin ± 5 °C kuvauksen aloittamisajan lämpötilasta. Sisäilman lämpötila saa poiketa aloittamisajankohdan lämpötilasta korkeintaan ± 2 °C. Lisäksi edeltävien 12 tunnin aikana ja lämpökuvauksen aikana lämpötilaero rakennuksen ulkovaipan yli ei saa alittaa lukuarvoa $3/U$. U on tässä yhteydessä rakennusosan teoreettinen lämmönläpäisykerroin $W/(m^2 K)$. Kuitenkaan lämpötilaero ei saa olla alle 15 °C. Kuvattava osa ei myöskään saa altistua auringon säteilylle kuvauksen aikana, eikä sitä edeltävän 12 tunnin aikana. Mikäli näin kuitenkin käy, se on merkittävä raporttiin ja huomioitava tulosten tulkinnassa. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 49.)

Raskaissa rakenteissa, kuten umpitiilirakenteet ja betoni-villa-betonirakenteet, edellä mainitut 12 tunnin tasaantumisaajat tuplataan 24 tuntiin. Kuvausta ei tule suorittaa valmiissa rakennuksissa tai valmiille rakenteille, mikäli tuulen nopeus ylittää 10 m/s, tai jos lämpötila alittaa paikkakunnan mitoituslämpötilan. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 49.) Mitoituslämpötilat ovat säähavaintojen ja energialaskennan testivuoden perusteella laskettuja ulkoilman lämpötiloja. Suomi on jaettu neljään eri vyöhykkeeseen, joilla kullakin on oma mitoituslämpötilansa. (Ilmatieteenlaitos n.d.)

Lisäksi lämpökuvauksen nyrkkisääntö on aina se, että kuvaus tehdään alipaineen puolelta. Tällöin nähdään vaipparakenteen mahdolliset ilma- vuodot. Normaalisti rakennukset pidetään lievästi alipaineisina, joten tämä vaatimus ei ole ongelma. Vanhoissa rakennuksissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, rakennuksen yläosat ovat usein savupiippuvaikutuksesta johtuen ylipaineisia. Tämä tulee ottaa huomioon tuloksia tulkitessa. Alipaine kuvattavassa kohteessa ei saa ylittää 15 pascalia. Alipaineen varmistamiseksi kuvattavien tilojen lämmitysjärjestelmien ja mahdollisen koneellisen ilmanvaihdon tulee olla normaalin käyttötilanteen säädöillä kuvausta edeltävät 24 tuntia. Tiiviysmittauksen yhteydessä tehtävässä lämpökuvauksessa kuvattavan tilan alipaine tuotetaan tiiviysmittauslaitteistolla.

Lämpökuvauksesta ja sen vaatimista järjestelyistä tulee tiedottaa tilaajalle hyvissä ajoin etukäteen, sillä kuvaus vaatii valmistelevia töitä myös tilaajalta. Kuvauksen ajankohta tulisi ilmoittaa yhdessä kuvauksen arvioidun keston kanssa, tunnin tarkkuudella. Valmistelevat toimenpiteet on tehtävä pääsääntöisesti 12 tuntia ennen kuvausta. Näihin toimenpiteisiin kuuluvat irtokalusteiden siirto pois kuvattavilta ulkoseiniltä, ikkunaverhojen poisto tai siirto ikkunan keskelle niin, että ikkuna on esteettömästi kuvattavissa sekä mahdollisten kiintokalusteiden tyhjennys ja niiden ovien avaaminen. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 50.)

Kuvauksen tilaajan olisi hyvä olla paikalla kuvausta tehtäessä. Näin kuvaajan on helppo päästä kohteeseen sisälle, ja mahdolliset kotieläimet eivät stressaannu tilanteesta turhaan. Lisäksi joskus sekä tiiviysmittaajat että lämpökuvajaajat ovat joutuneet tilanteisiin, joissa heitä syytetään irtaimiston tahrimisesta tai tuhoutumisesta. Näitä syytöksiä on hyvin vaikea osoittaa vääriksi, jos on ollut paikalla yksin. Siksi sekä lämpökuvauksen että tiiviysmittauksen olisi suotavaa tehdä tilaajan ollessa paikalla.

3.2.3 Kuvauksen lähtötiedot ja suorittaminen

Lämpökuvauksessa on merkittävä tietyt säätiedot muistiin ennen kuvausta, aivan kuten tiivysmittauksenkin yhteydessä. Merkittävät tiedot ovat suu- relta osin samoja kuin tiivysmittauksessa. Myös lämpökuvausta tehtäessä on hyvä olla etukäteen tietoinen kohteen rakenteesta. Tämä helpottaa kuvien tulkintaa jo paikan päällä ja auttaa arvioimaan, mistä mahdolliset poikkeamat lämpökuvissa johtuvat. Kohteen rakennetietoihin kuuluvat esimerkiksi ala-, ylä- ja välipohjien rakenteet, ilmanvaihtojärjestelmä sekä ulkoseinien rakenne.

Ennen kuvausta tulee selvittää rakennuksen painesuhteet. Vallitseva painesuhde merkitään 1 pascalin tarkkuudella. Edeltävältä 12–24 tunnin ajalta merkitään vallitsevat säätiedot. Näitä ovat tuulen nopeus ja suunta, ulkoilman lämpötila sekä auringon aiheuttama lämpösäteily tarkkuudella auringoinen, puolipilvinen, pilvinen. Nämä tiedot voidaan merkitä lähimmän sääaseman antamien tietojen mukaan, sillä tarkkuudella, millä sääasema ne antaa. (RT 14-10850: 2005, 4.)

Mittauksen alkaessa ja loppuessa on myös merkittävä tiettyjä olosuhteita muistiin. Näitä ovat ulkoilman lämpötila kohteen välittömässä läheisyydessä ja auringon paiste samalla jaotuksella kuin edellä. Lisäksi tuulen nopeus ja suunta merkitään kuvauksen alkaessa. Sisäilman lämpötila merkitään yhden asteen tarkkuudella jokaisesta kuvattavasta tilakokonaisuudesta, tai lämpötekniisesti erilaisista tiloista. Myös sisäilman kosteus tulee mitata ja merkitä muistiin. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 51.)

Varsinainen kuvaus tulee aloittaa varmistamalla, että kameran asetukset ovat oikein. Kuvaan vaikuttavat kuvattavan kohteen emissiivisyys sekä kuvattavan kohteen taustan lämpötila. Emissiivisyydellä tarkoitetaan kohteen kykyä heijastaa lämpöä. Kaikki kohteet heijastavat lämpöä. Lämpökamerassa tätä ominaisuutta ja sen vaikutusta kuvaan säädellään niin sanotulla emissiokertoimella.

Emissiokerroin kuvaa sitä, kuinka suuren osan verrattuna kokonaissäteilyyn kappale säteilee itse. Mitä suurempi kerroin on, sitä enemmän kappale säteilee omaa lämpöään eikä muualta heijastuvaa lämpöä. Emissiokerroin vaihtelee nollan ja ykkösen välillä. Jos kuvattavan kohteen lämpötila on +100 °C, kohde on tilassa, jonka lämpötila on +20 °C (=taustalämpötila), ja kohteen emissiokerroin on 0,95, kohde säteilee 95-prosenttisesti omaa lämpöään, ja 5-prosenttisesti muualta heijastuvaa lämpöä eli taustalämpöä. Näiden tietojen avulla voidaan kohteen lämpötila määrittää seuraavasti:

$$(0,95 \times 100) + (0,05 \times 20) = 96 \text{ °C}$$

(Fluke 2013.)

Kamera käyttää tätä periaatetta määrittäessään lämpötiloja kuviin. Jos kerroin ja taustalämpötila ovat väärät, kuvasta tulee virheellinen. Rakennusmateriaalien emissiokerroin on yleensä korkea, noin 0,90–0,95. Laskelmasta huomataan myös se, että tulos poikkeaa muutamalla asteella kuvat-

tavan kohteen todellisesta lämpötilasta. Lämpökuvauksessa on siis aina sekä kameran tekniikasta ja olosuhteista riippuen muutaman prosentin mitausvirheitä. Kuvaajan on tiedostettava ja ymmärrettävä, mistä virheet johduvat, ja osattava tulkita kuvat sen mukaisesti.

Lämpökameran mittaama säteily on lämpösäteilyä, eli infrapunasäteilyä. Tällä säteilyllä ei ole mitään tekemistä näkyvän valon säteilyn kanssa. Siksi materiaalien emissiokerroin voi olla hankalaa määrittää. Paljaalla silmällä katsottaessa kiiltävät pinnat heijastavat paljon säteilyä taustaltaan. Silmälle kiiltävältä näyttävä pinta ei välttämättä ole sitä kameralle, ja pinnan emissiokerroin voi olla hyvinkin suuri. Heijastavien pintojen kuvausta tulee silti pyrkiä välttämään, eikä kohteita, joiden emissiokerroin on alle 0,8 saisi kuvata. Yhtenä nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että orgaanisten aineiden emissiokerroin on korkea (0,8–0,98). (Fluke 2013.)

Varsinaisen kuvauksen kulkua on vaikea määrittellä, sillä siihen vaikuttavat esimerkiksi olosuhteet ja rakenneratkaisut tapauskohtaisesti. Pääsääntöisesti tavoitteena on kuvata koko ulkovaippa, jollei lämpökuvasta ole rajattu tarkasti johonkin tilaan. Kuvaus tehdään yleensä sisäpuolelta, mutta myös ulkopuolelta voidaan kuvata tarpeen mukaan. Kuvausetäisyydeksi suositellaan sisätiloissa 2–4 metriä ja ulkoa kuvattaessa enintään 10 metriä. Tähän ei välttämättä ulkopuolelta kuvattaessa aina päästä. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 52–53.)

Lämpökuvista tallennetaan ne kuvat, jotka alittavat niin sanotun lämpötilaindeksin tietyt, ennalta määritellyt raja-arvot. Lämpötilaindeksi määritellään seuraavalla kaavalla:

$$TI\% = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100\%, \text{ jossa}$$

TI% = lämpötilaindeksi, %
 T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C
 T_o = ulkolämpötila, °C
 T_i = sisälämpötila, °C

Raja-arvot lämpötilaindeksille ovat seuraavat:

	hyvä	välttävä
seinän pintalämpötila	87	81
lattian pintalämpötila	97	87
pistemäinen pintalämpötila	65	61

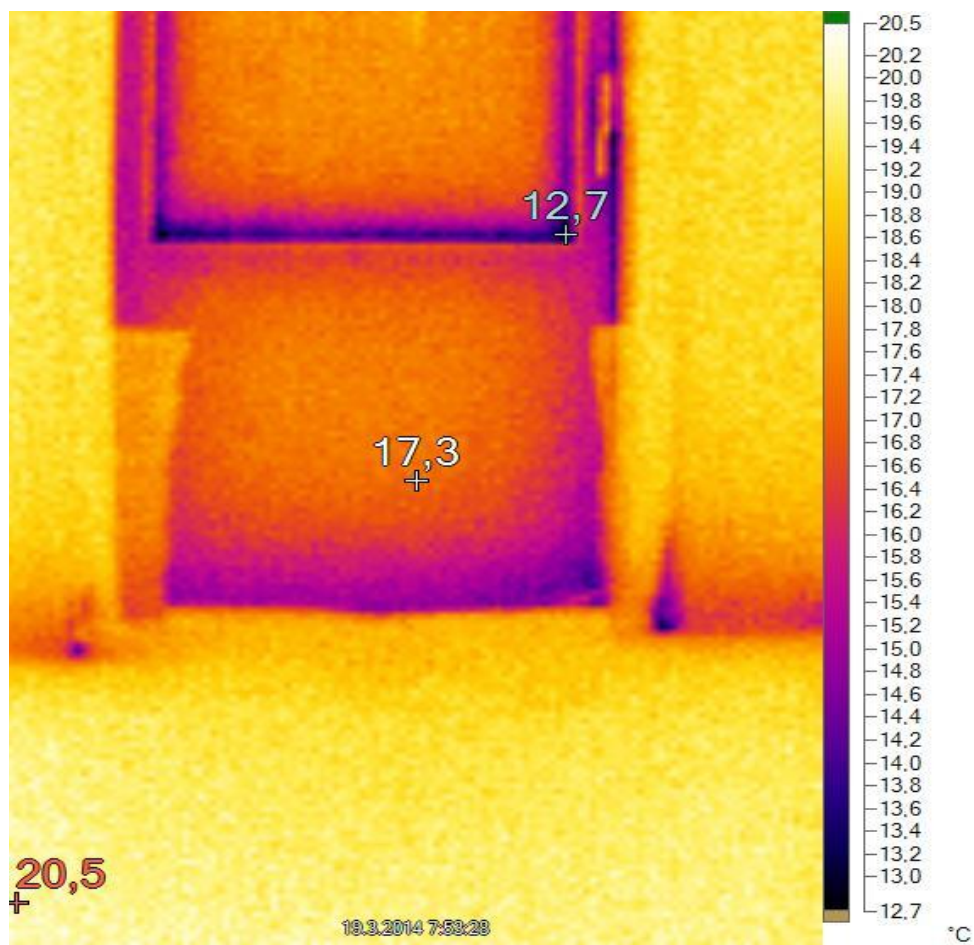
(Rateko 2013.)

Ne lämpökuvat, jotka eivät täytä 70 prosentin lämpötilaindeksiä, tallennetaan raportointia varten. Lisäksi tallennetaan ne kuvat, jotka alittavat pistemäisen pintalämpötilan indeksin 61 prosenttia. Jos epäillään rakenteen lämpötekniistä toimintaa, paikasta otetaan lämpökuva ja se tallennetaan. (Kauppinen & Paloniitty 2011, 52–53.)

Joissakin kameroissa on toiminto joka automaattisesti laskee kyseiseen tilaan ne lämpötilat, jotka alittavat lämpötilaindeksin määräämät arvot. Tällöin toki kuvaajan on täytynyt syöttää tarvittavat lämpötilatiedot kameraan oikein. Jos tätä toimintoa ei ole, kuvaajan kannattaa laskea ne lämpötilat joilla indeksi alittuu. Kun lämpötilat ovat tiedossa, on helppo tallentaa tarvittavat kuvat.

3.2.4 Lämpökuvausraportti

Lämpökuvausraportti on hyvin samantyyppinen raportti kuin tiivysmittausraportti. Kuvia (Kuva 8) muokataan kameran mukana tulevilla tietokoneohjelmalla. Samalla niihin voidaan tehdä erilaisia selventäviä merkintöjä. Kun kaikki kohteen kuvat on käyty läpi ja niihin tehty tarpeelliset merkinnät, ohjelma muodostaa niistä lämpökuvausraportin.



Kuva 8. Lämpökuva kerrostalohuoneiston parvekeovesta. Kuvassa näkyvät kylmin ja lämpimin kohta, asteikko oikealla näyttää lämpötiloja vastaavat värit. Kuvasta voidaan päätellä, että oven alareunassa on pieniä ilmavuotoja oven karmin ja seinäelementtien välissä.

Ohjelmistossa saa itse määritellä melko vapaasti, mitä tietoja kuvasta raporttiin tulee. Kuvausaika, lämpötilat ja kameran tiedot tallentuvat automaattisesti. Raportissa tulee kuitenkin olla jokaisen kuvan yhteydessä kuvan lämpötila-asteikko, mittauspisteen lämpötila ja mittausalueen minimi- ja maksimilämpötila. Kameran asetuksista merkitään emissiokerroin, taustalämpötila, kuvausetäisyys ja kohteen lämpötila. Lisäksi yleiset olosuh-

teet eli paine-ero, ulkolämpötila, tuulen nopeus, pilvisuysaste ja sisälämpötila merkitään kuvan yhteyteen. Usein kuvaajilla on käytössään valmis raporttipohja, mihin tietyt arvot saadaan ohjelman avulla merkittyä automaattisesti.

Kuvia muokatessa pyritään siihen, että jokainen kuva skaalataan samalle lämpötila-asteikolle. Näin raportin lukeminen helpottuu, koska samat värit ilmaisevat kaikissa kuvissa samoja lämpötiloja. Useimmilla lämpökuvauksraportteja lukevilla henkilöillä ei ole kokemusta lämpökuvauksesta. He eivät välttämättä kiinnitä huomiota kuvan vieressä oleviin lämpötiloihin, vaan tekevät herkästi johtopäätöksiä kuvien värien perusteella. Kuvia katsoessa tulisikin muistaa, ettei väreillä ole mitään tekemistä mahdollisen vian kanssa. Värit ovat kuvassa sen takia, että lämpötilaerot erottuisivat helpommin. Lisäksi jokaiselle kuvalle kirjoitetaan omat päätelmänsä ja määritetään mahdollisen vian korjaustarve. Korjaustarve jakautuu neljäportaisesti.

1. Korjattava

Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen välttävää tasoa. Ohjeen on laatinut sosiaali- ja terveysministeriö. Heikentää oleellisesti rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa.

TI < 61 %

2. Korjaustarve selvitettävä

Täyttää Asumisterveysohjeen välttävän tason, ei hyvää, korjaustarve harkittava erikseen.

TI 61 – 65 %

3. Lisätutkimuksia

Täyttää Asumisterveysohjeessa asetetut hyvän tason vaatimukset. On kuitenkin olemassa tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen riski kosteus- ja lämpötekniselle toiminnalle. Tarkasteltava rakenteen kosteusteknistä toimintaa, tai tehtävä lisätutkimuksia. Näitä ovat esimerkiksi tiiviysmittaus tai kosteusmittaus.

TI > 65 %

4. Hyvä

Täyttää Asumisterveysohjeen vaatiman hyvän tason, ei toimenpiteitä.

TI > 70 %

(RT 14-10850: 2005, 5.)

Näiden tietojen lisäksi raporttiin tulee kirjata kaikki samat tiedot kuin tiiviysmittausraporttiin. Tilaajan tiedot, kuvaajan tiedot ja henkilösertifikaatin numero sekä kohteen rakennetiedot merkitään. Samoin kuin tiiviysmittausraportissa, käytettävien laitteiden sarjanumerot on ilmoitettava raportissa.

Vikojen ja korjaustarpeiden löytäminen lämpökuvista vaatii hyvää tietämystä rakennusfysiikasta ja erilaisten rakenteiden toiminnasta. Koska kamera näyttää vain lämpötilaerot, on osattava tulkita vain kuvan perusteella

mitkä muutokset ovat normaaleja ja mitkä eivät. Esimerkiksi kosteus rakenteessa voi aiheuttaa sekä rakenteen viilentymistä että lämpenemistä. Kuvaajan onkin oltava erittäin varma asiastaan ennen kuin kehottaa kuvaajien tilaajaa tekemään kovin radikaaleja ja kajoavia korjaustoimenpiteitä. Ammattitaitoinen ja asiantunteva lämpökuvaaja kuitenkin löytää viat rakenteista suhteellisen helposti.

3.2.5 Kuvaajien koulutus

Rakennusten lämpökuvaajan henkilösertifikaattiin valmistavan koulutuksen järjestää Rateko. Koulutuspaikka, koulutuksen hinta ja pääpiirteet ovat samat kuin tiiviysmittaajien koulutuksessa. Vain kolmen viimeisen kurssipäivän sisältö on erilainen.

Lämpökuvaajat tutustuvat koulutuksensa kolmen viimeisen päivän aikana tietenkin tarkemmin erilaisiin lämpökameroihin ja niiden mukana tulevien ohjelmistojen käyttöön. Lisäksi kuvaajat suorittavat laboratorio-oloissa lämpökuvien tarkempaa analysointia sekä itse lämpökuvien ottamista. Lisäksi kurssilla opetellaan erilaisten mittarien, kuten painemittarien ja lämpömittarien, käyttöä. Toisella jaksolla perehdytään myös tarkemmin kameroiden toimintaan ja mittaustekniikkaan. Näitä asioita käsitellään myös kurssin kolmen ensimmäisen päivän aikana, jotta myös tiiviysmittaajat saavat perustiedot lämpökuvauksesta.

Mikäli haluaa hakea kurssin jälkeen VTT:ltä rakennusten lämpökuvaajan henkilösertifikaattia, tulee hakijan suorittaa myös kansainvälinen LEVEL 1-tason lämpökamerakoulutus. Näitä koulutuksia järjestävät lämpökameroiden valmistajat ja maahantuojat. Koulutusten hinnoissa ja kestoissa on suuriakin eroja. Jotkin maahantuojat tarjoavat kurssin kamerasuorituksen yhteydessä veloitusetta, joillakin kurssi maksaa noin 2 000 euroa. Kurssin kesto vaihtelee yhdestä jopa viiteen päivään.

Kurssien perussisältö on kuitenkin sama. Niillä esitellään kamerasuorituksen ja sen mittaustekniikka ja tutustutaan lämpökuvauksen ongelmakohtiin. Myös kameroiden mukana tuleva tietokoneohjelma ja kuvien muokkaus käydään perusteellisesti läpi. Osassa kursseja läpäisyyn vaaditaan kirjallinen koe, osassa ei. Lopputulos on kuitenkin kaikissa kursseissa sama. Kurssin käynyt henkilö saa todistuksen siitä, että on suorittanut kansainvälistä LEVEL 1-tasoa vastaavan lämpökamerakoulutuksen. Se osaako lämpökameraa käyttää asianmukaisesti, jää jokaisen kurssin käyvän henkilön omalle vastuulle.

Saadakseen henkilösertifikaatin rakennusten lämpökuvaukseen, on henkilön suoritettava hyväksytysti kirjallinen koe ja näyttötyö. Kirjallisen kokeen rakennusfysiikan osio on sama kuin tiiviysmittaajilla. Kokeen toinen osio paneutuu lämpökuvaukseen ja sen vaatimuksiin sekä tulosten tulokintaan ja raportointiin. Myös VTT:n asettamat vaatimukset työkokemukselle ja sertifikaatin voimassaololle ovat samanlaiset.

Lämpökuvaajan on hallittava rakennusfysiikka ja rakenteiden lämpötekniikka ja kosteustekninen toiminta todella hyvin. Kuvista on mahdotonta teh-

dä minkäänlaisia oikeita johtopäätöksiä, jos näitä asioita ei hallita. Jonkinlainen kokemus rakennustyöstä on etu. Ilmankin toki pärjää, mutta tällöin kannattaa paneutua rakennusfysiikan opintoihin todella hyvin.

Myös kameran tekninen toiminta ja kaikki mittaukseen vaikuttavat tekijät ja epävarmuudet on hallittava. Lämpökuvauksessa on mahdollista tehdä monta pientä virhettä, joilla tuloksista saa täysin virheellisiä. Kaiken kaikkiaan lämpökuvauus on työnä ja tekniikkana tiiviysoittausta vaativampaa. Samoin tulosten tulkinta ja niiden raportointi ja korjaustarpeiden määrittäminen on monimutkaisempaa. Tiiviysoittaas antaa selkeämmän ja yksiselitteisemmän tuloksen ilmanvuotoluvun muodossa.

4 MESTARITORPPA

4.1 Järvenpään Mestariasunnot Oy ja Mestari toiminta Oy

Järvenpään Mestariasunnot Oy on perustettu 1995 ja sen emoyhteisönä toimii Järvenpään kaupunki. Yhtiön toimialana on hallita ja ylläpitää Järvenpäässä, omistus ja vuokraoikeuden nojalla, vuokra-asuntotuotantoon osoitettuja kerros- ja pientaloja. Lisäksi yhtiö hallitsee ja ylläpitää omistus- ja vuokraoikeuden nojalla myös muita tontteja sekä niillä olevia kiinteistöjä. Yhtiö myös vuokraa näitä kiinteistöjä, ja harjoittaa rakennuttamistoimintaa. Mestariasunnot on Järvenpään suurin asunnontarjoaja. (Järvenpään Mestariasunnot Oy 2014b.)

Mestariasuntojen toiminta-ajatuksena on tarjota toimivia koteja elämän eri vaiheisiin, ”sujuvaa asumista”. Yhtiön arvoja ovat asiakaslähtöisyys, vastuullisuus, hyvinvoiva henkilöstö, ympäristömyönteisyys ja muuntautumiskyky. (Järvenpään Mestariasunnot 2014b.)

Järvenpään Mestari toiminta Oy taas on Mestariasuntojen tytäryhtiö. Mestari toiminta on perustettu vuonna 2007. Se tarjoaa palveluitaan Mestariasunnoille sekä Järvenpään kaupunkikonsernille. Yhtiön toimialaan kuuluvat asuntojen ja kiinteistöjen hoito-, kunnossapito-, hallinto-, rakennuttamis- ja asiantuntijapalvelut. Näitä ovat muun muassa talonmiespalvelut, siivouspalvelut sekä kiinteistöjen, asuntojen ja piha-alueiden kunnostuspalvelut. (Järvenpään Mestariasunnot 2014b.)

Lisäksi Mestari toiminta harjoittaa rakennusliiketoimintaa ja muita vastaavia tehtäviä. Mestari toiminta myös omistaa kiinteistöjä, asunto- ja muita osakkeita ja osuuksia. Lisäksi Mestari toiminta voi omistus tai vuokraoikeuden nojalla hallita kiinteistöjä ja asuntoja. Näiden lisäksi Mestari toiminta voi harjoittaa asuntojen ja kiinteistöjen vuokraustoimintaa, tai ostaa ja myydä niitä. (Järvenpään Mestariasunnot 2014b.)

Kumpikin yhtiö on saanut useita tunnustuksia omilla toimialoillaan. Vuonna 2008 Mestariasunnot palkittiin Teknologiasta tuotteiksi -säätien tunnustuspalkinnolla. Palkinto myönnettiin vuokra-asuntojen ja vuokra-asumisen esimerkillisestä ja innovatiivisesta kehittämisestä. Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI Ry puolestaan palkitsi Mestari toiminta-

nan vuoden rakennuttajana 2010. Samana vuonna molempien yhtiöiden toimitusjohtaja Veikko Simunaniemi palkittiin vuoden asuntovaikuttajana Suomessa. Palkinto myönnettiin Simunaniemen ansioista vuokra-asumisen kehittäjänä ja energiatehokkuuden edelläkävijänä. Palkinnon myönsivät Suomen Asuntotietokeskus Oy ja Nordea Pankki Suomi Oyj. (Järvenpään Mestariasunnot 2014b.)

Rakennuslautakunta myönsi Mestariasunnoille kestävän kehityksen Järkevä-palkinnon heti seuraavana vuonna, 2011. Palkintoa perusteltiin seuraavasti:

”Järvenpään Mestariasunnot on energiatehokkuusajattelun rohkea toimija, joka on panostanut ekotehokkaaseen rakentamiseen soveltamalla energiaratkaisuissaan ennakkoluulottomasti uutta teknologiaa.

Yhtiön käyttöönottamat järkevät ja energiatehokkaat ratkaisut säästävät ympäristöä ja alentavat asumisen elinkaarikustannuksia.

Järvenpään Mestariasunnot Oy on myös ansiokkaasti edistänyt kestävän kehityksen ajattelua rakentamisessa tiedottamalla aktiivisesti nollanenergiatalon pilottihankkeen edistymisestä.” (Järvenpään Mestariasunnot 2014b.)

Vuonna 2013 Mestaritorppa taas palkittiin vuoden ilmastoystävällisimpänä kerrostalona. Lisäksi Mestariasunnot sai Helsingin seudun Ilmastopalkinnon. Palkinnon myönsi Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymä. (Järvenpään Mestariasunnot 2014b.)

Mestariasunnot ja Mestaritoiminta ovat toteuttaneet jo useita energiatehokkaita kohteita. Järvenpään Jamppaan valmistui 2011 nollaenergiakerrostalo, joka toimii vanhusten palvelutalona. Talossa käytetään geotermistä energiaa sekä aurinkoenergiaa. Lähes passiivitason valmistuneita kohteita ovat Lepolan Soundi kortteli, jossa on 79 asuntoa, Saunaniityn rivitalot joissa on yhteensä 43 asuntoa sekä Pajalanpihan päiväkotit. Matalaenergiatason kohde on 2011 valmistunut Satumaan päiväkotit. Kaikissa näissä kohteissa on käytetty geotermistä energiaa. (Järvenpään Mestariasunnot 2014b.)

4.2 Mestaritorppa

Mestaritorppa sijaitsee Järvenpäässä, Kinnarin kaupunginosassa. Järvenpään keskustaan on matkaa noin puoli kilometriä. Mestaritorppa on 5-kerroksinen kerrostalo, jossa on 45 asuntoa ja lämmin 22-paikkainen maanalainen autohalli. Jokaisessa asunnossa on oma sauna. Lisäksi kaikki parvekkeet on lasitettu. Asuntojen koot vaihtelevat 39 neliöisestä yksiöstä tupakeittiölliseen 75,5 neliön kolmioon. (Järvenpään Mestariasunnot Oy 2014a.)

Asunnot tulevat vuokrakäyttöön ja niitä vuokraa Järvenpään Mestariasunnot Oy. Mestaritorppa valmistuu syksyllä 2014. Rakennusprojektin päätoimeksittaja on Mestaritoiminta Oy. Rakennuksen pääsuunnittelijana toimii arkkitehtistudio Kujala & Kolehmainen. (Järvenpään Mestaritoiminta Oy 2013.)

Hankkeen kokonaiskustannukset ovat 8 279 400 € (Alv 24%). Tämä summa sisältää rakentamiskustannukset, rakennuttajakustannukset, esiselvitykset, suunnitelmat, liittymät ja tontit. Hanke on rahoitettu ARAN (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus) myöntämällä korkotukilainalla ja käynnistysavustuksella. Hanke toteutetaan Mestaritoiminta Oy:n toimesta projektijohtourakkana. Tämä on kustannustehokas toteutustapa. Siinä rakennushanke pilkotaan noin 20 urakkaan sekä 10 erillishankintaan. Tämän toteutustavan myötä myös pienemmillä urakoitsijoilla ja tavaran-toimittajilla on mahdollisuus olla rakentamisessa mukana. (Järvenpään Mestariasunnot 2014a.)

Rakennus ja sen kaikki seinät on tehty SW-, teräsbetoni- tai ACO-elementeistä. SW-elementti eli sandwich-elementti koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta, joiden välissä on lämmöneriste. Mestariatorpassa lämmöneristeenä on käytetty SPU-eristettä. ACO-elementti taas on ontelora-kenteinen, kevytbetonista valmistettu elementti. Niitä käytetään lähinnä väliseinäelementteinä sisätiloissa.

Rakennuksen rungon käyttöikä on asetettu 100 vuotta. Pitkä käyttöikä edesauttaa energiatehokkuutta, samoin kuin se, että rakennuksen ulkovai-pan rakenteet ovat passiivien energia-luokituksen tasolla. Näin ollen Mestari-torppa on voitu toteuttaa nykyisiä määräyksiä tiukempien vaatimusten mukaisesti. Rakennuksen E-luku on 91 ja se kuuluu energialuokkaan B. (Järvenpään Mestari-toiminta 2013.)

Mestariatorpan ilmatiivisyysvaade on n_{50} 0,6. Tämä täyttää VTT:n asettaman passiivitalon vaatimuksen. Ilmatiiviyys on todistettava tiivysmittauksella rakennuksen valmistuttua. Varsinaisen tiivysmittauksen suorittaa VTT. Rakennusaikana suoritetaan mittauksia, joilla valvotaan rakennustöiden laatua ja ilmatiivisyysvaateen toteutumista.

Koska kohteen ilmatiiviyys tulee olemaan varsin hyvä, on sinne suunniteltu koneellinen ilmanvaihto. Järjestelmässä on sekä koneellinen tuloilma että poistoilma. Ilmastoinnin säätäminen on varsin tarkkaa, jotta sisäilmanlaatu pysyy hyvänä kaikissa olosuhteissa. Säätöä kuitenkin helpottaa se, että hallitsemattomia ilmapuotoja ei juuri ole pienen ilmanvuotoluvun ansiosta.

Mestariatorppa lämmitetään ja viilennetään geotermisellä energialla. Maa-lämpökaivoja on yhteensä 12 kappaletta. Viereisellä tontilla sijaitsee Mes-tariasuntojen vuokraama rivitaloyhtiö. Mestariatorpan lämpökaivojen yli-jäämäenergialla lämmitetään rivitaloyhtiön käyttövesi.

Järvenpään Mestari-toiminnalla on jo aiempaa kokemusta energiatehok-kaista rakennusprojekteista. Mestariatorppa on jo kuudes hanke, joka käyt-tää uusiutuvaa energiaa. Kohdetta ei toteutettu Suomen ilmastoystävällisin kerrostalo ja toimisto - kilpailua varten. Kohde toteutettiin yhtiön jo va-kiintuneella perustoimintamallilla, joka siis toi voiton Green Building Council Finlandin ja Rakennusteollisuus RT:n järjestämässä kilpailussa. (Järvenpään Mestari-toiminta 2013.)

Mestariasuntojen ja Mestaritoiminnan toimitusjohtaja Veikko Simunaniemi kertoi Mestaritorpan harjannostajaisissa 12.3.2014 kohteen osallistumisesta kilpailuun. Simunaniemen mukaan yhtiö ei ollut osallistumassa kilpailuun vaikka Mestaritorppa oli saanut kilpailuun kutsun. Vasta toisen kutsun jälkeen osallistumisesta päätettiin, silloinkin varmana siitä, että kohde ei kilpailussa pärjäisi. Voitto oli siis yllätys, luonnollisesti kuitenkin miellyttävä. Voitto toi myös paljon uskoa siihen, että yhtiön toteuttamat hankkeet voidaan jatkossakin tehdä samalla, jo vakiintuneella tavalla.

Kilpailuun hyväksyttiin mukaan yhteensä kymmenen kohdetta. Kaikista kohteista mitattiin rakennusten elinkaaren aikainen hiilijalanjälki. Laskelmissa huomioitiin kaikki ne materiaali- ja energiavirrat, joilla on olennainen päästövaikutus rakennuksen elinkaaren aikana. Laskennan ohjeena käytettiin GBC Finlandin Rakennusten elinkaarimittarit-ohjeistusta. Tulokset ilmoitettiin rakennuksen käyttövuosia ja neliöitä kohden. Käyttökinä käytettiin rakennuttajien asettamia käyttöikävaatimuksia. Rinnalle laskettiin päästöt myös 50 vuoden käyttöiän mukaan, sillä joillakin kohteilla käyttöikä oli pidempi kuin 50 vuotta. (Green Building Council Finland 2013.)

Mestaritorppa jakoi kilpailun voiton yhdessä Vantaan Kivistön kanssa. Rakennusliike Reponen Oy:n toteuttama kohde on osa Vantaalla 2015 järjestettäviä Asuntomessuja. Molempien kohteiden hiilijalanjälki oli noin alle puolet keskimääräisestä tasosta. Tämä tarkoittaa noin 30 kiloa CO₂-päästöjä asuinneliötä kohti vuosittain. (Green Building Council Finland 2013.)

Mestaritorpan päästöt laskevat lähelle 20 kiloa CO₂e/as-m²/vuosi, kun laskelma tehdään rakennuksen tavoitellulle, sadan vuoden käyttöiälle. Energian ja veden osuus elinkaaren hiilijalanjäljestä on noin 45 prosenttia. Rakenteet ja korjaus tuottavat hiilijalanjäljestä noin 35 prosenttia. Loput 20 prosenttia tulevat rakentamisesta, ylläpidosta ja purusta. (Bionova Consulting 2013.)

Kilpailun voittajien valinnoilla haluttiin korosta sitä tosiasiaa, että vähäpäästöisyys rakentamisessa voidaan saavuttaa jo nykytekniikalla sekä monilla erilaisilla materiaaleilla ja ratkaisuilla. Ilmastoystävällisyyteen suuresti vaikuttavia tekijöitä ovat energiaratkaisut ja laadukas suunnittelu. Kilpailun tuomaristo arvosti myös voittajakohteiden taustalla olevaa pitkäjänteistä työtä rakentamisen laadun parantamiseen, ja sitä kautta hiilijalanjäljen pienentämiseen. Tekniikat, joilla kohteiden suunnittelutavoitteet on saavutettu, olisivat valmiita myös laajempaan hyödyntämiseen. (Green Building Council Finland 2013.)

Mestaritorppa on hyötynyt alusta asti Mestaritoiminnan kokemuksesta energiatehokkaan rakentamisen parissa. Kokemusta on kertynyt hinnasta, laadusta, energiatehokkuudesta ja elinkaariajattelusta. Niinpä Mestaritorppa toteuttaa hyvällä tasolla Mestaritoiminnan tavoitetta parantaa rakentamisen laatua sekä ylläpitää tähän tavoitteeseen liittyvää mottoa ”kohti huomista”. (Järvenpään Mestaritoiminta 2013.)

4.3 Käytännön toimenpiteet kohteessa

Tämän opinnäytetyön käytännön tarkoituksena on ollut varmistaa se, että Mestaritorppa täyttää sille asetetut ilmatiiviysvaatimukset. Kohteen vaatimukseksi on asetettu n_{50} 0,6/h. Olen työskennellyt kohteessa useamman kuukauden ajan. Työhöni on kuulunut erilaisia lämmöneristys- ja tiivistystöitä, sekä kaikki kohteessa tähän mennessä suoritettut tiiviysmittaukset ja mahdollisten ilmavuotojen ja rakennusvirheiden paikantaminen tiiviysmittauslaitteiston ja lämpökameran avulla. Mittaukset ja niiden yhteydessä mahdollisesti suoritettut kuvaukset esitellään seuraavassa luvussa.

Mestaritorpan rakennustyöt alkoivat kesällä 2013. Itse tulin työmaalle töihin alkusyksystä. Tässä vaiheessa pohjatyöt oli tehty ja ensimmäiset elementit asennettiin paikoilleen. Kohde rakentuu betonielementeistä joiden välissä on SPU-eriste.

SPU on polyuretaanieriste, jolla on hyvä kosteudensietokyky ja ilmanpitävyys. Varsinkin korkea ilmanpitävyys tekee siitä erittäin energiatehokkaan eristevaihtoehdon. Lisäksi eristeen vesihöyrynvastus on korkeaa luokkaa. Näin ollen SPU-rakenteinen seinä ei vaatinut erillistä höyry- tai ilman-sulkukerrosta. Myöskään elementtiasennuksen aikainen vesisade ei haitannut, sillä SPU ei ime vettä itseensä. Sitä ei tarvitse suojata kosteudelta millään tavalla. Eristeen ominaisuudet eivät kärsi vesisateesta. Tämä helpottaa rakentamista suuresti, sillä elementtien suojaus kosteudelta on varsin hankalaa, aikaa vievää ja kallista. SPU-eristeitä ja sen ominaisuuksia on testattu ja tutkittu muun muassa VTT:ssä.

Julkisivuelementtien saumoista saatiin ilmatiiviitä uretaanivaahdolla. Vahto ruiskutettiin elementtien väliin uretaanipistoolilla. Jotta rakenteesta tulisi varmasti tiivis, saumat vaahdotettiin vähintään kolmeen kertaan. Sääolojen mukaan käytettiin joko kesäolosuhteisiin tai talviolosuhteisiin sopivaa vaahtoa. Mikäli kesävaahtoa käytetään liian kylmässä lämpötilassa, siitä tulee haurasta. Vahto hajoaa helposti ja irtoaa paikaltaan. Näin ollen se ei myöskään pidä ilmaa eikä lämpöä. Ureetaanivaahdolla estetään kylmäsillan muodostuminen runkorakenteeseen. Vahto ruiskutettiin elementtien väliin niin, että se muodosti jo elementissä olevien SPU-eristeiden kanssa yhtenäisen eristekerroksen rakenteeseen.

Energiatehokkaan rakentamisen vaatimukset näkyvät kaikenlaisissa tiivistystöissä. Saumojen uretanikerroksista oli saatava täysin tiiviitä. Ilmarakoja ei saanut jäädä ja vaahtokerroksia oli oltava vähintään kolme. Vaahdotusten onnistumista valvottiin pistokokeilla. Pistokokeissa valittiin satumanvaraisesti yksi vaahdotettu sauma ja sahattiin se auki. Näin nähtiin oliko vaahdotus onnistuttu tekemään tiiviisti. Vaahdotus onnistuu varsin helposti ja siitä saadaan myös tiivis. Tärkeintä on antaa aiemman vaahtokerroksen turvota riittävän kauan ennen seuraavaa vaahtokerrosta. Ureetaanivaahdotus on tiiviimpi jos sen kuivunutta pintaa ei rikota.

Saumat vaahdotettiin ennen väliseinäelementtien asennusta, koska monet väliseinäelementit asennettiin juuri julkisivuelementtien saumojen kohdalle. Näin ollen saumoja ei olisi päässyt vaahdottamaan enää väliseinäele-

menttien asennuksen jälkeen. Kun kaikki saumat julkisivussa oli vaahdotettu (Kuva 9), elementtiasennusryhmä nosti paikoilleen ontelolaatat.



Kuva 9. Julkisivuelementtien saumojen uretaanivaahdotus.

Ontelolaattojen asennuksen jälkeen eristettiin julkisivuelementtien nostoraksit. Raksit ovat julkisivuelementtien päällä olevia metallikoukkuja, joiden avulla useamman tonnin painoiset elementit saadaan nostettua nosturilla paikoilleen. Mikäli nämä raksit jätettäisiin eristämättä, ne muodostaisivat rakenteeseen kylmäsilan. Eristykseen käytettiin uretaanivaahtoa ja SPU-eristettä. SPU-levyistä leikattiin sopivan kokoisia paloja, jotka "liimattiin" uretaanivaahdolla paikoilleen. Pienemmät aukot ja raksien kohdat tukittiin vain vaahdolla.

Raksien eristyksen jälkeen elementtiasennusryhmä kiinnitti julkisivuelementit ja ontelolaatat lopullisesti paikoilleen. Kiinnitys tapahtui valamalla elementtien saumoihin betonia. Myös saumavalujen laatua tarkkailtiin koko ajan. Lisäksi tehtiin tiiviysmittaus kun koko talon elementit oli saatu asennettua ja taloon oli saatu lämmitys päälle. Tiiviysmittauksessa tarkastettiin saumavalujen pitävyys merkkisavun avulla. Tarkastuksesta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.4.

Kun elementit oli saatu valettua lopullisille paikoilleen, seuraavan kerroksen julkisivuelementit asennettiin paikoilleen. Vaahdotuskierros alkoi jälleen alusta. Näin edettiin kerros kerrokselta, julkisivuelementtien saumat, nostoraksit, kunnes päästiin vesikatolle asti.

Vesikatto on puurakenteinen. Puiset kattotuolit asennettiin viimeisten ontelolaattojen päälle. Ennen kattotuoleja ontelolaattojen päälle asennettiin bitumikermit. Kattotuolien päälle ruuvattiin kiinni vanerit ja niiden päälle jälleen kermit. Kermit ovat vedenpitäviä.

Vesikaton alla on ullakkotila. Tässä tilassa uretaanivaahdolla tukittiin myös julkisivuelementtien alasauma, joka näkyy eristettynä kuvassa 9. Tällä estettiin kylmän ilman kulkeutuminen ullakolle. Vaahto toimi myös stopparina puhallusvillalle, jota puhallettiin ullakkotilaan eristeeksi. Puhallusvillan puhalsivat paikoilleen alaan erikoistuneen yrityksen työntekijät. Villaa puhallettiin ullakolle noin viitisenkymmentä senttiä.

Kun lämpötilat taas kevään tullen sen sallivat, kaikki vaahdolla täytetyt julkisivuelementtien saumat kitataan vielä ulkopuolelta julkisivumassalla. Ennen kuin julkisivumassa saadaan paikalleen, kaikki saumat vaahdotetaan vielä kertaalleen uretaanivaahdolla. Näin saumat saadaan varmasti täyteen uretaania ja niiden lämmönpitävyys on riittävä.

Viimeinen uretanikierros on aikataulutettu vapun jälkeen. Tämä sen vuoksi, että työolot rakennuksen ulkoseinällä nosturissa eivät välttämättä ole parhaat mahdolliset keskellä talvea. Työvaiheella ei myöskään ole rakennuksen valmistumisen kannalta kiire, koska se ei vaikuta muiden töiden edistymiseen. Julkisivumassa varmistaa osaltaan saumojen ilman- ja kosteudenpitävyyden. Julkisivumassoja ei kuitenkaan voida levittää paikoilleen talviaikaan.

Ullakolla vaahdotettiin myös viimeisten julkisivuelementtien tuet. Tukien alaosat ruiskutettiin täyteen uretaania. Tällä estetään kosteuden kondensoituminen tukeen. Osa tuesta jäi puhallusvillakerroksen yläpuolelle ja osa alapuolelle. Koska ullakko on puolilämmin tila, se aiheuttaa kondensaatio-riskin tukiin. Tuet näkyvät paikoilleen asennettuna ennen puhallusvillan puhaltamista kuvassa 10. Alaosissa olevista aukoista näkyy uretaania. Vaahto ruiskutettiin samoista aukoista sisään. Pistooliin kiinnitettiin taipuisa ohut pilli, jolla saatiin uretaania varmasti riittävästi tukien sisään.



Kuva 10. Julkisivuelementtien tuet ullakkotilassa. Alaosat on täytetty uretaanivaahdolla.

Samassa kierrossa elementtien asennuksen ja eristyksen kanssa tehtiin myös läpivientejä patteriputkille. Patterijärjestelmän vesiputket kulkevat rakennuksessa aina ontelolaattojen läpi seuraavaan kerrokseen. Jotta näistä läpivienneistä saataisiin ilmatiiviitä, käytettiin tarkoitukseen sopivia Sewatek-asennusosia. Sewatekin avulla putket saatiin kulkemaan oikeassa kohdassa, eikä niiden läpimenoja tarvinnut valaa erikseen jälkeensä. Sewatek asennettiin ennen ontelolaatan reunakaistan juotosvalua. Näin putket saatiin paikoilleen samalla kertaa, kun ontelolaatasto valettiin kiinni oikealle paikalleen. Myös ilmatiiviys ja palokatko varmistuivat samalla kierroksella. Tällä säästettiin useita työvaiheita. Jälkityönä tarvittiin vain paikoilleen asennetun virtausputken akryylikittaus, jotta putken ja asennusosan liitoksesta tulisi tiivis. Kittaus suoritettiin palokitillä. Asennusperiaatetta selventäviä kuvia ja leikkauksia löytyy työn liitteenä olevasta Sewatek-esitteestä. (Liite 3.)

Kun julkisivuelementit oli asennettu, asennusryhmä asensi paikoilleen parveke-elementit. Nämä elementit kiinnittyivät julkisivuun metallisilla ”kengillä”. Kiinnitys muodostaisi kylmäsilan rakenteeseen ilman eristystä. Niinpä ne eristettiin myös uretaanivaahdolla. Jokainen parvekekivi kiinnitettiin kahdella kiinnikkeellä. Kiinnikkeet on kuvattu eristämättöminä kuvassa 11 ja eristettynä kuvassa 12. Eristyksen jälkeen kiinnityspaikkaan valettiin vielä varmistukseksi betonia.



Kuva 11. Parveke”kenkä” ullakkotilasta kuvattuna. Kengän ja elementin liitosta ei ole eristetty.

Myös näiden eristysten ja valujen ilman- ja lämmönpitävyys tarkistettiin ulkovaipan valmistuttua tiiviysmittauksilla. Kengille varattu tila julkisivussa on paljon pienempi muualla kuin ullakolla. Tämä aiheutti omat vaikeutensa niiden eristämiseen ja paikoilleen valamiseen. Niistä saatiin kuitenkin pääosin varsin tiiviitä, eikä missään mittauksessa havaittu merkittäviä puutteita parvekekenkien osalta.



Kuva 12. Parveke”kenkä”. Kengän ja julkisivuelementin liittymä on eristetty uretaanivaahdolla.

Kun nämä työt oli saatu suoritettua, siirryin sisätöihin. Aluksi eristin väliaikaisesti rakennuksen vaipassa olevia aukkoja, kuten ikkunoita, ovia ja ilmanvaihtoaukkoja. Nämä aukot oli eristettävä, jotta taloon saatiin lämmöt päälle. Väliaikaiset suojat otettiin sitä mukaa pois kun ovia, ikkunoita ja ilmanvaihtolaitteita saatiin paikoilleen. Rakensin myös muun muassa väliaikaisia ovia, työtasoja ja erilaisia turvarakenteita.

Kun ikkunat oli saatu asennettua paikoilleen, valittiin rakennuksesta yksi ikkuna, jonka viereen asennettiin seinän sisään kuusi kappaletta mittantureita. Anturit asennettiin eri syvyyksiin. Näin saadaan tietoa elementin eri osista, sekä kuoresta että SPU-eristeestä. Ne mittaavat, mitä seinällä tapahtuu. Mittareista saadaan luettua esimerkiksi seinän lämpötila ja kosteus. Näitä mittareita on asennettu myös kaikkiin muihin Mestaritoiminnan rakennuttamiin matala- ja nollaenergiakohteisiin. Näin saadaan arvokasta tietoa siitä, kuinka erilaiset energiatehokkaat rakenteet käyttäy-

tyvät. Tietojen avulla voidaan kehittää matalaenergiarakentamista edelleen eteenpäin. Samalla saadaan myös varmuus siitä, että rakenteet säilyvät terveinä koko käyttöikänsä ajan. Kaikki asennetut mittarit ovat etäluettavissa reaaliajassa.

Seuraavaksi oli vuorossa alakattotöitä. Asuntojen eteisiin tehtiin kipsikatot. Kaikki mahdolliset ilmapuoreitit kattojen päältä oli tukittava tässä vaiheessa. Niinpä ontelolaattojen saumat kitattiin akryylillä. Onteloihin oli myös porattu reikiä, jotta ontelot saatiin kuivattua rakennusaikaisesta kosteudesta. Nämä vesireiät kitattiin myös tiiviisti umpeen akryylillä. Samalla kierroksella varmistettiin myös se, että palo-osastojen väliset palokatkotyöt oli tehty asianmukaisesti.

Tässä vaiheessa tehtynä ilmapuoreittien tukinta ei vaatinut aikaa asuntokohtaisesti juuri lainkaan. Myöskään työhön tarvittavat materiaalit eivät ole kalliita. Näillä toimilla varmistetaan kuitenkin osaltaan se, että rakenteet toimivat ilmatiiviiden kannalta oikein ja ovat energiatehokkaita. Pienellä panoksella voidaan siis oikein ajoitettuna saavuttaa laadukas lopputulos, ja säästää energiaa ja rahaa valmiissa rakennuksessa.

Eteisen alakatto rajattiin kipsiotsalla. Loput asuntojen katoista tasoitettiin yli ja maalattiin. Tasoitus ja maalaus toimivat ilmatiiviinä kerroksena muualla asunnossa olevissa ontelolaattojen saumoissa ja vesirei`issä. Näin ollen akryylillä tiivistettiin vain ne saumat ja reiät jotka jäivät alakattojen yläpuolelle. Tässä vaiheessa siis tiivistettiin myös pesuhuoneiden ja saunojen paneelikattojen päälle jäävät ontelolaattojen saumat sekä muut reiät.

Seuraavana työtehtävänä oli autohallin katto. Katto oli varsin isotöinen. Tämä johtui osittain myös siitä että kattoa tehtiin halliin yli 500 neliömetriä. Katon päätarkoitus on toimia äänieristeenä, jotta autohallin äänet eivät pääse kulkeutumaan talon rakenteita pitkin asuntoihin. Kattorakenne koostui kahdesta erilaisesta metallirangasta, 100mm paksusta villakerroksesta ja kahdesta kipsilevystä.

4.4 Mittaukset kohteessa

Mestaritorpassa suoritettiin kevään aikana kolme tiiviysmittaus- ta/painekoetta. Yhtään varsinaista lämpökuvausta ei tehty. Ikkunoita ja ovia tutkittiin lämpökameralla painetestien aikana. Yhtään vikakohtaa ei kuitenkaan löydetty. Näin ollen lämpökuvauksen standardien mukaisesti yhtään lämpökuvaa ei ollut tarvetta tallentaa. Seuraavassa raportoidaan tarkemmin painetestien kulku ja löydetty puutteet. Samalla kerrotaan myös korjausehdotuksista ja korjaustoimenpiteistä.

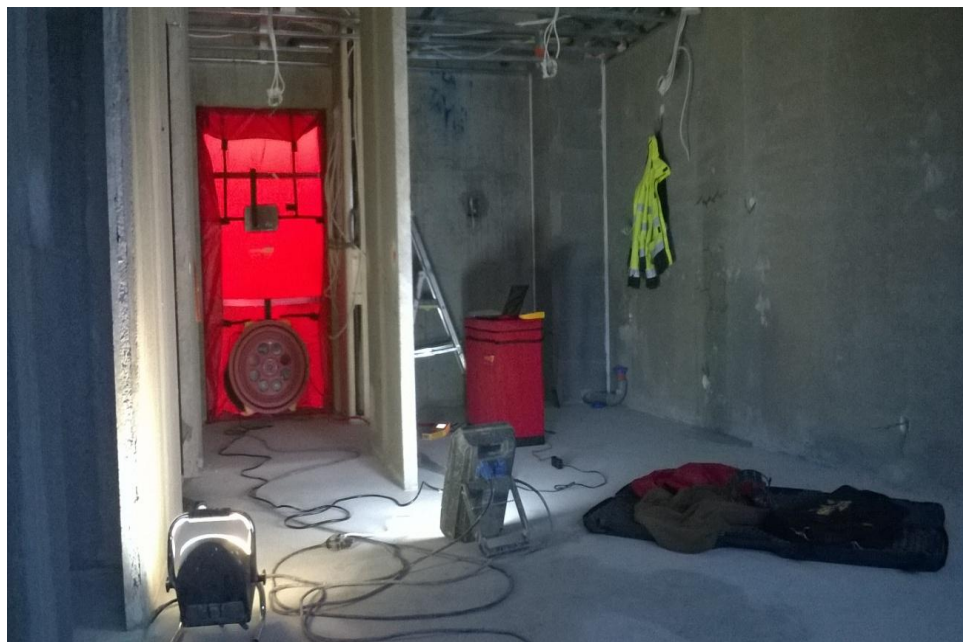
4.4.1 Painetesti 13.2.2014

Ensimmäinen painekoe kohteessa suoritettiin 13.2.2014. Tässä vaiheessa oltiin siirtymässä sisustustöihin. Näin ollen haluttiin tarkastella mahdollisia ongelmakohteita ja puutteita, jotta ne voitaisiin tarvittaessa korjata en-

nen pinnoitustöiden alkua. Painekokeessa ei mitattu varsinaista ilmanvuotolukua. Lukua kuitenkin seurattiin koko ajan tiiviysmittauslaitteiston paine-eromittarin kautta. Valittuun asuntoon ajettiin 50 pascalin alipaine, ja tutkittiin rakenteiden tiiviyttä lämpökameran ja merkkisavun avulla.

Valmistelut painekokeeseen aloitettiin jo edeltävänä päivänä. Kaikki ontelolaattojen saumat ja vesireiät piti tiivistää akryylimassalla. Osaltaan tehtiin hieman ylimääräistä työtä, sillä maalaus- ja tasoitettöiden käynnistyessä ne osaltaan tiivistävät vesireikiä ja saumoja. Osa näistä olisi kuitenkin jouduttu tiivistämään akryylillä, sillä ne jäivät kipsialakattojen yläpuolelle. Lisäksi jouduttiin kittaamaan Sewatek-asennusosien saumat sekä hormien läpiviennit ja seinäliittymät. Hormeissa kulkevat kerroksesta toiseen muun muassa sähköjohdot ja viemäriputket. Lisäksi tiivistettiin sähköputkien päät, nekin akryylillä. Lopuksi teipattiin vielä IV-kanavat.

Alipaine ajettiin asuntoon normaalimittauksesta poiketen asunnon rappukäytävään johtavan oven puolelta (Kuva 13). Normaalisti mittauslaitteisto asennetaan aina parvekkeen oveen, mikäli asunnossa sellainen on. Koska parvekkeen ovi oli paikallaan mutta rappukäytävän ei, päädyttiin asentamaan koneisto rappukäytävän oven paikalle. Näin säästettiin työtä, koska rappukäytävän oviaukkoa ei tarvinnut tiivistää. Samalla voitiin myös tutkia parvekkeen oven ilmatiiviys.

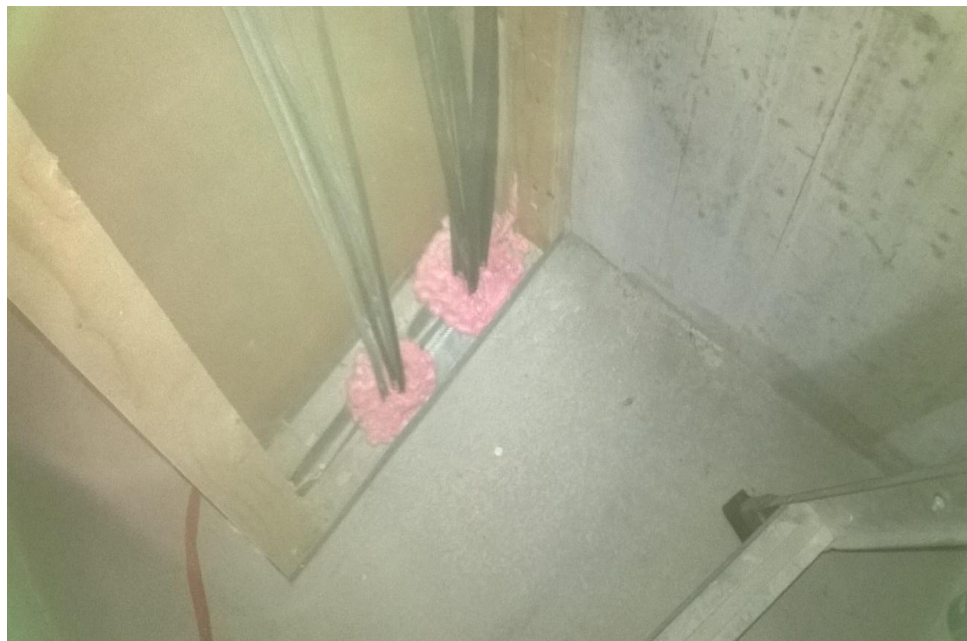


Kuva 13. Tiiviysmittauslaitteisto asennettuna rappukäytävän oven paikalle ensimmäisessä painekokeessa 13.2.2014.

Pääasiallinen tutkimuskohde mittauksessa oli kuitenkin elementtisaumojen betonivalu ja sen ilmanpitävyys (Kuva 15). Pitävyys osoittautui suhteellisen hyväksi. Myös parvekkeen ovi, sen tiivisteet ja karmin ja seinäelementtien välinen uretaanivaahdotus todettiin hyväksi. Sama päti asunnon ikkunoihin. Tätä tulosta saattaa kuitenkin hieman vääristää se, ettei asunto ollut normaalissa käyttötilanteessa. Pienet vuodot korostuvat kun ilmanvuotoluku pienenee. Näin ollen täysi varmuus ikkunoiden ja ovien kunnosta saadaan vasta tulevissa mittauksissa.

Sewatek-asennukset aloitettiin vasta rakennuksen toisessa kerroksessa. Ensimmäisessä kerroksessa patteriputkille oli piikattu läpimenoireiät ontelolaatan läpi, ja ne oli valettu umpeen jälkeinpäin. Ratkaisu ei osoittautunut kovin toimivaksi. Valujälki vaati pieniä tiivistystöitä. Tämä ongelma kuitenkin poistui seuraavissa kerroksissa Sewatek-asennusosien myötä.

Asunnoissa olevat pienet kipsiväliseinät ja niiden tiiviys osoittautuivat myös hieman ongelmallisiksi (Kuva 14). Näiden seinien sisällä kulkevat sähköjohdot seuraavaan kerrokseen. Koska seinän toinen pää liittyy asuntoa talon rappukäytävään rajaavaan seinään, se liittyy siis myös alaosaan elementtejä toisiinsa kiinnittävään valuun. Tämä valu ei ollut kaikilta osin onnistunut. Koska väliseinä oli tehty ennen kuin asuntojen lattiat tasoitettiin ns. plaanolla (betonilattiatasoite), plaanomassa ei päässyt tukkiamaan elementtien saumavalun puutteita. Koska vuodot ovat kipsiseinän rankojen alla ja seinän sisällä, niitä on hieman hankala tukkia. Ratkaisuksi keksittiin se, että seinän alaosa valettiin täyteen löysällä betonimassalla, joka kulkeutui hyvin pieniinkin rakoihin. Tämä on kohtuullisen työläs ratkaisu, jolta olisi välttytty, jos elementtien saumavalu olisi tehty huolellisemmin.



Kuva 14. Asunnon väliseinän alaosa. Seinä liittyy oikealta asuntoa rappukäytävään rajaavaan elementtiin. Elementin alaosa on valettu lattialaattaan kiinni, ja tämä valu vuotaa. Väliseinän sisäosaan kaadettiin kastelukannulla löysää betonia vuotojen tukkimiseksi.

Lähes kaikista hormeista puuttuivat vielä mittausta tehdessä palokatkot. Ne tehdään villalla, palouretaanilla, palomassalla ja/tai paloakryylillä tilanteesta riippuen. Palokatkojen puuttuminen näkyi hormeissa vuotoina. Mikäli palokatkot tehdään riittävän huolellisesti ja tarkasti, voidaan olettaa, että nämä vuodot loppuvat.

Seuraava painekoe päätettiin tehdä sen jälkeen kun tasoitetyöt ovat päässeet vauhtiin. Silloin asunnoissa on tehty kipsialakatot ja niiden päällä olevat tiivistykset. Myös tasoite- ja maalaus tukkivat omalta osaltaan vuotoja. Tällöin ollaan jo paljon lähempänä rakennuksen normaalia käyttötilaa.



Kuva 15. Elementtien saumavalun ilmatiiviyyden tutkintaa merkisavun avulla ensimmäisessä painekokeessa 13.2.2014.

4.4.2 Tiiviysmittaus 6.3.2014

Toinen painekoe suoritettiin kohteessa 6.3.2014. Tällä kertaa tehtiin myös varsinainen tiiviysmittaus ja saatiin määritettyä kohteelle ensimmäistä kertaa ilmanvuotoluku. Mittaus oli edelleen rakennusaikainen ja se ajettiin jälleen asunnon rappukäytävään johtavan oven paikalta. Raportit tehdystä mittauksesta ovat tämän työn liitteenä (liite 1 ja liite 2).

Mittaus tehtiin samassa asunnossa kuin ensimmäinenkin painekoe. Näin pystyttiin vertailemaan tuloksia. Vaikka ensimmäisessä painekokeessa ei ajettukaan varsinaista testiä ilmanvuotoluvun määrittämiseksi, oli ilmanvuotoluku silti tiedossa. Luku näkyy paine-eromittarin kautta, vaikkei testiä ajettaisikaan, mikäli mittaja määrittää asetukset niin että luku saadaan näkyviin. Koska luku oli tiedossa, voitiin helposti verrata korjaustoimenpiteiden ja työtekniikoiden muutosten vaikutusta tiiviysmittauksen tulokseen.

Mitattavassa asunnossa oli tehty korjaustoimenpiteitä edellisen painekokeen aikana havaittuihin puutekohtiin. Tärkeimpiä korjauskohteita olivat palokatkot ja läpiviennit. Kaikkiin niihin läpivienteihin, jotka rajasivat eri paloalueita, oli tehty asianmukaiset palokatkot palovillalla ja paloakryyllillä. Näistä paikoista ei enää havaittu ilmavuotoja, joten palokatkojen laatu voitiin todeta hyväksi.

Toinen ongelmakohta olivat olleet asunnoissa olevat pienet kipsiväliseinät, joiden juuret vuotivat, koska elementtien saumavalu ei ollut onnistunut riittävän hyvin. Tätä mittausa tehtessä juuret oli valettu betonilla umpeen (Kuva 16). Menetelmä osoittautui varsin hyväksi, sillä vuotoja ei havaittu. Olisi kuitenkin ollut toivottavaa, että saumavalu olisi tehty alun alkaen

riittävän huolellisesti. Näin olisi säästetty kipsiseinän juurien erillinen valu.



Kuva 16. Asuntojen kipsiväliseinän juuri umpeen valettuna. Ratkaisu on ilmatiivis.

Asuntoihin oli tässä vaiheessa jo tehty myös alaslaskettujen kattojen rungot. Näiden alueiden päällä olevat ontelolaattojen saumat ja onteloiden kuivattamiseksi poratut vesireiät oli kitattu umpeen akryylillä jo aiempaa painekoetta varten. Kittaukset tarkistettiin ja varmistettiin, että akryyli oli myös kuivuttuaan pysynyt ilmatiiviinä. Kattojen yläpuolella oli myös joitakin läpivientejä sähköputkille. Nämä läpiviennit oli valettu aiemmin umpeen. Valu ei ollut onnistunut aivan täydellisesti, joten valujälkeä jouduttiin paikkailemaan hieman akryylillä. Näin läpivienneistä saatiin ilmatiiviitä.

Alakattoja ei tule asuntoihin niiden koko alalle. Suurin osa katoista tasoitetaan ja maalataan. Tasoite ja maalit toimivat ilmatiiviinä rakennekerroksena, jotka estävät vuodot vesireikien ja ontelolaattojen saumojen kautta. Tasoitetoita ei oltu tehty mitattavassa asunnossa tiiviysmittausta tehdessä, mutta vesireiät ja ontelolaattojen saumat oli kitattu umpeen akryylillä jo ensimmäistä painekoetta varten (Kuva 17 ja kuva 18).



Kuva 17. Alakattorunko ja kipsiotsa mitattavassa asunnossa. Otsan sisäpuolella olevat vesireiät ja ontelolaattojen saumat kitattiin akryylillä joka asunnossa. Ulkopuolella olevat tiivistyvät maalarin tehdessä tasoite- ja maalaustöitä.

Varsinainen tiivysmittaus ajettiin standardin SFS-EN 13829 2000 mukaisesti. IV-kanavat ja viemärit tulpattiin. Muuta tulpattavaa asunnossa ei ollutkaan. Testi ajettiin 30, 40, 50, 60 ja 70 pascalin alipaineissa. Tulokseksi saatiin n_{50} 0,3 l/h (0,2510), ja q_{50} 0,2 m³/hm² (0,183). Tulos on erinomainen. Kohteen ilmatiiveysvaatimus on n_{50} 0,6 l/h. Mitään merkittäviä ilmanvuotoja ei asunnosta löytynyt. Tiivysmittaus osoitti selvästi, että ensimmäisen mittauksen perusteella havaitut puutteet voidaan vielä tässä vaiheessa korjata helposti ja erittäin tehokkaasti, kohteen ilmatiivyyden karsimatta. Samalla myös todettiin kuinka pienestä vaadittavan ilmanvuotoluvun saavuttaminen voi olla kiinni. Hyvä ilmatiivys vaatii huolellisuutta ja tarkkuutta kaikilta ammattiryhmiltä, rakentamisen jokaisessa vaiheessa.



Kuva 18. Alakattojen päälle jäävät kittaukset. Kaikki onteloiden kuivattamista varten poratut reiät on tukittu akryylillä, samoin kuin ontelolaattojen sauma.

4.4.3 Tiiviysmittaus 9.4.2014

Kolmannessa tiiviysmittauksessa mitattiin kaksi asuntoa. On suotavaa, että kerrostalojen tiiviysmittauksia tehtäessä valitaan mitattavaksi mahdollisimman paljon niitä asuntoja, joilla on eniten seinäpinta-alaa talon ulkoseinillä. Niinpä mitattavaksi valittiin tällä kertaa kaksi päätyasuntoa, yksi ensimmäisestä kerroksesta ja yksi ylimmästä eli viidennestä kerroksesta.

Ensimmäisen kerroksen asunnossa oli tehty maalaus- ja tasoitetyöt. Asunnosta puuttuivat lattian pintatyöt, kalusteasennukset, sähkötyöt pintojen osalta ja märkätilojen pintatyöt. Puhallin asennettiin jälleen rappukäytävään johtavan oven paikalle. IV-kanavia ei tulpattu, sillä niissä oli rakennusaikaiset suojat jotka todettiin pitäviksi merkkisavulla.

Asunnossa tehtiin tiiviysmittaus standardin SFS-EN 13829 2000 mukaisesti. Lattian ja ulkoseinän toisiinsa liittävässä valuissa havaittiin muutamia vuotokohtia, jotka vaikuttivat selkeästi tiiviysmittauksen tulokseen (Kuva 19). Kun mahdollisia vuotokohtia alettiin paikantaa manuaalijolla 50 pascalin alipaineessa, ilmanvuotoluvuksi n_{50} saatiin 0,6. Tämä on kohteen vaatimusten rajoilla.

Vuotoja löytyi vain lattioiden juurivalusta. Esimerkiksi aiemmin ensimmäisessä kerroksessa ongelmia aiheuttaneet Sewatek-asennukset todettiin hyvin pitäviksi. Vuotokohdat korjattiin yhtä lukuun ottamatta akryylillä ja valokuvattiin. Korjaamatta jätetty vuoto oli varsin hankalassa paikassa (kuva 20). Kun vuodot oli korjattu, ajettiin tiiviysmittaus ja määritettiin asunnolle ilmanvuotoluku.



Kuva 19. Esimerkki ilmavuotokohdasta ensimmäisen kerroksen asunnossa. Seinän juurivalu on puutteellinen.



Kuva 20. Mittauksessa havaittiin ilmavuoto väliseinän ja ulkoseinän välissä. Korjausta varten väliseinää olisi pitänyt piikata pois alareunastaan. Korjaus toimenpiteet jätettiin toistaiseksi tekemättä, ja niiden tarve kartoitetaan myöhemmin uudelleen.

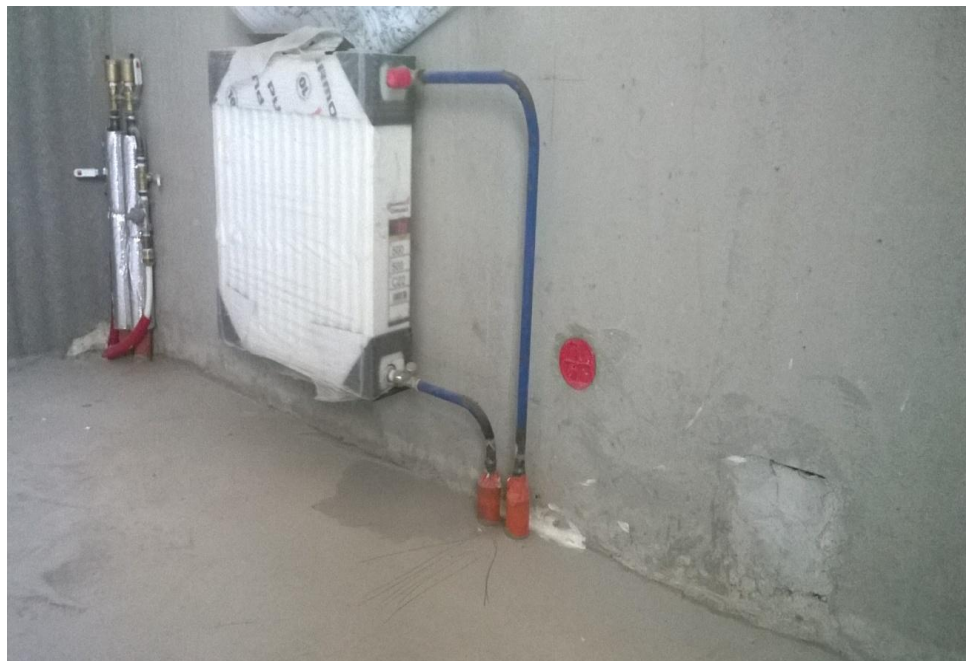
Varsinaisessa tiiviysmittauksessa törmättiin ensimmäistä kertaa laitteiston aiheuttamaan ongelmaan. Kuten mittauksen kulkua käsittelevässä luvussa 3.1.4 kerrottiin, puhaltimen läpi kulkevaa ilmamäärää voidaan säädellä niin sanotuilla kuristusrenkailla. Mittaajan on valittava rengas asunnon il-

matilavuuden, ennakoidun vuotoluvun ja mittausohjelman antamien ohjeiden mukaan.

Kun mittausta ajetaan tietokoneelta, ohjelma kertoo, koska rengas pitää vaihtaa. Rengas vaihdetaan suurempaan jos puhallin ei pysty tuottamaan valitulla renkaalla toivottua paine-eroa. Rengas vaihdetaan pienempään, jos puhaltimen läpi kulkeva ilmamäärä on niin pieni, ettei laitteisto pysty mittaamaan sitä tarkasti. Mitattavassa asunnossa ilmamäärä oli juuri kahden kuristusrenkaan välimaastossa. Pienemmällä riittävää paine-eroa ei saatu aikaan, ja suuremmalla ilmamäärä oli liian pieni. Tämä aiheutti normaalia suuremman virhemarginaalin ja erittäin huonon korrelaatiokertoimen (91) ilmavuotokäyrälle. Mittauksesta voitiin kuitenkin todeta, että asunto täytti sille asetetut tiiviysvaatimukset. Ilmanvuotoluvuiksi saatiin $n_{50} = 0,5$ (0,455) 1/h ja $q_{50} = 0,4$ (0,374) m³/h/m². Mittaustuloksesta huomataan selkeä parannus ennen vuotokohtien tukkimista saatuun arvoon.

Seuraavaksi laitteisto siirrettiin viidenteen kerrokseen ja suoritettiin mittaus sielläkin päätyasuntoon. Laitteisto asennettiin aiempaan tapaan rappukäytävään johtavan oven paikalle. Yläkerroksissa oltiin eri työvaiheessa kuin alhaalla. Tasoite- ja maalaustyöt puuttuivat, ikkunoiden ja ovien karmien liitokset oli eristetty vain uretaanilla, alakattorungot oli tehty, ja koteloinnit vain osittain. Näin ollen elementtien saumat ja vesireiät tiivistettiin akryylillä. Myös kaikki kattoon tehdyt läpiviennit tukittiin akryylillä.

Asunnossa toimittiin mittauksen suhteen samalla tavalla kuin alakerrassa. Ensin laitteistoa ajettiin manuaaliajolla ja luotiin asuntoon 50 pascalin alipaine. Sitten alettiin kartoittaa mahdollisia ilmavuotoja. Tässä vaiheessa ilmanvuotoluku n_{50} oli 0,4 (0,44) 1/h. Ilmavuotoja löytyi jälleen seinäelementtien juurivaluista (Kuva 21). Vuodot oli onneksi helppo paikata akryylillä.



Kuva 21. Ilmavuotokohta paikattuna patteriputkien takana. Putket on asennettu paikalleen Sewatek-asennusosien avulla. Niiden osalta läpiviennit olivat pitävät.

Patteriputkien läpiviennit todettiin jälleen pitäviksi, samoin kuin aiemmissa mittauksissa päänvaivaa tuottaneet pienten kipsiseiniä juuret. Kun kaikki mahdolliset läpiviennit oli todettu pitäviksi ja kaikki löydetty ilma-vuotokohdat oli paikattu, voitiin ajaa varsinainen tiiviysmittaus ja määrittää ilmanvuotoluku.

Tällä kertaa myöskään kuristusrenkaat eivät aiheuttaneet ongelmia. Ilmanvuotoluvuiksi saatiin $n_{50} = 0,3$ (0,2955) 1/h ja $q_{50} = 0,2$ (0,232) $m^3/h/m^2$. Tulokset olivat erittäin hyviä ja n_{50} -luku alittaa kohteen ilmatiiviysvaatimuksen $n_{50} = 0,6$ 1/h.

Kaikki mittaustulokset kohteessa olivat todella hyviä. Tässä vaiheessa rakennusprojektia voidaan olla luottavaisin mielin. Varsinaiset viralliset tiiviysmittaukset tehdään kohteen valmistuttua syyskuussa 2014. Mittaukset suorittaa VTT. Kuitenkin jo tässä vaiheessa voidaan olla kohtuullisen varmoja siitä, että ilman todella suuria ongelmia Mestaritorppa tulee täyttämään sille asetetut laatuvaatimukset, sekä rakennustyön laadun että ilmanvuotoluvun suhteen.

5 POHDINTA

Rakennusmääräysten muuttuessa energiatehokkaat rakennusmenetelmät ja ratkaisut tulevat myös Suomessa pakollisiksi. Jo nyt on toteutettu monia kohteita, jotka täyttävät nämä tulevaisuuden nykyistä tiukemmat vaatimukset. Ratkaisut ovat kaikkien ulottuvilla, nyt ne pitää vain saada laajempaan käyttöön. Monesti myös tietämättömyys energiatehokkaasta ja ilmatiiviistä rakentamisesta aiheuttaa turhaa pelkoa ja epäluuloa.

Suurin ongelma rakennusalalla on jo pitkään ollut monien alan työntekijöiden heikko asenne. Kun tähän lisätään kiristynyt taloudellinen tilanne ja aina kiristyvät aikataulut, rakentamisen laatu on heikentynyt. Tulevaisuudessa sen on kuitenkin päinvastoin parannuttava.

Energiatehokasta rakentamista voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti ja myös hyvällä aikataululla, jos rakentamisen kaikki osapuolet ovat siihen valmiita. Tilaajalla täytyy olla realistinen näkemys siitä, mitä kohteen rakentaminen maksaa ja missä aikataulussa projekti voidaan tehdä. Urakoitsijoiden on omalta osaltaan oltava valmiita ottamaan vastuu siitä, että työt valmistuvat ajallaan ja laadukkaasti. Tämä vaatii riittävän määrän ammattitaitoista ja asiantuntevaa henkilökuntaa. Nyt monet rakentajat eivät yksinkertaisesti tiedä, mitä kiristyvät rakennusvaatimukset todellisuudessa tarkoittavat, ja mitä energiatehokas ja ilmatiiviiden vaatimukset täyttävä rakentaminen on.

Koko rakentamisen ketjun on siis oltava mukana muutoksessa. Myös tulevaisuuden rakentajat tarvitsevat hyvän koulutuksen ja tietoa uusista vaatimuksista. Tämä osaaminen siirtyy heidän mukanaan työelämäänsä. Jo nyt työssä olevat rakentajat tarvitsevat myös tietoa ja koulutusta.

Rakennusten tiiviydenmittaajat ja lämpökuvaajat voivat osaltaan jakaa tietoa tehdessään mittauksia ja tutkimuksia työmaalla. He ovat puolueettomia tarkkailijoita, joiden tehtävänä on valvoa rakentamisen laatua, ja että rakennusmääräyksiä noudatetaan. Tässä työssä he voivat samalla myös jakaa tietoa muille toimijoille ja tahoille. Monet kohteet on jo toteutettu varsin esimerkillisesti, ja näistä saatuja tietoja voidaan käyttää tulevaisuudessa apuna uusien kohteiden suunnittelussa.

Mittaajat näkevät työssään nämä kohteet, sekä myös ne joissa on tehty valitettavan monia virheitä. Molemmista voidaan ottaa oppia. Tiiviydenmittaajien ja lämpökuvaajien soisi olevan mukana nykyistä aktiivisemmassa roolissa jo rakennustyömaiden alusta asti. He voivat valvoa työn laatua tasaisin väliajoin, ja paikantaa mahdolliset puutteet ja virheet ennen kuin niiden korjaaminen on jo liian hankalaa ja kallista. Näin myös ne rakentajat, joilla ei ole niin paljon kokemusta energiatehokkaasta rakentamisesta, saavat oppia käytännön työn kautta.

Tiiviysmittaus ja lämpökuvaus ovat rakentamisen valvontamenetelminä erittäin hyviä. Ilmatiiviysvaatimukset laskevat koko ajan. Kun tiiviyttä mitataan säännöllisesti läpi koko projektin, vältetään ikäviltä yllätyksiltä rakennuksen valmistuessa. Ilmavuotoluku on selkeä ja absoluuttinen mittausulos, joka kertoo rakentamisen laadusta. Sitä ei voi väärentää, eikä vaadittavan ilmatiiviysluvun saavuttamiseen ole oikotietä. Rakennusprojekti on toteutettava tarvittavien vaatimusten ja määräysten mukaisesti ja laadukkaasti. Lopulta rakennusten tiiviyden mittaaja käy toteamassa, onko projekti näin toteutettu.

Tiiviysmittaus ei ole menetelmänä kohtuuttoman kallis eikä aikaa vievä. Siinä ei myöskään kajota rakenteisiin, mikäli rakennus on toteutettu hyvin. Lisäksi mittaaja on puolueeton. Mahdollisissa riitatapauksissa tiiviysmittauksen avulla voidaan löytää rakennusvirheitä, ja näin auttaa selvittämään tilannetta ja vastuukysymyksiä.

Tiiviysmittaaja käyttää usein apunaan lämpökameraa. Myös pelkkä lämpökamerakuvaus on helppo ja vaivaton tapa tarkkailla rakentamisen laatua. Tiiviysmittaukseen verrattuna kuvauksen huono puoli on se, ettei sitä voida tehdä vuoden ympäri. Kesällä ei saada tarpeeksi suurta lämpötilaeroa rakennuksen vaipan yli, jotta kuvaus voitaisiin suorittaa. Kylmempinä vuodenaikoina lämpökameroilla voidaan kuitenkin osoittaa helposti puutteet rakentamisen laadussa. Toki menetelmä toimii myös toisinpäin, laadukas rakentaminen näkyy myös lämpökameran kuvissa. Lämpökamerakuvaus ei ole kohtuuttoman kallis, eikä vie paljoa aikaa.

Lämpökameran käyttö ja kuvien tulkinta on vaativampaa kuin rakennusten tiiviysmittausten tekeminen. Siksi varsinkin lämpökuvauksen tekijän on oltava rakennusalan ammattilainen, joka hallitsee rakennusfysiikan. On suositeltavaa, että sekä lämpökuvauksen että tiiviysmittauksen suorittaa henkilö, jolla on voimassa oleva VTT:n henkilösertifikaatti kyseiseen tehtävään, merkinä oman ammattinsa osaamisesta.

Kummankin menetelmän ongelma on juuri se, ettei niiden käyttäjiltä vaadita minkäänlaista koulutusta. Kuka tahansa voi ostaa tiiviysmittauslaitteiston tai lämpökameran, ja alkaa markkinoida kuvauksia ja mittauksia. Jos niitä tekevällä henkilöllä ei ole tarpeeksi tietoa rakentamisesta ja rakennusfysiikasta, virhearviointeja tulee helposti. Nämä johtavat pahimmillaan täysin toimivien ja terveiden rakenteiden purkamiseen. Tämä taas nakertaa molempien menetelmien uskottavuutta ja vaikeuttaa niiden hyvää käyttöä rakentamisen valvonnassa.

Vaikka koulutusta on tarjolla ja oman osaamisensa voi todistaa henkilösertifikaatilla, vain pieni osa mittaajista pitää sertifikaattia hallussaan. Syyt tähän tilanteeseen eivät ole tiedossa. Sertifikaatin voimassa pitämiseen liittyy kohtalaisen paljon työtä. Tämä lienee yksi syy siihen, että niiden suosio ei ole suurempi.

Tämä johtaa varsin huonoon tilanteeseen niiden kannalta jotka tarvitsevat tiiviysmittausten ja lämpökuvausten tekijöitä. Valitettavasti vastuu ammattitaitoisien työn edistämisestä on tilaajalla, jonka on itse varmistuttava mittaajan ammattitaidosta. Tämä tilanne on väärin tilaajaa kohtaan. Varsinkin yksityishenkilön voi olla vaikea tietää, mitä mittaukset vaativat niiden tekijältä. Rakennusprojektiin liittyy valtava määrä uutta tietoa perusrakentajalle, jolla ei ole kokemusta alalta. Kun siihen päälle lisätään pelkoa herättävä termi ”pullotalo”, jonka tiiviys tulee asianmukaisesti testata, tietoa ja sen etsimistä voi olla liikaa.

Oikean tekijän avulla sekä tiiviysmittaus että lämpökuvaus ovat erittäin hyviä menetelmiä rakentamisen laadunvalvonnassa. Tämä voitiin todeta tämän opinnäytetyön edetessä. Ensimmäisessä mittauksessa todetut puutteet korjattiin kohtalaisen pienellä vaivalla. Rakennuksen ilmatiiviys ei kärsinyt, kun puutteet huomattiin mittauksien avulla tarpeeksi ajoissa. Kohteen ilmatiiviysluvut olivat huippuluokkaa korjaustoimenpiteiden jälkeen. Mikäli kyseiset puutteet olisi huomattu vasta, kun asukkaat olisivat jo muuttaneet taloon sisään, niiden korjaaminen olisi paisunut aikaa vieväksi ja erittäin kalliiksi urakaksi. Mittaukset kohteessa veivät aikaa vain neljä päivää. Tämä ei ole paljon kun verrataan koko rakennusprojektiin keston. Mittauksissa saatiin kuitenkin paljon arvokasta tietoa, joiden avulla korjaustoimenpiteet voitiin kohdistaa oikeisiin paikkoihin.

Käytännön työt osoittivat lisäksi sen, kuinka huolellisesti ja tarkasti rakennustyö on tehtävä, jotta rakennuksesta tulee laadukas ja energiatehokas. Missään kohtaa ei ole varaa tehdä omia töitään huolimattomasti. Töiden määrä ei kuitenkaan lisääntynyt merkittävästi, kaikki työt on vain tehtävä tarkasti ja tehokkaasti, ammattitaitoisia tekijöitä arvostaen. Suomessa voidaan päästä vielä melko helposti kiinni energiatehokkaaseen ja laadukkaaseen rakentamiseen. Omaan työhön on suhtauduttava asianmukaisella arvostuksella, ja rakennustyön tekijöille on tarjottava riittävä määrä tietoa energiatehokkaasta ja ilmatiiviistä rakentamisesta. Tieto ja taito yhdistettynä ammattitaidon arvostukseen johtavat varmasti hyviin ja ympäristöystävällisiin tuloksiin.

LÄHTEET

Bionova Consulting 2013. Suomen ilmastoystävällisin kerrostalo ja toimisto 2013 – kilpailun tulosten esittely. 10.9.2013. Viitattu 3.3.2014.

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus – rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Fluke 2013. Fluke Ti(R) 1XX-sarjan käyttökoulutus. LEVEL 1-taso tai vastaava lämpökamerakoulutus.

Green Building Council Finland 2013. Lehdistötiedote 24.10.2013. Viitattu 3.3.2014.

Ilmatieteenlaitos n.d. Palvelut yrityksille. Viitattu 6.2.2014
<http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>

Järvenpään Mestariasunnot Oy 2014a. Mestaritorppa - harjannostajaismateriaali. Viitattu 22.3.2014.

Järvenpään Mestariasunnot Oy 2014b. Yritysesittely. Viitattu 22.3.2014.

Järvenpään Mestari toiminta Oy 2013. Torpantie 33 esittely. Viitattu 3.3.2014.

Kurnitski, J. 2012. Energiamääräykset 2012 – opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Kauppinen, T. & Paloniitty, S. 2011. Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

Paloniitty, S. 2013. Rakennusten tiivysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Rakennusteollisuus RT ry. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus – rakenteiden lämpötekniinen toimivuus. RT-kortti 14-10850.

RATEKO n.d. Henkilösertifiointi- ja pätevyitysmiskoulutukset.
<http://www.rateko.fi/RATEKO/Koulutusohjelmat/Henkil%C3%B6sertifiointi-+ja+p%C3%A4tev%C3%B6itymiskoulutukset/Rakennusten+tiiviyden+mittaaja/>

RATEKO 2013a. Kurssimateriaalit. Rakennusten lämpökuvaus - henkilösertifikaattiin johtava koulutus.

RATEKO 2013b. Kurssimateriaalit. Rakennusten tiivysmittaus – henkilösertifikaattiin johtava koulutus.

Sisäilmayhdistys n.d. Perustietoa sisäilmasta. Viitattu 5.2.2014.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/paasivuista-toinen/terveysvaikutukset/>

Vattenfall 2013. Energianeuvonta. Viitattu 5.2.2014.
<http://www.vattenfall.fi/fi/keskimaarainen-kulutus.htm>

VTT 2010. Palvelut. Viitattu 6.2.2014.
http://www.vttextpertservices.fi/service/certification/tietoa_henkilosertifikaatin_hakijalle.jsp

Ympäristöministeriö 2014. Maankäyttö ja rakentaminen. Viitattu 4.2.2014
http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Ympäristöministeriö 2013. Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. Viitattu 5.2.2014.
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ ja_ ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus

TIIVIYSMITTAUSPÖYTÄKIRJA

ACARENT OY

027.05.2014

ILMATIIVIYDEN TESTIRAPORTTI

Noudattaa standardia SFS-EN 13829

Kohteen tiedot

Rakennuksen osoite: Mestaritorppa Torpantie33 04430Järvenpää Testaaja: JonnaHeinonen Yritys: ACARENT OY www.acarent.fi	Rakennuksenkorkeus: m Rakennusentilavuus: 112m³ Vaipankokonaispinta-ala: 154,1m² Rakennuksen tuulialttius: Highly protected building Rakennuksen mittojen virhe: 2%
---	--

Laitteisto - Puhallin: Retrotec 1000 , SN: 1FN001723 - Painemittari: Retrotec DM-2 , SN: 209605

Tulos

$$N_{50} = 0,2510 \text{ 1/h}$$
$$q_{50} = 0,183 \text{ m}^3/\text{hm}^2$$

Yhdistetyt tulokset	Arvo	Vaihteluväli		Epävarmuus
<i>Ilmavirtaus 50 Pa, V_{50} [m³/h]</i>	28,10	26,75	29,55	+/-4,9%
<i>Ilmanvuotoluku N_{50} [1/h]</i>	0,2510	0,2375	0,2645	+/-5,3%
<i>Ilmanvuotoluku q_{50} [m³/hm²]</i>	0,183	0,173	0,192	+/-5,0%

Lisätiedot:

Rakennusaikainen mittaus.

Depressurize ALIPAINE

Päiväys: 2014-03-06

Olosuhteet: Ilmanpaine: 101,3 kPa. Tuulennopeus: 0: Calm

Lämpötilat: Alussa: sisällä 20 °C, ulkona 20 °C. Lopussa: sisällä 20 °C, ulkona 20 °C.

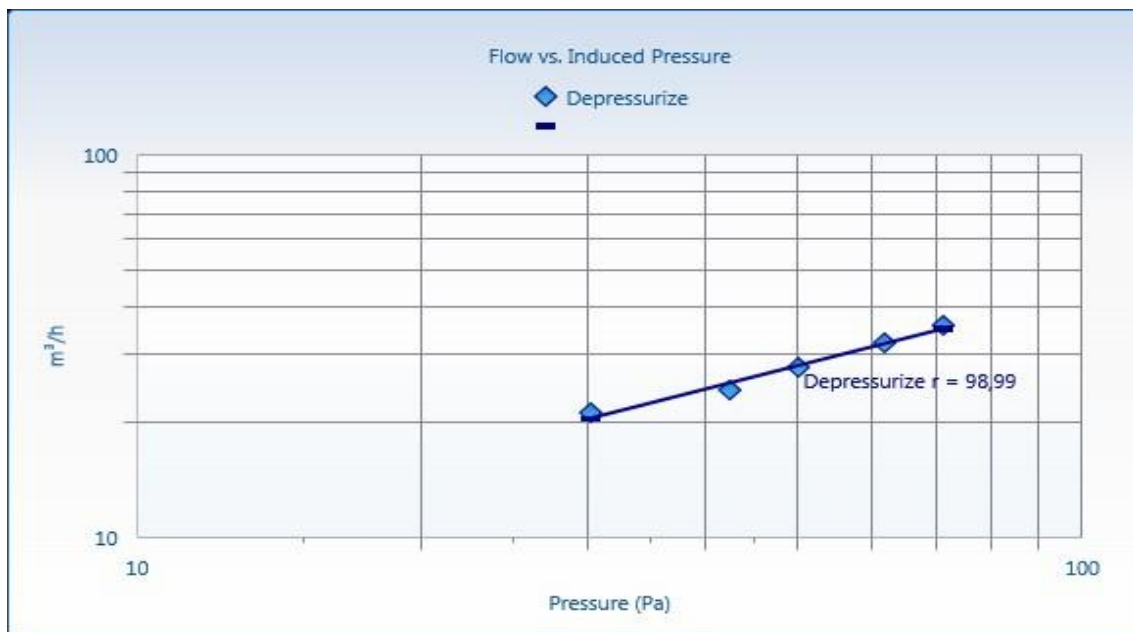
Vallitseva paine alussa [Pa]	-0,09	0,00	0,21	0,28	0,45	0,46	0,60	0,98	1,30	1,54		
Testipaine [Pa]	-29,8	-42,0	-49,7	-61,2	-70,7							
Vallitseva paine lopussa [Pa]	-0,13	0,08	0,05	0,19	0,28	0,42	0,39	0,38	0,39	0,55		
Puhallinpaine [Pa]	36	46,8	61,8	82,5	100,6							
Virtaus, V_v [m ³ /h]	21,2	24,2	27,9	32,3	35,7							
Korjattu virtaus, V_{env} [m ³ /h]	21,15	24,21	27,87	32,28	35,69							
Virhe [%]	3,1%	-4,5%	-1,0%	0,7%	1,8%							

Vallitsevan paineen keskiarvot: alussa [Pa] ΔP_{01} 0,57, ΔP_{01-} -0,09, ΔP_{01+} 0,65, lopussa [Pa] ΔP_{01} 0,26, ΔP_{01-} -0,13, ΔP_{01+} 0,30

Depressurize Mittaustulosten koonti

	tulokset	95% varmuus		epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V_{50} [m ³ /h]	28,10	26,75	29,55	+/-4,9%
Ilmanvuotoluku 50 Pa, n_{50} [1/h]	0,2510	0,2375	0,2645	+/-5,3%
Ilmanvuotoluku 50 Pa, q_{50} [m ³ /h.m ²]	0,183	0,173	0,192	+/-5,3%
Ominaisvuoto 50 Pa, w_{50} [m ³ /h.m ²]	0,663	0,627	0,698	+/-5,3%

Mitattu paine ja virtaus / Ilmavuotokäyrä










TIIVIYSMITTAUSRAPORTTI

TIIVIYSMITTAUSRAPORTTI

Mestaritorppa
Torpantie 33
04430 Järvenpää



TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS		q ₅₀	n ₅₀
Alle 0,6	A 	0,2	0,3
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 		

Tutkija Jonna Heinonen

VTT-C-10880-31-14



SISÄLLYSLUETTELO

1. KOHTEEN TIEDOT	3
2. MITTAUKSEN TIEDOT JA JÄRJESTELYT	3
3. TULOKSET	3

LIITTEET

Tiivysmittauspöytäkirja



1. KOHTEEN TIEDOT

TALOTYYPPI: Kerrostalo
OSOITE: Torpantie 33
POSTI NRO: 04430
PAIKKAKKUNTA: Järvenpää

PINTA-ALA: 42,44m²
VAIPAN ALA: 154,1m²

TILAAJA: Mestariasunnot Oy
OSOITE: Mannilantie 43
POSTI NRO: 04400

MITTAAJA: Jonna Heinonen
YRITYS: Acarent Oy
OSOITE:

ULKOSEINÄ: betoni/SPU-elementti
YLÄPOHJA: ontelolaatta
ALAPOHJA: ontelolaatta
IV: koneellinen poisto ja tulo

TILAVUUS: 112,04m³
RAK.VUOSI: rakenteilla

PUH NRO:
SÄHKÖPOSTI:
PAIKKAKUNTA: Järvenpää

PUH NRO:
SÄHKÖPOSTI:
MITTAUSPÄIVÄ: 6.3.2014

3. MITTAUKSEN TIEDOT JA JÄRJESTELYT

SISÄLÄMPÖTILA: 20 C
TUULEN NOPEUS: 0 m/s
PAINE-ERO: 0 Pa

PUHALLIN: Retrotec 1000
SN: 1FN001723
LÄMPÖMITTARI: Fluke 922
SN: 2683880

ULKOLÄMPÖTILA: 20 C
TUULEN SUUNTA:
ILMANPAIN: 101,3 kPa

PAINEMITTARI: Retrotec DM-2
SN: 209605
LÄMPÖKAMERA: Fluke Ti105
SN: 3889825

Mittaus suoritettiin yhdessä kerrostaloasunnossa (as nro 5), rakennusaikaisena mittauksena. Puhallin asennettiin rappukäytävään johtavan oven paikalle, näin voitiin tutkia parvekeoven tiiveys. Paine-eroa ulkovaipan yli ei mitattu. Kohteen suuret laskettiin paikan päällä kahden henkilön toimesta. Laskelmien virheprosentiksi arvioitiin 2%. IV-kanavat ja viemärit oli tulpattu mitattavasta asunnosta. Asuntoon oli tehty alakatot osittain, koteloinnit, läpivientien tukinnat, lattiaplaano ja ovien ja ikkunoiden karmien tiivistykset uretaanilla. Myös elementtien saumavalut oli tehty. Pintatyöt puuttuivat.

4. TULOKSET

Kohteessa ei havaittu mainittavia ilmavuotoja. Tulos alittaa kohteelle asetetun ilmatiiveysvaatimuksen, n₅₀-luku 0,6 1/h.

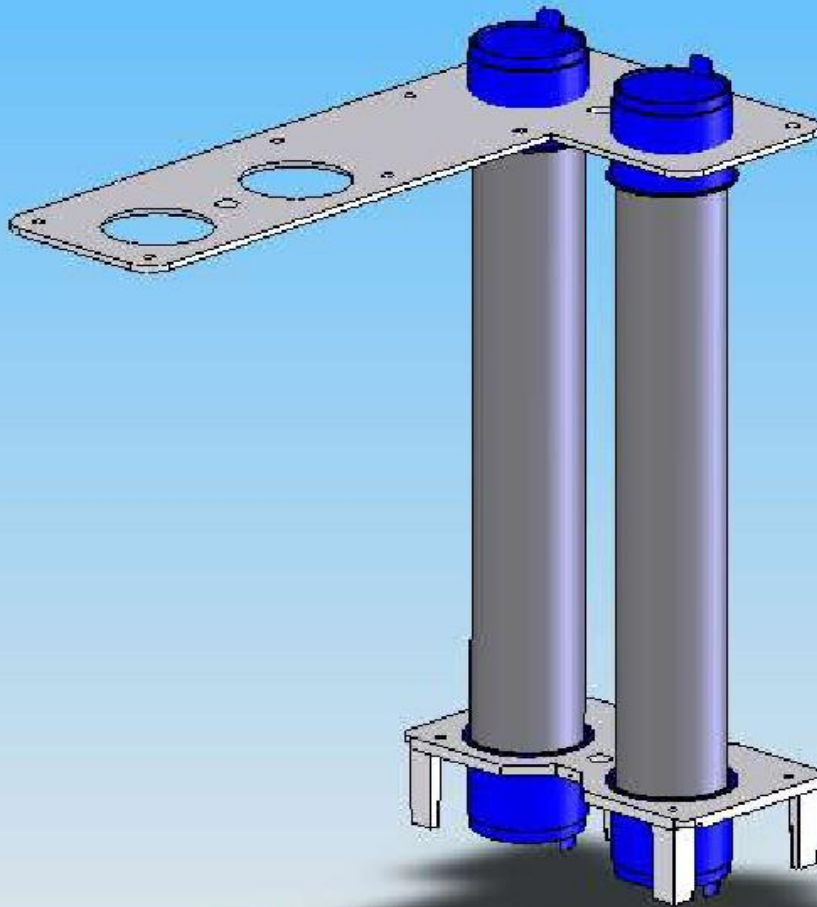
Lahdessa 9.3.2014
Jonna Heinonen

SEWATEK HOLVILÄPIVIENTI ESITE

LÄPIVIENTITEKNIIKAN EDELLÄKÄVIJÄ **SEWATEK**

TOIMINTAVARMA LÄPIVIENTI
LÄMPÖJOHDOILLE

HOLVILÄPIVIENNIT ONTELOLAATASTOILLE



SEWATEK

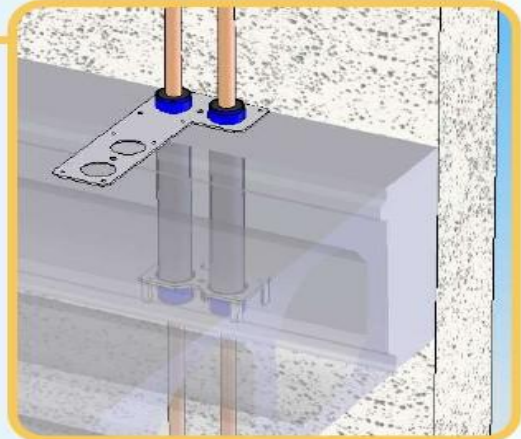


Sewatek Oy
Lahdentie 27
04600 Mäntsälä

puh. 040 768 0940
fax. (019) 687 7080
www.sewatek.fi

YKSINKERTAISESTI SEWATEK

Läpivientivaraukset valussa jäivät historiaan...



HOLVILÄPIVIENNIT ONTELOLAATASTOILLE



Eri työvaiheiden toisistaan johtuva riippuvuus vähenee



**TYLSÄ TUOTE.
SUOSITTELEMME
SEWATEK-HOLVILÄPIVIENTIÄ
VAIN RAKENTAJILLE
JOTKA EIVÄT PIDÄ
YLLÄTYKSISTÄ.**

SEWATEK



Sewatek Oy
Lahdentie 27
04600 Mäntsälä

puh. 040 768 0940
fax. (019) 687 7080
www.sewatek.fi

Lähde:

Sewatek Oy n.d. Holviläpivienti ontelolaatastoille. Viitattu 20.2.2014.

http://www.sewatek.fi/documents/holvilapivienti_ontelolaatta/sewate_holviont_esite.pdf