

Matias Suomela

Toimistotalon ilmatiivyyden mittaaminen

Opinnäytetyö

Syksy 2010

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Matias Suomela

Työn nimi: Toimistotalon ilmatiiviiden mittaaminen

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 9

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda NCC Rakennus Oy:lle toimintamalli toimistotalon ilmatiiviiden mittaamiseen. Tutkimuksessa keskityttiin rakennuksen omalla ilmanvaihtolaitteistolla tehtävään mittaukseen. Tutkimuskohteena oli pelkästään toimitilarakentamisen uudishankkeita.

Lähdemateriaalina käytettiin rakennuskirjallisuutta sekä yleisiä rakennusmääräyksiä ja -ohjeita. Käytännön kokemuksia ja teknistä tietämystä haettiin osallistumalla Aalto-yliopiston Teknillisen Korkeakoulun tekemään mittaukseen. Ilmatiiviysmittauksia suoritettiin yhdeksään kohteeseen pääkaupunkiseudulla.

Insinööriyön tuloksena syntyi toimintamalli ilmatiiviysmittauksen suorittamiseen. Lisäksi tehtiin raportointimalli sekä luotiin toteutuksen aputyökaluiksi mittaussuunnitelma, yhteystietokaavake ja varoituslomake.

Asiasanat: Rakennusten ilmatiiviys, toimistotalo, mittaaminen.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

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

Author: Matias Suomela

Title of the thesis: Measuring air leakage in office buildings

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2010 Number of pages: 46 Number of appendices: 9

The aim of this study was to create a working model for measuring air leakage in office buildings. The study was done for the Nordic Construction Company Ltd and it concentrated on using ventilation system fans of the building. It concentrated only on new office buildings.

The sources for this study consist of building literature, general regulations and instructions. Practical and technical information was gathered by taking part in a measuring which was controlled by Aalto University School of Science and Technology. The measurements were carried out in nine buildings in the metropolitan area.

The study created a working model for measuring air leakage. The report model was made and additional tools like a measuring plan, a contact address form and a warning sign were created.

Keywords: Building air leakage, office building, measuring.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA	8
2.1 Tutkimusongelma.....	8
2.2 Tutkimusmenetelmät.....	8
2.3 Tutkimustavoite ja aiheen rajaus.....	9
2.4 Tutkimuksessa käytettävät mittauslaitteet.....	9
3 TIIVIYDEN TEORIAA	12
3.1 Yleistä tiiviydestä.....	12
3.2 Tiiviyden varmistaminen.....	14
3.3 Valvonta hyvän ilmanpitävyyden kulmakivenä	15
4 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	17
4.1 Standardi SFS - EN 13829.....	17
4.1.1 Mittalaitteiden vaatimukset.....	17
4.1.2 Mittausjärjestelyt	18
4.1.3 Mittauksen suorittaminen	19
4.1.4 Tulosten esittäminen ja raportointi	20
4.2 Ohje RakMk D5.....	24
5 MITTAUSPROSESSIN VAIHEET	26
5.1 Kohteeseen tutustuminen ja mittaussuunnitelman laatiminen.....	26
5.2 Mittauksen esivalmistelut	27
5.3 Ilmatiiviyden mittaaminen.....	28
5.4 Yleisimpien vuotokohtien paikantaminen	29
5.5 Lämpökuvaus.....	30
5.6 Raportointi.....	32

6 TULOSTEN ESITTÄMINEN JA ANALYSOINTI	35
6.1 Vuotopaikkojen etsiminen	35
6.2 Lämpökuvaus.....	37
6.3 Mittauksen raportointi.....	38
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN.....	42
8 YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET.....	45
LIITTEET.....	46

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Ilmavuotoluku	Kertoo montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n ali- tai ylipaine. Symbolina on n_{50} ja yksikkönä [1/h].
Lämpökuvaus	Muutetaan kohteen lämpösäteilyn voimakkuus lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaalisesti reaaliajassa. Kuvauksessa mitataan materiaalin pintalämpötiloja.
Lämpötilaindeksi	Lukuarvo, joka kuvaa rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Indeksillä lasketaan kaavan avulla ja on laaduton suure.
Tilavuusvirta	Ilmoittaa kuinka suuri ilmamäärä virtaa tietyn ajanjakson aikana. Yksikkönä käytetään [m^3/s].

1 JOHDANTO

Nykyaikaisen rakentamisen haasteena on tuottaa haluttua laatua yhteistyössä tilaajan kanssa. Usein ongelmia tulee siinä vaiheessa, kun urakoitsijan ja tilaajan laadulliset näkemykset eriävät toisistaan. Tavoitteena on tuottaa sellaista laatua, johon asiakas on tyytyväinen. Tiukentuneet energiamääräykset ja rakentamisen kova kilpailu tekevät tavoitteen saavuttamisesta koko ajan haastavampaa. Ilmatiiviysmittaus on erinomainen mittari, jolla saadaan helposti tarkastettua rakennuksen ulkovaipan laatu. Mittausta on kehitelty paljon viime vuosien aikana ja määräyksiä on myös kiristetty sen myötä. Erityisesti asuinrakennuksiin on tehty kattavia tutkimuksia. Laki ei ole vielä velvoittanut tekemään ilmatiiviysmittausta. Ainoastaan A-energialuokan rakennuksen edellytyksenä on mittauksen suorittaminen. Rakennuttajat ovat ymmärtäneet mittauksesta saavutettavan hyödyn ja lisänneet urakkasopimukseen kohdan, jossa urakoitsija veloitetaan tuottamaan tietyn ilmavuotoluvun arvon täyttävä rakennus. Tässä insinööriyössä selvitetään, miten ilmatiiviysmittaus saadaan tehtyä tilavuudeltaan suuriin rakennuksiin, joihin olemassa olevia mittauslaitteita on vaikea hyödyntää, esimerkiksi Blower Door ovipuhallin.

Tämän insinööriyön tilaajana on NCC Rakennus Oy:n toimitilarakentamisen urakoinnin yksikkö (TRU). Tutkimuksessa NCC:n edustajana toimi Kimmo Kärkkäinen. Tutkija on aloittanut yrityksissä työnohjohtajana ja halusi yhteistyössä esimiehensä kanssa löytää tutkimuksen kohteeksi sellaisen aiheen, joka palvelee tai kehittää suoraan työmaatoteutusta. Tutkimuksella lähdettiin ennakoimaan tuleviin uusiin määräyksiin sekä tilaajan toiveisiin. Tilavuudeltaan suurten rakennusten mittaamisesta ei ole vielä julkaistu merkittäviä tutkimustuloksia.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

2.1 Tutkimusongelma

Nykyajan tiukentuvat energiatehokkuusvaatimukset ovat herättäneet rakennusliik-
keet pohtimaan ilmatiiviyden merkitystä osana rakennesuunnittelua ja toteutusta.
NCC Rakennus Oy:ssä tuleviin määräyksiin on reagoitu myös suurempien raken-
nusten toteutuksessa, vaikka tiukentuvat määräykset ovatkin niiden osalta vasta
tulevaisuuden toteutuksen ongelmana. Ilmatiiviysmittaus on yksi merkittävistä työ-
kaluista laadunvarmistuksessa ja todisteena saavutetusta laadusta. Tähän tilai-
suuteen tarttui pääkaupunkiseudun TRU -yksikkö lähtiessään toteuttamaan tutki-
musta. Lyhenne TRU tulee nimestä toimitilarakentaminen urakointi, joka toteuttaa
nykyään suurimman osan kohteistaan neuvottelu-urakkoina. Merkittävimpänä on-
gelmana tutkimukselle voidaan pitää julkisen mittaustulosmateriaalin vähyyttä se-
kä yleisesti mittauksen vaatimaa käytännön tiedon puutetta suurista rakennuksis-
ta.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen suorittaminen vaatii perehtymistä niin ilmatiiviysmittaukseen kuin
myös rakennusten lämpökuvauksen tekniikoihin. Kirjallisena aineistona tutkimuk-
sessa käytettiin rakennusten ilmatiiviyttä ja lämpökuvaamista käsittelevää kirjalli-
suutta, ohjekortteja, standardeja, rakennusalan määräyksiä ja normeja sekä aiem-
pien tiiviysmittausten raportointia.

Tässä tutkimuksessa käytännön mittaaminen on merkittävä osa tutkimusta, mikä
pohjautuu tiedonkeruuseen ja kirjalliseen perehtymiseen aiheesta. Mittauksia teh-
tiin kahdeksassa kiinteistössä ja niistä kaksi raportoitiin kattavasti. Mittaustulokset
hyödynnettiin opinnäytetyössä käytännön esimerkkeinä. Mittauksen toteutukseen
haettiin osaamista osallistumalla Aalto-yliopiston Teknillisen Korkeakoulun LVI-
tekniikan laboratorion toteuttamaan NCC 3 -talon ilmatiiviysmittaukseen.

2.3 Tutkimustavoite ja aiheen rajaus

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, miten tilavuudeltaan suurten toimistotalojen ilmatiiviyden mittaaminen onnistuu, luoda pohja onnistuneen mittaamisen suorittamiselle sekä luoda keinot yleisimpien ilmapuototyyppien paikantamiseen. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin, vaativatko havaitut vuotokohtat korjaustoimenpiteitä tai jatkotutkimuksia. Tavoitteena oli myös luoda yksinkertaistettu ohje työmaita varten ilmatiiviyden merkityksestä, ohjeistaa mitä esivalmisteluja ilmatiiviysmittaus vaatii sekä tuoda esille se missä vaiheessa mittaus olisi aiheellista toteuttaa.

Työn tavoitteena oli myös lisätä tekijän tietotaitoa, jotta toimitilarakentamisen yksikköön saataisiin omaa osaamista mittausten suorittamisesta. Tutkimuksen yhtenä osana oli myös perehtyä lämpökuvaukseen ja luoda osaamista työmaan työntekijöiden laadunvalvontaan sen avulla.

Tutkimus keskittyi ainoastaan rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla tehtävään ilmatiiviyden mittaamiseen sekä vuotokohtien paikantamiseen. Työssä ei käyty läpi lämpökuvaamisen suorittamiseen liittyviä ohjeita tai määräyksiä, vaikka ne liittyvätkin oleellisesti tutkimuksen suorittamiseen. Työssä ei selvitetty havaittujen ongelmien korjaustoimenpiteitä. Tavoitteena oli ainoastaan kartoittaa ongelmat, jotta ne voitaisiin ottaa huomioon kaikissa työn vaiheissa suunnittelusta rakennuksen luovuttamiseen asti.

2.4 Tutkimuksessa käytettävät mittauslaitteet

Paine-eroa sisä- ja ulkoilman välillä sekä paine-eroa ilmanvaihtokoneen poistoilmapuhaltimen yli tutkittiin SwemaMan 60, Testo 510 ja Veloci Calc Plus -paineeromittareilla. Mittareiden mittausalue on 0...10 000 Pa ja niiden mittaustarkkuus on noin ± 1 %. Niiden suositeltu käyttölämpötila on 0...+50 °C. Kaikki mittaukset tehtiin normaaleissa sisälämpötiloissa. (Swema 2010; Yeint 2010; Raeco 2010.)



KUVIO 1a) Paine-eromittari SwemaMan 60 (Swema 2010.), 1b) Paine-eromittari Testo 510 (Yeint 2010.), 1c) Paine-ero-, kosteus-, lämpötila- ja virtausnopeusmittari TSI Veloci Calc Plus (Raeco 2010.).

Kosteutta ja lämpötilaa tarkkailtiin jokaisesta tutkittavasta kerroksesta. Ne mitattiin aina ennen lämpökuvauksen aloittamista. Mittauksessa käytettiin Rotronic:n valmistamaa Hygropalm 0 sekä TSI:n Veloci Calc Plus mittareita. Mittausalueet ovat lämpötilalla $-10\dots+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kosteudella $0\dots100\text{ }\%$ sekä mittaustarkkuus $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $\pm 3\text{ }\%$. (Teknocalor 2010.)



KUVIO 2. Kosteus- ja lämpötilamittari Rotronic HygroPalm 0. (Teknocalor 2010.)

Ilman virtausnopeutta mitattiin havaituista vuotokohdista. Mittarina käytettiin Air-flow TA7 mittaria, jonka mittausalue on $0\dots30\text{ m/s}$ ja tarkkuus on $\pm 0,024\text{ m/s}$. (Trykproevning 2010.)



KUVIO 3. Virtausnopeusmittari TSI Airflow TA7. (Trykproevning 2010.)

Lämpökuvausta tehtiin kahdella eri lämpökameralla, joiden ominaisuudet hiukan vaihtelevat. ThermaCAM P25 on tarkoitettu enemmän ammattikäyttöön ja sen ominaisuudet ovat selkeästi paremmat. InfraCAM 260M on hankittu pääasiassa yksikön omatoimista laadunvalvontaa varten. ThermaCAM:n aallonpituus on 8...12 μm , ilmaisimatriisi 320x240 kuvapistettä ja tarkkuus ± 2 °C. InfraCAM:n aallonpituus on 7,5...13 μm , ilmaisimatriisi 160x120 kuvapistettä ja tarkkuus ± 2 °C. (Infradex 2010.)



KUVIO 4a) Lämpökamera FLIR ThermaCAM P25, 4b) Lämpökamera FLIR InfraCAM 260M. (Infradex 2010.)

3 TIIVIYDEN TEORIAA

3.1 Yleistä tiiviydestä

Rakennusten ilmatiiviyden tutkimusta alettiin kehittää Suomessa 70-luvun loppupuolella. Suomessa tiiviyteen liittyen ei ole ollut suosituksia, ennen kuin rakentamismääräyksiin sisällytettiin energiatehokkuusvaatimukset. Rakennuksen lämmöntarvetta laskettaessa tarvitaan lähtötietona ilmavuotoluku eli n_{50} -luku. Uusien rakennusten osalta tätä lämmöntarvetta tarkastellaan rakennuslupaa haettaessa energiaselvitystä ja -todistusta varten sekä luovutusvaiheessa energiatodistuksen tietoja tarkistettaessa. (Ohjekortti 2008, 3.)

Vuoden 2010 alusta voimaan tulleiden rakentamismääräysten mukaan ilmanpitävyys kuuluu lämmönläpäisykertoimien ja lämmöntalteenoton ohella lämpöhäviöiden taseuslaskennan piiriin. Näiden määräysten mukaan ilmavuotoluvun oletusarvona pitää käyttää laskelmissa arvoa 2,0 l/h. Kuitenkin jos rakennusvalvonnalle pystytään osoittamaan mittaamalla tai muulla menettelyllä, että rakennus on tiiviimpi, mitattua arvoa voidaan käyttää rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittamisessa sekä energialaskennassa. Käytännössä on olemassa vain kaksi hyväksyttävää vaihtoehtoa, jotka ovat ilmoitusmenettely tai varsinaisen ilmavuotoluvun mittaaminen. Tässä tapauksessa vain mittaaminen tulee olemaan ainoa järkevä ratkaisu, koska toimistorakennuksia ei yleensä valmisteta lukuisia samoilla suunnitteluratkaisuilla. (Ohjekortti 2008, 3.)

Uudistuneiden määräysten johdosta urakoitsijat ovat yhä enemmän alkaneet kiinnittää huomiota rakennusten tiiviyteen ja ovat alkaneet myös mitata ainakin ilmanpitävyyttä. Ilmatiiviydsmittaus on yksi merkittävä mittari rakennuksen toimivuuden varmistamisessa. Hyvällä ilmatiiviydellä voidaan määräysten mukaan tasata myös muita lämpöhäviöitä. Tässä kohtaa tulisi muistaa, että tarkoituksena on rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen, joten ei voida kuitenkaan heikentää muita tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä kuten lämmöneristystä tai lämmöntalteenottoa. Rakennuksen energiatehokkuusluokan ollessa lähellä parempaan luokitukseen

oikeuttavaa rajaa hyvällä ilmatiiviydellä voidaan saavuttaa energiatodistuksessa aikaisempaa korkeampi energiatehokkuusluokka. (Ohjekortti 2008, 3.)

Rakennuksen kokonaisenergiankulutusta ajateltaessa vuotoilman kokonaismäärä vaikuttaa siihen merkittävästi. Tutkimusten mukaan laskennallisen kokonaisenergiankulutuksen suhde tiiviyteen on keskimääräisesti 4 % jokaista ilmapuotoluvun kokonaisyksikön lisäystä kohden. Mikäli pystytään mittaamalla osoittamaan, että rakennuksen tiiviyys on esimerkiksi luokkaa 1,0 l/h, laskennallisesti kokonaisenergiankulutus laskee 4 %. Tästä syystä rakennuksen ilmatiiviyden parantaminen on suhteellisen merkittävä ja melko edullinen keino toteuttaa energiatehokkaampia rakennuksia. Kuitenkin tulee muistaa, että tämän tutkimuksen tuloksia vääristävät todellista energiankulutusta ajatellen rakennuksen käyttäjien tottumukset sekä ilmanvaihdon, valaistuksen ja jäähdytyksen toiminta. (Ohjekortti 2008, 4.)

Hyvällä ilmatiiviydellä saavutetaan myös muita rakennuksen toimivuuden sekä viihtyisyyden kannalta olennaisia asioita:

- Sisäilman laatu paranee.
- Vedon tunne vähenee.
- Riski mahdollisten homeiden, epäpuhtauksien, haitallisten aineiden tai radonin kulkeutumisesta sisäilmaan pienenee.
- Rakenteiden kosteustekninen toiminta paranee. (Ohjekortti 2008, 4.)

Tiiviyden parantuminen on kuitenkin herättänyt keskustelua siitä, että milloin rakennus on sitten ”liian tiivis”. Tämä on kuitenkin ongelmana vain silloin, kun vanhan rakennuksen tiiviyttä parannetaan ja vanhaa ilmanvaihtojärjestelmää ei lähdetä uusimaan. Kohteessa on esimerkiksi ainoastaan koneellinen poistoilmanvaihto. Tiiviyttä on parannettu, jolloin sisäilma on muuttunut alipaineisemmaksi ja osa tuuloilmasta on tullut vuotoreittien kautta, aiheuttaen vedon tunnetta. Ongelmana tulee olemaan lähinnä puutteellinen ilmanvaihto. (Ohjekortti 2008, 4.)

Hyvin tiiviissä rakennuksessa tulee ilmanvaihdolle erittäin suuri merkitys, koska ilma ei pääse vaihtumaan luonnollisten vuotoreittien kautta. Tästä syystä raken-

nuksessa on hyvä olla koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, jonka tulee olla hyvin säädetty sekä riittävä. Näin pystytään takamaan terveellinen ja viihtyisä sisäilma-asto. Lämmön talteenotolta saadaan myös suurin mahdollinen hyöty, koska kaikki tulo- ja poistoilma kulkevat sen kautta eivätkä vaipan luonnolliset vuotoreitit enää pääse merkittävästi vaikuttamaan ilmanvaihtoon. (Ohjekortti 2008, 4.)

Korkeissa rakennuksissa kuten toimistorakennuksissa, joissa jo pelkästään hormi-vaikutuksen takia syntyy merkittävä paine-ero ylimmän ja alimman kerrosten välil-le, on ilmanvaihdon säätöön kiinnitettävä erityistä huomiota. Mikäli paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä pääsee kasvamaan liian suureksi, vuotokohtien määrä lisääntyy sekä virtaus yksittäisessä kohdassa lisääntyy, jonka seurauksena voi ilmetä esi-merkiksi kosteuden tiivistymisriski. (Ohjekortti 2008, 4.)

3.2 Tiiviyn varmistaminen

Hyvä ilmatiiviytaso eli n_{50} -luku alle yksi kertaa tunnissa on periaatteessa mahdol-lista saavuttaa lähes kaikilla rakennusmateriaaleilla ja -tavoilla. Kuitenkin jotta päästään näin hyviin tuloksiin, tiiviyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota jo arkkitehdin suunnittelusta lähtien aina yksittäisen kirvesmiehen työsuoritukseen saak-ka. (Ohjekortti 2008, 10.)

Suunnittelussa ja toteutuksessa on seuraavin kohtiin kiinnitettävä huomiota:

- Lämmöneriste asennetaan tiiviisti. Jos käytetään avohuokoisia lämmöneris-teitä, myös ulkopintaan on asennettava tuulensuojalevy.
- Ulkoseinän betonielementtien liitokset tehdään juotosvaluilla tai joustavilla elastisilla saumoilla.
- Pilareiden taakse jääviin betonielementtien liitoksiin kiinnitetään erityistä huomiota ja niiden eristäminen tarkastetaan asentamisen yhteydessä.
- Ylä- ja alapohjan ontelolaattojen välien pitkittäissaumat tiivistetään bitumi-kermikaistoilla tai valetaan tasausvalulla umpeen.

- Ryömintätilaisten alapohjien ontelolaattojen alapuolisten solumuovieristeiden väliset saumat tiivistetään polyuretaanivaahdolla.
- Liikuntasaumot toteutetaan niin, etteivät saumojen liikkeet heikennä ilmatiiviyttä.
- Harkkorakenteiset ulkoseinäpinnat käsitellään kummaltakin puolelta rapaamalla tai tasoittamalla, mukaan lukien esimerkiksi tuulettuvan yläpohjarakenteen harkkomuuraukset.
- Ikkunoiden, ovien ja muiden vastaavien rakennusosien liittyminen ulkovaippaan toteutetaan polyuretaanivaahdolla ja elastisella kittauksella.
- Ikkunat ja ovet asennetaan suoraan kulmaan sekä tiivisteiden kunto ja toiminta tarkastettava asentamisen yhteydessä.
- Ulkovaippaan tehtävät läpiviennit tiivistetään vaahdottamalla tai kittaamalla esimerkiksi sähköjohtojen läpiviennit.
- Ilmanvaihtokonehuoneen imukammion liitosten ilmatiiviyteen kiinnitetään huomiota ja erityisesti kammion liittymiseen ulkoseinärakenteeseen.
(Ohjekortti 2008, 10–12; Suunnitteluohje 2008, 2–3.)

3.3 Valvonta hyvän ilmanpitävyyden kulmakivenä

Parhaaseen tiiviyden tasoon päästään siten, että mahdolliset havaitut virheet tai puutteet pyritään poistamaan heti havaitsemisen jälkeen mahdollisimman tehokkaalla tavalla. Toteutus voidaan tehdä niin, että rakenteet, niiden liitokset ja läpiviennit tarkastetaan sekä tarkastuksista tehdään allekirjoituksilla varustetut dokumentit, jotka sitten liitetään työmaan asiakirjoihin. Näiden tarkastusten tekemiseen olisi hyvä osallistua valvojan, rakennesuunnittelijan ja työnjohtajan siten, että kukin tarkastaa toteutuksen omasta näkökulmastaan. (Ohjekortti 2008, 13.)

Toimenpiteitä virheiden ehkäisemiseksi:

- Rakennesuunnittelija tutkii tarkasti kohteen rakenteet ja detaljit ilmatiiviyden kannalta.
- Rakennesuunnittelija, työnjohtaja sekä valvoja käyvät yhdessä läpi ilmanpitävyyden kannalta kriittiset kohdat ja niiden toteutuksen.
- Pää toteuttajan tulee seurata työmaatoteutusta ilmatiiviyteen vaikuttavien keskeisten työvaiheiden osalta.
- Työnjohtajat opastavat työntekijänsä suorittamaan ilmanpitävyyteen vaikuttavat työvaiheet niin, että esimerkiksi liitokset ja yksityiskohdat tehdään oikealla tavalla.
- Työnjohtaja ja mahdollisesti myös rakennesuunnittelija tarkastavat kriittisten kohtien toteutuksen ennen kuin rakenteita peitetään.
- Kriittisistä paikoista tehdään mallityö ennen varsinaisen työn aloitusta.
(Ohjekortti 2008, 13.)

4 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

4.1 Standardi SFS - EN 13829

Ilmanvuotoluvun määrittäminen 50 Pa:n paine-erolla tulee suorittaa standardin SFS- EN 13829 esittämällä tavalla. Se mitataan standardissa esitetyllä menetelmä B:n avulla, joka tarkoittaa rakennuksen ulkovaipan testaamista. Mittaus suoritetaan rakennuksen omalla ilmanvaihtokoneella standardin esittämää mittaustmenetelmää noudattaen. Tämä eurooppalainen standardi on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi, mutta siitä ei ole tehty suomenkielistä käännöstä, mikä vielä hieman vaikeuttaa sen tulkitsemista. Tässä kappaleessa käsitellään standardin esittämiä mittaavaatimuksia. (SFS – EN 13829 2001, 6.)

4.1.1 Mittalaitteiden vaatimukset

Puhallin. Isoissa rakennuksissa ilman liikuttamiseen voidaan käyttää rakennuksen omaa ilmanvaihtojärjestelmää. Puhaltimen vaatimuksena on, että se on riittävän tehokas pystyäkseen tuottamaan tarvittavan yli- tai alipaineen. Sitä pitää voida ohjata niin, että pyörimisnopeutta voidaan säädellä ja samalla voidaan luotettavasti mitata puhaltimen läpi virranneen ilman määrää. (SFS – EN 13829 2001, 6.)

Paine-eromittari. Laitteen tulee pystyä mittaamaan paine-eroa tarkkuudella ± 2 Pa, kun mittaukset suoritetaan välillä 0...60 Pa. Tarkkuus hiukan vaihtelee mitalaitteiden välillä, mutta yleisesti tarkkuus on noin 1 %:n luokkaa ja silloin ehto toteutuu. (SFS – EN 13829 2001, 6.)

Virtausnopeusmittari. Mitatun ilmavirran nopeuden tarkkuus pitää olla vähintään ± 7 %. Tehdyissä mittauksissa määritettiin puhaltimen läpi virranneen ilmamäärän paine-eron avulla, joten tällä ehdolla ei ole merkitystä mittaustulokseen. (SFS – EN 13829 2001, 6.)

Lämpötilamittari. Mittarin tulee pystyä mittaamaan lämpötilaa ± 1 °C:n tarkkuudella. Tämä toteutuu varmasti tavallisilla lämpötilan mittaamiseen suunnitelluilla laitteilla. (SFS – EN 13829 2001, 6.)

4.1.2 Mittausjärjestelyt

Mittaus voidaan suorittaa koko rakennuksen alueelle tai vain tiettyyn osaan rakennuksesta, esimerkiksi vain yhden kerroksen alueelle. Silloin täytyy muistaa, että yksittäinen kerros ei välttämättä anna oikeanlaista tulosta rakennuksen ilmatiiviydelle. Yksittäinen satunnaisesti valittu kerros voi täyttää ilmatiiviyysvaatimukset, vaikka koko rakennuksen tiiviyys olisi paljon heikompi. Siksi koko rakennuksen alueelle tehty mittaus luo parhaan kokonaiskuvan. Mittaus voidaan tehdä vasta kun rakennuksen ulkovaippa on täysin valmis. (SFS – EN 13829 2001, 6–7.)

Sääolosuhteet. Seuraavien ehtojen toteutuessa mittaus voidaan suorittaa luotettavin tuloksin:

- Sisä- ja ulkoilman lämpötilan erotus kerrotaan rakennuksen korkeudella, ja tuloksi saadaan enintään 500 m°C.
- Tuulennopeus on korkeintaan 6 m/s. (SFS – EN 13829 2001, 7.)

Valmistelut. Mittausalueen rajana toimivat ikkunat, ovet sekä ulos menevät aukot tulee sulkea tai peittää. Alueen sisäpuolella olevat ovet täytyy avata, jotta sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero tasoittuisi rakennuksen sisällä. Paine-eron vaihtelu saa olla enintään 10 %. Kaadetaan vettä viemärikaivoihin ja käsienpesualtaisiin siten, että vesilukot täyttyvät vedellä ja tarkistetaan, että kaivon sisuskalut ovat paikallaan. Ilmanvaihtojärjestelmä kytketään pois päältä sekä peitetään kaikki ulkoilmaan johtavat aukot. Tämän jälkeen asennetaan paine-eromittarit ja silikoniletkut, joissa kuparilankaa sisällä, esimerkiksi oven tai ikkunan väliin. Ne sijoitetaan alimpaan kerrokseen, mutta korkeissa rakennuksissa on suositeltavaa mitata lisäksi myös ylimmästä kerroksesta. Letkuja asennettaessa pitää ottaa huomioon tuulen vaikutus. Hyviä keinoja tämän estämiseksi on käyttää letkun päässä T-

haaraa, laatikkoa tai vaikkapa äänimittauksissa käytettävää vaahtomuovipalloa. Lisäksi tulee muistaa, ettei jätä silikoniletkun päätä lähelle seinää, koska silloin tuulen aiheuttama paine tai imu seinää vasten vaikuttaa tuloksiin. (SFS – EN 13829 2001, 7–8.)

4.1.3 Mittauksen suorittaminen

Alkutilanne. Rakennus tarkistetaan vielä juuri ennen mittausta, että kaikki alkuvaikeudet on suoritettu ohjeiden mukaisesti. Varsinainen mittaus aloitetaan mitaamalla sisäilman ja ulkoilman lämpötila sekä tuulennopeus ja suunta. Seuraavaksi mitataan alkutilanteen paine-ero. Poistoilmapuhallin peitetään tai suljetaan sulkupellit, minkä jälkeen mitataan luonnollista paine-eroa sisä- ja ulkoilman välillä. Aluksi tarkkaillaan 30 sekunnin ajan pelkästään paine-eron positiivisia arvoja ja kirjataan saatujen lukujen keskiarvo (Δp_{01+}). Sen jälkeen tarkkaillaan samalla tavalla pelkästään negatiivisia arvoja ja kirjataan niiden keskiarvo (Δp_{01-}). Mikäli toinen näistä keskiarvoista ylittää lukeman ± 5 Pa niin silloin testiä ei voida suorittaa. Lopuksi vielä tarkkaillaan 30 sekunnin ajan kaikkien lukemien keskiarvoa (Δp_{01}) ja kirjataan se muistiin. Mittauksen päätyttyä tehdään edellä mainitut mittaukset uudelleen ja kirjataan ylös lopputilanteen paine-erot (Δp_{02+} , Δp_{02-} ja Δp_{02}), jos jokin näistä ehdoista ei toteudu niin mittaus ei ole hyväksyttävä. Se kirjataan mittausraporttiin. (SFS – EN 13829 2001, 9.)

Mittaaminen. Mittaus aloitetaan avaamalla poistoilmapuhaltimen sulkupellit ja kytetään puhallin minimiteholle sekä samalla tarkkaillaan koko ajan paine-eroa sisä- ja ulkoilman välillä. Mittauspisteitä tulee olla vähintään seitsemän, joista alin piste saa olla korkeintaan 10 Pa tai viisi kertaa alkutilanteen paine-ero (suurempi negatiivisista tai positiivisista keskiarvoista). Lisäksi pisteiden välillä saa olla korkeintaan 10 Pa paine-ero. Viimeisen mittauspisteen suuruus tulisi olla yli 50 Pa. Suurissa rakennuksissa (ilmatilavuus yli 4000m³) yli 50 Pa:n ali- tai ylipaineen saavuttaminen voi olla mahdotonta, tällöin riittää, että päästään yli 25 Pa:n paine-eroon. Suurimman mahdollisen paine-eron jäädessä 25–50 Pa:n välille loppuraportissa kerrotaan, etteivät kaikki tämän standardin ehdot ole täysin täyttyneet, sekä syyt mistä sen arvellaan johtuvan. Mittaus on hyvä tehdä molemmilla tavoilla sekä ali-

että ylipaineistuksella, mutta vain toinenkin näistä riittää täyttämään vaatimukset. Tulee huomioida myös se, että alemmissa paine-eroissa kirjatut mittauspisteet ovat epätarkempia kuin ylemmät. Koko mittauksen ajan on tarkkailtava, etteivät olosuhteet rakennuksen sisällä pääse muuttumaan esimerkiksi, kun väliovet menevät kiinni tai ikkunat avautuvat. (SFS – EN 13829 2001, 9–10.)

4.1.4 Tulosten esittäminen ja raportointi

Mittasuureet. Tilavuus V , tarkoittaa rakennuksen ilmatilavuutta, joka lasketaan kertomalla nettopinta-ala A_F kerroksen sisäkorkeudella (lattian yläpinnasta katon alapintaan). Nettopinta-ala lasketaan rakennuksen sisämittojen mukaan noudattaen kansallisia määräyksiä. Rakennuksen ulkovaipan pinta-ala A_E lasketaan mitta-alueen rajana olevien ulkoseinien, katon ja lattian sisämittojen mukaan. Maanvaraisen perustuksen lattian pinta-alaa ei lasketa. (SFS – EN 13829 2001, 10–11.)

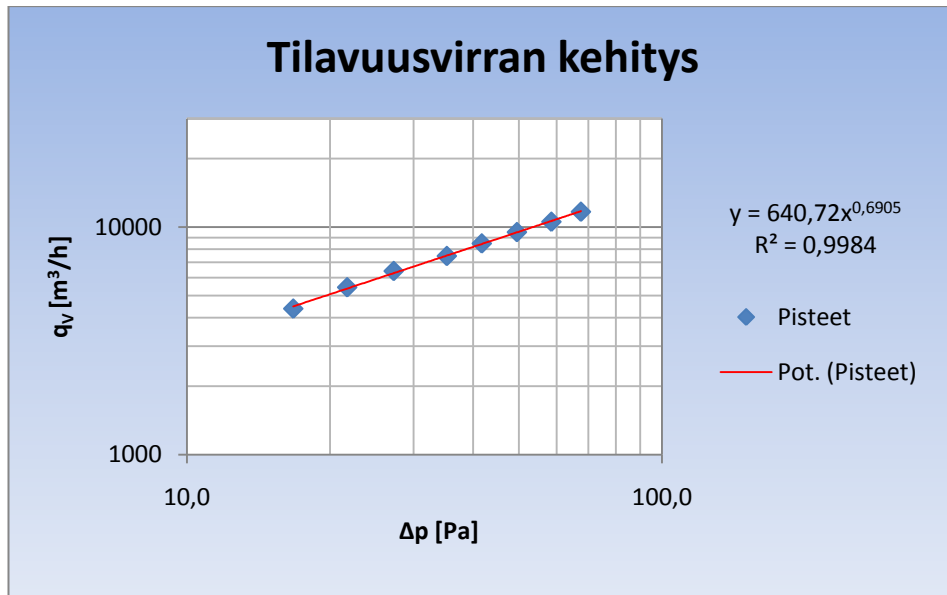
Kaavat. Aluksi lasketaan alkutilanteen paine-eron vaikutus mittauspisteessä mitattuun paine-eroon, jolloin saadaan todellinen paine-ero kaavalla

$$\Delta p = \Delta p_m - \frac{\Delta p_{01} + \Delta p_{02}}{2} \quad (1)$$

jossa	Δp_m	on	mitattu paine-ero
	Δp_{01}	on	alkutilanteen paine-ero
	Δp_{02}	on	lopputilanteen paine-ero

(SFS – EN 13829 2001, 10–11.)

Kaavaan 1 sijoitettujen lukuarvojen etumerkkeihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lukuarvot sijoitetaan niin, että plusmerkillä merkitään ylipaineet ja miinusmerkillä alipaineet. Mikäli saadaan arvoksi nolla, niin silloinkin tulee sijoittaa etumerkki. Saadut mittaustulokset sijoitetaan logaritmiseen kuvaajaan, jonka y-akselina on tilavuusvirran suuruus q_v ja x-akselina paine-eron suuruus Δp . (SFS – EN 13829 2001, 12.)



KUVIO 5. Logaritminen tilavuusvirran kehityksen kuvaaja.

Pisteistä muodostetun kuvaajan trendiviivasta saadaan yhtälö, josta voidaan ratkaista tilavuusvirran suuruus tietyssä paineessa kaavalla

$$V'_{env} = C_{env} \times (\Delta p)^n \quad (2)$$

jossa C_{env} on trendiviivan yhtälön kulmakerroin
 n on yhtälön eksponentti
 (SFS – EN 13829 2001, 12.)

Tämän jälkeen saadaan laskettua ilmavuotoluvun suuruus kaavalla

$$n_{\Delta pr} = \frac{V'_{\Delta pr}}{V} \quad (3)$$

jossa $V'_{\Delta pr}$ on tilavuusvirran suuruus tietyssä paine-erossa
 V on mitattavan alueen ilmatilavuus
 (SFS – EN 13829 2001, 14.)

Lisäksi voidaan vielä määrittää ilmavuotoluku vaipan pinta-alaa kohti kaavalla

$$q_{\Delta pr} = \frac{V'_{\Delta pr}}{A_E} \quad (4)$$

jossa $V'_{\Delta pr}$ on tilavuusvirran suuruus tietyssä paine-erossa
 A_E on mitattavan alueen ulkovaipan pinta-ala
 (SFS – EN 13829 2001, 14.)

Raportointi. Mittausraportin tulee sisältää vähintäänkin seuraavat asiat:

- riittävät tiedot kohteen tunnistamiseksi, mittausmenetelmä A tai B, positiointi ja rakennuksen valmistumisikä.
- viittaus EN 13829 standardiin ja kaikki mahdolliset poikkeamat tästä.
- tiedot mitattavasta kohteesta:
 - mitkä osiot rakennuksesta mitataan, esimerkiksi tilojen nimet.
 - kaikki laskennassa tarvittavat esitiedot, esimerkiksi V ja A_E .
 - laskutoimitukset, joilla tulos on laskettu.
 - tiedot siitä mitä alkuvalmisteluita on tehty esimerkiksi sisäövet avattu ja ikkunat suljettu.
 - tarkat tiedot luonnollisista ilmareiteistä, jotka on peitetty esimerkiksi teippaamalla tai huputtamalla.
 - lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon toteutuksen ratkaisut.

- laitteiston ja menetelmän kuvaus
 - mittalaitteiden esittely sekä mittaus vaiheiden läpi käyminen
- mittaustulokset
 - alku- ja lopputilanteen paine-erot sekä alipaineistuksessa, että yli-
paineistuksessa.
 - sisä- ja ulkoilman lämpötilat
 - tuulen nopeus ja suunta
 - ilmanpaineen suuruus mikäli se otetaan huomioon laskelmissa.
 - taulukko, jossa esitetään paine-erot ja niiden suhteen saadut tila-
vuusvirran määrät.
 - tilavuusvirran kehityksenkuvaaja.
 - C_{env} ja eksponentin n arvot.
 - ilmapuotoluku n_{50} , yli- ja/tai alipaine tilanteissa sekä niiden keskiarvo.
- mittauksen tarkka ajankohta. (SFS – EN 13829 2001, 15.)

TAULUKKO 1. Mitatut paine-erot ja niiden suhteen saadut tilavuusvirran määrät.

Mittauspiste	Puhaltimen taajuus [Hz]	Paine puhaltimen yli, p [Pa]	Tilavuusvirta, q_v [m^3/s]	Tilavuusvirta, q_v [m^3/h]	Paine-ero (sisä/piha), p_m [Pa]		Paine-eron keskiarvo, Δp_m [Pa]	$\Delta p = \Delta p_m - \Delta p_{01} + \Delta p_{02} / 2$ [Pa]
					1. krs. E / P	6. krs. E / P		
1	37	355	3,244	11680	75,5	58,5	67,0	67,5
2	34	290	2,932	10557	65,5	50,5	58,0	58,5
3	31	235	2,640	9503	56,0	42,0	49,0	49,5
4	28	187	2,355	8477	47,5	35,0	41,3	41,8
5	25	145	2,074	7465	41,0	28,5	34,8	35,3
6	22	107	1,781	6413	33,5	20,0	26,8	27,3
7	19	77	1,511	5440	27,5	15,0	21,3	21,8
8	16	50	1,218	4383	22,5	10,0	16,3	16,8

Standardin ohjeiden mukaan mitattaessa kokonaisuudessaan mittausvirheen vaihteluväli jää hyvissä olosuhteissa alle ± 15 %, mutta tuulisissa olosuhteissa virheen suuruus kasvaa jopa ± 40 %, saadusta tuloksesta. (SFS – EN 13829 2001, 15–16.)

4.2 Ohje RakMk D5

Suomen rakentamismääräyskokoelma määrittää ilmatilavuuden laskennan seuraavasti:

”Rakennuksen ilmatilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Huoneiston ilmatilavuus on sen sisäpintojen rajoittaman tilakappaleen tilavuus. Väliseiniä ja välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Huoneen ilmatilavuus on sen sisäpintojen rajoittaman tilakappaleen tilavuus. Milloin huoneessa on alakatto, jonka pinta-alasta aukkojen osuus on vähemmän kuin puolet, katsotaan huonetta yläpuolelta rajoittavaksi pinnaksi alakaton alapinta. Huoneen tilavuuden laskennassa ei oteta huomioon vähäisten palkkien, pilareiden, ovi- ja ikkunasyvennysten, listojen ja vastaavien vaikutusta. Kaikkien rakennuksen tilojen tilavuus voidaan laskea kuten huoneen tilavuus.” (RakMk D5 2007, 4.)

Tutkimuksessa on laskettu ilmatilavuudet soveltaen näitä edellä mainittuja määrittäyksiä. Ensimmäisissä mittauskohteissa vähennettiin myös väliseinien tilavuus, mutta sen jälkeen se on jätetty huomioimatta. Niiden tilavuuden vaikutus lopulliseen tulokseen on niin mitättömän pieni, ettei sitä tule huomioida. Alla oleva taulukko esittää määritelmän minkä suuruinen n_{50} -luku tarvitaan esimerkiksi hyvän ilmanpitävyyden osoittamiseksi.

TAULUKKO 2. Ohjeen RakMk D5 esittämä taulukko tyypillisille ilmavuotolukujen arvoille. (RakMk D5 2007, 21.)

<i>Taulukko 4.3. Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja (n_{50}) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.</i>		
<i>Tavoiteilmanpitävyys</i>	<i>Yksityiskohdat</i>	<i>Tyypilliset n_{50}-luvut, l/h</i>
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1 ... 3 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 ... 1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3 ... 5 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 ... 3,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5 ... 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3 ... 7

5 MITTAUSPROSESSIN VAIHEET

5.1 Kohteeseen tutustuminen ja mittaussuunnitelman laatiminen

Tiiviysmittauksen tekeminen ja sen suunnittelu tulee aina aloittaa tutustumisella kohteeseen ja sen kohteen piirustuksiin. Erityisesti tulisi tutustua rakennuksen ilmanvaihtoa käsitteleviin LVI-piirustuksiin. Tutustumisvaiheessa paikan päällä on hyvä olla ilmanvaihtolaitteiston asiantuntija ja tietysti mittauksen varsinainen järjestäjä. Mikäli rakennus on jo käytössä, myös käyttäjän edustajan tulee olla paikalla, jolloin voidaan jo sopia mihin kaikkiin tiloihin rakennuksessa tulee päästä. Erityisesti toimistotaloissa tämä on tärkeä huomio, koska siellä on eri yritysten tiloja, joihin ei voi päästää ilman vartiointia.

Mittaussuunnitelmassa tulee käydä läpi koko mittauksen eteneminen. Se auttaa mittauksen järjestelmällistä toteutusta. Tekijä joutuu miettimään jokaisen valmisteleman toimenpiteen, paljonko hän tarvitsee apuvoimia, mitä laitteita ja tarvikkeita tulee varata sekä mihin mittarit sijoitetaan. Suunnitelmassa tulee selvittää seuraavat kohdat:

- ennen mittausta tehtävät toimenpiteet.
- tiiviysmittauksen vaiheet ja niiden toteutus.
- määritetäänkö n_{50} -luku sekä paikannetaanko vuotokohdat.
- luettelo mittauksessa tarvittavista välineistä.

Tiiviysmittauksen vaiheisiin tulee sisällyttää mitattavan alueen ilmatilavuuden laskeminen, mittaamiseen käytettävän poistoilmapuhaltimen tilavuusvirran kaava sekä kaavaan sisältyvän poistoilmapuhaltimen mittalaipan k-kertoimen selvittäminen. Kerroin riippuu ilmanvaihtokoneen puhaltimen mallista ja se löytyy koneen teknisistä tiedoista. Ilmatilavuuden laskemiseen kannattaa varata aikaa, jotta se tulee tehtyä huolellisesti ja määräysten mukaisesti, koska tilavuus vaikuttaa eniten mitaustuloksen oikeellisuuteen. Laseretäisyysmittari on erinomainen apuväline, kun tilavuus lasketaan paikan päällä. Tilavuusvirran määrä lasketaan puhaltimen yli

mitatusta paine-erosta. Laskentaan käytettyjä kaavoja on kahta eri tyyppiä, jotka riippuvat ilmoitetun k-kertoimen suuruudesta. Valittavana on kaava

$$q_V = k \times \sqrt{\Delta p_{py}}; \quad k < 1 \quad (5)$$

tai kaava

$$q_V = \frac{1}{k} \times \sqrt{\Delta p_{py}}; \quad k > 1 \quad (6)$$

jossa	k	on	puhaltimen mittalaipan vakiokerroin
	Δp_{py}	on	puhaltimen yli mitattu paine-ero.

(Koja 2010.)

5.2 Mittauksen esivalmistelut

Mittaus aloitetaan esivalmisteluvaiheella, joka voidaan tehdä jo edeltävänä päivänä ennen mittauksen alkua. Se on hyvä aloittaa käymällä läpi ikkunat, sisäovet ja viemärikaivojen tai viemäriputkien vesilukot. Ikkunat käydään läpi siten, että niiden lukot ovat kiinni sekä testataan samalla kiristääkö lukko ikkunatiivisteiden karmeihin. Kaikki sisäovet tulee avata, jotta paine-ero rakennuksen sisällä pääsee vapaasti tasoittumaan. Ne ovet, joissa on ovipumput, voidaan esimerkiksi kiillata auki puukiiilojen avulla. Tämän jälkeen voidaan jo edeltävänä päivänä käydä läpi kaikki rakennuksen vesilukot (wc-pöntöt, käsienpesualtaat ja lattiakaivot). Erityisesti kiinnitetään huomiota siihen, että vesilukko on oikein asennettu. Lopuksi kaadetaan vettä jokaiseen vesilukkoon niin, että se täyttyy. Esimerkiksi rakennusaikana nämä saattavat olla tyhjiä.

Juuri ennen mittauksen aloittamista suljetaan kaikki ulko-ovet ja teipataan tiedotus mittauksesta kaikkiin ulko-oviin, jotka tulee pitää suljettuina, sekä kirjataan kaavakkeeseen mittaukseen osallistujien nimet ja puhelinnumerot. Kaikki ilmanvaihto-

koneet pysäytetään, sulkupellit suljetaan, huippuimurit sekä erillispoistopuhaltimet pysäytetään. Sen jälkeen suoritetaan tarvittavat muovitukset ja teippaukset: esimerkiksi huippuimurit, viemäreiden tuuletusputket ja muut normaalitilanteessa auki olevat tuuletusaukot. Ulko-ovia tai muita luonnollisia vuotoreittejä ei saa teipata.

5.3 Ilmatiivyyden mittaaminen

Esivalmisteluiden jälkeen voidaan aloittaa varsinainen ilmatiivyyden mittaaminen. Varmistetaan vielä kerran, että kaikki on kunnossa ja laitetaan paine-eron mittaamiseen tarvittavat silikoniletkut paikoilleen. Letkut sijoitetaan monikerroksisissa rakennuksen alimpaan ja ylimpään kerrokseen siten, että niiden keskiarvosta saadaan keskimääräinen paine-ero, joka vallitsee sisä- ja pihailman välillä. Tämän jälkeen kiinnitetään paine-eromittarit mittauspisteisiin sekä ilmanvaihtokoneen poistoilmapuhaltimen paine-eron mittaamista varten varattuun paikkaan. Ennen mittauksen aloittamista kirjataan pöytäkirjaan kellonaika, sisä- ja ulkolämpötila, tuulennopeus ja -suunta sekä lämpökuvausta varten sisä- ja ulkoilman suhteellinen kosteusprosentti.

Varsinainen mittaus aloitetaan mittaamalla alkupainetilanteen paine-erot (Δp_{01+} , Δp_{01-} ja Δp_{01}), jos ne jäävät alle ± 5 Pa niin testi voidaan aloittaa. Avataan poistoilmapuhaltimen sulkupellit ja kytketään puhallin lähes minimitehoille, joka on yleensä luokkaa 10 Hz. Tämän jälkeen odotetaan muutama minuutti ja annetaan paine-eron tasaantua rakennuksen sisällä. Seuraavaksi mitataan paine-ero sisä- ja ulkoilman väliltä rakennuksen alimmassa ja ylimmässä kerroksessa olevista mittauspisteistä. Hyvänä tapana on mitata paine-eroa neljästä eri kohdasta. Ensimmäisen maanpäällisenkerroksen kahdesta eri ilmansuunnasta sekä ylimmästä kerroksesta samoista ilmansuunnista, jolloin saamme näistä muodostetusta keskiarvosta luotettavan rakennuksen suhteellisen paine-eron. Sitten mitataan poistoilmapuhaltimen yli vaikuttavan paine-eron suuruus ja kirjataan tulokset ylös. Sen jälkeen nostetaan puhaltimen taajuutta niin, että rakennuksen sisäisen paine-eron suuruus muuttuisi korkeintaan 10 Pa. Toistetaan tätä niin kauan, kun rakennuksen keskimääräinen paine-ero on vähintään yli 50 Pa ja on kirjattu vähintään seitsemän mittauspistettä. (SFS – EN 13829 2001, 9–10.)

Mittaus on helpointa organisoida siten, että mittauksenjohtaja on ilmanvaihtokonehuoneessa yhdessä ilmanvaihtolaitteiston- tai automaatioasiantuntijan kanssa. Yksi henkilö on ensimmäisessä kerroksessa ja toinen ylimmässä kerroksessa mittaamassa paine-ero tuloksia. Johtajan on helppo kommunikoida mittaajien kanssa radiopuhelimien välityksellä tai vaihtoehtoisesti matkapuhelimilla. Lisäksi mittauksen aikana on havaittu erittäin tärkeäksi tehtäväksi myös se, että ne henkilöt jotka eivät varsinaisesti mittaa, kiertävät rakennusta ja tutkivat mahdollisia vuotopaikkoja esimerkiksi kiinni tai auki menneitä ovia. Lopuksi sammutetaan poistoilmapuhallin, suljetaan sulkupellit ja mitataan vielä lopputilanteen paine-erot (Δp_{02+} , Δp_{02-} ja Δp_{02}), jos ne jäävät alle ± 5 Pa niin mittaus on suoritettu hyväksytysti loppuun. (SFS – EN 13829 2001, 9–10.)

5.4 Yleisimpien vuotokohtien paikantaminen

Onnistuneen mittauksen jälkeen on syytä tutkia mistä pahimmat vuotokohtat löytyvät. Kytetään poistoilmapuhallin takaisin samalle taajuudelle, jossa paine-ero rakennuksen sisällä oli yli 50 Pa. Tämän jälkeen tutkitaan rakennus kerros kerrallaan kiertäen ulkoseinäpintoja myötä- tai vastapäivään siten, että kierretään jokainen tutkittava kerros samaan suuntaan. Löydetyt virhepaikat on helpointa merkitä rakennuksen pohjakuvaan numeromerkinnällä ja nuolella joka osoittaa katsomissuunnan sekä ottaa niistä aina valokuvan todisteeksi.

Talvella paikantaminen kannattaa tehdä lämpökuvauksella ja niissä paikoissa, joita lämpökamera ei luotettavasti havaitse, se on paras tehdä käsin tunnustelemalla tai merkkisavulla. Asumisterveysohjeessa on annettu ohjeellisia arvoja pistemäisen pintalämpötilan suuruudelle normaaleissa paineolosuhteissa. Alipaineen annetaan vaikuttaa pintalämpötilaan, jolloin vuotokohtat jäähtyvät kylmänä vuodenaikana. Vuotopaikannuksessa lämpökuvauksella ei indeksilaskentaa voida soveltaa kovassa alipaineessa. Lämpökuvauksen ei perustu mittausarvoihin vaan lämpötilajakaumaan perustuvaan paikannukseen. (Asumisterveysohje 2003, 13.)

Lämpökuvien sijainti merkitään rakennuksen pohjakuviin ja ne numeroidaan. Tässä kohtaan on helpointa menetellä niin, että lämpökuvat ja käsin tunnustellut havainnot merkitään eri pohjakuviin. Lämpökuvasta varten tulee mitata jokaisesta tutkittavasta kerroksesta seuraavat asiat:

- ulko- ja sisäilman lämpötila
- sisäilman suhteellinen kosteus (RH %)
- kerroksissa vallitsevan paine-eron suuruus
- kellonaika
- säätilan kuvaaminen (esimerkiksi pilvinen tai aurinkoinen).

(Paloniitty 2004c, 57-58.)

Silloin kun lämpökuvauksella ei pystytä paikantamaan vuotoaikoja niin on suositeltavaa tehdä havainnointi käsin tunnustelemalla tai merkkisavun avulla. Näistä havainnoista mitataan virtausnopeusmittarilla vuotoilman nopeus ja otetaan valokuva, mistä näkyvät digitaalinäytön lukemat sekä merkitään pohjakuviin sijainti. Tämän jälkeen voidaan asettaa ilmanvaihtokoneet normaaliin käyttötilaan sekä poistaa kaikki esivalmisteluissa tehdyt teippaukset ja huputukset.

5.5 Lämpökuvaus

Seuraavana päivänä tai ennen mittausta voidaan tehdä vielä viimeinen tarkastus lämpökuvauksella. Sen tarkoituksena on tutkia erityisesti ne kohdat, jotka paikannettiin vuotoaikoiksi. Lämpökuvauksella tutkitaan täyttävätkö löydetyt kohdat normaaleihin käyttöolosuhteisiin asetetut vaatimukset. Ennen kuvauksen aloittamista kannattaa varmistaa mittaamalla mitkä ovat sillä hetkellä rakennuksen paine-ero-olosuhteet. Tarvittaessa ilmanvaihdon poisto- ja tuloilmamääriä joudutaan säätämään sekä automaattiohjaus muuttamaan käsiohjaukseen, koska paine-erosuhteet saattavat vaihdella suuresti rakennuksen eri osissa. Paine-eron annetaan tasaantua, jolloin vuotokohdat erottuvat. Erityisesti korkeissa rakennuksissa tämä voi olla ongelma, koska joudutaan muuttamaan kesken kuvauksen ilmanvaihdon säätöjä, jotta päästään sopiviin paine-erolukemiin.

Kuvattaessa rakennuksen sisäpuolelta sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron tulisi olla alipaineessa 0...-15 Pa välillä, ja vastaavasti ylipaineessa mikäli kuvataan ulkopuolelta. Muutettaessa ilmanvaihdon asetuksia tulee odottaa vähintään puoli tuntia, kun ulkona on pakkasta, niin pintalämpötilat ehtivät muuttua riittävästi. Lämpökuvaus tehdään normaalien kuvausohjeiden ja sääntöjen esittämällä tavalla. Kirjataan pohjakuviin numerot ja nuolisymbolit paikkoihin joista kuvat on otettu. Mikäli löydetään uusia virhekohtia, joita ei ilmavuotomittauksen yhteydessä havaittu, niin nekin kirjataan ylös ja otetaan lämpökuvat. Lämpökuvauksen jälkeen, kun havaitut virheet on korjattu, voidaan todeta, että rakennus on perinpohjaisesti tutkittu ja täyttää nykyajan tiukat määräykset.

Lämpötilaindeksi lasketaan kaavasta

$$TI = \frac{(T_{sp} - T_o)}{T_i - T_o} \times 100\% \quad (7)$$

jossa	TI	on	lämpötilaindeksi
	T_{sp}	on	sisäpinnan lämpötila
	T_i	on	sisäilman lämpötila
	T_o	on	ulkoilman lämpötila.

(Asumisterveysohje 2003, 11.)

-15...-30 Pa alipaineessa tehtävään lämpökuvaukseen voidaan käyttää niin sanottuna nyrkkisääntönä käytettävää lämpötilaindeksin laskentakaavaa. Kaava toimii vain silloin, kun alipainetta on -15...-30 Pa. Paine-eron noustessa yli -30 Pa niin, silloin vuodon aiheuttamaa pintalämpötilan muutosta ei voida hallita. Kaava ei ole virallinen, joten sen käyttöä tulee kuvaajan miettiä tarkoin. Vuotokohtien paikantamiseen lämpökuvauksella ei käytetty nyrkkisääntöä, koska alipaineet nousivat yleisesti yli 50 Pa. Tällöin kaavaa ei pystytä soveltamaan. Kovassa alipaineessa vuotokohtat erottuvat helpommin. Paikannus tehdään lämpötilajakauman perusteella. (Paloniitty 2004c, 77.)

Paine-eron vaikutuksen huomioiminen indeksilaskennassa

$$TI = \frac{(T_{sp} - T_o)}{T_i - T_o} \times 100\% - (Pa^m - Pa^s) \quad (8)$$

jossa	TI	on	lämpötilaindeksi
	T_{sp}	on	sisäpinnan lämpötila
	T_i	on	sisäilman lämpötila
	T_o	on	ulkoilman lämpötila
	Pa^m	on	mitattu paine-ero
	Pa^s	on	suunniteltu paine-ero yleensä -5 Pa.

(Paloniitty 2004c, 77.)

5.6 Raportointi

Mittausprosessin viimeisenä ja tärkeimpänä vaiheena on luoda kattava raportointi, joka kuvaa mahdollisimman yksiselitteisesti ja tarkasti miten mittaaminen on suoritettu. Se sisältää useita eri kohtia, jotka tulee kertoa määräystenmukaisuuden osoittamiseksi sekä myös niitä kohtia, jotka on katsottu yleishyödyllisiksi tiedoiksi mittauksia vertailtaessa. Työssä päädyttiin seuraavanlaiseen raportin perusrunkoon:

- 1) Yleistietoa mittauksesta
 - a) sanallinen kuvaus kohteesta
 - i) koko, tyyppi, ikä ja LVI-järjestelmä
 - b) osoitetiedot kohteesta
 - c) mittauksen osallistujalista
- 2) Ilmatiivyyden mittaaminen
 - a) kuvaus mittauksesta ja mitattavan alueen rajaamisesta sekä viittaus käytettävään standardiin EN 13829 menetelmä B.
 - b) mittalaitteet
 - i) nimi, tyyppi, kalibroitiedot ja sarjanumero
 - ii) missä kyseistä mittalaitetta on käytetty

- c) mittauksen esivalmistelut
 - i) tarkka kuvaus mitä on tehty ja erityisesti niistä asioista, joilla mittausalue on rajattu
- d) varsinaisen mittaamisen kuvaaminen
 - i) kuvaus mittauksen etenemisestä
 - ii) mittaamisen käytetyt poistoilmahuuhtimet
 - (1) tunnus, mittalaipan k-arvo ja tilavuusvirran kaava
 - iii) tilavuuslaskelma
 - iv) olosuhdetiedot mittauksen alkaessa ja loppuessa
 - (1) kellonaika, sisä- ja ulkolämpötila, ilmanpaine, tuulen nopeus ja suunta, kosteusprosentti sisällä ja ulkona
 - v) alku- ja lopputilanteen paine-erot
 - vi) mittaustulokset
 - (1) taulukko, jossa esitetään mitatut arvot
 - (2) tilavuusvirran kehityksen kuvaaja
 - (3) käytetyt laskentakaavat sekä muuttujan C_{env} ja eksponentin n arvot.
 - (4) ilmavuotoluku n_{50} , yli- ja/tai alipaine tilanteissa sekä niiden keskiarvo.
 - vii) tulosten pohdinta
 - (1) kuvaus tuloksen luotettavuudesta
 - (2) onko saatu tulos hyvä vai huono ja mistä tuloksen suuruus voisi johtua.
- 3) Yleisimmät vuotokohdat
 - a) kuvaus mittausjärjestelyistä
 - b) mittalaitteet
 - c) säätiedot
 - d) lämpökuvista paikannetut vuotokohdat
 - i) selitys miten paikannettu
 - ii) lämpötilaindeksin laskentakaava
 - e) käsin tunnustelemalla paikannetut vuotokohdat
 - f) tulosten pohdintaa
- 4) Lämpökuvaus
 - a) mittalaitteet
 - b) säätiedot
 - c) selvitys mittausjärjestelyistä

d) tulosten pohdintaa

Raportin kohdat kolme ja neljä ovat sitä varten, että halutaan selvittää tarkat vuotokohdat. Kohdat yksi ja kaksi ovat aina pakolliset, jotta voidaan todeta mittauksen olleen määräysten mukainen. Liitteeksi voidaan lisätä kohteen pohjakuvat, joihin on merkitty numerot sekä nuolisymbolein tarkat kuvauspaikat. Lisäksi voidaan liittää tuloste rakennusautomaation ohjausyksikön valvonta-alakeskuksen säätämistä arvoista.

6 TULOSTEN ESITTÄMINEN JA ANALYSOINTI

Ensimmäisenä mittauksena tehtiin marraskuussa vuonna 2008 ilmatiiviysmittaus toimistotaloon nimeltään Plaza II Largo. Largon mittaus oli hyvin kattava ja se sisälsi lopuksi vielä tarkastuksen lämpökuvauksella. Seuraavana kohteena oli samantyyppinen rakennus Polaris Capella, johon myös tehtiin laaja tutkimus. Kaikkiin mitattuihin kohteisiin on kertynyt yhdeksän kappaletta ja näistä viimeisimpänä tehtiin Oulunkylän perhetukikeskuksen mittaus. Oulunkylän raportointi on hiukan kehittyneempi versio verrattuna näihin kahteen ensimmäiseen. Siinä on ilmoitettu ja mitattu kaikki standardin edellyttämät asiat. Esimerkiksi ensimmäisissä mittauksissa jäi mittaamatta alku- ja lopputilanteen paine-erot. Jäljempänä esitetyt tulokset kertovat havainnoista, jotka toistuivat useissa mitatuissa kohteissa.

6.1 Vuotopaikkojen etsiminen

Lämpökuvauksen havainnot. Mittauksen jälkeen etsittiin vuotopaikkoja lämpökuvauksella. Alipaineet jätettiin noin 50 Pa alipaineeseen ja kuvaaminen tehtiin rakennuksen sisäpuolelta.

Plaza II Largoa tutkittaessa tehtiin seuraavanlaisia havaintoja.

Liite 1:

Lämpökuvauksella paikannetut vuodot sivuilla 1 (9) ja 2 (9). Nähdään yleinen havaittu virhe, joka on ikkunan tiivisteiden vuotaminen tai ikkunankarmin välistä tuleva vuoto. Saman liitteen sivulla 3 (9) havaitaan myös erittäin usein toistuva vuotopaikka, joka on metalliulko-ovien tiivisteet. Tämä johtuu osaksi siitä, että kyseiset ovet ovat erillisessä lämmitetyssä tuulikaapissa tai ne ovat jopa kynnyksettömiä lastauslaiturin ovia. Seuraavat virheet sivuilla 4 (9) ja 5 (9) eivät ole niin yleisiä vuotopaikkoja, mutta niiden havainnointi jää helposti normaaleissa rakennuksen käyttöolosuhteissa huomaamatta. Näistä ensimmäinen johtuu tuulettuvan alapohjan alla olevan polystyreenieristeen huonosta

liitoksesta. Toinen virhe on aiheutunut siitä, että sähköpääkeskuksen alapuoli on kokonaan eristämättä ja tiivistämättä. Tämä toistuu lähes jokaisessa kohteessa, koska maan alle upotettujen sähkösuojaputkien päät jäävät helposti eristämättä kaapelivetojen jälkeen.

Polaris Capellaa tutkittaessa tehtiin seuraavanlaisia havaintoja.

Liite 1:

Ilmatiiviysmittauksen lämpökuvat sivu 6 (9). Lämpökuvasta nähdään harkkomuurauksen läpi tulevaa vuotoa. Kevytsoraharkoista tehdyt muuraukset tulee ehdottomasta rapata tai tasoittaa kummaltakin puolelta. Tämä asia unohtuu helposti suunnitelmista, joten työmaalla tulee tarkistaa tällaiset rakenteet huolellisesti. Näitä vuotoja löydettiin suhteellisen harvoin, mutta niiden vaikutus ilmavuotolukuun on suuri. Esimerkkitapauksena eräässä kohteessa, kun ilmanvaihtokonehuoneen Paroc-seinän alapää oli harkkomuurattua ja koko muuraus vuoti niin vuodon määrä on suuri, koska vuotavaa pinta-alaa oli paljon. Sivulla 7 (9) nähdään mielenkiintoinen havainto, joka toistui jokaisessa samantyyppisessä elementtiliitoksessa läpi koko rakennuksen. Nauhaelementin ja seinäelementin liitoksesta johtuvaa vuotoa havaittiin pilarin takaa tulevana ilmavirtauksena. Pilarin takaa nurkasta ikkunanpenkin alta tulee voimakasta ilmavirtausta, joka näkyy lämpökuvassa harhaanjohtavasti puuikkunaa vasten olevana kylmänä alueena. Sivulla 8 (9) kuvasta havaitaan lasiseinän alta tulevaa vuotoa. Lasiseinien lämpökatkoja tehtäessä tulee olla tarkkana, että uretaanivaahdon pursotus täyttää kaikki kolot. Näitä vuotoja löydettiin satunnaisesti. Sivulla 9 (9) havaitaan putkiläpimenosta aiheutuva vuoto. Putkivarauksolon ja putken välinen tila on jäänyt tiivistämättä.

Käsin tunnustelut. Lämpökuvauksen kanssa samaan aikaan toinen ryhmä lähti tutkimaan vuotopaikkoja käsin tunnustelemalla. Erityisesti käytiin läpi niitä paikkoja, joita lämpökuvauksesta ei helposti havaitse, esimerkiksi metallilasiseinät. Näihin hankalasti kuvattaviin paikkoihin tai materiaaleihin käsin havainnointi oli oiva

työkalu. Löydetyistä vuodoista otettiin valokuva ja mitattiin ilman virtausnopeus. Virtausnopeuden suuruus ei suoraan ilmaise, kuinka suuri merkitys vuotopaikalla on varsinaiseen ilmapuotolukuun, koska se riippuu vuotopaikan läpyleikkauksen pinta-alasta. Esimerkiksi pienessä reiässä virtausnopeus on suurempi verrattuna isompaan reikään, vaikka läpi vuotavan ilman määrä on sama tietyllä aikavälillä.

Largoa ja Capellaa tutkittaessa tehtiin seuraavanlaisia havaintoja.

Liite 2:

Käsin tunnustelemalla paikannetut vuodot sivu 1 (1), kuva 4 esittää yleistä vuotopaikkaa lasiseinien savunpoistoluukun ja lasiseinärungon välissä. Syynä vuotoon on tiivisteen huono asennus. Näitä virheitä on hankala todeta lämpökuvauksessa, koska lasiseinän alumiinirunko on aina kauttaaltaan kylmä. Kuvassa 8 havaittiin sama vuotopaikka, joka löydettiin jo lämpökuvauksella. Pilarin takaa ikkunapenkin alta vuotavan ilman nopeus oli 7,5 m/s. Kuvassa 16 nähdään hyvin yleinen vuotopaikka, joka on väärin asennettu lattiakaivon vesilukko. Lattiakaivot oli täytetty vedellä, mutta vesilukko ei ollut kunnolla paikoillaan, jolloin ilma pääsi vuotamaan kaivon pohjan ja viemäriputken välistä. Kuva 18 kertoo samasta havainnosta, jonka huomasimme jo aikaisemmin lämpökuvauksella. Ilmanvaihtokonehuoneessa Paroc-seinän alapuolen kevytsoraharkkomuuraus vuoti nopeudella 2,11 m/s.

6.2 Lämpökuvaus

Mittauksen jälkeen muutaman päivän päästä rakennukseen tehtiin lämpökuvaus normaaleissa käyttöolosuhteissa. Ilmanvaihto säädettiin niin, että rakennuksessa oli alipainetta 0...15 Pa ja kuvaus tehtiin sisäpuolelta. Kuvaus tehtiin hakemalla virheinä lämpötilaindeksiin 65 alittavia pistemäisiä pintalämpötiloja ja otettiin alittavista kohdista lämpökuva sekä valokuva. Tutkittiin erityisesti niitä paikkoja, jotka huomattiin mittauksessa vuotopaikoiksi. Joistain kohdista otettiin lämpökuva todisteeksi, vaikka pistemäisen pintalämpötilan indeksi oli yli 65. Nämä kohdat osoitta-

vat, etteivät vuotopaikkoja etsiessä havaitut virheet ole aina sellaisia rakennusvirheitä, jotka vaativat korjaustoimenpiteitä. Kaikki lämpökuvauksessa havaitut virheet raportoitiin ja kerrottiin työmaalle. Työmaa tutki vuotokohtat ja korjasi ne välittömästi.

Plaza II Largoa tutkittaessa tehtiin seuraavanlaisia havaintoja.

Liite 3:

Lämpökuvauus, sivuilla 1 (8) ja 2 (8) nähdään ikkunatiiviste sekä karmien vuotokohtien täyttävän vaaditun indeksitason 65. Sivulla 3 (8) on lämpökuvauus toimistotalon eteisestä, jonka sisäänkäynnin metalliulkoovien alareunan tiivisteet vuotavat ja indeksitaso jää reilusti alle sallitun. Tällöin tulee huomioida, että kyseessä on tuulikaappi, jossa ihmiset eivät oleskele, joten indeksitaso voidaan alittaa.

Capellaa tutkittaessa tehtiin seuraavanlaisia havaintoja.

Liite 3:

Lämpökuvauus, sivu 4 (8) kuvasta voidaan todeta harkkomuurauksen täyttävän reilusti vaaditun minimitason. Sivulla 5 (8) esitetyssä kuvasta nähdään ikkunantiivisteiden vuotavan. Sivuilla 6, 7 ja 8 (8) olevista kuvista havaitaan samat virhepaikat, jotka ilmenivät jo ilmatiiviysmittauksista tehtäessä. Näissä kohdissa indeksitaso alittuu reilusti ja kyseiset kohdat vaativat ehdottomasti lisätutkimusta sekä korjausta.

6.3 Mittauksen raportointi

Mittauksen raportointia on pyritty kehittämään tutkimuksen edetessä. Työssä saatiin luotua sellainen raporttipohja, joka on helppo ja nopea lukea, mutta sisältää myös kaiken tarvittavan tiedon. Liite 4: Mittausraportti, Largo kertoo ensimmäisestä tutkimuksessa mukana olleesta kohteesta. Largoan tehtiin laaja tutkimus, joka

sisälsi kaikki vaiheet, jopa normaaleissa käyttöolosuhteissa tehtävään lämpökuvaukseen asti. Viimeinen ilmatiiviyssmittaus tehtiin Oulunkylän perhetukikeskukseen. Oulunkylään tehtiin pelkkä ilmavuotoluvun mittaaminen. Raportti kehitettiin mahdollisimman kevyeksi luettavaksi, mutta kaiken oleellisen tiedon sisältäväksi.

Oulunkylän perhetukikeskuksen ilmatiiviyssmittauksen raportointia kehitettiin Largon raportointiin nähden seuraavasti.

Liite 5:

Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus sivulla 4 (12) nähdään mittalaitetiedot. Niihin lisättiin tärkeinä tietoina mittarin sarjanumero ja kalibrointipäivämäärä, esimerkiksi: sn 672229, kalibroitu 9/2010. Uudet mittalaitteet tulee kalibroida ensimmäisen kerran kahden vuoden jälkeen ja sitten kahden vuoden välein toistetaan uudestaan. Näin menetellään aina, jollei valmistaja toisin ilmoita. Sivulla 5 (12) on esitetty taulukko, johon kerätään mitatut alku- ja lopputilanteen paine-erot. Paine-erot mitattiin kahdesta eri ilmansuunnasta, jotka olivat itä ja pohjoinen. Nämä kohdat tulee olla samat, joista mitataan mittauksen aikana kehittyvän ali- tai ylipaineen suuruus. Lopuksi lasketaan keskiarvo näiden pisteiden ilmoittamista lukemista. Sivulla 7 (12) esitetty taulukko 3 on kehittyneempi versio alkuperäisestä. Se ilmoittaa suoraan mittauspisteiden arvot ja ottaa myös huomioon alku- ja lopputilanteen paine-erojen vaikutukset. Mittauspisteiden määrän kasvaessa yli yhteen lasketaan kaikkien pisteiden keskiarvo tietyllä hetkellä. Lisäksi sivulla 10 (12) nähdään Ilmatieteenlaitokselta saatavat säätiedot, jotka kertovat toteutuneet säätiedot edeltävältä vuorokaudelta. Toimii todisteena raportissa ilmoitetuista säätiedoista. Mikäli on mahdollista, niin automaation valvonta-alakeskuksesta saadaan tuloste, josta nähdään suoraan poistokanavassa virranneen ilman määrät, esimerkki sivuilla 11 ja 12 (12).

Liite 6: Mittaussuunnitelma, Polaris Capella sivuilla 1-3 (3) on hyvä esimerkki siitä, kuinka mittaussuunnitelma tehdään ja mitä asioita siinä pohditaan. Liite 7: Mittauk-

seen osallistujien yhteystietokaavake sivu 1 (1) ja liite 8: "Ilmatiiviysmittaus käynnissä" -varoitusslomake sivu 1 (1), ovat hyviä aputyökaluja mittauksen johtajalle. Liite 9: Lämpökuvaus merkinnät sivuilla 1-2 (2), nähdään miten otetut lämpökuvat merkittiin rakennuksen pohjakuviin.

Tutkimus laajeni kaikkiaan yhdeksään kohteeseen, joista neljä oli toimistotaloja. Loput kohteista oli Lohjan ja Tammistonportin kauppapaikat sekä asuntokohteisiin rinnastettavat Lystilän ja Oulunkylän kohteet. Kohteet erosivat rakenteeltaan toisistaan, mutta yleisimmät vuotopaikat pysyivät miltei poikkeuksetta samoin. Mitatuisista kohteista laskettiin ainoastaan n_{50} -luku, vaikka q_{50} -luku olisi kuvaavampi yksikkö. Tilavuudeltaan suuren rakennuksen ulkoseinän pinta-alan suhde ilmatilavuuteen on suhteessa pieni verrattuna tilavuudeltaan pieneen rakennukseen. Tällöin ison ilmatilavuuden omaavat rakennukset pääsevät helposti pieniin n_{50} -lukuihin, mutta q_{50} -luvut jäävät samalle tasolle pienen ilmatilavuuden omaavien rakennusten kanssa. Kuitenkaan nykyiset määräykset ja ohjeet eivät vaadi ilmoittamaan q_{50} -lukua. Taulukosta 3 nähdään tutkimuksessa mukana olleiden kohteiden ilma-
vuotoluvut.

TAULUKKO 3. Mitatut kohteet.

ILMATIIVIYSMITTAUSTEN TULOKSET	
Kohde	n₅₀
Plaza II Largo	0,5
Polaris Capella	0,7
Lohjan Starkki	0,7
Lystilän päivä- ja hoivakoti	1,1
Tammistonportti F-osa	0,8
Falcon Lago	0,5
Plaza II Rondo	0,5
Lohjan S-market	1,5
Oulunkylän perhetukikeskus	0,4

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Ilmatiiviysmittauksesta saadaan monenlaista hyötyä. Mittaustuloksia voidaan hyödyntää rakennushankkeen jokaista yksittäistä toimijaa palvelevaksi. Siitä hyötyvät kaikki osapuolet suunnittelijasta rakennuksen käyttäjään asti. Saaduilla tuloksilla ja erityisesti vuotopaikka havainnoilla voidaan parantaa tuotantoprosessia siten, että tiiviiden kannalta riskialttiit rakenneratkaisut tunnistetaan työmaalla ja niiden oikeaoppiseen toteutukseen osataan paneutua. Näin yksinkertaisesti pystytään minimoimaan radikaalimmatkin virheet. Toinen merkittävä asia tehdyillä ilmapuotuhavainnoilla on se, että mittauksen järjestäjä pystyy ennen mittauksen alkamista tarkistamaan yleisesti toistuvat havainnot, jolloin ne voidaan korjata ennen mittauksen aloittamista esimerkiksi lattiakaivojen sisuskalut. Tutkimuksen tuloksena saadaan kattava ohje työmaalle, joka kertoo mihin heidän tulee kiinnittää huomiota ja, mitä pitää olla valmiina ennen kuin tiiveysmittaus voidaan suorittaa. Saadusta ilmapuotoluvusta hyödytään myös energiantasauslaskelmassa, joka tehdään aina rakennusluvan hakuvaiheessa ja kohteen luovutuksen jälkeen. Mikäli rakennus on lähellä toista energialuokkaa niin, silloin mittaustuloksella voidaan saavuttaa alempi energialuokka. Plaza II Largon ilmatiiviysmittaus tuloksen perusteella energialuokka kohosi E-luokasta D-luokkaan.

Lähdettäessä suunnittelemaan ilmatiiviysmittausta mittaajan tulee kiinnittää erityistä huomiota mitattavan rakennuksen ilmatilavuuden laskentaan. Tilavuuden laskeminen on ehdottomasti tärkein tekijä todellisen ilmapuotoluvun määrittämiselle, joten sen laskemiseen pitää paneutua erityisellä tarkkuudella. Peruslaskusääntönä on, että tilavuutta rajaavat ulkoseinäpinnat, lattian yläpinta ja katon alapinta eli niin sanotusti silminnähtävät rakenteet. Välipohjia ei saa laskea mukaan tilavuuteen. Kevyitä väliseiniä ei tarvitse vähentää tilavuudesta, koska niiden vaikutus lopputulokseen on niin pieni. Eniten epäselvyyttä aiheuttaa alakattojen vaikutuksen huomioiminen.

Tasauslaskentaoppaassa rakennuksen ilmatilavuuden laskeminen määritellään seuraavasti:

”Milloin huoneessa on alakatto, jonka pinta-alasta aukkojen osuus on vähemmän kuin puolet, katsotaan huonetta yläpuolelta rajoittavaksi pinnaksi alakaton alapinta.” (Tasauslaskentaopas 2007, 15.)

Mikäli alakattolevyissä on yli 50 % reikien osuus levyn pinta-alasta niin, silloin niitä ei tarvitse vähentää tilavuudesta. Muussa tapauksessa ne tulee vähentää. Tämä määritelmä on erittäin virheellinen. Mikäli levyt ovat pieniä reikiä täynnä, niin ilma pääsee virtaamaan reikien lävitse, jolloin alakattojen yläpuoliseen tilaan kehittyy ali- tai ylipaine. Tällöin tilavuus pitää laskea mukaan ilmatilavuuteen.

8 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda NCC Rakennus Oy:lle toimintamalli rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla tehtävään ilmatiiviyksmittaukseen. Päättävöitteena oli kehittää mittausjärjestely, joka täyttää määräysten ja ohjeiden asettamat vaatimukset. Lisäksi tavoitteena oli kasvattaa tutkijan ammattitaitoa ilmatiiviyksmittaamiseen ja lämpökuvaamiseen.

Tutkimustuloksena syntynyttä toimintamallia sekä mallin sisältämää raportointipohjaa käytetään uusia mittauksia tehtäessä. Raportoinnista saatiin kehitettyä kattava kokonaisuus ja tutkijalle kehittyi ammattitaito mittauksen järjestämiseen. Tehtyjen vuotohavaintojen perusteella pystyttiin siirtämään informaatiota suoraan työmaille, jolloin työmaat pystyivät ottamaan huomioon riskialttiit rakenteet jo toteutuksen alkuvaiheessa. Tutkimukselle saatiin lisätietoa rakennuksesta ja voitiin parantaa rakentamisen laatua.

Uusimpien mitattujen kohteiden urakkasopimuksiin kirjatut ilmatiiviyksvaatimukset voitiin osoittaa vaatimusten mukaisiksi. Toimintamalli on saanut erittäin hyvää palautetta niin rakennuttajan kuin tilaajankin puolesta. TRU -yksikkö ottaa kehitetyn mittausmenettelyn välittömästi käyttöön ja kehittää sitä edelleen, jolloin havaitut ongelmakohdat voidaan eliminoida jo suunnitteluvaiheessa. Kaikki mittaukset tehtiin samalla työryhmällä, jolloin työryhmälle kehittyi selkeä rutiini ja mittauksyön laatu pääsi vakiintumaan. Mittauksyöryhmän muodostivat Kimmo Kärkkäinen (laatu- ja ympäristöpäällikkö), Ville Räikkönen (kehitysinsinööri) ja Tommi Aronranta (NCC:n työmaapalveluiden tiiviyksmittausten ja lämpökuvausten tekijä). Yrityksellä on entuudestaan kokemusta asuntojen ilmatiiviyksmittauksista.

LÄHTEET

Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön opas.

Infradex. 2010. Lämpökamerat ThermaCAM ja InfraCAM. [Verkkosivusto]. [Viitattu 1.9.2010]. Saatavana: <http://www.infradex.com>.

Koja. 2010. Tilavuusvirran kaava. [Verkkosivusto]. [Viitattu 1.9.2010]. Saatavana: <http://www.koja.fi/>.

Ohjekortti. 2008. Teollisen taloalmistuksen ilmanpitävyyden laadunvarmistus. Helsinki: AISE –projektiin osallistuneet, TTY, TKK sekä Ympäristöministeriö.

Paloniitty, S. 2004c. Rakennuksen lämpökuvaus. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.

Raeco. 2010. Tsi Veoci Calc Plus. [Verkkosivusto]. [Viitattu 1.9.2010]. Saatavana: <http://www.raeco.com/>.

RakMK D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityshontarpeen laskenta. Helsinki: Rakennustieto.

SFS – EN 13829. 2001. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). European standard, CEN 2000.

Suunnitteluohje. 2008. Ehdotus ilmanpitävyyden laadunvarmistusmenettelyksi. Helsinki: Optiplan Oy.

Swema. 2010. Swema 60. [Verkkosivusto]. [Viitattu 1.9.2010]. Saatavana: <http://www.swema.com/>.

Tasauslaskentaopas. 2007. Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittaminen. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Teknocolor. 2010. Rotronic hygropalm 0. [Verkkosivusto]. [Viitattu 1.9.2010]. Saatavana: <http://www.teknocalor.fi/>.

Trykproevning. 2010. Tsi Airflow. [Verkkosivusto]. [Viitattu 1.9.2010]. Saatavana: <http://trykproevning.dk/>.

Yeint. 2010. Testo 510. [Verkkosivusto]. [Viitattu 1.9.2010]. Saatavana: <http://www.yeint.fi/>.

LIITTEET

Liite 1. Lämpökuvauksella paikannetut vuodot.

Liite 2. Käsin tunnustelemalla paikannetut vuodot.

Liite 3. Lämpökuvaus.

Liite 4. Mittausraportti, Largo.

Liite 5. Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus.

Liite 6. Mittaussuunnitelma, Polaris Capella.

Liite 7. Mittaukseen osallistujien yhteystietokaavake.

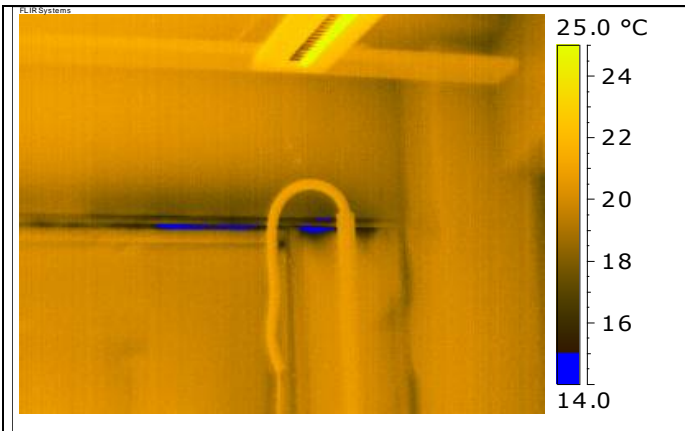
Liite 8. Ilmatiiviysmittaus käynnissä, varoituslomake.

Liite 9. Lämpökuvaus merkinnät.

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 6/ mittauskohta 1

Kuvauspäivämäärä: 29.11.2008



Lämpökuva 1.



Tunniste	Arvo

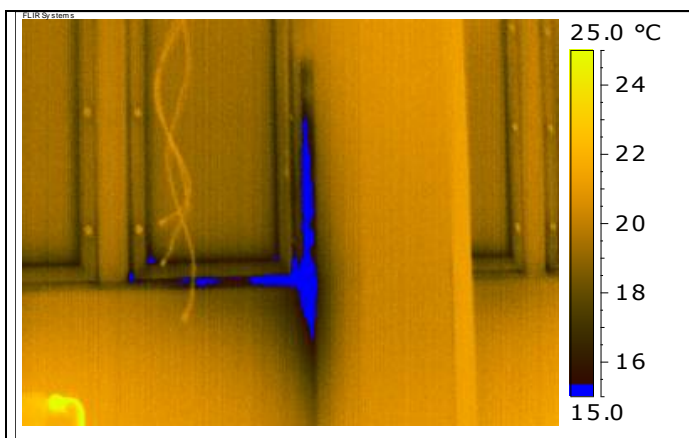
Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	22.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	13:07:03
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s (itä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	34.0 %
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-50 Pa
Ulkoilman lämpötila	4.0 °C	Sisäilman lämpötila	22.0 °C

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 4/ mittauskohta 21

Kuvauspäivämäärä: 29.11.2008



Lämpökuva 2.



Tunniste	Arvo
Isol	15.3 °C

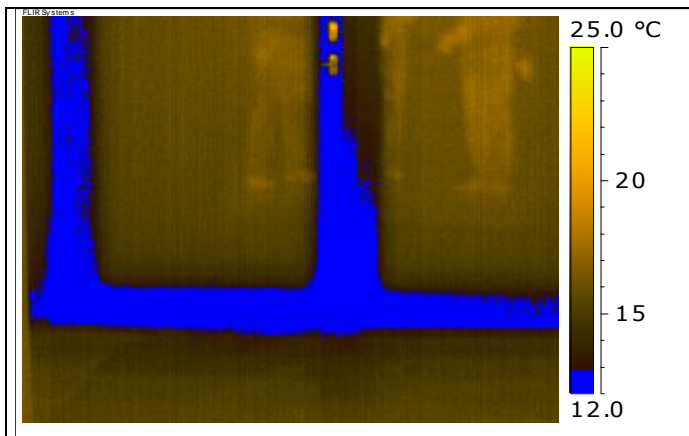
Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	22.5 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	14:05:36
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s (itä)
Pilvisyys	Puolipilvinen
Ulkoilman lämpötila	5.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	33.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-43 Pa
Sisäilman lämpötila	22.5 °C

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 1/ mittauskohta 27	Kuvauspäivämäärä: 29.11.2008
----------------------------------	-------------------------------------



Lämpökuva 3.



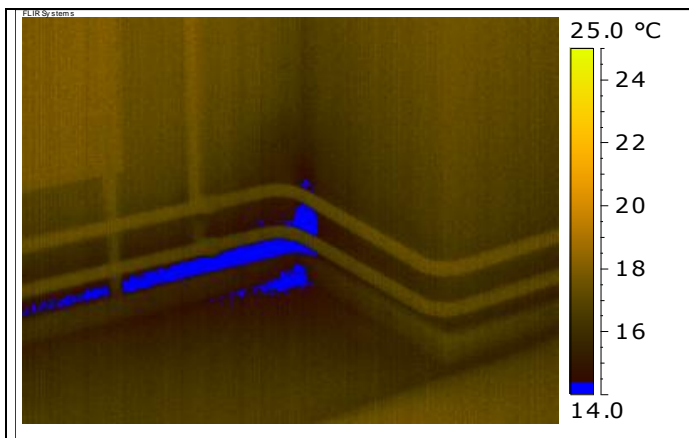
Tunniste	Arvo	Mittausparametri	Arvo
Iso1	12.8 °C	Emissiivisyys	0.95
		Etäisyys	2.5 m
		Taustalämpötila	18.0 °C
		Tunniste	Arvo
		Lämpökuva:	14:28:48
		Kuvauskellonaika	
		Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
		Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s (itä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	39.0 %
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-62 Pa
Ulkoilman lämpötila	5.0 °C	Sisäilman lämpötila	18.0 °C

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 1/ mittauskohta 36

Kuvauspäivämäärä: 29.11.2008



Lämpökuva 4.



Tunniste	Arvo
Isol	14.3 °C

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	2.5 m
Taustalämpötila	18.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	14:52:53
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

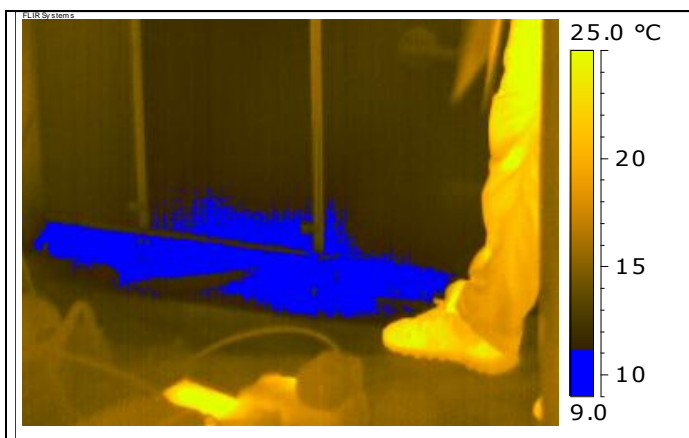
Tuuli/suunta	5 m/s (itä)
Pilvisyys	Puolipilvinen
Ulkoilman lämpötila	5.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	39.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-62 Pa
Sisäilman lämpötila	18.0 °C

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 1/ mittauskohta 41

Kuvauspäivämäärä: 29.11.2008



Lämpökuva 5.



Tunniste	Arvo
Isol	11.0 °C

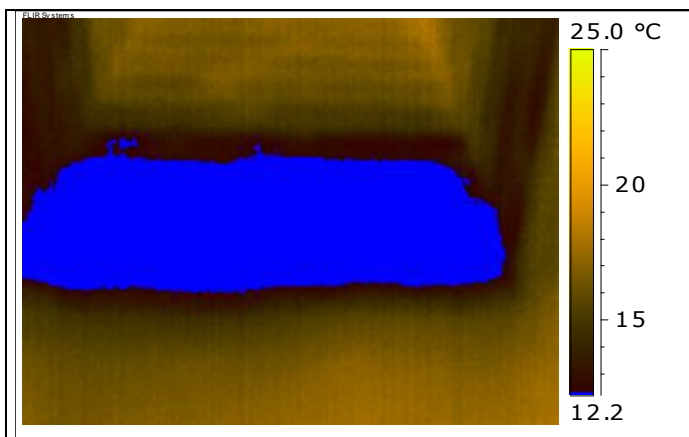
Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	2.5 m
Taustalämpötila	18.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	15:17:01
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s (itä)
Pilvisyys	Puolipilvinen
Ulkoilman lämpötila	5.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	39.0 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-62 Pa
Sisäilman lämpötila	18.0 °C

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 5/ mittauskohta 13	Kuvauspäivämäärä: 28.2.2009
----------------------------------	------------------------------------



Lämpökuva 6.



Tunniste	Arvo
Isol	12.2 °C

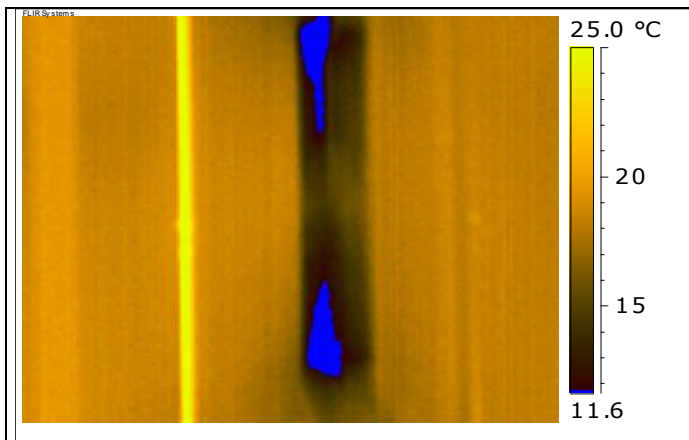
Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	22.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	14:19:35
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	26001005

Tuuli/suunta	5 m/s (luoteis)	Sisäilman suhteellinen kosteus	21.4 %
Pilvisyys	Selkeä	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-37..-40 Pa
Ulkoilman lämpötila	-3.0 °C	Sisäilman lämpötila	22.0 °C

--

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 3/ mittauskohta 22	Kuvauspäivämäärä: 28.2.2009
----------------------------------	------------------------------------



Lämpökuva 7.



Tunniste	Arvo
Isol	11.6 °C

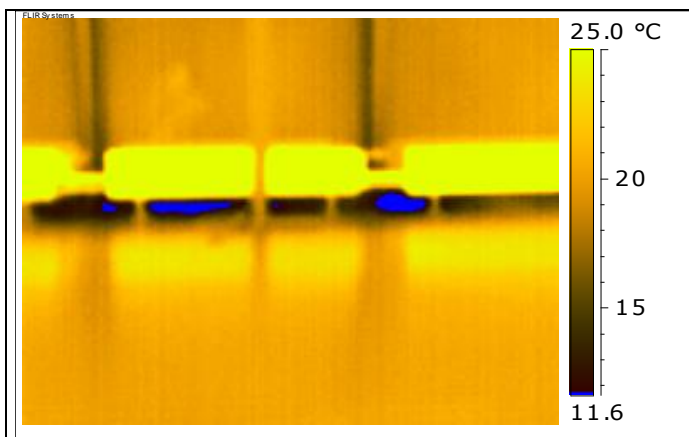
Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	21.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	14:50:25
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	26001005

Tuuli/suunta	5 m/s (luoteis)	Sisäilman suhteellinen kosteus	22.0 %
Pilvisyys	Selkeä	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-50..-55 Pa
Ulkoilman lämpötila	-3.0 °C	Sisäilman lämpötila	21.0 °C

--

LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 1/ mittauskohta 25	Kuvauspäivämäärä: 28.2.2009
----------------------------------	------------------------------------



Lämpökuva 8.



Tunniste	Arvo
Isol	11.6 °C

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	21.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	15:01:31
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kamerateyppi	
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	26001005

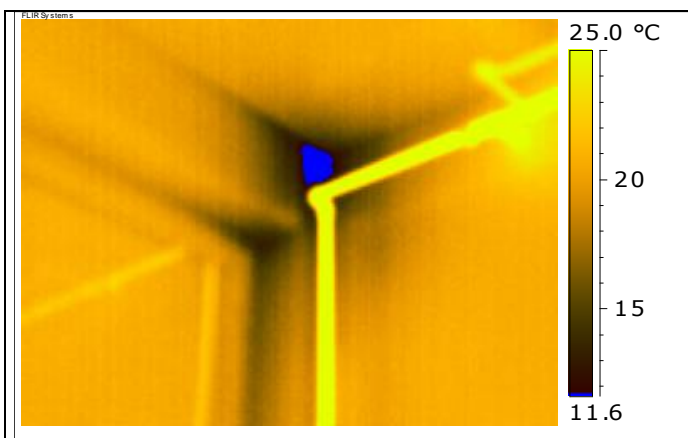
Tuuli/suunta	5 m/s (luoteis)	Sisäilman suhteellinen kosteus	22.8 %
Pilvisyys	Selkeä	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-57..-70 Pa
Ulkoilman lämpötila	-3.0 °C	Sisäilman lämpötila	21.0 °C

--

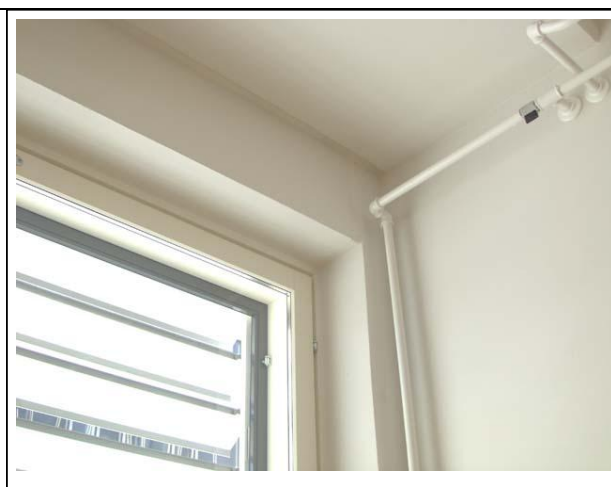
LIITE 1: Lämpökuvauksella paikannetut vuodot

Kerros 1/ mittauskohta 28

Kuvauspäivämäärä: 28.2.2009



Lämpökuva 9.



Tunniste	Arvo
Isol	11.6 °C

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	21.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	15:11:20
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	26001005

Tuuli/suunta	5 m/s (luoteis)
Pilvisyys	Selkeä
Ulkoilman lämpötila	-3.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	22.8 %
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-57..-70 Pa
Sisäilman lämpötila	21.0 °C

--

LIITE 2: Käsien paikannetut vuodot



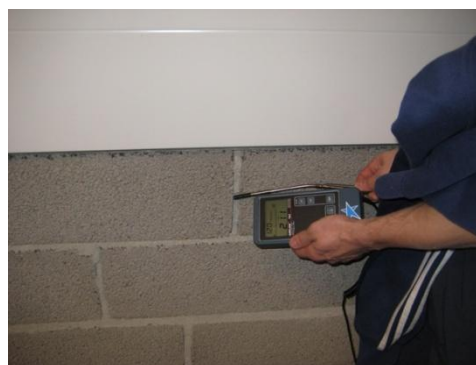
KUVA 4. Kerros 4/ mittauskohta 5,
virtausnopeus 4,20 m/s.



KUVA 8. Kerros 5/ mittauskohta 11,
virtausnopeus 7,50 m/s.



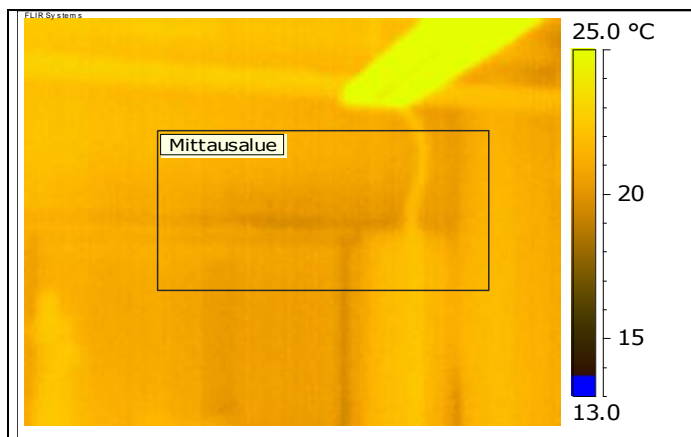
KUVA 16. Kerros 1/ mittauskohta 23,
virtausnopeus 7,85 m/s.



KUVA 18. Kerros 1/ mittauskohta 27,
virtausnopeus 2,11 m/s.

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 6/ mittauskohta 1	Kuvauspäivämäärä: 5.12.2008
---------------------------------	------------------------------------



Lämpökuva 1.



Tunniste	Arvo
Mittausalue: Maks	22.4 °C
Mittausalue: Min	19.4 °C
Isol	13.6 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	92

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	21.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	17:52:35
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	26001005

Tuuli/suunta	5 m/s, (koillinen)	Sisäilman suhteellinen kosteus	31.2 %
Pilvisyys	Melkein pilvistä	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-2..-14 Pa
Ulkoilman lämpötila	-0.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvan mittausalueella 19,4 °C, joka vastaa lämpötila indeksiä 92. Tiiviysmittauksen alipaineistuksessa havaittu poikkeama – nyt mittausajankohtana kohta vaikuttaa pintalämpötilojen suhteen olevan riittävällä tasolla.

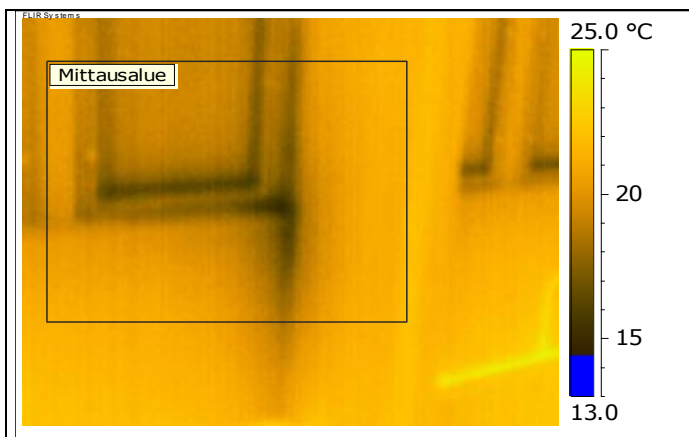
Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmavuoto, eristevika).

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 4/ mittauskohta 4	Kuvauspäivämäärä: 5.12.2008
---------------------------------	------------------------------------



Lämpökuva 2.

Tunniste	Arvo
Mittausalue: Maks	22.2 °C
Mittausalue: Min	14.8 °C
Iso1	14.3 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	67

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	22.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	18:53:02
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	26001005

Tuuli/suunta	5 m/s, (koillinen)	Sisäilman suhteellinen kosteus	30.2 %
Pilvisyys	Melkein pilvistä	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-8..-14 Pa
Ulkoilman lämpötila	-0.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	22.0 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvan mittausalueella 14,8 °C, joka vastaa lämpötila indeksiä 67. Tiiviysmittauksen alipaineistuksessa havaittu poikkeamaa – nyt mittausajankohtana kohta vaikuttaa pintalämpötilojen suhteen olevan riittävällä tasolla.

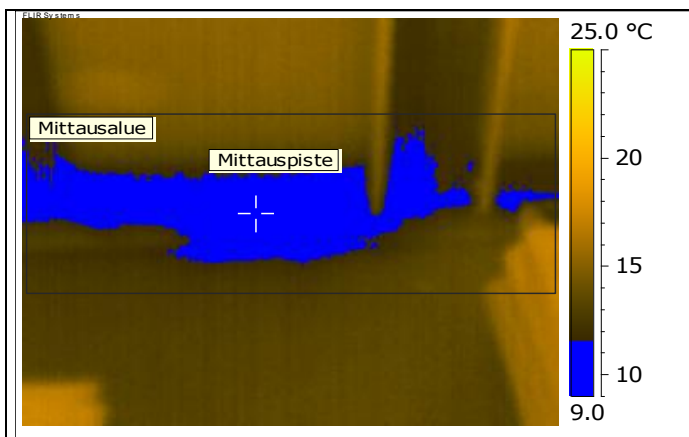
Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmavuoto, eristevika).

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 1/ mittauskohta 5	Kuvauspäivämäärä: 5.12.2008
---------------------------------	------------------------------------



Lämpökuva 3.



Tunniste	Arvo
Mittauspiste	7.9 °C
Mittausalue: Maks	17.3 °C
Mittausalue: Min	7.8 °C
Iso1	11.5 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	37

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	2.0 m
Taustalämpötila	21.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	19:34:09
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	26001005

Tuuli/suunta	5 m/s, (koillinen)	Sisäilman suhteellinen kosteus	30.4 %
Pilvisyys	Melkein pilvistä	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-8 Pa
Ulkoilman lämpötila	-0.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvan mittausalueella 7,8 °C, joka vastaa lämpötila indeksiä 37 – oven alareunassa vuotoa. Huom! Kuvan Iso1 värityksen (sininen alue) lämpötilaa alennettu kuvan selventämiseksi. Kuuluisi olla 13,6 °C.

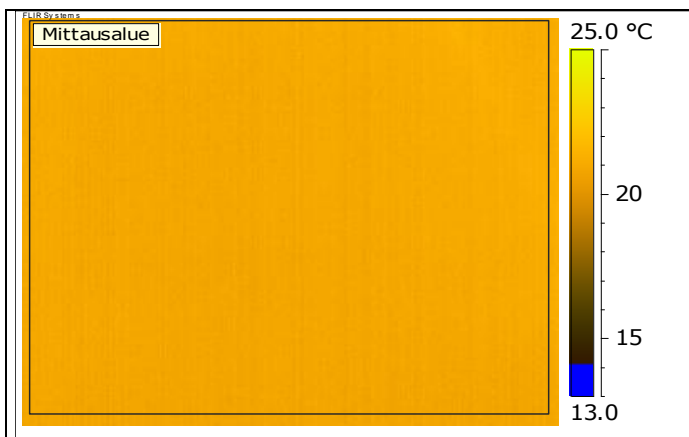
Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmavuoto, eristevika).

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 5/mittauskohta 14	Kuvauspäivämäärä: 5.3.2009
---------------------------------	-----------------------------------



Lämpökuva 4.

Tunniste	Arvo	Mittausparametri	Arvo
Mittausalue: Maks	21.7 °C	Emissiivisyys	0.95
Mittausalue: Min	20.2 °C	Etäisyys	3.0 m
Isol	14.0 °C	Taustalämpötila	21.5 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	94	Tunniste	Arvo
		Lämpökuva:	10:46:16
		Kuvauskellonaika	
		Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
		Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s, (itä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	-
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-8..-9 Pa
Ulkoilman lämpötila	0.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	21.5 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvassa mittausalueella 20,2 °C, lämpötilaindeksinä 94. Tiiveysmittauksen alipaineistuksessa havaittu poikkeama – nyt mittausajankohtana kohta vaikuttaa pintalämpötilojen suhteen olevan riittävällä tasolla.

Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmavuoto, eristevika)

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 3/mittauskohta 17	Kuvauspäivämäärä: 5.3.2009
---------------------------------	-----------------------------------



Lämpökuva 5.



Tunniste	Arvo
Mittausalue: Maks	18.5 °C
Mittausalue: Min	9.1 °C
Iso1	12.6 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	47

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	19.5 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	11:02:15
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s, (itä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-10..-15 Pa
Ulkoilman lämpötila	0.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	19.5 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvassa mittausalueella 9,1 °C, lämpötilaindeksinä 47 – mittausalueella ikkunoissa tiivistevuotoa.

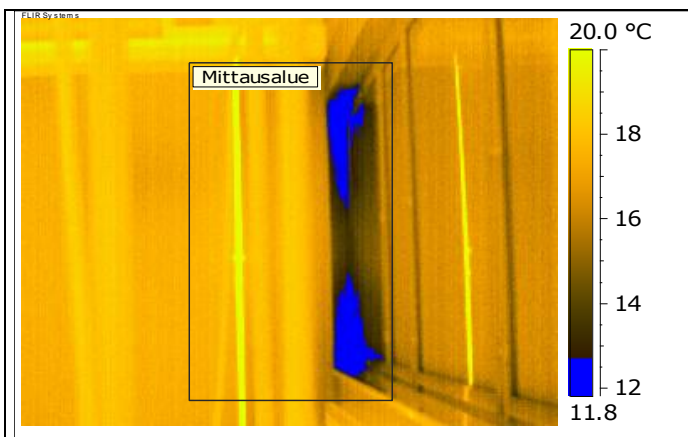
Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmapuoto, eristevika)

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 3/mittauskohta 27	Kuvauspäivämäärä: 5.3.2009
---------------------------------	-----------------------------------



Lämpökuva 6.

Tunniste	Arvo
Mittausalue: Maks	30.5 °C
Mittausalue: Min	7.2 °C
Iso1	12.6 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	37

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	4.0 m
Taustalämpötila	19.5 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	11:16:53
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s, (itä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-10..-15 Pa
Ulkoilman lämpötila	0.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	19.5 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvassa mittausalueella 7,2 °C, lämpötilaindeksinä 37.
Huom! Käsin tunnustellessa ilmavirtausta pilarin takaa – suositellaan lisätutkimusta.

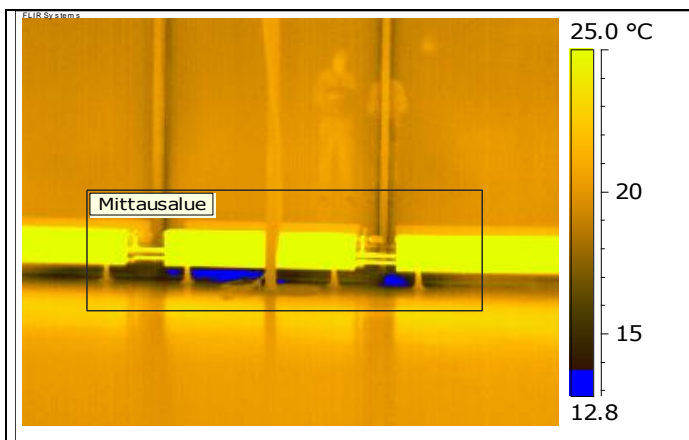
Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmapuoto, eristevika)

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 1/mittauskohta 28	Kuvauspäivämäärä: 5.3.2009
---------------------------------	-----------------------------------



Lämpökuva 7.

Tunniste	Arvo
Mittausalue: Maks	34.3 °C
Mittausalue: Min	10.8 °C
Isol	13.6 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	50

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.5 m
Taustalämpötila	20.5 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	12:29:30
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s, (itä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-3..-13 Pa
Ulkoilman lämpötila	1.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvassa mittausalueella 10,8 °C, lämpötilaindeksinä 50 – ilmapuotoa patterin takana lattiarajassa (sininen isothermiväri tarkoittaa vuodon seurauksena viilentyneen pinnan).

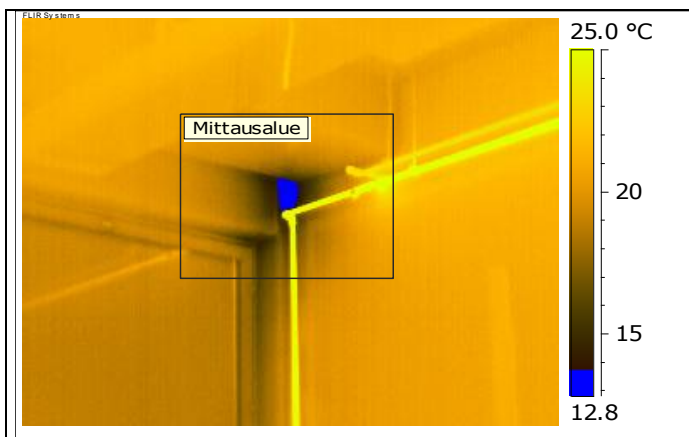
Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmapuoto, eristevika)

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 3: Lämpökuvaus.

Kerros 1/mittauskohta 32	Kuvauspäivämäärä: 5.3.2009
---------------------------------	-----------------------------------



Lämpökuva 8.



Tunniste	Arvo
Mittausalue: Maks	33.4 °C
Mittausalue: Min	11.5 °C
Iso1	13.6 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	54

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	3.0 m
Taustalämpötila	20.5 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva:	12:39:48
Kuvauskellonaika	
Lämpökuva: Kameratyyppi	S65 PAL
Lämpökuva: Kameran sarjanumero	23401555

Tuuli/suunta	5 m/s, (itä)	Sisäilman suhteellinen kosteus	28.0 %
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	-3..-13 Pa
Ulkoilman lämpötila	1.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	20.5 °C

Alin pistemäinen pintalämpötila kuvassa mittausalueella 11,5 °C, lämpötilaindeksinä 54.

Pistemäiset lämpötilat uudisrakentaminen:

Indeksi <65: (uudisrakentaminen) Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa (esim. ilmavuoto, eristevika)

Indeksi 65-100: (uudisrakentaminen) Hyvä taso (riittävä taso)

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.



PLAZA II LARGO

Työ 11143

ILMATIIVIYSMITTAUS SEKÄ YLEISIMMÄT VUOTOKOHDAT


a
r
c
h
i
t
e
c
t
s



PLAZA II LARGO

NÄKYMÄ ETELÄSTÄ 29.06.2007

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.**SISÄLLYSLUETTELO**

1	YLEISTÄ MITTAUKSESTA.....	3
1.1	TIETOA MITTAUSKOHTEESTA.....	3
1.2	OSALLISTUJAT	3
2	ILMATHIIVYYSMITTAUS.....	4
2.1	MITTALAITTEET	4
2.2	MITTAUSVALMISTELUT	4
2.3	VARSINAINEN MITTAUS	4
2.3.1	TILAVUUSLASKELMA	5
2.4	MITTAUSTULOKSET.....	5
2.5	TULOSTEN POHDINTA	7
3	YLEISIMMÄT VUOTOKOHDAT.....	8
3.1	MITTALAITTEET	8
3.2	SÄÄTIEDOT	8
3.3	LÄMPÖKAMERALLA PAIKANNETUT VUODOT	9
3.4	KÄSIN TUNNUSTELEMALLA PAIKANNETUT VUODOT	9
3.5	TULOSTEN POHDINTA	11
4	TARKASTUS LÄMPÖKUVAUS	12
4.1	MITTALAITTEET	12
4.2	SÄÄTIEDOT	12
4.3	TARKASTUS LÄMPÖKUVAT NORMAALEISSA KÄYTTÖOLOSUHTEISSA	12
4.4	TULOSTEN POHDINTA	13
	LIITTEET	13

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

1 YLEISTÄ MITTAUKSESTA

1.1 Tietoa mittauskohteesta

Largossa on seitsemän kerrosta, joista ensimmäiseen kerrokseen on sijoitettu toimistotilojen lisäksi siivouskeskus, kerroksiin 2-6 toimistoja ja ylimpään kerrokseen on sijoitettu IV-konehuone. Rakennus on pinta-alaltaan 6205 brm² ja tilavuudeltaan 23945 rm³. Kohde on valmistunut 15.12.2008.

Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla sekä lämmöntalteenotolla. Ilmanvaihto koostuu pääasiassa kahdesta IV-koneesta sekä aula-tilassa ilmaa kierrättävästä kiertoilmakoneesta. Toinen IV-koneista palvelee kerroksia 1-3 ja toinen kerroksia 4-6. Rakennuksen lämmitys on hoidettu kaukolämmöllä ja vesikiertoisella patterilämmityksellä.

Osoite:

Plaza II Largo
Äyritie 8
01510 VANTAA

1.2 Osallistujat

Matias Suomela
Työnjohtoharjoittelija
NCC Rakennus Oy

Ville Räikkönen
Kehitysinsinööri
NCC Rakennus Oy

Tommi Aronranta
Työmaapalvelut
NCC Rakennus Oy

Kimmo Kärkkäinen
Laatu- ja ympäristöpäällikkö
NCC Rakennus Oy

Lauri Anttila
Talotekniikka-asiantuntija
NCC Rakennus Oy

Lasse Suomela
Opiskelija
Kuortaneen lukio

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

2 ILMATIIVIYSMITTAUS

Varsinainen tiiviysmittaus suoritettiin 29.11.2008 klo 7:00–11:30 ja se tehtiin koko rakennuksen alueelle lukuun ottamatta IV-konehuonetta. Lisäksi mukaan mittaukseen otettiin yhdyskäytävä Vivace-Largo. Tuulettuvaa alapohjaa ei oteta mukaan mittaukseen. Mittaus toteutettiin standardin EN 13829, menetelmän B mukaisesti. Mittauskohde on vielä rakenteilla, joten siksi joudutaan tekemään tiettyjä ylimääräisiä valmisteluita.

2.1 Mittalaitteet

- Paine-ero mittarit:
 - SwemaMan 60 (1. kerroksen paine-erot)
 - Testo 510 (4. ja 6. kerrosten paine-erot)
 - Veloci Calc Plus (paine poistoilmapuhaltimen yli)

2.2 Mittausvalmistelut

- sisäovet auki
- ulko-ovet kiinni
- ikkunat kiinni
- varmistetaan että vesilukoissa vettä(wc-pöntöt, käsienpesualtaat, lattiakaivot)
- IV-koneet (302, 301, kiertoilmakone, IVKH:n oma kone) pysäytetään ja sulkupellit suljetaan
- huippuimurit ja erillispoistopuhaltimet pysäytetään
- suoritetaan teippaukset/muovitukset:
 - kaikkien huippuimureiden kanavat
 - suoranporrasuoneen savunpoistoluukku (luukku ei mennyt kiinni asti)
 - valohuoneeseen tulevien IV-kanavien päät
 - yhdyskäytävän pihalle johtava ovi ja pääsisäänkäynninovi (tiivisteet asentamatta)
 - Vivaceen- ja Rondon johtavat yhdyskäytävänovet (mittausalueen rajaus, eivät ole lopullisia ulko-ovia)
 - lämmönjakohuoneen lattialuukku (luukku ei ollut kunnolla paikoillaan)
 - sähköpääkeskuksen sähkökaapin lattiaritilä (alapohjan palokatko tekemättä)
 - jätehuoneen poistokanavat
 - siivouskeskuksen lianerotuskaivo (kaivosta tuli ilmavirtausta normaaliolosuhteissa)

2.3 Varsinainen mittaus

- Aloitettiin klo 10:45.
- Sääolosuhteet: sisälämpötila +22 °C, ulkolämpötila +5 °C, itätuulta 4 m/s.
- Mittaus tehtiin poistoilmapuhaltimella 301PF01.
- Paine-eroa mitattiin IV-koneen puhaltimen 301PF01 yli sekä 6.-, 4.- ja 1. kerroksissa (rakennuksen etelä- (A) ja pohjois- (C) sivuilta).
- Poistoilmapuhaltimen:
 - mittalaipan k-arvo on 0,1722
 - tilavuusvirran kaava on $q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p_m}$
- Mittaus aloitettiin puhaltimen taajuudella 20 Hz ja taajuutta kasvatettiin 2 Hz välein
- Päättyi noin klo 11:30

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

Mittaus aloitettiin poistoilmapuhaltimen minimitaajuudella 20 Hz. Jokaisen taajuuden muutoksen jälkeen odotettiin muutama minuutti, että paine-ero ehti tasaantua rakennuksessa. Tämän jälkeen kirjattiin ylös paine puhaltimen yli sekä paine-erot kuudessa eri mittauspisteessä. Poistoilmapuhaltimen taajuutta lisättiin aina siihen asti kunnes 6. kerroksessa oli paine-ero sisä- ja pihailman välillä yli 50 Pa.

2.3.1 Tilavuuslaskelma

Rakennuksen tilavuus

lämminhuone tilavuus (tasauslaskimen mukaan)	19315 m ³
yhdyskäytävä	+ 128 m ³
IV-konehuone	- 861 m ³
alakatot	- 1366 m ³
yhteensä:	17216 m³

2.4 Mittaustulokset

Puhaltimen 301PF01 taajuus [Hz]	Paine puhaltimen yli p _m [Pa]	Tilavuusvirta $q_v = k \cdot \sqrt{p_m}$ [m ³ /s]	Paine-ero sisä- / pihailma (alipaine) 1. KRS [Pa]		Paine-ero sisä- / pihailma (alipaine) 4. KRS [Pa]		Paine-ero sisä- / pihailma (alipaine) 6. KRS [Pa]	
			A	C	A	C	A	C
20	103	1,75	40	38	32	31	27	27
22	124	1,92	46	44	39	37	34	33
24	150	2,11	52	51	44	44	39	38
26	188	2,36	57	56	50	49	44	43
28	225	2,58	64	63	57	57	53	53
20	103	1,75	39	38	32	31	27	27

TAULUKKO 1. Tilavuusvirta ja paine-erot.

(**lihavoitu** = tarkistusmittaus, varmistetaan että olosuhteet ovat pysyneet ennallaan)

Tutkittiin myös sulkupelti vuotojen vaikutusta tulokseen. Huomattiin että paine-erot suodattimien yli ovat niin pieniä, että niiden vaikutusta tulokseen ei tarvitse huomioida.

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

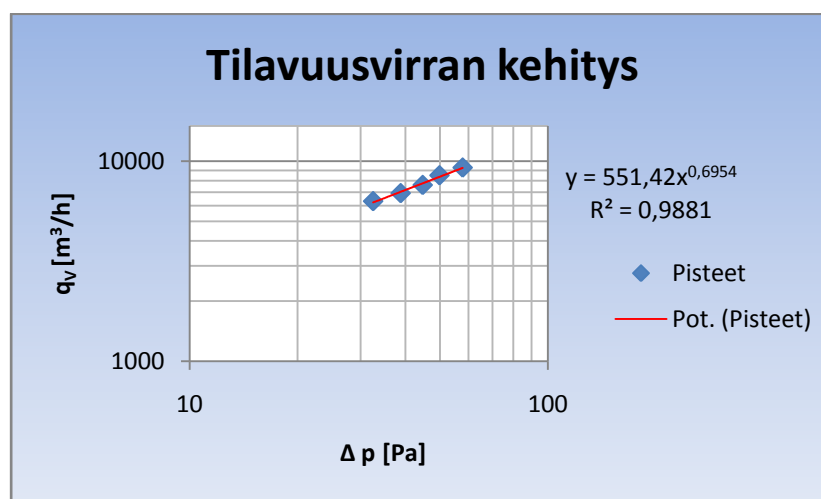
Puhaltimen 301PF01 taajuus [Hz]	Paine 301PF01 tulosuo- dattimen yli [Pa]		Paine 302PF01 tulosuo- dattimen yli [Pa]		Paine 302PF01 poistosuo- dattimen yli [Pa]	Paine LTO:n yli [Pa]
	1.1	1.2	1.1	1.2	019	02
20	0,3	0,2	0,7	0	0	0,6
22	0,6	-0,2	0,3	0	-0,5	-0,4
24	1,2	0,6	-0,1	0	0,4	-0,6
26	0	0	0,2	-0,4	0	-0,7
28	0,2	-0,5	0,3	0	-0,2	-0,7
20	0,3	0,4	0,3	-0,1	0	-0,5

TAULUKKO 2. Paine IV-koneiden suodattimien yli

Taulukon 1. arvojen perusteella laskettiin keskiarvo paine-erolle, näin varmistetaan että rakennuksessa vallitsee keskimääräisesti 50 Pa alipaine.

Tilavuusvirta $q_v = k \cdot \sqrt{p_m}$ [m ³ /s]	Tilavuusvirta $q_v = k \cdot \sqrt{p_m}$ [m ³ /h]	Paine-eron keskiarvo Δp [Pa]
1,75	6300	32,5
1,92	6912	38,8
2,11	7596	44,7
2,36	8496	49,8
2,58	9288	57,8

TAULUKKO 3. Tilavuusvirta ja paine-eron keskiarvo.



KUVIO 1. Tilavuusvirran suhde paine-eroon.

EN 13829 standardin määrittämä tilavuusvirran kaava:

$$V'_{env} = C_{env} \cdot (\Delta p)^n \quad (1)$$

V'_{env} tilavuusvirran suuruus tarkasteltavassa paine-erossa
 C_{env} kerroin
 n kerroin

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

Kaavan (1) kertoimet saadaan mittaustuloksista muodostetusta sovitteesta, kun:

$$y = 551,42x^{0,6954}$$

niin

$$C_{env} = 551,42$$

$$n = 0,6954$$

Kaavasta (1) saadaan laskettua tilavuusvirran suuruus 50 Pa alipaineessa, kun $C_{env} = 551,42$, $n = 0,6954$ ja $\Delta p = 50$.

$$V'_{50} = C_{50} * (\Delta p)^n = 551,42 * (50)^{0,6954}$$

$$V'_{50} = 8434 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ilmavuotoluvun määrittäminen:

$$n_{50} = V'_{50} / V \quad (2)$$

n_{50}	ilmavuotoluku
V'_{50}	tilavuusvirran suuruus 50 Pa alipaineessa
V	sisäpintojen rajaama rakennuksen tilavuus

Kaavasta (2) saadaan laskettua ilmavuotoluvun suuruus 50 Pa alipaineessa.

$$n_{50} = V'_{50} / V = 8434 / 17261 \text{ [1/h]} = 0,4886 \text{ 1/h}$$

=> virallinen ilmavuotoluku $n_{50} = 0,5 \text{ 1/h}$

Energialaskennassa käytettäväksi vuotoilmakertoimeksi n_{vuoto} saadaan $n_{50}/25$

$$n_{vuoto} = 0,5 / 25 \text{ 1/h} = 0,02 \text{ 1/h}$$

2.5 Tulosten pohdinta

Mittausolosuhteet olivat erittäin otolliset, koska tuuli ei aiheuttanut ongelmia paine-erojen mitauksessa. Tämä näkyy taulukon 1. esittämien mittaustulosten samankaltaisuutena mittauspisteiden A ja C välillä. Tästä syystä mittaustulosta voidaan pitää suhteellisen luotettavana. Tulosta $n_{50} = 0,5 \text{ 1/h}$ voidaan pitää erittäin hyvänä, koska RakMk:n D5 ohje antaa määritelmäksi hyvälle ilmanpitävyydelle toimistorakennuksessa, että $n_{50} = 0,5 \dots 1,5 \text{ 1/h}$. Tulos on noin 13 % määräysten mukaan lasketusta oletusarvosta.

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

3 YLEISIMMÄT VUOTOKOHDAT

Ilmatiivysmittauksen jälkeen lähdettiin paikantamaan yleisimpiä ilmapuoto kohtia. Aluksi säädettiin IV-kone puhaltamaan noin 28 Hz teholla, jolloin 1. kerroksessa saavutettiin yli 60 Pa alipaine. Näin saatiin vuotopaikat mahdollisimman selkeästi esiin. Ennen lämpökuvauksen aloittamista odotimme reilun tunnin ajan, jotta rakenteiden pintalämpötilat ehtivät jäähtymään.


Paikannus suoritettiin noin klo 13:00-16:00 välisenä aikana, aloitettaen 6. kerroksesta, jonka jälkeen 4. kerros ja lopuksi 1. kerros. Tämä tehtiin kahdessa ryhmässä, joista ensimmäisen tehtävänä oli tunnustella käsin vuotopaikkoja metallilasiseinistä, mitata löytyneistä vuodoista ilmapuotusnopeus ja ottaa digitaalikuva sekä merkitä ARK-pohjapiirustukseen paikat mistä mitattu. Toisen ryhmän tehtävänä oli paikantaa lämpökameralla vuotokohtia, jonka tarkoituksena oli paikantamaan betonielementtien, puuikkunoiden sekä matellilasiseinä - betonielementti liitosten vuotoja. Jokainen otettu lämpökuva merkittiin ARK-pohjapiirustukseen sekä otettiin digitaalikuva kyseisestä paikasta.

Jokaisesta kuvattavasta kerroksesta mitattiin sisäilman lämpötila, kosteus sekä paine-ero sisä- ja pihailman välillä kahdesta eri ilmansuunnasta.

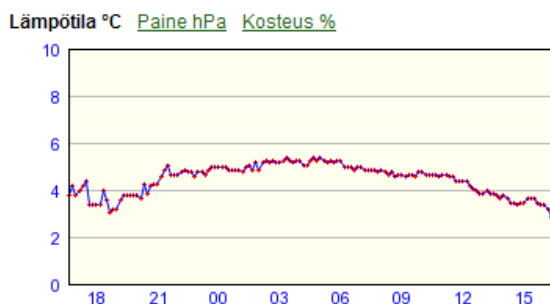
3.1 Mittalaitteet

- Paine-eromittari:
 - SwemaMan 60
- Kosteus ja lämpötila:
 - HygroPalm
- Ilmavirtaus:
 - Airflow TA 7
- Lämpökuvaus:
 - FLIR ThermaCAM P25

3.2 Sää tiedot

Havaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema 

Tuorein havainto: 29.11.2008 16:30
Lämpötila 3,1 °C; paine 1013,3 hPa; kosteus 89 %; itätuulta 4 m/s; pilvistä (8/8).



Suomen aikaa, viimeisimmän 24 tunnin havainnot

KUVA 1. Ilmatieteenlaitoksen paikallissää.

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

3.3 Lämpökameralla paikannetut vuodot

Lämpökuvausta lähdettiin suorittamaan hakemalla lämpötilaindeksiä 61 alittavia pistemäisiä pintalämpötiloja, joka vastaa korjausrakentamisessa hyväksyttävien pintalämpötilojen rajaa. Käytännössä kuitenkin paikannuksen sujuvuuden varmistamiseksi jouduimme laskemaan minimi pintalämpötilan rajaa, koska kuvia alkoi tullemaan liian paljon.

Lämpötilaindeksin laskentakaava:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100\% \quad (3)$$

TI	lämpötilaindeksi
T_{sp}	sisäpinnan lämpötila, [°C]
T_i	sisäilman lämpötila, [°C]
T_o	ulkoilman lämpötila, [°C]

(Katso LIITTEET 1 ja 2.)

3.4 Käsin tunnustelemalla paikannetut vuodot



KUVA 2. Kerros 6/ mittauskohta 1, virtausnopeus 2,09 m/s.



KUVA 3. Kerros 6/ mittauskohta 4, virtausnopeus 4,80 m/s.



KUVA 4. Kerros 4/ mittauskohta 5, virtausnopeus 4,20 m/s.



KUVA 5. Kerros 1/ mittauskohta 7, virtausnopeus 5,45 m/s.

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

KUVA 6. Kerros 1/ mittauskohta 8,
virtausnopeus 7,25 m/s.



KUVA 7. Kerros 1/ mittauskohta 9,
virtausnopeus 3,77 m/s.



KUVA 8. Kerros 1/ mittauskohta 12,
virtausnopeus 3,56 m/s.



KUVA 9. Kerros 1/ mittauskohta 14,
virtausnopeus 4,00 m/s.



KUVA 10. Kerros 1/ mittauskohta 15,
virtausnopeus 2,10 m/s.



KUVA 11. Kerros 1/ mittauskohta 17,
virtausnopeus 5,15 m/s.

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.



KUVA 12. Kerros 1/ mittauskohta 18,
virtausnopeus 2,00 m/s.
(Katso LIITE 3.)

3.5 Tulosten pohdinta

Mittauksessa havaitut yleisimmät vuotokohdat olivat puuikkunoiden tiivisteissä ja sälekaihtimien rei'issä, pilarin takana olevien puuikkunoiden umpiosien liitoksissa, metallilasiseinien alapään liitoksissa, metallilasiseinien savunpoistoluukkujen liitoksissa ja tiivisteissä sekä ulkovieien liitoksissa.

Mittauksen yhteydessä havaittiin myös muita tekemättä jääneitä tai keskeneräisiä töitä, jotka olisivat saattaneet jäädä suorittamatta ennen rakennuksen luovutusta. Näitä olivat esimerkiksi sähköpääkeskuksen alapuolen eristys ja palokatkot, edellisen valmistuneeseen rakennukseen johtaneet LVI-läpivientivarausten palokatkot, rakennuksen alapohjan polystyreeni eristeiden liittymien täytöt sekä rakennusautomaatiosta unohtuneet varaukset tai toiminnot.

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

4 TARKASTUS LÄMPÖKUVAUS

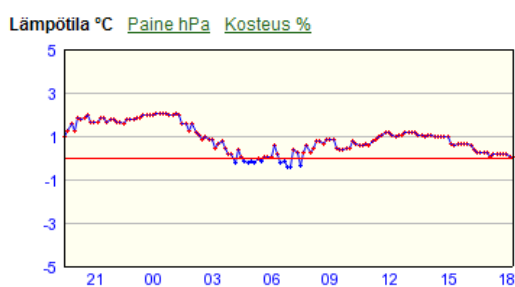
4.1 Mittalaitteet

- Paine-ero-, kosteus- ja lämpötilamittaus:
 - Veloci Calc Plus
- Lämpökuvaus:
 - FLIR InfraCAM 260M

4.2 Sää tiedot

Havaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema i

Tuorein havainto: 5.12.2008 19:00
Lämpötila 0 °C; paine 1001,6 hPa; kosteus 96 %; koillistuulta 5 m/s;
melkein pilvistä (7/8).



KUVA 13. Ilmatieteenlaitoksen paikallissää.

4.3 Tarkastus lämpökuvat normaaleissa käyttöolosuhteissa

Ilmatiiveysmittauksen jälkeen 5.12 klo 17:45-20:15 suoritettiin rakennuksen normaaleissa käyttöolosuhteissa tarkastus lämpökuvaus, jonka tarkoituksena on paikantaa ne vuotokohtat jotka eivät täytä uudisrakennukselta vaadittavaa indeksitasoa 65.

Aluksi jouduttiin säätämään IV-koneen puhaltimien tehoja, jotta kerrokseen saataisiin 0-15 Pa alipaine. Tämä kuitenkin osoittautui siinä mielessä hankalaksi, koska säätöjä jouduttiin muuttamaan kun siirryttiin kerroksissa alemmas. Muutosten jälkeen odoteltiin riittävän kauan, jotta pintalämpötilat ehtisivät muuttumaan.

Kuvaus aloitettiin 6. kerroksesta, jonka jälkeen 4. kerros ja lopuksi 1. kerros. Jokaisesta kuvattavasta kerroksesta mitattiin sisäilman lämpötila, kosteus sekä paine-ero sisä- ja pihailman välillä kahdesta eri ilmansuunnasta.

Väri ilmaisee nopeasti täyttääkö lämpökuva vaaditun indeksitaso 65:

	keltainen väri ilmaisee lämpöä eli mittauskohta täyttää vaatimukset
	sininen väri ilmaisee viileyttä eli mittauskohta ei täytä vaatimuksia.

TAULUKKO 4. Lämpökuvien tunniste ja arvo taulukon täytevärien selitys.

LIITE 4: Mittausraportti, Largo.

(Katso LIITTEET 4 ja 5.)

4.4 Tulosten pohdinta

Tarkastus lämpökuvauksessa käytiin lämpökameralla läpi 6.-, 4.- ja 1. kerros kokonaisuudessaan. Näin varmistuttiin siitä, että rakennus tutkittiin myös niiltä osin, jotka ilmatiiviyden mittauksen yhteydessä olisivat saattaneet jäädä huomioimatta. Erityisesti tarkasteltiin niitä kohtia, jotka jo havaittiin tiiviysmittauksen yhteydessä. Lämpökuvauksessa ei kuvattu lasiseinien metalli- ja lasipintoja tai niiden välisiä liitoksia.

Muutamasta mittauskohdasta, jotka tiiviysmittauksen yhteydessä näyttivät pahoilta otettiin todisteeksi lämpökuva, koska ne normaali painesuhteessa täyttivät annettut vaatimukset. Kaikista niistä kohdista jotka alittivat vaaditun indeksitaso 65, otettiin myös lämpökuva sekä kommentoitiin lyhyesti kuvan esittämää tilannetta. Alittaneiden mittauskohtien lisätutkimukset ja päätökset korjaustoimenpiteistä jäävät työmaan vastuulle, koska on hankala todeta ilman lisätutkimuksia, että kannattaako rakenteiden purkaminen tai mikä on se oikea toimintapa mahdollisen ongelman korjaamiseksi.

Yleisimpiä havaittuja ongelmakohtia olivat ulko-ovien liitoksissa, metallilasiseinien alapään liitokset sekä metallilasiseinien savunpoistoluukkujen tiivistyksissä. Kuitenkin tässä on huomioitava se, että esimerkiksi Plaza II Rondo:n johtava yhdyskäytävänovi on palo-ovi, joka on rakennusvaiheessa ulko-ovena, mutta valmistumisen jälkeen se on sisätiloissa aukinaisena poistumistienä. Lisäksi osa lastauslaiturin ovista on palo-ovia, joten niiden tiiviyydet eivät ole oletuksenakaan hyvällä tasolla.

Paikka ja aika:

Helsingissä __.__.2009

Laatinut:

Hyväksynyt:

Matias Suomela
Työnjohtoharjoittelija
NCC Rakennus Oy

Kimmo Kärkkäinen
Laatu- ja ympäristöpäällikkö
NCC Rakennus Oy

LIITTEET

- LIITE 1. Ilmatiiviysmittauksen lämpökuvat.
- LIITE 2. Ilmatiiviysmittauksen lämpökuvien ARK-pohjat.
- LIITE 3. Käsin tunnustelemalla paikannettujen vuotojen ARK-pohjat.
- LIITE 4. Tarkastus lämpökuvat.
- LIITE 5. Tarkastus lämpökuvien ARK-pohjat.

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus



OULUNKYLÄN PERHETUKIKESKUS

Työ 11633

ILMATIIVIYSMITTAUS



LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus**SISÄLLYSLUETTELO**

1	YLEISTÄ MITTAUKSESTA.....	3
1.1	TIETOA MITTAUSKOHTEESTA.....	3
1.2	OSALLISTUJAT	3
2	ILMATHIIVYYSMITTAUS.....	4
2.1	MITTALAITTEET	4
2.2	MITTAUSVALMISTELUT	4
2.3	VARSINAINEN MITTAUS	4
2.4	OLOSUHDETIEDOT.....	5
2.5	ALKU- JA LOPPUTILANTEEN PAINE-EROT.....	5
2.6	ILMATHIIVYYS MÄÄRITYKSIÄ	6
2.7	MITTAUSTULOKSET.....	7
2.8	TULOSTEN POHDINTA	8
	LIITE 1 SÄÄHAVAINNOT	10
	LIITE 2 VAK -TULOSTEET.....	11

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

1 YLEISTÄ MITTAUKSESTA

1.1 Tietoa mittauskohteesta

Perhetukikeskuksessa on kolme kerrosta, joista 3. kerros on IV-konehuonetta. Rakennus on ilmatilavuudeltaan 9428 m³. Kohde valmistuu 10/2010.

Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla sekä lämmöntalteenotolla. Ilmanvaihto on toteutettu neljällä IV-koneella. Rakennuksen lämmitys on hoidettu kaukolämmöllä ja vesikiertoisella lattilämmityksellä.

Osoite:

Oulunkylän perhetukikeskus
Harjantekijäntie 2
00640 Helsinki

1.2 Osallistujat

Teemu Forsten	Fidelix Oy
Olavi Kovanen	KV/Tilakeskus
Jari Kukkanen	KV/Tilakeskus
Erno Sjögren	KV/Tilakeskus
Marianna Tuomainen	HKR-Rakennuttajat
Jukka Lallo	HKR-Rakennuttajat
Sirpa Eskelinen	HKR-Rakennuttajat
Vesa Ruoho	NCC Rakennus Oy
Kimmo Kärkkäinen	NCC Rakennus Oy
Ville Räikkönen	NCC Rakennus Oy
Tommi Aronranta	NCC Rakennus Oy
Timo Saarinen	NCC Rakennus Oy
Tuomas Tonteri	NCC Rakennus Oy
Tero Kanervo	NCC Rakennus Oy
Juha Honkonen	NCC Rakennus Oy
Pasi Mykkänen	NCC Rakennus Oy
Matias Suomela	NCC Rakennus Oy

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

2 ILMATIIVIYSMITTAUS

Tiivysmittaus suoritettiin 14.9.2010 klo 14:40–15:35 ja se tehtiin koko rakennuksen alueelle. Mittaus toteutettiin standardin EN 13829, menetelmän B mukaisesti ja mitattiin ainoastaan alipaineistuksella. Mittauskohde oli mittausta tehtäessä vielä viimeistelyvaiheessa, mutta ulkovaippa oli ilmanpitävyyden osalta kuitenkin valmis.

2.1 Mittalaitteet

- Paine-ero mittarit:
 - SwemaMan 60, sn 672229, kalibroitu 9/2010 (itäjulkisivun mittauspisteen paine-erot)
 - Testo 510, sn 38923225, kalibroitu 11/2008 (pohjoisjulkisivun mittauspisteen paine-erot)
 - Veloci Calc Plus, sn 02100398 (paine poistoilmapuhaltimen yli)
- Lämpötila-/kosteusmittarit:
 - Rotronic Hygropalm 0, sn 54001017, kalibrointu 9/2010
- Thermoanemometri: Airflow TA7
- Kemiallinen merkkisavu Dräger (tarvittaessa)

2.2 Mittausvalmistelut

- Suljetaan kaikki aukot (ulko-ovet , ikkunat ja luukut seinissä, katolla, ullakotilaan ja alapohjaan nähden)
- Suljetaan katolla olevat poistopuhaltimet ja tukitaan lämmöjakohuoneen poistoventtiili
- Suljetaan IV-konehuoneen seinässä olevat ilmanvaihtopuhaltimet ja aukot (konehuoneen tuuletusaukot)
- Täytetään kaikki vesikalusteiden vesilukot ja lattiakaivot sekä varmistetaan lattiakaivojen vesilukkojen paikoillaan olo
- Suljetaan savupiippu ja sähköpääkekeskusten iv-aukot seinässä
- Suljetaan muut kuin testiin käytettävän poistoilmakanavan palopellit
- Ajetaan kakki iv-koneiden raitisilmapelit kiinni-asentoon
- Ajetaan muiden kuin testiin käytettävien poistopuhaltimien poistoilmapelit kiinni-asentoon
- Avataan kakki IMS-laitteet sekä tarkistetaan, että savurajoittimet ja palopellit ovat auki testiin käytettävän puhaltimen kanavissa
- Avataan kaikki väliovet (ilma pääsee huoneista käytäviin)
- Avataan testiin käytettävän puhaltimen poistoilmaventtiilit ja tarkastusluukut kanavan painehäviön pienentämiseksi

2.3 Varsinainen mittaus

Ennen varsinaisenmittauksen aloitusta koekäytimme IV-konetta ja testasimme kuinka paljon alipainetta syntyy eri tehoilla. Tämän testauksen yhteydessä huomasimme, että sähköpääkeskuksen ovi oli jäänyt auki, metalli ulko-ovien alareunoja oli teippailtu vastoin määräyksiä ja IVKH:n imukammion puoleisen tilan ovi oli jäänyt aukaisematta. Poistimme teipit, suljimme oven ja aukaisimme IVKH:n oven, jonka jälkeen vasta aloitimme itse mittauksen ja tulosten kirjaamisen.

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

- Aloitettiin klo 14:40.
- Sääolosuhteet: sisälämpötila +22,4 °C, ulkolämpötila +14,5 °C, lounaistuulta 6 m/s.
- Mittaus tehtiin poistoilmapuhaltimella PK201.
- Paine-eroa mitattiin IV-koneen puhaltimen PK201 yli sekä 1. kerroksessa (rakennuksen itä- (I) ja pohjois- (P) sivuilta) ulkoilmaan nähden.
- Poistoilmapuhaltimen:
 - mittalaipan k-arvo on 14,88
 - tilavuusvirran kaava on $q_v = (1/k)^{1/2} \sqrt{\Delta p_m}$
- Mittaus aloitettiin puhaltimen taajuudella 33 Hz ja taajuutta pienennettiin noin 3 Hz välein aina 10 Hz asti.
- Päättyi noin klo 15:35

Jokaisen taajuuden muutoksen jälkeen odotettiin muutama minuutti, että paine-ero ehti tasaantua rakennuksessa. Tämän jälkeen kirjattiin ylös paine puhaltimen yli sekä paine-erot neljässä eri mittauspisteessä. Poistoilmapuhaltimen taajuutta pienennettiin aina siihen asti kunnes 1. kerroksessa oli paine-ero sisä- ja pihailman välillä alle 10 Pa.

2.4 Olosuhdetiedot

OLOSUHDE TIEDOT		
	alku	loppu
kellon aika	14:40	15:35
sisälämpötila [°C]	22,4	22,7
ulkolämpötila [°C]	14,5	14,2
tuulen nopeus [m/s]	6	4
tuulen suunta	lounas	lounas
RH%-ulko	96	96
RH%-sisä	65	64

TAULUKKO 1. Mittausajan olosuhteet.

2.5 Alku- ja lopputilanteen paine-erot

ALKUPAINEET [Pa]			
	ITÄ	POHJ.	Δk_a
Δp_{01-}	-2	0	-1,0
Δp_{01+}	0	0,5	0,3
Δp_{01}	-1	0,5	-0,3
Δp_{02-}	-2	0	-1,0
Δp_{02+}	0	0	0,0
Δp_{02}	-1	0	-0,5

TAULUKKO 2. Alku- ja lopputilanteen paine-erojen tarkastaminen.

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

2.6 Ilmatiiviyys määrittämiä

<i>Taulukko 4.3.</i>	<i>Tyypillisiä vaipan ilmanvuotolukuja (n_{50}) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.</i>	
Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1 ... 3 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 ... 1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3 ... 5 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 ... 3,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5 ... 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3 ... 7

KUVA 1. Rakennusmääräyskokoelman D5:ssä esitetyjä tyypillisiä rakennusten ilmanvuotolukuja.

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS



KUVA 2. Energialuokitukset suhteessa ilmanvuotolukuun.

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

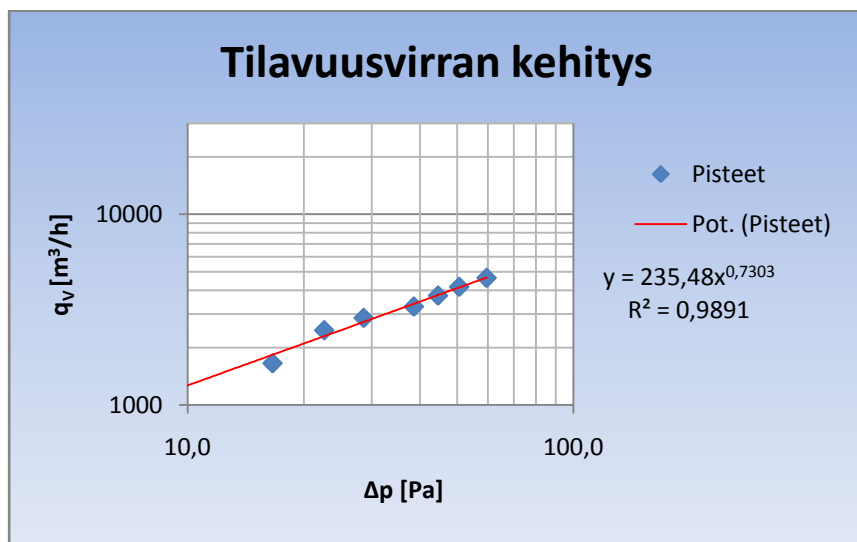
2.7 Mittaustulokset

Mittauspiste	Puhaltimen taajuus [Hz]	Paine puhaltimen yli, p [Pa]	Tilavuusvirta, q_v [m^3/s]	Tilavuusvirta, q_v [m^3/h]	Paine-ero (sisä/piha), p_m [Pa]		Paine-eron keskiarvo, Δp_m [Pa]	$\Delta p = \Delta p_m - \Delta p_{01} + \Delta p_{02} / 2$ [Pa]
					I	P		
1	33	367	1,287	4635		60,0	60,0	59,6
2	30	296	1,156	4162		51,0	51,0	50,6
3	28	240	1,041	3748		45,0	45,0	44,6
4	25	184	0,912	3282		39,0	39,0	38,6
5	22	140	0,795	2863		29,0	29,0	28,6
6	20	104	0,685	2467		23,0	23,0	22,6
7	15	47	0,461	1659		17,0	17,0	16,6
8	10	19	0,293	1055		8,0	8,0	7,6
9	28	237	1,035	3725		47	47	46,6

TAULUKKO 3. Tilavuusvirta ja paine-erot.

- I** Itäjulkisivun mittauspiste (mitaustulokset jätettiin huomioimatta tuulen vaikutuksen vuoksi).
- P** Pohjoisjulkisivun mittauspiste.

Taulukon 3 arvojen perusteella laskettiin keskiarvo paine-erolle, jonka suuruuteen huomioitiin alkutilanteen paine-erojen vaikutus. Näin varmistetaan että rakennuksessa vallitsee keskimääräisesti 50 Pa alipaine. Saatujen arvojen perusteella muodostetaan **tilavuusvirran kehityksen kuvaaja**, jonka trendiviivan yhtälön avulla saadaan selvitettyä ilmavuotoluku.



KUVIO 1. Tilavuusvirran suhde paine-eroon.

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

EN 13829 standardin määrittämä tilavuusvirran kaava:

$$V'_{env} = C_{env} * (\Delta p)^n \quad (1)$$

V'_{env}	tilavuusvirran suuruus tarkasteltavassa paine-erossa
C_{env}	kerroin
n	kerroin

Kaavan (1) kertoimet saadaan mittaustuloksista muodostetusta sovitteesta, kun:

$$y = 235,48x^{0,7303}$$

niin

$$C_{env} = 235,48$$

$$n = 0,7303$$

Kaavasta (1) saadaan laskettua tilavuusvirran suuruus 50 Pa alipaineessa, kun

$$C_{env} = 235,48, n = 0,7303 \text{ ja } \Delta p = 50.$$

$$V'_{50} = C_{50} * (\Delta p)^n = 235,48 * (50)^{0,7303}$$

$$V'_{50} = 4099,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ilmavuotoluvun määrittäminen:

$$n_{50} = V'_{50} / V \quad (2)$$

n_{50}	ilmavuotoluku
V'_{50}	tilavuusvirran suuruus 50 Pa alipaineessa
V	sisäpintojen rajaama rakennuksen tilavuus

Rakennuksen tilavuus on laskettu rakentamismääräyskokoelman D5 –ohjeiden mukaisesti. Kaavasta (2) saadaan laskettua ilmavuotoluvun suuruus 50 Pa alipaineessa.

$$n_{50} = V'_{50} / V = 4099,3 / 9428 [1/\text{h}] = 0,4348 \text{ 1/h}$$

=> virallinen ilmavuotoluku $n_{50} = 0,4 \text{ 1/h}$

Energialaskennassa käytettäväksi vuotoilmakertoimeksi n_{vuoto} saadaan $n_{50}/25$

$$n_{vuoto} = 0,4 / 25 \text{ 1/h} = 0,02 \text{ 1/h}$$

2.8 Tulosten pohdinta

Mittausolosuhteet olivat hyvät. Tuuli ei aiheuttanut ongelmia paine-erojen mittauksessa. Tästä syystä mittaustulosta voidaan pitää suhteellisen luotettavana. Tulosta $n_{50} = 0,4 \text{ 1/h}$ voidaan pitää erinomaisena, kun otetaan huomioon mitatun rakennuksen tyyppi. Kohde sisältää paljon seinä ja erityisesti ikkuna pinta-alaa suhteessa tilavuuteen. RT-kortin (RT 80-10974) mukaan määritelmä erinomaiselle ilmanpitävyydelle kerrostalossa on $\leq 0,5 \text{ 1/h}$, normaali noin $1,5 \text{ 1/h}$ ja heikko $\geq 4,0 \text{ 1/h}$. Tulos on noin 20 % vuonna 2010 asetettujen määräysten mukaan lasketusta raja-arvosta 2 1/h .

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

Paikka ja aika:

Helsingissä 14.9.2010

Laatinut:

Hyväksynyt:

Matias Suomela
Työnjohtaja
NCC Rakennus Oy

Kimmo Kärkkäinen
Laatu- ja ympäristöpäällikkö
NCC Rakennus Oy

LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

LIITE 1 Säähavainnot

Säähavainnot

Vantaa Helsinki-Vantaan lentoasema 

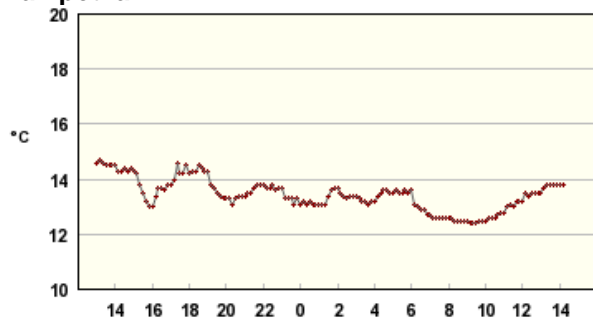
Tuoreinsäähavainto:

15.9.2010 14:10 Suomen aikaa

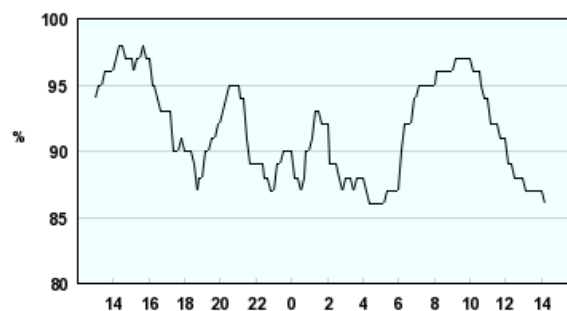
Lämpötila **13,8 °C**; kosteus **86 %**; kastepiste **11,5 °C**; etelätuulta **8 m/s**; puuska **11 m/s**; paine **998,2 hPa**; tunnin sadekertymä **0,0 mm (14:00)**; pilvistä **(8/8)**; näkyvyys **yli 20 km**.

Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:

Lämpötila



Kosteus

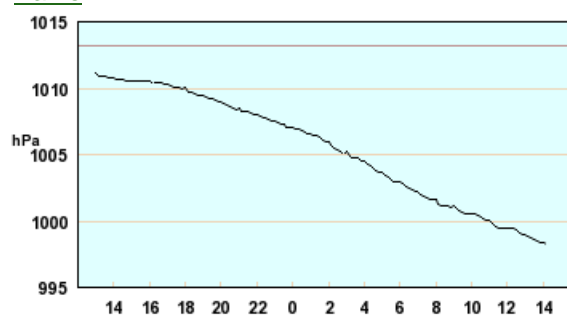


Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:

Tuuli

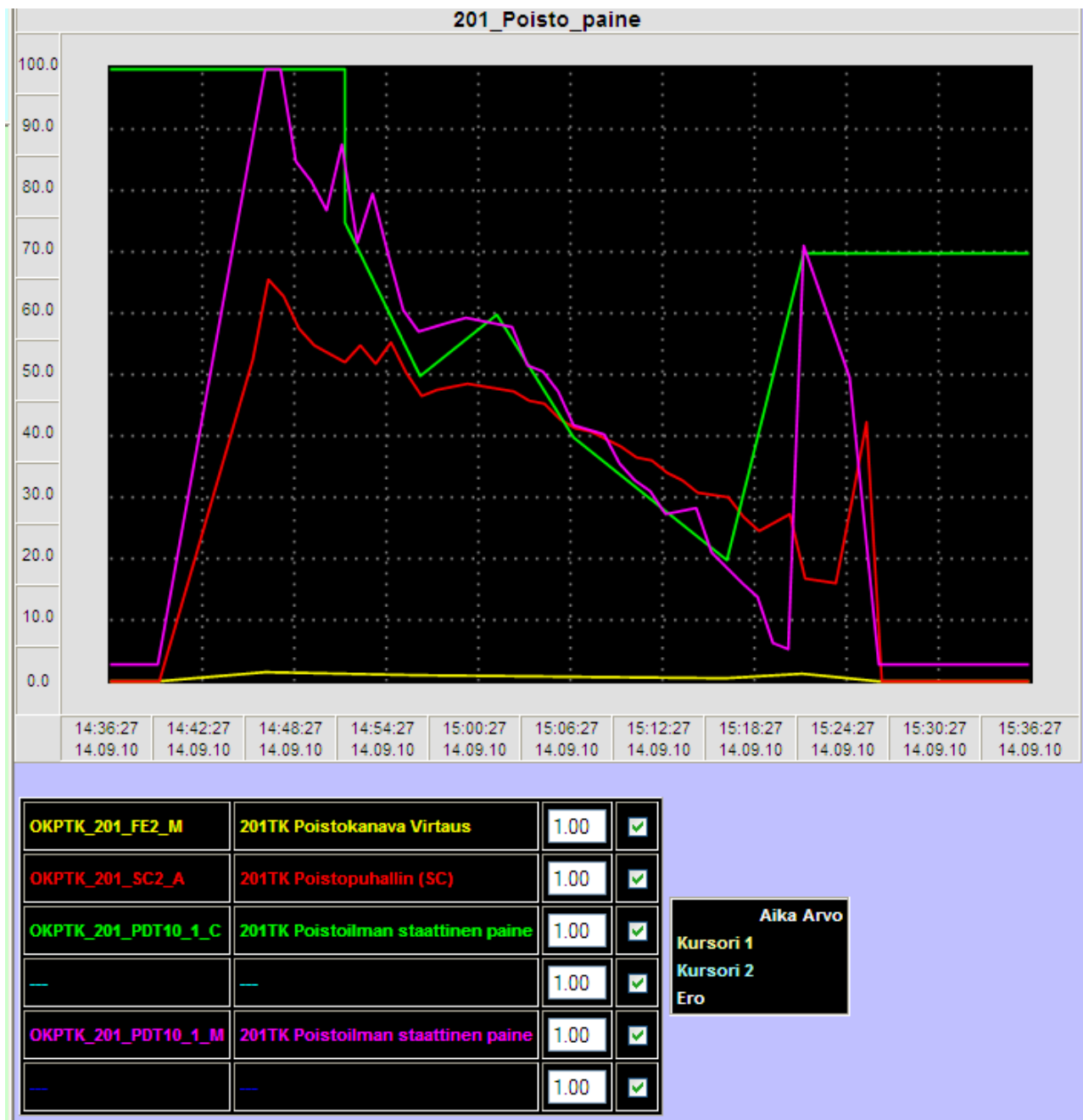


Paine

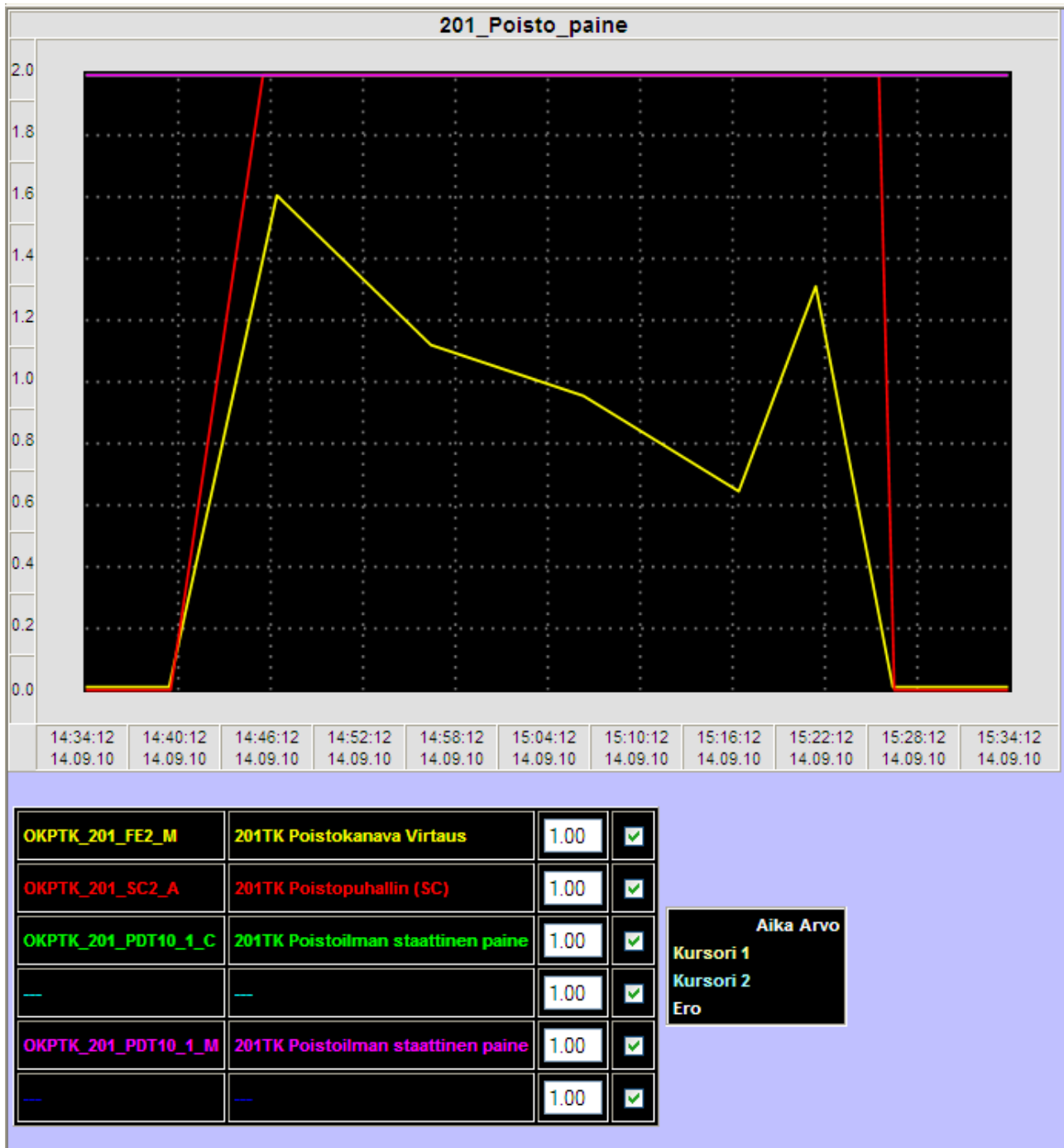


LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus

LIITE 2 VAK -tulosteet



LIITE 5: Mittausraportti, Oulunkylän perhetukikeskus





MITTAUSSUUNNITELMA

Matias Suomela
Puh. 044-0691985

27.2.2009

POLARIS CAPELLA (talo 5) ILMATIIVIYSMITTAUS JA VUOTOKOHTIEN PAIKANTAMINEN

Tiiviyssmittaus suoritetaan 28.2.2009 aloittamalla valmistelut klo 7:00 ja varataan aikaa noin 8h koko operaation suorittamiseen. Valmisteluita pyritään tekemään mahdollisimman paljon jo edeltävänä päivänä. Mittaus tehdään pääasiassa koko rakennuksen alueella, mutta mittauksen ulkopuolelle rajataan tiloista yhdyskäytävä, molemmat IV-konehuoneet sekä jätehuone. Ensin tehdään varsinainen tiiveysmittaus, jossa selviää ilmanvuotoluku. Tämän jälkeen alipaineistusta jatketaan ja kuvataan lämpökameralla sisäpuolelta 1.-, 3.- sekä 5. kerros, etsien mahdollisia vuotokohtia.

Ennen mittausta:

- Mitattava ulkoilmanlämpötila 24h ennen mittausta, mittauksen alkaessa ja mittauksen jälkeen
- Oltava pöytäkirjat (ilmatiiveys, lämpökuvaus) tulosten merkitsemistä varten sekä ARK pohjakuvat (A3-tulosteena) 1., 3. ja 5. kerroksista
- Selvitettävä rakennuksen tilavuus
- Merkittävät säätiedot auringonpaiste/pilvisuus
- Mitattava tuulennopeus ja suunta
- IV-koneet pysäytetään (301, 302, 310, KSK01)
- Kytetään kaikki huippumurit pois päältä. Avataan ne auki ja tiivistetään putkireikä muovilla/teippaamalla.
- Teipataan yhdyskäytävän oven alareunat ja yläpuolella olevat IV-kanavat tukkoon.
- Teipataan jätehuoneen poistokanava tukkoon.
- Tukitaan sprinklerikeskuksesta alapohjaan johtava läpivienti tukkoon.
- Tarkastetaan, että VSS:n ylipaineluukut on kiinni
- Avataan kaikki sisäovet auki (porrashuoneet, kerrosaulat, toimistot, komerot, tekniikkatilat) puukiiloilla.
- Tarkastetaan että kaikki ikkunat ja ulko-ovet ovat kiinni
- Tarkastetaan että käsienpesuallaiden vesilukoissa, WC-pöntöissä sekä lattiakaivojen vesilukoissa on vettä (kaadetaan kaikkiin vettä).
- Laitetaan putket (kupari/silikoni) puuikkunoiden väliin paine-ero mittausta varten 1.-, 3.- sekä 5. kerroksiin niin, että tulee mitattua paine-eroa kahdesta eri ilmansuunnasta.
- Teipataan IV-konehuoneiden ilmanottokammioiden luukut tukkoon.

*Alleviivatut valmistelut olisi hyvä olla tehtynä jo edellisenä päivänä.

LIITE 6: Mittaussuunnitelma, Polaris Capella.

Tiiviysmittaus:

- Aloitetaan varsinainen ilmapuotomittaus heti kun esivalmistelut on saatu tehtyä, noin klo 10:30
- Kaikkien IV-koneiden sekä IV-konehuoneiden korvausilma puhaltimien sulkupellit ajetaan kiinni ja varmistetaan, että taajuusmuuntajat ovat OFF-asennossa.
- Säädetään IV-koneen 302 poistoilmapuhaltimen tehoa automatiikka ohjelmiston avulla. Asetetaan poistoilmapuhallin aluksi noin 50 % teholle.
- Annetaan paine-eron tasaantua hetken aikaa
- Yksi henkilö on 1. krs, 3. krs, ja 5. krs mittaamassa paine-eroa (sisä- ja pihailma välillä) ja muut henkilöt tarkkailevat mahdollisia muutoksia kerroksissa.
- Kasvatetaan puhaltimen tehoa sopivin välein, niin kauan kunnes 5. kerroksessakin on alipainetta yli 50 Pa.
- Jokaisen taajuuden muutoksen jälkeen kirjataan ylös paine-ero poistoilmapuhaltimen yli sekä paine-ero 1., 3. ja 5. kerroksessa (piha ja sisäilman välillä).
- Näin saadaan mittauspisteistä muodostettua kuvaaja tilavuusvirran ja paine-eron (sisä- ja pihailma välillä) välille, jolloin trendiviivan yhtälöstä saadaan selvitettyä tilavuusvirta 50 Pa alipaineessa.
- Paine-erosta puhaltimen yli voidaan laskea tilavuusvirran suuruus ja sitä kautta ilmanvuotoluku n_{50}

$$q_v = (1/k) \cdot \sqrt{\Delta p}$$

$$n_{50} = q_v \cdot 3600/V$$

$$q_v = \text{tilavuusvirta [m}^3/\text{s]}$$

$$3600 = \text{sekunnit muutetaan tunneiksi}$$

$$k = 5,84$$

$$\Delta p = \text{paine-ero puhaltimen yli}$$

Lämpökuvaus:

- Aloitetaan heti tiiveysmittauksen jälkeen noin klo 12:00
- Ulkolämpötila saa olla korkeintaan +5 astetta
- Odotetaan riittävän kauan (noin 1 h, riippuen ulkolämpötilasta) että pintalämpötilat ehtivät muuttumaan
- Aloitetaan 5. kerroksesta, sitten 3. kerros ja lopuksi 1. kerros
- Tarkoituksena on kuvata ulkoseinät sisältäpäin. Elementtipinnat ja puuikkunat kuvataan lämpökameralla, mutta lasiseinät käydään läpi tunnustelemalla sekä mittaamalla havaituista vuodoista virtausnopeus.

LIITE 6: Mittaussuunnitelma, Polaris Capella.

- Suoritetaan vuotokohtien paikannus kahdessa eri ryhmässä:
 1. Tunnustelee käsin lasiseinät sekä mittaa havaituista vuotokohdista ilmanvirtausnopeudet ja ottaa digitaalikuvat kohdista niin, että lukema näkyy kuvassa sekä merkitsee paikat ARK-pohjiin. (2-3 hlö).
 2. Kuvaa lämpökameralla elementit ja puuikkunat. Mittaa ja merkitsee mitattavien kerrosten olosuhdetiedot. Ottaa lämpökuvat, digitaalikuvat ja virtausmittaukset vuotokohdista sekä merkitsee paikat ARK-pohjiin (3 hlö).
- Mitataan jokaisesta kuvattavasta kerroksesta sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, sekä paine-ero piha- ja sisäilman välillä kahdesta eri ilmansuunnasta

Tarvittavat välineet:

- Leveää maalarin- ja suojausteippiä(oranssi) useita rullia sekä rakennusmuovia
- Katkopalaveitsiä
- A-tikkaat
- Ikkunanavaajia
- Ovikiiloja
- Putket (6 kpl) (silikoniputki, jossa ohuet kuparilangat sisällä)
- Paine-eromittareita (3kpl)
- Ilmankosteusmittari
- Lämpötilamittari
- Ilmanvirtausmittarit (2 kpl)
- Lämpökamera
- Digitaalikamerat (2 kpl)
- Mittauspöytäkirjat
- ARK pohjakuvat A3-kokoisena (2 sarjaa)

*Alleviivatut kohdat on työmaan hankittava.

MITTAUKSEEN OSALLISTUJIEN YHTEYSTIEDOT

NIMI	PUH.

ILMATIIVEYYSMITTAUS

KÄYNNISSÄ.

EI SAA AVATA!!!

**Jos välttämätön tarve päästä sisään
niin soita Puh. 044-0691985**

LIITE 9: Lämpökuvaus merkinnät.

