

AALTO-YLIOPISTO

Insinööritieteiden korkeakoulu

Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma

Taneli Päckilä

MIKROBIEN KULKEUTUMINEN SISÄILMAAN PAIN-ERON VAIKUTUKSESTA

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten
Espoossa 17. tammikuuta 2012

Valvoja: Määräaikainen professori Esko Sistonen, Aalto-yliopisto

Ohjaaja: DI Eeva-Liisa Hekkala, Talotutkimus Kairitek Oy

AALTO-YLIOPISTO INSINÖÖRITIEIDEN KORKEAKOULU PL 12100, 00076 AALTO http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Taneli Päckilä			
Työn nimi: Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta			
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu			
Koulutusohjelma: Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma			
Professori: Talonrakennustekniikka		Koodi: Rak-43	
Työn valvoja: Määräaikainen professori Esko Sistonen			
Työn ohjaaja: DI Eeva-Liisa Hekkala			
<p>Työn päätavoitteena oli selvittää paine-eron vaikutus sisäilmanäytteen mikrobipitoisuuteen kenttäkokein. Tutkimuksessa kehitetyllä menetelmällä verrattiin normaalin käyttötilanteen sisäilmassa olevaa mikrobipitoisuutta ja -lajistoa alipaineessa otettuihin sisäilmanäytteisiin. Menetelmä pohjautuu vaipan yli muodostettavaan paine-eroon, joka voidaan toteuttaa ilmanpitävyyden mittaukseen tarkoitetulla laitteistolla tai rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmällä. Menetelmällä pyritään tunnistamaan ilmapuotokohdat.</p> <p>Tutkimuksessa on tarkasteltu kirjallisuuden perusteella mikrobikasvuston syntyyn vaikuttavia tekijöitä, usein kosteusvaurioituvia rakenteita sekä mikrobin ja niiden terveydelle haitallisten tekijöiden kulkeutumista sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta.</p> <p>Andersen-keräimellä otettiin sisäilmanäytteitä Oulun seudulla sijaitsevassa palvelurakennuksessa. Seinärakenteet olivat pääasiassa tiilimuureja ja alapohjarakenteet kaksoisbetonilaattoja. Normaalisissa käyttötilanteissa (alipaine oli -6,8...-5 Pa) otettiin 5 sisäilmanäytettä, joiden sieni-itiöpitoisuuden mediaani oli 7 cfu/m³. Alipaine toteutettiin sulkemalla ilmanvaihtokanavat ja asentamalla ilmanpitävyyden mittaukseen tarkoitettu laite oveen. Tavoitepaineena oli -10 Pa vuorokauden ajan ja toisen vuorokauden ajan -20 Pa. Alipaineessa -10 Pa otettujen kymmenen sisäilmanäytteen sieni-itiöiden mediaani oli 6 cfu/m³. Alipaineessa -20 Pa kymmenen näytteen mediaani oli 8 cfu/m³. Alipaine ei lisännyt sieni-itiöitä sisäilmassa. Mikrobin määrä ei muuttunut, vaikka korkeahkoja mikrobipitoisuuksia (380...715 cfu/m³) mitattiin ryömintätilaisesta alapohjasta ja kellarista. Mikrobilajiston osalta käyttötilanteissa otetut näytteet erosivat alipaineessa otetuista näytteistä.</p> <p>Alipainenäytteistä oli normaalinäytteitä enemmän kosteusvaurioon viittaavia lajeja, mikä viittaa vuotoilman tulleen myös vaurioituneista rakenteista sisäilmaan. Alipaine imee siis mikrobeja sisäilmaan. Mikrobilajien välillä oli eroja kulkeutumisessa sisäilmaan.</p> <p>Menetelmää tulee kehittää edelleen, muun muassa alapohjan ilmapuotokohtien tunnistus onnistuu vain merkkisavuilla tai ilmannopeusmittauksin. Menetelmän potentiaalinen käyttökohde on mikrobivauriokorjausten laadunvarmistus, jolloin tiivistysten onnistumista voidaan arvioida.</p>			
Päivämäärä: 17.1.2012		Kieli: Suomi	Sivumäärä: 148 + 62
Avainsanat: alipaine, kosteusvaurio, mikrobi, rakennusfysiikka, sisäilma			

AALTO UNIVERSITY SCHOOL OF ENGINEERING PO Box 12100, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi	ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS	
Author: Taneli Pääkkilä		
Title: Microbe emissions to indoor air by pressure difference		
School: School of Engineering		
Study Program: Civil and Structural Engineering		
Professorship: Structural engineering and building physics	Code: Rak-43	
Supervisor: Professor (acting) Esko Sistonen		
Instructor: M.Sc. (Tech) Eeva-Liisa Hekkala		
<p>Abstract:</p> <p>The main goal of this thesis was to research microbe emissions by pressure difference in the pilot building. Concentrations and species of fungal spores in indoor air were compared in air samples taken in under-pressure by a method developed in the study. The method was also used in locating of the leaks in the structures.</p> <p>In the pilot building, the wall structures were mainly made of brick and the base floors were made of double concrete slabs. Five indoor air samples were taken in the normal operating situation. Median concentration of fungal spores was seven cfu/m³ in the normal operating situation detected with Andersen impactors. In the normal operating situation under-pressure was -6,8...-5 Pa.</p> <p>Under-pressure was realized by closing down ventilation ducts and installing air tightness device in the door. Under-pressure was -9,9...-7,1 Pa during the first day. Median concentration of fungal spores in ten air samples was six cfu/m³ in the under-pressure situation (-10 Pa).</p> <p>Under-pressure was -20...-18 Pa during the second day. Median concentration of fungal spores in ten air samples was eight cfu/m³ in the under-pressure situation (-20 Pa). The concentrations of fungal spores did not increase in the under-pressure situation.</p> <p>The air samples taken in under-pressure were more species-rich than the samples taken in normal conditions. Therefore microbes eddied to indoor air via the leaks in the structures.</p> <p>The method need to be developed further, especially in locating the leaks in the base floors. The method could potentially be used in quality control in renovation cases.</p> <p>This thesis is a part of the Moisture and Mould Programme coordinated by the Ministry of the Environment. The programme will run from 2010 to 2014. More info can be found in www.hometalkoot.fi/en/home.html</p>		
Date: 17 th January 2012	Language: Finnish	Number of pages: 148 + 62
Keywords: building physics, indoor air, microbe, moisture damage, under-pressure		

SISÄLLYSLUETTELO

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS.....	3
TERMISTÖ.....	8
KÄYTETYT LYHENTEET	12
ESIPUHE JA KIITOKSET	13
1 JOHDANTO	14
1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTA.....	14
1.2 TUTKIMUSONGELMA.....	15
1.3 TUTKIMUSMENETELMÄT	15
1.4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	15
2 RAKENTEEN MIKROBIKASVUSTO JA -VAURIO.....	17
2.1 MIKROBIT JA TERVEYSOIREET.....	17
2.2 EDELLYTYKSET MIKROBIEN KASVULLE.....	21
2.3 MIKROBIVAURIOIDEN ESIINTYVYYS SUOMESSA	25
2.3.1 Suomen rakennuskanta.....	26
2.3.2 Mikrobivaurioiden lukumäärät erityyppisissä rakennuksissa..	30
2.4 KOSTEUDEN SIIRTYMINEN RAKENNUKSISSA.....	32
2.4.1 Diffuusio.....	33
2.4.2 Konvektio	35
2.4.3 Kapillaarinen kosteuden siirtyminen.....	38
2.4.4 Painovoimainen kosteuden siirtyminen	39
2.5 KOSTEUSRISKEJÄ SISÄLTÄVÄT RAKENNERATKAISUT ELI RISKIRAKENTEET	39
2.5.1 Maanvastaiset rakenteet	42

2.5.2 Tuulettustilalliset rakenteet	48
2.5.3 Ulkoseinät.....	52
2.5.4 Märkätilat ja laitteistot	57
3 RAKENNUKSEN KUNNON ARVIOIMINEN JA MIKROBINÄYTTEET...	59
3.1 KOSTEUSTEKNISET TUTKIMUKSET	60
3.1.1 Rakennuksen kuntoarvio	60
3.1.2 Kosteustekninen kuntotutkimus	61
3.2 SISÄILMASTON KUNTOTUTKIMUS	63
3.3 MIKROBIOLOGISET TUTKIMUKSET	64
3.3.1 Materiaali- ja pintanäyte.....	64
3.3.2 Sisäilmanäyte	65
4 RAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYDEN JA PAIN-EROJEN VAIKUTUS MIKROBIEN KULKEUTUMISEEN	69
4.1 RAKENNUKSEN PAIN-EROJEN AIHEUTTAJAT	69
4.1.1 Terminen paine-ero eli savupiippuvaikutus	69
4.1.2 Tuulen aiheuttama paine-ero	71
4.1.3 Ilmanvaihto.....	72
4.2 RAKENNUKSEN PAIN-EROT.....	73
4.3 RAKENTEEN ILMANPITÄVYYS	74
4.3.1 Rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden mittaus	76
4.3.2 Lämpökuvaus	77
4.4 RAKENTEEN ILMANPITÄVYYDEN MERKITYS	78
4.5 MIKROBIEN KULKEUTUMINEN PAIN-ERON VAIKUTUKSESTA	80
5 MITTAUSMENETELMÄ JA -KOHDE	85
5.1 MENETELMÄN YLEINEN KUVAUS	85

5.1.1	Ensimmäinen vaihe normaalissa käyttötilanteessa	85
5.1.2	Toinen vaihe alipaineessa.....	86
5.1.3	Kolmantena vaiheena tulosten tulkinta	88
5.2	MITTAUSKOHDDE.....	89
5.2.1	Rakenteet.....	92
5.2.2	LVIS-järjestelmät	98
5.2.3	Aiemmin tehdyt tutkimukset.....	98
5.2.4	Valmistelevat toimenpiteet.....	100
5.3	MITTAUSMENETELMÄT	101
5.3.1	Sisä- ja ulko-olosuhteiden mittaus	106
5.3.2	Ilmanvaihdon tilavuusvirran ja paine-erojen mittaus.....	106
5.3.3	Alipaineistus, ilmanvuotoluvun mittaus ja lämpökamerakuvaus	108
5.3.4	Ilmanäytteiden otto ja analysointi	110
6	TULOKSET	114
6.1.	ULKO JA SISÄ –OLOSUHTEET MITTAUSTEN AIKANA.....	114
6.2.	ENSIMMÄISEN VAIHEEN TULOKSET	115
6.2.1	Ilmanäytteiden mikrobit normaalissa käyttötilanteessa	116
6.2.2	Ilmanvaihto ja painesuhteet normaalissa käyttötilanteessa.....	116
6.3.	TOISEN VAIHEEN TULOKSET.....	118
6.3.1	Painesuhteet ja ilmanvaihto alipaineessa	119
6.3.2	Ilmanäytteiden mikrobit alipaineessa.....	121
6.3.3	Epätiiviyshkohdat.....	123
6.3.4	Ympäröivien tilojen ilmanäytteiden mikrobit.....	125
6.4	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	126
6.5	TULOSTEN LUOTETTAVUUS.....	134

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	136
LÄHTEET.....	141
LIITTEET	148
LIITE 1 Lämpökuvausraportti 4.4.2011 VTT Expert Services Oy	37 s
LIITE 2 Ilmanäytteen mikrobianalyysi 21.4.2011 Työterveyslaitos	16 s
LIITE 3 Ilmanpölymääritys alipainemenetelmällä 1.4.2011,	2 s
LIITE 4 Paine-eromittarin kalibrointi 24.3.2011,	1 s
LIITE 5 Valokuvaliite koekohteesta	3 s
LIITE 6 Pientalojen mikrobivaurioiden syyt Pirisen (2006) mukaan	3 s

TERMISTÖ

Aktinomykeetti	sädesieni on Actinomycetales –lahkoon kuuluva bakteeri jolla on muista bakteereista poiketen kyky muodostaa sienten tapaan itiöitä ja rihmastoja (Leivo & Rantala 2006, s. 9)
Andersen-keräin	on ilmanäytteiden ottoon tarkoitettu 6-vaihe-impaktori. Keräimeen asetetaan 6 elatusmaljaa, joihin sisäilman mikroobeja kerätään.
Alipaine	Alipaineiseen tilaan pyrkii virtaamaan ilmaa tilan ulkopuolelta eli alipaineisen tilan ilmanpaine on ympäristöään alhaisempi. Paineen yksikkö on Pascal. Tässä työssä - -merkki viittaa sisäpuoliseen alipaineeseen. Tilan ollessa alipaineinen ympäröivistä tiloista ilma pyrkii virtaamaan rakenteen epätiiviyiskohtien kautta tilaan.
Cfu	mikrobipesäkkeen muodostava yksikkö (engl. colony formin unit). Voidaan tulkita myös kpl-lyhenteenä (Asu- misterveysohje 2003, s. 82)
Diffuusio	Kaasuseoksessa molekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan seoksessa vallitsevat osapaine-erot (Leivo & Rantala 2006, s. 9).
Homehtumisriski	Käsilaskentamallin avulla voidaan laskennallisesti arvioida mikrobikasvun riskiä rakenteissa (Ympäristöopas 28, s.38-39).
Homeisuusaste	VTT-TTY homeriskimallin mukaisesti homeisuusastetta arvioidaan homeindeksiluokituksella, jossa homeindeksi voi saada arvoja välillä 0...6. Homeisuusastetta arvioidaan visuaalisesti sekä silmillä että mikroskoopilla. Kun indeksi on 0, pinta on puhdas. Indeksillä 3 havaitaan ensikerran silmin kasvua ja mikroskoopilla havaittu homerihmaston peitto on alle 50 % pinnan alasta. Kaikki

rakennusmateriaalit eivät saavuta kolmea suurempia arvoja. Indeksin ollessa 6 pinnalla on erittäin runsas kasvu ja kasvusto peittää lähes 100 % pinnasta (Vinha 2011a, s. 7).

- Ilmanvuotoluku** Rakennuksen vaipan läpi kulkeutuvan tilavuusvirran suhde rakennuksen sisäosan tilavuuteen, 1/h. Ilmanvuotoluku kuvaa vaipan ilmatiiviyttä. Ilmanvuotoluku ilmoitetaan useimmiten 50 Pascalin alipaineessa mitattuna, jolloin käytetään lyhennettä n_{50} . Ilmanvuotoluvun lisäksi käytetään termiä ilmapitävyysluku.
- Ilmanäyte** on sisäilmassa olevien elinkykyisten sienten ja bakteerien tutkimusmenetelmä. Ilmanäytteet voidaan ottaa Andersen-keräimellä.
- Ilmansulku** Rakenteen kerros, joka estää ilman kulkeutumista rakenteen lävitse. Höyrynsulku toimii usein ilmansulkuna.
- Kapillaarikatkokerros** tarkoittaa maanvastaisen rakenteen alla tai vieressä olevaa veden kapillaarisen liikkeen katkaisevaa kerrosta
- Kondensoituminen** on ilman sisältämän vesihöyryn tiivistymistä rakenteen jollekin pinnalle. Kondenssia esiintyy, kun ilman vesihöyrynpitoisuus saavuttaa kyllästyskosteuspitoisuuden eli 100 RH-%.
- Konvektio** tarkoittaa virtaavan kaasuseoksen, kuten ilmavirran, mukana siirtymistä. Vesihöyryn konvektiossa liikkuva ilmavirta siirtää kosteutta. Pakotettu konvektio tarkoittaa liikettä jonkin pakottavan voiman takia ja luonnollinen konvektio sisäisten lämpötilaerojen aiheuttamien virtausten takia. (Leivo & Rantala 2006, s. 9)
- Kosteusvaurio** tarkoittaa rakennetta todennäköisesti vaurioittavaa ylimääräistä kosteutta, joka voi olla peräisin rakennusvaiheesta, kosteuden siirtymisestä tai vuodosta.

Kuntoarvio	on rakennuksen tärkeimpien rakenneosien ja laitteiden kunnan arviointi aistinvaraisesti ja niiden korjaustarpeen määrittäminen. Käytetään rakenteita rikkomattomia menetelmiä. Kuntoarvio vastaa kuntotarkastusta mutta termiä kuntoarvio käytetään yleensä muista kuin asuntokauppaan liittyvistä tarkastuksista.
Kuntotarkastus	Asuntokauppaan liittyvä kuntoarvio.
Kuntotutkimus	Rakenteen tarkempi tutkimusmenetelmä, jossa rakeneavauksin ja erilaisin mittauksin selvitetään rakenteen kuntoa, vauriomekanismeja, sopivaa korjausmenetelmää. Kuntotutkimus tehdään useimmiten yksittäiselle rakenteelle tai rakennuksen tietylle osalle.
Mikrobi	Bakteeri, sieni tai virus (Seuri & Reiman 1996, s. 18)
Mikrobikasvusto	Bakteeri- tai sienikasvusto, joka kasvaa kosteusvaurioituneessa rakenteessa tai rakenteen pinnalla. Mikrobit kasvavat yli 80 %:n suhteellisessa kosteudessa ja lämpötilan ylittäessä 0 °C.
Mikrobilajisto	Mikrobien eri suvut, lajit ja ryhmät poikkeavat toisistaan. Osa lajistosta on terveydelle haitallisempi.
Mikrobivaurio	Mikrobikasvuston aiheuttama terveyshaitta, jolloin mikrobit tai niiden terveydelle haitalliset tekijät aiheuttavat oireita sisäilmassa. Mikrobivaurio edellyttää mikrobien kulkeutumisen sisäilmaan.
MVOC	tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat peräisin mikrobeista. (engl. Microbial Volatile Organic Compound)
Painekoemenetelmä	Menetelmällä mitataan rakennusvaipan tiiviys sisä- ja ulkoilman välille aikaansaadun paine-eron avulla.
Paine-ero	Ilmanpaineen erotus rakennusvaipan ylitse. Rakennuksiin paine-eroja aiheuttavat tuuli, lämpötilaerot ja ilmanvaihto.

Suhteellinen kosteus	Suhteellinen kosteus (englanniksi Relativity Humidity, lyhennetään RH) on ilman vesihöyryn osapaineen suhde vallitsevan lämpötilan määräämään vesihöyryn kylläiseen osapaineeseen. Suhteellinen kosteus voidaan laskea myös g/m^3 -yksiköillä.
Rakennekosteus	tai rakennuskosteus tarkoittaa rakennusvaiheen aikana rakenteisiin imeytynyttä tai jäänyttä rakenteen käytön aikaisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta (Leivo & Rantala 2006, s. 9).
Riskirakenne	Rakennusratkaisu, jonka kosteustekninen toiminta on puutteellista ja joka voi johtaa rakenteen vaurioitumiseen muita rakennusratkaisuja nopeammin. Riskirakenteen rakennusaikana rakenteen ongelmakohtia ei ole ymmärretty.
Sieni	on mikrobi, joka tuottaa rihmastoja ja itiöitä. (Asumisterveysopas 2009)
TVOC	tarkoittaa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta. (engl. Total Volatile Organic Compound)
VOC	tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat huonelämpötilassa kaasumaisessa olotilassa. (engl. Volatile Organic Compound)
Ylipaine	Tässä työssä + -merkki viittaa sisäpuoliseen ylipaineeseen.

KÄYTETYT LYHENTEET

TKK	Aalto-yliopiston nykymuotoiset tekniikan korkeakoulut, Insinöörیتieteiden, Kemian tekniikan, Perustieteiden ja Sähkötekniikan korkeakoulut.
TTY	Tampereen Teknillinen Yliopisto.
VTT	entinen Valtion teknillinen tutkimuslaitos.

ESIPUHE JA KIITOKSET

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun Rakennustekniikan laitoksella. Diplomityön rahoituksesta on vastannut Ympäristöministeriö sekä Talotutkimus Kairitek Oy. Diplomityö on osa Ympäristöministeriön viisivuotista hanketta Kosteus- ja hometalkoot. Diplomityö kuuluu osana Suomen Akatemian projektiin Lämmöneristettyjen kuorimuuriseinien emissiot.

Kiitän työni valvojaa määräaikaista professoria Esko Sistosta rakentavista kommentteista työn aikana. Työni ohjaajaa diplomi-insinööri Eeva-Liisa Hekkalaa kiitän erityisesti neuvoista sisäilmanäytteiden otossa.

Kosteus- ja hometalkoiden vetäjää Juhani Piristä kiitän lukuisista parannusehdotuksista kenttäkokeen suoritukseen ja kirjallisen osaan liittyen. Tutkija Jukka Piironen Rakennustekniikan laitokselta auttoi neuvoillaan tekemään työn kirjallisesta osasta luettavamman ja ymmärrettävämmän.

Isäni Kari ansaitsee kiitoksen innostuksesta alaa kohtaan ja monipuolisesta tuesta työn aikana. Veljeni Miikka toimi ansiokkaasti avustavissa tehtävissä kenttäkokeissa.

Vaimoani Nooraa muistan kärsivällisyydestä ja tuesta. Tyttäreni Ronja sai minut huomaamaan kiinnostuksen lähiympäristöön olevan luontevaa ihmistaimille.

Oulussa 17.1.2012



Taneli Päckilä

1 JOHDANTO

1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTA

Rakennusten sisäilmaan liittyvät ongelmat ovat nousseet korjausrakentamisen tutkimuksen keskiöön 2000-luvulla. Sisäilmaan liittyvien ongelmien yleisin aiheuttaja on kosteusvauriot ja niistä syntyvät mikrobivauriot. Sisäilmaan epäpuhtauksia lisäävät rakennusmateriaalien päästöt ja heikko ilmanvaihto. Kaikille sisäilmaongelmille on yhteistä niiden vaikuttavuuden kohde: rakennuksen käyttäjä ja hänen terveytensä. Terveysvaikutuksensa vuoksi sisäilmaongelmien tutkiminen ja niiden syyn poistaminen on tärkeää.

Rakenteessa oleva mikrobikasvusto varmennetaan joko rakenneavauksin tai mikrobiologisilla menetelmillä, joista yleisimmät ovat materiaali- tai sisäilmanäyte. Materiaali- ja ilmanäytteiden tuloksien viite-arvot on annettu Asumisterveysoppaassa (2009). Viitearvojen avulla mikrobinäytteiden tuloksista päätellään kasvuston aiheuttama terveyshaitta ja annetaan jatkotoimenpide-ehdotukset.

Asumisterveysoppaan mukaan sisäilman mikrobinäyte otetaan normaalissa käyttötilanteessa. Ilmanäytettä otettaessa ei mitata paine-eroa rakennuksen vaipan yli. Ilmanäytteen tuloksia tulkitaan sieni-itiöpitoisuuksien määrän ja mikrobisuvun mukaan. Mikrobivaurion poissulkemiseksi tai mikrobivaurion varmistamiseksi rakennuksesta suositellaan otettavaksi jopa yli 10 sisäilmanäytettä (Meklin et al. 2007). Siten yhden näytteen tuottama tieto lähestyy olematonta. Sisäilmanäyttemenetelmällä näytteiden suuri lukumäärä on yleisesti tunnustettu ongelma.

Paine-suhteiden on arveltu vaikuttavan sisäilman mikrobipitoisuuteen. Alipaineistava ilmanvaihto voi edesauttaa mikrobien kulkeutumista sisäilmaan (Peltola 2008, s. 54). Tutkimuksia on tehty lähinnä mikrobien kulkeutumista alipaineen vaikutuksesta yksittäisen rakenteen läpi (Airaksinen et al. 2004), mutta kokonaisen tilan tai rakennuksen alipaineistamisen vaikutusta mikrobimääriin ei ole juurikaan tutkittu.

1.2 TUTKIMUSONGELMA

Tämä diplomityö käsittelee mikrobikasvuston sieni-itiöiden ja bakteerien leviämistä paine-eron vaikutuksesta sisäilmaan. Rakenteessa olevan liiallisen kosteuden takia syntynyt mikrobikasvusto aineenvaihduntatuotteineen leviää sisäilmaan ilmavirtausten mukana. Ilmavirtausten suunnan määrää ilmanpaine-ero rakenteen yli; paine-eron suunta ja suurus riippuu tuulesta, ulko- ja sisälämpötiloista sekä ilmanvaihdosta.

Tällä hetkellä ei ole käytössä kunnollista menetelmää sieni-itiöiden ja bakteerien leviämisen arviointiin paine-eron vaikutuksesta. Rakennuksen painesuhteiden muutosten epäillään vaikuttavan sisäilman mikrobipitoisuuksiin.

1.3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksessa testataan koekohteessa rakennuksen vaipan yli muodostettavaan paine-eroon pohjautuvaa menetelmää, jonka avulla rakenteissa oleva mikrobikasvusto voidaan tunnistaa rikkomatta rakenteita. Kokeet tehdään Oulun seudulla sijaitsevassa palvelurakennuksessa. Rakennuksen käyttäjät ovat havainneet hajuhaittoja, joiden syytä on jo tutkittu aiemmin.

Menetelmässä verrataan normaalissa käyttötilanteessa otettuja sisäilmanäytteitä ja alipaineistetusta tilasta otettuihin näytteisiin. Näytteet otetaan Andersen-keräimellä. Menetelmällä oletetaan kyettävän arvioimaan rakenteiden mikrobikasvuston vaikutusta sisäilmaan aikaisempaa paremmin. Menetelmällä pyritään tunnistamaan rakenteen ilmanvuotokohdat.

1.4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Työn päätavoitteena oli selvittää paine-eron vaikutus sisäilmanäytteen mikrobipitoisuuksiin.

Kirjallisuustutkimuksella selvitetään yleisimmin mikrobivaurioituvia rakenteita, vaurioiden tutkimuksen suorittaminen ja rakennuksen vaipan yli olevien paine-erojen syntyminen.

Tutkimuksen tavoitteena on saada vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten koerakennuksen alipaineistaminen vaikuttaa sisäilmanäytteiden mikrobipitoisuuteen ja -lajistoon verrattuna normaalin käyttötilanteen mikrobipitoisuuteen ja -lajistoon?
2. Onko menetelmällä potentiaalisia käyttökohteita?

2 RAKENTEEN MIKROBIKASVUSTO JA -VAURIO

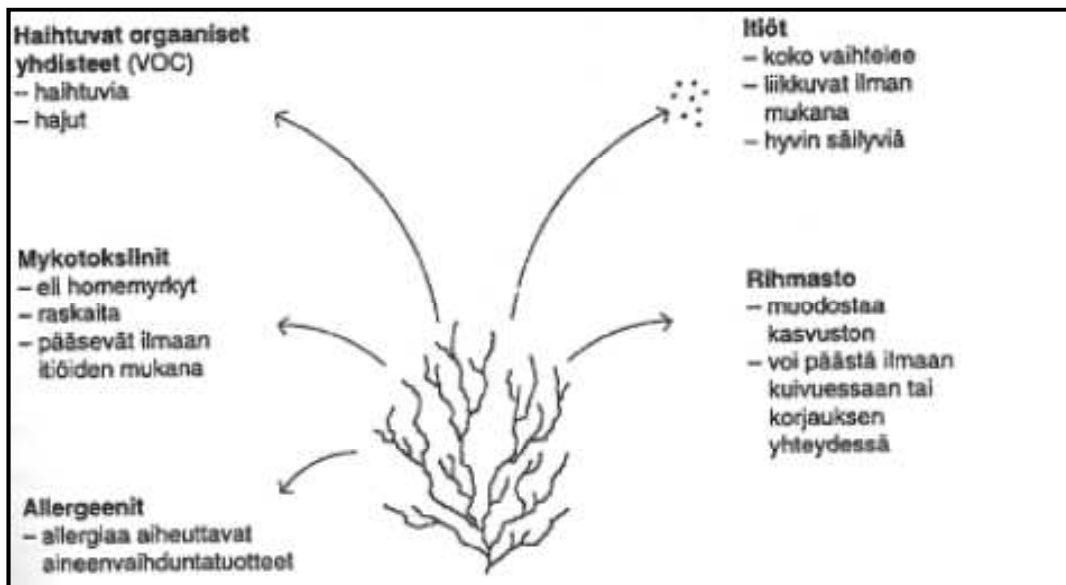
Mikrobit kuuluvat luonnolliseen elinympäristöömme. Merkittävin sieni-itiöiden lähde on ulkoilma. On normaalia, että rakenteista tavataan pieniä määriä mikrobikasvustoa. Rakenteeseen pääsevä ylimääräinen kosteus saa aikaan mikrobikasvuston. Rakenteista sisäilmaan siirtyvät mikrobit ovat terveysriski rakennuksen käyttäjille ja ne eivät kuulu terveeseen sisäilmaan suurina määrinä. Tässä luvussa kerrotaan mikrobikasvuston vaatimista olosuhteista sekä vaurioiden yleisyydestä rakennuksissa ja rakennetyypeissä.

2.1 MIKROBIT JA TERVEYSOIREET

Mikrobit ovat nimensä mukaisesti erittäin pieniä silmin näkymättömiä eliöitä. Kosteusvauriomikrobeita kutsutaan toisinaan virheellisesti homeeksi, koska homesienet ovat vain yksi mikrobien alalaji. Mikrobeihin luetaan erilaiset sienet ja bakteerit. Erottelu perustuu osin lisääntymistapaan; yksinkertaistaen bakteerit lisääntyvät jakaantumalla, sienet rihmaston avulla. Sienet pystyvät kuitenkin lisääntymään myös jakaantumalla (Salkinoja-Salonen 2003, s. 177). Bakteerit ovat sieniä yksinkertaisempia vain yksisoluisia eliöitä ja niillä on alkeistuma. Aktinomykeetti-bakteeri eli sädesieni on poikkeus, sillä se on sienen kaltainen tuottaen rihmastoja ja itiöitä. Mikrobin jaottelua voi edelleen tarkentaa, esimerkiksi homesienet voidaan tunnistaa suku- ja lajitasolle saakka mikroskoopin avulla. Bakteerit ja sienet nimetään kahdella nimellä, joista ensimmäinen on suvun nimi ja toinen lajin nimi (Seuri ja Reiman 1996, s. 18). Mikrobisuvut eroavat toisistaan niiden vaatimien kasvuolosuhteiden ja niiden tuottamien aineenvaihduntatuotteiden osalta.

Mikrobikasvusto tuottaa ilmaan aineenvaihduntatuotteita, jotka ovat mahdollisia terveyshaitan aiheuttajia. Kuvassa 1 on esitetty jaottelu mikrobeista ja niiden ilmaan tuottamista tekijöistä, joilla voi olla haitallisia terveysvaikutuksia. Mahdollisia terveyshaitan aiheuttajia ovat haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC ja MVOC), itiöt ja rihmaston kapaleet sekä toksiinit. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC ja MVOC) ovat kaasumaisia. VOC-yhdisteitä voidaan mitata mutta saatua tulosta ei voida sellaisenaan käyttää terveyshaitan arvioinnissa. VOC-yhdisteitä sisäilmaan tulee myös terveistä rakennusmateriaaleista ja lisäksi huonekaluista, puhdistusaineista sekä asukkaiden aineenvaihdunnasta

(Valvira 2011, s. 2). Elinkykyisten itiöiden määrää sisäilmassa voidaan määrittää ilma-
mittauksilla tai rakennusmateriaalista materiaalinäytteen viljelyllä. Itiöiden koko vaihte-
lee homelajeittain välillä 2...100 µm (Seuri ja Reiman 1996, s. 21). Itiöiden määrä riip-
puu kasvualustan ravinteikkuudesta, ravinteiden vähentyminen lisää sienten itiöintiä
(Seuri ja Reiman 1996, s. 22). Ihmisten terveydelle haitallisimpia ovat 5 µm pienemmät
hiukkaset, koska ne kulkeutuvat keuhkossa keuhkorakkuloihin asti isompien hiukkasten
jäädessä hengitysteiden ylempien osien limakalvoihin (Salkinoja-Salonen 2002, s. 704).
Mikrobit elävinä organismeina tuottavat ilmaan myös hiilidioksidia. Hiilidioksidimitta-
usten avulla on tutkittu mikrobien kasvua laboratorio-olosuhteissa mutta käytännöllinen
sovellutus puuttuu vielä (Wikman 2010, s. 86).



Kuva 1. Mikrobikasvuston ilmaan tuottamat tekijät, joilla voi olla haitallisia terveysvaikutuksia (Seuri ja Reiman 1996).

Mikrobikasvuston tuottamat aineenvaihduntatuotteet vaihtelevat voimakkaasti suvun mukaan. Merkittävä mikrobikasvu ei siten välttämättä aiheuta oireita mutta ajan kuluessa kasvuston lajisto voi muuttua ongelmallisemmaksi. Tällä hetkellä kosteusvaurioon viittaaviksi mikrobisuvuiksi, -lajeiksi ja -ryhmiksi eli indikaattorimikrobeiksi on esitetty taulukossa 1. Indikaattorimikrobit, jotka voivat tuottaa toksiineja on merkitty lajin perään tähdellä *.

Taulukko 1. Ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyviä sienisukuja ja ryhmiä sekä kosteusvaurioon viittaavat mikrobisuvut, -lajit ja -ryhmät (Asumisterveysopas 2009, s 172). Tähdellä * on merkittävät indikaattorimikrobit, jotka voivat tuottaa toksineja.

Ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Sisäilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä
Cladosporium *	Penicillium *	Acremonium *
basidiomykeetit	Aspergillus *	Aspergillus fumigatus *
Penicillium *	Cladosporium *	A. ochraceus *
Aspergillus *	hiivat	A. penicilliioides/A. restrictus
Alternaria		A. sydowii *
hiivat		A. terreus *
steriilit **		A. versicolor *
		Chaetomium *
		Eurotium
		Exophiala
		Fusarium *
		Oidiodendron
		Geomyces
		Paecilomyces *
		Phialophora
		Scopulariopsis
		Sporobolomyces
		Sphaeropsidales (Phoma)
		Stachybotrys/Memnoniella *
		Sädesienet *
		Trichoderma *
		Tritirachium/Engyodontium
		Ulocladium
		Walleimia

Mikrobikasvuston ja ihmisten kokemien terveysoireiden välisestä yhteydestä on lukuisia viitteitä kirjallisuudessa. Tieteellisesti luotettavimmin on osoitettu kuitenkin kosteusvaurion ja terveysoireiden välinen linkki (Peltola 2008, s. 52). Homeiden terveystaikutuksia ei ole kyetty erottamaan kosteusvaurioiden terveystaikutuksista. Terveystahttoja voivat aiheuttaa mikrobien aineenvaihduntatuotteet, itiöt, rihmaston kappaleet ja toksinit.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden on epäilty aiheuttavan ärsytysoireita ja niitä on pidetty yhtenä ärsytysoireita selittävänä tekijänä myös sisäympäristössä (Pasanen et al., 2003). Sisäilmassa esiintyvien VOC-aineiden kokonaispitoisuus ilmoitetaan TVOC-pitoisuutena. Kohonnut TVOC-pitoisuus ($> 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kertoo epätavallisen suuresta määrästä orgaanisia yhdisteitä sisäilmassa mutta TVOC-pitoisuutta ei voi käyttää mik-

robivaurion todentamiseen, koska VOC-yhdisteitä vapautuu useimmista rakennusmateriaaleista (Asumisterveysopas 2009). Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että puolikas VOC-päästöistä on lähtöisin rakennusmateriaaleista ja toinen puolikas muista tilan lähteistä (Valvira 2011, s. 2).

Uusi tutkimussuunta terveysoireiden syyllä on mikrobien toksisuus. Mikrobitoksiinit ovat kestäviä kemiallisia yhdisteitä, joita mikrobit vapauttavat ilmaan ja toksiinit voivat kulkeutua elimistöön mikrobin saastuttaman elintarvikkeen kautta. Toksiinit aiheuttavat vaurioita yksittäisille soluille. Mykotoksiinit ovat sienten tuottamia myrkyllisiä aineita ja eksotoksiinit ovat bakteerin tuottamia (Salkinoja-Salonen 2002, s. 541 ja 550). Mikrobien toksisuutta on mitattu muun muassa sian siittiösolujen liikkuvuuteen perustuvalla menetelmällä. Mikrobien tuottamien toksiinien tutkimuksella on saatu lupaavia tuloksia (Salkinoja-Salonen et al. 2010, s. 93-97). Toksisuuteen perustuvat mittausmenetelmät ovat vielä kehitteillä. Stormi (2010) huomauttaa, että mikrobitoksisuutta tutkivien laboratoriodien tulokset ovat olleet keskenään ristiriitaisia. Toksisuuteen perustuvia mittausmenetelmiä ei voi vielä käyttää terveysvaikutusten arviointiin.

Käyttäjien terveysoireet mikrobivaurioituneessa rakennuksessa ovat tyypillisesti ylähengitysteissä, silmissä ja iholla. Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet pieninä hiukkasina kulkeutuvat syvälle keuhkoissa, silmien pinnalle tai iholle. Ärsytysoireet vähenevät tai lakkaavat kokonaan yleensä poistuttaessa mikrobivaurioituneesta rakennuksesta. Oireet eroavat yksilöiden välillä voimakkaasti; ensinnäkin joillekin yksilöille kehittyy yliherkkyys, jolloin aikaisempaa pienempi altistus aiheuttaa samanlaiset oireet ja toisaalta osa yksilöistä ei oireile suurissa pitoisuuksissakaan.

Tyypillisimmät oireet mikrobialtistuksesta ovat ärsytysoireet silmissä, iholla ja hengitysteissä sekä yleisoireita kuten kuume, päänsärky, väsymys ja pahoinvointi. Lisäksi altistuksen viittaavat toistuvat infektiot. (Asumisterveysopas 2009) On myös todettu, että kosteusvauriorakennuksissa astmaan sairastumisen riski on suuri (Seuri 2004, s. 217-218).

2.2 EDELLYTYKSET MIKROBIEN KASVULLE

Mikrobien kasvuun vaikuttavat monet kasvualustaan ja ympäröivään ilmaan liittyvät tekijät: pH, hapellisuus, lämpötila ja ravinnon koostumus (Salkinoja-Salonen 2002, s. 191). Mikrobien kasvun mitoittavana tekijänä rakenteissa on yleensä kosteus. Lisäksi mikrobit tarvitsevat ravinteita ja lämpöä, joita on aina rakenteissa. Mikrobit kasvavat kaikenlaisissa materiaaleissa, kuitenkin orgaanisissa, kuten puupohjaisissa materiaaleissa mikrobikasvusto syntyy nopeammin eli ne ovat homehtumisherkempiä. Homehtumisherkkyydeltään kestävimpiä ovat lasi, metallit ja uusi alkalinen betoni (Vinha 2011a, s. 25). Taulukossa 2 on esitetty rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokat Vinhan (2011a) mukaan. Homehtumisherkkyysluokittelu erottelee materiaalit ainoastaan mahdollisen mikrobikasvuston synnyn nopeuden ja mikrobikasvuston määrän perusteella. Luokittelu ei ota kantaa mikrobilajistoon tai terveysoireisiin. Ravinteita esiintyy riittävästi mikrobikasvulle jopa paljaalla betonipinnalla (Viitanen 2003, s. 278). Myös Prokkolan (2009, s. 136) tutkimuksissa paljaiden vanhojen betonirakenteiden sisäpinnalta löydettiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja, erityisesti bakteereja ja sädesieniä.

Taulukko 2. Rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokat Vinhan (2011a, s. 25) mukaan.

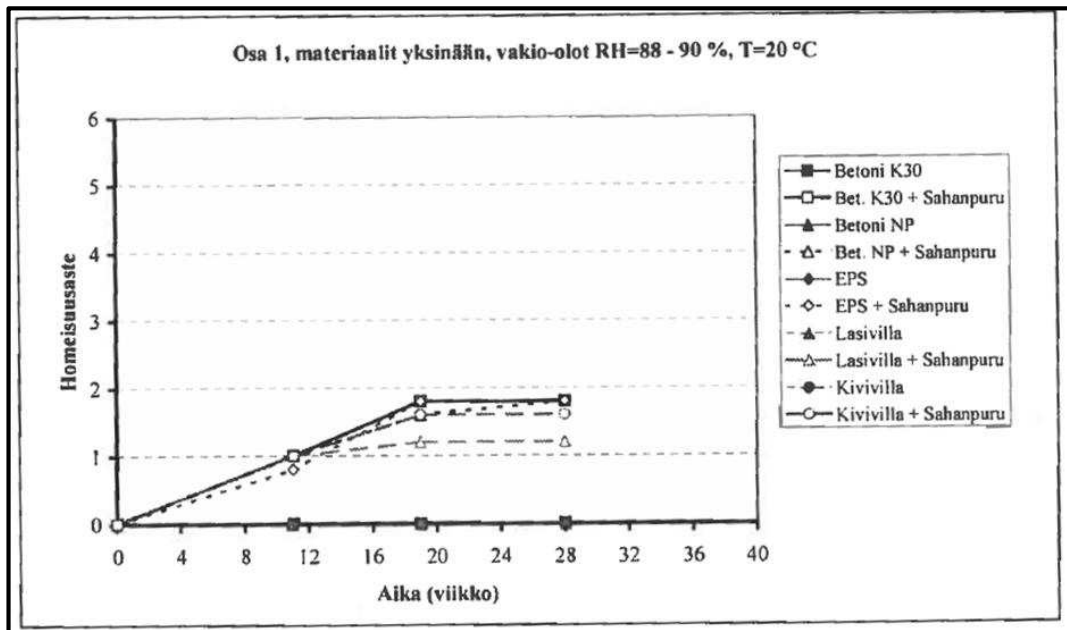
Homehtumis-herkkyysluokka	Rakennusmateriaalit
Hyvin herkkä HHL 1	karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
Herkkä HHL 2	höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
Kohtalaisen kestävä HHL 3	mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
Kestävä HHL 4	lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Mikrobien kasvulle tarvittavan lämpötilan tulee olla välillä $-5...+60$ °C, optimilämpötila on useimmilla lajeilla noin $+20...+30$ °C (Leivo 1998, s. 40). Mikrobikasvustoa syntyy, kun ympäröivän mikroilmaston suhteellinen kosteuspitoisuus on pitkään enemmän kuin RH 80 % (Leivo 1998, s. 40). Pakkasjakson aikana homeen kasvu taantuu ja homeen määrä rakenteen pinnalla vähenee mutta lämpötilan noustua mikrobitoiminta jatkuu. Kasvun jatkuminen pakkasjaksonkin jälkeen aiheuttaa haasteita rakenteiden pitkäai-

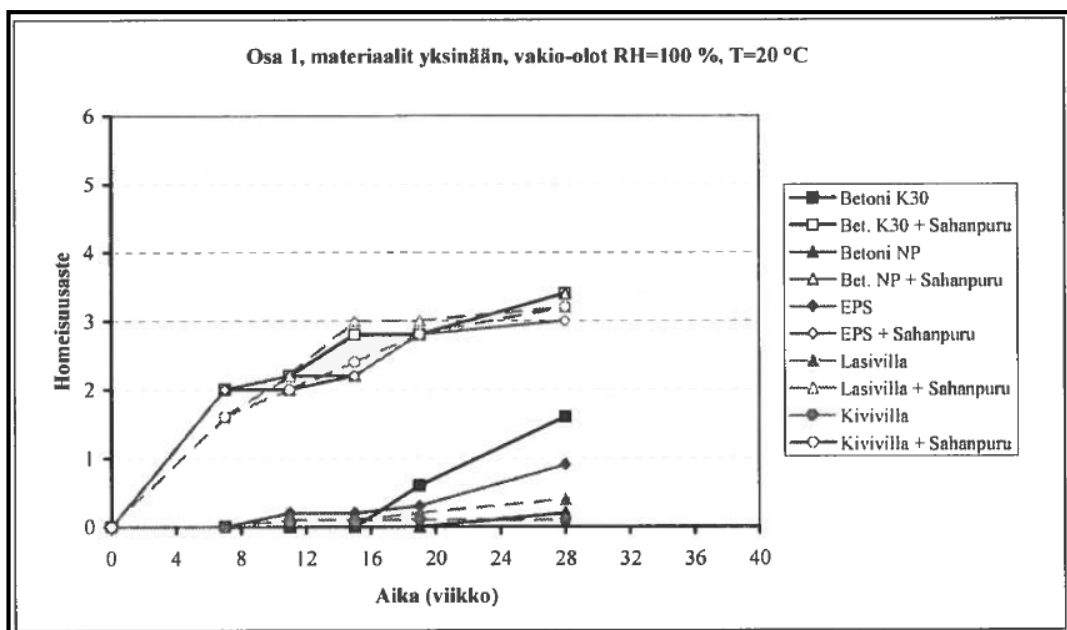
kaiskestävyyden kannalta, pakkasjakso ei siis tuhoa kokonaan muodostunutta mikrobikasvustoa. Taantuman suuruus pakkasjaksolla on alustavien tulosten perusteella verrannollinen homehtumisherkkyyteen (Vinha 2011a, s. 26): mitä herkempi materiaali on homehtumaan, sitä enemmän pakkanen taannuttaa mikrobikasvustoa.

Suhteellisen kosteuden raja-arvo vaihtelee lajeittain ja osa mikrobisuvuista kasvaa, kun suhteellinen kosteus ylittää RH 90 % (Leivo 1998, s. 40). Eri lajit viihtyvät erilaisissa kasvuolosuhteissa, mikä tarkoittaa, että aina löytyy sieni- tai bakteerilaji, joka voi kasvaa kosteassa rakenteessa. Kosteuden hallinta onkin ainoa keino rajoittaa mikrobikasvuston syntymistä rakenteisiin. Rakennusteknisesti mikrobien torjunta on erityisesti kosteuden hallintaa, koska mikrobit kasvavat myös kiviperäisissä materiaaleissa. Homehtumisherkkyydeltä kestävimpien materiaalien mikrobikasvusto jää kuitenkin vähäisemmäksi verrattuna herkemmin homehtuviin (Vinha 2011a, s. 21).

Mikrobikasvuston muodostumiseen kuluva aika vaihtelee suhteellisesta kosteudesta riippuen viikoista useaan kuukauteen ja lisäksi siihen vaikuttaa rakennusmateriaali, jossa kasvusto muodostuu. Viitasen (2003, s. 275-280) mukaan alle 80 % suhteellinen kosteus ei riitä mikrobikasvuston syntymiseen rakennusmateriaalin pinnalla. Kun kymmentä rakennusmateriaalia pidettiin RH 78...80 % suhteellisessa kosteudessa huoneenlämpötilassa seitsemän kuukautta, yhdessäkään materiaalissa ei havaittu kasvustoa mikroskooppisesti. Kun materiaaleja pidettiin 90 % suhteellisessa kosteudessa, kasvu oli lievää (mikroskooppilla pinnasta 10 % oli homerihmaston peittämää) ja sitä tapahtui ainoastaan orgaanisissa materiaaleissa. Sitä vastoin materiaalilla ei ole suurtakaan merkitystä, kun kosteus on yli 90 %. Kun kymmentä rakennusmateriaalia pidettiin RH 100 % suhteellisessa kosteudessa huoneenlämpötilassa kaksi kuukautta, alkavaa mikroskooppista kasvua oli jo viidessä rakennusmateriaalissa ja seitsemän kuukauden altistuksen jälkeen kasvua oli seitsemässä, joista neljässä mikroskooppilla tarkasteltuna rihmasto peitti 50 % pinnasta. Seitsemän kuukauden altistuksen jälkeen alkavaa mikrobikasvua ei ollut lasivillassa, kivivillassa eikä nopeasti pinnoitettavassa betonissa, kasvua oli kuitenkin tavallisessa betonissa. Kuvassa 2 on esitetty mikrobikasvuston kehittyminen homeisuusasteina 90 % suhteellisessa kosteudessa ja kuvassa 3 suhteellisen kosteuden ollessa 100 %.



Kuva 2. Mikrobikasvuston kehittyminen homeisuusasteina rakennusmateriaaleissa, vakio-olot RH=88-90 %, T=20 °C (Viitanen 2003, s. 279).



Kuva 3. Mikrobikasvuston kehittyminen homeisuusasteina rakennusmateriaaleissa, vakio-olot RH=100 %, T=20 °C (Viitanen 2003, s. 278).

Homehtumisriskin (Ympäristöopas 28, s. 38-39) avulla voidaan arvioida mikrobikasvuston riskiä rakenteissa, kun tiedetään lämpötila ja suhteellinen kosteus rakenteessa.

(Lämpötila ja suhteellinen kosteus rakenteessa voidaan laskea kappaleessa 2.4.1 esitetyllä tavalla.) Riskin laskenta perustuu mittauksiin puumateriaaleille. Laskelmat tehdään kaavojen (1), (2) ja (3) avulla. Laskelmaa voidaan käyttää ensinnäkin suunnitteluvaiheessa ja myös vanhan rakenteen toimivuuden tarkastelemisessa. Homeriski ei ota huomioon terveystarpeita eikä lajitojen eroja. Kaavaa on varmallalla puolella kivipohjaisille materiaaleille, koska puupohjaisissa materiaaleissa mikrobikasvu alkaa aiemmin. Varmalla puolella käsilaskentamalli on myös pakkasjaksojen aiheuttaman lievän taantuman suhteen, jota se ei ota huomioon. ENERSIS-projektissa (Vinha 2011a, s. 3) VTT ja TTY ovat jatkaneet mallin kehittämistä sekä kenttä- että laboratoriokokein ja laajentaneet mallin käyttöä eri rakennosille.

$$t = \exp(-0,677 \cdot \ln(T) - 13,145 \cdot \ln(RH) + 62,6) \quad (1)$$

jossa t on kuukausittainen kriittinen vaikutusaika (vko)

T kriittisessä pisteessä vallitseva kuukausittainen keskilämpötila (°C), välillä 0,1...45 °C ja

RH kriittisessä pisteessä vallitseva kuukausittainen keskimääräinen suhteellinen kosteus, > 75 RH-%

Kuukausittain laskettava homehtumisriski saadaan kaavasta (2)

$$riski = \frac{31}{7 \cdot t} \quad (2)$$

jossa $riski$ on kuukausittainen homehtumisriski ja

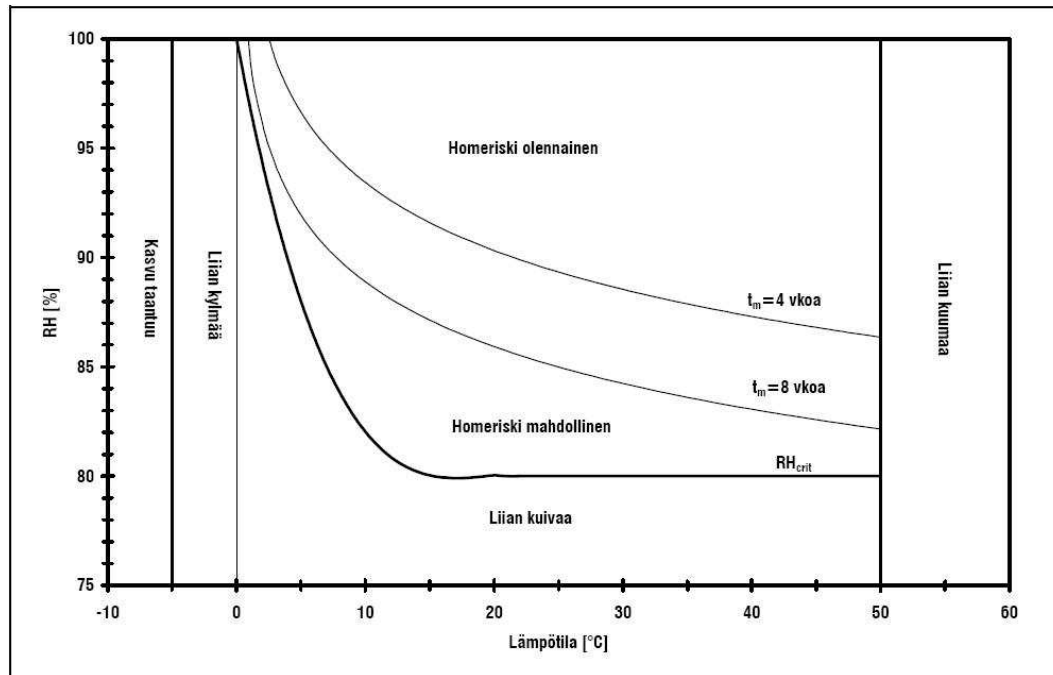
$31/7$ mitoitusviikkojen määrä kuukaudessa.

Homehtumisriski koko vuodella saadaan laskemalla yhteen kuukausittaiset homehtumisriskit yhteen kaavalla (3)

$$homehtumisriski = \Sigma riski \quad (3)$$

jossa homehtumisriski on koko vuoden aikainen homehtumisriski.

Jos homehtumisriski ≥ 1 , homehtuminen on mallin mukaan todennäköistä. Kuvassa 4 on esitetty mikrobikasvuun kuluva aika homehtumisriskilaskelmilla Leivon (2003) tutkimuksen mukaan.



Kuva 4. Homeen kasvulle suotuisat olosuhteet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta (Leivo 2003, s. 16).

Johtopäätöksenä todetaan, että käytännössä mikrobikasvustoa syntyy aina rakenteissa, jos suhteellinen kosteus on pitkään yli 80 %. Rakenteissa oleva vähäinen mikrobikasvusto on kuitenkin yleensä normaalia. Rakenteet on suunniteltava ja toteutettava siten, ettei suhteellinen kosteus ylitä suhteellisen kosteuden raja-arvoa 80 % pitkäksi ajaksi, jotta vältetään mikrobikasvulta.

2.3 MIKROBIVAURIOIDEN ESIINTYVYYS SUOMESSA

Mikrobivauriolla tarkoitetaan Pirisen (2006) ehdotuksen mukaan rakennusmateriaaliin liiallisen kostumisen takia syntynyttä pieneliökantaa, joka joko vahingoittaa materiaalia

tai aiheuttaa rakennuksessa oleskeleville ihmisille terveyteen liittyviä oireita tai haju-
haittoja. Mikrobiongelma käsitteellä tarkoitetaan Pirisen mukaan rakenteessa olevan
mikrobivaurion aiheuttamaa käyttäjien terveyteen liittyvää ongelmaa. Pirisen ehdottama
määritelmä pohjautuu Asumisterveysoppaan (2009) määritelmään rakennuksen mikro-
bien aiheuttamasta terveyshaitasta, jonka mukaan ulkoilman ja maaperän kanssa koske-
tuksessa olevissa rakenteissa saattaa esiintyä suuria mikrobipitoisuuksia ilman, että ky-
symyksessä on terveyshaitta.

Siten ratkaisevaa mikrobikasvuston kohdalla onkin, leviävätkö mikrobikasvusto terve-
yshaittaa aiheuttavine aineineen sisäilmaan ilmavirtausten mukana niin suurissa määris-
sä, että aiheuttavat terveyshaittaa rakennuksen käyttäjille. Yksittäisistä mikrobiologisista
mittauksista ei voi päätellä vaurion olevan haitallinen. Peltolan (2008, s. 55-56) mu-
kaan terveyshaitan toteutuminen riippuu viidestä tekijästä:

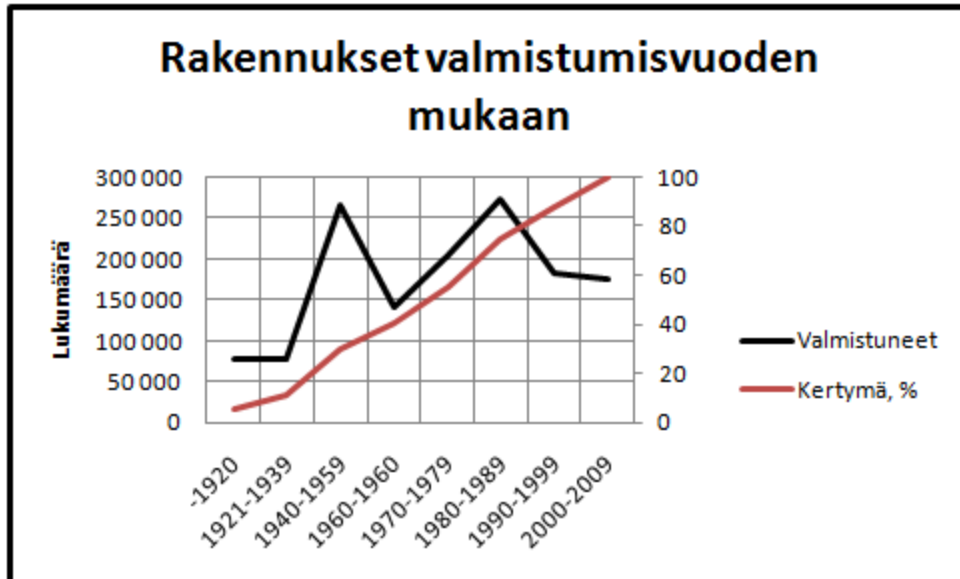
1. Mikrobikasvuston määrä, laajuus ja mikrobilajisto
2. Mikrobin kasvualusta ja kosteusolosuhteet: tietyt ravinteet ja kosteustilat saavat
mikrobit tuottamaan erilaisia aineenvaihduntatuotteita
3. Onko mikrobin kasvupaikka sisäpinnassa vai sisäilmaan tulevan virtausreitit
varrella
4. Kuljettavatko ilmanpaine-erot mikrobeja rakenteista sisäilmaan
5. Onko mikrobit sisäilmasta erottava rakenne tiivis vai hatara.

Mikäli kasvuston tai sen aineenvaihduntatuotteet leviävät sisäilmaan suurina määrinä,
on kysymyksessä mikrobivaurio. Sisäilman tutkimisen tärkeyttä kuvaa mikrobivauriois-
ta kärsivien määrä. Valtioneuvosto arvioi 2010 lähetekeskustelussaan, että Suomessa
päivittäin 600 000 henkilöä altistuu mikrobivaurioiden aineenvaihduntatuotteille.

2.3.1 Suomen rakennuskanta

Suomalainen rakennuskanta on verrattain nuori. Kaksi kolmasosa rakennuksista on
rakennettu vuoden 1960-luvun jälkeen ja noin 45 prosenttia on rakennettu 1980-luvun
jälkeen (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2010). Tässä kappaleessa mainitut rakennus-
ten lukumäärät ja niistä johdetut arvot tarkoittavat vuoden 2009 lopun tilannetta. Kuvas-

sa 5 on esitetty Suomen rakennusten lukumäärä valmistumisvuoden mukaan sekä niiden kertymä. Kuvan lähdeaineistoissa on huomioitu poistumat. Vuosittain Suomen rakennuskanta uusiutuu muutaman prosentin verran.

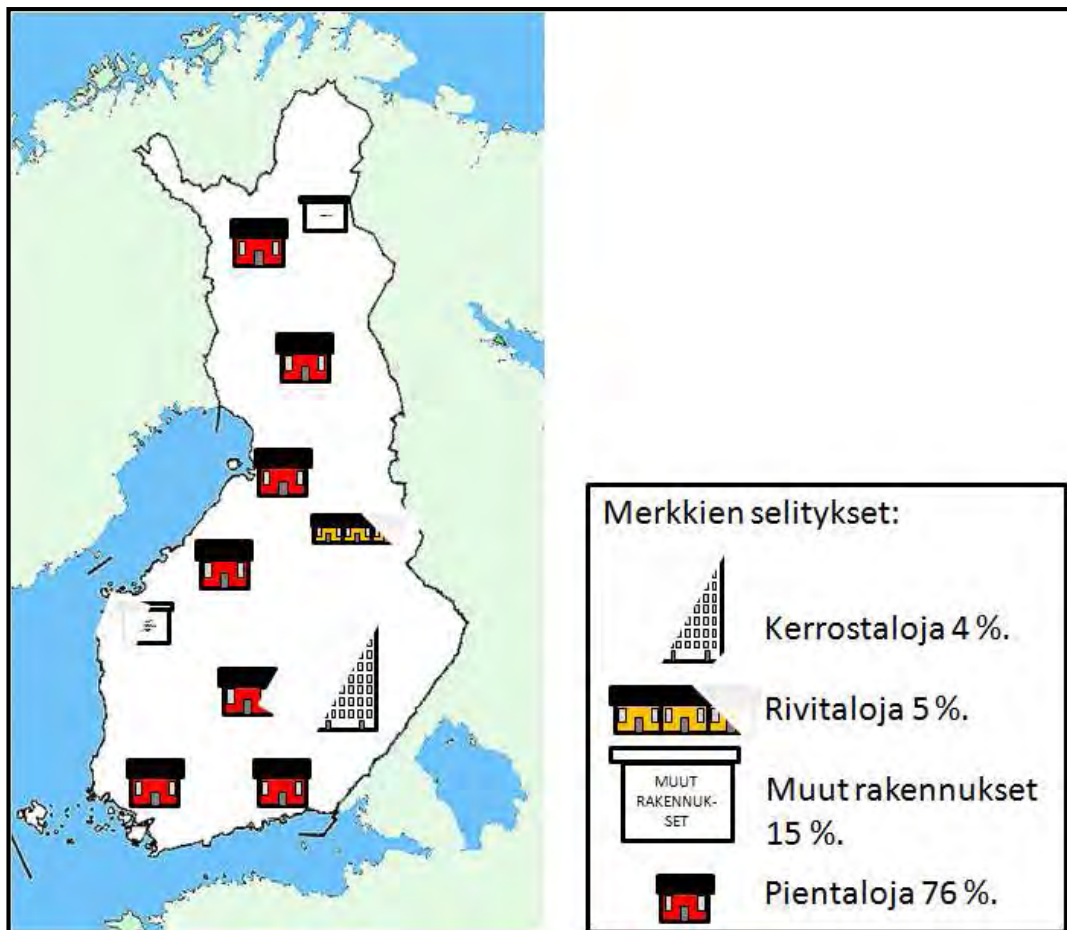


Kuva 5. Suomen rakennuskanta valmistumisvuoden mukaan ja rakennusten kertymä (Suomen virallinen tilasto 2010).

Suomen rakennuskannassa oli rakennuksia yhteensä 1 434 000 kappaletta vuoden 2009 lopussa (SVT 2010). Lisäksi maassamme oli 485 000 kesämökkiä, lukematon määrä piha- ja talousrakennuksia sekä maatalouden rakennuksia, joita ei tilastoida rakennuskantaan. Taulukossa 3 on esitetty Suomen rakennuskanta käyttötarkoituksen ja rakennusvuoden mukaan. Kuva 6 havainnollistaa pientalojen valtavan lukumäärän, jos rakennuskantamme supistaa kymmeneen rakennukseen, on pientaloja 7 kokonaista ja yksi puolikas.

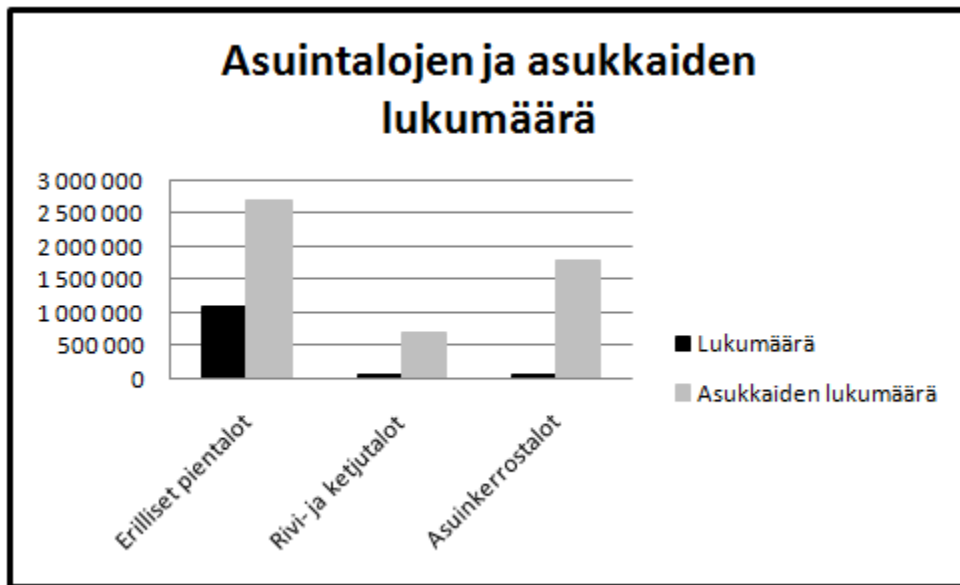
Taulukko 3. Suomen rakennuskanta käyttötarkoituksen ja valmistumisvuoden mukaan (SVT 2010).

	-1920	1921-1939	1940-1959	1960-1960	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Kaikki rakennukset yhteensä	76 800	77 800	265 300	140 400	203 900	273 400	182 700	174 200
Asuinrakennukset yhteensä	69 100	71 800	250 200	125 800	180 600	22 300	139 100	138 300
Erilliset pientalot	66 500	68 200	242 200	113 900	153 600	185 200	115 200	122 700
Rivi- ja ketjutilat	800	500	1 100	3 200	14 400	28 800	15 700	10 100
Asuinkerrostalot	1 800	3 000	6 900	8 700	12 700	9 100	8 100	5 500
Muut rakennukset yhteensä	7 700	6 100	152 000	14 600	23 300	50 400	43 600	35 900
Liikerakennukset	1 400	1 200	3 400	3 700	5 900	12 100	6 900	4 800
Toimistorakennukset	900	600	1 400	1 400	1 600	2 400	11 000	800
Liikenteen rakennukset	500	500	1 900	2 400	4 000	12 300	17 800	12 700
Hoitoalan rakennukset	600	500	1 000	900	1 100	1 600	1 100	800
Kokoontumisrakennukset	1 900	1 000	1 400	1 000	1 300	2 600	1 800	1 300
Opetusrakennukset	1 100	1 000	2 200	1 100	1 000	1 000	600	500
Teollisuusrakennukset	700	800	2 600	2 900	5 800	10 900	7 000	6 300
Varastorakennukset	300	200	800	800	2 100	6 700	6 500	7 800
Muut rakennukset	300	200	600	400	500	800	900	900



Kuva 6. Suomen rakennuskanta havainnollistettuna, yksi kokonainen rakennus vastaa kymmentä prosenttia rakennuskannasta eli noin 143 000 rakennusta (SVT 2010, kartta Museovirasto).

Suurin osa rakennuskannasta on asuntoja, muita kuin asuinrakennuksia oli vain 210 000 eli vajaat 15 prosenttia. Kuvassa 7 on esitetty asuintalojen ja niissä asuvien lukumäärä. Vaikka pientaloja on kahdeksan kertaa enemmän kuin rivi- ja kerrostaloja yhteensä, asukkaita pientaloissa on yhtä paljon kuin rivi- ja kerrostaloissa yhteensä. Pientaloissa eli omakotitaloissa asuu puolet suomalaisista. Kuvassa 8 on esitetty muiden kuin asuinrakennusten lukumäärät. Lukumäärältään eniten on liikenteen rakennuksia, lähes saman verran on liike- ja teollisuusrakennuksia sekä varastoja.



Kuva 7. Asuintalojen ja asukkaiden lukumäärä Suomessa vuonna 2009 (SVT 2010).



Kuva 8. Muiden kuin asuinrakennusten lukumäärä Suomessa (SVT 2010).

2.3.2 Mikrobivaurioiden lukumäärät erityyppisissä rakennuksissa

Kirjallisuudessa esitetyt tutkimukset eivät arvioi mikrobivaurioiden lukumäärää vaan pääasiassa kosteusvaurioiden tai kosteusvaurioon viittaavien tekijöiden esiintyvyyttä. Siten tarkkaa arviota mikrobivaurioiden yleisyydestä on vaikea antaa.

Kurnitski et al. (1996, s. 9) mukaan yli puolessa Suomen noin 5 000 koulurakennuksista esiintyy lieviin kosteusvaurioihin viittaavia tunnusmerkkejä, joiksi luetaan homeen haju, vetoisuus ja riittämätön ilmanvaihto. Tutkimuksen mukaan 32 korjatusta koulurakennuksesta 26 rakennuksessa korjauksen syynä oli ainakin osittain kosteusvaurio (Kurnitski et al. 1996, s. 13). Tutkimus on pohjautunut haastatteluihin korjauksiin johtaneista syistä. Koulut olivat pääasiassa 50-, 60- ja 70-luvulta, mutta myös uudempia rakennuksia oli mukana.

Koiviston et al. (1996) tutkimuksen mukaan 60 % kerrostaloasunnoista oli kosteusvaurioita tai niiden jälkiä. Asuntojen tiloista eniten kosteusvaurioita esiintyi kosteissa tiloissa, joissa joka kolmannessa oli kosteusvaurio. Rakenneosittain eniten kosteusvaurioita esiintyi yläpohjassa, yhteensä 36 % rakennuksista. Yhteisissä tiloissa tai ulkovaipassa

oli jälkiä kosteusvaurioista lähes kaikissa rakennuksissa. Saunatiloista (löylyhuone, pesuhuone ja pukuhuone) 75 %:ssa oli kosteusvaurioita. Tutkimuksessa tutkittiin 120 satunnaisotannalla valittua rakennusta ja yhteensä 240 asuntoa. Rakennukset tutkittiin aistinvaraisesti rakenteita avaamatta rakennusalan koulutuksen saaneiden henkilöiden toimesta. Lisäksi käytettiin huoltohenkilökunnalta ja asukkailta kyselylomakkeilla saatua tietoa. Asukkaiden vauriohavainnot poikkesivat tutkijoiden havainnoista.

Pessin et al. (1999, s. 74) kuorimuurirakenteisia kerrostaloja käsitelleen tutkimuksen mukaan betonielementtien mikrobivauriot ovat kuitenkin harvinaisia. Betonielementtien kosteusrasituksen perusteella arvioitu mikrobivaurio ei pitänyt yleensä paikkansa. Vain 6,6 % kaikkiaan 1713 näytteestä osoittautui selvästi mikrobivaurioituneiksi. Tutkimuksessa havaittiin, että vain runsas sädesienipitoisuus ($> 10\,000$ cfu/g) eristetilassa vaikuttaa sisäilmassa kohonneena sädesienipitoisuutena (> 10 cfu/g).

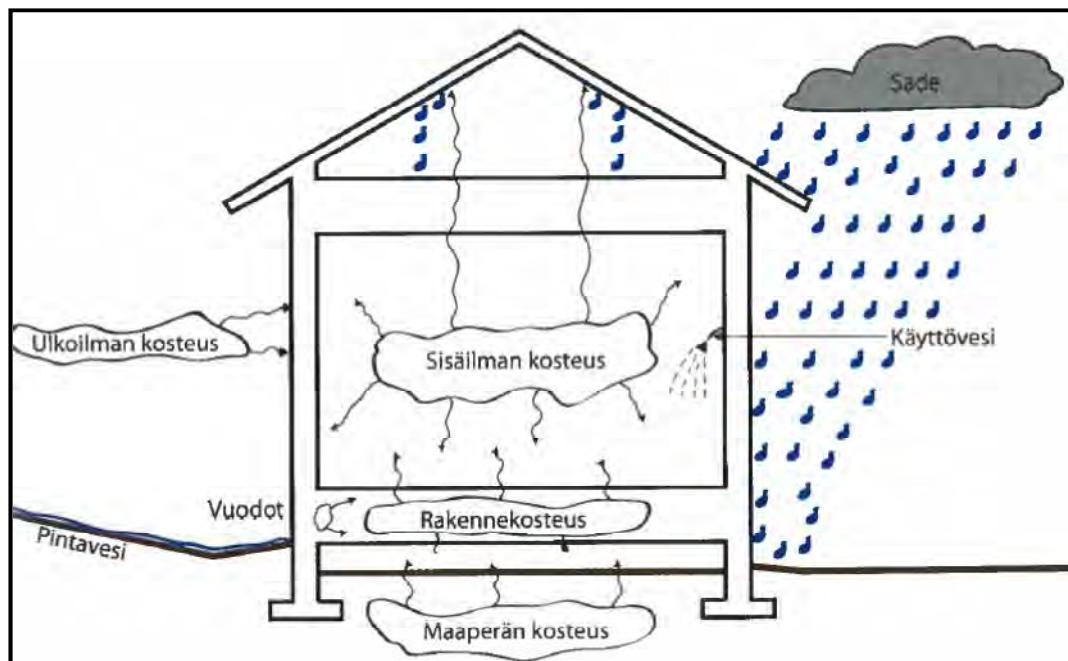
Partasen et al. (1995) tutkimuksen mukaan 82 % pientaloista oli kosteusvaurioita tai niiden jälkiä. Rakenneosittain eniten kosteusvaurioita oli yläpohjassa, 41 % kohteista. Seinien kosteusvaurioita oli 33 %, joista pääosa oli märkätiloissa. 1950-luvulla rakennetuissa pientaloissa eniten vaurioita oli ylä- ja alapohjassa. Tutkimuksessa tutkittiin yhteensä 450 pientaloa.

Reijula (2005) arvioi kymmenen keskussairaalan perusteellisella tutkimuksella ja laajoilla käyttäjäkyselyillä, että sairaaloiden tiloista 15 %:ssa arvioidaan olevan välitöntä korjaustarvetta. Välitön korjaustarve kohdistui pääasiassa kosteihin tiloihin, joissa oli pinnoitteena sileä muovimatto Telon (Reijula 2005, s. 46). Rakenteellisesti eniten korjaustarvetta oli alapohjissa, väliseinissä ja ulkoseinissä. Lisäselvitystarvetta oli 22 % tiloista. Lisäselvitystarvetta edellyttäneitä asioita olivat tyypillisesti välipohjissa olleet täytemateriaalit sekä ikkuna- ja kattovuodot. Ilmanvaihdon osalta puutteita oli lämpöolojen hallinnassa ja riittämättömässä ilmanvaihdossa. Ilmanvaihto on sairaaloissa ikääntymisen takia uusimistarpeessa 40 % tiloista.

2.4 KOSTEUDEN SIIRTYMINEN RAKENNUKSISSA

Rakenteen mikrobikasvuston mitoittavana tekijänä on kosteus, sillä ravinteita, lämpöä ja happea esiintyy aina rakenteissa. Rakennusfysikaalisten ilmiöiden ja niihin perustuvien laskelmien avulla voidaan arvioida rakenteen kosteuspitoisuutta. Tarkan kosteuspitoisuuden selvittäminen vaatii aina rakenneteknisiä mittauksia. Korjausratkaisun toimivuus vaatii rakennusfysikaalisten ilmiöiden ymmärtämistä. Tässä kappaleessa on esitetty rakennusfysikaaliset ilmiöt, joiden avulla rakenteen kosteuspitoisuutta voidaan arvioida. Kyseisten ilmiöiden ymmärtäminen auttaa mikrobivaurioiden syiden selvittämisessä.

Rakennuksen kosteuden sisäpuolisia lähteitä ovat käyttövesi, sisäilman kosteus ja rakennekosteus sekä ulkopuolisia lähteitä ovat ulkoilman kosteus, sade- ja pintavedet sekä maaperän kosteus. Rakennuksen kosteuslähteet on esitetty kuvassa 9. Maata vasten olevat rakenteet eli kellarin seinät ja alapohjat ovat jatkuvan kosteusrasituksen alaisina maan sisältämän kosteuden vuoksi. Perusmuurille ja seinän alaosiin aiheutuu kosteusrasitusta pinta- ja sulamisvesistä. Yläpohjaan ja ylempänä oleviin seinärakenteisiin kosteusrasitus syntyy sisäilman kosteudesta ja vesikatteen vuodoista. Vesivahingot, putkien ja laitteiden vesivuodot aiheuttavat kosteusvaurioita kaikille rakenteille.



Kuva 9. Rakennuksen kosteuslähteet (RIL 250-2011, s. 63).

Kosteuden siirtyminen rakenteissa ja niiden läpi tapahtuu monien samanaikaisten siirtymismuotojen vaikutuksesta. Kosteus liikkuu rakennuksessa neljällä tavalla, vesihöyrynä diffuusiolla ja konvektiolla sekä vetenä kapillaarisesti ja painovoiman vaikutuksesta. Veden olomuotoja on kaikkiaan kolme vesihöyry, vesi ja jää. Kosteuden siirtyminen tapahtuu pääasiassa vesihöyrynä ja vetenä. Kosteuden siirtyminen tapahtuu aina jonkin siirtävän voiman vaikutuksesta. Voiman aiheuttaa konsentraatioiden ero tarkastelupisteiden välillä. Yleisesti voidaan sanoa, että virtaustiheys saadaan siirtymiskertoimen ja potentiaalın tulona.

2.4.1 Diffuusio

Diffuusio perustuu kaasumolekyylien keskinäisiin törmäyksiin, jonka vaikutuksesta kaasun osapaine-erot pyrkivät tasaantumaan. Diffuusiovirta kulkee suuremman osapaineen puolelta pienemmän osapaineen puolelle ja sitä rajoittaa materiaalin diffuusiovastus. Diffuusiovirran tiheys riippuu siis materiaalin diffuusiovastuksesta ja kaasun osapaine-eroista.

Kosteuden diffuusiovirrassa potentiaalinen on vesihöyrypitoisuuksien ero, joka voidaan ilmoittaa kosteuserona v , jonka yksikkönä on yleisesti g/m^3 tai vesihöyryn osapaine-erona p , jonka yksikkönä on Pa. Kosteuden diffuusiovirta kulkee yleensä vaipparakenteiden läpi sisäilmasta ulospäin, koska sisäilman veden osapaine on ulkoilman osapainetta suurempi suurimman osan vuotta. Kesäisin kosteuden diffuusiovirta voi kulkea myös rakenteiden läpi ulkoa sisälle. Diffuusio on sitä voimakkaampaa, mitä suurempi on sisäilman kosteuspitoisuus. Vinhan & Käkelän (1999, s. 77) laboratoriossa tehtyjen seinärakenteita käsittelevän tutkimuksen mukaan kaikki seinärakenteet toimivat diffuusion kannalta turvallisesti, jos sisäilman kosteuslisä on pieni.

Diffuusion pienentämiseksi rakenteen läpi ja kondensoitumisen estämiseksi rakenteissa käytetään sisäpinnan lähellä höyrynsulkuja, joiden vesihöyrynläpäisevyys on pieni ja siten vesihöyrynvastus suuri. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 määrätään, että höyrynsulkukerroksen vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen verrattuna eristekerroksen kylmällä puolella olevan rakennekerroksen vesihöyryn-

vastukseen (Ympäristöministeriö 1998, s. 9). Toinen pääperiaate rakenteissa kondenssin estämiseksi on, että rakennekerrokset harvenevat ulospäin.

Diffuusiolaskentaa voidaan käyttää rakenteiden suunnittelun ja vaurioitumisen syytä epäiltäessä apuvälineenä. Diffuusiolaskennassa on tehty yksinkertaistuksia, jotka ovat: reunaehdot ovat stationääritilassa, rakenne ei sido kosteutta sekä lämpö ja kosteus kulkeutuvat 1-ulotteisesti.

Diffuusiolaskentaa tehdessä lasketaan ensin vesihöyryn osapaineet ulkona kaavan (4) mukaisesti, mikäli ulkoilman suhteellinen kosteus tiedetään. Lähteessä (RIL 107-2000, s. 36) on taulukoituna ulkoilman keskimääräiset suhteelliset kosteudet kuukausittain eri paikkakunnilla.

$$p_u = \frac{RH_u}{100} \cdot p_k \quad (4)$$

jossa p_u on ulkoilman vesihöyryn osapaine, Pa

RH_u ulkoilman suhteellinen kosteus ja

p_k vesihöyryn kriittinen osapaine, Pa. Kriittinen vesihöyrynpitoisuus riippuu lämpötilasta lähteen (RIL 107-2000, s. 35-36) mukaisesti. Vesihöyrynpitoisuus saadaan muutettu osapaineeksi kaavan $p = 0,461 \cdot T \cdot c$ mukaisesti, jossa lämpötila T ilmoitetaan yksikössä K ja vesihöyrynpitoisuus c yksikössä g/m^3 .

Sisäilman vesihöyryn osapaine ratkaistaan vastaavasti kuin ulkoilmankin, mikäli sisäilman suhteellinen kosteus tiedetään. Sisäilman vesihöyryn osapaine voidaan ratkaista myös kosteuslisän avulla, kun tiedetään ulkoilman kosteuspitoisuus. Pientaloissa sisäilman kosteuslisänä voidaan käyttää $1,5 g/m^3$, kun ulkolämpötila on $\geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $4 g/m^3$, kun ulkolämpötila on $\leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Vinha et al. 2005).

Seuraavaksi ratkaistaan rakenteen lämpötila rakenteen kerroksessa x kaavalla (5).

$$T_x = T_s - \frac{\sum_{n=i}^x (R_n)}{R_{tot}} \cdot (T_s - T_u) \quad (5)$$

jossa T on ilman lämpötila, °C tai K, u tarkoittaa ulkona ja s sisällä

$\sum_{n=i}^x (R_n)$ rakenteen lämmönvastusten summa sisäilmasta kohtaan x , m^2K/W ja

R_{tot} rakenteen kokonaislämmönvastus, m^2K/W .

Vesihöyryn osapaine p_x rakenteen kerroksessa x saadaan kaavalla (6)

$$p_x = p_s - \frac{\sum_{n=i}^x (Z_{p,i})}{Z_{p,tot}} \cdot (p_s - p_u) \quad (6)$$

jossa p on vesihöyryn osapaine, Pa, u tarkoittaa ulkona ja s sisällä

$\sum_{n=i}^x (Z_{p,i})$ rakenteen vesihöyrynvastusten summa sisäilmasta kohtaan x , $10^9 \cdot m^2sPa/kg$ ja

$Z_{p,tot}$ rakenteen kokonaisvesihöyrynvastus, $10^9 \cdot m^2sPa/kg$.

Suhteelliset kosteudet kussakin rakennekerroksessa saadaan jakamalla vesihöyryn osapaine rakennekerroksen lämpötilan mukaisella vesihöyryn kriittisellä osapaineella.

Diffuusiosta seuraavia kosteuspitoisuuksia voidaan laskea käsilaskentamenetelmää tarkemmin multifysiikkaohjelmilla kuten COMSOL ja WUFI. Ohjelmilla laskettaessa voidaan käyttää ajasta riippuvia reunaehtoja sekä suhteellisesta kosteudesta riippuvia materiaaliarvoja.

2.4.2 Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan yleisesti ilmavirtausta, joka syntyy rakenteen yli vallitsevan ilman kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Ilma virtaa suuremmasta paineesta pienemmän paineen suuntaan. Virtaus tapahtuu huokoisten materiaalien läpi ja rakojen kautta. Virtaavan ilman määrä riippuu paine-erosta, materiaalin ilmanläpäisevyydestä ja rakenteessa olevien rakojen virtausvastuksesta. Jaakkolan (1997) mukaan rakennuksen ulkovai-

pan ilmanvuodoista johtuvan kosteuskonvektion riskiä voidaan pienentää parantamalla rakenteiden ilmanpitävyyttä, pitämällä rakennuksen sisäpuoli alipaineisena ulkoilmaan nähden ja pienentämällä sisäilman kosteuspitoisuutta.

Kosteuskonvektiolla tarkoitetaan kosteuden siirtymistä ilmavirtauksen mukana rakenteellisten epäjatkuvuuskohtien kautta rakenteisiin. Kosteuskonvektion kuljettaman kosteuden määrä riippuu painesuhteista, sisäilman kosteuspitoisuudesta ja rakenteiden epäjatkuvuuskohdista.

Kosteuskonvektion mukana siirtyvä kosteuden määrä eli kosteusvirta voidaan laskea ilman virtauksen ja ilman sisältämän kosteuden avulla kaavan (7) mukaan.

$$G = v \cdot Q \quad (7)$$

jossa G on kosteusvirta, kg/s
 v ilman kosteuspitoisuus, kg/m³
 Q ilmavirta, m³/s

Rakenteeseen kosteuskonvektiosta jäävä kosteuden määrä voidaan laskea kaavan (8) avulla. Ilmavirran Q laskemiseen on esitetty kaavoja kappaleessa 4.3.

$$G = (v_s - v_u) \cdot Q \quad (8)$$

jossa v on ilman kosteuspitoisuus, kg/m³, u on ulkona ja s sisällä.

Jaakkolan (1997, s. 62) laskelmien mukaan puurankaisissa rakenteissa yleisesti käytettävän höyrynsulkumuovin läpi kulkeutuu laskennallisesti kosteuskonvektion avulla jopa tuhatkertaisia kosteusmääriä verrattuna diffuusiolla kulkeutuneisiin kosteusmääriin. Puurankaisen seinärakenteen, jossa on ehjä 0,2 mm höyrynsulkumuovi, läpi kulkeutuu diffuusiolla kosteutta vain noin 0,1 g/m² vuorokaudessa. Kosteuskonvektiolla seinära-

kenteen epätiiviyyskohtien läpi kulkeutuva kosteusmäärä on paine-erolla 10 Pa riippuvainen reiän suuruudesta. Yhden neliösenttimetrin suuruisen reiän läpi kulkeutuu laskennallisesti 112 g/vrk ja metrin mittaisen yhden millimetrin raon lävitse 1128 g/vrk. Laskelmissa on käytetty tyypillisiä olosuhteita, sisällä +20 °C ja 40 RH-% ja ulkona -10 °C ja 90 RH-%.

Laboratoriossa tehdyissä koesarjassa (Vinha & Käkelä 1999, s. 59 ja liite VI), jossa olosuhteet olivat liki samanlaiset +20 °C ja 50 RH-% ja ulkona -10 °C ja 90 RH-%, ei havaittu konvektiolla siirtyvän edellä esitetyn laskuesimerkin kaltaisia merkittäviä kosteusvirtoja vastaavanlaisessa seinärakenteessa. Höyrynsulkumuovissa oli reikiä yhteensä 3,2 cm², jolloin 10 Pascalin ylipaineessa havaittu kosteuskonvektio oli vain 15,9 g/vrk. Kosteuskonvektiolla siirtynyt kosteusvirta oli kuitenkin suurempi kuin diffuusiolla siirtynyt, joka oli 2,2 g/vrk tai pinta-alaa kohti 1,7 g/m² vuorokaudessa. Höyrynsulkumuovissa olleiden reikien ympäristössä suhteellinen kosteus nousi vain siinä tapauksessa, että reikä ulottui koko sisäpinnan läpi. Pelkkä höyrynsulkumuovissa ollut reikä ei nostanut suhteellista kosteutta reiän läheisyydessä.

Kosteuskonvektiota on mahdotonta mallintaa laskennallisesti kovinkaan tarkasti edes laskentaohjelmilla, koska sekä painesuhteet että ilmavuotokohtat vaihtelevat voimakkaasti rakenteessa. Kosteuskonvektion estämiseksi rakennuksen ilmanvaihto säädetään yleensä alipaineiseksi ja rakenteiden ilmanpitävyyteen kiinnitetään huomiota. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (Ympäristöministeriö, 2010) mukaan rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta vältetään kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pa.

Mahdollisen kosteuskonvektion aiheuttamat vauriot ovat vakavia, kun sisäilman kosteuspitoisuus on suuri ja konvektiota vastaan rakennuksen alipaineistaminen on välttämättömyydestä kostean sisäilman rakennuksissa kuten uimahalleissa (Lehtinen et al., 2003). Vanhoissa uimahalleissa yleisin kosteusvaurioitunut rakenneosana on ollut yläpohja (RT 97-10389, 2005) ja yleisin syy vaurioon kosteuskonvektio. Vanhojen uimahallien yläosa on

ollut ylipaineinen. Uimahallien kosteimmissa tiloissa sisäilman kosteuspitoisuus on keskimäärin 16 g/m^3 ja pääallasta ympäröivissä tiloissa 13 g/m^3 (Kalliokoski, 2007). Tällaisissa kostean sisäilman rakennuksissa rakennuksen alipaineistaminen ulkoilmaan nähden on välttämätöntä.

Asuinrakennuksissa sisäilman kosteuspitoisuus on luonnollisesti pienempi. Sadan puurunkoisen omakotitalon sisäilman kosteuspitoisuus vaihteli talvikauden pienestä pitoisuudesta 5 g/m^3 kesäkauden suurempaan pitoisuuteen $11,4 \text{ g/m}^3$ (Vinha et al. 2005). Vinhan & Käkelän (1999, s. 3) seinärakenteita käsittelevässä tutkimuksessa havaittiin, ettei rakenteen suhteellinen kosteuspitoisuus muutu ylipaineen vaikutuksesta, kun reikiä on vähän tai ne sijaitsevat pelkästään ilman- tai höyrynsulussa. Siten alipaine ei ole kosteustieteellisistä syistä välttämätön tavanomaisen kosteuskuorman rakennuksissa mutta alipaine pienentää kosteuskonvektion kondensoitumisen riskiä rakenteissa.

2.4.3 Kapillaarinen kosteuden siirtyminen

Aineen kosteuspitoisuuden kasvaessa yhä suurempi osa kosteudesta siirtyy vetenä kapillaarisesti. Aluksi tällaista kosteuden liikettä tapahtuu pienemmissä huokosissa. Aineen kosteuspitoisuuden kasvaessa riittävän suureksi, siirtymismuoto kattaa kaikki huokokset. Kapillaarisella kosteudensiirtymisellä tarkoitetaan painegradientin aiheuttamaa veden siirtymistä nestefaasissa. Kapillaarista kosteudensiirtymistä ja diffuusiota on käytännössä vaikea erottaa toisistaan. Kun aineen huokokset ovat täynnä vettä, tapahtuu kosteuden siirtyminen lähes yksinomaan kapillaarisesti. Juuri valettu betonimassa on hyvä esimerkki kapillaarisen kosteuden siirtymisestä. Vastaavasti huokosten ollessa täynnä ilmaa, on kyseessä puhdas diffuusio. Kuivan lämmöneristemateriaalin läpi siirtyvä kosteus kulkeutuu diffuusion avulla. Rajatapauksissa aineen huokokset ovat osittain vedellä täytetyt, jolloin kosteuden siirtyminen tapahtuu molemmilla tavoilla. (Absetz & Viljanen 1986)

Nestemäisen veden siirtymistä aineen huokosissa huokosalipaine-eron johdosta kutsutaan kapillaariseksi virtaukseksi. Ehtona kapillaariselle virtaukselle on siis aineen huokoisuus. Kapillaarista virtausta vastustavat viskositeetti ja painovoima. Pohjaveden tai

muun vesilähteen pinnasta nousevan kapillaariveden kohoaminen huokoisessa aineessa jatkuu tasoon, jossa nousun aiheuttavat kapillaarivoimat ovat tasapainossa nousua vastustavan painovoiman kanssa. Kapillaaristen voimien maan huokossysteemiin sitomaa vettä kutsutaan kapillaarivedeksi. Kapillaarisella nousukorkeudella tarkoitetaan veden nousukorkeutta vesilähteen vedenpinnasta. (Leivo & Rantala 2002, Absetz & Viljanen 1986)

Kapillaarinen vedennousu rakenteeseen on merkittävästi nopeampaa kuin diffuusiolla tapahtuva vedensiirtyminen. Leivo & Rantalan (2002, s. 28) mukaan laskennallisesti 80 mm betonilaatan läpi kapillaarisesti nousevan kosteusvirran enimmäisarvo vaihtelee $0,02...0,15 \text{ g/m}^2\text{s}$, kun pohjavedenpinta on betonilaatan alapinnassa. Saman vahvuisen betonilaatan läpi diffuusiolla kosteusvirta vaihtelee $0,00002...0,00008 \text{ g/m}^2\text{s}$.

Kapillaarinen kosteuden siirtyminen on otettava huomioon maanvastaisissa rakenteissa. Rakenteiden alle asennetaan niin sanottu kapillaarikatko karkeasta sorasta. Kapillaarista kosteuden siirtymistä on liki mahdoton mallintaa tarkasti laskennallisesti oikeissa rakenteissa.

2.4.4 Painovoimainen kosteuden siirtyminen

Nestemäinen vesi siirtyy myös painovoiman avulla. Sadevesi ja erityisesti viistosade aiheuttavat kosteusrasitusta katto- ja seinärakenteille. Rakennusta ympäröivän maanpinnan viettäessä rakennukseen päin sadevedet kulkeutuvat sokkeliin ja perustukseen. Käyttöveden aiheuttama kosteusrasitus kohdistuu märkätiloihin. Kastelevan vaikutuksen lisäksi painovoima poistaa vettä kastuneista rakenteista. Painovoimaista vettä vastaan rakenteet suojataan riittävillä vedeneristyksillä.

2.5 KOSTEUSRISKEJÄ SISÄLTÄVÄT RAKENNERATKAISUT ELI RISKIRAKENTEET

Riskirakenteiseksi kutsutaan eräitä rakenneratkaisuja, joiden kosteus- ja mikrobivaurioituminen on yleistä rakenteen käyttöään aikana, koska rakenteen kosteustekninen toimin-

ta on puutteellista. Riskirakennetta parempi ilmaisu on kosteusriskejä sisältävä rakenneratkaisu. Kaikkiin riskirakenteiksi luettavissa rakenneratkaisuihin ei ole muodostunut kosteusvauriota tai mikrobikasvustoa. Esimerkiksi 1970-luvun pientaloissa yleinen valesokkeliratkaisu on tyypillinen riskirakenne, jossa valesokkelin lämpimältä puolelta puuttuva tuuletusrako huonontaa rakenneratkaisun kosteusteknistä toimintaa. Mikrobikasvuston riskiä kasvattaa kunkin rakenneratkaisun teossa yleisesti käytössä olleet rakennustavat, joita on pidetty rakennusaikana hyvänä rakentamistapana. Riskirakenteen rakennusaikana ei ole ymmärretty kosteusvaurioon johtavia rakennusfysikaalisia ilmiöitä (Leivo 1998, s. 28 - 34).

Joidenkin rakennetyyppien kohdalla mikrobikasvusto on täysin normaalia ja siten rakenteen suunnittelun reunaehtona. Ryömintätilaisissa alapohjissa ja maanvastaisissa alapohjissa täyttökerrokseen muodostuu aina mikrobikasvustoa. Tutkimuksen (Leivo & Rantala, 2006) mukaan maanvastaisen alapohjan täyttökerroksesta löytyi mikrobikasvustoa 98 %:sta kaikista maanäytteistä. Kosteusvaurioita indikoivia mikrobilajeja löytyi 79 %:sta näytteistä. Näytteitä otettiin 46 satunnaisesti valitusta kohteesta eri puolilta Suomea. Kohteissa ei ollut koskaan havaittu kosteusvaurioita. Täyttökerrosten suhteellinen kosteus oli pysyvästi korkea, lähes 100 RH-%.

Juhani Pirisen (2006) tutkimus käsitteli pientalojen mikrobivaurioiden syitä. Tutkimuksen aineistona olivat 429 pientalon kuntotarkastuksen ja –tutkimuksen tulokset, kunkin pientalon asukkaat olivat kärsineet oman ilmoituksen mukaan terveysoireista ennen tutkimuksia. Tarkastukset ja tutkimukset suoritettiin Hengitysliiton korjausneuvojien toimesta. Mikrobivaurioita löytyi 291 talosta, vauriota oli yhteensä 425. Kolmanneksessa pientaloista oli useampi kuin yksi mikrobivaurio. Pientalojen mikrobivauriot esiintyivät pääasiassa alapohjarakenteissa, kellareissa ja pesutiloissa. Tarkempi tilastointi vaurioiden esiintyvyydestä rakenteittain ovat esitetty taulukossa 4. Pirisen mukaan vaurioitumisen kaksi tärkeintä kosteusteknista syytä olivat veden valuminen ja veden kapillaarinen imeytyminen rakenteisiin. Jaottelu kosteusteknisistä syistä vaurioitumiseen on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 4. Mikrobivaurioiden esiintymiset rakenteittain omakotitaloissa Pirisen (2006) mukaan.

Homevaurion syy	kpl
Kellarin seinät	75
Tuulettuvat alapohjat	34
Maanvastaiset alapohjat	63
Yläpohjat	58
Pesuhuoneet	98
Ulkoseinät	30
Muut kondenssivauriot	17
Putkisto- tai laitevuodot	43
Ilmanvaihdon puutteesta johtuvat	5

Pirisen tutkimuksessa mikrobivaurio löytyi yleensä etukäteen piirustusten perusteella arvelluista riskirakenteista, kaikki riskirakenteet eivät olleet kuitenkaan vaurioituneita. Vain 71 % vaurioista löydettiin kuntotarkastustoimenpitein, ainetta rikkomattomien menetelmien käytöllä. Kuntotutkimustoimenpiteiden jälkeen vaurio löytyi 29 % koh-teista.

VTT:n puurakennusten (puurakenteiset pientalot, asuin-, liike- ja toimistorakennukset) kosteusfysikaalista tilaa käsitelleen julkaisun (Kääriäinen, Rantamäki ja Tulla 1998) mukaan yleisimmät vauriokohdat ja –rakenteet ovat pesuhuoneen ja saunan seinä- ja lattiarakenteet, maanvarainen laatta, ulkoseinän, sokkelin ja seinän liittymä, ryömintäti-la, vesikattorakenteet, ylä- ja välipohjarakenteet, kellarirakenteet, keittiö ja apukeittiö sekä ilmastointi ja lvi-tekniikka. Tutkimuksen aineistona on käytetty VTT:n tutkijoiden kokemustietoa, jonka he ovat hankkineet tehdessään satoja vaurioselvityksiä, - tutkimuksia ja muita mittauksia. Tutkimuksen mukaan alapohja, ulkoseinän ja lattian liittymä sekä märkätilat aiheuttivat yhteensä 80 % kosteusvaurioista.

Kokemusperäisesti tiedossa olevia riskirakenteita ovat kellarin maanvastaiset seinät, valesokkeli, yläpuolelta lämmöneristetty maanvarainen alapohja eli niin sanottu koolat-tu alapohja ja kaksoislaatta. Lisäksi ryömintätalaisissa alapohjissa on todettu paljon mikrobivaurioita, Ruotsissa ryömintätalasta alapohjarakennetta pidetään riskirakenteena (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, s. 31). Mikrobikasvustoa on ollut laajasti

myös 1950-luvulle asti käytössä olleissa välipohjarakenteissa, joiden ontelot on täytetty rakennusjätteillä, luonnontuotteilla ja teollisuuden sivutuotteilla (Kerrostalot 1880 – 2000, s. 23). Rakennusjätteisiin ja luonnontuotteissa esiintyy usein mikrobeita vähäisestä kosteusrasituksesta.

Kurnitski et al. (1996, s. 12) tutkimuksen mukaan pääkaupunkiseudun 32 koulurakennusten rakennetekniset korjaussyyt rakennusosittain jakaantuivat seuraavasti. Alapohjarakenteisiin liittyviä kosteusvaurioita oli joka toisessa rakennuksessa eli 17 koulussa. Ryömintätilan kosteusvaurioita oli 11 koulussa, maanvastaisen laatan tai sisäseinän kosteusvaurioita oli seitsemässä rakennuksessa ja viidessä oli kellaritilaan liittyviä kosteusvaurioita. Yläpohjarakenteisiin liittyviä kosteusvaurioita oli noin kolmanneksessa eli 12 koulussa, joista kahdeksassa rakennuksessa oli katto vuotanut ja kolmessa oli kattoikkunoihin ja sadevesikaivoihin liittyviä vaurioita. Julkisivuun liittyviä kosteusvaurioita oli noin viidenneksessä eli 7 koulussa. Julkisivun kosteusvaurioiden yleisin syy oli ikkunat.

TTY:n Ympäristöministeriön tilauksesta tekemän raportin (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008) mukaan tulevaisuuden riskirakenteiksi lisääntyvän lämmöneristyksen myötä nousevat tuulettutilalliset rakenteet eli tuulettuva ylä- ja alapohja sekä massiivirakenteet. TTY on jatkanut tulevaisuuden riskirakenteiden tutkimusta FRAME-tutkimusprojektissa yhdessä VTT:n ja Aalto-yliopiston kanssa. Hankkeessa on arvioitu lämmöneristämisen lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutusta rakenteiden toimintaan. Projektin alustavien tulosten mukaan eräistä rakenneratkaisuista, kuten eristerappauksista rankarakenteen tai hirsiseinän päällä ja tiiliverhotusta puurankaseinästä korkeissa rakennuksissa, on syytä luopua kokonaan (Vinha 2011b, s. 4). Lämmöneristyksen lisääminen laskee rakenteen ulko-osien lämpötilaa, jolloin myös rakenteen ulko-osien suhteellinen kosteus nousee. Tämä kasvattaa rakenteiden ulko-osien homehtumisriskiä.

2.5.1 Maanvastaiset rakenteet

Maanvastaisten rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden reunaehtona on maan suuri kosteuspitoisuus. Maata vasten oleva rakenne on kosketuksissa kosteaan maahan,

jonka suhteellinen kosteus oletetaan olevan aina 100 % (Leivo & Rantala 2006). Maassa olevan huokosilman kosteuspitoisuus kasvaa lämpötilan noustessa. Jotta kosteus ei nouse kapillaarisesti maasta rakenteeseen, maanvastaisten rakenteiden alle tarvitaan karkearakenteisesta materiaalista tehty kapillaarikatko (C2). Lisäksi maan suuren kosteuspitoisuuden vuoksi maanvastaisten rakenteiden lämmöneriste on sijoitettava maan puolelle, mikä nostaa rakenteen lämpötilaa ja siten vähentää kosteuden tiivistymisen riskiä varsinaisessa rakenteessa.

Maaperän lämpöolosuhteet puolestaan vaihtelevat karkeasti ulkolämpötilan mukaan. Maanvastaisen alapohjarakenteen elinkaaren alkuvaiheessa rakenne kuivuu kahteen suuntaan, koska maan lämpötila ei ole vielä noussut sisätiloista maaperään suuntautuvan lämpövirran vaikutuksesta. Elinkaaren myöhemmässä vaiheessa diffuusinen kosteusvirta suuntautuu maaperästä rakenteeseen, koska maapohja on lämminnyt lähes sisäilman tasolla ja vesihöyryn osapaine (absoluuttinen kosteuspitoisuus) on maaperässä suurempi kuin sisäilmassa. Lämpötilan nousu on tyypillistä maanvaraisten lattioiden keskialueella. (Leivo & Rantala 2006)

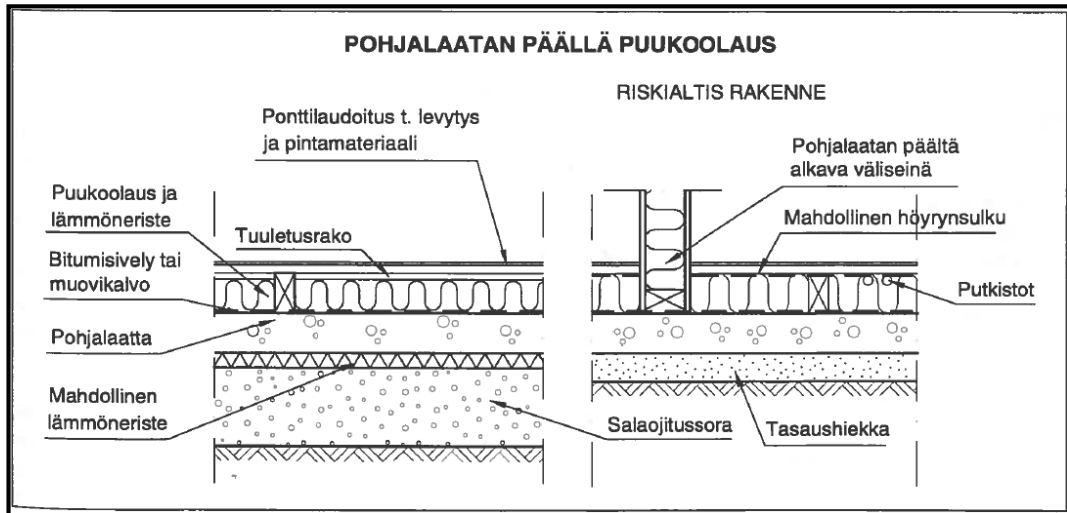
Sisäilman suhteellisella kosteudella on merkitystä diffuusiolla laatan läpi kulkeutuvaan kosteusvirtaan. Lämpöeristämättömän 80 mm paksuisen pinnoittamattoman betonilaa-
tan läpi kulkeutuva diffuusiovirta on alhaisella sisäilman suhteellisella kosteudella noin 950 g/m^2 vuodessa ja korkealla suhteellisella kosteudella 1900 g/m^2 . Laskelmat pohjautuvat Leivo & Rantala (2002, s. 20). Laskelmat on tehty $15 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa.

Seurantamittauksen (Leivo & Rantala 2002) mukaan lämmöneristettyjen maanvaraisten alapohjien alla maaperän lämpötila on aina yli $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ja maaperän suhteellinen kosteus lähellä RH 100 %. Lämpötila vaihtelee vuoden aikana lattian keskiosalla vain muutamia asteita ja reuna-alueilla enemmän. Maanvastaisten seinärakenteiden ulkopuolella maaperän suhteellinen kosteus on samaa luokkaa. Maanvastaisten seinärakenteiden ulkopuolella maaperän lämpötila vaihtelee enemmän ulkoilman lämpötilan mukaan.

Maanvastaisissa rakenteissa on huomioitava, että maaperässä ja kapillaarikatkoissa on aina mikrobeja ja niillä on hyvät kasvuolosuhteet (Leivo & Rantala 2006). Yli 98 % otetuissa näytteissä oli runsaasti mikrobeja. Näytteitä otettiin sekä alapohjista että täytömaista. Maaperän mikrobien vuoksi kaikkien maanvastaisten rakenteiden tulee olla ilmatiiviitä. Lisäksi alapohjan ja seinärakenteen välisen liitoksen on oltava ilmatiivis.

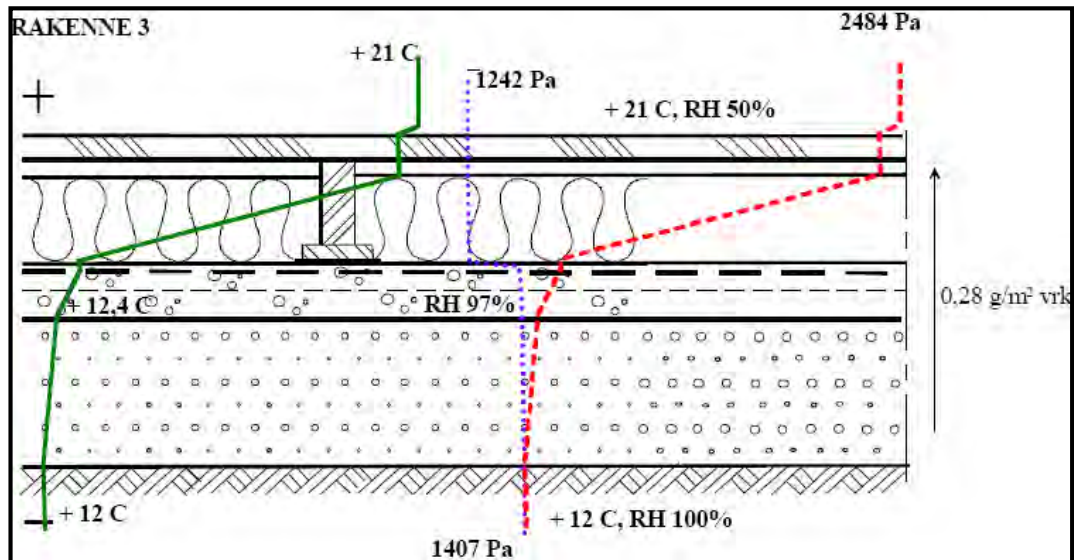
Pirisen (2006, s. 55-56) mukaan maanvastaisen alapohjan vaurioiden yleisin syy oli kapillaarinen vedennousu yläpuolelta eristettyyn betonilaattaan. Yleisiä vauriosyitä olivat myös pintavesien pääsy valesokkelirakenteeseen tai kaksoislaatan eristetilaan. Maanvastaisen alapohjan yleisimmille vaurioille on tyypillistä, ettei niitä voi havaita pintakosteuden tunnistimilla tai aistinvaraisilla havainnoilla vaan niiden tutkiminen ja löytäminen vaatii rakenteen rikkomista. Tutkituista maanvastaisista alapohjista vaurioituneita oli 15 %.

Yläpuolelta lämmöneristetty eli niin sanottu koolattu alapohja oli yleinen rakenneratkaisu 1950-luvulta 1980-luvun loppuun pientaloissa (Kääriäinen et al. 1998). Betonilaatta valettiin pohjatöiden valmistuttua, jonka jälkeen väliseinärakenteet voitiin pystyttää kovalta alustalta. Lämmöneristeenä käytettiin aluksi sahanpurua mutta myöhemmin käytettiin yksinomaan mineraalivillaa (Kääriäinen et al. 1998, s. 21). Lämmöneristeen paksuus on ollut 100...500 mm. Kuvassa 10 on esitetty kaksi rakenneleikkausta koolattusta alapohjasta. Oikeanpuoleinen rakenne sisältää on riskialttiimpi ja vasemmanpuoleinen sisältää myös riskejä.



Kuva 10. Koolattu lattiarakenne eli puukorotettu lattia betonisen pohjalaatan päällä (Torikka et al. 1999, s.29). Oikeanpuoleinen rakennusratkaisu on riskialttiimpi, mutta vasemmanpuoleinen rakennusratkaisu sisältää myös riskejä.

Yläpuolelta lämmöneristetyn alapohjan kosteufysikaalinen toimimattomuus on seurausta suhteellisen kosteuden noususta betonilaatan yläpinnassa, jolloin betonilaattaa vasten olevissa puurakenteissa ja eristeessä mikrobikasvuston riski kasvaa. Kuvassa 11 on esitetty koolatun alapohjan diffuusiolaskelman tulokset ja taulukossa 5 laskelma. Taulukon 5 ja kuvan 11 mukaan koolatuissa alapohjissa piilee riski mikrobikasvustoon, koska betonilaatan ja lämmöneristeen rajapinnassa suhteellinen kosteus on yli 90 % ja lämpötila 12 °C. Kosteusteknistä tilannetta pahentaa mahdollinen kapillaarinen vedennousu pohjamaasta betonilaatan läpi, mikä aiheutuu kapillaarikatkon puuttumisesta betonilaatan alapuolelta.



Kuva 11. Koolatun lattiarakenteen kyllästys- ja osapainekäyrät (Leivo & Rantala 2000, s. 65).

Taulukko 5. Diffuusiolaskelma koolatusta lattiarakenteesta Leivo & Rantala (2000) tulosten mukaan. Betonilaatan yläpinnassa on mikrobin kasvulle sopivat olosuhteet, lämpötila 12,14 °C ja suhteellinen kosteus 91,5 %.

Materiaali [yksikkö]	Paksuus d [m]	Lämmönjohtavuus λ [mKW]	Lämmönvastus R_i [W/m ² K]	R_i/R_T	ΔT [°C]	Lämpötila T [°C]	Kosteudenläpäisyvastus Z_p [m ² sPa/kg]	Z_p/Z_T	Δp [Pa]	Vesihöyryn osapaine p [Pa]	Suht. kosteus RH-%
Pintavastus			0,17	0,05	0,45	21,00	0	0,00	0,0	1242	50
Parketti	0,02	0,14	0,14	0,04	0,38	20,55	2,00E+10	0,32	53,6	1242	51,4
Mineraalivilla	0,15	0,05	3,00	0,89	8,02	20,16	1,76E+09	0,03	4,7	1296	54,9
Betonilaatta	0,08	1,5	0,05	0,02	0,14	12,14	4,00E+10	0,65	107,3	1301	91,5
						12,00				1408	100
			$R_T=3,37$		$\Delta T=9$		$6,18E+10$		$\Delta p=$	165,7	

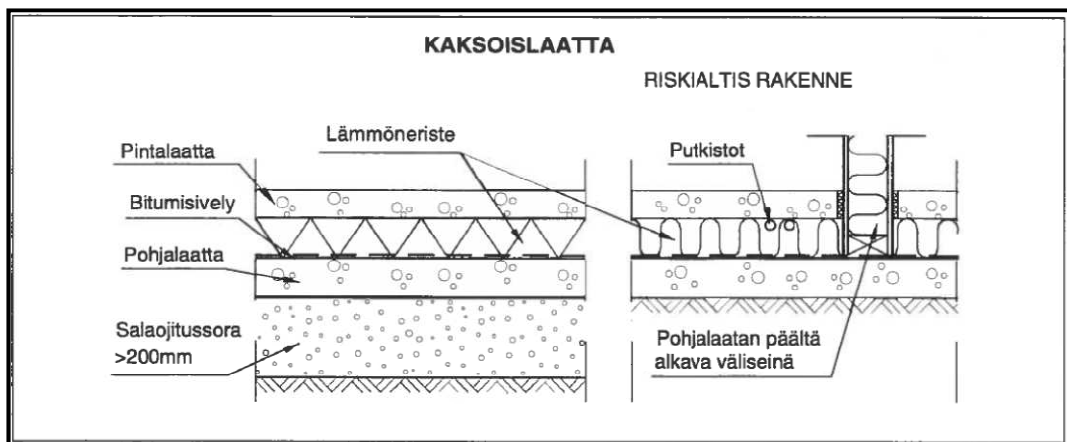
Mikäli betonilaatan alla ei ole lämmöneristystä, rakenne tulee tutkia tarkoin. Yläpuolelta lämmöneristettyä alapohjaa tutkittaessa rakenteen avauksella voidaan tarkistaa betonilaattaa vasten olevien rakennusmateriaalien tilanne.

Kaksoislaatoissa on todettu myös kosteusteknisiä ongelmia. Kuvassa 12 on esitetty rakenneleikkaus kahdesta kaksoislaatasta, oikeanpuoleinen sisältää enemmän riskejä. Olosuhteet alemman laatan yläpinnassa ovat mikrobeille otolliset tai pahimmillaan kosteus jopa tiivistyy alemman laatan yläpintaan, jolloin lämmöneristeen alimmat kerrokset voivat mikrobivaurioitua. Taulukossa 6 on esitetty kaksoislaatan diffuusiolaskelma, jonka mukaan eristeen alapinnan lämpötila ylittää 12 °C ja suhteellinen kosteus on lähes

95 %. Erityisesti käytettäessä orgaanisia lämmöneristeitä kuten puupohjaisia eristeitä mikrobivaurion riski kasvaa. Kaksoislaattojen tapauksessa kantavat väliseinät alkavat alemman laatan päältä, jolloin mikrobien aineenvaihduntatuotteilla on sisäilmaan on selkeä reitti. Kaksoislaatan etuna on kuitenkin parempi ilmatiiviys verrattuna koolattuihin alapohjiin, jolloin mikrobien kulkeutuminen sisäilmaa on vähäisempää.

Taulukko 6. Kaksoislaatan 1-ulotteinen diffuusiolaskelma. Alemman laatan yläpinnassa on mikrobien kasvuun sopivat olosuhteet, lämpötila on 12,14 °C ja suhteellinen kosteus 94,5 %.

Materiaali [yksikkö]	Paksuus d [m]	Lämmönjohtavuus λ [mKW]	Lämmönvastus R_i [W/m ² K]	R/R _T	ΔT [°C]	Lämpötila T [°C]	Kosteudenläpäisyvastus Z_p [m ² sPa/kg]	Z _p /Z _T	Δp [Pa]	Vesihöyryn osapaine p [Pa]	Suht. kosteus RH-%
			0,17	0,05	0,45	21,00				1242	50
Pintavastus						20,55	0	0,00	0,0	1242	51,4
Parketti	0,02	0,14	0,14	0,04	0,38	20,18	2,00E+10	0,20	32,6	1275	54,0
Betonilaatta	0,08	1,5	0,05	0,02	0,14	20,04	4,00E+10	0,39	65,1	1340	57,2
Mineraalivilla	0,15	0,05	3,00	0,88	7,90	12,14	1,76E+09	0,02	2,9	1343	94,5
Betonilaatta	0,08	1,5	0,05	0,02	0,14	12,00	4,00E+10	0,39	65,1	1408	100
			R _T =3,42			$\Delta T=9$	1,02E+11		$\Delta p=$	165,7	



Kuva 12. Betonisia kaksoislaattarakenteita (Torikka et al. 1999, s. 29). Oikeanpuoleinen rakenneratkaisu sisältää enemmän riskejä kuin vasemmanpuoleinen ratkaisu.

Kellarin maanvastaisten seinärakenteiden mikrobivaurioitumisen riskiä kasvattavat puutteellinen tai rikkoutunut vedeneristys, sisäpuolinen ja siten rakennusfysikaalisesti vääränlainen lämmöneristys, puuttuva tai vajavaisesti toimiva salaoja sekä maanpinnan vääränlainen muotoilu ja vääränlainen sadevesien johtaminen.

Pirisen (2006, s. 48-52) mukaan kellarin seinien mikrobivaurioita oli yhteensä 75 kappaletta eli noin 18 % vaurioista. Suurin osa vaurioista johtui kellarin seinän vedenristyksen tai salaojituksen puutteista. Lisäksi merkittävä vaurioiden syy oli kellarin betoniseinän lämpimälle puolelle asennettu lämmöneristys. Myös pintavesien ohjauksissa oli puutteita.

2.5.2 Tuuletustilalliset rakenteet

Yleisimmät tuuletustilalliset rakenteet ovat ryömintätalalliset ala- ja tuuletustilalliset yläpohjat. Molemmat rakennetyypit poikkeavat sekä kosteus- että lämpöfysikaaliselta toiminnalta esimerkiksi seinärakenteista, koska suuri tuuletustila kykenee varastoimaan lämpöä ja kosteutta. Kyseisten rakenteiden lämpötilan ja kosteuspuiteisuuden tarkka laskenta pitää suorittaa ajasta riippuvana.

Ryömintätalaisen alapohjan rakennusfysikaalinen toiminta riippuu monesta tekijästä. Rakenteen ongelmat ovat johtaneet Ruotsissa siihen, että sitä pidetään riskirakenteena (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, s. 31). Ryömintätalainen alapohja on yleinen rakenne, Ruotsissa vuosina 1997 – 2003 perustetuista alapohjista yli puolessa oli ryömintätalainen alapohja (Burke 2007). Suomessa ryömintätalainen alapohja on yleinen elementtitekniikalla toteutetuissa rakennuksissa.

Ryömintätalaisen alapohjan kosteusolosuhteet muodostuvat kolmesta tekijästä: ryömintätalilan kosteuslähteistä, ilmanvaihdosta sekä ryömintätalilan lämpövirroista. Ryömintätalilan kosteuslähteet jakaantuvat rakennuksen ulko- ja sisäpuolisiin. Ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat pinta- ja sadevesien valuminen ryömintätalilaan. Maanpinnan muotoilulla ja vesien poisjohtamisella voidaan edellä mainittujen tekijöiden vaikutusta vähentää.

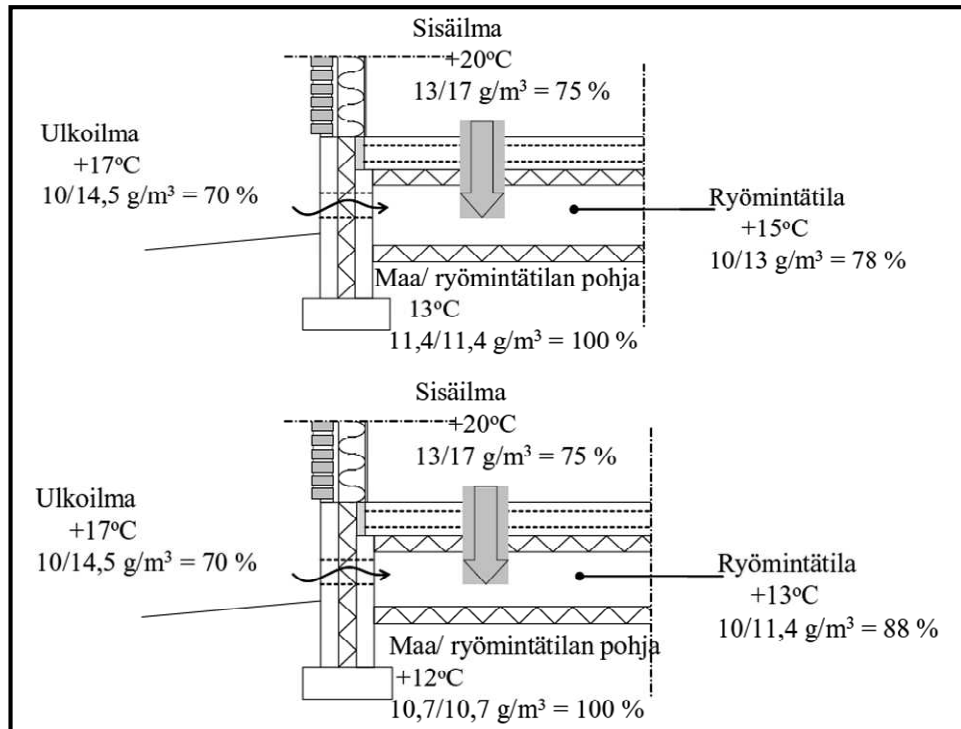
Merkittävin kosteuden lähde on ryömintätalilan maaperä (Matilainen et al. 1999, s. 23). Maaperästä nousevaan kosteuteen vaikuttaa maalaji ja mahdolliset haihtumiseristyskerrokset. Suurimpia kosteustuottoja on mitattu koheesiomaalajeista, savesta ja siltistä. Laboratorio-olosuhteissa savimaan kosteustuotoksi on mitattu jopa 75 g/h,m^2 , kun ilman

virtausnopeus maa-aineksen yläpuolella oli 2 m/s (Matilainen et al. 1999, s. 25). Maaperän hienoaineksen osuuden pienentyessä, kosteustuotto vähenee. Maanpinnalta haihtuvaa kosteutta voidaan vähentää vedenpitävällä muovikalvolla, lämmöneristeellä sekä veden kapillaarisen nousun estävällä karkealla sorakerroksella. Käytännössä muovikalvon pitää olla vettä läpäisevä kesäkondenssista ja pintavesistä johtuen. Parhaimpien haihtumiseristysratkaisujen, kuten rei'itetyn muovin ja lämmöneristekerroksien haihtumiskertoimet ovat mittausten mukaan 30...60 kertaa pienempiä kuin savinäytteiden (Matilainen et al. 1999, s. 26).

Ryömintätilan ilmanvaihto vaikuttaa oleellisesti sen lämpö- ja kosteuskäyttäytymiseen. Liian suuri ilmanvaihto lämmityskaudella jäädyttää ryömintätilaa ja nostaa siten suhteellista kosteutta ryömintätilassa. Toisaalta liian pieni ilmanvaihto kesäaikaan ei kuivata ryömintätilaa. Kesäaikaan riittävä ilmanvaihto on 3 l/h, jolloin ryömintätilan suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvo jää alle 75 prosentin (Matilainen et al. 1999, s. 32). Talviajalle riittävä ilmanvaihto on 1 l/h (Kurnitski et al. 1999b, s. 182). Ilmanvaihdosta saadaan paras hyöty kaksiportaisena niin, että kesällä ilmanvaihto on suurempi kuin lämmityskaudella. Ryömintätilan luonnollinen ilmanvaihto on riippuvainen tuulen nopeudesta rakennuksen ympäristössä sekä tuuletusaukoista. Ryömintätilan ilmanvaihtuvuuden laskeminen vaatii lähtötietoina tuulen nopeuden ja suunnan, ryömintätilan muoto- ja tuuletusaukkojen tehollisen pinta-alan. Koneellisesti tuuletetuissa ryömintätiloissa paras ratkaisu on puhaltaa ilmaa pois ryömintätilan tuuletusaukoista, mikä vähentää ryömintätilan ilman kulkeutumista sisäilmaan.

Ryömintätilan kosteuskäyttäytyminen on voimakkaasti riippuvainen lämpökäyttäytymisestä. Esimerkiksi ryömintätila lämpenee kesällä nopeammin tuuletusilman avulla, kun ryömintätilan pohjalla on lämmöneriste ja lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus laskee. Vastaavasti ryömintätila myös jäähtyy talvella nopeammin, kun maapohja on eristetty. Ryömintätilaan tulee ja poistuu lämpöä johtamalla alapohjan lävitse ja maaperästä sekä tuuletuksen kautta. Ryömintätilan lämpötila talvisin on laskenut lämmöneristysmääräysten kiristymisen myötä, kun alapohjan läpi johtuu vähemmän lämpöä ryömintätilaan. Tulevaisuudessa kiristyneiden lämmöneristysmääräysten vuoksi ryömintätilaisen alapohjan ongelmia tulee esiintymään enenevässä määrin. Myös matalaener-

giarakenteiden toimivuutta käsittelevä tutkimus varoittaa näistä ongelmista (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, s. 33-34). Kuvassa 13 on esitetty ryömintätilan olosuhteet nykyisillä rakenteilla ja paremmin lämmöneristetyin alapohjan tapauksessa.



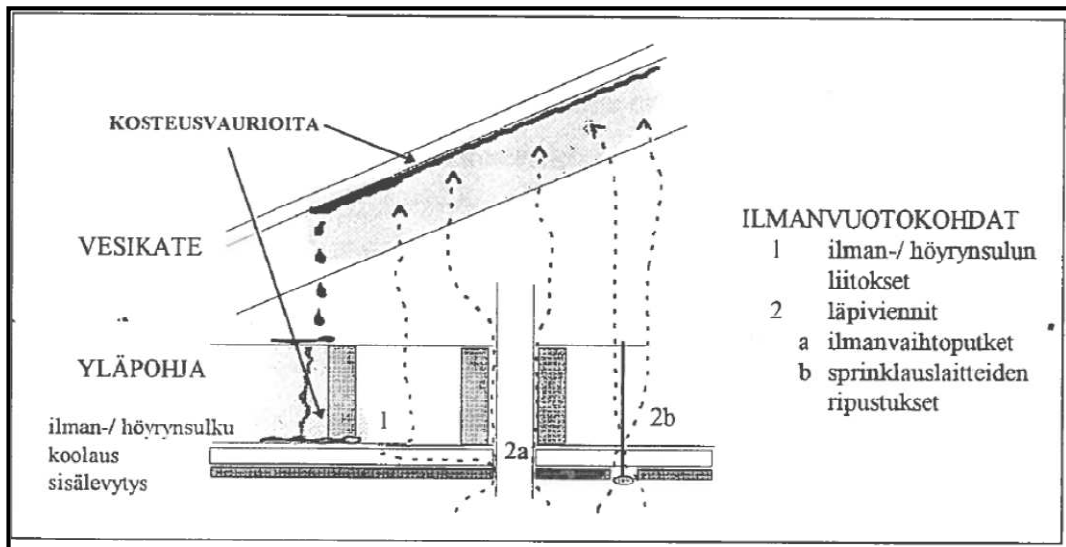
Kuva 13. Ryömintätilan olosuhteet kesällä nykyisellä lämmöneristykseen tasolla (ylempi) ja tulevaisuuden lämmöneristysmääräyksillä (alempi). Ryömintätilan lämpötila laskee, koska alapohjan läpi johtuu vähemmän lämpöä. Silloin myös ryömintätilan suhteellinen kosteus nousee alle 80 prosentista lähes 90 prosentin tasolle (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, s. 30 ja s. 32).

Ryömintätiloista on mitattu erittäin korkeita ilman mikrobipitoisuuksia. Erään tutkimuksen mukaan (Kurnitski et al. 1999a, s. 33 - 34) neljän yleisesti hyväkuntoisten ryömintätilojen sieni-itiöpitoisuudet olivat kesäaikaan 1 500...15 000 cfu/m³ ulkoilman pitoisuuksien ollessa 55...440 cfu/m³ ja talviaikaan ryömintätilan pitoisuudet olivat 3 000...6 800 cfu/m³. Sisäilmassa havaittiin kohonneita sieni-itiöiden pitoisuuksia vain osassa rakennuksista. Talviaikaan sisäilman pitoisuudet olivat enemmän koholla. Sisäilman sienilajisto oli poikkeava osassa sisäilman tuloksissa, mikä viittaa vuotoreittien olemassaoloon ryömintätilan ja sisäilman välillä.

Ryömintätilaisen alapohjan tapauksessa alapohjan tiiviyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä ryömintätilan mikrobikasvusto on yleistä. Alapohjan alapinnassa oleva mikrobikasvusto ei siten välttämättä aiheuta sisäilmaongelmia, jos rakenne on tiivis. Lisäksi ryömintätilan ja sisäilman välinen paine-ero tulisi minimoida. Vaikeinta paineeron hallinta on koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän kanssa, koska tuloilma kulkeutuu rakenteiden epätiiviyiskohtien lävitse. Kurnitski et al. (1999b, s. 50) tutkimuksessa erään ryömintätilaisen alapohjan tapauksessa ryömintätila oli sisäilmaan nähden enimmillään yli 15 Pa ylipaineinen, minkä vuoksi rakennuksen ryömintätilasta kulkeutui ilmaa sisätiloihin. Kyseisessä tapauksessa ryömintätilan ilmanvaihtuvuus riippui lähes kokonaan rakennuksen ilmanvaihdon tehosta, rakennuksen ilmanvaihdon ollessa päällä ryömintätilan ilma siirtyi alapohjan lävitse sisäilmaan.

Pirisen (2006) tutkimuksen aineistossa alapohjan vaurioita oli 97 kappaletta eli noin 23 % vaurioista. Yleisin syy (Pirinen 2006, s. 53-54) tuulettuvan alapohjan vauriossa oli tuuletuksessa, lisäksi ongelmia oli salaojituksessa, kapillaarisen vedennousun katkaissavassa kerroksessa, pintavesien ohjauksessa ja homehtuvan rakennusjättemateriaalin jäämisessä alapohjaan.

Tuulettuvien yläpohjien kosteusfysikaalinen toiminta muistuttaa ryömintätilaista alapohjaa. Yläpohjissa mikrobivaurioiden syynä ovat olleet vesikatteen rikkoutuminen ja sisäilman kosteuden tunkeutuminen eristeeseen puutteellisen höyrynsulun takia. Kuvassa 14 on esitetty sisäilman kulkeutumisesta yläpohjaan johtuvia kosteusvaurioita. Mikäli höyrynsulun liitokset ovat epätiivitä, sisäilmaa voi kulkeutua niiden kautta yläpohjaan. Läpivientien liitoksissa on usein epätiiviyiskohtia, jolloin sisäilmaa voi kulkeutua epätiiviyiskohtien kautta yläpohjaan. Lämpimän sisäilman sisältämä vesihöyry tiivistyy vedeksi kylmään vesikatteen alapintaan tai tiivistyy jo lämmöneristeen alaosissa kastellen eristettä.



Kuva 14. Yläpohjan ilmanvuotokohdista aiheutuvia kosteusvaurioita (Jaakkola 1997, s. 60)

Ruotsissa on mitattu (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, s. 25) kohonneita mikrobipitoisuuksia yläpohjissa. Runsasta itiöiden määrää on havaittu kohteissa, joissa eristepaksuus on ollut suuri. Suuri eristepaksuus laskee yläpohjan lämpötilaa ja nostaa suhteellista kosteutta, joten yläpohjaan muodostuu mikrobeille otolliset olosuhteet. Kasvaneen eristepaksuuden vuoksi yläpohjan ilmatiiviyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska ylimääräinen kosteus nostaa mikrobivaurioitumisen riskiä.

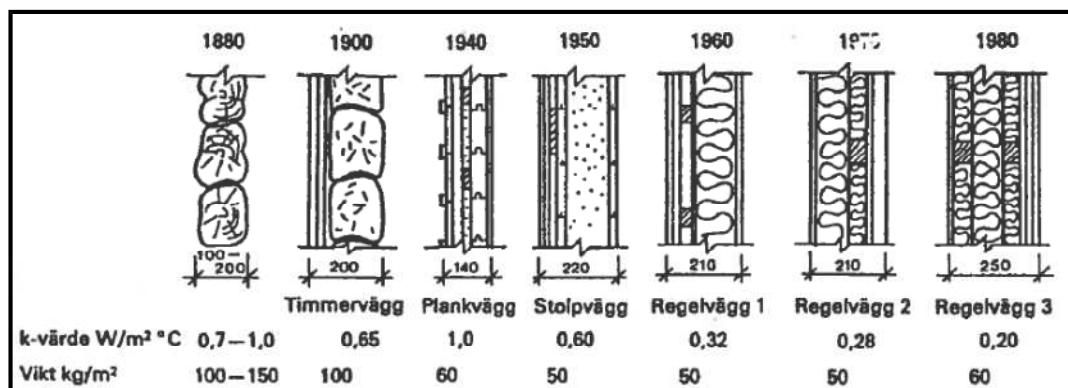
Pirisen (2006, s. 55-59) tutkimuksen aineistossa yläpohjavaurioita oli 58 kappaletta eli noin 14 % vaurioista. Suurin osa johtui vuodoista läpiviennissä tai vesikatteessa mutta myös riittämätön yläpohjan tuulettuvuus aiheutti vaurioita. Huono tuulettuvuus johtui yleensä jälkikäteen tehdyistä lisäeristyksistä, jolloin räystäään tuuletusrako oli tukittu. Yläpohjissa vauriot olivat syntyneet usein piilossa, yläpohjan höyrnsulkumuovi oli pysäyttänyt kosteuden painovoimaisen liikkeen, jolloin eristeet olivat homehtuneet ilman näkyviä merkkejä yläpohjan sisälevyihin.

2.5.3 Ulkoseinät

Ulkoseinien kosteusvaurioituminen voi johtua rakenteen läpi kulkeutuvasta kosteusvirran tiivistymistä rakenteenpintaan. Rakenteen muuttuminen entistä monikerroksisemmaksi lisää tiivistymisen riskiä, koska mahdollisia tiivistymispintoja on enemmän. Pui-

set ulkoseinärakenteet ovat muuttuneet, kuten kuvasta 15 on nähtävissä. Ulkoseinien alaosa rasittavat perustuksien kautta kapillaarisesti nouseva kosteus ja sulamisvedet.

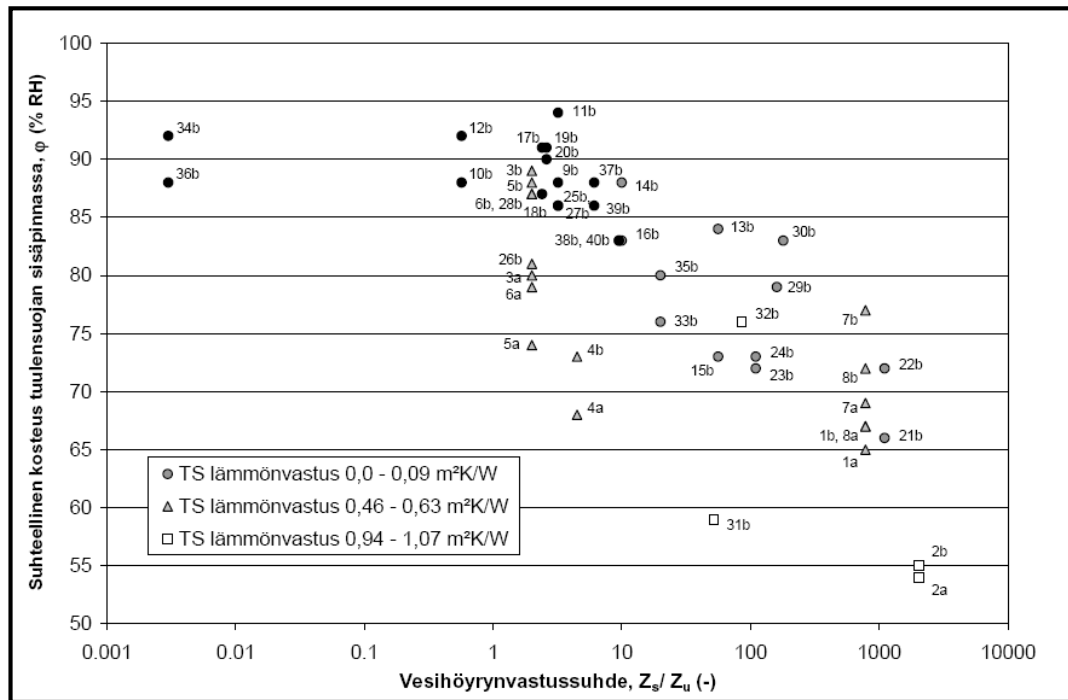
Kosteus kulkeutuu seinärakenteissa konvektiolla ja diffuusiolla. Konvektion aiheuttamia kosteusvaurioita on todettu korkean kosteuspitoisuuden rakennuksissa kuten uimahalleissa. Konvektion aiheuttamissa kosteusvauriossa paljon kosteutta sisältävä sisäilma tiivistyy kylmiin rakennepintoihin. Nykyiset rakennukset ovat aiempaa tiiviimpiä, jolloin konvektion riski on pienempi. Konvektiolta suojaudutaan ennen kaikkea pitämällä rakennuksen sisäpuoli alipaineisena. Konvektion osalta Vinhan & Käckelän (1999) tutkimus totesi, että kaikki seinärakenteet toimivat turvallisesti, jos rakennuksessa on alipaine tai rakenteen ilmansulkukerros on ehjä.



Kuva 15. Esimerkkejä puisista seinärakenteista eri vuosikymmeniltä rakennepaksuuksineen (mm), U-arvoineen ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$) ja massoineen kg/m^2 (Handboken Bygg 1982).

Kokeellisessa tutkimuksessa (Vinha et al. 2003, s. 35) puurunkoisessa omakotitalon seinärakenteessa ei havaittu konvektion aiheuttamaa kosteuden tiivistymistä, kun seinän yläosassa oli vuoden ajan keskimäärin +3,0 Pa ylipaine. Paine-ero vaihteli enimmäkseen välillä -1...+7 Pa. Seinän alaosassa ylipaine oli pienempi. Siten koerakenteen ilmansulkukerrokset olivat riittävän tiiviitä. Rakenteen sisäpinnassa oli kipsilevy ja bitumipaperi.

Diffuusion aiheuttamia kosteusvaurioita puurankaisissa seinärakenteissa on tutkittu laajasti laboratorio-olosuhteissa. Käytännössä vakavia kosteusvauriota on kuitenkin havaittu vähän kirjallisuuden perusteella. Diffuusion osalta kriittisin kohta on tuulensuojalevyn sisäpinta, johon sisältä tuleva kosteus tiivistyy tai johon muodostuu homeen kasvun kannalta sopivat olosuhteet. Vinhan & Käkelän (1999, s. 3) ulkoseinärakenteita käsittelevässä laboratoriossa tehdyissä mittauksissa havaittiin, että kaikki seinärakenteet toimivat diffuusion kannalta turvallisesti, jos sisäilman kosteuslisä on pieni ja rakenteeseen ei pääse vettä kosteusvuotojen seurauksena. Sisäilman kosteuslisä riippuu rakennuksen käyttötarkoituksesta ja vaihtelee siten suuresti. Kosteutta läpäisevä seinärakenne on kuitenkin riskialttiimpi kondensoitumisen kannalta kuin höyrynsulullinen rakenne. Matalaenergiarakenteiden toimivuus –raportin mukaan (2008, s. 49) nykyiset rakentamismääräykset eivät takaa seinärakenteiden luotettavaa kosteusteknistä toimintaa kaikissa oloissa. Sisä- ja ulkopinnan vesihöyrynvastusten suhde tulee olla suurempi kuin nykyisin voimassa oleva 5:1. Kuvassa 16 on esitetty Tampereen yliopistolle tehdyn koesarjan tuloksia rakenteen sisä- ja ulkopinnan vesihöyrynvastuksen funktiona. Koesarjan perusteella vesihöyrynvastussuhteen lisääminen parantaa seinärakenteen kosteusteknistä toimintaa kuten myös tuulensuojan hyvä lämmöneristyskyky ja sen alhainen vesihöyrynvastus.



Kuva 16. Ulkoseinärakenteiden tuulensuojan sisäpinnan suhteelliset kosteudet rakenteen sisä- ja ulkopinnan vesihöyrynvastusten funktiona. Mittaukset on tehty talviolosuhteissa sisäilman kosteudellään ollessa 4 g/m^3 . Mustat pallot kuvaavat koeseiniä, joihin tiivistyi kosteutta tuulensuojan sisäpintaan (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, s. 46).

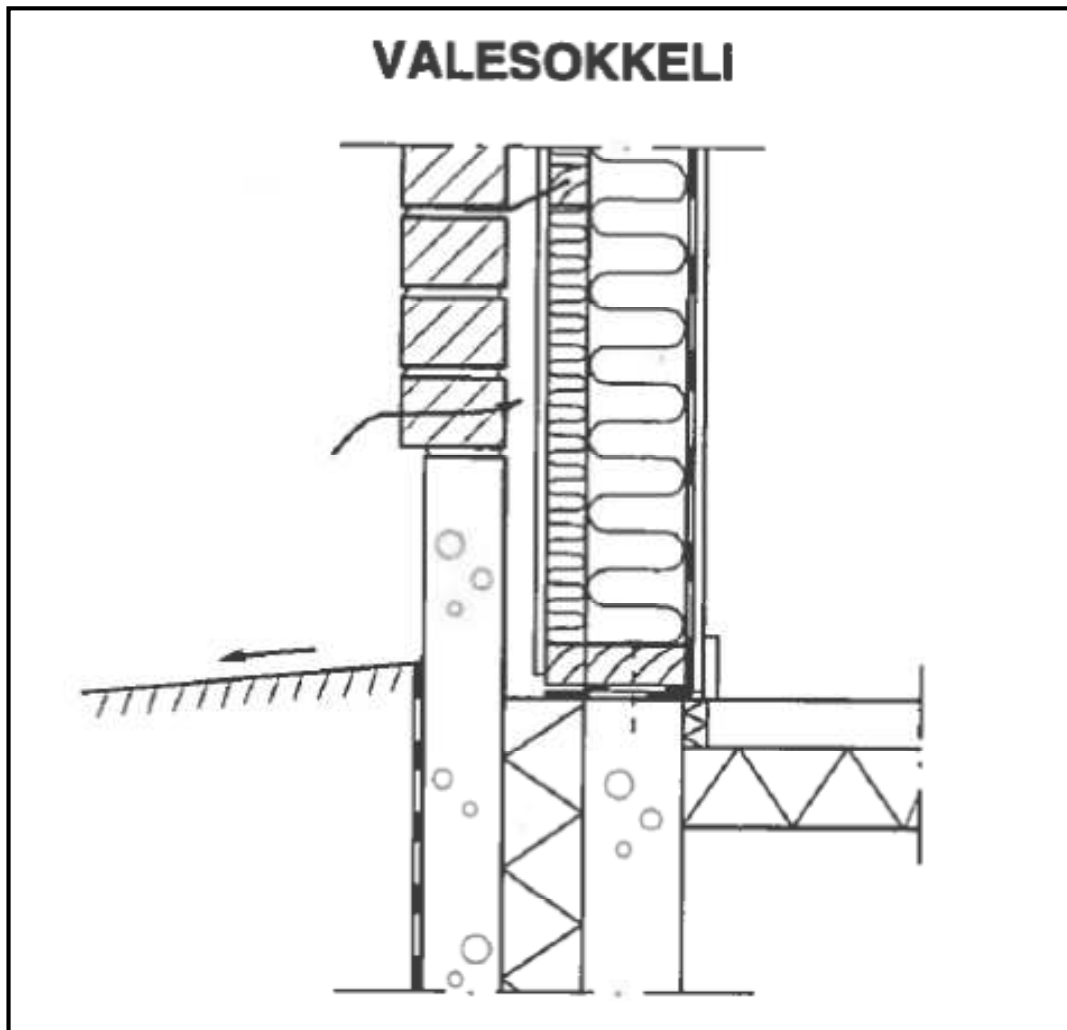
Pirisen tutkimuksessa (2006, s. 63-65) ulkoseinävaurioita oli suhteellisen vähän, 30 kappaletta eli vain noin 7 % vaurioista. Suurin osa mikrobivaurioista aiheutui erilaisista vesivuodoista muun muassa ikkunapellin väärän kaltevuuden vuoksi sadevesien vuotaminen ulkoseinärakenteeseen. Ilmavuodoista tai lämmöneristeen puutteesta johtuvia kondenssivaurioita lämmöneristeen sisäpuolisessa pinnassa oli 10 kappaletta ja sisäpuolen vesihöyryn tiivistymisestä tuulensuojalevyyn oli viisi kappaletta. Suurimpana yksittäisenä vauriotapana esiintyi ulkoportaana tai parvekkeen väärästä kallistuksesta johtuva kosteusvaurio.

Ruotsissa on löydetty 2000-luvulla kosteus- ja mikrobivaurioita puurankaisissa eristerapatuissa seinissä, joissa rappauksen pohjana olleen levytyksen ja lämmöneristeen välissä ei ole ollut ilmarakoa (Bygg & Teknik 2007). Ongelmien syynä olivat huonosti toteutetut detaljit, joiden kautta rappauksen ja levytyksen taakse vesi kulkeutui. Frame-

projektissa on kerrottu rakenteen hitaasta kuivumisesta (Mäkitalo 2011, s. 22), mikä aiheuttaa homeen kasvua rakenteen sisäosissa.

Kokemuksen mukaan enemmän ongelmia on ollut ulkoseinien alaosissa tietyissä rakeneratkaisuissa. Valesokkelia pidetään riskirakenteena. Valesokkelilla tai piilosokkelilla tarkoitetaan perustusrakennetta, jossa betoni- tai kevytsoraharkkorakenteisesta perusmuurista näkyy 200 – 500 mm rakennuksen ulkopuolella, kun rakennuksen sisäpuolella sokkelirakenne ja puurunko sijaitsevat lähellä maanpinnan tasoa. Rakenteen nimi tulee visuaalisesta harhasta, jonka perusteella seinärakenne näyttää alkavan maanpintaa ylempää, kun rakennetta katsotaan ulkoapäin, vaikka seinärakenteen alaohjauspuu sijaitsee usein lähellä maanpintaa tai jopa sitä alempana. Kuvassa 16 on esitetty tyyppi-kuva 1980-luvun valesokkelirakenteesta, jossa on tuuletusrako. Valesokkelia on käytetty 1960-luvulta 1990-luvun puoliväliin. Rakenteen etuna pidettiin aikanaan esteettömyyttä kuljettaessa rakennuksesta ulos.

Valesokkelin mikrobivaurioitumisen riskiä kasvattaa tuuletusraon puuttuminen ja ulkopuolen sade- ja pintavesien ohjautuminen betonia vasten. Lisäksi maanpinnan ollessa alaohjauspuun tasolla tai alapuolella kosteusvaurioitumisen riski kasvaa. Salaojituksen puuttuminen kasvattaa myös riskiä. Kun valesokkelin ja lämmöneristeen välinen tuuletusrako puuttuu, rakenteeseen kertyvä kosteus ei pääse poistumaan ja käynnistää mikrobikasvun. Sade- ja pintavesien ohjautuminen betonia vasten nostaa rakenteen kosteuspiitoisuutta.



Kuva 17. Tyypillinen valesokkelirakenne, jossa alaohjauspuu on maanpinnan tasossa (Ympäristö-opas 28, s. 45).

2.5.4 Märkätilat ja laitteistot

Märkätiloissa veden käytön vuoksi on muita rakennusosia suurempi riski kosteusvaurioille. Märkätilat ovat kehittyneet kosteutta kestävimiksi 1900-luvun loppupuolella erityisesti seinärakenteiden osalta. 1960- ja 70-luvuilla pintamateriaalina oli muovimatto. Laatoitus yleistyi 70- ja 80-luvuilla. (Torikka et al. 1999, s. 59) Seinien vedeneristys on ollut kuitenkin puutteellinen, rakentamismääräyksiin tuli vaatimus märkätilojen vedeneristyksestä vuonna 1999 (Ympäristöministeriö 1998, s. 15). Aikaisemmin seinissä käytettiin ns. kosteussulkua sekä seinän ja lattian rajassa pikipohjaista eristyskaistaa. Lattiarakenteissa on vedeneristystä käytetty aiemmin kuin seinärakenteissa.

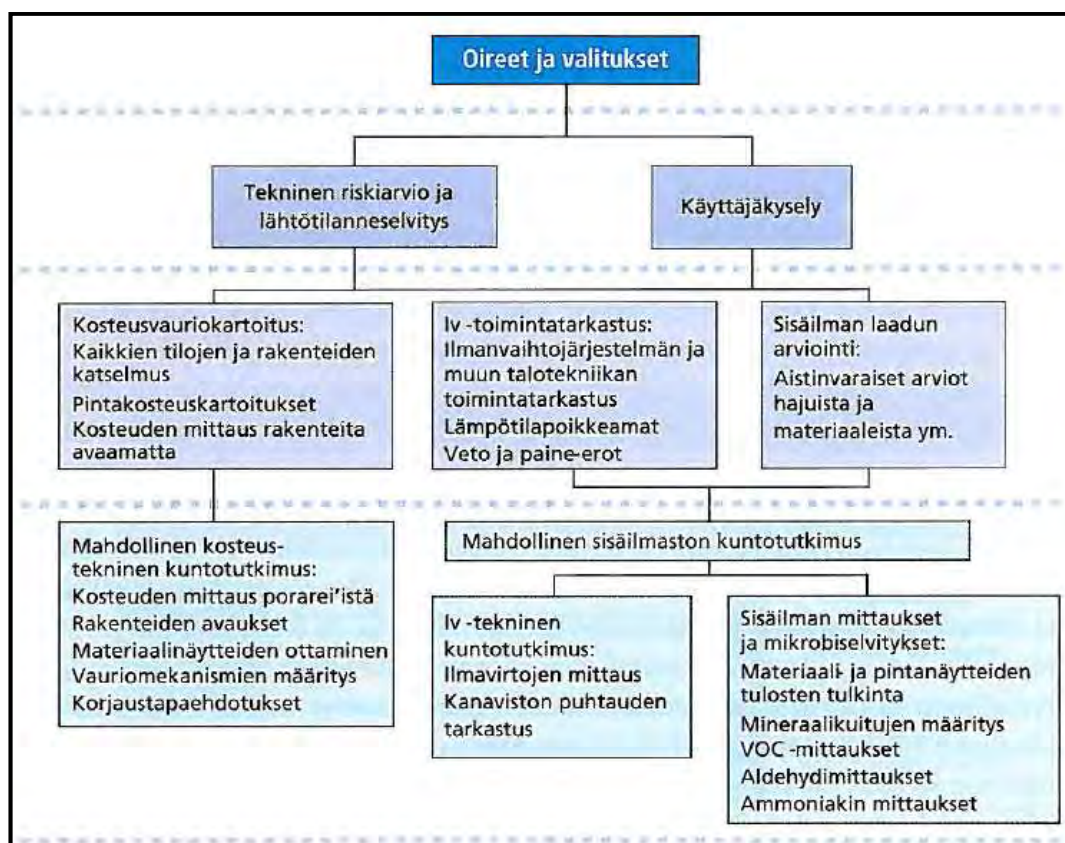
Pirisen (2006) tutkimuksen aineistossa pesuhuoneessa olleita mikrobivaurioita oli suhteellisesti eniten, 98 kappaletta eli noin 23 % vaurioista. Suurin osa vaurioista kohdistui lattian ja seinien rakenteisiin. Seinärakenteiden vaurioiden yleisin syy oli vedeneristeen puuttuminen. Lattiavaurioita aiheuttivat eniten vuotavat lattiakaivot.

Pirisen (2006) tutkimuksen aineistossa putkisto- tai laitevuotoja oli yhteensä 43 kappaletta eli noin 10 % vaurioista. Suurin osa oli aiheutunut lämmitys- ja vesijärjestelmässä tapahtuneista vuodoista. Näiden vuotojen esiintyminen lisääntyy jatkossa järjestelmien ikääntymisen vuoksi.

Vuonna 2010 vuotovahinkoja korvattiin Suomessa yhteensä yli 35 000 tapauksessa (Finanssialan keskusliitto 2011).

3 RAKENNUKSEN KUNNON ARVIOIMINEN JA MIKROBINÄYTTEET

Asikaisen (2008, s. 16) mukaan koulurakennuksen kunnan arvioiminen ja tutkiminen jakaantuu kolmeen vaiheeseen, usein tehdään vain osavaiheita. Kuvassa 18 on esitetty kaaviokuvana koulurakennuksen kunnan arvioinnin ja tutkimisen vaiheet Asikaisen (2008) pohjalta. Kustakin vaiheesta saadut tulokset toimivat lähtötietoina seuraavalle vaiheelle, joten tutkimuksen kokonaiskustannukset ja -kesto ovat useimmiten hämärän peitossa. Arviointi alkaa lähtötietojen keräämisellä, joiden pohjalta toisessa vaiheessa tehdään rakenteiden ja ilmanvaihdon tarkastukset sekä sisäilman laadun arviointi. Kolmannessa vaiheessa tehdään tarvittavat kuntotutkimukset, joita ovat rakenteisiin kohdistuva kosteustekninen kuntotutkimus sekä ilmanvaihtoon ja sisäilmaan kohdistuva sisäilmaston kuntotutkimus.



Kuva 18. Koulurakennuksen kunnan arvioinnin ja tutkimisen vaiheet Asikaisen (2008, s. 16) mukaan.

Muiden rakennusten kuin koulurakennusten kunnan arviointi ja tutkiminen tehdään vastaavasti. Kosteus- ja homevaurioituneessa rakennuksessa voidaan tehdä neljänlaisia tutkimuksia: kosteusteknisiä eli rakenteellisia, mikrobiologisia, sisäilman kunto- ja terveydellisiä tutkimuksia (Torikka et al. 1999, s. 74). Kosteustekniset tutkimukset keskittyvät rakenteelliseen toimintaan ja ovat sen vuoksi tärkein tutkimus. Kuntotutkimuksessa tehdään tarkempia mittauksia ja rakenneavauksia tarkasteltavalle rakenneosalle tai talotekniselle järjestelmälle, kun taas kuntoarvio on rakenteita rikkomattoman menetelmä. Mikrobiologisilla tutkimuksilla selvitetään korjauksen laajuutta. Sisäilmaston kuntotutkimuksella selvitetään materiaalien emissioita ja ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa. Terveydellisillä tutkimuksilla arvioidaan aiheutunutta terveyshaittaa ryhmätasolla.

3.1 KOSTEUSTEKNISET TUTKIMUKSET

3.1.1 Rakennuksen kuntoarvio

Rakennuksen kunnan arvioimisessa käytetään rakenteita rikkomattomia menetelmiä ja sen avulla muodostetaan yleiskuva rakenteiden ja laitteiden kunnosta. Kuntoarvio toimii lähtötietona arvioitaessa rakennukseen tulevaisuudessa tarvittavia korjaustoimenpiteitä. Yleisin rakennukseen tehtävä kuntoarvio on kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä, jonka suorittamisesta on annettu ohjeet sekä tilaajalle että tekijälle RT-kortistossa.

Rakennuksen kunnan arviointi alkaa lähtötietojen keräämisellä, joita ovat käyttäjien haastattelu, rakennuspiirustusten läpikäyminen sekä aistinvarainen tilojen läpikäynti. Lähtötietojen keräämisen lisäksi käytetään ilmaisuja tekninen riskiarvio ja lähtötilan selvitys (Asikainen 2008, s. 13-14). Käyttäjien ja rakennuksen kunnossapidosta vastaavien tahojen haastattelun pohjalta saadaan viitteitä mahdollisista ongelmarakenteista ja -tiloista. Suuremmissa rakennuksissa käyttäjien haastattelu tehdään laajempaan, jolloin puhutaan käyttäjäkyselystä ja sisäilmastokyselystä. Käyttäjäkysely tehdään usein kirjallisesti ja lomake on esitäytetty, jolloin kaikki käyttäjät vastaavat samoihin kysymyksiin. Käyttäjäkyselyyn voidaan liittää ajankäyttökysely, jonka avulla saadaan selville kuinka pitkään oleskellaan rakennuksen eri osissa. Rakenne ja IV-piirustusten avulla selvitetään rakennuksessa mahdollisesti olevat riskirakenteet, joita käytiin läpi edellisessä kappaleessa. Ilmanvaihdon osalta on keskityttävä teknisen tason tarkastamiseen pii-

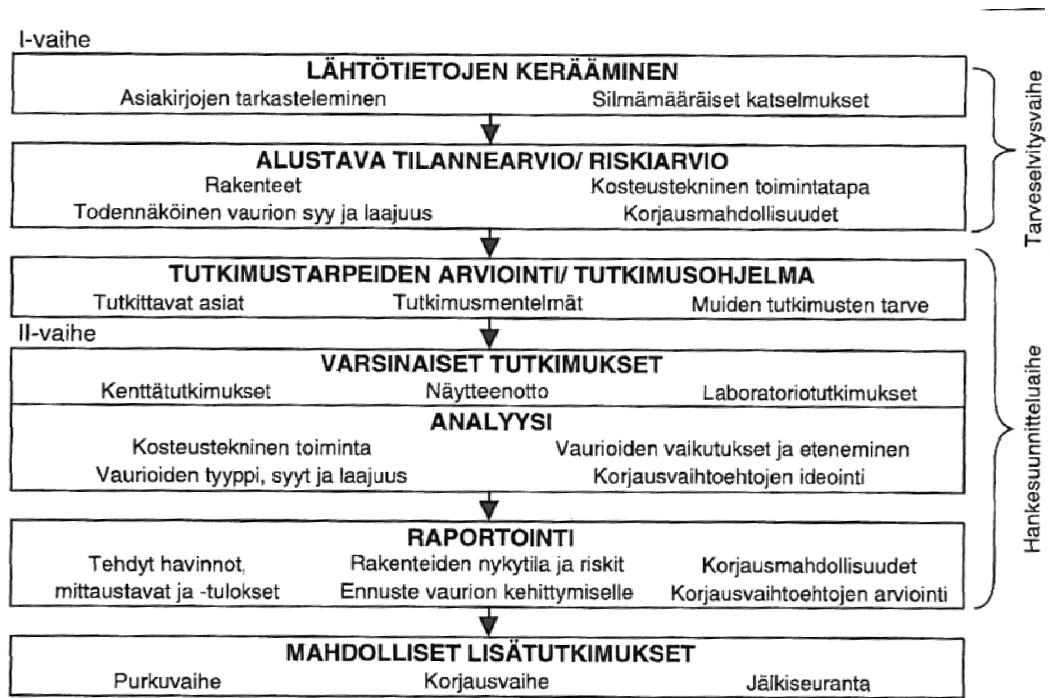
rustuksista (Asikainen 2008, s. 13). Aistinvarainen läpikäynti tarkoittaa kävelyä rakennuksen läpi, jolloin sisäilmatutkija aistii mahdollisesti epäilyttävät tilat ja rakenteet. Näin saadaan kokonaiskuva rakennuksesta ja sen kunnosta sekä hajuhaitoista. Kokemus kuntotutkimuksesta on valttia läpikäynnissä, vähäisellä kokemuksella ei osaa kiinnittää oikeisiin asioihin riittävää huomiota.

Kuntoarviossa tarkastetaan rakennuksen tärkeimmät rakenneosat ja laitteet sekä arvioidaan niiden korjaustarvetta. Tärkeimmät rakenneosat ovat ala- ja yläpohja, ulko- ja väliseinärakenteet, vesikatto, ikkunat, ovet ja perustukset. Laitteista tärkeimpiä ovat ilmanvaihto-, lämmitys, vesi-, viemäri- ja sähköjärjestelmät. Rakennuksen kunnan arvioimisessa käytetään vain rakenteita rikkomattomia menetelmiä. Rakenteita rikkomattomia menetelmiä ovat muun muassa pintakosteusmittaus, rakenteiden kosteusmittaukset porareista, ilmanvaihtojärjestelmän toimintatarkastukset sekä sisä- ja ulkoilman välinen paine-eron mittaus. Kuntoarvion lopputuloksena on selkeä raportti rakenneosista ja laitteista sekä niiden korjaustarpeesta.

Kuntoarvio on kuitenkin usein riittämätön tutkimus mikrobivaurioituneessa rakennuksessa. Pirisen (2006, s. 82-83) tutkimuksen yhtenä johtopäätöksenä oli, ettei kuntotarkastusmenetelmillä löydetä kaikkia vaurioita. Vain noin kaksi kolmasosaa omakotitalojen mikrobivaurioista löytyi aistinvaraisilla menetelmillä. Kolmannes vaurioista oli niin sanotusti piileviä vaurioita, jotka löytyivät kuntotutkimustoimenpitein. Kosteusvauriotapauksissa kuntoarviolla ei yleensä pystytä selvittämään todellista korjaustarvetta (Torikka et al. 1999, s. 68).

3.1.2 Kosteustekninen kuntotutkimus

Kosteustekninen kuntotutkimuksen tavoitteena on selvittää rakenteiden kosteustekninen toiminta, esiintyvät vauriot ja tarvittavat korjaustoimenpiteet (Torikka et al. 1999, s. 73). Kosteusteknisen kuntotutkimuksen kulku on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Kuntotutkimuksen kulku Torikka et al. (1999 s. 73) mukaan.

Lähtötietojen keräämisen ja alustavan tilannearvion pohjalta muodostetaan tutkimusohjelma, jonka jälkeen alkaa varsinainen rakennuksen kunnan tutkiminen. Rakenneavauksilla varmistetaan rakenteen toiminta laajalta alueelta ja näytteidenotolla selvitetään vaurioituminen. Kuntotutkimuksia voidaan tehdä yksittäisille rakenneosille ja taloteknisille järjestelmille tai koko rakennukselle.

Kuntotutkimuksen vaiheet Torikan et al (1999, s. 75) mukaan ovat eriteltynä:

1. rakennetyyppien selvittäminen,
2. kosteusrasitusolosuhteiden selvittäminen,
3. mahdollisten vauriotapojen selvittäminen ja niiden vaikutusten ja prioriteettien arviointi,
4. tutkimuksen suunnittelu,
5. havaintojen tekeminen kohteesta,
6. analysointi havaintoihin perustuen sekä
7. raportointi analyysiin perustuen.

Tutkimuksen yksityiskohtiin vaikuttavat rakennuksen ikä ja käyttötarkoitus. Ennen toista maailmansotaa valmistuneista rakennuksista ei useinkaan ole saatavilla tarkkoja rakennepiirustuksia, jolloin rakenteiden tutkiminen vaikeutuu. Saaren (2010) mukaan rakenneavausten määrä kasvaa tutkittaessa vanhoja rakennuksia. Lisäksi vanhempiin rakennuksiin tehdyt perusparannukset ja korjaukset on tehty ennen tarpeellista tietämystä sisäilmaongelmista. Kaikkia korjauksia ei ole myöskään dokumentoitu.

Kosteustekninen kuntotutkimuksen mittaukset jakautuvat perus- ja jatkotutkimuksiin. Perusmittauksia ovat muun muassa pintojen ja materiaalien hetkelliset kosteusmittaukset, kosteuden jatkuvat mittaukset tuuletustiloista ja paine-eromittaukset (Jokiranta et al. 1999, s. 19-21). Perustutkimusten ulkopuolella on rajattu erityisosaamista, erikoislaitteita tai suurta työpanosta vaativat tehtävät ja mittaukset. Jatkotutkimusten tarpeellisuus arvioidaan perustutkimuksen yhteydessä ja selostetaan raportissa. Jatkotutkimuksia ovat muun muassa kosteusvaurion syyn tai mikrobikasvuston laajuuden tarkempi selvittäminen.

Kuntotutkimuksen johtopäätöksenä tulee esittää vaihtoehtoiset korjaustoimenpiteet ja niiden laajuus. Vaurioiden korjaamisen lähtökohta on vaurion syyn poistaminen, jolloin vaurio ei uusiudu (Jokiranta et al. 1999, s. 36). Korjauksen onnistumisen kannalta korjaussuunnittelijoiden on ymmärrettävä vaurioiden syyt. Korjausten onnistuminen on aina todennettava mittauksin.

3.2 SISÄILMASTON KUNTOTUTKIMUS

Sisäilmaston kuntotutkimuksella etsitään sisäilmasto-ongelmien syitä, kun vakavia kosteusvaurioita ei ole havaittu tai ne eivät selitä ongelmien syitä (Asikainen 2008, s. 20). Sisäilmaston kuntotutkimuksessa paneudutaan ilmanvaihdon ja sisäilmaston ongelmiin (Torikka et al. 1999, s. 76). Esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmän ongelmat tai materiaalien emissiot ovat tyypillisiä oireita, joita selvitetään sisäilmaston kuntotutkimuksessa. Tutkimuksen onnistuminen edellyttää tekijöiltä sekä LVI-tekniistä että rakenteellista asiantuntemusta.

Sisäilmaston kuntotutkimus jakautuu perus- ja jatkotutkimuksiin (Jokiranta et al. 1999, s. 11-16). Perustutkimuksiin kuuluvat muun muassa lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden toiminnan ja kunnan selvittäminen. Jatkotutkimukset ovat erikoisosaamista ja suurta panosta vaativia, joten niitä tehdään vain tarvittaessa. Jatkotutkimuksia ovat muun muassa VOC-yhdisteiden ja muiden epäpuhtauksien mittaaminen, ilmanvaihdon tehokkuuden mittaaminen, rakennuksen tiiviyyden tutkiminen ja ulkovaipan vuotokohtien kartoittaminen savukokein ja lämpökamerakuvauksilla. Sisäilmaston kuntotutkimuksen raportissa tulee pyrkiä selkeyteen ja yksiselitteisyyteen.

3.3 MIKROBIOLOGISET TUTKIMUKSET

Mikrobikasvuston todentamiseksi yleisesti käytössä olevat mikrobiologiset tutkimusmenetelmät ovat materiaali-, pinta ja sisäilmanäyte. Terveysperusteisia raja-arvoja ei ole olemassa, mutta Asumisterveysoppaassa (2009) on annettu yleisesti käytössä olevat viitearvot.

3.3.1 Materiaali- ja pintanäyte

Materiaalinäyte on puhtailta välineillä suoraan rakennusmateriaalista otettu näytepala, joka viljellään laboratoriossa. Pintanäytteellä tarkoitetaan sisätilan tai rakenteen pinnalta pumpulipuikolla pyyhittyä näytettä, joka analysoidaan kasvatusmenetelmällä.

Materiaalinäytteen etuna on, että näyte otetaan suoraan rakenteesta. Ongelmana on edustavan näytteen saamisen hankaluus. Yleensä tarvitaan useita näytteitä, jotta voidaan olla varmoja rakenteen vaurioitumisesta. Lisäksi näytteen ottaminen vaatii vähintään pieniä porauksia. Materiaalinäytteen ongelmana on, ettei rakenteessa oleva mikrobikasvusto kaikissa tapauksissa tarkoita, että mikrobit aineenvaihduntatuotteineen kulkeutuvat sisäilmaan. Esimerkiksi maaperän kanssa kosketuksissa olevissa materiaaleissa esiintyy usein mikrobeja huomattavia määriä.

Pintanäytteessä rakenteen pinnasta otetaan näyte, joka viljellään laboratoriossa. Pinta­näytteen etuna on, ettei rakennetta tarvitse rikkoa ja että näytteen kohdalta mikrobit le­viävät helposti sisäilmaan.

Materiaalinäytteen tulosten tulkintaa varten on annettu Asumisterveysoppaassa viitear­vot. Kun näytteen sieni-itiöpitoisuus on vähintään 10^4 cfu/g, tulos viittaa vaurioon mate­riaalissa. Näytteen bakteeripitoisuuden ollessa vähintään 10^5 cfu/g tulos viittaa bakteeri­kasvuun materiaalissa. Jos aktinomykeettipitoisuus on suurempi kuin 500 cfu/g, se viit­taa aktinomykeettikasvustoon näytteessä.

Pintanäytteen tulosten tulkintaa varten on annettu Asumisterveysoppaassa viitearvot. Kun näytteen sieni-itiöpitoisuus on vähintään 1 000 cfu/cm², voidaan vauriokohdassa katsoa esiintyvän sienikasvustoa. Kuivien vauriottomien pintojen sieni-itiöpitoisuudet ovat yleensä alle 10 cfu/cm².

3.3.2 Sisäilmanäyte

Sisäilmanäytteessä ilman epäpuhtaudet kerätään elatusalustalle tai liimamaiseen materi­aaliin. Sisäilmanäytteen etuna on, että saadaan tieto sisäilmassa esiintyvistä mikrobien lukumäärästä ja lajistosta. Heikkoutena sisäilmanäytteessä on mikrobien määrän vaihte­lu ajankohdan mukaan, jolloin yksittäisen näytteen edustavuus on pieni. Asumisterve­ysopas (2009, s. 158) suosittelee vähintään 2-3 näytteen ottamista esimerkiksi viikon välein asunnoista ja Meklin et al. (2007, s. 17) vähintään 10-12 sisäilmanäytteen ottoa koko koulurakennuksesta. Korttisen tutkimuksen tulokset (2010, s. 53- 58) vahvistavat, että sisäilmanäytteen uusittavuus ja toistettavuus ovat vähäisiä.

Sisäilman mikrobien näytteenottoon suositeltavin keräin on impaktori. Yleisin keräin on Andersen –keräin, joka on 6-vaiheimpaktori, eli kuudelle erikokoisen seulan muodos­tama tiivis kokonaisuus. Andersen -keräimeen asetetaan mikrobien kasvualustoina toi­mivat elatusmaljat ja keräimen läpi imetään pumpulla tietty tilavuus sisäilmaa, jolloin sisäilman mikrobit tarrautuvat elatusmaljoille. Myös muita näytteenottomenetelmiä,

joissa kerätyn ilman tilavuus tunnetaan, voidaan käyttää. Ongelmallista sisäilmanäytteissä Salkinoja-Salosen mukaan (2002, s. 705) on, että ilman mikrobeista vain pieni osa, 0,1...10 %, kasvaa pesäkkeeksi, koska elatusmaljat sisältävät noin 97 % vettä ja kuivunut mikrobi vain 10 %, jolloin mikrobi imee liian nopeasti vettä ja sen solukalvot repeävät.

Sisäilmanäytteenotolle on annettu ohjeita Asumisterveysoppaassa. Näytteet otetaan 1..1,5 metrin korkeudelta huoneen keskeltä välttäen oleskelua keräimen välittömässä läheisyydessä (0,5 metriä). Ikkunat ja ovet pidetään suljettuina näytteenoton aikana ja ikkunatuuletusta vältetään noin kaksi tuntia ennen näytteenottoa. Näytteenotossa noudatetaan analysoinnissa käytettävän laboratorion yksityiskohtaisia ohjeita. Maljat on toimitettava laboratorioon viljelyyn ja analyysiin, joissa viljelyajan jälkeen lasketaan mikrobien määrä sekä tunnistetaan lajisto. Suositeltava näytteenottoaika on 10...15 minuuttia talviaikaan. Sulan maan aikana käytetään lyhyempää näytteenottoaikaa (7...10 minuuttia) ja otetaan myös ulkoilmanäytteet.

Kemppaisen (2010, s. 37-38) tutkimuksen mukaan ulkoilman sieni-itiöt kulkeutuivat niukasti sisäilmaan. Tutkimuksessa mitattiin kahdeksan kertaa ulko- ja modernin toimistorakennuksen sisäilman mikrobipitoisuus Andersen-keräimellä. Ulkoilmassa sieni-itiöpitoisuus vaihteli välillä 39...385 cfu/m³ ja sisäilmassa välillä 0...28 cfu/m³. Sisäilman pitoisuudet olivat yhtä näytettä lukuun ottamatta alle 12 cfu/m³. Toimistorakennuksen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä oli varustettu suodattimilla. Taulukossa 7 on esitetty sieni- ja bakteeripitoisuuksien viite-arvoja erityyppisille rakennuksille. Taulukossa oleva moderni toimistorakennus tarkoittaa betonirunkoista rakennusta, jossa on koneellinen tulo ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Tälle rakennustyypille tarkoitettuja viitearvoja ei voi soveltaa muille toimistorakennuksille.

Taulukko 7. Sisäilman sieni-itiö- ja bakteeripitoisuuksien viitearvoja moderneille toimistorakennuksille ja asunnoille. (Työterveyslaitos 2011 ja Asumisterveysopas 2009)

	Rakennustyyppi	Ilmanäytepitoisuuden viitearvo (cfu/m ³)	Viitearvon tulkinta	Lisätutkimustarve
Homesienet				
	Moderni toimisto (betonirunko, koneellinen tulo- ja poistoiv)	15	Viitearvon ylittävä pitoisuus on tavanomaista korkeampi. Voi viitata sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen.	Arvioidaan muiden osa-alueiden perusteella.
		50	Viitearvon ylittävä pitoisuus on selvästi kohonnut. Viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen (mikrobikasvuston esiintyminen rakenteissa todennäköistä).	
	Asunto	100	Viitearvon ylittävä pitoisuus on tavanomaista korkeampi. Voi viitata sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen. Jos näytteen mikrobisuvusto on tavanomaisesta poikkeava, mikrobikasvun esiintyminen on todennäköistä.	Arvioidaan muiden osa-alueiden perusteella.
		500	Viitearvon ylittävä pitoisuus on selvästi kohonnut. Viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen (mikrobikasvuston esiintyminen rakenteissa todennäköistä).	
Bakteerit				
	Moderni toimisto (betonirunko, koneellinen tulo- ja poistoiv)	300	Viitearvon ylittävä pitoisuus on hieman kohonnut.	Arvioidaan muiden osa-alueiden perusteella.
		600	Viitearvon ylittävä pitoisuus on selvästi kohonnut. Voi mikrobivaurion lisäksi viitata myös riittämättömään ilmanvaihtoon.	Lisätutkimukset ovat yleensä tarpeellisia.
	Asunto	4 500	Viitearvon ylittävä pitoisuus on selvästi kohonnut. Voi mikrobivaurion lisäksi viitata myös riittämättömään ilmanvaihtoon.	Lisätutkimukset ovat yleensä tarpeellisia.
Aktinobakteerit				
	Moderni toimisto (betonirunko, koneellinen tulo- ja poistoiv)	5	Viitearvon ylittävä pitoisuus on kohonnut ja viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen.	Lisätutkimukset ovat yleensä tarpeellisia.
	Asunto	10	Viitearvon ylittävä pitoisuus on kohonnut ja viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen.	Lisätutkimukset ovat yleensä tarpeellisia.

Meklin et al. (2007) suosittelee koulurakennusten sisäilmanäytteille kolmivaiheista tulkintaa, jossa talviaikaisten 10...12 näytteen sieni-itiöiden pitoisuudet asetetaan suuruus-

järjestykseen. Ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan suurimpia sieni-itiöiden pitoisuuksia. Mikäli usean näytteen pitoisuus on suuri, 50...200 cfu/m³, löydös viittaa rakennuksen homevaurioon. Yksittäisissä näytteissä voi olla kuitenkin suuria pitoisuuksia ilman, että rakennuksessa on homevaurio, jonka vuoksi suuria pitoisuuksia on oltava useampi kuin yksi homevaurioituneessa rakennuksessa.

Toisessa vaiheessa tarkastellaan sieni-itiöiden pitoisuuksien mediaania eli arvoa, jonka alle jää puolet tuloksista. Vauriottomissa rakennuksissa mediaani on alle 12 cfu/m³. Homevaurioituneissa rakennuksissa mediaani on yli 20 cfu/m³. Kolmannessa vaiheessa tarkastellaan pienimpiä sieni-itiöiden pitoisuuksia. Vauriottomassa rakennuksessa neljänneksessä näytteistä pitoisuudet ovat alle määritysrajan. Homevaurioituneessa rakennuksessa nollopitoisuuksia on alle neljännes tai niitä ei esiinny lainkaan. Jos yksikin näistä kolmesta kriteeristä täyttyy, tulos viittaa homevaurioon. Tulos on sitä luotettavampi, mitä useampi kriteeri täyttyy. Taulukossa 8 on esitetty yhteenveto talviaikaisten ilmanäytteiden tulosten tulkintakriteereistä.

Taulukko 8. Talviaikaisten ilmanäytteiden tulosten tulkintakriteerit koulurakennuksissa (Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot, 2007)

	Vauriottoman rakennuksen näytteiden pitoisuudet	Homevaurioon viittaavat näytteiden pitoisuudet
Suurimmat pitoisuudet (50...200 cfu/m³)	Enintään muutama	Useita
Mediaani	< 12 cfu/m ³	> 20 cfu/m ³
"Nolla"-tulosten lukumäärä	useita (noin 25 %)	harvoja

4 RAKENNUKSEN ILMANPITÄVYYDEN JA PAINEROJEN VAIKUTUS MIKROBIEN KULKEUTUMISEEN

Mikrobikasvusto aiheutuu rakenteen liiallisesta kosteudesta. Rakenteissa oleva mikrobikasvusto ei aiheuta ihmisille oireita, jos mikrobit aineenvaihduntatuotteineen eivät kulkeudu sisäilmaan ilmavirtojen mukana. Mikrobikasvun lisäksi tarvitaan sekä rakenteen yli olevan paine-eron että rakenteen tiiviyden tarkastelua. Tässä kappaleessa käsitellään rakennuksen ilmanpitävyyden ja paine-erojen vaikutusta mikrobien kulkeutumiseen.

4.1 RAKENNUKSEN PAINEROJEN AIHEUTTAJAT

Rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttavan ilmanpaine-eron aiheuttaa tuuli, lämpötilaero rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä eli niin sanottu savupiippuvaikutus sekä ilmanvaihto.

Ulkoilman ja rakennuksen sisäilman välisen ilmanpaine-eron myötä rakenteiden epäpuhtaudet voivat kulkeutua ilman mukana sisäilmaan. Siten vaipan yli oleva paine-ero vaikuttaa myös rakenteissa olevien mikrobikasvuston aineenvaihduntatuotteiden liikkeisiin. Ulko- ja sisäilman välinen paine-ero aiheutuu kolmesta tekijästä. Sisä- ja ulkoilman lämpötila-erot aiheuttavat rakennuksen vaipan ylitse termisen paine-eron, jota kutsutaan usein savupiippuvaikutukseksi. Toinen tekijä on tuuli. Nykyaikaisessa rakennuksessa tärkein tekijä on ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero sisä- ja ulkoilman välille.

4.1.1 Terminen paine-ero eli savupiippuvaikutus

Savupiippuvaikutus syntyy, kun ilman lämpötilan erot aiheuttavat ilman tiheyden erotuksen, joka on suoraan paine-eron määritelmä. Savupiippuvaikutus eli terminen paine-ero Δp (Pa) saadaan kaavasta (9).

$$\Delta p = 273 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \rho_0 \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s} \right) \quad (9)$$

jossa g on maan vetovoiman kiihtyvyys ($=9,81 \text{ m/s}^2$)

Δh etäisyys paineen neutraalitasoon, m

ρ_0 ilman tiheys ($t=0$ °C), kg/m³,

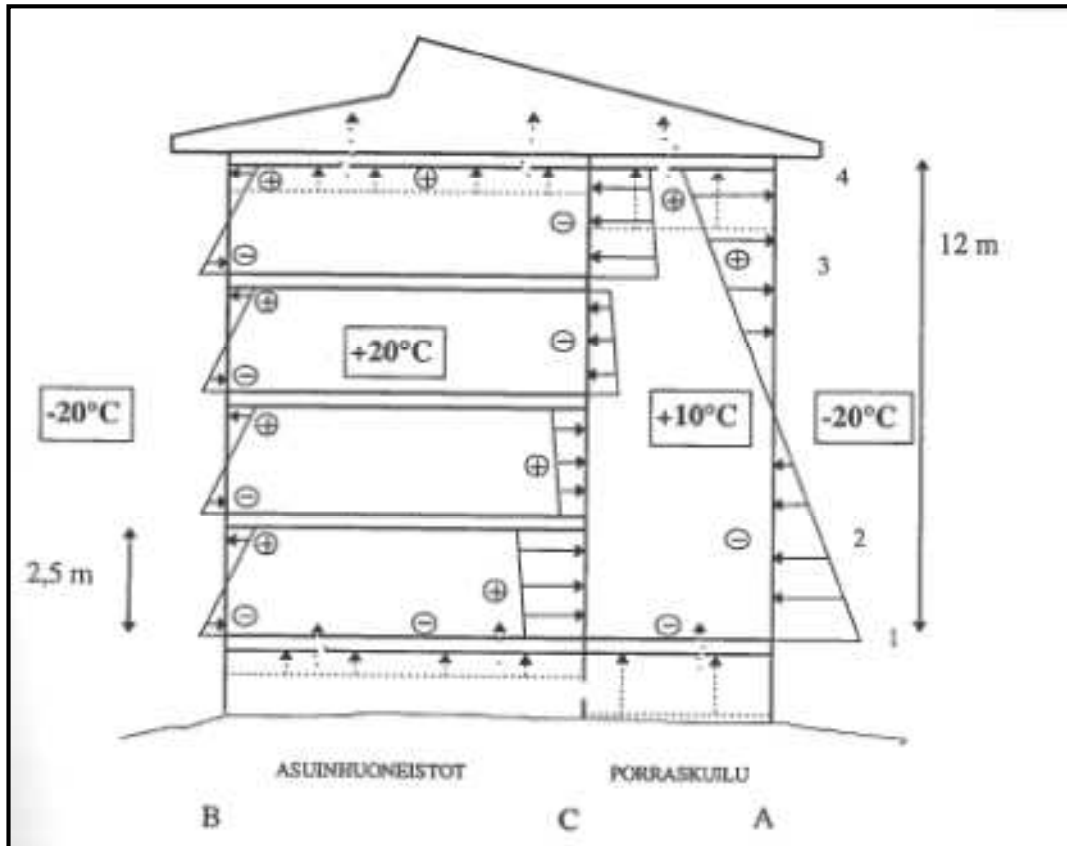
T lämpötila, u ulkona ja s sisällä, K

Kaavan (9) mukaan termiseen paine-eroon vaikuttaa ratkaisevasti rakennuksen korkeus. Mitä korkeampi rakennus, sitä vaikeampi on paine-olosuhteita hallita. Taulukossa 9 on esitetty kaavan (9) mukaan lasketun termisen paine-eron suuruus ulkolämpötilan mukaan, kun sisälämpötila on 20 °C.

Taulukko 9. Terminen paine-ero eri ulkolämpötiloilla metriä kohti, kun sisälämpötila on 20 °C.

Ulkolämpötila, °C	Terminen paine-ero, Pa/m
20	0,00
10	0,42
0	0,86
-10	1,35
-20	1,87
-30	2,43

Kuvassa 20 on esitetty termisestä paine-erosta syntyvä paine-kuvio monikerroksisessa ja tasatiiviissä rakennuksessa. Mitä korkeampi rakennus, sitä suurempi on terminen paine-ero. Rakennukseen alaosaan syntyy alipaine, eli ulkoilma pyrkii kohti sisäilmaa.



Kuva 20. Termiset paine-erot tasatiiviissä rakennuksessa (Jaakkola 1997, s. 36)

4.1.2 Tuulen aiheuttama paine-ero

Tuuli aiheuttaa tuulenpuoleiselle sivulla rakennuksen sisälle alipainetta ja vastakkaiselle seinällä rakennuksen sisälle ylipainetta, jolloin tuulenpuoleisella sivulla ilmaa virtaa vuotokohtien kautta rakennuksen sisään ja vastakkaiselle sivulla ilmaa virtaa vuotokohtien kautta ulos rakennuksesta. Tuulen aiheuttama paine voidaan laskea kaavasta 10 (Leivo 2003).

$$\Delta p = C_p \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (10)$$

jossa Δp on paine-ero, Pa

C_p tuulenpainekerroin, ulkopuolella normaalisti -0,5...-0,8 ja vastakkaisella puolella 0,3...0,4 (Leivo 2003).

ρ ilman tiheys, kg/m³

v paikallinen tuulen nopeus, m/s.

Tuulenpainekertoimen arvoja voidaan tutkia tuulitunnelikokeissa. Tuulenpainekertoimelle arvoja on taulukossa 10 (Leivo 2003).

Taulukko 10. Tuulenpainekertoimen C_p arvoja (Leivo 2003).

Seinä	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °
Seinä 1	+0,4	+0,1
Seinä 2	-0,2	-0,35
Seinä 3	-0,3	+0,1
Seinä 4	-0,2	-0,35
Katto, kaltevuus alle 10°		
	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °
Etiosa	-0,6	-0,5
Takaosa	-0,6	-0,5
Katto, kaltevuus 10...30°		
	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °
Etiosa	-0,35	-0,45
Takaosa	-0,35	-0,45
Katto, kaltevuus yli 30°		
	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °
Etiosa	+0,3	-0,5
Takaosa	-0,5	-0,5

The diagram shows a square building with four sides labeled 1, 2, 3, and 4. Side 1 is the front side, side 2 is the top, side 3 is the left side, and side 4 is the right side. An arrow labeled 'Tuulensuunta' (wind direction) points towards the building at an angle θ relative to the vertical line passing through the center of the building.

Rakennuksen ulkoseinän yli vallitsevat suurimmat paine-erot kohtisuoraan seinään puhaltaavan tuulen nopeudella 5 m/s kaavan 10 ja taulukon 10 mukaan ovat tuulenpuolella -5 Pa ja suojanpuolella +3 Pa. Tuulen nopeudella 15 m/s paine-ero on tuulenpuolella -54 Pa ja suojanpuolella +27 Pa.

4.1.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttama paine-ero riippuu järjestelmästä. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä ei lisää merkittävästi rakennuksen paine-eroja. Järjestelmässä sisäilma vaihtuu venttiileillä varustettujen ilmanvaihtoputkien kautta riippuen tuulesta ja lämpötilaeroista sisä- ja ulkoilman välillä. Siten painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ilman vaihtuvuus on suurempi talvella ja korkeissa tiloissa. Kesäaikaan painovoimaisen järjestelmän ilman vaihtuvuus vähenee. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä oli ainoa ilmanvaihtojärjestelmä aina 1950-luvulle saakka ja sitä on käytetty pientaloissa vielä 1990-luvullakin.

Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä aiheuttaa rakennuksen sisä- ja ulkoilman välille paine-eron. Koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä rakennuksen sisäilmaa vaihdetaan kanavissa olevien tuulettimien avulla. Koneellisissa järjestelmillä varustetuissa rakennuksissa tuulen aiheuttaman ja termisen paine-eron vaikutus on pienempi, mutta korkeissa rakennuksissa tekijöiden vaikutus kasvaa ja on otettava huomioon järjestelmän suunnittelussa.

Koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä on kaksi päätyyppiä, koneellinen poisto- sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Järjestelmät eroavat tuloilman hallinnassa, koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä tuloilma ei hallita kojein, vaan poistamalla ilmaa rakennuksesta luodaan alipaine, joka toimii vetävänä voimana tuloilmalle. Koneellisessa poistoilmajärjestelmässä tuloilma otetaan rakenteen epätiiviysskohtien kautta. Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän käyttö alkoi vuonna 1953 rakennushallituksen hyväksyessä markkinoille ensimmäisen tuotteen (Kerrostalot 1880-2000). Alkuun koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ei ollut lainkaan tuloilmanventtiilejä; korvausilman luotettiin tulevan hatarien rakenteiden lävitse. Vuonna 1988 voimaan tulleet rakentamismääräykset edellyttivät tuloilmareittien suunnittelua. Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän käyttö loppui lähes kokonaan vuonna 2003 uusiutuneiden rakentamismääräysten myötä.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän etuna on mahdollisuus poistoilmassa olevan lämpöenergian hyödyntämiseen tuloilman lämmittämisessä. Ensimmäisiä koneellisia tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmiä kokeiltiin 1970- ja 80-luvuilla, mutta järjestelmät yleistyivät vasta 1990-luvulla. Pakolliseksi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä tuli vuonna 2003 uusiutuneiden rakentamismääräysten myötä.

4.2 RAKENNUKSEN PAINE-EROT

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (Ympäristöministeriö, 2010) mukaan rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta välttyään kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei määräyskokoelman mukaan saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pa.

Rakennuksen ollessa ylipaineinen kostea sisäilma pyrkii liikkumaan rakenteiden läpi kohti ulkoilmaa. Mikäli rakenteet ovat tiiviitä, ei ilma pääse rakenteen läpi. Raoista ja epätiiviestä kohdista ilma kuitenkin liikkuu rakenteen läpi ja sisäilman sisältämä kosteus tiivistyy rakenteen ulkokerroksissa oleviin kylmiin pintoihin. Tämän vuoksi rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmällä pyritään luomaan alipaine, jolloin vaarallista kosteuskonvektiota ei synny.

Suomalaiset rakennukset ovat yleensä hiukan alipaineisia. Vinhan et al. (2005, s. 56) tutkimuksen mukaan noin sadan uuden suomalaisen puurunkoisen pientalon paine-erot olivat enimmäkseen niukasti alipaineisia, keskiarvo oli -2 Pa. Paine-erot vaihtelivat välillä -12...+2 Pa. Paine-erot mitattiin kesäaikana, vähintään kahdelta fasadilta ja useammasta kerroksesta. Mitatuista kohteista vain kolme oli ylipaineisia.

Seppäsen (2010, s.23) tutkimuksessa 176 erityyppisessä rakennuksessa tehtyjen paine-eromittauksien keskimääräinen paine-ero oli alipaineinen -7 Pa. Yli kolmessakymmenessä prosentissa rakennuksista alipaine oli yli -10 Pa ja noin kymmenessä prosentissa kohteista alipaine oli yli -20 Pa. Enimmillään alipaine vaipan ylitse oli -80 Pa. Ylipainetta esiintyi rakennuksissa niukasti.

Mikäli rakennus on runsaasti alipaineinen, rakenteissa olevat epäpuhtauden kulkeutuvat ilmavirtojen mukana sisäilmaan. Eräissä koulurakennuksissa käyttäjät ovat alkaneet oireilla, kun rakennukseen on asennettu koneellinen ilmanvaihto, joka on lisännyt rakenteiden kautta tulevan vuotoilman määrää (Peltola 2008, s. 54). Siten painesuhteiltaan optimaalinen rakennus on, kun alipainetta on vain niukasti.

4.3 RAKENTEEN ILMANPITÄVYYS

Rakenteen ilmanpitävyys riippuu ensisijaisesti rakenteessa käytetyistä materiaaleista. Ilman tilavuusvirta homogeenisen aineen läpi saadaan kaavalla (11).

$$Q = \frac{k \cdot A}{\eta} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (11)$$

jossa	k	materiaalin läpäisevyys, m ²
	A	aineen pinta-ala, m ²
	η	ilman dynaaminen viskositeetti, Ns/m ²
	Δp	paine-ero materiaalin ylitse, Pa
	Δx	materiaalin paksuus, m
	Q	tilavuusvirta, m ³ /s

Hyvä ilmanpitävyys saavutetaan massiivissa ja puurankaisissa rakenteissa toisistaan poikkeavilla tavoilla. Massiivisten rakenteiden ilmanpitävyys muodostuu koko rakenteesta, kun puurankaisten rakenteiden ilmanpitävyys muodostuu pääasiassa kalvomaisesta ilmasulkukerroksesta, joka toimii yleensä myös höyrynsulkukerroksena. Molemmilla rakenteilla on mahdollista päästä riittävään tiivyyteen. Koko rakennuksen ilmanpitävyyteen vaikuttaa yksittäisten rakenneosien lisäksi rakenneosien liitokset, joiden merkitys on rakennuksen lopullisessa ilmanpitävyydessä suuri. Välipohjan liitos ulkoseinään on todettu hyvin vaikeaksi toteuttaa ilmatiiviisti (Jaakkola 1997, s. 63). Hyvään ilmanpitävyyteen päästäkseen rakenneosien liitosten räjäytyskuvat ovatkin tarpeellisia, jotta jo suunnittelupöydällä mietitään rakenteen toteutettavuutta.

Rakenteen ilmanpitävyyteen vaikuttaa materiaaliominaisuuksien ja suunnitteluratkaisun lisäksi rakennustyön laatu. Hyvän ilmanpitävyyden kannalta työmaan ohjeistaminen ja työn laadun valvominen on ratkaisevaa. Rakenteen ilmasulkukerroksessa olevan reiän tai rakenneosien liitokseen jäävän raon kautta voi kulkeutua jopa kymmeniä kertoja enemmän ilmaa kuin suunnitellun rakenteen läpi. Siten jokaisella rakennedetaljilla on merkitystä rakennuksen ilmanpitävyyteen. Hyvään ilmanpitävyyden kannalta myös LVIS-laitteiden läpivientien tiivistäminen on suunniteltava.

Esimerkiksi mineraalivillalevyjen välisen raon kautta ilma kulkeutuu rakenteen läpi helpommin kuin villalevyn keskikohdan lävitse. Kapean raon kautta kulkeutuva lami-naarisen virtauksen tilavuusvirta saadaan kaavalla (12).

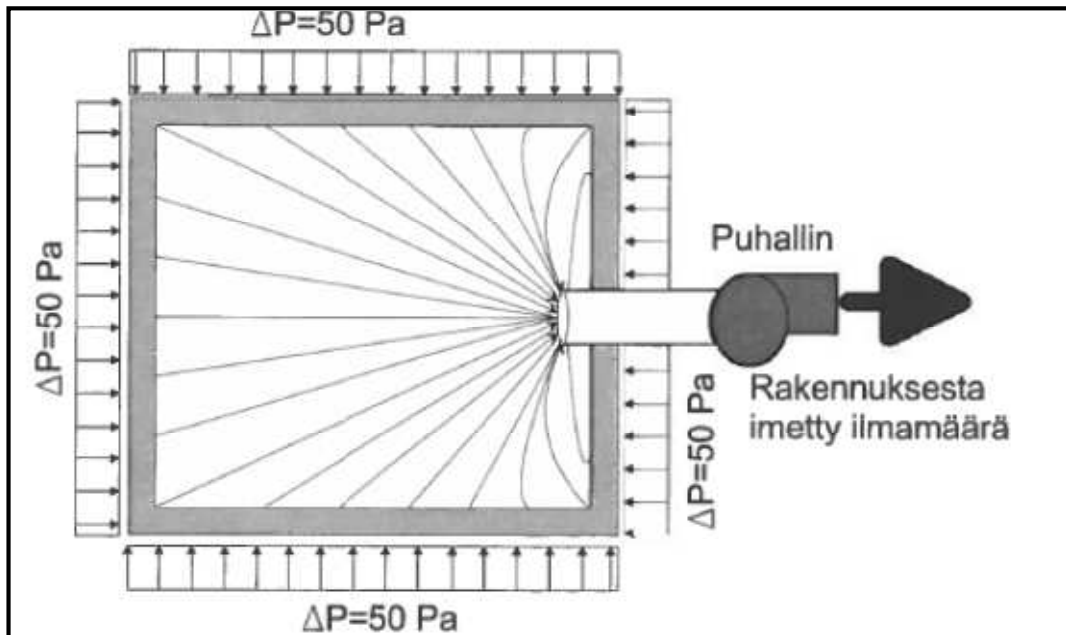
$$Q = \frac{b^2 \cdot A_r}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (12)$$

jossa b on raon korkeus, m
 A_r on raon poikkipinta-ala, m²
 η ilman dynaaminen viskositeetti
 Δp paine-ero rakenteen yli, Pa
 Δx virtausmatka, m

Rakennustyön laadun eli yksittäisen raon vaikutus rakenteen tai rakennuksen ilmanpitä-vyyteen on niin suuri, ettei ilmanpitävyyttä pystytä luotettavasti arvioimaan laskennalli-esti. Ilmanpitävyyssmittausten saatujen tulosten mukaan suurimmat vuotoilman tila-vuusvirrat ovat yleensä rakenneosien liitoksissa.

4.3.1 Rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden mittaus

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä kuvataan standardissa SFS-EN 13829. Suomessa käytetään yleisesti menetelmää B, jossa raken-nuksen ilmanvaihtoaukot, tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti, joko täytettävillä kumi-palloilla tai vähintään teippaamalla. Rakennuksen tiiviys mitataan Suomessa alipaine-menetelmällä, jossa tutkittavaan osaan aiheutetaan ulkoilmaan nähden 50 Pa:n alipaine puhaltimella. Puhallin asennetaan ulko-oven tai ikkunan paikalle. Vuotokäyrä ajetaan 5...10 Pa:n välein 0...55 Pa:n välillä. Alipaineen ylläpitämiseksi tarvittava ilmamäärä mitataan. Vuotokäyrä piirretään $\Delta p, Q$ -koordinaatistoon. Ilmamäärä luetaan käyrältä 50 Pa kohdalla. Kuvassa 21 on esitetty painekokeen suoritus.



Kuva 21. Rakennuksen painekoe (Leivo 2003, s. 12)

Tämä ilmamäärä voidaan jakaa joko tutkittavan tilan ilmatilavuudella, jolloin saadaan ilmanvuotoluvun n_{50} yksiköksi 1/h, tai ulkovaipan pinta-alalla, jolloin saadaan yksiköksi $l/s, m^2$. Ensimmäistä yksikkö on käytössä Suomessa ja jälkimmäistä on esitetty uudeksi yksiköksi vuoden 2012 rakentamismääräysten yhteydessä. Ruotsissa tiiviysmittaus tehdään sekä yli- ja alipaineessa. Ruotsissa ilmapuotoluku ei saa olla suurempi kuin $0,8 l/s, m^2$ asunnoissa ja $1,6 l/s, m^2$ muissa tiloissa. $0,8 l/s, m^2$ vastaa $120 m^2$ omakotitalossa ilmapuotolukua $3,4 l/h$.

4.3.2 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on ainetta rikkoman menetelmä, jolla voidaan arvioida rakenteiden ja rakennusmateriaalien toimivuutta, laatua ja kuntoa. Kylmänä ajanjaksona tehtävässä mittauksessa rakennuksen ulkovaippaa kuvataan sisäpuolelta infrapunakameralla ensin ilman alipainetta ja tämän jälkeen tehdään uusi kuvaus rakennus lievästi alipaineistettuna. Ilmapuotokohdat tulevat esille rakennuksen alipaineistuksen myötä laajenevina kylmempinä alueina. (Jokiranta et al. 1999, s. 59) Muut näkyviin tulevat seikat ovat lämmöneristeiden kunto ja tasaisuus sekä kylmäsillat.

Lämpökuvaus suorittamiseen on annettu ohjeita RT-kortissa 14-10850 ja standardissa SFS 5132. Lisäksi on annettu ohjeita tulosten tulkintaan (Paloniitty & Kauppinen 2006). Lämpökuvaus vaatii aina tuekseen lämpötila-, paine- ja kosteusmittauksia (Paloniitty 2005, s. 179). Ulkoilman lämpötila ei saa poiketa ± 10 °C vähintään 12 tunnin ajan ennen kuvauksen suorittamista. Ulko- ja sisäilman välinen lämpötilaero tulee olla vähintään 15 °C mutta se ei saa alittaa lukuarvoa $3/U$, jossa U on rakennusosan teoreettinen lämmönläpäisykerroin. Rakenneseosa ei saa olla alttiina auringonsäteilylle 12 tuntia ennen lämpökuvauksia mutta kuvaus voidaan suorittaa ja säteilyn vaikutus on otettava huomioon tulkinnassa. Lämpökuvauksen aikana ulkolämpötila ei saa poiketa ± 5 °C eikä sisälämpötila ± 2 °C. Alipaineen on oltava välillä 0..15 Pa.

4.4 RAKENTEEN ILMANPITÄVYYDEN MERKITYS

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyys korreloi rakennuksen vaipan läpi hallitsemattomasti kulkevan vuotoilman määrän kanssa. Vuotoilman suunta riippuu paine-erosta ja voi vaihdella vuodenaikojen mukaan. Vuotoilman mukana kulkeutuvat myös rakenteissa olevat epäpuhtaudet kuten mikrobit ja radon. Vuotoilma kuljettaa myös kosteutta ja energiaa. Rakennuksen vaipan ilmanpitävyys määräytyy ilmansulkukerroksen tiiveyden lisäksi rakennustyön laadusta; huonosti toteutetuilla detaljeilla voidaan pilata sinällään hyvä suunnittelu. Useimmissa rakenteissa ilmansulkukerros toimii samalla höyrynsulkuna.

Vaipan ilmanpitävyyttä on pyritty viime vuosina parantamaan uudisrakentamisessa rakennusten energiankulutuksen vähentämisen myötä. Ilmanpitävyyden parantaminen onkin tekijä, jolla on lähes yksinomaan positiivisia vaikutuksia (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, s. 71):

1. rakennuksen energiankulutus vähenee,
2. kosteuden virtaus vaipparakenteisiin vähenee,
3. erilaisten epäpuhtauksien virtaus sisäilmaan vähenee,
4. vaipparakenteiden sisäpinnat eivät jäähydy ulkoa tulevien ilmavirtausten seurauksena ja

5. ilmanvaihdon säätäminen ja tavoiteltujen painesuhteiden ylläpitäminen helpottuu.

Vaipan ilmanpitävyydelle ei ole Suomen rakentamismääräyskokoelmassa annettu määräystä, kokoelman osassa D3 kohdassa 3.3.3 ainoastaan suositellaan ilmanvuotoluvun n_{50} enimmäisarvoksi 1 1/h (SRMK D3). Rakennuksen lämpöhäviöitä laskettaessa ilmanvuotolukuna n_{50} käytetään 4,0 1/h, jos rakennuksen ilmatiiuuyttä ei erikseen mitata.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 hyvänä ilmanvuotolukuna pidetään pientaloille 1...3, keskimääräisenä 3...5 ja heikkona 5...10. Vastaavat arvot ovat kerrostaloille ja toimistoille 0,5...1,5 ja 1,5...3,0 sekä 3...7. Rakennuksen energiankulutusta laskettaessa vuotoilmavirta lasketaan jakamalla ilmavuotoluku n_{50} luvulla 25, mikä on vain karkea arvio todellisesta ilmavuotovirrasta.

Kauppinen et al (2009, s. 131-136) kritisoivat ilmavuotoluvun n_{50} mittaamista, koska sitä olennaisempaa on ilmavuotojen osuuden määrittäminen normaaleissa käyttöolosuhteissa, 0...15 Pa. Ilmavuotokäyrän (kaava (13)) avulla on mahdollista määrittää ilmavuoto normaaleissa käyttöolosuhteissa mutta se sisältää epävarmuustekijöitä.

Karkeasti laskemalla ilmanvuotoluvun yhden yksikön muutos vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen 5 %. Mitä pienempi ilmanvuotoluku on, sitä vähemmän muutos vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen.

Rakennuksen vuotoilman virtaus voidaan esittää yleisellä virtauksen vuotoyhtälöllä kaavan (13) mukaisesti.

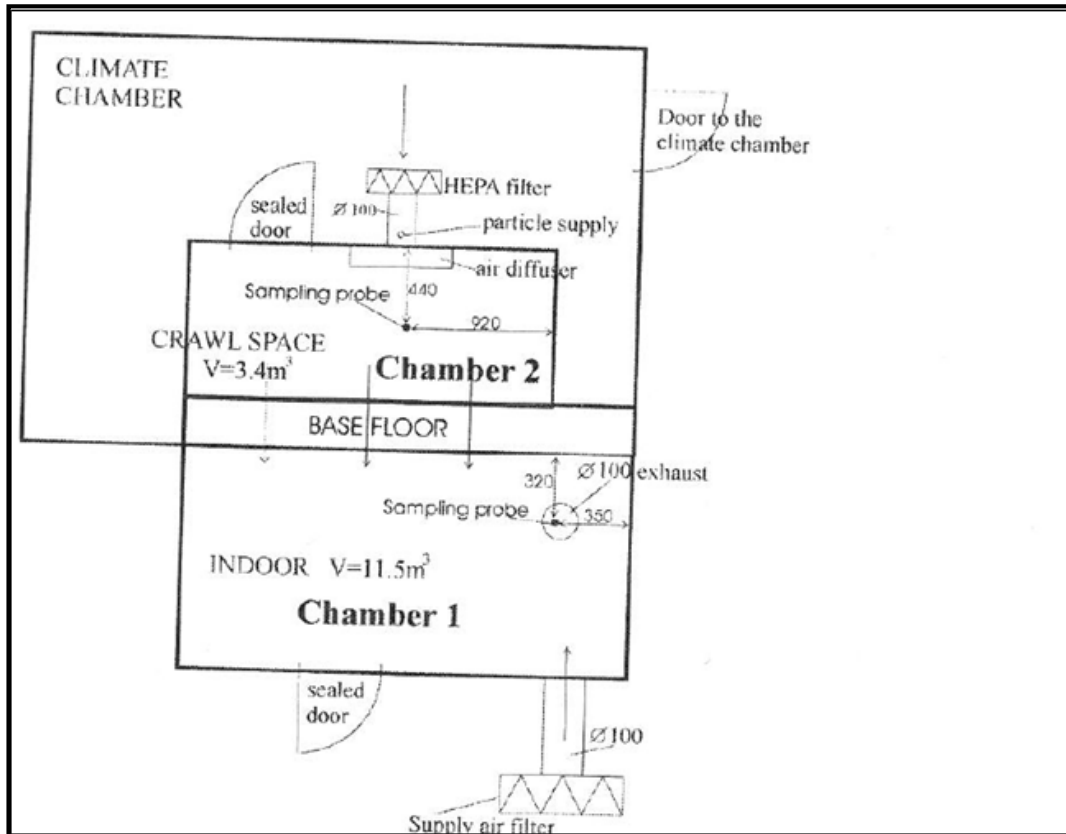
$$V = c \cdot \Delta P^n \tag{13}$$

, jossa c on vuotokerroin ja n virtauksen laatua kuvaava eksponentti (laminaarisella virtauksella $n=1$ ja turbulenttisella $n=0,7$).

4.5 MIKROBIEN KULKEUTUMINEN PAIN-ERON VAIKUTUKSESTA

Mikrobit aineenvaihduntatuotteineen kulkeutuvat sisäilmaan kahdella tavalla, mikrobit kulkeutuvat pääasiassa ilmavirtausten mukana ja VOC- ja MVOC-yhdisteet diffuusiolla, jonka vaikutusta on käsitelty kirjallisuudessa niukemmin. Mikrobin kulkeutumista sisäilmaan on tutkittu pääasiassa yksittäisten rakenneseosten avulla.

Airaksinen et al. (2003, s. 207-212) havaitsivat laboratorio-olosuhteissa hiukkasten sekä *Penicillium*- ja *Cladosporium*-sieni-itiöiden kulkeutuvan puisen alapohjarakenteen läpi. Hiukkasten läpäisevyys ei muuttunut suuresti, vaikka tutkimuksessa muutettiin hiukkasten kokoa, rakenteen tiivyyttä ja paine-eroa rakenteen yli. Koejärjestelyt on esitetty kuvassa 22. Ryömintätilan puolella olevan kammion tuloilma puhdistettiin HEPA-suodattimella ja kammion tuloilmaan syötettiin hiukkasia ja itiöitä. Ilmaa poistettiin vain sisäilmakammioista, jolloin ilmavirta oli pakotettu kulkemaan alapohjarakenteen läpi. Tuloilman sekoittuminen todettiin ottamalla hiukkaskokonäytteet kolmelta eri korkeudelta: 70 cm, 110 cm ja 190 cm.



Kuva 22. Alapohjarakenteen läpi kulkeutuvia mikrobeita käsitelleen tutkimuksen (Airaksinen et al. 2003, s. 208) koejärjestelyt.

Rakenteen tiiviiden vaikutusta hiukkasten sieni-itiöiden kulkeutumiseen testattiin neljällä erilaisella rakenteen rikkomismenetelmällä. Ensimmäisenä partikkelien läpäisevyyttä mitattiin ehjän 2,2 x 2,2 m² suuruisen puualapohjarakenteen läpi, rakenteen rakennekerrokset olivat ryömintätilasta päin lueteltuna: 13 mm huokoinen puukuitulevy, 200 mm mineraalivillaeriste ja 12 mm lastulevy. Toinen rakenne koostui lisäksi alapohjan läpi asennetusta tulpatusta kupariputkesta, jonka läpivientä ei ollut tiivistetty. Kolmannessa rakenteessa pintalevyihin porattiin neljä läpimitaltaan 10 mm reikää vastakkain, mineraalivilla oli koskematon. Neljännessä rakenteessa levyihin oli porattu kolme läpimitaltaan 13 mm reikää vastakkain. Viides rakenne koostui alapohjan läpi asennettu 15 mm avoimesta kupariputkesta, jolloin ilma virtasi putken läpi ryömintätilasta sisäilmaan. Ehjän rakenteen tiiviys 50 Pascalin paine-erolla oli 0,88 m³/h,m², toisen rakenteen 0,83 m³/h,m², kolmannen 1,16 m³/h,m², neljännen 2,03 ja viidennen 1,19 m³/h,m². Rakenteille laskettiin myös ilmanvuotoluku olettaen, että 10 x 10 x 2,5 m³ rakennuksen

ulkovaipan olevan samanlainen kuin mittauksen alapohjarakenne. Ilmanvuotoluvuiksi saatiin 1, 1, 1,4, 2,4 ja 1,4 1/h, joten rakenne oli varsin tiivis.

Läpäisykertoimet inerteille hiukkasille on esitetty taulukossa 11. Tuloksista on nähtävissä paine-eron arvattava vaikutus, suurempi 20 Pascalin paine-ero lisäsi rakenteen läpipäässeiden hiukkasten osuutta vaikka myös 6 Pascalin paine-erolla rakenteen läpi kulkeutui hiukkasia. Rakenteen tiiviuden vaikutus jäi pienemmäksi. Ehjästäkin rakenteen läpi kulkeutui hiukkasia, mutta läpipäässeiden osuus ei kasvanut suoraviivaisesti rakenteen epätiiviyiskohtien kasvaessa.

Taulukko 11. Inerttien hiukkasten läpäisykertoimet (Airaksinen et al. 2003).

Rakenne	Paine-ero, Pa	Hiukkasten läpäisykertoimet			
		Syötettyjen partikkeleiden koko (µm)			
		0,6	1,3	2,5	4
Ehjä rakenne	20	0,19	0,19	0,18	
	6	0,12	0,08	0,06	
Tulpattu putki	20	0,2	0,2	0,16	0
	6	0,08	0,07	0,05	
Reiät pintalevyissä	20	0,14	0,15	0,1	0
	6	0,06	0,03	0,02	0
Avonainen putki	20		1		0,54
	6		0,54		0,22

Mikrobien läpäisykerroin laskettiin prosentuaalisena osuutena, koska tasapainotilan saavuttaminen ei ollut mahdollista mikrobien kasvatusmenetelmästä johtuen. Tutkimuksessa ei kerrota tarkemmin mistä osuudesta läpäisevyys laskettiin. Läpäisykertoimet mikrobeille on esitetty taulukossa 12. Tulosten mukaan suurempi paine-ero lisäsi rakenteen läpäisseiden mikrobien osuutta ja kaikkien rakenteiden lävitse kulkeutui mikrobeja.

Taulukko 12. Penicillium ja Cladosporium –sieni-itiöiden läpäisykertoimet prosentuaalisen osuutena (Airaksinen et al. 2003).

Rakenne	Paine-ero, Pa	Havaittu Penicillium	Havaittu Cladosporium
Ehjä rakenne	18	5,64	24,08
	6	1,44	5,32
Reiät pintalevyissä	18	itiöpitoisuus ylitti menetelmän ylärajan	49,91
	6	2,99	1,04

Pessi et al. (1999, s. 42-45) havaitsivat mikrobien kulkeutuvan betonisen julkisivuelementissä olleiden epätiiviyiskohtien kautta 50 Pascalin alipaineessa. Tutkimus tehtiin kerrostaloasunnossa, jossa oli mitattu kohonneita mikrobipitoisuuksia. Tutkimus sai alkunsa, kun keittiön ulkoseinäelementissä mitattiin pintasivelynäyttein kohonneita mikrobipitoisuuksia epätiiviyiskohtien ympäristöstä. Ulkoseinäelementin eteen rakennettiin 0,2 mm polyeteenimuovista ja rimarungosta kammio, joka voitiin alipaineistaa. Kammioista sekä asunnosta otettiin ilmanäytteitä ennen ja neljän tunnin alipaineistuksen jälkeen. Tulosten perusteella eristeessä kasvavien sädesienten ja sieni-itiöllä havaittiin yhteys sisäilman pitoisuuksien välillä. Epätiiviyiskohdat tiivistettiin ja mikrobipitoisuudet vähenivät. Esimerkkikohde oli yhtenä kohteena betonielementtijulkisivujen mikrobiologisen toimivuuden tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin mikrobikasvua eristetilassa, sen syitä ja vaikutusta sisäilman laatuun. Tutkimuksessa todettiin yleisesti, että asuntojen korvausilman saannin parantamisella seinärakenteiden mikrobikontaminaation vaikutukset vähenevät. Ainoastaan elementin reunaosissa esiintynyt voimakas sädesienikasvu vaikutti sisäilman laatuun. Kuorimuurirakenteinen elementtijulkisivu on niin tiivis, että ainoastaan erittäin suuri sädesienipitoisuus (> 10 000 cfu/g) eristetilassa vaikutti sisäilmassa kohonneena sädesienipitoisuutena (> 10 cfu/g).

Leivo & Rantalan (2006, s. 44-48) laboratoriossa suoritetun kokeen perusteella mikrobit eivät kulkeudu ehjän betonirakenteen läpi. Erilaisia betonirakenteita ja alapohjalämmöneristeitä asetettiin kahden kammion väliin. Kasvatuskammiossa oli mikrobeille suotuisat olosuhteet, 20...24 °C ja 80...95 RH-%, sekä ravinneliuoksessa *Aspergillus versicolor*-lajin kasvustoa. Kammioden välinen paine-ero oli 1...20 Pa. Kokeen kesto

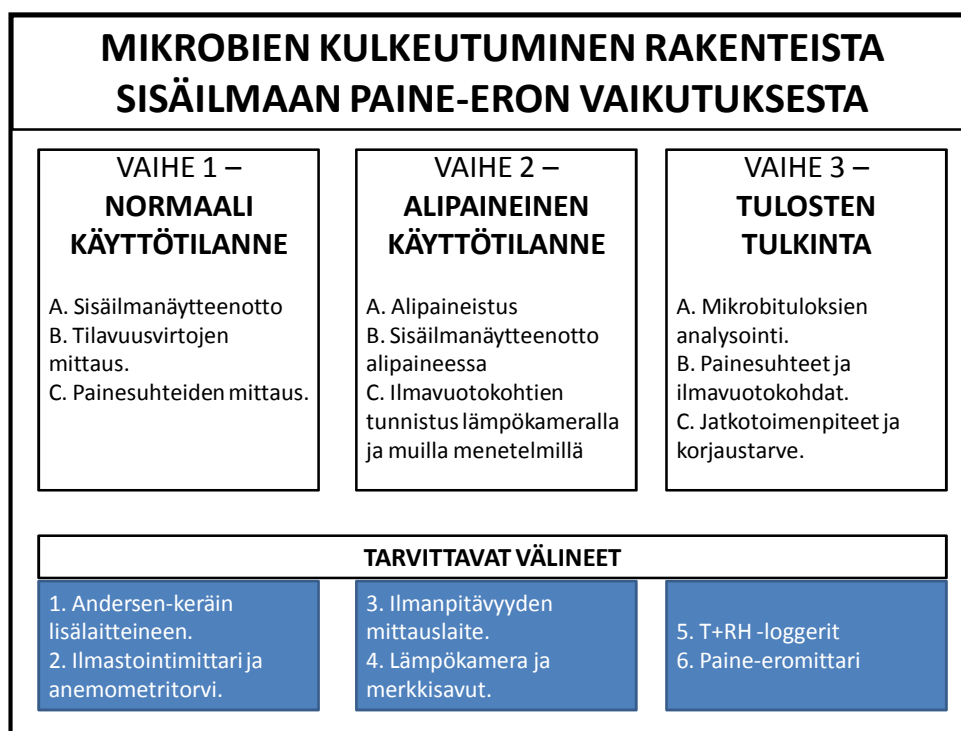
kullekin rakenteelle oli noin kuukausi, jonka jälkeen otettiin ilmanäytteet sekä kasvatusettä keräyskammiosta. Tulosten perusteella sekä ehjien betonilaattojen että ehjien polyuretaani- ja polystyreeni-eristeiden läpi ei kulkeutunut itiöitä. Ainoastaan valusaumalla varustetun betonilaatan lävitse kulkeutui sieni-itiöitä. Alustavien tulosten perusteella rakenteet myös estivät MVOC-yhdisteiden kulkeutumisen kammiosta toiseen.

Weckströmin (2003, s. 71) tutkimuksen mukaan kaasumaiset MVOC-yhdisteet kulkeutuvat diffuusiolla ehjän höyrynsulkukalvon lävitse. Laboratoriossa tehdyn koesarjan perusteella määritettiin diffuusiokertoimet eräille MVOC-yhdisteille. Diffuusiokertoimilla suoritettavat yksinkertaistetut laskelmat osoittavat, että MVOC-yhdisteiden kulkeutuminen höyrynsulkukalvon lävitse diffuusiolla voi aiheuttaa sellaisen suuruisia pituisuuksia, joita on mitattu homehajuongelmista kärsivien talojen sisäilmasta. MVOC-mittauksia ei suositella käytettäväksi mikrobiongelman todentamiseen (Valvira 2011). Mikrobiongelmien korjaaminen ainoastaan tiivistyskorjauksilla vaatii vielä runsaasti lisätutkimusta.

5 MITTAUSMENETELMÄ JA -KOHDE

5.1 MENETELMÄN YLEINEN KUVAUS

Tutkimuksessa kehitetyn menetelmän avulla pyritään arvioimaan mikrobien kulkeutumisesta sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Menetelmä jakaantuu kolmeen vaiheeseen. Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa mitataan sisäilman mikrobien määrä normaalissa käyttötilanteessa. Samalla tutkitaan normaalin käyttötilanteen ilmanvaihto ja painesuhteet ulko- ja sisäilman välillä sekä sisä- ja ulko-olosuhteet. Toisessa vaiheessa rakennukseen luodaan alipaine ja mitataan sisäilman mikrobit alipaineessa sekä tunnistetaan rakenteiden epätiiviyyskohdat. Menetelmän kolmas vaihe on tulosten tulkinta. Kuvassa 23 on esitetty menetelmän eri vaiheissa tehtävät toimenpiteet ja niissä tarvittavat välineet.



Kuva 23. Menetelmän vaiheet niissä tehtävine toimenpiteineen ja tarvittavine välineineen.

5.1.1 Ensimmäinen vaihe normaalissa käyttötilanteessa

Ensimmäisen vaiheen tärkein osio on sisäilman mikrobimittaus Andersen-keräimellä rakennuksen normaalikäytön mukaisessa tilanteessa. Sopiva määrä ilmanäytteitä on

5...10 kpl riippuen tilan koosta. Sisäilmanäytteiden otto on ohjeistettu Asumisterveysoppaassa (2009).

Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa mitataan lisäksi rakennuksen ilmanvaihdon tilavuusvirrat ja painesuhteet rakennusvaipan ylitse. Erityisen korkeissa tai monikerroksisissa tiloissa painesuhteita on syytä mitata useammalta korkeudelta. Ryömintätilaisen ja sisäilman välinen paine-ero mittaus antaa lisätietoa, muttei ole välttämätön. Ilmavirtojen ja paine-eron mittaus vaipan yli onnistuu helpoiten digitaalisella ilmastointimittarilla ja anemometritorvella. Ilmavirtojen ja paine-eron mittaukset suoritetaan Siren (1995) ohjeiden perusteella. Paine-eron mittaus ulko- ja sisäilman välillä vaatii reiän vaippaan. Menetelmän kaikissa vaiheissa mitataan sisä- ja ulko-olosuhteet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muodossa.

5.1.2 Toinen vaihe alipaineessa

Menetelmän toisen vaiheen ensimmäinen osuus on mitattavan tilan tai rakennuksen alipaineistaminen. Alipaineistamisen ideana on tuloilman kulkeutuminen sisäilmaan rakenteiden epätiiviyiskohtien kautta, jolloin rakenteissa olevat mikrobit kulkeutuvat vuotoilmavirtauksen mukana sisäilmaan. Rakennus voidaan alipaineistaa joko ilmatiiviyden mittaukseen tarkoitettulla laitteistolla tai sen omalla ilmanvaihtokoneella. Sopiva alipaineistus ulkoilmaan nähden vaihtelee tilan normaalista paine-erosta riippuen -10...-20 Pa. Mikäli tilan normaalikäytönmukaiset painesuhteet ulkoilmaan ovat jo reilusti alipaineiset, voidaan alipainetta lisätä. Ulkoilman ja sisäilman välistä paine-eroa tulee pystyä mittaamaan jatkuvasti, mikä onnistuu joko alipaineistuslaitteella tai erityisellä paine-eromittarilla.

Tilan alipaineistaminen onnistuu helpoiten ilmatiiviyden mittaamiseen tarkoitettulla laitteistolla. Ilmatiiviyden mittaamiseen tarkoitettuja laitteistoja on markkinoilla lukuisia. Ilmatiiviyden mittaamisen tarkoitettuna laitteisto koostuu mittaristosta, säädettävästä puhaltimesta, oveen asennettavasta ilmatiiviistä kankaasta ja tietokoneesta, joka on yhteydessä puhaltimeen ja mittaristoon. Ilmanvaihtokoneella tehtävä alipaineistaminen vaatii

puhaltimelta portaattoman ohjausjärjestelmän, jotta poistoilmavirtaa voidaan säätää riittävän tarkasti.

Alipaineistus vaatii rakennuksen vaipassa olevien reikien tiiviin sulkemisen. Yleisimpiä reikiä ovat ilmanvaihtokanavat, liesituuletin ja viemärijärjestelmän vesilukot. Ilmanvaihtokoneella alipaineistettaessa ainoastaan tuloilmakanavat on suljettava tiivistä poistoilmakanavien ollessa auki. Ilmanvaihtokanavien sulkeminen onnistuu parhaiten pumppavilla kumipalloilla tai 0,2 mm höyrynsulkumuovin avulla teippaamalla. Vesilukkojen täyttäminen vedellä tiivistää ne.

Mikäli tutkitaan rakennuksen tiettyä osaa, täytyy se erottaa omaksi osastokseen. Osastointi vaatii tutkittavan osan ja muun rakennuksen erottavien väliovien ja joissakin tapauksissa väliseinien tiivistämisen. Väliovien tiivistämiseen voidaan käyttää höyrynsulkumuovia ja teippiä. Joissakin tapauksissa erillisen väliseinän rakentaminen höyrynsulkumuovista ja puurangoista on parempi ratkaisu. Alipaineistuksen yhteydessä on säilytettävä tilaan kulkuyhteys alipaineistuksen keston vuoksi.

Toisen vaiheen tärkein osuus on sisäilman mikrobien määrän mittaus alipaineessa. Kun tilaan tai rakennukseen on luotu haluttu alipaine suhteessa ulkoilmaan, voidaan aloittaa näytteiden otto. Mikäli tutkittava tila koostuu useista huoneista, näytteitä otetaan kaikista tiloista. Sopiva näytteiden määrä on 5...10 näytettä siten, että kustakin tilasta otetaan useampi sisäilmanäyte. Näytteet otetaan tasaisin väliajoin, jotta nähdään millainen vaikutus vuotoilmalla on sisäilman mikrobipitoisuuksiin. Suunta-antava kesto alipaineistukselle on vähintään 12 tunnista ylöspäin.

Ilmavuotokohdat voidaan tunnistaa usealla tutkimusmenetelmällä. Tunnistaminen onnistuu muun muassa savukokeilla, ilman nopeuden mittauksilla tai lämpökamerakuvauksella. Kaikki menetelmät vaativat alipaineen. Ideana ilmavuotokohtien tunnistamisessa on luoda rakennuksen sisäilmaan alipaine suhteessa ulkoilmaan, jolloin rakenteen epätiiviyiskohtien kautta kulkeutuu enemmän vuotoilmaa kuin muualta.

Luotettavin menetelmä vuotokohtien tunnistamiseen on lämpökamerakuvaus, jossa rakenteet kuvataan lämpökameralla, kun tila on alipaineistettu ja kun tila on lievästi ylipaineinen. Vertaamalla ali- ja ylipaineessa otettuja kuvia voidaan erottaa varsinaiset ilmavuotokohtat rakenteiden muista kylmäsilloista, jotka myös näkyvät lämpökamerakuvissa. Lämpökamerakuvausta ei voida suorittaa, ellei sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero ole yli 10 °C. Lämpökamerakuvausten avulla ei nähdä maanvastaisen alapohjan mahdollisia vuotokohtia, minkä vuoksi on tarpeen käyttää esimerkiksi merkkisavuja. Savun käyttö havainnollistaa ilmavirran liikettä, jolloin ilmavuotokohtat saadaan näkyviin. Ilman nopeutta mittaamalla saadaan myös tieto epätiivetyshetkistä. Merkkisavujen käyttö ja ilmannopeuden mittaus ovat ainoita todellisia vaihtoehtoja rakenteessa, jonka eri puolilla ei ole selvää lämpötilaeroa. Muun muassa maanvaraisessa alapohjassa sijaitsevia vuotokohtia on vaikea tunnistaa ilman merkkisavuja.

5.1.3 Kolmantena vaiheena tulosten tulkinta

Tulosten tulkinnassa tavoitteena on saada vastaus seuraaviin kysymyksiin. Onko sisäilmassa mikrobeja normaalissa käyttötilanteessa? Muuttuuko sisäilman mikrobien määrä tai lajisto alipaineessa? Missä sijaitsevat epätiivetyshetköt, eli mitä kautta mikrobit kulkeutuvat sisäilmaan? Onko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä oikein säädetty? Luotettavalla tulosten tulkinnalla luodaan mahdollisuudet korjaus- ja muiden jatkotoimenpiteiden onnistumiseen.

Tulosten tulkinta alkaa menetelmän ensimmäisen vaiheen sisäilmanäytteiden analysoinnilla. Normaalinäytteissä olevia pitoisuuksia verrataan Asumisterveysoppaan, koulurakennusten (Meklin et al. 2007) tai toimistorakennusten (Salonen et al. 2011) viitearvoihin. Lisäksi huomiota kiinnitetään mikrobien sukuihin.

Mikäli alipaineessa otettujen näytteiden lajisto lisääntyy tai muuttuu verrattuna normaalin käyttötilan näytteisiin, se viittaa rakenteiden mikrobikasvustoon ja rakenteessa olevaan epätiivyyteen. Normaalinäytteen sieni-itiöiden pitoisuuksien mediaania verrataan alipaineessa otettuihin näytteiden mediaaniin. Pitoisuuden kasvu alipainenäytteissä on

merkki rakenteissa olevasta mikrobivauriosta. Pitoisuuksia voidaan verrata myös huone-
tasolla.

Vaikka pitoisuus ei kasva alipainenäytteissä, voi jossakin rakenteessa olla sieni-itiöitä. Silloin rakenteet ovat tiiviitä tai kasvusto sellaisessa vaiheessa, ettei se tuota itiöitä ilmaan. Asiaa voidaan osoittaa yksinkertaisella laskuesimerkillä. Oletetaan rakennuksen olevan kuutio, jossa kaikilla rakenteilla (tahkoilla) sama ilmatiivyys. Kuution alin osa, ryömintätällainen alapohja, on vaurioitunut, jolloin alapohjan pitoisuudet luokkaa 600 cfu/m³. Oletetaan muiden tahkojen eli rakenteiden olevan täysin puhtaita. Jos kaikkien rakenteiden ilmanpitävyys on sama, jokaisen rakenteen lävitse kulkeutuu yhtä paljon vuotoilmaa. Olettaen, että alapohjan kaikki mikrobit kulkeutuvat sisäilmaan, saadaan, että kussakin alipaineessa tilaan epäpuhtauden pitoisuudeksi tulee $1/6 \cdot 600 \text{ cfu/m}^3 = 100 \text{ cfu/m}^3$. Samansuuruisia pitoisuuksia mitataan toisinaan ilman erillistä alipainetta sisätiloissa. Käytännössä alapohja on usein vielä tiiviimpi, jolloin alipaineessa sisäilman pitoisuus jää edellistä alhaisemmaksi.

Epätiiviyiskohtien tunnistaminen auttaa paikantamaan mahdollisia mikrobivaurioita. Jos mikrobin määrä lisääntyy alipaineessa, mikrobit kulkeutuvat epätiiviyiskohtien kautta sisäilmaan. Epätiiviyiskohtien läheisyydessä olevia rakenteita voidaan tutkia tarkemmin myöhemmin tehtävissä kuntotutkimuksissa. Epätiiviyiskohtia voidaan vähentää tekemällä tiivistyskorjauksia.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän säätämistarve saadaan selville ilmavirtamittausten ja vaipan yli olevan paine-eron perusteella. Nyrkkisääntönä voidaan pitää mahdollisimman tasapaineista rakennusta ja ilmanvaihtoluvun vähimmäisarvona 0,5.

5.2 MITTAUSKOHDE

Tutkimuskohde on Oulun seudulla sijaitsevassa palvelukeskuksen asuntolarakennus, joka koostuu asuinkerroksesta ja puolittaisesta kellarikerroksesta. Asuinkerroksen bruttoala on noin 815 brm² ja kellarikerroksen bruttoala noin 525 brm². Asuntolarakennus

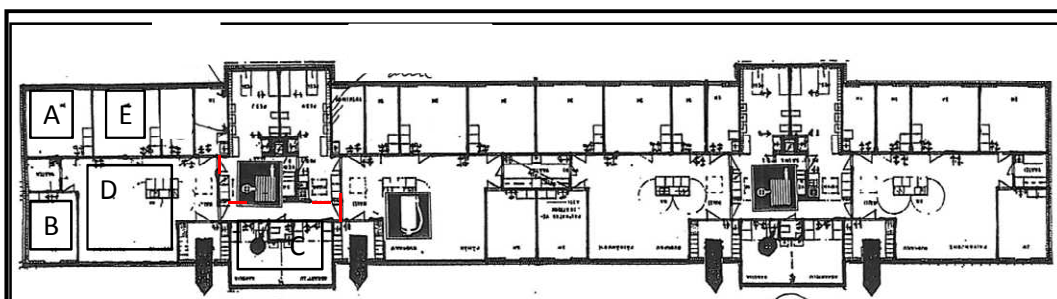
on valmistunut vuonna 1970. Varsinainen koehuoneisto sijaitsee koerakennuksen päädyssä. Koehuoneisto erotettiin muusta rakennuksesta tiivistämällä kuvassa punaisella merkityt ovet 0,2 mm:n höyrynsulkumuovilla. Yleiskuva rakennuksen päädystä takapihan puolelta on esitetty kuvassa 24 ja kuvassa 25 etupihan puolelta. Kuvassa 26 on rakennuksen varsinaisen kerroksen pohjapiirustus, johon on merkitty kirjaimin huoneiden tunnukset, joita käytetään tekstissä jatkossa.



Kuva 24. Palvelurakennuksen yleiskuva päädyistä rakennuksen takapuolelta otettuna. Koehuoneisto sijaitsee kuvassa etualalla.



Kuva 25. Palvelurakennuksen yleiskuva etupihan puolelta. Koehuoneisto sijaitsee kuvassa etualalla.

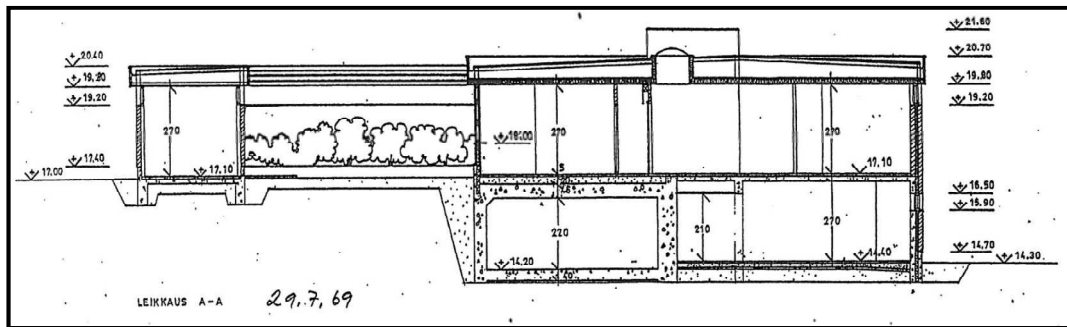


Kuva 26. Asuntolarakennuksen pohjapiirustus, koehuoneisto sijaitsee vasemmassa päädyssä. Punaisella on merkitty tiivistetyt ovet.

Asuntolarakennus sijaitsee rinteessä, rakennukseen kuljetaan sisään ylärinteen puolelta. Asuinkerros koostuu neljästä huoneistosta, joissa kussakin on neljä asiakkaiden käyttöön tarkoitettua huonetta, oleskelutila, kanslia, keittiö, pesutilat ja sauna. Rakennuksen alarinteen puolella on puolittainen kellarikerros. Huoneen A ja E alapuolella on kellarikerros. Huoneiden B, C ja D alapuolella on ryömintätila, joka tuulettuu vain rakennuk-

sen päädyistä. Pitkillä sivuilla ei ole ryömintätilaan johtavia tuuletusaukkoja. Liitteessä 5 on esitetty valokuvia kohteesta.

Kuvassa 27 on rakennuksen poikkileikkaus. Asuntolarakennus on ollut alkuperäisessä käytössä vuoden 2008 loppuun asti. Sen jälkeen rakennuksen käyttö on ollut osaaikaista. Tällä hetkellä rakennusta ei käytetä.



Kuva 27. Koekohteen poikkileikkaus. Rakennus sijaitsee rinteessä. Etupihan puolella (vasemmalla laidassa) asuinkerroksen alla on ryömintätilainen alapohja ja takapihan puolella (oikealla) kellari. Ryömintätilan osalta ryömintätilan maapohjan, eivätkä kellarin vastaisen seinän rakenteet vastaa nykytilannetta. Kellarin vastainen seinärakenne on esitetty myöhemmin. Kuvassa äärimmäisenä vasemmalla on esitetty etupihalla sijaitseva varistorakennus.

5.2.1 Rakenteet

Maanpinta ja sadevesien johtaminen

Rakennuksen maanpinta on etupihalla tasainen. Etupihan puolella on sadevesiviemärröinti. Takapihan puolella maanpinta viettää rakennuksesta pois päin. Rakennuksen takapiha on asfaltoitu. Asfaltti on kohoillut routimisen seurauksena. Takapihan sadevesiä ei ole johdettu rakennuksesta pois päin. Valokuvaliitteessä (liite 5) on kuvia rakenteista.

Perustukset

Sokkeli on maalattu betonisokkeli. Sokkelissa on niin sanottu sokkelihalkaisu. Takapihan puolella etäisyys sokkelin ulkopinnasta sisempänä olevan betonin pintaan on 210 mm ja ulomman betonikerroksen paksuus on noin 130 mm. Maali on hilseillyt ja

paikoin sokkelissa on lohkeamia. Muutamassa kohdassa ruostuneet teräkset ovat näkyvillä.

Kellarin maata vasten olevat seinät ovat betonimuureja. Aiemmin tehdyn rakenneavauksen mukaan rakenne on seuraava sisältä ulospäin: tiilimuuraus 75 mm, ilmarako 40 mm, mineraalivilla 100 mm, piki, betoni 160 mm. Työselityksen mukaan kellarin seinissä on kosteuseristys kaksinkertaisena sivelyeristysenä.

Alapohja

Kellarillisella osalla alapohja on maanvarainen ns. kaksoislaattarakenne. Työselityksen mukaan kuivien tilojen alapohjarakenne on seuraava: salaojituserkerros, tiivis paperi, alusbetoni 80 mm, 2-kertainen kosteuseristys, lämmöneristysenä 200 mm kevytsorabetonia ja pintabetoni 50 mm. Kellarin lattiaan tehtyjen porareikien kautta tarkasteltuna korkeus lattiapinnasta alalaatan yläpintaan on 240 mm ja pintalaatan paksuus noin 100 mm, joten lämmöneristettä on noin 140 mm. Leca-soran päällä on muovikalvo. Kellarin lattian alla on putkikanaali. Kellarillisen osan rakenneleikkaukset ovat kuvissa 28 ja 29.

Yksikerroksisella rakennuksen osalla alapohja on teräsbetonirakenteinen ryömintätillainen alapohja. Kantavana rakenteena ovat rakennuksen poikkisuuntaiset teräsbetonipalkit ja -laatta. Palkkien korkeus on noin 500 mm ja leveys 120-180 mm. Laatan paksuus on noin 120 mm. Lämmöneristeenä on Leca-soraa. Rakennekuvan mukaan sitä on 200 mm. Alapohjaan poratun reiän kohdalla korkeus lattiapinnasta kantavan laatan yläpintaan oli 320 mm ja ylälaatan paksuus noin 90 mm. Leca-soran päällä oli muovi- tai paperikalvo.

Ryömintätilassa on muottilautaa seinien alaosissa ja maassa. Maaperä on märkää. Maassa on myös olkia. Orgaaniset materiaalit ovat lahonneet. Ryömintätilan korkeus keski-alueella maanpinnasta on noin 2 m kantavan laatan alapintaan ja kellarin seinän vieressä noin 3 m. Ryömintätilan päätyihin on tehty halkaisijaltaan 52 cm suuruiset tuuletusaukot. Toisessa päädyssä on poistopuhallin tuulettavuuden varmistamiseksi.

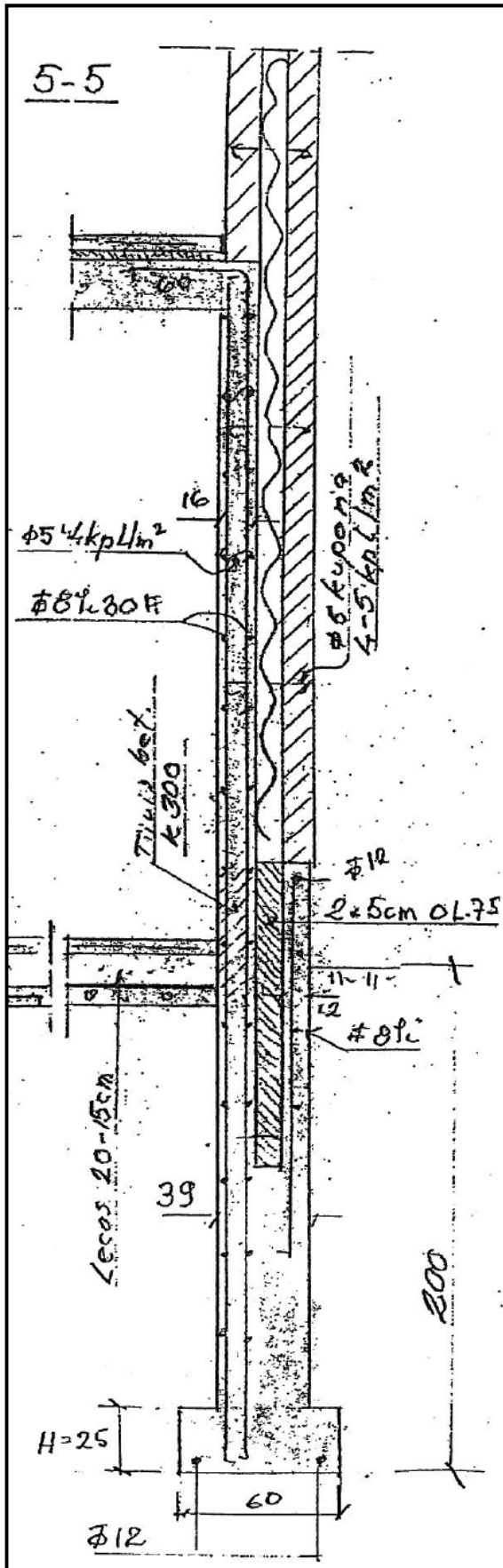
Välipohja

Kellarin ja asuinkerroksen välipohja on betonirakenteinen. Työselityksen mukaan rakenne on seuraava: kantava teräsbetoni laatta 160 mm, 2-kertainen 16 mm kova mineraalivillalevy, 40 mm pintabetoni.

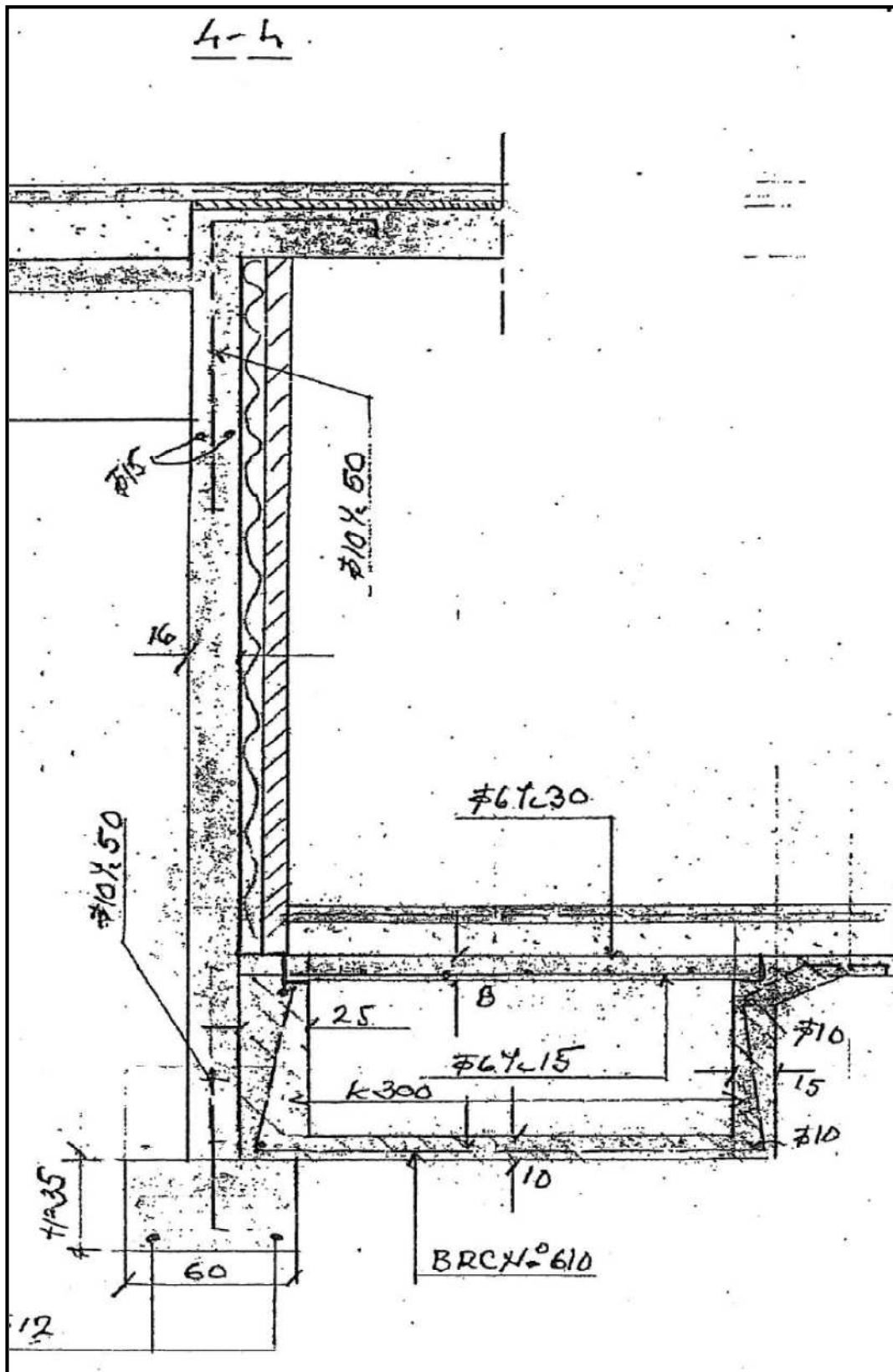
Ulkoseinät

Ulkoseinät ovat pääosin lämmöneristettyjä, kivirakenteisia seiniä. Kellarikerroksessa ulkoseinän sisäpuolella on betoni ja ulkoverhouksena muuraus. Seinään poratussa reiässä etäisyys seinän ulkopinnasta lämmöneristeeseen oli 160 mm, joten kohdassa oli noin 30 mm ilmarako. Etäisyys ulkopinnasta betoniin oli 245 mm.

Ensimmäisessä kerroksessa ulkoseinän sisä- ja ulkokuori on pääosin muurattu. Työselityksen mukaan lämmöneristykseenä on kaikissa seinissä 100 mm mineraalivillaa. Ulkoverhouksena on kalkkihiekkatiilimuuraus. Tiilimuurauksen alareunan pystysaumoja ei ole avattu tuuletusraoiksi.

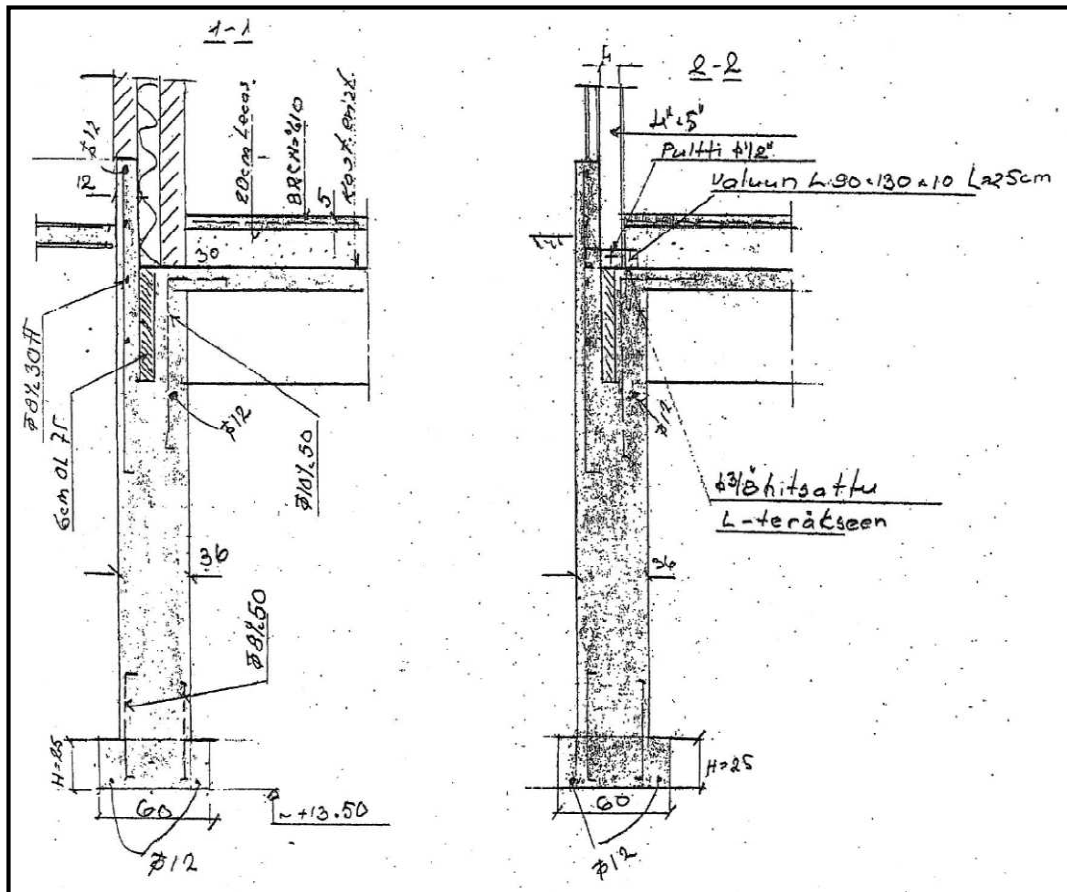


Kuva 28. Kellarillisen osan ulkoseinän rakenneleikkaus takapihan puolelta.



Kuva 29. Kellarillisen osan ryömintätilan vastaisen seinän rakenneleikkaus.

Ikkunoiden kohdalla asuinikerroksen seinät ovat puurunkoisia. Etupihan puolella puurunkoisten seinien alaosassa on valesokkeli, jota pidetään riskirakenteena. Takapihan puolella valesokkelia ei luonnollisesti ole. Seinään sisäpuolelta poratussa reiässä etäisyys sisäpinnasta valesokkelin pintaan oli 120-130 mm. Työselityksen mukaan lämmöneristyksen ulkopuolella on 40 mm paksuiset lujalevyt. Huoneistojen 3 ja 4 kansliassa mitattuna alaohjauspuun yläpinta on noin 200 mm lattiapintaa alempana, joten alaohjauspuun yläpinta on niukasti maanpinnan tasolla. Asuinikerroksen ikkunat on uusittu kolmilasisiksi puuikkunoiksi vuonna 1998. Ulkoseinän alaosan rakennelikkauksia on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Etupihan puoleinen sokkelin ja seinän alaosan rakennelikkauks. Oikeanpuoleinen valesokkelirakenne on ainoastaan ikkunoiden kohdalla. Vasemmanpuoleinen rakenne on muualla.

Vesikatto on vuonna 1985 uusittu aumakatto. Katteena on bitumihuopakate. Aiemmin rakennuksen vesikatto on ollut tasakatto. Uuden katon alle jätettyä vanhaa vesikatetta on

avattu tuulettavuuden varmistamiseksi. Vesikatteen lävistää kahdeksan huippuimuria, kahdeksan kattoikkunaa, kolme kattoluukkuja, viemärin tuuletusputket ja ullakkotilan tuuletusputket sekä TV-antenni. Yläpohjaan on lisätty puhallusvillaa. Työselityksen mukaan alkuperäinen rakenne on seuraava alhaalta lukien: minerit- tai kipsilevy, alumiinipaperi, 150 mm mineraalivillaa, Lujalevy ja painolaudat.

5.2.2 LVIS-järjestelmät

Palvelukeskuksessa lämmitysjärjestelmänä on aluelämpö. Lämmönjako kussakin rakennuksessa tapahtuu vesikiertoisten patterien avulla. Lämpöputket kulkevat rakennuksen kellarin alla sijaitsevassa kanaalissa.

Asuntolarakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä. Asuntolarakennuksen jokaisessa huoneistossa on omat koneensa. Ilmanvaihto on ollut päivisin päällä ja öisin tuloilmakone on sammutettu äänihaittojen vuoksi. Rakennuksen tuloilmakone oli mittausten aikaan poissa käytöstä. Kussakin huoneistossa on oma sähköryhmäkeskus.

5.2.3 Aiemmin tehdyt tutkimukset

Palvelukeskuksen alueella on kahdeksan samantyyppistä asuntolarakennusta. Rakennusten käyttäjät ovat valittaneet sisäilmaongelmista. Kairitek Oy on tehnyt vuosien 2002 ja 2010 välisenä aikana palvelukeskuksen asuntolarakennuksiin 14 tutkimusta, joista seitsemän on kuntoarvioita ja loput erilaisia kuntotutkimuksia, kuten asbestikartoituksia, pesuhuoneiden kuntotutkimuksia ja yksittäisten rakenneosien kuntotutkimuksia. Tutkimuksiin on sisällynyt yhteensä 89 materiaalinäytettä ja 28 sisäilmanäytettä Andersen-keräimellä. Näytteet on viljelty Oulun aluetyöterveyslaitoksessa. Materiaalinäytteet on viljelty suoraviljelymenetelmällä, joiden tulokset on esitetty muodossa -, +, ++, +++ ja +++++. Suoraviljelymenetelmän mikrobipitoisuus +++ ja +++++ vastaavat Asumisterveysohjeen laimennossarjamenetelmällä viljellyn materiaalinäytteen tulkintaohjeen yli 10 000 cfu/g mikrobipitoisuutta. Mikrobipitoisuudet ++ ja + vastaavat alle 10 000 cfu/g mikrobipitoisuutta, jolloin myös näytteen tulkinnassa on otettava lajisto on otettava huomioon.

Vastaavista rakennuksista otettujen materiaalinäytteiden tulosten yhteenvedo ovat taulukossa 13. Taulukossa oleva viittaa vaurioon tarkoittaa tuloksia ++, +++ ja +++++. Vastaavista rakennuksista otettujen sisäilmanäytteiden tulokset ovat taulukossa 14.

Taulukko 13. Koekohdetta vastaavista rakennuksista otettujen materiaalinäytteiden tulosten yhteenvedo.

RAKENNE	KELLARIN SEINÄT	ALAPOHJA	SOKKELI	KIVIRAKENTEINEN ULKOSEINÄ	RANKARAKENTEINEN ULKOSEINÄ	VÄLISEINÄ	VÄLIPOHJA
Viitearvo	Materiaalinäytteet (kappaletta)						
Vähintään viittaa vaurioon	5	0	2	3	5	3	1
Vähintään heikko viite vauriosta	7	3	9	9	10	5	1
Näytteitä yhteensä	8	10	17	24	18	7	2
% - vähintään viittaa vaurioon	62,5	0,0	11,8	12,5	27,8	42,9	50,0
% - vähintään heikko viite vauriosta	87,5	30,0	52,9	37,5	55,6	71,4	50,0

Suhteellisesti eniten vaurioon viittaavia tuloksia on ollut kellarin seinistä otetuissa näytteissä, 62,5 %. Välipohjan näytteistä vaurioon on viitannut 50 %, väliseinien 43 % ja rankarakenteisen ulkoseinän 28 %. Kaikista rakenteista otetuista näytteissä on ollut yli kolmanneksessa näytteistä heikko viite vaurioon. Rakennuksissa olevissa ryömintätilaisissa alapohjissa on havaittu olevan muottilaudoitusta ja orgaanista ainesta.

Aiemmin otettujen sisäilmanäytteiden tulokset ovat taulukossa 14. Sisäilmanäytteiden tulokset asetettiin suuruusjärjestykseen. Suurimmista sieni-itiöiden pitoisuuksista kuusi näytettä ylittää 50 cfu/m³ pitoisuuden. Sisäilmanäytteiden mediaani on ollut Hagemkasvatusalustalla 11 cfu/m³, DG18-kasvatusalustalla 20,5 cfu/m³ ja THG-kasvatusalustalla 39,5 cfu/m³. Seitsemän näytettä (25 %) on niin sanottuja nollatuloksia.

Taulukko 14. Koekohdetta vastaavista rakennuksista otettujen ilmanäytteiden tulosten yhteenveto.

(*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

ILMÄNÄYTTEET						
	PAIKKA			Mesofiiliset sienet		Mesofiiliset bakteerit
	PVM	RAKENNUS	TILA	Hagem	DG18	THG
1	16.4.2008	PK 4	Solu 1, päivähuone	53	114 (*)	95
2	16.4.2008	PK 4	Solu 2, päivähuone	25	57 (*)	106 (*) sädesieniä 4
3	9.12.2004	PK 5	Solu 1, päivähuone	25	33	396
4	9.12.2004	PK 5	Kanslia	40 (*)	51 (*)	438
5	9.12.2004	PK 5	Kellarin kokoontumistila	43	43	25
6	1.2.2007	PK 7	Solu 1, päivähuone	22 (*)	26 (*)	28 (*)
7	1.2.2007	PK 7	Toimisto	11	35	15 (*)
8	1.2.2007	PK 7	Solu 2, asuinhuone	60	22	14
9	1.2.2007	PK 10	Solu 1, päivähuone	-	11	138 (*)
10	1.2.2007	PK 10	Solu 2, nurkkahuone	11	4	57 (*)
11	1.2.2007	PK 10	Solu 2, päivähuone	4	11 (*)	226
12	15.2.2008	PK 10	Solu 2, päiväsaali	11	27 (*)	120
13	15.2.2008	PK 10	Solu 2, pesuhuoneen viereinen huone	8 (*)	15 (*)	46
14	17.11.2006	PK 7	Solu 1, päivähuone	94 (*)	101 (*)	33 (*)
15	17.11.2006	PK 7	Toimisto	97	137 (*)	23 (*)
16	17.11.2006	PK 7	Solu 2, asuinhuone	73 (*)	116	17 (*)
17	17.11.2006	PK 7	Kellari, solun 2 alapuolella	133 (*)	186 (*)	17 (*)
18	15.2.2008	PK 7	Solu 1, päiväsaali	4	15 (*)	7
19	15.2.2008	PK 7	Solu 2, päiväsaali	4	4	11
20	9.12.2004	PK 9	Solu 1, päivähuone	40 (*)	40	81
21	11.1.2011	PK 10	Solu 1, päivähuone	4	4	375
22	11.1.2011	PK 9	Solu 1, päivähuone	4	4	4
23	11.1.2011	PK 9	Solu 3, päivähuone	4 (*)	4	4 (*)
24	15.2.2008	PK 7	Solu 1, päiväsaali	4	15 (*)	7
25	15.2.2008	PK 7	Solu 2, päiväsaali	4	4	11
26	3.3.2010	PK 3	Nurkkahuone	-	-	117
27	3.3.2010	PK 8	Solu 2, päivähuone	-	19 (*)	71
28	3.3.2010	PK 8	Solu 1, päivähuone	-	8	74

Sisäilmanäytteiden osalta koulurakennuksille (Meklin et al. 2007) varsinaisesti tarkoitettujen tulkintaohjeiden ylittävät vain hyvin niukasti sekä suurimpien pitoisuuksien (50...200 cfu/m³) että mediaanin (> 20 cfu/m³) osalta. Nolla-tuloksia on vauriottoman rakennuksen verrattavissa oleva määrä (> 25 %). Tulkintaohjeiden perusteella rakennuksissa voidaan olettaa olevan mikrobivaurioita, koska kaksi ehtoa kolmesta täyttyy. Tulkintaohjeiden lyhennelmä on esitetty kappaleessa 3.3.2.

5.2.4 Valmistelevat toimenpiteet

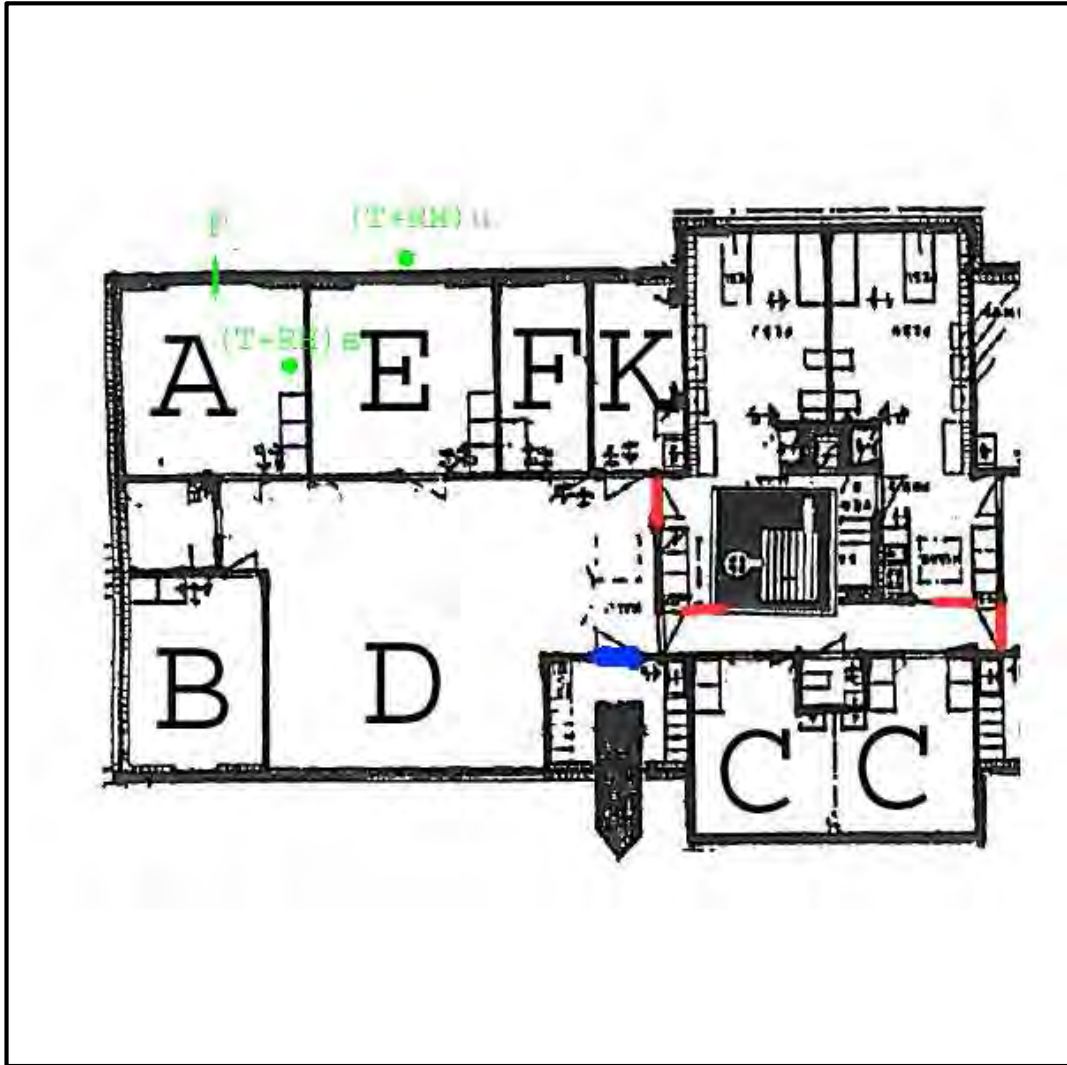
Ennen tutkimuksia palvelurakennuksessa tehtiin valmistelevia toimenpiteitä, koska rakennuksen käyttö on ollut osa-aikaista vuoden 2008 jälkeen. Valmistelevat toimenpiteet eli siivous, viemärin vesilukkojen tarkistus, ilmanvaihdon käynnistäminen sekä huo-

neiston 1 erottaminen omaksi osastokseen suoritettiin päivinä 25. – 29.3.2011. Ennen toimenpiteitä rakennuksessa oli aistittavissa viemäriin hajua sekä tunkkaista hajua.

Huoneisto 1 siivottiin imuroimalla ja pyyhkimällä kostealla liinalla taso- ja lattiapinnat 25.3.2011. Samana päivänä lisättiin vesipisteiden viemärien vesilukkoihin vettä lukuun ottamatta kellarin kahta lukittua WC-tilaa. Viikonlopun (25. – 27.3.2011) ajan oli tilassa ikkunatuuletus huoneiston 1 jokaisen huoneen ikkunan kautta. Muissa huoneistoissa avattiin vähintään kaksi ikkunaa huoneistoa kohti. Poistoilmanvaihtokone käynnistettiin 28.3.2011 aamupäivällä koko rakennuksessa. Huoneistossa 1 jokaisen huoneen yhtä ikkunaa pidettiin auki tuloilmakanavana 29.3.2011 saakka. Huoneisto 1 erotettiin omaksi osastokseen 30.3.2011 tiivistämällä neljä oviaukkoa 0,2 mm höyrynsulkumuovilla huolellisesti teipaten. Tiivistetyt ovet on merkitty pohjapiirustukseen punaisella värillä. Toimenpiteiden lopuksi ei epämiellyttäviä hajuja tuntenut aistinvaraisesti.

5.3 MITTAUSMENETELMÄT

Koehuoneistossa tehtiin mittaukset luvussa 5.1 esitetyn menetelmää mukailten. Mittauspisteet ja tiivistettävät ovet on esitetty kuvassa 31. Yleiskuva huoneiston sisätiloista on esitetty kuvassa 32. Valokuvia on lisää liitteessä 5. Ilmanäytteitä otettiin huoneista A, B, C, D ja E. Huoneessa A sijaitsivat sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauspiste [merkitty kuvaan tunnuksella (T+RH)s] sekä paine-eron mittauspiste (merkitty kuvaan tunnuksella p) ulkoseinän yli. Huoneen E ulkopuolelta mitattiin ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta [merkitty kuvaan tunnuksella (T+RH)u]. Huoneessa D sijaitsi pääovi, johon asennettiin sekä alipaineistuksessa että ilmanpitävyydenvuonon mittauksessa käytetty ilmanpitävyyden mittauksen tarkoitettu laite. Pääovi on merkitty sinisellä värillä kuvaan. Tiivistettävät ovet on merkitty kuvaan punaisella värillä.



Kuva 31. Koehuoneiston pohjapiirustus, johon on merkitty vihreällä värillä mittauspisteet. Punaisella värillä on merkitty höyrynsulkumuovilla tiivistetyt ovet ja sinisellä pääovi, johon ilmanpitoisuuden mittaukseen tarkoitettu laite asennettiin.



Kuva 32. Yleiskuva koehuoneiston sisätiloista huoneessa D. Kuvaajan rintamasuunta on kohti huonetta K.

Ajallisesti eri mittaukset suoritettiin taulukon 15 mukaisesti. Taulukossa on esitetty tärkeimmät varsinaiset mittaukset jaoteltuina ne menetelmän kahteen vaiheeseen. Taulukon oikeassa laidassa on esitetty myös toteutunut paine-ero mitattuna huoneesta A seinärakenteen yli.

Taulukko 15. Toteutunut mittausaikataulu koekohteessa.

MENETELMÄN VAIHE	PVM	KLO	MITTAUS	PAINE-ERO HUONEESSA A, Pa
I (valmistelu)	29.3.2011	8:00 - 16:00	Koekohteen erottaminen omaksi osastokseen	ei mitattu
I	29.3.2011	16:00 - 20:00	Tilavuusvirtojen mittaus	ei mitattu
I	29.3.2011	21:00 ->	Paine-eron mittaus käyntiin	-6,8...-5,6
I	30.3.2011	12:30 - 14:30	Ensimmäisen vaiheen ilmanäytteet, 5 kpl	-6,8...0
II (valmistelu)	30.3.2011	16:00 - 20:00	Alipaineistuksen valmistelu	-8,5...-0,2
II (-10 Pa)	30.3.2011	21:00 ->	Alipaineistus käyntiin Tavoitepaine -10 Pa	-7,8
II (-10 Pa)	30.3.2011	21:00 - 23:00	Toisen vaiheen ilmanäytteitä, 4 kpl	-8,3...-7,2
II (-10 Pa)	31.3.2011	0:00 - 8:00	Tauko	-8,3...-7,1
II (-10 Pa)	31.3.2011	8:00 - 8:15	Toisen vaiheen ilmanäytteitä, 1 kpl	-7,5
II (-10 Pa)	31.3.2011	8:30 - 12:30	Tauko	-9,1...-6,9
II (-10 Pa)	31.3.2011	12:40 - 12:54	Toisen vaiheen ilmanäytteitä, 1 kpl	-8,3
II (-10 Pa)	31.3.2011	13:00 - 14:00	Tauko	-8,2...-7,0
II (-10 Pa)	31.3.2011	14:00 - 16:00	Toisen vaiheen ilmanäytteitä, 4 kpl	-9,9...-7,9
II (-10 Pa)	31.3.2011	16:00 - 21:00	Tauko	-9,4...-8,0
II (-20 Pa)	31.3.2011	21:00	Alipaineistuksen muutos Tavoitepaine -20 Pa	-19,1
II (-20 Pa)	31.3.2011	21:30 - 23:00	Toisen vaiheen ilmanäytteitä, 4 kpl	-18,8...-18,5
II (-20 Pa)	1.4.2011	0:00 - 12:30	Tauko	-20,6...-18,4
II (-20 Pa)	1.4.2011	12:30 - 13:30	Toisen vaiheen ilmanäytteitä, 2 kpl	-20,1...-20,0
II (-20 Pa)	1.4.2011	13:30 - 15:00	Lämpökamerakuvaus	19,7...-18,6
II (-20 Pa)	1.4.2011	15:00 - 17:00	Toisen vaiheen ilmanäytteitä, 4 kpl	-20,9...-18,8
II	1.4.2011	17:00 - 18:00	Ilmanpitävyyskoe	-19,3...0,0

Menetelmän ensimmäinen vaihe aloitettiin koekohteen erottamisella omaksi osastokseen. Kuvassa 33 on esitetty yksi tiivistetty ovi.



Kuva 33. Siivousvälinevarastoon johtava ovi on tiivistetty 0,2 mm höyrynsulkumuovilla ja huolellisesti teipaten. Ovi sijaitsee huoneen C vierisellä käytävällä. Kuvassa keskellä oleva ovi johtaa viereiseen huoneistoon. Kyseinen ovi on tiivistetty vastaavasti, mutta kuvaajasta katsottuna oven takapuolelta.

29.3.2011 mitattiin ilmanvaihdon tilavuusvirrat ja aloitettiin paine-eron jatkuva mittaus. Ensimmäisen vaiheen ilmanäytteet otettiin 29.3.2011 huoneista A, B, C, D ja E. Mene-

telmän toinen vaihe aloitettiin 29.3.2011 klo 21 alipaineistamalla koekohde tavoitepaine-eron ollessa -10 Pa. Toisen vaiheen ensimmäiset neljä ilmanäytettä otettiin välittömästi alipaineistuksen jälkeen. 30.3.2011 jatkettiin toisen vaiheen ilmanäytteiden ottoa. 30.3.2011 klo 21 tavoitepaine-eroksi muutettiin -20 Pa ja ensimmäiset ilmanäytteet otettiin välittömästi. Ilmanäytteiden ottamista jatkettiin 1.4.2011 iltaan saakka. 1.4.2011 suoritettiin myös lämpökamerakuvaus ja ilmanpitävyyskoe.

5.3.1 Sisä- ja ulko-olosuhteiden mittaus

Sisä- ja ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin jatkuvatoimisesti mittauksella loggerilla molempien vaiheiden ajan. Mittaustuloksista laskettiin absoluuttinen kosteus. Mittareina olivat Keytag KTL-508 –lämpötila-kosteus-loggerit, joiden tarkkuus on $\pm 0,8$ °C ja ± 3 RH-%. Sisäilman mittauspiste sijaitsi huoneessa A. Ulkoilman mittauspiste oli huoneen E ikkunan ulkopuolella.

Sisä- ja ulko-olosuhteiden mittaus aloitettiin 30.3.2011 klo 12:30. Loggereiden tallenusväli oli 15 min. Mittaus päättyi 1.4.2011 klo 21:25.

5.3.2 Ilmanvaihdon tilavuusvirran ja paine-erojen mittaus

Ensimmäisessä vaiheessa mitattiin ilmanvaihdon tilavuusvirrat 8386 VelociCalc Plus –ilmastointimittarilla. Mittarissa on kuumalanka-anemometri tilavuusvirran mittausta varten, jonka tarkkuus on tilavuusvirtamittauksessa ± 3 % lukemasta. Tilavuusvirtojen mittauksessa apuna käytettiin BoVent-anemometritorvea. Sen K-kerroin on 9,5. Kuvassa 34 on esitetty mittalaitteet. Paine-eromittauksia varten mittarissa on pitot-putki, jonka tarkkuus on $\pm 1,5$ %.



Kuva 34. Ilmastointimittari ja anemometritorvi.

Molempien vaiheiden ajan mitattiin paine-eroa ulkoseinän yli huoneessa A Grant 1000 Series –loggeriin yhdistetyllä Furness Controls MO177 -paine-eromittarilla. Paine-eron mittausjärjestely on esitetty kuvassa 35. Loggerin tallennusväli oli 15 minuuttia. Paine-eromittari ja loggeri on kalibroitu nesteputkimanometrillä 24.3.2011 Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksen laboratoriossa. Kalibroitipöytäkirja on liitteenä 4. Paine-eroa säädettiin menetelmän toisessa vaiheessa Blowerdoor Basic –laitteella, joka oli sijoitettuna pääoveen.



Kuva 35. Paine-eromittaus ulkoseinän yli sijaitsi huoneessa A.

5.3.3 Alipaineistus, ilmanvuotoluvun mittaus ja lämpökamerakuvaus

Menetelmän toisessa vaiheessa alipaineistus suoritettiin Blowerdoor Basic –laitteella. Laitte on esitetty kuvassa 36. Alipaineen tavoitearvona käytettiin -10 Pa ensimmäisen vuorokauden ajan ja toisen vuorokauden tavoitearvo oli -20 Pa. Laitteella mitattiin myös rakennuksen ilmavuotoluku toisen vaiheen päätteeksi.



Kuva 36. Blowerdoor Basic-laite asennettuna huoneiston pääoveen.

Laite voidaan asentaa ovi- tai ikkuna-aukkoon säädettävän kehyksen ansiosta. Puhaltimien eteen asetettavien kursterenkaiden avulla voidaan säätää karkeasti haluttua paine-eroa ja tilavuusvirtaa. Puhaltimen moottori säätää pyörimisnopeutensa haluttuun paineroon. Tilavuusvirta ja paine-ero ulkovaipan yli päivittyvät jatkuvasti tietokoneen näyt-

töön. Laitetta voidaan ohjata käsikäytöllä tai laite tekee automaattisesti tiiveysmittauksen standardin EN 13829 mukaan.

Kohteesta rakennuksen muihin osiin johtavat väliovet tiivistettiin 0,2 mm höyrinsulkumuovilla valmistelevien toimenpiteiden aikana. Menetelmän toisen vaiheen aluksi kohteen ilmanvaihtoventtiilit tukittiin, ja viemärien vesilukkoihin lisättiin vettä, kuten oli tehty valmistelevien toimenpiteiden aikaan. Osa venttiileistä teipattiin 0,2 mm höyrinsulkumuovilla ja osaan venttiileistä asennettiin kumipallo, joka pumpattiin tiiviisti kanavan reunoja vasten.

Ilmanvuotoluvun määrittämiseen tarkoitettu Blowerdoor Basic -laite asennettiin pääoveen. Aluksi laitetta koekäytettiin ja samalla varmistettiin kaikkien tiivistettyjen ovien ilmanpitävyys. Mikäli paljaalla kädellä tuntui ilmavirtaa, vuotokohta tiivistettiin teippaamalla.

Koekohteen vaipan epätiiviyiskohtia tutkittiin kahdella tapaa. Ensimmäinen koekohteen ulkoseinät lämpökuvattiin alipaineessa -20 Pa. Toiseksi koekohteen ilmanvuotoluku n_{50} mitattiin standardin SFS-EN 13829 mukaisesti.

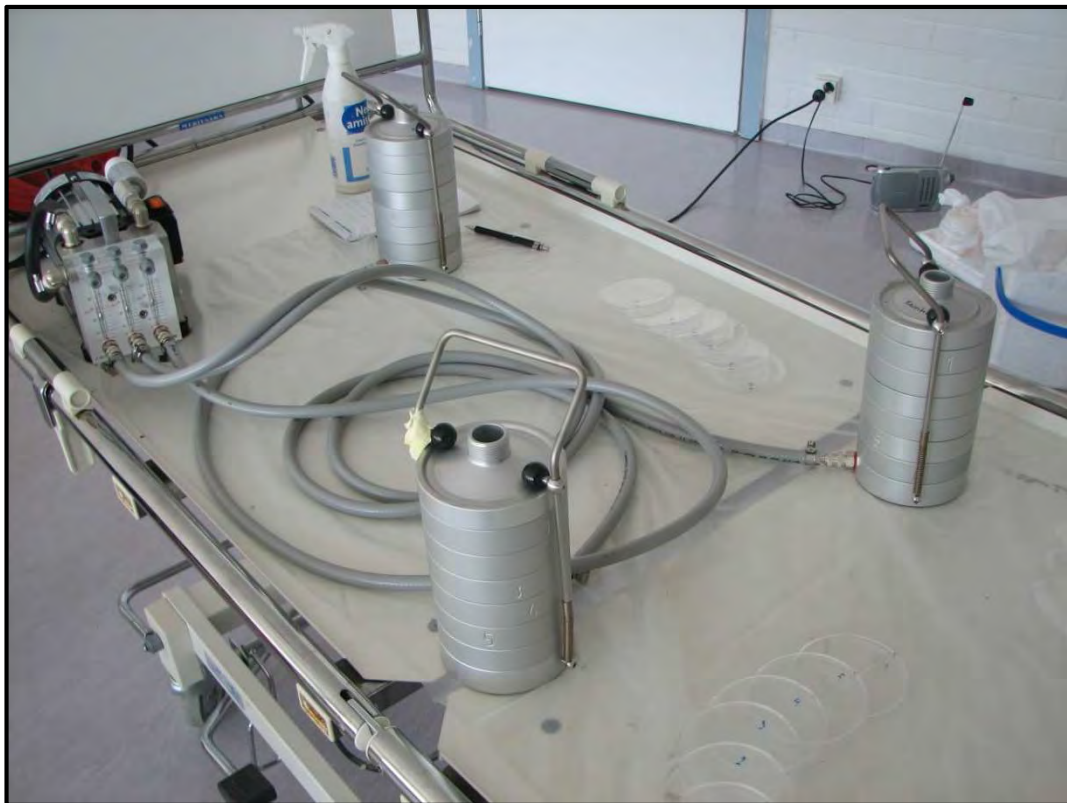
Lämpökuvaus suoritettiin 1.4.2011. Kuvaajana toimi työtekniikko Erkki Vähäsöyrinki VTT:sta. Lämpökuvausraportti on liitteenä 1. Lämpökuvausraportissa huone C on merkitty virheellisesti huoneeksi D ja huone D huoneeksi C.

5.3.4 Ilmanäytteiden otto ja analysointi

Ilmanäytteiden avulla tutkittiin sisäilman mikrobien määrää. Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa otettiin viisi ilmanäytettä. Näytteet otettiin huoneista A, B, C, D ja E. Toisen vaiheen alipaineistuksen aikana otettiin 20 ilmanäytettä, joista kymmenen otettiin -10 Pa tavoitepaineessa ja loput kymmenen -20 Pa tavoitepaineessa. Toisen vaiheen näytteet otettiin huoneista A, B, C ja D. Ilmanäytteiden ottamisajankohdat on esitetty taulukossa 15. Lisäksi otettiin ilmanäytteet koehuoneiston viereisen huoneiston oleske-

lutilasta (koehuoneiston huonetta D vastaava tila), rakennuksen ryömintätalasta, kellarin käytävältä ja yläpohjasta koehuoneiston yläpuolelta.

Ilmanäytteet otettiin kolmella 6-vaiheimpaktoreilla eli Andersen-keräimillä. Andersen-keräin ja pumppu on esitetty kuvassa 37. Keräimien läpi imettiin ilmaa pumpulla, jolloin sisäilmassa olevat mikrobit kulkeutuivat ilmavirran mukana keräimen kasvatusalustoille. Kukin näyte otettiin yhdellä kerralla eli pumppuun oli yhdistettynä kolme impaktoria. Andersen -keräimien sisälle tuli erikokoisten siivilöiden jakamaan kuuteen tasoon kasvatusalustoina toimivia maljoja. Sienille käytettiin kahta kasvatusalustaa, mallasuu-tealustaa (Hagem-agar) ja dikloranglyseroli (DG18) -kasvatusalustaa. Bakteereille käytettiin tryptoni-hiivauuteglukoosiagar(THG) -kasvatusalustaa.



Kuva 37. Andersen-keräimet ja pumppu. Kukin keräin muodostuu kuudesta siivilästä, joiden reikien koko pienenee alaspäin mentäessä.

Ilmanäytteiden ottaminen tapahtui Asumisterveysoppaassa esitettyjen ohjeiden mukaan. Näytteet otettiin kunkin huoneen oleskeluvyöhykkeeltä, noin 1 metrin korkeudelta. Ennen jokaista mittausta Andersen-keräimet puhdistettiin 70 %:lla alkoholilla ja kuivatettiin huolellisesti käsipyyhepaperilla. Keräimet asetettiin alkoholilla puhdistetun muovialustan päälle. Keräimien läpi imettiin sisäilmaa pumpulla poikkeuksellisella ilmavirralla 20,0 l/min normaalia pidemmän ajan 14 minuutin ajan. Ilmaa imettiin siten kunkin keräimen läpi 280 litraa. Näytteenoton jälkeen samaan sarjaan kuuluvat maljat teipattiin yhteen ja näytteen kolme yhteenteipattua sarjaa laitettiin samassa muovipussissa eristettyyn kuljetuslaatikkoon.

Ryömintätilan ilmanäyte otettiin muista näytteistä poikkeavasti. Ryömintätilaan johtavan tuuletusrakoon asennettiin puhdas 0,2 mm höyrinsulkukalvo ”putkeksi”. Keräimet ja pumppu sijoitettiin putkeen jolloin keräimien läpi kulkeva ilma tuli ryömintätilasta. Koejärjestely on esitetty kuvassa 38.



Kuva 38. Ryömintätilaisen alapohjan ilmanäytteen koejärjestely.

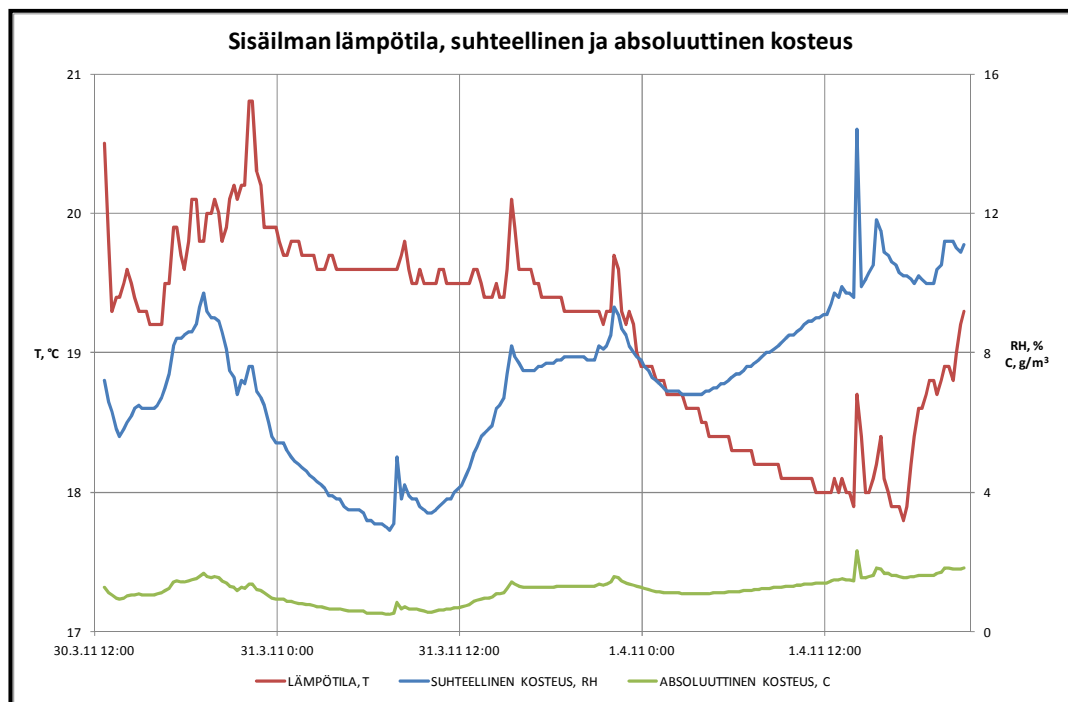
Maljat toimitettiin pääasiassa mittauspäivänä laboratorioon, osa maljoista toimitettiin mittausta seuraavana päivänä laboratorioon. Maljoista määritettiin Työterveyslaitoksen Oulun toimipisteessä akkreditoidulla menetelmällä bakteeri-, aktinomykeetti- ja sienipitoisuudet sekä sienten suvut. Sienten tunnistus tehtiin viljelyn ja mikroskopoinnin avulla. Asumisterveysohjeen (2003, s. 82-83) mukaan maljoja kasvatetaan alaspäin käännettynä 22...28 °C:ssa viikon ajan (bakteerit ja sienet) ja kahden viikon ajan (aktinomykeetit). Kasvatusajan päätyttyä maljoilta lasketaan mikrobipesäkkeiden määrä, joka jaetaan ilmanäytteen tilavuudella, jolloin saadaan pesäkkeen muodostavien yksikköjen määrä ilmakeuutiota kohden (cfu/m³).

6 TULOKSET

Koekohteen mittausten tulokset on esitetty tässä kappaleessa jaettuna menetelmän kolmeen vaiheeseen. Ennen varsinaisia vaiheita käsitellään ulko- ja sisäolosuhteet mittausten aikana. Lopuksi käsitellään tulosten luotettavuutta.

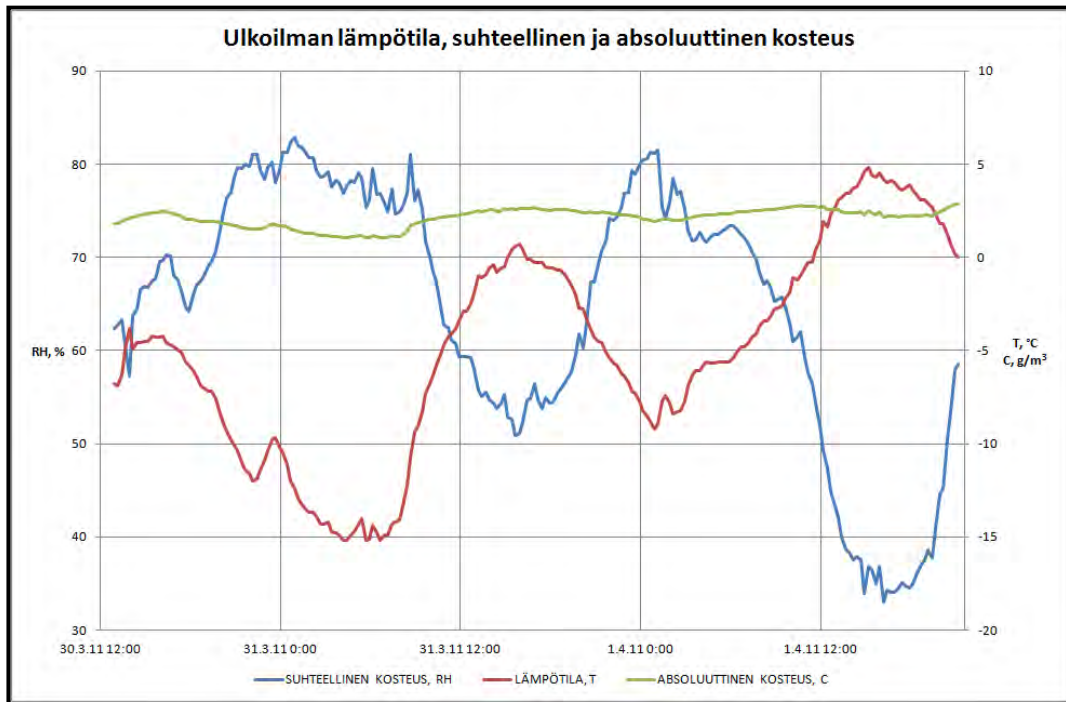
6.1. ULKO JA SISÄ – OLOSUHTEET MITTAUSTEN AIKANA

Huoneen A sisäilman lämpötila, suhteellinen ja absoluuttinen kosteus on esitetty kuvassa 39. Ulkoilman lämpötila suhteellinen ja absoluuttinen kosteus on esitetty kuvassa 40.



Kuva 39. Sisäilman lämpötila, suhteellinen ja absoluuttinen kosteus huoneessa A mittausten aikana. Vasemmalla pystyakselilla lämpötilan asteikko ja oikealla suhteellisen sekä absoluuttisen kosteuden asteikko.

Sisäilman lämpötila vaihteli 18...21 °C:n välissä. Lämpötila oli laskusuunnassa mittausten aikaan, mikä johtui lisääntyneestä ilmanvaihtuvuudesta alipaineistuksen myötä. Sisäilman suhteellinen kosteus oli alhainen ja vaihteli 4...15 RH-% välissä. Lämpötilan laskun myötä suhteellinen kosteus nousi. Absoluuttinen kosteus oli 0,5...2,3 g/m³.



Kuva 40. Ulkoilman lämpötilä, suhteellinen ja absoluuttinen kosteus mittausten aikana. Vasemmalta pystyakselilla suhteellisen kosteuden asteikko.

Ulkoilman lämpötilä vaihteli mittausten aikana $-15...+5\text{ °C}$:n välissä. Öisin lämpötilä laski ja päivällä kevätaurinko lämmitti ilmaa. Suhteellinen kosteus vaihteli $30...80\text{ RH}\%$. Päivisin suhteellinen kosteus nousi. Absoluuttinen kosteus oli $1,0...2,5\text{ g/m}^3$.

Lumi pysyi vielä maassa viimeisenä mittauspäivänä, ainoastaan autoteiden pinnat olivat puhtaita lumesta. Lumen ollessa maassa ulkoilmassa on hyvin vähän mikrobeja.

6.2. ENSIMMÄISEN VAIHEEN TULOKSET

Menetelmän ensimmäisen vaiheen tutkimukset suoritettiin normaalissa käyttötilanteessa. Poistoilmanvaihto oli päällä. Vaiheessa tutkittiin kohteen ilman mikrobipitoisuutta viidellä sisäilmanäytteellä, jotka otettiin Andersen-keräimellä. Lisäksi mitattiin ilmanvaihdon tilavuusvirrat ja painesuhteet ulko- ja sisäilman välillä normaalissa käyttötilanteessa.

6.2.1 Ilmanäytteiden mikrobit normaalissa käyttötilanteessa

Normaalissa käyttötilanteessa otettiin viisi ilmanäytettä (näytteet 1...5) Andersen-keräimellä 30.3.2011. Ilmanäytteet analysoitiin Työterveyslaitoksella Oulussa. Ilmanäytteiden mikrobianalyysi on liitteessä 2. Ilmanäytteiden mikrobianalyysin sieni- ja bakteeripitoisuudet on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Ilmanäytteiden mikrobianalyysin sieni- ja bakteeripitoisuudet (cfu/m³) normaalissa käyttötilanteessa. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

NUMERO	ILMÄNÄYTTEET				TULOS		
	PVM	KELLO	RAKENNUS	TILA	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
1	30.3.2011	12:26 - 12:40	PK 4	Huone A	7	4	57
2	30.3.2011	12:59 - 13:13	PK 4	Huone B	-	7	36
3	30.3.2011	13:25 - 13:39	PK 4	Huone E	4	4	21
4	30.3.2011	13:49 - 14:03	PK 4	Huone D	4	12 (*)	93
5	30.3.2011	14:16 - 14:30	PK 4	Huone C	4 (*)	4	114 (*)

Ilmanäytteiden mikrobianalyysin mukaan koekohteen mikrobipitoisuudet ovat pieniä. Normaalin käyttötilanteen ilmanäytteiden sieni-itiöiden määrän mediaani on 7 cfu/m³, mikä on vain niukasti suurempi kuin menetelmän määrittämysraja 4 cfu/m³. Bakteerien määrät ovat normaaleja.

Lajiston osalta huoneista C ja D otetuissa näytteissä oli kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja mutta niiden määrät olivat niukkoja. Näytteessä 4 (huone D) oli *aspergillus penicillioides* -sientä niukasti, 4 cfu/m³. Näytteessä 4 oli lisäksi *Aspergillus ustus* -sientä saman verran ja punaista hiivaa saman verran. Näytteessä 5 (huone C) oli *aspergillus versicolor* -sientä niukasti, 4 cfu/m³. Lisäksi näytteessä 5 oli *streptomyces* -bakteeria niukasti, 4 cfu/m³.

6.2.2 Ilmanvaihto ja painesuhteet normaalissa käyttötilanteessa

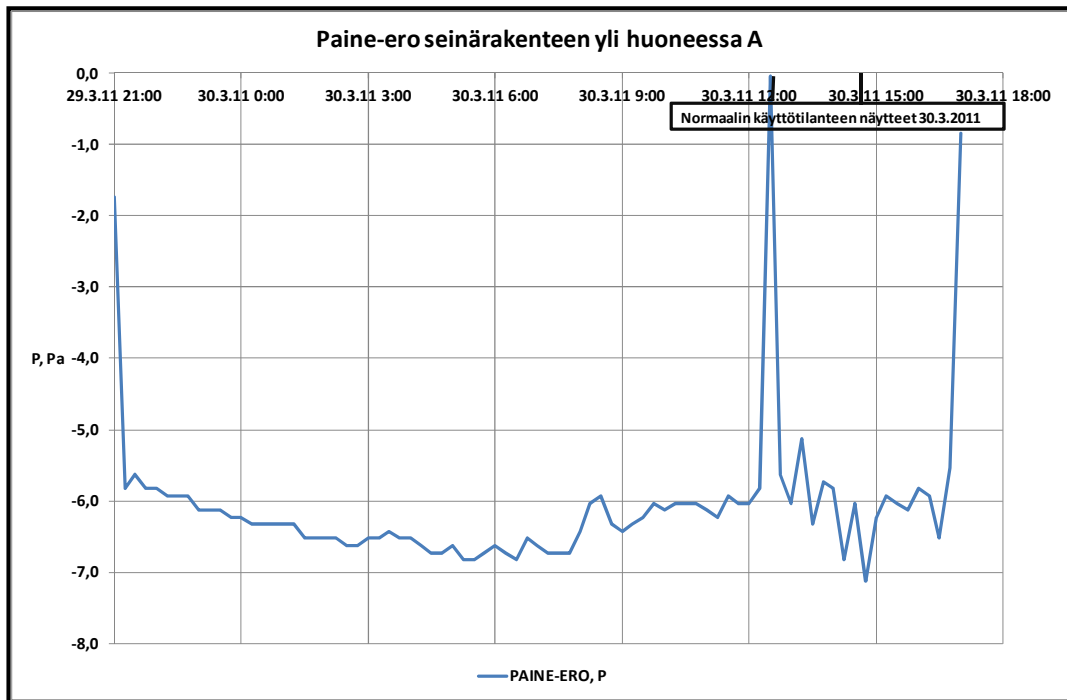
Ilmanvaihdon poistoventtiilien ilmavirrat mitattiin 29.3.2010. Huoneiston 1 poistoilman mitatut ja suunnitellut tilavuusvirrat on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Poistoilman tilavuusvirrat koehuoneistossa mittauksen ja suunnitelmien mukaan.

Solu 1 - poistoilmakanavien tilavuusvirrat 29.03.10				
Huone	Kanava	Mitattu tilavuusvirta (l/s)	Mitattu tilavuusvirta (m ³ /h)	Suunnitelmien mukainen tilavuusvirta (m ³ /h)
A	Poisto	25,5	92	90
B	Poisto	12,3	44	60
C	Poisto 1	ei mitattu	ei mitattu	80
C	Poisto 2	ei mitattu	ei mitattu	80
D	Poisto 1	22,3	80	100
D	Poisto 2	21,8	78	100
E	Poisto	27	97	90
F	Poisto	15,9	57	30
KEITTIÖ	Poisto	11,3	41	30

Tilavuusvirrat poikkesivat viiden ilmanvaihtoventtiilin osalla suunnitellusta yli 25 prosenttia. Koko huoneiston poistoilman tilavuusvirta poikkesi kymmenellä m³/h suunnittelun tilavuusvirrasta eli ero suunniteltuun tilavuusvirtaan oli vain 2 prosenttia. Huoneen C tilavuusvirtoja ei voitu mitata, koska venttiilit olivat kaappien väleissä. Huoneen C poistoilmakanavat johtavat käytävälle eli niiden merkitys on vain huoneiston sisäisinä siirtoilmakanavina. Tilan ilmanvaihtoluku on 1,1 1/h, joten ilmanvaihtuvuus tilassa on riittävä.

Jatkuvan paine-eromittauksen tulokset on esitetty kuvassa 41. Paine-eromittauksen mukaan rakennus on lievästi alipaineinen, kun poistoilmanvaihto on päällä. Sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero vaihteli -6,8...-5 Pa. Juuri ennen sisäilmanäytteiden ottoa ilmanvaihtokone sammutettiin hetkeksi, mikä näkyy alipaineen pienenemisenä ennen mittauksien alkua. Ilmanvaihtokoneen sammutuksella ennen sisäilmanäytteiden ottoa varmistettiin koneen sammutuksen ja käynnistyksen onnistuminen.



Kuva 41. Paine-ero seinärakenteen yli huoneessa A 29.3. – 30.3.2011. Normaalin käyttötilanteen ilmanäytteiden ottoaika on merkitty kuvaan. Negatiivinen paine-ero tarkoittaa huonetilassa olevaa alipainetta ulkoilmaan verrattuna.

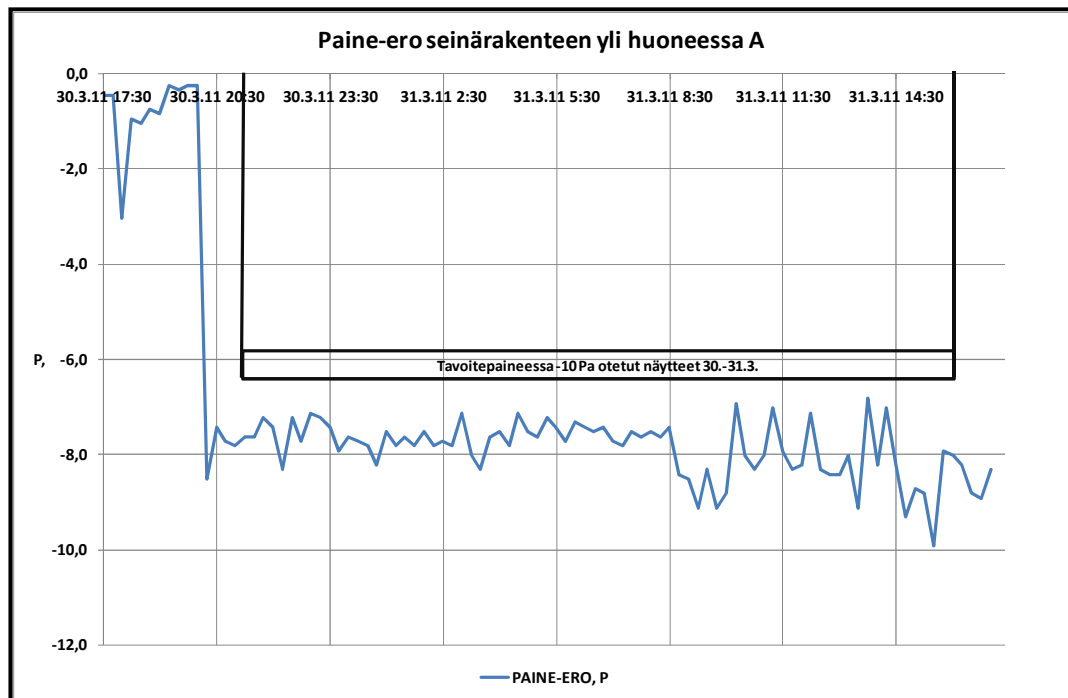
6.3. TOISEN VAIHEEN TULOKSET

Menetelmän toisen vaiheen tutkimukset suoritettiin, kun varsinainen ilmanvaihto oli suljettu ja tilaan luotiin alipaine ilmanpitävyyden mittaukseen tarkoitetulla laitteella. Ensimmäisen vuorokauden ajan tavoitepaine oli -10 Pa ja toisen vuorokauden ajan -20 Pa. Vaiheessa tutkittiin koekohteen ilman mikrobipitoisuutta yhteensä 20 sisäilmanäytteellä, jotka otettiin Andersen-keräimellä. Lisäksi otettiin yksittäiset ilmanäytteet myös ryömintätalaisesta alapohjasta, kellarista, yläpohjasta ja koekohteen viereisestä huoneistosta. Ilmavuotokohdat määritettiin lämpökamerakuvauksen avulla, kun alipaine oli noin -20 Pa. Paine-eroa ulko- ja sisäilman välillä mitattiin erillisellä paine-eromittarilla. Toisen vaiheen lopuksi mitattiin rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50} .

6.3.1 Painesuhteet ja ilmanvaihto alipaineessa

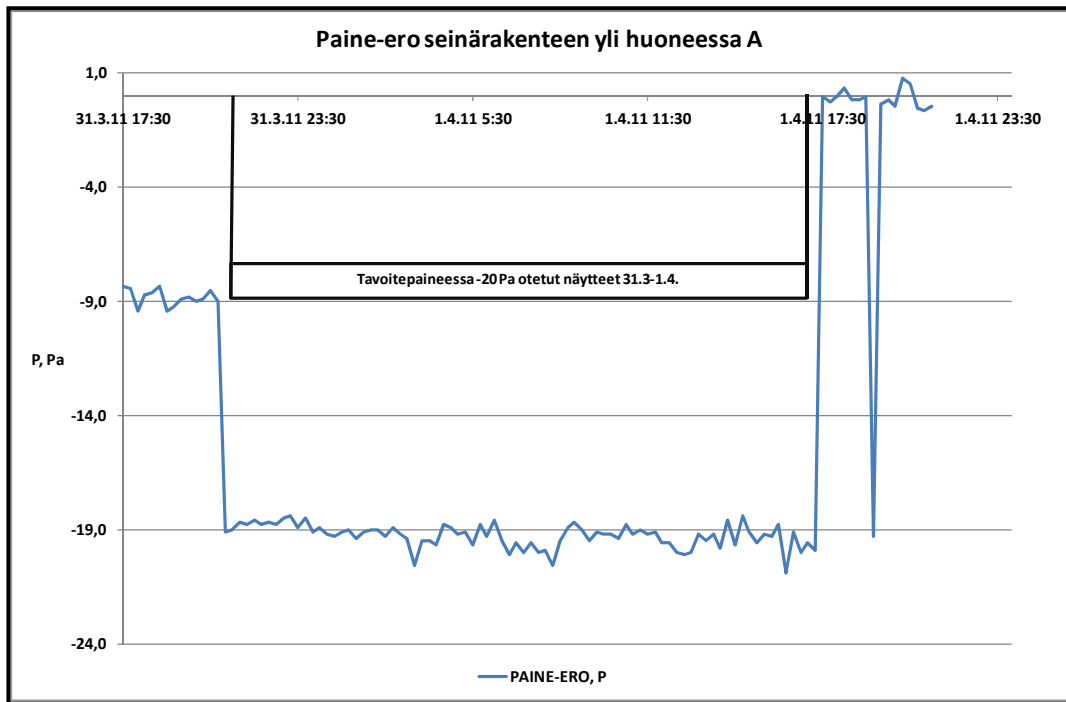
Menetelmän toisessa vaiheessa ilmatiiviyden mittaukseen tarkoitettu laite asennettiin koekohteen pääoveen ja käynnistettiin 30.3.2011 klo 21. Tavoitepaineena oli -10 Pascalin alipaine. Laite mittasi paine-eroa oven ylitse ja pyrki pitämään paineen tavoitteessa.

Paine-eron mittauspisteessä huoneessa A, toisella puolen rakennusta, rakennuksen seinärakenteen yli mitattu paine-ero vaihteli alipaineistuksen myötä -9,9...-7,1 Pa välillä. Paine-ero mittauspisteessä on esitetty kuvassa 42.



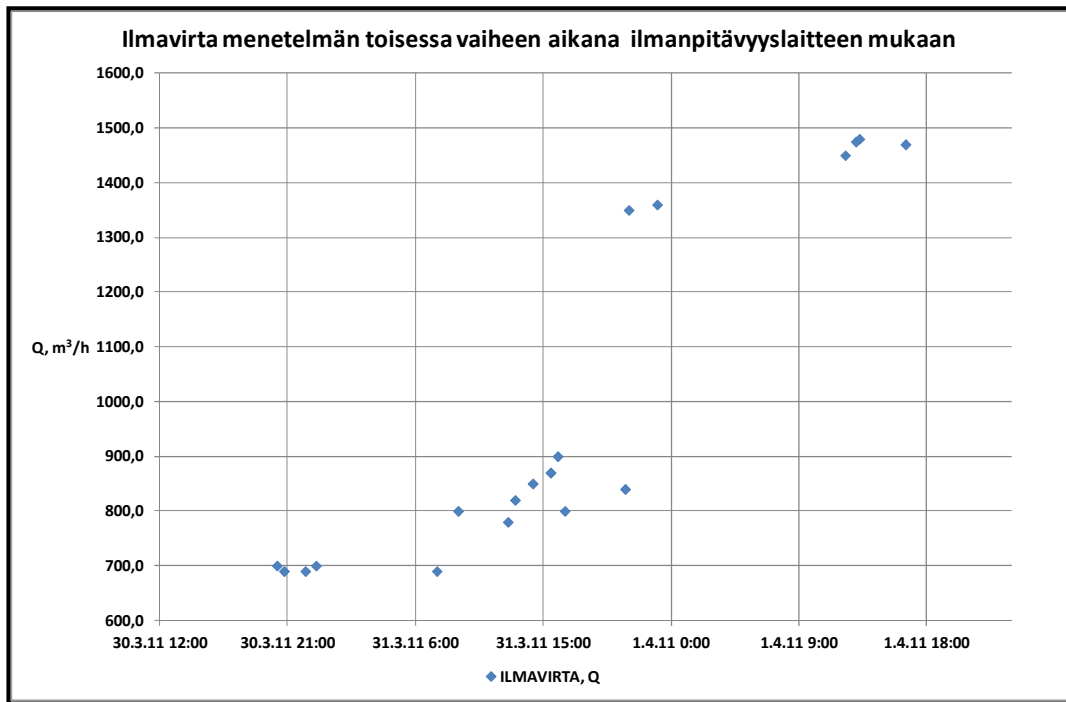
Kuva 42. Paine-ero vaipan yli huoneessa A 30.3. – 31.3.2011. Näytteiden ottoaika on merkitty kuvaan. Negatiivinen paine-ero tarkoittaa huonetilassa olevaa alipainetta ulkoilmaan verrattuna.

31.2.2011 klo 21 tavoitepaineeksi muutettiin -20 Pa alipaine. Tällöin paine-ero mittauspisteessä vaihteli -20...-18 Pa välillä. Paine-ero on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43. Paine-ero vaipan yli huoneessa A 30.3. – 31.3.2011. Näytteiden ottoaika on merkitty kuvaan. Negatiivinen paine-ero tarkoittaa huonetilassa olevaa alipainetta ulkoilmaan verrattuna.

Menetelmän toisessa vaiheessa rakennuksen ilmanvaihto oli poissa käytöstä. Alipaineistuslaitteen puhaltimen ilmavirtaa seurattiin laitteen ohjelmiston ruudulta ja ilmavirran arvoja merkittiin hajanaisesti ylös. Kuvassa 44 on esitetty kirjatut poistoilmavirrat. Ilmavirta -10 Pascalin tavoitepaineen aikana vaihteli 690...900 m³/h. Ilmanvaihtoluku n oli siten 1,5...2,0 1/h. Ilmavirta -20 Pascalin tavoitepaineen aikana vaihteli 1350...1490 m³/h. Ilmanvaihtoluku n oli siten 3,0...3,5 1/h.



Kuva 44. Hetkellisiä poistoilmavirtoja alipaineistuslaitteen kautta menetelmän toisen vaiheen aikana.

6.3.2 Ilmanäytteiden mikrobit alipaineessa

Menetelmän toisessa vaiheessa otettiin alipaineessa yhteensä 20 ilmanäytettä. Ilmanäytteet analysoitiin Työterveyslaitoksella Oulussa. Ilmanäytteiden mikrobianalyysi on liitteessä 2.

Ensin otettiin **tavoitepaineessa -10 Pa** kymmenen ilmanäytettä (näytteet 6...15) Andersen-keräimellä 30.3. – 31.3.2011. Ilmanäytteiden mikrobianalyysin mukaan koekohteen mikrobipitoisuudet ovat pieniä. Tavoitepaineessa -10 Pa otettujen ilmanäytteiden sieni-itiöiden määrän mediaani on 6 cfu/m^3 , mikä on vain niukasti suurempi kuin menetelmän määrittämysraja 4 cfu/m^3 . Bakterien määrät ovat normaaleja. Ilmanäytteiden mikrobianalyysin sieni- ja bakteripitoisuudet on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Tavoitepaineessa -10 Pa otettujen ilmanäytteiden mikrobianalyysin sieni- ja bakteeripitoisuudet. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

ILMÄNÄYTTEET							
NUMERO	PAIKKA				TULOS		
	PVM	KELLO	RAKENNUS	TILA	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
6	30.3.2011	21:01 - 21:15	PK 4	Huone C	4	4	68 (*)
7	30.3.2011	21:38 - 21:52	PK 4	Huone D	8 (*)	7 (*)	46
8	30.3.2011	22:06 - 22:20	PK 4	Huone A	-	11	68
9	30.3.2011	22:35 - 22:49	PK 4	Huone B	4	-	71 (*)
10	31.3.2011	8:02 - 8:16	PK 4	Huone D	4	8 (*)	36
11	31.3.2011	12:40 - 12:54	PK 4	Huone D	4	4	28
12	31.3.2011	14:06 - 14:20	PK 4	Huone C	4	-	32
13	31.3.2011	14:52 - 15:06	PK 4	Huone B	4	-	39 (*)
14	31.3.2011	15:20 - 15:34	PK 4	Huone A	18 (*)	12 (*)	132
15	31.3.2011	15:49 - 16:03	PK 4	Huone D	16 (*)	15 (*)	50

Lajiston osalta huoneista A, B, C ja D otetuissa näytteissä oli kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja mutta niiden määrät olivat niukkoja. Näytteessä 6 (huone C) oli *streptomyces* -bakteeria 4 cfu/m³. Näytteessä 7 (huone D) oli *oidiodendron* -sientä 4 cfu/m³ ja *aspergillus penicillioides* -sientä 7 cfu/m³. Näytteessä 9 (huone B) oli *streptomyces* -bakteeria 7 cfu/m³. Näytteessä 10 (huone D) oli *aspergillus fumigatus* ja *wallemia* -sieniä, molempia 4 cfu/m³. Näytteessä 13 (huone B) oli *streptomyces* -bakteeria 4 cfu/m³. Näytteessä 14 (huone B) oli *aspergillus fumigatus* -sientä 11 cfu/m³ ja *eurotium* -sientä 7 cfu/m³. Näytteessä 15 (huone D) oli *aspergillus fumigatus* -sientä 4 cfu/m³ ja *aspergillus ochraceus*-sientä, 7 cfu/m³.

Tavoitepaineessa -20 Pa otettiin kymmenen ilmanäytettä (näytteet 16...25) 31.3. – 1.4.2011. Ilmanäytteiden mikrobianalyysin sieni- ja bakteeripitoisuudet on esitetty taulukossa 19. Ilmanäytteiden mikrobianalyysin mukaan koekohteen mikrobipitoisuudet ovat pieniä. Tavoitepaineessa -20 Pa otettujen ilmanäytteiden sieni-itiöiden määrän mediaani on 8 cfu/m³. Bakteerien määrät ovat normaaleja.

Taulukko 19. Tavoitepaineessa -20 Pa otettujen ilmanäytteiden mikrobianalyysin sieni- ja bakteeripitoisuudet. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

NUMERO	ILMÄNÄYTTEET						
	PAIKKA				TULOS		
	PVM	KELLO	RAKENNUS	TILA	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
16	31.3.2011	21:32 - 21:46	PK 4	Huone C	8	4	14
17	31.3.2011	22:06 - 22:20	PK 4	Huone A	-	4	50
18	31.3.2011	22:34 - 22:48	PK 4	Huone B	-	-	86
19	31.3.2011	23:01 - 23:15	PK 4	Huone D	4	8	71 (*)
20	1.4.2011	12:27 - 12:41	PK 4	Huone D	-	12	21
21	1.4.2011	13:01 - 13:15	PK 4	Huone B	-	-	75 (*)
22	1.4.2011	15:25 - 15:39	PK 4	Huone A	11	12 (*)	71
23	1.4.2011	15:55 - 16:09	PK 4	Huone B	8 (*)	12 (*)	46
24	1.4.2011	16:24 - 16:38	PK 4	Huone D	-	-	50 (*)
25	1.4.2011	16:57 - 17:11	PK 4	Huone C	11	-	14

Lajiston osalta huoneista A, B ja D otetuissa näytteissä oli kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja mutta niiden määrät olivat niukkoja. Näytteessä 17 (huone A) oli *aspergillus versicolor* -sientä 4 cfu/m³. Näytteessä 19 (huone D) oli *streptomyces* -bakteeria 4 cfu/m³. Näytteessä 21 (huone B) oli *streptomyces* -bakteeria 4 cfu/m³. Näytteessä 22 (huone A) oli *wallemia* -sientä 4 cfu/m³ ja *aspergillus penicillioides* -sientä 4 cfu/m³. Näytteessä 23 (huone D) oli *aspergillus fumigatus* -sientä 4 cfu/m³, *aspergillus ochraceus* -sientä 4 cfu/m³, *aspergillus penicillioides* -sientä 4 cfu/m³ ja *acremonium* -sientä 4 cfu/m³. Näytteessä 24 (huone D) oli *streptomyces* -bakteeria 4 cfu/m³.

6.3.3 Epätiiviyshkohdat

Koekohteen vaipan epätiiviyshkohtia tutkittiin kahdella tapaa. Ensinnäkin koekohteen ulkoseinät lämpökuvattiin alipaineessa -20 Pa. Toiseksi koekohteen ilmanvuotoluku n₅₀ mitattiin standardin SFS-EN 13829 mukaisesti.

Lämpökuvaus suoritettiin 1.4.2011. Kuvaajana toimi työtekniikko Erkki Vähäsöyrinki VTT Expert Oy:stä. Lämpökuvauksen perusteella pahimmat ilmapuotokohdat olivat ikkunoiden puitteissa, seinän ja lattian rajassa sekä seinän ja katon rajassa. Lämpökuvausraportti on liitteenä 1, lämpökuvausraportissa huoneet C ja D ovat vaihtaneet paikkaa. Seuraavassa on esitetty tiivistettynä lämpökuvausraportin johtopäätökset huoneittain.

Epätiiviyshkohdat huoneessa A päätyseinällä sijaitsivat katon rajassa, nurkassa, levysaumassa. Lattian rajassa oli niukkaa vuotoa. Pitkällä seinällä oli ikkunoiden yläpuolella runsaita vuotoja sekä nurkassa ja lattian rajassa rankaseinällä vuotoa.

Huoneen B pitkällä seinällä epätiiviyshkohdat sijaitsivat lattian rajassa ja nurkassa. Lisäksi lämpökuvauus viittaa kosteusvaurioon sokkelissa. Pitkällä seinällä on myös eristeputteita. Rankaseinällä vuotokohdat sijaitsivat ala- ja yläosassa. Päätyseinällä epätiiviyshkohdat sijaitsivat levysaumoissa ja katon rajassa, jossa erittäin voimakas vuoto.

Lämpökuvauksen mukaan huoneen D rankaseinän reuna-alueilla on voimakkaat vuodot ja runkotolppien ympärillä seinän yläosassa. Kattoluukun kulmauksissa on ilmapuotoja.

Huoneen C rankaseinällä on karmivuotoa runsaasti, lisäksi lattian rajassa, nurkissa ja runkotolppien ympärillä on voimakas ilmapuoto.

Huoneen E rankaseinällä ilmapuotokohdat sijaitsivat rankaseinän liitoksessa tiiliseinään, ja ikkunan karmeissa. Yläpohjassa oli ilmapuotoa valaisimen ympärillä.

Huoneessa F epätiiviyshkohdat sijaitsivat rankaseinän liitoksessa tiiliseinään. Lisäksi ilmapuotokohta on yläpohjassa ilmanvaihtventtiilin juuressa.

Keittiössä vuotokohdat sijaitsivat pistorasiassa, rankaseinän ja tiiliseinän sekä rankaseinän ja yläpohjan liitoksessa.

Ilmanvuotoluku n_{50} mitattiin 1.4.2011. Olosuhteet mittauksen aikaan olivat hyvät. Ulkolämpötila oli mittauksen aikaan +1 °C ja sisälämpötila + 18 °C. Tuulennopeus oli noin 2 m/s. Ilmanvuotoluvuksi n_{50} saatiin 6,03 1/h alipainemenetelmällä. Tilan ilmanvuotoluku on heikko. Ilmanpitävyysmittauksen raportti on liitteenä 3.

Sekä ilmapitävyysluvun mittaus että lämpökamerakuvaus vahvistavat, että tilassa on runsaasti ilmapuutokohtia. Alapohjan ilmapuutokohtia ei tutkittu. Niiden tutkiminen onnistuu merkkisavuun.

6.3.4 Ympäröivien tilojen ilmanäytteiden mikrobit

Ympäröivistä tiloista otettiin ilmanäytteitä 1.4. ja 11.4.2011. Koekohteen vieressä olevan huoneiston oleskelutilasta 2 otettiin yksi ilmanäyte, koekohteen alapuolella osittain olevista kellarista ja ryömintätalasta yksi ilmanäyte sekä koekohteen yläpuolella olevasta yläpohjasta otettiin yksi ilmanäyte. Taulukossa 20 on esitetty ympäröivien tilojen ilmanäytteiden tulokset.

Taulukko 20. Koekohdetta ympäröivien tilojen ilmanäytteiden mikrobianalyysin sieni- ja bakteeripitoisuudet. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

NUMERO	ILMÄNÄYTTEET						
	PAIKKA				TULOS		
	PVM	KELLO	RAKENNUS	TILA	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
26	1.4.2011	20:04 - 20:18	PK 4	Oleskelutila 2	40	118 (*)	154
27	1.4.2011	20:45 - 20:59	PK 4	Ryömintätila	153 (*)	380 (*)	21 (*)
28	1.4.2011	21:14 - 21:28	PK 4	Kellari	461	715 (*)	86 (*)
29	11.4.2011	12:00 - 12:15	PK 4	Yläpohja	4	33	29

Ilmanäytteiden mikrobianalyysin mukaan koekohteen ympäröivien tilojen mikrobipitoisuudet ovat suurempia kuin tilassa. Sisätiloista otetut näytteet (26 ja 28) ylittivät Asumisterveysoppaan asunnoille tarkoitetun ja toimistoille suositellun (Salonen et al. 2011) viitearvot. Rakenteista otetut näytteet (27 ja 29) olivat hivenen koholla, mikä olikin odotettua. Sekä tuulettuvassa ylä- ja alapohjissa on tutkimustiedon mukaan yleisesti jonkin verran mikrobeja. Myös ennen varsinaisia mittauksia tehdyssä katselmuksessa tehdyt havainnot antoivat viitteitä mikrobien löytymiselle.

Näytteessä 26 (viereinen oleskelutila 2) oli sieni-itiöitä 118 cfu/m³, mikä ylittää niukasti Asumisterveysoppaan asunnoille tarkoitetun ja toimistoille suositellun (Salonen et al. 2011) viitearvon. Lisäksi näytteessä oli *aspergillus penicillioides* –sientä 39 cfu/m³ ja *wallemia* –sientä 4 cfu/m³. Näytteessä oli bakteereja 154 cfu/m³.

Näytteessä 27 (alapohja) oli sieni-itiöitä 380 cfu/m³. Ryömintätilaisessa alapohjassa esiintyville mikrobeille ei ole määritelty viitearvoja ja mikrobien esiintyminen niissä on normaalia. Näytteessä oli *aspergillus penicillioides* -sientä 160 cfu/m³, *aspergillus versicolor* -sientä 4 cfu/m³, *eurotium* -sientä 15 cfu/m³ ja *wallemia* -sientä 40 cfu/m³. Näytteessä oli myös *streptomyces* -bakteeria 7 cfu/m³.

Näytteessä 28 (kellari) oli sieni-itiöitä runsaasti, 751 cfu/m³. Määrä ylittää reilusti sekä Asumisterveysoppaan asunnoille että toimistoille suositellun (Salonen et al. 2011) viitearvon reilusti. Näytteessä oli *aspergillus penicillioides* -sientä 8 cfu/m³, *eurotium* -sientä 15 cfu/m³ ja *wallemia* -sientä 40 cfu/m³. Näytteessä oli myös *streptomyces* -bakteeria 4 cfu/m³.

Näytteessä 29 (yläpohja) oli sieni-itiöitä niukasti, 33 cfu/m³. Näytteen mikrobisto ei ollut poikkeava lajiston osalta. Bakteereja oli niukasti.

6.4 TULOSTEN ANALYSOINTI

Ensimmäisen vaiheen ilmanäytteiden mikrobipitoisuudet ovat alhaiset, sieni-itiöiden mediaani on 7 cfu/m³. Mikrobien suvusto ei viittaa kosteusvaurioon, ainoastaan kahdessa näytteessä viidestä oli niukasti kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Siten rakennusta voidaan pitää lähes puhtaana pelkkien normaalinäytteiden perusteella.

Toisen vaiheen mikrobipitoisuudet ovat myös alhaiset, sieni-itiöiden mediaani -10 Pa alipaineessa on 6 cfu/m³ ja -20 Pa alipaineessa 8 cfu/m³. Alipaineessa -10 Pa kuudessa näytteessä kymmenestä oli kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Siten -10 Pa alipaineessa rakenteista on irronnut vuotoilmaan kosteusvauriomikrobeja, mikä viittaa rakenteissa oleviin ongelmiin. Alipaineessa -20 Pa kuudessa näytteessä kymmenestä oli kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Siten myös -20 Pa alipaineessa rakenteista on irronnut kosteusvauriomikrobeja, jotka ovat kulkeutuneet vuotoilman mukana sisäilmaan.

Mikrobisukujen osalta tuloksissa oli poikkeavuutta. Taulukossa 21 on esitetty kaikkien ilmanäytteiden analyysin mikrobisuvut ja määrät.

Taulukko 21. Kaikkien ilmanäytteiden mikrobien määrät mikrobisuvuttain ilmoitettuna. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

NUMERO	PAIKKA				Mikrobisuvusto ja määrät		
	PVM	KELO	VAIHE	TILA	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
1	30.3.2011	12:26 - 12:40	I	Huone A	Penicillium 7	hiivat, vaalea 4	57
2	30.3.2011	12:59 - 13:13	I	Huone B	-	Penicillium 7	36
3	30.3.2011	13:25 - 13:39	I	Huone E	Penicillium 4	Penicillium 4	21
4	30.3.2011	13:49 - 14:03	I	Huone D	Penicillium 4	A. penicillioides* 4 A. ustus* 4 hiivat, punainen* 4	93
5	30.3.2011	14:16 - 14:30	I	Huone C	A. Versicolor* 4	Penicillium 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 110
6	30.3.2011	21:01 - 21:15	II (-10 Pa)	Huone C	Cladosporium 4	hiivat, vaalea 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 64
7	30.3.2011	21:38 - 21:52	II (-10 Pa)	Huone D	Oidiodendron* 4 Penicillium 4	A. penicillioides* 7	46
8	30.3.2011	22:06 - 22:20	II (-10 Pa)	Huone A	-	Penicillium 11	68
9	30.3.2011	22:35 - 22:49	II (-10 Pa)	Huone B	Penicillium 4	-	Streptomyces* 7 Muut bakteerit 64
10	31.3.2011	8:02 - 8:16	II (-10 Pa)	Huone D	Penicillium 4	A. fumigatus* 4 Wallemia* 4	36
11	31.3.2011	12:40 - 12:54	II (-10 Pa)	Huone D	Penicillium 4	Penicillium 4	28
12	31.3.2011	14:06 - 14:20	II (-10 Pa)	Huone C	Penicillium 4	-	32
13	31.3.2011	14:52 - 15:06	II (-10 Pa)	Huone B	Aereobasidium* 4	-	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 35
14	31.3.2011	15:20 - 15:34	II (-10 Pa)	Huone A	A. fumigatus* 11 Eurotium* 7	A. fumigatus* 4 Aureobasidium* 4 Eurotium* 7	132
15	31.3.2011	15:49 - 16:03	II (-10 Pa)	Huone D	A. fumigatus* 4 A. ochraceus* 4 Cladosporium 4 Penicillium 4	A. ochraceus* 4 Cladosporium 4 hiivat, vaalea 4	50
16	31.3.2011	21:32 - 21:46	II (-20 Pa)	Huone C	Penicillium 4 hiivat, vaalea 4	Penicillium 4	14
17	31.3.2011	22:06 - 22:20	II (-20 Pa)	Huone A	-	A. versicolor* 4	50
18	31.3.2011	22:34 - 22:48	II (-20 Pa)	Huone B	-	-	86
19	31.3.2011	23:01 - 23:15	II (-20 Pa)	Huone D	Penicillium 4	Penicillium 4 steriilit 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 67
20	1.4.2011	12:27 - 12:41	II (-20 Pa)	Huone D	-	Aureobasidium* 4 Cladosporium 4 Penicillium 4	21
21	1.4.2011	13:01 - 13:15	II (-20 Pa)	Huone B	-	-	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 71
22	1.4.2011	15:25 - 15:39	II (-20 Pa)	Huone A	Penicillium 7 hiivat, vaalea 4	A. penicillioides* 4 Penicillium 4 Wallemia* 4	71
23	1.4.2011	15:55 - 16:09	II (-20 Pa)	Huone B	A. fumigatus* 4 basidiomykeetit* 4	A. ochraceus* 4 A. penicillioides* 4 Acremonium* 4	46
24	1.4.2011	16:24 - 16:38	II (-20 Pa)	Huone D	-	-	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 46
25	1.4.2011	16:57 - 17:11	II (-20 Pa)	Huone C	Penicillium 11	-	14
26	1.4.2011	20:04 - 20:18		Oleskelutila 2	basidiomykeetit* 18 Cladosporium 4 Penicillium 18	A. penicillioides* 39 Aureobasidium* 4 Cladosporium 39 Penicillium 32 Wallemia* 4	154
27	1.4.2011	20:45 - 20:59		Ryömintätila	A. versicolor* 7 basidiomykeetit* 7 Eurotium* 7 Monocillium 39 Penicillium 93	A. penicillioides* 160 A. versicolor* 4 Cladosporium 56 Eurotium* 15 hiivat, vaalea 4 Penicillium 100 Wallemia* 41	Streptomyces* 7 Muut bakteerit 14
28	1.4.2011	21:14 - 21:28		Kellari	Aureobasidium* 4 Cladosporium 55 Penicillium 402	A. penicillioides* 8 Cladosporium 254 Eurotium* 12 Penicillium 437 Wallemia* 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 82
29	11.4.2011			Yläpohja	Geothrichum 4	Cladosporium 11 Geothrichum 4 hiivat, vaalea 18	29

Huoneen A ilmanäytteissä ilmeni alipaineistuksen myötä kuusi sellaista mikrobisukua, joita ei ollut huoneen sisäilmassa normaalissa käyttötilanteessa. Taulukossa 22 on esitetty mikrobisuvut ja määrät huoneen A ja kellarin osalta. Huoneen A alapuolella on kellari. Kellarin näytteessä oli osin samoja uusia sukuja. Alipaineistuksen myötä mikrobit kulkeutuivat likaisesta tilasta puhtaaseen sinällään tiiviiltä näyttäneiden rakenteiden läpi. Kulkeutuneet mikrobit ilmenivät vain osassa otetuista ilmanäytteissä, joten mikrobin kulkeutuminen ei näytä olevan tasaista.

Taulukko 22. Huoneen A ja kellarin ilmanäytteiden mikrobisuvut ja määrät. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

HUONE A					MIKROBISUVUT JA MÄÄRÄT		
NUMERO	PVM	KELLO	TILA	VAIHE	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
1	30.3.2011	12:26 - 12:40	Huone A	I	Penicillium 7	hiivat, vaalea 4	57
8	30.3.2011	22:06 - 22:20	Huone A	II(-10 Pa)	-	Penicillium 11	68
14	31.3.2011	15:20 - 15:34	Huone A	II(-10 Pa)	A. fumigatus* 11 Eurotium* 7	A. fumigatus* 4 Aureobasidium° 4 Eurotium* 7	132
17	31.3.2011	22:06 - 22:20	Huone A	II(-20 Pa)	-	A. versicolor* 4	50
22	1.4.2011	15:25 - 15:39	Huone A	II(-20 Pa)	Penicillium 7 hiivat, vaalea 4	A. penicillioides* 4 Penicillium 4 Wallemia* 4	71
23	1.4.2011	21:14 - 21:28	Kellari		Aureobasidium° 4 Cladosporium 55 Penicillium 402	715 (*) A. penicillioides* 8 Cladosporium 254 Eurotium* 12 Penicillium 437 Wallemia* 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 82

Huoneen B ilmanäytteissä ilmeni alipaineistuksen myötä kuusi sellaista mikrobisukua, joita ei ollut huoneen sisäilmassa normaalissa käyttötilanteessa. Taulukossa 23 on esitetty mikrobisuvut ja määrät huoneen B ja ryömintätalaisen alapohjan osalta. Huoneen B alapuolella on ryömintätalainen alapohja. Vain osa uusista suvuista oli samoja kuin ryömintätalasta otetussa näytteessä. Siten huoneen B rakenteiden tiiviys lienee parempi verrattuna huoneeseen A. Toisaalta ryömintätalassakin esiintyneet bakteerit ilmenivät kolmessa alipainenäytteessä viidestä. Kyseisiä bakteereja ei havaittu huoneesta B normaalissa käyttötilanteen näytteessä. Kulkeutuneet mikrobit ilmenivät vain osassa otetuista ilmanäytteissä, joten mikrobin kulkeutuminen ei näytä olevan tasaista.

Taulukko 23. Huoneen B ja ryömintätilaisen alapohjan ilmanäytteiden mikrobisuvut ja määrät. (*)
 tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

HUONE B					MIKROBISUVUT JA MÄÄRÄT		
NUMERO	PVM	KELLO	TILA	VAIHE	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
2	30.3.2011	12:59 - 13:13	Huone B	I	-	Penicillium 7	36
9	30.3.2011	22:35 - 22:49	Huone B	II(-10 Pa)	Penicillium 4	-	Streptomyces* 7 Muut bakteerit 64
13	31.3.2011	14:52 - 15:06	Huone B	II(-10 Pa)	Aereobasidium° 4	-	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 35
18	31.3.2011	22:34 - 22:48	Huone B	II(-20 Pa)	-	-	86
21	1.4.2011	13:01 - 13:15	Huone B	II(-20 Pa)	-	-	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 71
23	1.4.2011	15:55 - 16:09	Huone B	II(-20 Pa)	A. fumigatus* 4 basidiomykeetit° 4	A. ochraceus* 4 A. penicillioides* 4 Acremonium* 4	46
24	1.4.2011	20:45 - 20:59	Ryömintätila		A. versicolor* 7 basidiomykeetit° 7 Eurotium* 7 Monocillium 39 Penicillium 93	A. penicillioides* 160 A. versicolor* 4 Cladosporium 56 Eurotium* 15 hiivat, vaalea 4 Penicillium 100 Wallemia* 41	Streptomyces* 7 Muut bakteerit 14

Huoneen C ilmanäytteissä ilmeni alipaineistuksen myötä kaksi sellaista mikrobisukua, joita ei ollut huoneen sisäilmassa normaalissa käyttötilanteessa. Taulukossa 24 on esitetty mikrobisuvut ja määrät huoneen C, ryömintätilan ja viereisen huoneiston osalta. Huoneen C alapuolella on ryömintätila ja vieressä toinen huoneisto. *Cladosporium*-mikrobisuku lienee kulkeutunut viereisestä huoneistosta. *Hiivat, vaalea*-mikrobisuku lienee kulkeutunut ryömintätilasta. Ryömintätilassa esiintyneet bakteerit ilmenivät kahdessa alipainenäytteessä viidestä. Kulkeutuneet mikrobit ilmenivät vain osassa otetuista ilmanäytteissä, joten mikrobien kulkeutuminen ei näytä olevan tasaista.

Taulukko 24. Huoneen C, ryömintätilan ja viereisen huoneiston ilmanäytteiden mikrobisuvut ja -määrät. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

HUONE C					MIKROBISUVUT JA MÄÄRÄT		
NUMERO	PVM	KELLO	TILA	VAIHE	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
5	30.3.2011	14:16 - 14:30	Huone C	I	A. Versicolor* 4	Penicillium 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 110
6	30.3.2011	21:01 - 21:15	Huone C	II(-10 Pa)	Cladosporium 4	hiivat, vaalea 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 64
12	31.3.2011	14:06 - 14:20	Huone C	II(-10 Pa)	Penicillium 4	-	32
16	31.3.2011	21:32 - 21:46	Huone C	II(-20 Pa)	Penicillium 4 hiivat, vaalea 4	Penicillium 4	14
25	1.4.2011	16:57 - 17:11	Huone C	II(-20 Pa)	Penicillium 11	-	14
26	1.4.2011	20:04 - 20:18	Oleskelu tila 2		basidiomykeetit° 18 Cladosporium 4 Penicillium 18	A. penicillioides* 39 Aureobasidium° 4 Cladosporium 39 Penicillium 32 Wallemia* 4	154
27	1.4.2011	20:45 - 20:59	Ryömin- tätila		A. versicolor* 7 basidiomykeetit° 7 Eurotium* 7 Monocillium 39 Penicillium 93	A. penicillioides* 160 A. versicolor* 4 Cladosporium 56 Eurotium* 15 hiivat, vaalea 4 Penicillium 100 Wallemia* 41	Streptomyces* 7 Muut bakteerit 14

Huoneen D ilmanäytteissä ilmeni alipaineistuksen myötä kaksi sellaista mikrobisukua, joita ei ollut huoneen sisäilmassa normaalissa käyttötilanteessa. Taulukossa 25 on esitetty mikrobisuvut ja määrät huoneen D osalta. Huone D oli sijaintinsa vuoksi ”kokoelma-tila”, jonka kautta vaipan kaikki mikrobit kulkeutuivat. Huoneessa D havaittiin eniten sukuja.

Taulukko 25. Huoneen D ilmanäytteiden mikrobisuvut ja määrät. (*) tarkoittaa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia.

HUONE D					MIKROBISUVUT JA MÄÄRÄT		
NUMERO	PVM	KELLO	TILA	VAIHE	Hagem (cfu/m ³)	DG18 (cfu/m ³)	THG (cfu/m ³)
4	30.3.2011	13:49 - 14:03	Huone D	I	Penicillium 4	A. penicillioides* 4 A. ustus° 4 hiivat, punainen° 4	93
7	30.3.2011	21:38 - 21:52	Huone D	II(-10 Pa)	Oidiodendron* 4 Penicillium 4	A.penicillioides* 7	46
10	31.3.2011	8:02 - 8:16	Huone D	II(-10 Pa)	Penicillium 4	A. fumigatus* 4 Wallemia* 4	36
11	31.3.2011	12:40 - 12:54	Huone D	II(-10 Pa)	Penicillium 4	Penicillium 4	28
15	31.3.2011	15:49 - 16:03	Huone D	II(-10 Pa)	A. fumigatus* 4 A. ochraceus* 4 Cladosporium 4 Penicillium 4	A. ochraceus* 4 Cladosporium 4 hiivat, vaalea 4	50
19	31.3.2011	23:01 - 23:15	Huone D	II(-20 Pa)	Penicillium 4	Penicillium 4 steriilit 4	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 67
20	1.4.2011	12:27 - 12:41	Huone D	II(-20 Pa)	-	Aureobasidium° 4 Cladosporium 4 Penicillium 4	21
24	1.4.2011	16:24 - 16:38	Huone D	II(-20 Pa)	-	-	Streptomyces* 4 Muut bakteerit 46

Taulukossa 26 on esitetty kussakin vaiheessa tunnistetut mikrobisuvut. Taulukon mukaan menetelmän ensimmäisessä vaiheessa havaittiin 7 lajia, joista 3 viittaa kosteusvaurioon ja kahden lajin indikaattorimerkitys on avoin. Tavoitepaineessa -10 Pa havaittiin 11 lajia, joista kuusi viittaa kosteusvaurioon ja yhden lajin indikaattorimerkitys on avoin. Havaituista lajeista seitsemän oli sellaisia, joita ei havaittu normaalin käyttötilan ilmanäytteissä. Tavoitepaineessa -20 Pa havaittiin 13 lajia, joista seitsemän viittaa kosteusvaurioon ja kahden lajin indikaattorimerkitys on avoin. Havaituista lajeista kahdeksan oli sellaisia, joita ei havaittu normaalin käyttötilan ilmanäytteissä. Siten alipaineistus näyttää lisänneen lajistoa sisäilmanäytteissä.

Taulukko 26. Kussakin vaiheessa esiintyneet tunnistetut mikrobisuvut. *-merkillä on korostettu lajit, jotka viittaavat kosteusvaurioon ja °-merkillä, joiden indikaattorimerkitys on avoin.

	I VAIHEEN SUVUT	II (-10 Pa) VAIHEEN SUVUT	II (-20 Pa) VAIHEEN SUVUT
Penicillium	x	x	x
hiivat, vaalea	x	x	x
A. Versicolor*	x		x
Streptomyces*	x	x	x
A. penicillioides*	x	x	x
A. ustus°	x		
hiivat, punainen°	x		
Cladosporium		x	
Oidiodendron*		x	
Aereobasidium°		x	x
A. fumigatus*		x	x
Eurotium*		x	
A. ochraceus*		x	x
Cladosporium		x	x
steriilit			x
Wallemia*			x
basidiomykeetit°			x
Acremonium*			x

Normaalin käyttötilanteen ilmanvaihdon ilmavirrat eroavat suunnitellusta, joten ilmanvaihdon säätö on tarpeellinen. Rakennuksen alipaine suhteessa ulkoilmaan on noin -5...-7 Pa, mitä voidaan pitää lievänä. Tuloilmakonetta on kuitenkin syytä pitää päällä, jotta riski epäpuhtauksien kulkeutumiseen ryömintätilasta vähenee. Lämpötila sisällä on normaali.

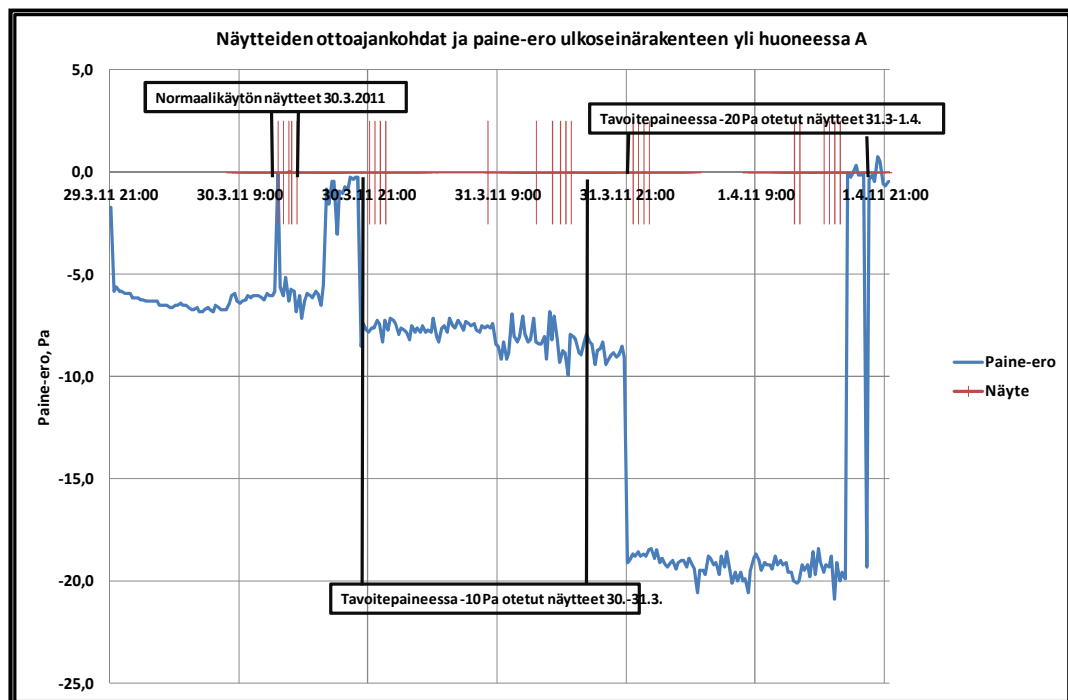
Rakenteiden ilmapuotokohdiksi tunnistettiin päätyseinien katon raja ja levysaumot, rankaseinien liitokset tiilirakenteiseen seinään, ala- ja yläpohjaan sekä ikkunoiden karmi-
vuodot. Alapohjan ilmapuotokohtia ei lämpökamerakuvauksella pystytty tunnistamaan, koska lämpötilaeroa ei ole. Lattian muovimattopinnoite on tiivis, joten alapohjan epätii-
viyskohdat sijaitsevat rankaseinän ja alapohjan liitoksen yhteydessä. Rakenteiden il-
manpitävyys on yleisesti ottaen huono, ilmapuotoluku n_{50} on 6,0.

Kellarin ja ryömintätilan mikrobipitoisuudet olivat suuret. Viereisten tilojen pitoisuudet eivät kuitenkaan vaikuttaneet koekohteen mikrobipitoisuuksiin, mikä johtunee ala- ja

välipohjalaatan (betoninen kaksoislaatta) hyvästä tiiveydestä. Osa ryömintätilassa ja kellarissa esiintyneistä mikrobisuvuista kulkeutui sisäilmaan alipaineistuksen myötä. Mikrobin kulkeutuminen alipaineistuksen myötä oli vähäistä.

6.5 TULOSTEN LUOTETTAVUUS

Useissa lähteissä (Asumisterveysopas 2009, Työterveyslaitos 2011, Meklin et al. 2007) sanotaan, että sisäilmanäytteissä on usein epävarmuutta, ilman mikrobipitoisuus voi vaihdella suuresti ajan ja paikan suhteen. Toisin sanoen yksittäisen näytteen edustavuus on pieni. Koekohteessa otettiin 29 näytettä, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina. Näytteen otto tapahtui koekohteen viidessä eri tilassa, mikä lisää luotettavuutta. Näytteet otettiin kuitenkin kohtuullisen lyhyen ajanjakson kuluessa, kolmen vuorokauden aikana. Näytteiden ottoajankohdat jakaantuivat tasaisesti kolmen vuorokauden ajalle, kuten kuvasta 45 on nähtävissä.



Kuva 45. Ilmänäytteiden ottoajankohdat merkittynä punaisella viivalla ja paine-ero ulkoseinän yli huoneessa A mittausten ajan.

Epäedullisissa olosuhteissa mikrobit voivat mennä lepotilaan, jolloin sisäilmanäytteen pitoisuudet ovat pieniä. Alipaineistuksella voi olla vaikutusta mikrobien elinkykyisyyteen mutta ainakaan tutkimuksessa (Pessi et al. 1999, s. 42-44 ja 65-66) -50 Pascalin alipaineistus ei aiheuttanut mikrobien lepotilaa, koska tutkimuksessa havaittiin tilassa sieni-itiöiden määrän nousu alipaineessa verrattuna normaalitilaan. Kyseisessä tutkimuksessa alipaineistuksen kesto oli vain tunteja.

Järjestelmällisen virhe näyttäisi mahdolliselta katsottaessa koekohteen huonetilojen mikrobipitoisuuksia, jotka olivat kaikki erittäin pieniä. Järjestelmällinen virhe on voinut aiheutua mittalaitteiden epäonnistuneesta puhdistuksesta. Kuitenkin ympäröivien tilojen mikrobipitoisuudet olivat korkeita, mikä sulkee pois järjestelmällisen virheen, koska jokainen näytteenotto ja mittalaitteiden puhdistus tehtiin samalla tavalla.

Menetelmän osalta luotettavuuden ja toimivuuden kannalta vain yhdessä kohteessa tehdyt tutkimukset eivät anna lopullista kuvaa mutta tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että menetelmä voidaan käyttää alipaineen vaikutuksen arviointiin. Menetelmällä ei kyetä ennako-oletuksen vastaisesti arviomaan, mistä rakenteista mikrobit kulkeutuvat. Menetelmällä kyetään mittaamaan alipaineen vaikutus sisäilman mikrobipitoisuuteen.

Menetelmän kehittämistä on edelleen jatkettava. Kehitettävää on erityisesti epätiiviyshohtien tunnistuksessa, joka onnistui vain ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden osalta koekohteessa. Alipaineistuksen toteuttaminen tutkittavan rakennuksen ilmanvaihtokoneella antaisi mahdollisesti lisätietoa ilmanvaihtokanavien tiiviyydestä. Ilmanvaihtokanavien epätiiviysho voi aiheuttaa mikrobien kulkeutumista sisätiloihin erityisesti yläpohjarakenteista. Sisäilman mikrobien terveydelle haitallisten tekijöiden arvioiminen toksisuutta mittaavalla menetelmällä antaisi lisätietoa. Menetelmän kehitystyö vaatii myös menetelmän käyttämistä useammassa ja erilaisissa rakenneratkaisuissa toteutetuissa rakennuksissa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Mikrobikasvuston syntymistä pienennetään ensisijaisesti varmistamalla rakenteiden pysyminen kuivana. Mikrobikasvusto käynnistyy rakenteissa, kun suhteellinen kosteus ylittää 80 % ja lämpötila 0 °C. Rakennusmateriaalien välillä esiintyy vaihtelua niihin muodostuvan mikrobikasvuston määrän ja lajiston osalta. Ylimääräistä vettä rakenteisiin kulkeutuu painovoimaisesti ja kapillaarisesti. Höyrynä vesi liikkuu konvektiolla ja diffuusiolla. Vanhoissa rakennuksissa on käytetty yleisesti rakenteita, joiden kosteustekninen toimivuus on huono. Näitä riskirakenteita on tutkittava aina tarkemmin kunto- tutkimustoimenpitein, sillä vain osa vaurioista voidaan havaita rakenteita rikkomattomilla menetelmillä.

Joissakin rakenteissa tai rakenteen osissa, kuten esimerkiksi maanvaraisen alapohjan täyttömässä, mikrobikasvusto on kuitenkin yleistä. Mikrobikasvuston ja sen terveydelle haitallisten tekijöiden kulkeutumista estetään rakennuksen ja ulkoilman painesuhteen tasapainolla sekä rakenteiden riittävällä tiiviydellä. Kostean sisäilman tiloissa, kuten uimahalleissa, seinien ja yläpohjien kosteusvaurioiden syinä on ollut kosteuskonvektio, mikä johtuu sisätilan ylipaineesta verrattuna ulkoilmaan. Kuivan sisäilman tiloissa, kuten asunnoissa, ei ole havaittu kosteuskonvektion aiheuttaneen kosteusvaurioita. Erityisesti alapohjan ja ulkoseinän liitosten tiiviyteen on kiinnitettävä huomiota. Mikrobin kulkeutumista sisäilmaan vaurioituneesta rakenteesta on vaikea estää kokonaan, mutta tiivistyskorjauksilla voidaan vähentää kustannustehokkaasti sisäilman mikrobipitoisuuksia. Tutkimustuloksia mikrobin kulkeutumisesta ja rakenteiden tiivistämisen vaikutuksesta on kuitenkin niukasti.

Työn päätavoitteena oli selvittää paine-eron vaikutus sisäilmanäytteen mikrobipitoisuuden kenttäkokein. Tutkimuksen tavoitteena oli saada vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten koerakennuksen alipaineistaminen vaikuttaa sisäilmanäytteiden mikrobipitoisuuteen ja -lajistoon verrattuna normaalin käyttötilanteen mikrobipitoisuuteen ja -lajistoon?
2. Onko menetelmällä potentiaalisia käyttökohteita?

Tutkimuksessa kehitetyllä menetelmällä normaalin käyttötilanteen sisäilmassa olevaa mikrobipitoisuutta ja -lajistoa verrattiin alipaineessa otettuihin sisäilmanäytteisiin. Menetelmä pohjautuu vaipan yli muodostettavaan paine-eroon, joka voidaan toteuttaa ilmanpitävyyden mittaukseen tarkoitettulla laitteistolla tai rakennuksen omalla ilmanvaihtolaitteistolla. Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa otetaan sisäilmanäytteet normaalissa käyttötilanteessa sekä selvitetään rakennuksen painesuhteet ja ilmanvaihdon toiminta. Toisessa vaiheessa otetaan ilmanäytteitä alipaineessa ja pyritään tunnistamaan rakenteiden ilmavuotokohdat. Kolmannessa vaiheessa näytteiden saatuja tuloksia verrataan mikrobimäärien ja -lajiston osalta.

Menetelmää koekäytettiin ottamalla Andersen-keräimellä sisäilmanäytteitä Oulun seudulla sijaitsevan palvelurakennuksen yhdessä huoneistossa. Huoneisto erotettiin muusta rakennuksesta tiivistämällä väliovet 0,2 mm höyrynsulkumuovilla huolellisesti teipaten. Rakennuksen käyttäjät ovat aiemmin kärsineet hajuhaitoista. Muista vastaavanlaisista ja samalla alueella sijaitsevista rakennuksista on todettu mikrobivaurioita erityisesti kellarin seinissä, välipohjassa ja rankarakenteisissa ulkoseinissä. Mikrobivauriot on todettu materiaalinäyttein. Rakennuksista on otettu myös sisäilmanäytteitä, joiden sieni-itiöiden mediaani on noin 20 cfu/m³. Siten oli oletettavaa, että huoneiston rakenteissa olisi mikrobivaurioita.

Koekohde sijaitsee rinteessä. Koekohteessa on useita niin sanottuja riskirakenteita. Huoneiston takapihan puolella on kellari ja etupihan puolella ryömintätilainen alapohja. Kellarin ja huoneiston välipohja on 160 + 40 mm kaksoislaatta. Ryömintätilan alapohjarakenteena on 120 + 90 mm kaksoislaatta ja lämmöneristeenä on leca-soraa. Huoneiston ulkoseinä on kaksinkertainen tiilimuuraus, muurien välissä on lämmöneriste. Ikkunoiden kohdalla ulkoseinä on puurankarakenteinen. Seinän alaosassa on niin sanottu vailesokkeli etupihan puolella. Rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jota on käytetty pääosin pelkkänä poistoilmanvaihtona. Tällöin rakennus on lievästi alipaineinen.

Normaalissa käyttötilanteessa otettiin viisi sisäilmanäytettä, joiden sieni-itiöpitoisuuden mediaani oli 7 cfu/m³. Alipaine oli keskimäärin -6,8...-5 Pa, kun pelkkä poistoilman-

vaihto oli päällä. Alipaineistus toteutettiin sulkemalla ilmanvaihtokanavat höyrynsulkuovilla ja asentamalla ilmanpitävyyden mittaukseen tarkoitettu laite oveen. Alipaineena pyrittiin pitämään -10 Pa vuorokauden ajan ja toisen vuorokauden ajan alipaine -20 Pa. Todelliset alipaineet vaihtelivat välillä -9,9...-7,1 Pa ja -20...-18 Pa. Alipaineessa -10 Pa otettiin kymmenen sisäilmanäytettä, joiden sieni-itiöiden mediaani oli 6 cfu/m³. Alipaineen ollessa -20 Pa kymmenen sisäilmanäytteen sieni-itiöiden mediaani oli 8 cfu/m³.

Alipaineistus ei siten lisännyt merkittävästi sieni-itiöitä sisäilmanäytteissä. Mikrobin määrä ei muuttunut, vaikka korkeahkoja sieni-itiöpitoisuuksia havaittiin ryömintätalainesta alapohjasta, 380 cfu/m³ ja kellarista, 715 cfu/m³. Ryömintätalainesta ja kellarin erottava rakenne on tiivis betonirakenne. Yläpohjan sieni-itiöpitoisuus oli vähäinen, 33 cfu/m³ ja viereisen huoneiston korkeahko 120 cfu/m³. Myöskään viereisen tilan mikrobit eivät näkyneet koekohteen sisäilmassa, mikä viittaa onnistuneeseen tiivistykseen huoneistojen välillä.

Yleisesti voidaan sanoa, että rakennuksen alipaineistus ei lisää mikrobipitoisuuksia, mikäli mikrobikasvustoa sisältävä rakennealue on pieni. Silloin suurin osa alipaineen aiheuttamasta vuotoilmasta on puhdasta ja kasvuston mikrobit eivät nosta merkittävästi sisäilman mikrobipitoisuutta.

Alipaineistus näyttää lisäävän mikrobilajistoa sisäilmassa, sillä mikrobilajiston osalta käyttötilanteessa otetut näytteet erosivat alipaineessa otetuista näytteistä. Normaalisissa käyttötilanteessa otetuissa näytteissä oli seitsemän eri mikrobilajia, joista kolme viittaa kosteusvaurioon ja kahden indikaattorimerkitys on vielä avoin. -10 Pascalin alipainenäytteissä oli 11 eri mikrobilajia, joista kuusi viittaa kosteusvaurioon ja yhden indikaattorimerkitys on avoin. -20 Pascalin alipainenäytteissä oli 13 eri mikrobilajia, joista seitsemän viittaa kosteusvaurioon ja kahden indikaattorimerkitys on avoin. Myös tiloittain tarkasteltuna lajisto muuttui alipaineinäytteissä verrattuna normaalinäytteisiin. Kaikissa neljässä tilassa esiintyi alipaineessa lajeja, joita ei havaittu normaalissa käyttötilanteessa otetuissa näytteissä. Lajit eivät aina viitanneet tilan lähellä olleeseen vaurioituneeseen

tilaan. Alipainenäytteissä oli käyttötilan näytteitä enemmän kosteusvaurioon viittaavia lajeja, mikä viittaa vuotoilman tulleen myös epäpuhtaista tiloista sisäilmaan.

Huoneiston ilmanpitävyys mitattiin alipainemenetelmällä ja rakennuksen ilmavuotoluku n_{50} oli 6,03 l/h. Rakenteiden ilmanpitävyys on siten heikko. Rakenteiden ilmavuotokohdat sijaitsivat tehdyn lämpökamerakuvauksen mukaan enimmäkseen tasaisesti rakenteiden liitoskohdissa. Suurimmat ilmavuotokohdat olivat ikkunapuitteissa, seinän ja katon sekä seinän ja lattian rajassa. Menetelmää käytettäessä tulee ilmavuotokohtien tunnistusta parantaa merkkisavuilla tai ilmannopeusmittauksin. Lämpökamerakuvauksella saadaan määritettyä ainoastaan ulkoseinien ja yläpohjan ilmavuotokohdat. Muun muassa alapohjan ja väliseinien ilmavuotokohtien tunnistus vaatii merkkisavujen käytön. Merkkisavuja ei käytetty koekohteessa, mitä voidaan pitää työn heikkoutena.

Menetelmää käytettiin ensimmäistä kertaa. Normaalisissa käyttötilanteissa otettujen ilmanäytteiden tulosten perusteella koekohteen rakenteissa ei ole erityistä syytä epäillä mikrobivauriota. Kuitenkin aikaisemmin tehtyjen tutkimusten perusteella samankaltaisissa rakennuksissa on ollut mikrobivaurioita. Alipaineessa sieni-itiö-pitoisuudet eivät kasvaneet, mutta lajiston muuttuminen alipaineessa otetuissa ilmanäytteissä verrattuna normaalin käyttötilanteen näytteisiin viittasi vaurioihin. Vauriot olivat myös todellisia, mikä varmistettiin ryömintätilaisesta alapohjasta ja kellarista otetuilla ilmanäytteillä, joissa oli suuria pitoisuuksia.

Menetelmän eduksi voidaan lukea sen tuottama tieto rakenteiden epätiiviyiskohtien ja rakennuksen painesuhteiden yhteydestä sisäilman mikrobipitoisuuksiin. Muilla kunto-tutkimuksissa käytettävillä mittausmenetelmillä saavutetaan osin samoja tietoja. Tämän menetelmän avulla kuntotutkija selvittää todelliset mikrobipitoisuudet sekä normaalissa käyttötilanteessa että alipaineessa. Menetelmän avulla rakenteiden epätiiviyiskohtia saadaan selville, joten tiivistyskorjauksia voidaan kohdentaa. Koekohteessa ei käytetty merkkisavuja, joilla kyetään tunnistamaan myös alapohjan epätiiviyiskohtat. Myös mahdolliset ongelmat rakennuksen painesuhteissa saadaan selville, ja mahdolliset ongelmat voidaan korjata ilmanvaihdon säädöllä.

Menetelmän haittapuolena ovat sen aiheuttamat kustannukset. Pienessäkin kohteessa kustannukset kohoavat useisiin tuhansiin euroihin, koska työmäärän osuus on suuri ja kalliita näytteitä otetaan runsaasti. Menetelmä vaatii myös useita erillisiä työvaiheita, joista kaikilla tekijöillä ei ole kokemusta. Menetelmää voi käyttää luotettavasti ainoastaan lumisena aikana, koska muulloin ulkoilmassa olevat mikrobit aiheuttavat vääristymiä tuloksiin. Haittapuoli on myös, ettei tilaa voi käyttää täysipainoisesti tutkimuksen aikana.

Menetelmän kehittämistä on edelleen jatkettava. Kehitettävää on erityisesti epätiiviyshohtien tunnistuksessa, joka onnistui vain ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden osalta kohteessa. Alipaineistuksen toteuttaminen tutkittavan rakennuksen ilmanvaihtokoneella antaisi mahdollisesti lisätietoa ilmanvaihtokanavien tiiviyydestä. Ilmanvaihtokanavien epätiiviysho voi aiheuttaa mikrobien kulkeutumista sisätiloihin erityisesti yläpohjarakenteista. Sisäilman mikrobien terveydelle haitallisten tekijöiden arvioiminen toksisuuttamittaavalla menetelmällä antaisi lisätietoa. Menetelmän kehitystyö vaatii myös menetelmän käyttämistä useammassa ja erilaisissa rakennusratkaisuissa toteutetuissa rakennuksissa.

Menetelmällä on potentiaalisia käyttökohteita. Sitä voidaan käyttää mikrobivaurioituneen rakennuksen korjausten onnistumisen arviointiin kahdella tavalla. Ensinnäkin menetelmää voidaan käyttää korjausten jälkeen korjausten onnistumisen varmistamiseksi. Tällöin mittauksia ei suoriteta välittömästi korjausten jälkeen. Tilat tulee siivota perusteellisesti ja odottaa 1..2 kuukautta, jotta rakennusaikainen pöly on laskeutunut ja poistunut ilmanvaihdon ja siivouksen myötä. Toisessa tavassa menetelmää käytetään korjausvaiheen laaduntarkastukseen. Mallikohteen korjauksen jälkeen tulos tarkistetaan menetelmän avulla. Tällöin voidaan puuttua mallikohteessa tehtyihin virheisiin ajoissa ja välttää ne muualla korjauskohteessa.

LÄHTEET

- Absetz, Ilmari & Viljanen, Martti. 1985. Kapillaarinen kosteuden siirtyminen rakenteissa. Teknillinen korkeakoulu. Julkaisu 75. Espoo.
- Airaksinen, Miimu & Pasanen, Pertti & Kurnitski, Jarek & Seppänen, Olli. 2003. Hiukasten ja sieni-itiöiden kulkeutuminen rakenteiden läpi sisäilmaan. Teoksessa: Sisäilmayhdistys raportti 19, Sisäilmastoseminaari 2003. Vantaa.
- Asikainen, Vesa. (toim.) 2008. Kiinteistön omistajan opas sisäilmaongelmaisten koulurakennusten kunnon tutkimiseen ja korjaushankkeisiin. Teoksessa Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten tutkiminen. Vammala: Opetushallitus. 2008.
- Asumisterveysohje 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriö. s. Saatavissa myös: http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf
- Asumisterveysopas 2009. 3. korjattu painos. Ympäristö- ja Terveys-lehti 2009. 200 s.
- Burke, Stephen. 2007. Crawl spaces in Sweden. Lund : Emerald Group, 2007. ISSN: 0263-080X.
- Finanssialan keskusliitto. 2011. Vahinkojakaumatilasto 2010. Saatavilla Internet-soitteen http://www.fkl.fi/tilastot/Tilastot/Vahinkojakaumatilasto_2010.pdf.
- Handboken Bygg. 1982. Husbyggnader och installationer. Liberförlag. Stockholm. 496 s. ISBN 91-38-06076-0.
- Jaakkola, Sami. 1997. Puukerrostalon ilmanpitävyyden ja rakennustyön toteutuksen rakennusfysikaalinen merkitys. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, diplomityö. 188 s.
- Jokiranta, Kai & Palonen, Jari & Kauriinvaha, Eeva & Kettunen, Ari-Veikko & Viljanen, Martti & Hilden, Sari. 1999. Sisäilmasto ja kosteustekninen kuntotutkimus kouluille ja päiväkodeille. Sisäilmayhdistys raportti 12. SIY Sisäilmastotieto Oy, Espoo.
- Kauppinen, Timo & Ojanen, Tuomo & Kovanen, Keijo & Laamanen, Jarmo & Vähsäyrinki, Erkki. 2009. Rakennusten ilmanpitävyys. Teoksessa: Säteri, Jorma & Backman, Helka. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2009. SIY Sisäilmastotieto Oy.

Kalliokoski, Pentti & Valkeinen, Reetta & Päivinen, Marja & Patovirta, Riitta-Liisa & Putus, Tuula & Jauhiainen, Tapio & Reiman, Marjut & Rautiala, Sirpa & Rantio, Tiina & Mäkinen, Maija & Hyttinen, Marko & Tarhanen, Juhani & Kokotti, Helmi & Korpi, Anne & Tukiainen, Hannu. 2007. Uimahallien allastilojen työolosuhteet ja henkilökunnan hengityselinoireet. Kuopio: Kuopion Yliopisto, Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja 5/2007. ISSN 0786-4728

Kemppainen Niina. 2010. Ulkoilman mikrobien kulkeutuminen sisäilmaan. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Laboratorioala, Teknologia, opinnäytetyö. 48 s. Saatavilla osoitteesta

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/17260/kemppainen_niina.pdf?sequence=1.

Kerrostalot 1880-2000 – arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Petri Neuvonen (toim.) Rakennustieto Oy. 288 s.

Koivisto, Jari & Jääskeläinen, Esa & Nevalainen, Aino & Husman, Tuula & Meklin, Teija & Vahteristo, Mikko & Heiskala, Seppo & Forss, Pertti & Turpeinen, Jukka & Röning-Jokinen, Irmeli. 1996. Asuinkerrostalojen kosteusvauriot: yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio: Kansanterveyslaitos, ympäristömikrobiologian laboratorio, Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B9/1996. 86 s.

Korttinen Jorma. 2010. Sisäilmamittausten laatuun vaikuttavia tekijöitä, sisäilman mikrobinäytteet. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikka, opinnäytetyö. 74 s. Saatavilla osoitteesta

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14093/Lopputyo_JormaKorttinen.pdf?sequence=1.

Kurnitski, Jarek & Vilkki, Risto & Jokiranta, Kai & Kettunen, Ari-Veikko & Hejazi-Hashemi, Saeid. 1996. Koulujen sisäilmasto ja kosteusvauriot. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio, Julkaisu 58. 70 s.

Kurnitski et al. 1999a. Ryömintätilan kosteus ja mikrobit. Kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisut. Mikrobit ryömintätalassa ja asunnoissa. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Talonrakennustekniikan laboratorio, Raportti B62. 63 s.

Kurnitski, Jarek & Kettunen, Ari-Veikko & Matilainen, Miimu & Sääksvuori, Pälvi & Smolander, Juha. 1999b. Ryömintätilan tuuletus ja kosteuskäyttäytyminen. Toinen

muutettu painos. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio, Talonrakennustekniikan laboratorio.

Kääriäinen, Hannu & Rantamäki, Jouko & Tulla, Kauko. 1998. Puurakennusten kosteustekninen toimivuus. Kokemustiedot. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennustekniikka, VTT tiedotteita 1923. Saatavilla osoitteesta

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1923.pdf>

Lehtinen, T. Ruuska, E. Viljanen, M. 2003. Uimahallien ulkovaippa ja sisäilmasto. Suunnittelu- ja rakennuttamisopas. Opetusministeriön liikuntapaikkajulkaisu 84. Saarijärvi, Rakennustieto Oy. 55 s.

Leivo, Virpi. (toim.) 1998. Opas kosteusongelmiin. Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Julkaisu 95, Talonrakennustekniikka. 157 s.

Leivo, Virpi. 2003. Hirsirakennuksen yläpohjan tiiviys – vaikutus lämpöenergiankulutukseen. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos, Tutkimusraportti 126. 63 s.

Leivo, Virpi & Rantala, Jukka. 2000. Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttämisen. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Tutkimusraportti 106. 124 s.

Leivo, Virpi & Rantala, Jukka. 2002. Maanvastaiset alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Tutkimusraportti 121. 33 s.

Leivo, Virpi & Rantala, Jukka. 2006. Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Tutkimusraportti 139. 55 s.

Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiankulutusmääräyksiin ja ohjeisiin, loppuraportti. 2008. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusselostus N:o 1706. 88 s.

Matilainen, Miimu & Jerkku, Ilkka & Kurnitski, Jarek. 1999. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio, Raportti B63. 58 s.

- Meklin, Teija & Putus, Tuula & Hyvärinen, Anne & Haverinen-Shaughnessy & Lignell, Ulla & Nevalainen, Aino. 2007. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Ohjeita ongelmien selvittämiseen. Publications of the National Public Health Institute, C9/2007. 38 s. Saatavilla Internet- osoitteesta <http://www.ktl.fi/portal/8629>.
- Myllylä, Päivi & Lod, Timo. 2003. Pitkäikäinen puurakenteinen halli.
- Mäkitalo, Mikael 2011. Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden toiminta. Tampereen teknillinen yliopisto. Frame 3. yleisöseminaari, Helsinki 1.12.2011. Diasarja saatavilla internet-osoitteesta <http://www.rakennusteollisuus.fi/frame>
- Paloniitty, Sauli & Kauppinen, Timo. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Rakennusteollisuuden kustannus RTK Oy. 120 s.
- Paloniitty, Sauli. 2005. Lämpökuvaus rakennusten laadunvalvonnassa. Teoksessa: Säteri, Jorma & Backman, Helka. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2005, Sisäilmayhdistys raportti 23. SIY Sisäilmatieto Oy, Dark Oy, Vantaa.
- Pasanen, Anna-Liisa & Kasanen, Jukka-Pekka & Villberg, Kirsi & Pasanen, Pertti & Kalliokoski, Pentti & Saarela, Kristiina. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ärsyttävyyden arviointi. Teoksessa: Säteri, Jorma & Backman, Helka. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2003, Sisäilmayhdistys raportti 19. SIY Sisäilmatieto Oy, Dark Oy, Vantaa.
- Partanen, P & Jääskeläinen, E & Nevalainen, A et al. 1995. Pientalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio: Kansanterveyslaitos, Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B6/1995.
- Peltola, Susanna. (toim.) 2008. Suunnittelijan opas koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamiseen. Teoksessa Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten tutkiminen. Vammala: Opetushallitus.
- Pessi, Anna-Mari & Suonketo, Jommi & Pentti, Matti & Rantio-Lehtimäki, Auli. 1999. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Julkaisu 101, Talonrakennustekniikka, Rakennustekniikan osasto. TTKK. Tampere.
- Pirinen, Juhani. 2006. Pientalojen mikrobivauriot. Lähtökohtana asukkaiden kokemat terveyshaitat. Tampereen teknillinen yliopisto. Hengityслиiton julkaisuja 19/2006. Hengityслиitto Heli ry.

- Prokkola, Pirjo. 2008. Mikrobikasvu betonimateriaaleissa. Oulu: Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Lämpö ja –diffuusiotekniikan laboratorio. 150 s.
- Reijula, Kari. 2005. Sairaaloiden kunto ja ilmanvaihto. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö, Työryhmämuistio 2005:3. 60 s.
- RIL 107-2000. 2000. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. ISBN 951-758-404-0
- RIL 250-2011. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. ISBN 978-951-758-537-8
- RT Ohjetiedosto. 2005. Uimahallit ja virkistysuimalat. Helsinki, Rakennustieto Oy. 35 s. (Ohjetiedosto RT 97-10839)
- Saari, Maria. 2010. Kosteustekniset kuntotutkimukset Helsingin kaupungin arvokiihteistöissä. Espoo: Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, diplomityö. 134 s.
- Salkinoja-Salonen, Mirja. (toim.) 2002. Mikrobiologian perusteita. Mikrobiologian julkaisuja 49. Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Viikki. 760 s.
- Salkinoja-Salonen, Mirja & Mikkola, Raimo & Anderson, Maria & Alenius, Harri & Matikainen, Sampsa & Salin, Pekka & Rasimus, Stiina & Mattila, Sampo. 2010. Solu- myrkyllisiä aineita työpaikkailmassa. Teoksessa: Säteri, Jorma & Backman, Helka. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2010, Sisäilmayhdistys raportti 28. SIY Sisäilmatieto Oy, Newprint Oy, Loimaa.
- Salonen, Heidi & Lappalainen, Sanna & Lahtinen, Marjaana & Holopainen, Rauno & Palomäki, Eero & Koskela, Hannu & Backlund, Peter & Niemelä, Rauno & Pasanen, Anna-Liisa & Reijula, Kari. 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Työterveyslaitos, Tammerprint Oy, Tampere.
- Siren, Kai. 1995. Ilmastointitekniikan mittaukset. Espoo: Tietonova.
- Seppänen, Kim. 2010. Painesuhteet rakennuksen vaipan yli. Kuopio: Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate, Itä-Suomen yliopisto. Saatavilla osoitteesta:
http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0056-2/urn_isbn_978-952-61-0056-2.pdf

- Seuri, Markku. 2004. Kosteusvauriorakennuksissa ilmaantuvat astmat ryvästyvät. Teoksessa: Säteri, Jorma & Backman, Helka. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2004, Sisäilmayhdistys raportti 22. SIY Sisäilmatieto Oy, Dark Oy, Vantaa.
- Seuri, Markku ja Reiman, Marjut. 1996. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Helsinki 1996, Rakennustieto Oy. 81 s.
- Stormi Heli. 2010. Koulujen sisäilmatutkimus; Sisäilman mikrobit, mikrobitoksisuus ja kuidut. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikan koulutusohjelma, opinnäytetyö. 45 s.
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2010. Rakentaminen ja asuminen: vuosikirja 2010. Helsinki: Tilastokeskus.
- Torikka, Kirsi & Hyypöläinen, Tarja & Mattila, Jussi & Lindberg, Ralf. 1999. Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. Julkaisu 99. Talonrakennustekniikka, Rakennustekniikan osasto TTKK. Tampere.
- Työterveyslaitos 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Työterveyslaitos. 125 s.
- Valvira. 2011. Lausunto VOC-mittaustulosten tulkinnasta asuntojen terveyshaitta-asioissa. Saatavissa Internet-osoitteesta http://www.valvira.fi/files/VOC_lausunto_ESAVI.pdf.
- Viitanen, Hannu. 2003. Betonin ja siihen liittyvän eristeen homeutumisen kriittiset kosteusolot. Teoksessa: Säteri, Jorma & Backman, Helka. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2003, Sisäilmayhdistys raportti 19. SIY Sisäilmatieto Oy, Dark Oy, Vantaa.
- Vinha, Juha. 2011a. Homeen kasvun laskentamallin kehitystyö. 1.12.2011. Tampereen teknillinen yliopisto. Frame 3. yleisöseminaari, Helsinki 1.12.2011. Diasarja saatavilla internet-osoitteesta <http://www.rakennusteollisuus.fi/frame>
- Vinha, Juha. 2011b. Yhteenveto FRAME-projektin tuloksista. 1.12.2011. Tampereen teknillinen yliopisto. Frame 3. yleisöseminaari, Helsinki 1.12.2011. Diasarja saatavilla internet-osoitteesta <http://www.rakennusteollisuus.fi/frame>
- Vinha, Juha & Korpi, Minna & Kalamees, Targo & Eskola, Lari & Palonen, Jari & Kurnitski, Jarek & Valovirta, Ilkka & Mikkilä, Antti & Jokisalo, Juha. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Julkaisu 131, Talonrakennustekniikka, Rakennustekniikan osasto TTKK. Tampere. 114 s.

Vinha, Juha & Käkelä, Pasi. 1999. Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka, Julkaisu 96. 81 s.

Vinha, Juha & Käkelä, Pasi & Kalamees, Targo. 2003. Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. Julkaisu 116, Talonrakennustekniikka, Rakennustekniikan osasto TTKK. Tampere. 65 s.

Wikman, Linda. 2010. Mikrobiemissiot betonisesta kuorimuuriseinästä sisäilmaan. Espoo: Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos, diplomityö. 129 s.

Weckstörn, Anders. 2003. Mikrobiperäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden diffuusio rakenteiden läpi. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, diplomityö. 77 s.

Ympäristöministeriö. 1998. Suomen Rakentamismääräyskokoelma SRMK, osa C2: Kosteus, määräykset, ohjeet. Saatavissa myös: <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-C2s.pdf>

Ympäristöministeriö. 1999. Suomen Rakentamismääräyskokoelma SRMK, osa C3: Kosteus, määräykset, ohjeet. Saatavissa myös: <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-C2s.pdf>

Ympäristöministeriö. 2003. Suomen Rakentamismääräyskokoelma SRMK, osa C4: Lämmöneristys, ohjeet. Saatavissa myös: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>

Ympäristöministeriö. 2010. Suomen Rakentamismääräyskokoelma SRMK, osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Saatavissa myös: http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf

Ympäristöopas 28. 1997. Kosteus ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Kuntotutkimuksen suunnittelu ja toteutus. Vaurioitumisen arviointiperusteet ja korjaustavan valinta. Ympäristöministeriö: Helsinki 1997.

LIITTEET

LIITE 1 Lämpökuvausraportti 4.4.2011, VTT Expert Services Oy 37 s

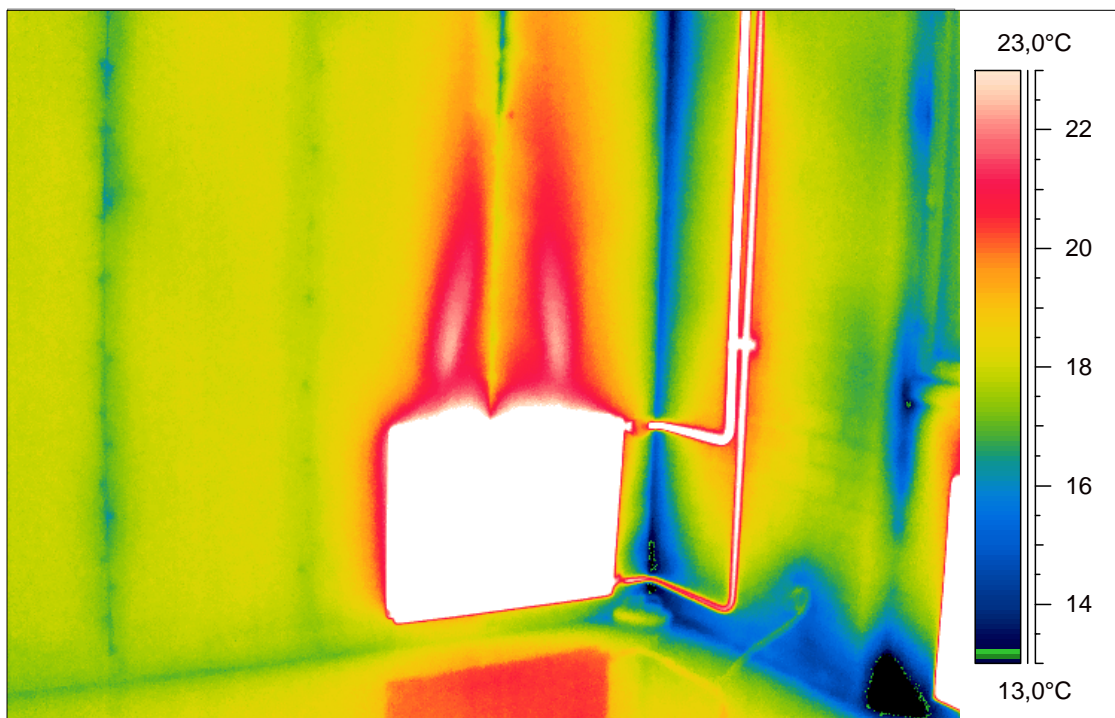
LIITE 2 Ilmanäytteen mikrobianalyysi 21.4.2011 Työterveyslaitos, 16 s

LIITE 3 Ilmanpitävyysmittaus alipainemenetelmällä 1.4.2011, 2 s

LIITE 4 Paine-eromittarin kalibrointi 24.3.2011, 1 s

LIITE 5 Valokuvaliite koekohteesta 3 s

LIITE 6 Pientalojen mikrobivaurioiden syyt Pirisen (2006) aineiston mukaan, 3 s



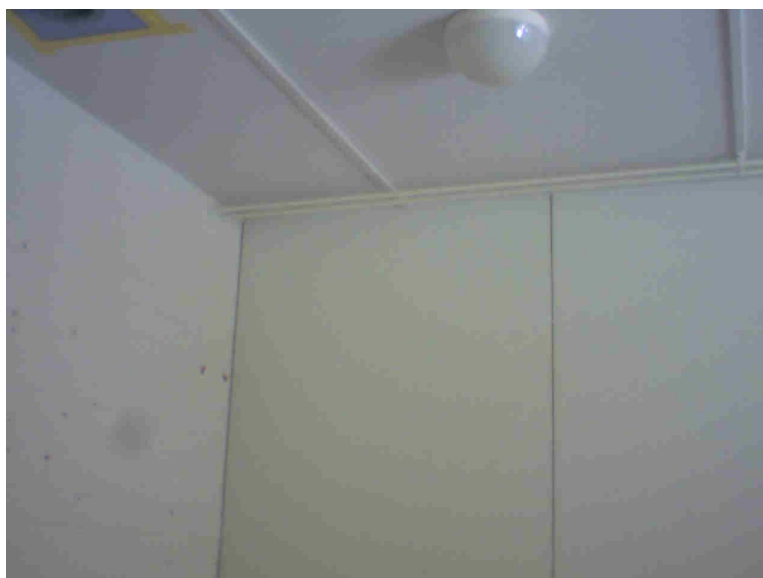
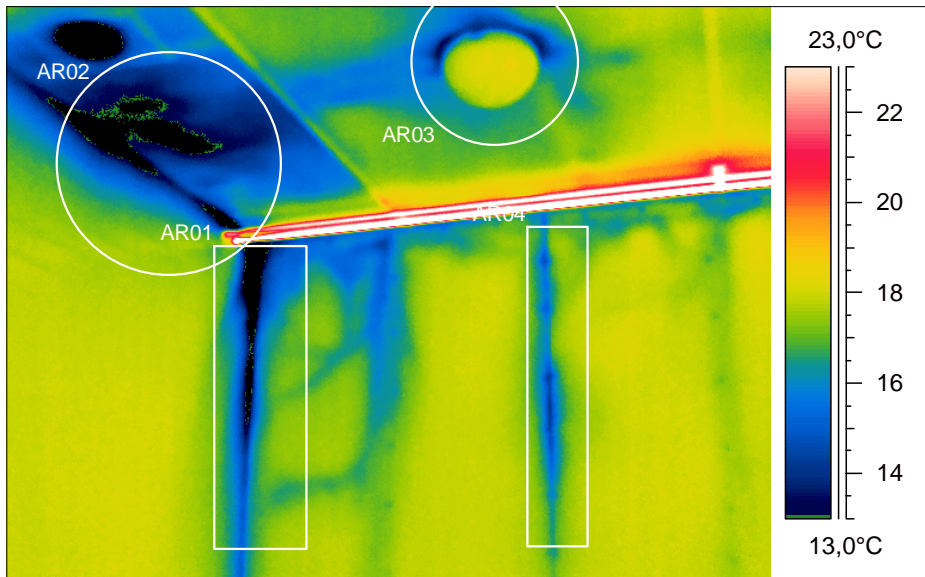
LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

Kuusikoti 41, Oulu

Tilaaaja: Taneli Päckilä, Oulu

Kuvaaja: Erkki Vähäsöyrinki, VTT Expert Services Oy

Ir_4538.jpg



Kuva Huone A

Valokuva: Ovelta katsottuna vasen nurkka päätyseinän ja väliseinän katon rajasta.

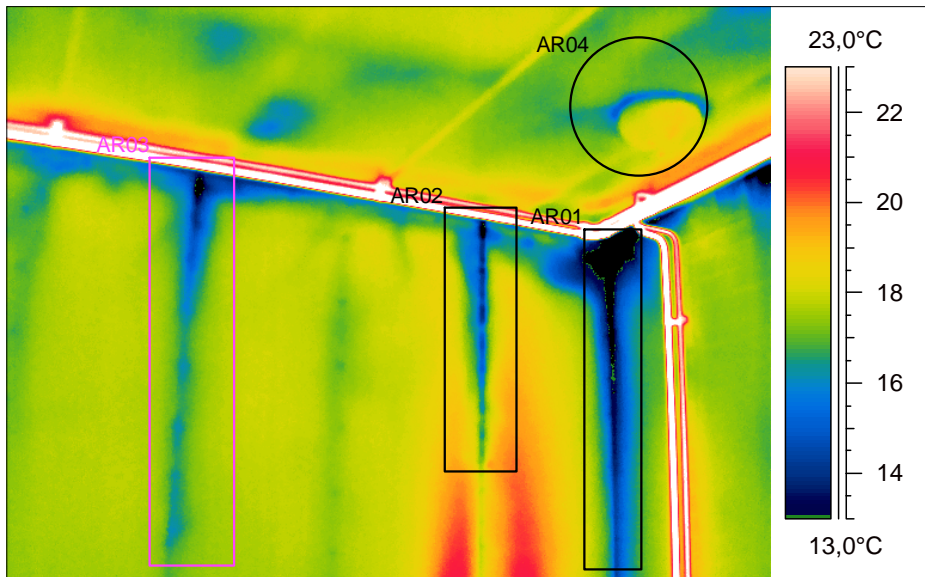
Lämpökuva: Ilmavuotoja katon rajassa levytysten saumoissa ja valaisimen ympärillä. Ilmavuotoreiitit näkyvät selvästi.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	22 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:11:54
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	6,4°C
AR02 : min	10,3°C
AR03 : min	13,3°C
AR04 : min	14,0°C

Ir_4540.jpg



Kuva Huone A

Valokuva: Pääyseinän ja ikkunaseinän nurkkaus.

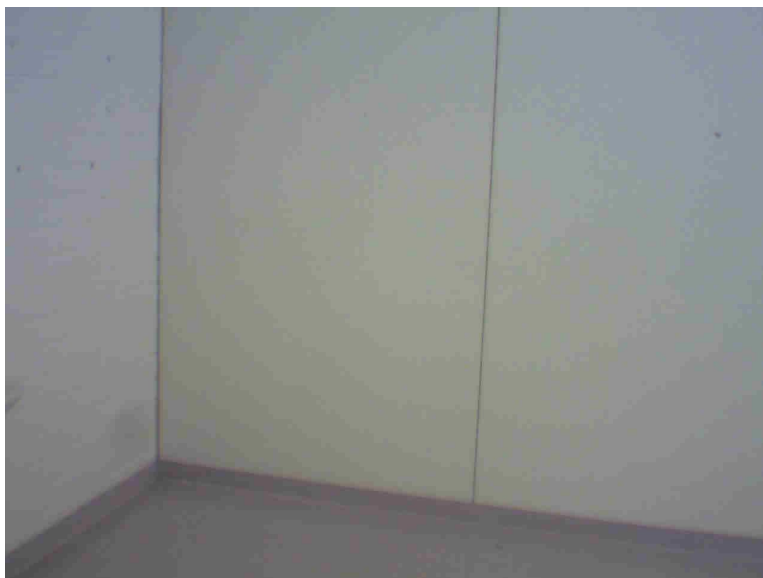
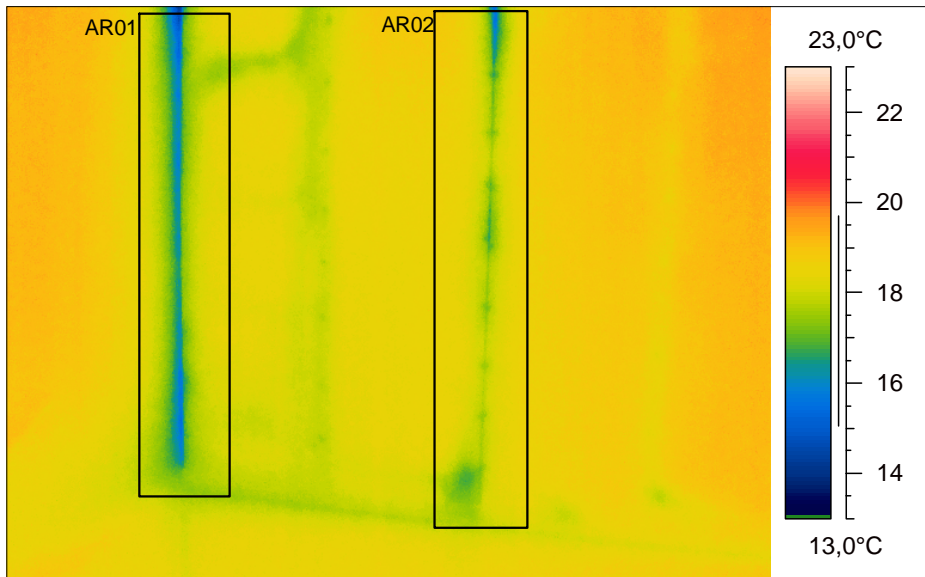
Lämpökuva: Voimakkain ilmavuoto nurkassa katon rajassa. Levysaumoissa myös vuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	25 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:12:38
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	6,8°C
AR02 : min	12,3°C
AR03 : min	11,6°C
AR04 : min	14,9°C

Ir_4542.jpg



Kuva Huone A

Valokuva: Päätyseinän ja väliseinän (ovesta vasemmalla) nurkkaus lattian rajasta.

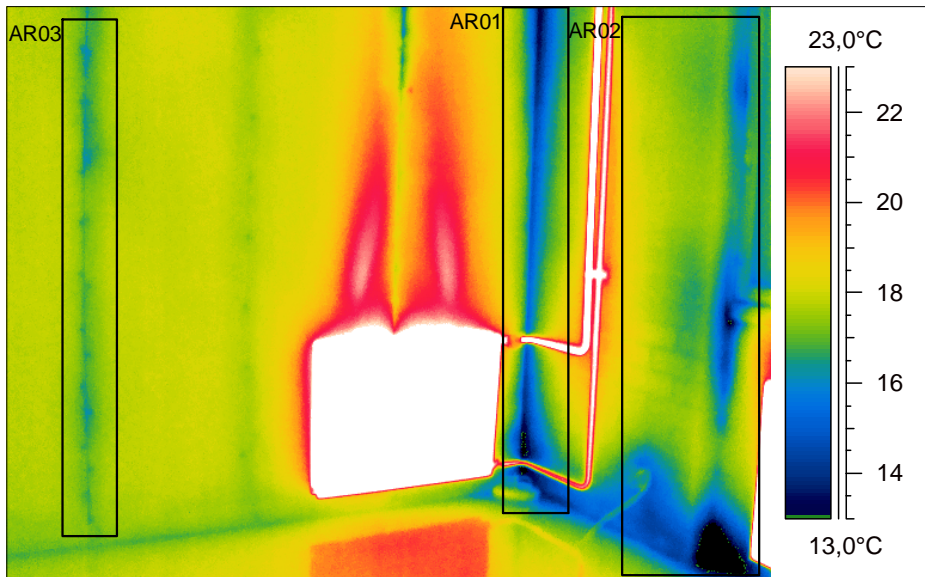
Lämpökuva: Lattian raja on tiivis. Nurkassa pientä vuotoa. Samoin levysaumassa. Ilman vuotoreitti näkyy nurkkaan päin vinona levyn alla ylempänä.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	76 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:13:26
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	14,5°C
AR02 : min	15,6°C

Ir_4544.jpg



Kuva Huone A

Valokuva: Päätyseinän ja ikkunaseinän kulmaus alhaalta.

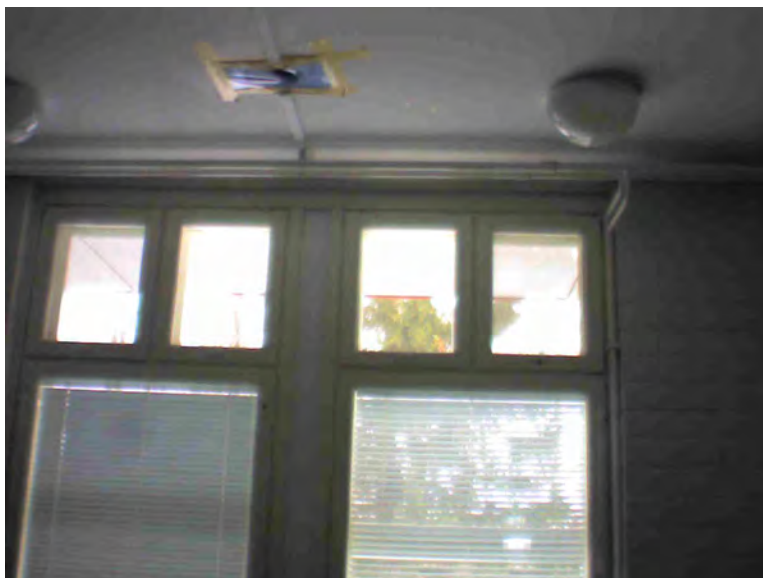
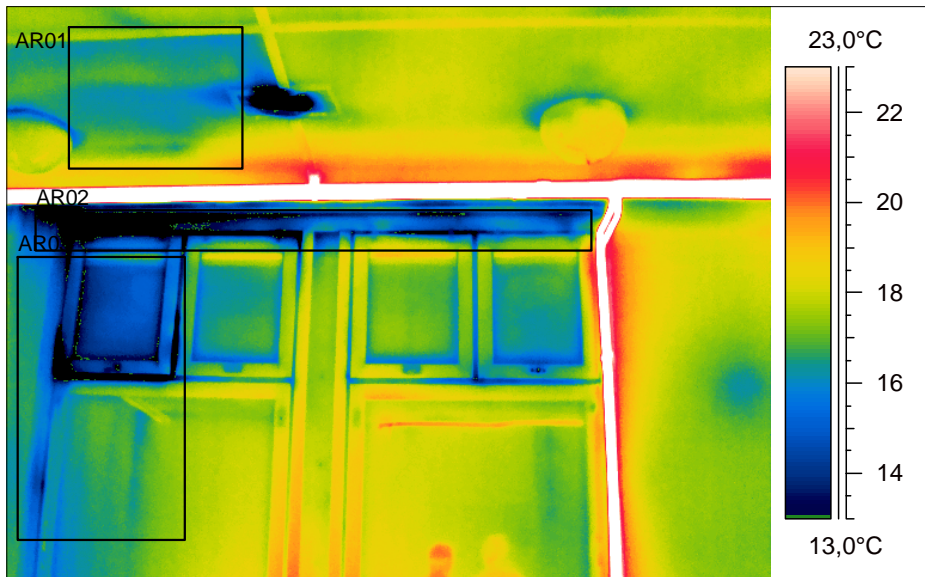
Lämpökuva: Ilmavuotoja on aika runsaasti lattian rajassa, nurkassa ja ikkunan vasemmassa alanurkassa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	63 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:14:28
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	12,6°C
AR02 : min	8,5°C
AR03 : min	16,0°C

Ir_4546.jpg



Kuva Huone A

Valokuva: Ikkunat ja sen yläpuolta.

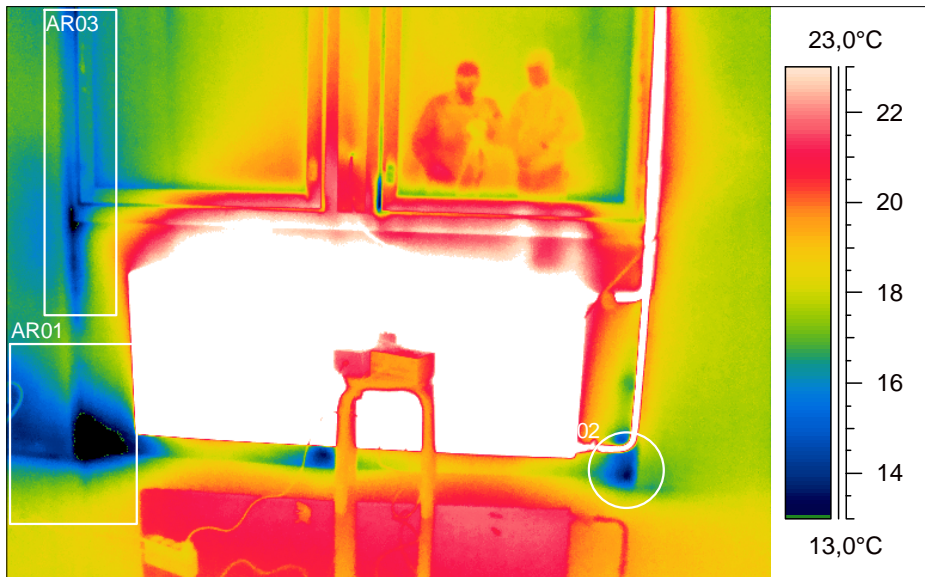
Lämpökuva: Katossa IV-venttiilin juuressa vuotoa kuvassa vasemmalla puolella laajemminkin. Teippauksen kohta on kylmin. Ikkunoiden yläosassa ja vesemman puoleisen ikkunan ympärillä on tiivistevuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	73 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:15:19
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	14,1°C
AR02 : min	7,0°C
AR03 : min	8,0°C

Ir_4548.jpg



Kuva Huone A

Valokuva: Ikkunan alapuolta.

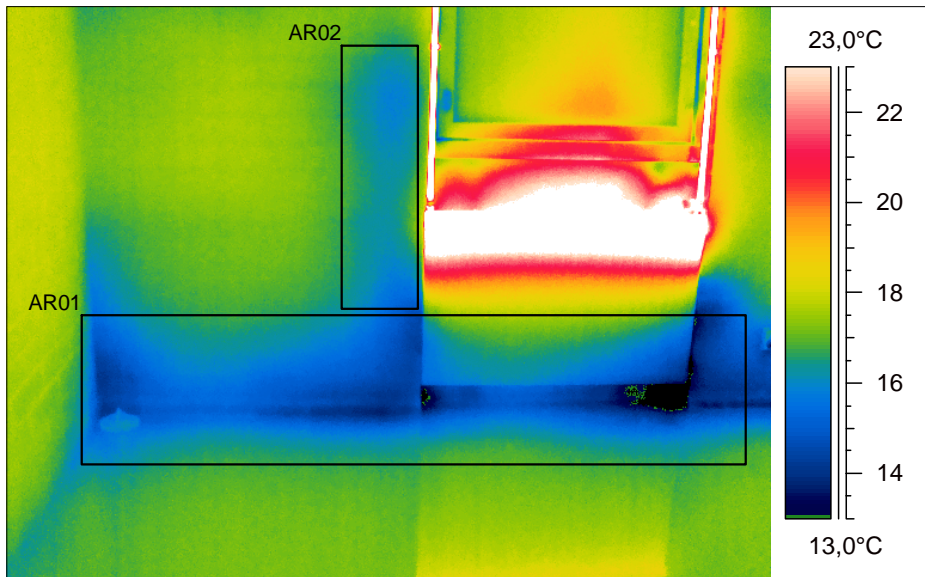
Lämpökuva: Lattian rajassa vasemmalla voimakas ilmavuoto. Myös oikealla pienempi vuotoalue. Ikkunan karmin ja seinän liitoksessa vasemmassa alanurkassa vuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	34 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:16:14
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	8,1°C
AR02 : min	13,2°C
AR03 : min	11,9°C

Ir_4550.jpg


Kuva Huone B

Valokuva: Lattian rajaa ja ikkunan alapuolista seinän osaa.

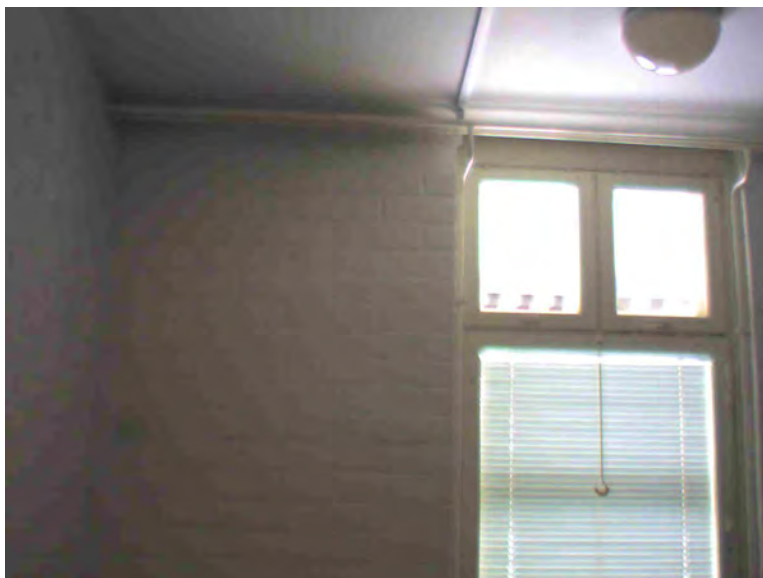
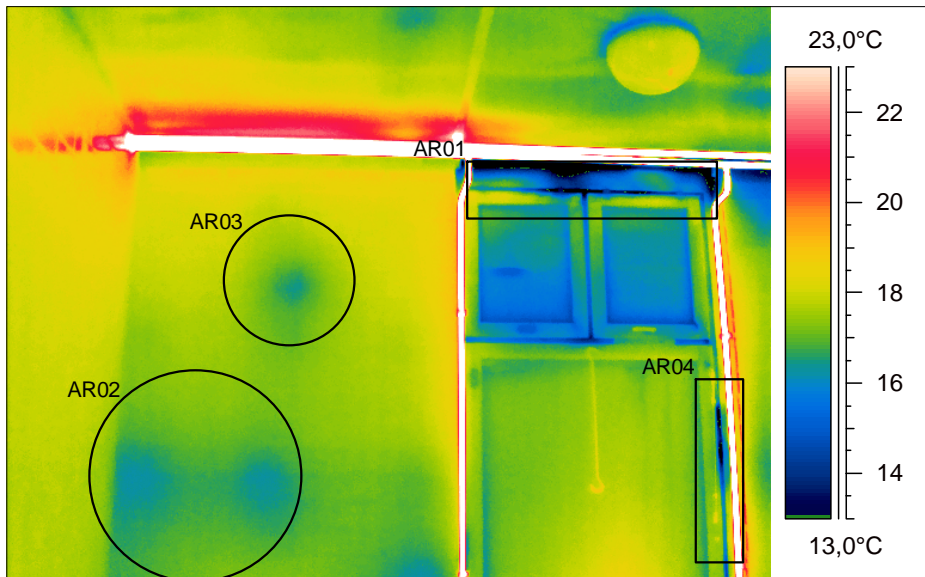
Lämpökuva: Lattian rajassa on vuotoa. Vuotokuva ei ole selvä ilmavuotokuva kauttaaltaan, vaan kyseessä on eristepuutteita tai jopa kosteutta lämmöneristeiden alaosissa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	47 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:17:23
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	10,1°C
AR02 : min	14,8°C

Ir_4552.jpg



Kuva Huone B

Valokuva: Ikkuna ja seinää.

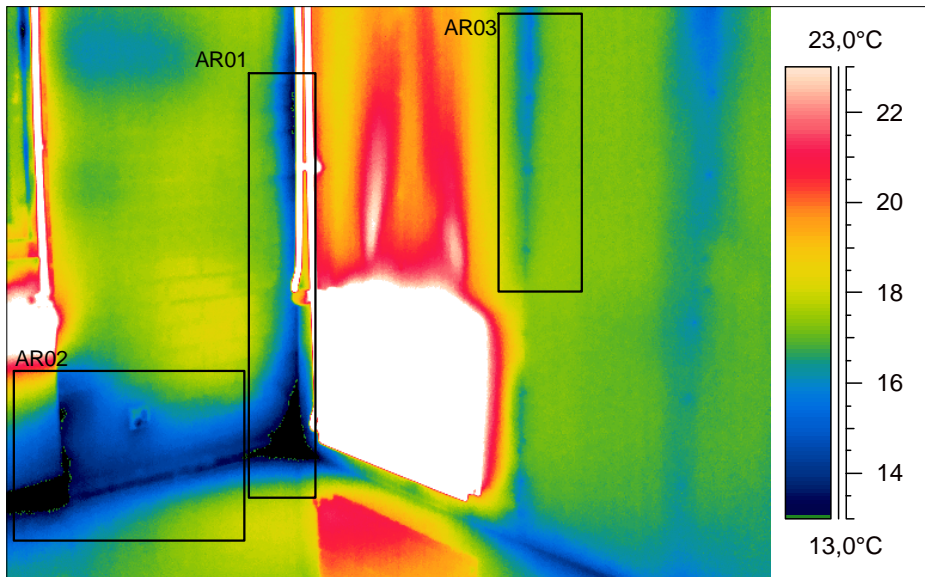
Lämpökuva: Ikkunan yläosassa on selvä ilmavuotoalue (ARO1) ARO2 ja ARO3 ovat ilmeisesti lämmöneristeen putteita seinässä.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	44 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:18:11
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	9,7°C
AR02 : min	16,1°C
AR03 : min	16,4°C
AR04 : min	11,4°C

Ir_4554.jpg



Kuva Huone B

Valokuva: Ikkunaseinän ja päätyseinän kulmaus

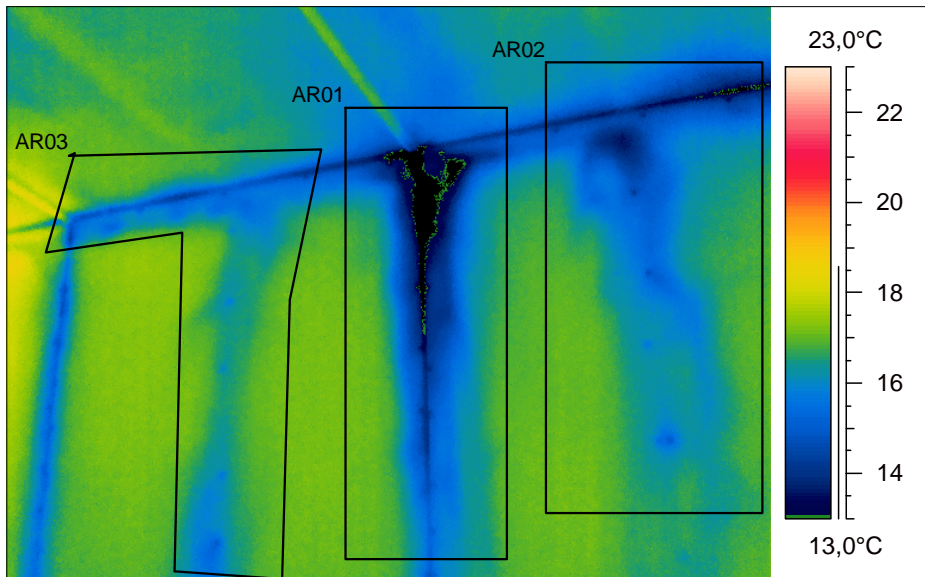
Lämpökuva: Melko voimakkaita ilmavuotoja lattian kulmauksissa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	45 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:18:47
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	9,9°C
AR02 : min	9,7°C
AR03 : min	15,6°C

Ir_4556.jpg



Kuva Huone B

Valokuva: Katon rajaa päätyseinältä keskipaikkeilta.

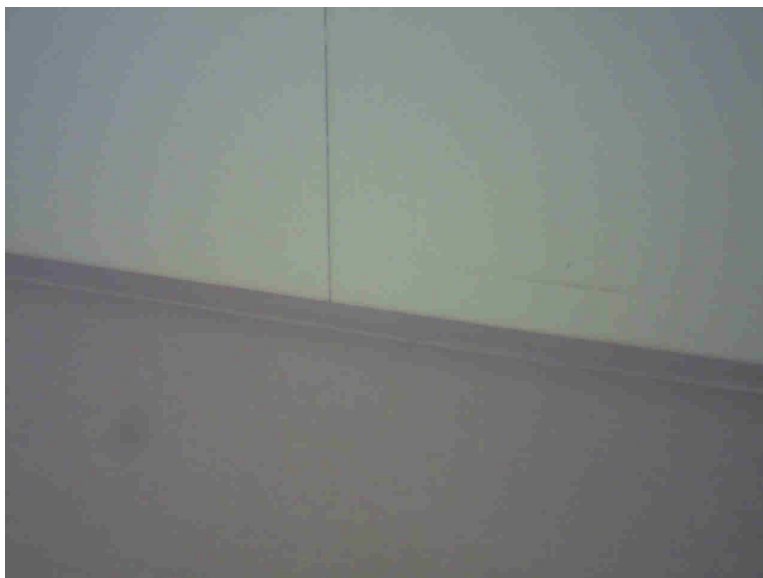
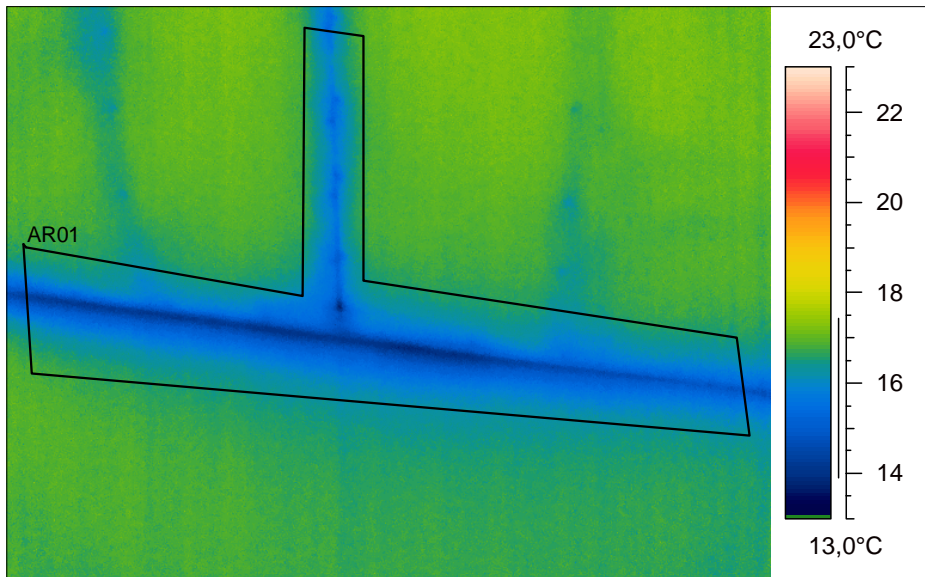
Lämpökuva: Vuotokuvioista näkyvät selvästi ilmavuotoreitit. Vuotokeskittymä on ARO1:n alueella.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	51 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:20:07
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	10,8°C
AR02 : min	12,6°C
AR03 : min	14,1°C

Ir_4558.jpg


Kuva Huone B

Valokuva: Lattian rajaa päätyseinän kekispaikkeilta.

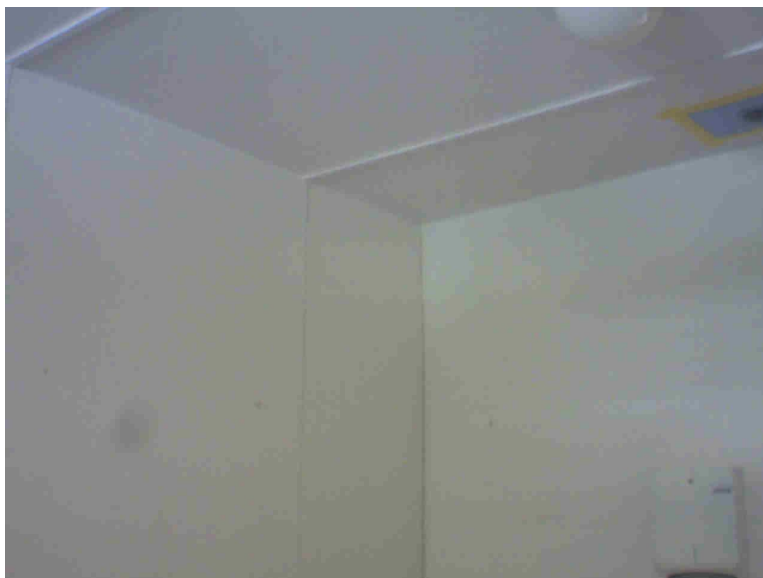
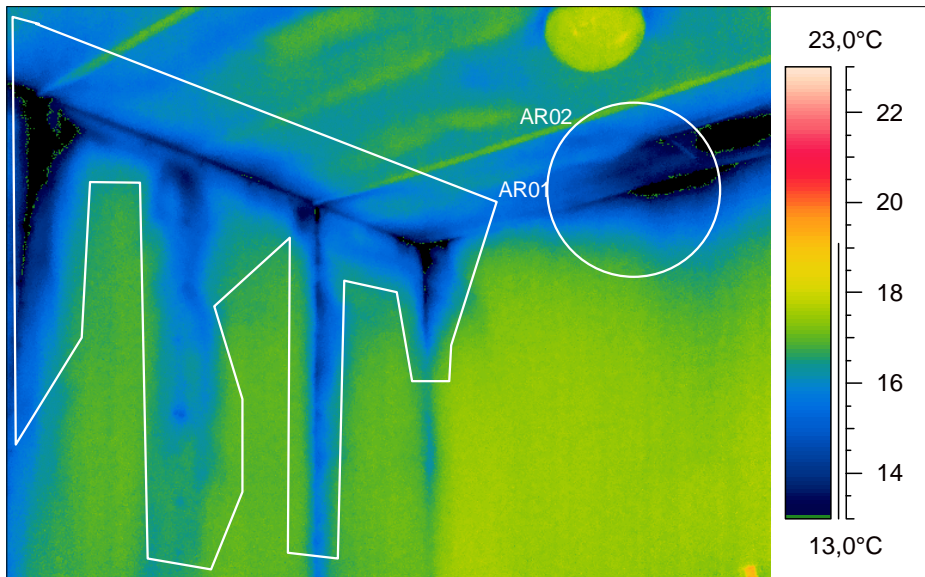
Lämpökuva: Lattian raja on ilmatiivis, ei ilman purkautumista merkittävästi. Keskellä on pieni pistemäinen kohta, jossa ilmavuoto.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	70 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:20:54
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	13,6°C

Ir_4560.jpg



Kuva Huone B

Valokuva: Päätyseinän ja väliseinän nurkkaus.

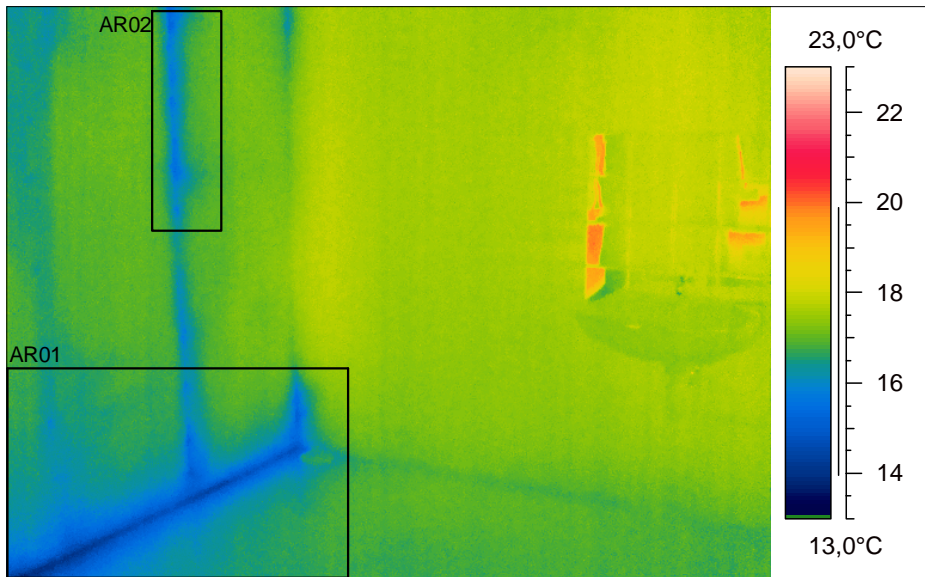
Lämpökuva: Vuotokuvioista näkyvät selvästi ilmavuodot. Purkautumakeskittymiä on katon rajassa vasemmalla ja oikealla lähellä teipattua IV-venttiiliä ja sen juuressa. Pinalämpötilat vuotokohdissa ovat varrattain alhaiset vaikka ulkoilman lämpötila kuvaushetkellä oli +3 astetta.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	51 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:21:27
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	10,8°C
AR02 : min	10,6°C

Ir_4562.jpg


Kuva Huone B

Valokuva: Vrt edellinen kuva. Tämä lattian rajasta alemmaa.

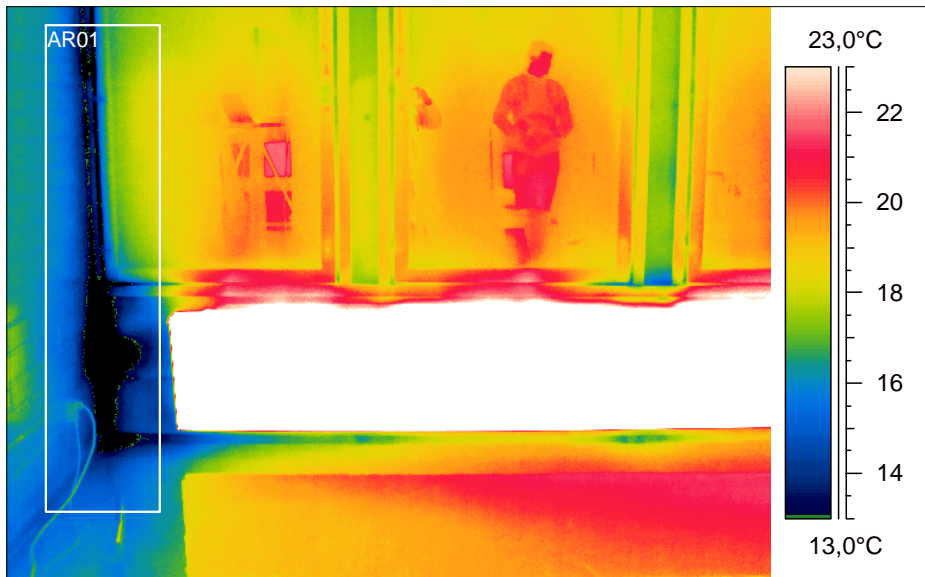
Lämpökuva: Lattian rajassa päätyseinällä ei suoranaista ilmavuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	70 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:21:59
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	13,7°C
AR02 : min	15,2°C

Ir_4564.jpg



Kuva Huone C

Valokuva: Ikkunan alapuolelta lattian rajaa ja seinän kulmausta.

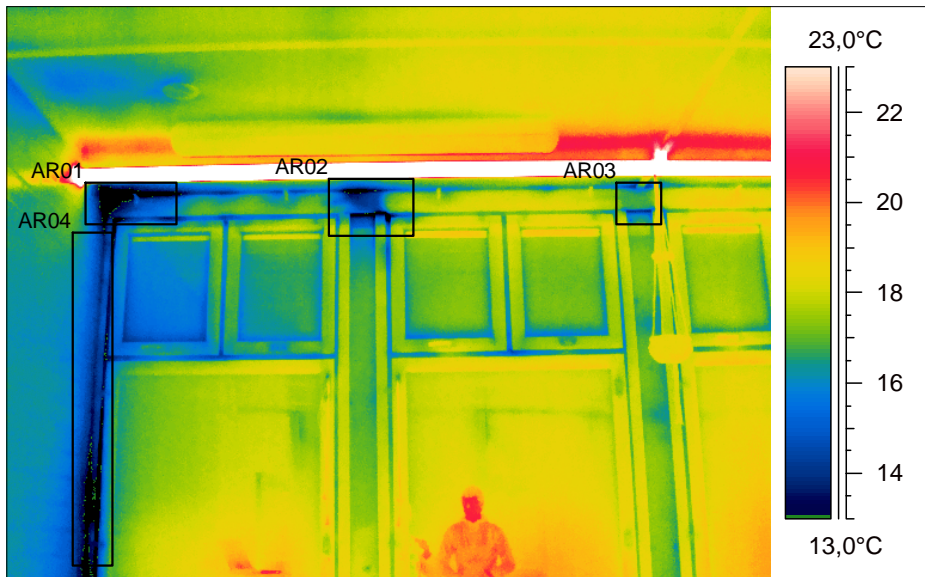
Lämpökuva: Kyseessä on melko voimakas ilmavuoto nurkassa koko korkeudeltaan.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	31 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:22:57
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	7,7°C

Ir_4566.jpg



Kuva Huone C

Valokuva: Ulkoseinän yläosaa ja kattoa.

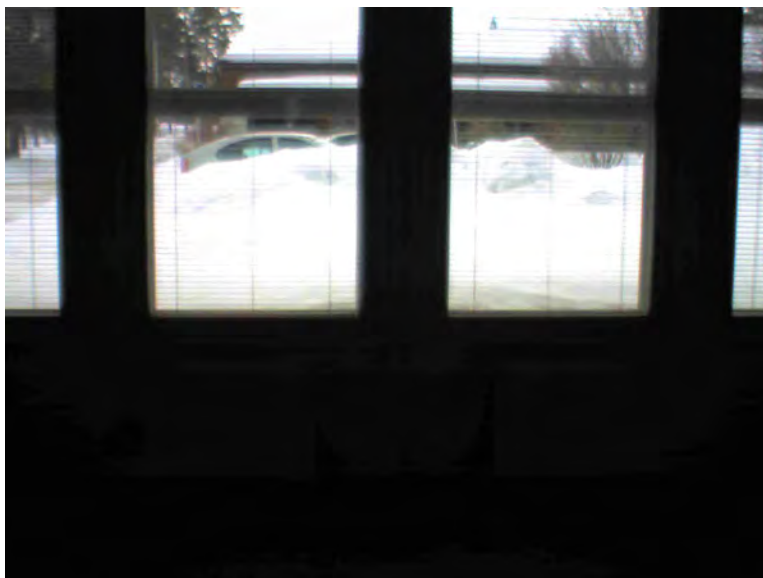
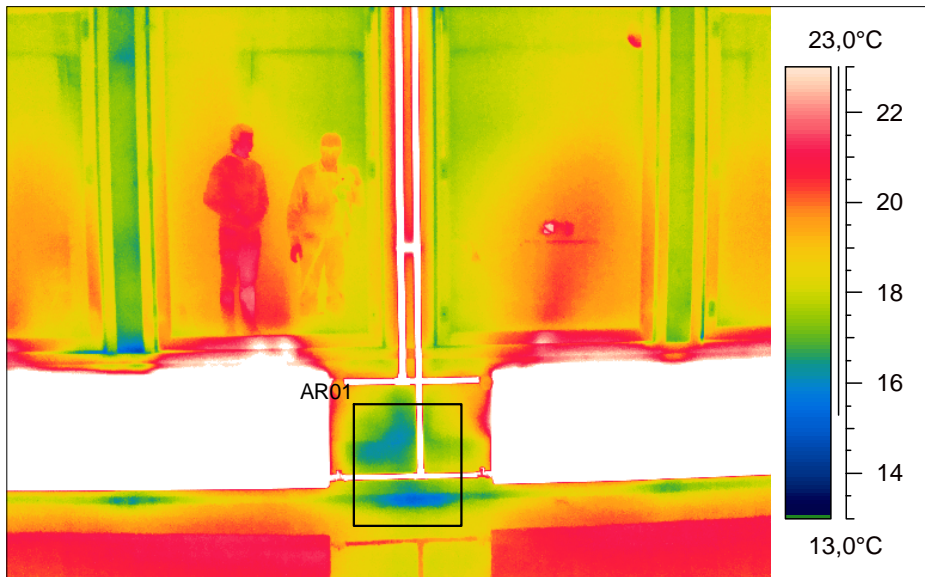
Lämpökuva: Ikkunoiden välissä olevien runkotolppien yläosassa ilmavuotoa. Samoin vasemmassa nurkassa katon rajassa on voimakas ilmavuoto. Katossa vasemmalla myös vuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	35 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:23:41
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	8,3°C
AR02 : min	9,4°C
AR03 : min	13,6°C
AR04 : min	10,3°C

Ir_4568.jpg



Kuva Huone C

Valokuva: Ulkoseinän keskeltä alaosa.

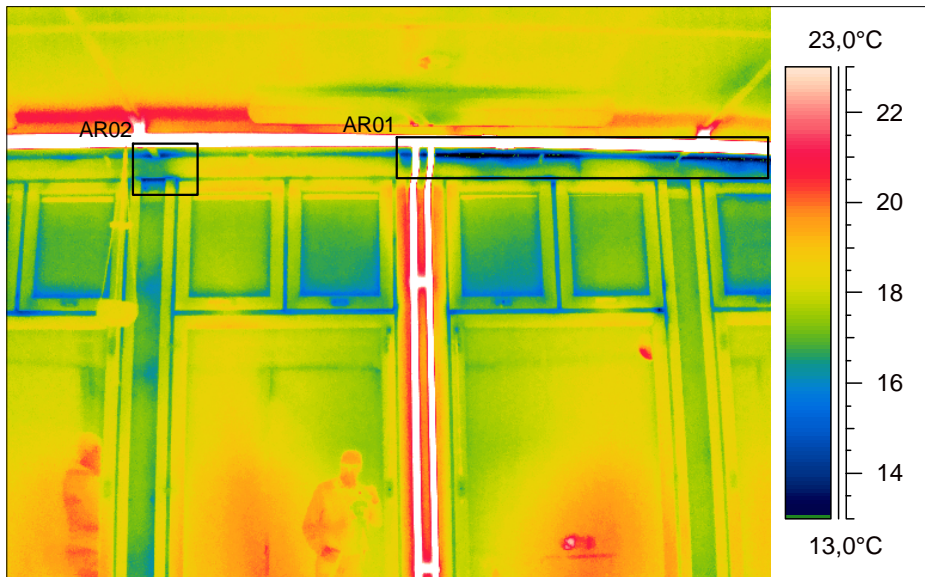
Lämpökuva: AR01:n vuotokuvio ei ole selvä ilmavuotokuvio. Purkautumispaikka on muualla.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	80 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:24:16
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	15,2°C

Ir_4570.jpg



Kuva Huone C

Valokuva: Ulkoseinän keskipaikkeilta ylhäältä.

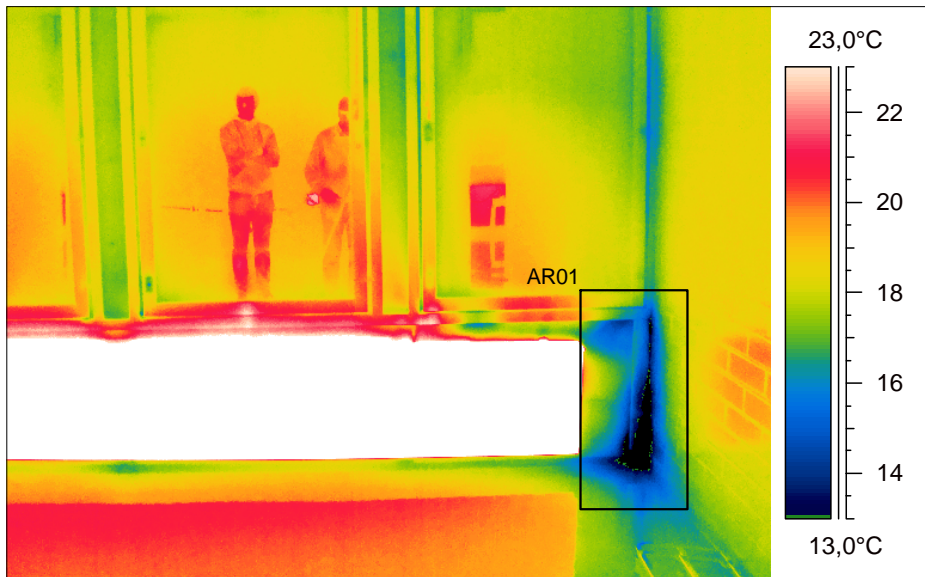
Lämpökuva: Ikkunoiden yläpuolella katon rajassa on ilmavuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	49 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:24:49
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	10,5°C
AR02 : min	13,5°C

Ir_4572.jpg



Kuva Huone C

Valokuva: Huoneen ulkoseinää oikealta reunalta.

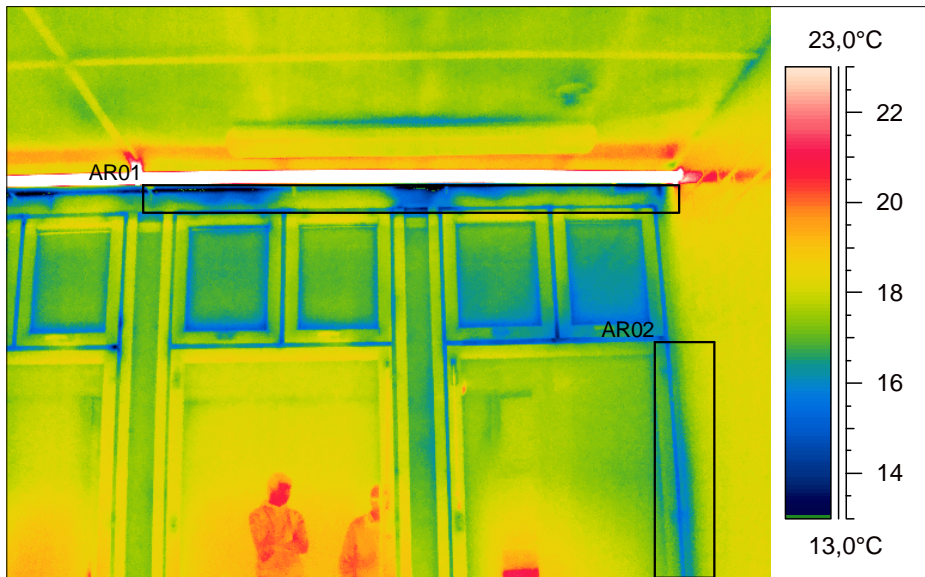
Lämpökuva: Voimakas ilmavuotoalue nurkassa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	38 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:25:19
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	8,8°C

Ir_4574.jpg



Kuva Huone C

Valokuva: Oikean puoleisten ikkunoiden luota.

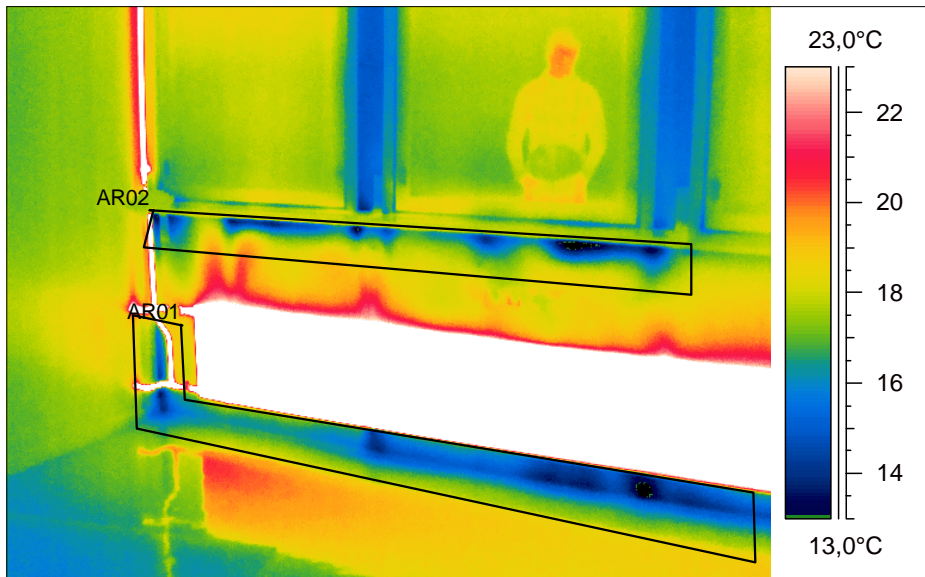
Lämpökuva: Ilmavuotoa ikkunoiden yläpuolella. Nurkassa ikkunan oikealla puolella on myös vuotoalue.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	50 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:25:46
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	10,6°C
AR02 : min	15,0°C

Ir_4576.jpg



Kuva Huone D

Valokuva: Ikkunoiden alapuolelta vasemmalta.

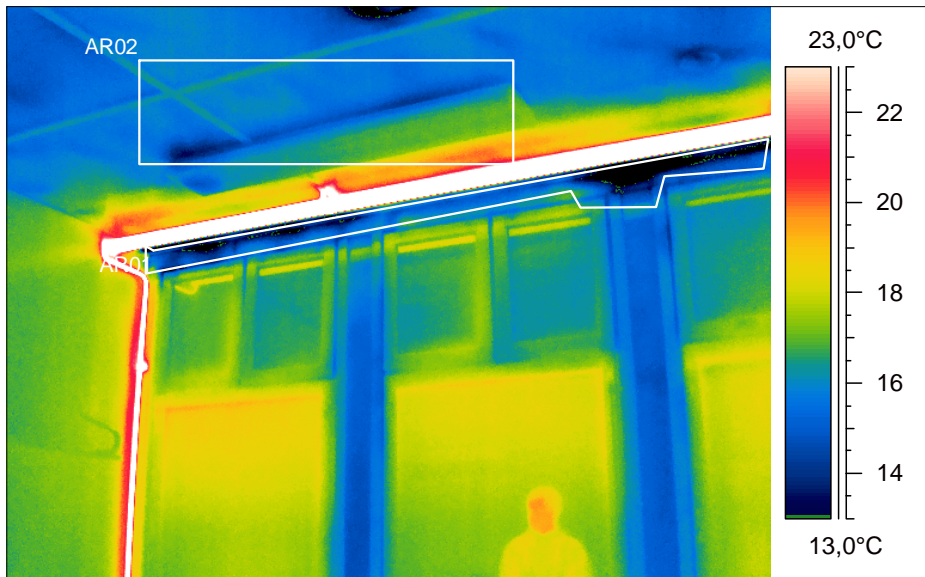
Lämpökuva: Lattian rajassa on ilmavuotoakin. Ikkunoiden alla karmivuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	61 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:26:54
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	12,3°C
AR02 : min	12,2°C

Ir_4578.jpg



Kuva Huone D

Valokuva: Ikkunoiden yläpuolta.

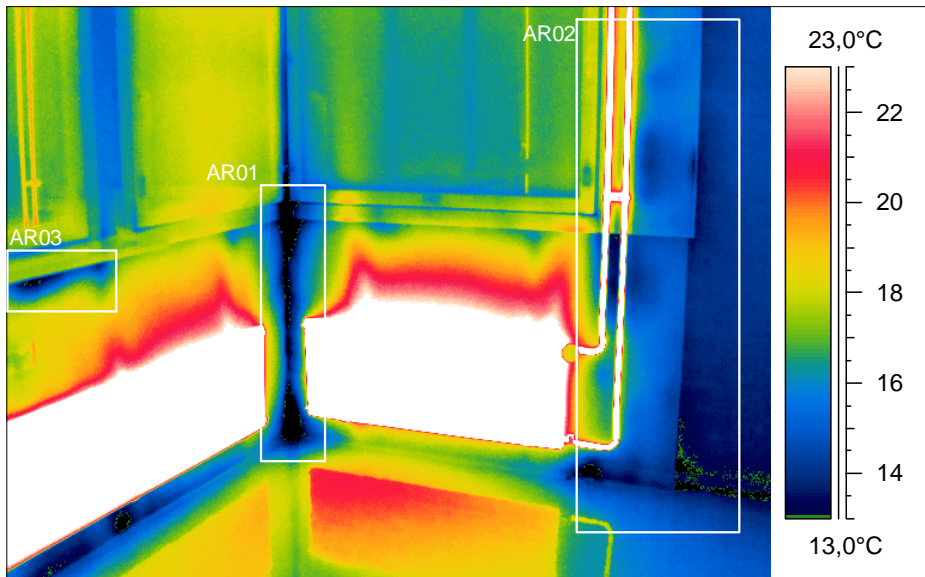
Lämpökuva: Karmivuotoa ikkunoiden yläpuolella. Katossa valaisimen alla ilmavuotoja.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	39 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:27:30
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	8,9°C
AR02 : min	13,3°C

Ir_4580.jpg



Kuva Huone D

Valokuva: Ikkunanurkkaus.

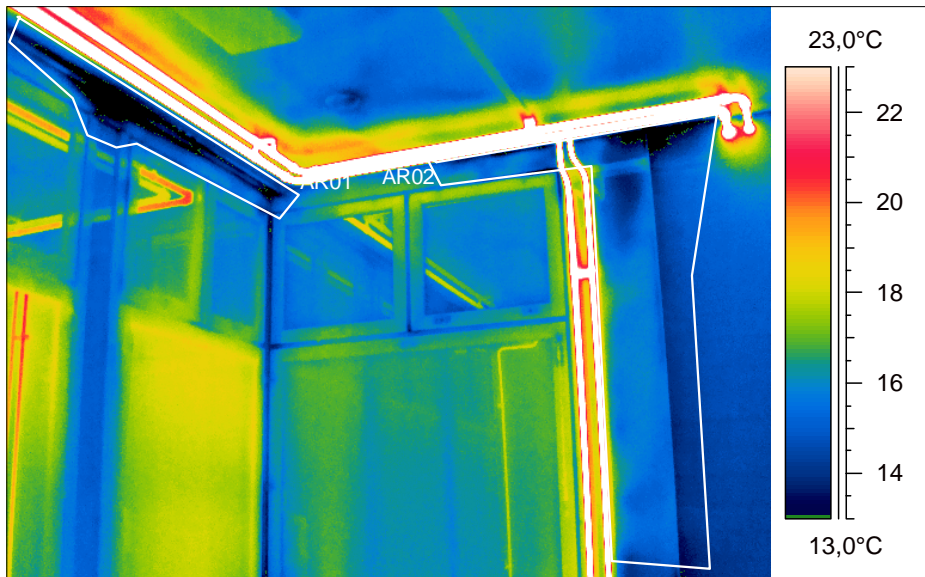
Lämpökuva: Nurkassa voimakas ilmavuoto. Ikkunan oikealla puolella vuotoalueita. ARO3:ssa ikkunan alaosan karmivuoto.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	43 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:28:09
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	9,6°C
AR02 : min	12,4°C
AR03 : min	12,6°C

Ir_4582.jpg



Kuva Huone D

Valokuva: Ikkunanurkkaus.

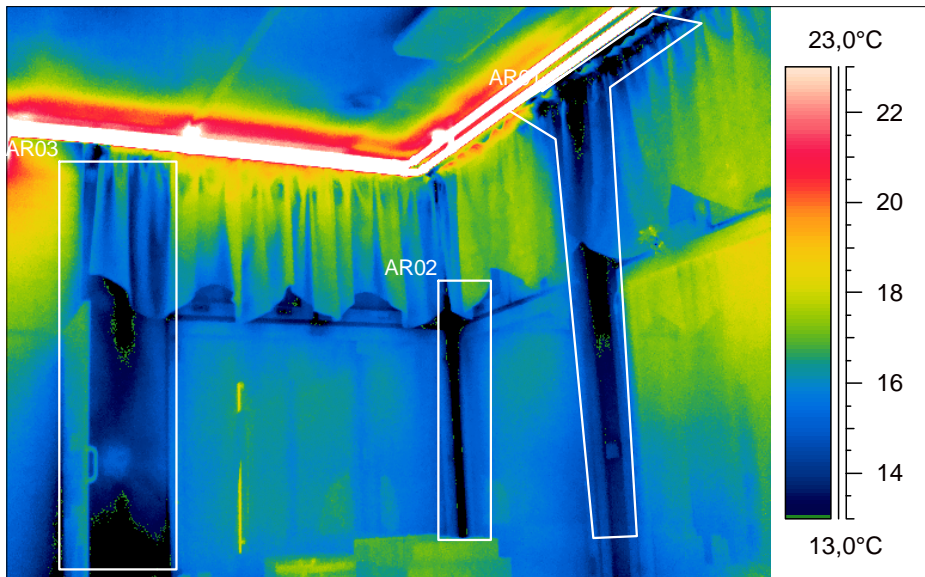
Lämpökuva: ARO1:ssä ikkunoiden yläpuolella karmivuoto. ARO2:ssa voimakkaita ilmavuojoja.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	34 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:28:36
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	8,1°C
AR02 : min	9,8°C

Ir_4584.jpg



Kuva Huone D

Valokuva: Takahuoneen ikkunakulmaus.

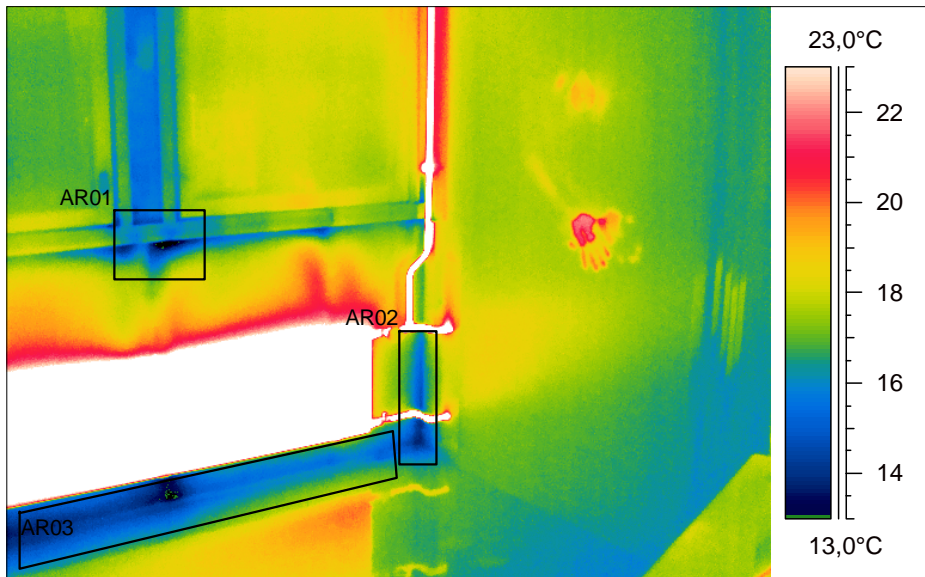
Lämpökuva: Kailla rajatuilla alueilla voimakkaita ilmavuoja.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	43 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:29:22
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	9,6°C
AR02 : min	7,8°C
AR03 : min	11,5°C

Ir_4586.jpg



Kuva Huone D

Valokuva: Viereisen huoneen vastainen nurkka.

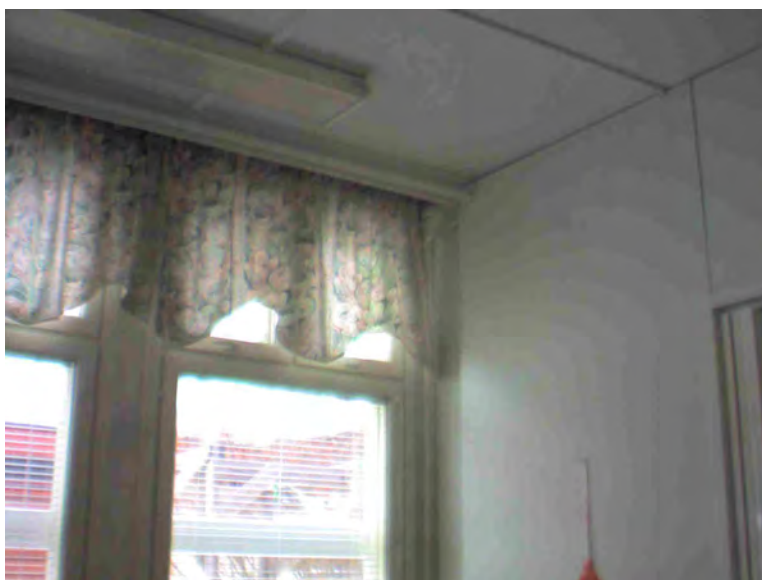
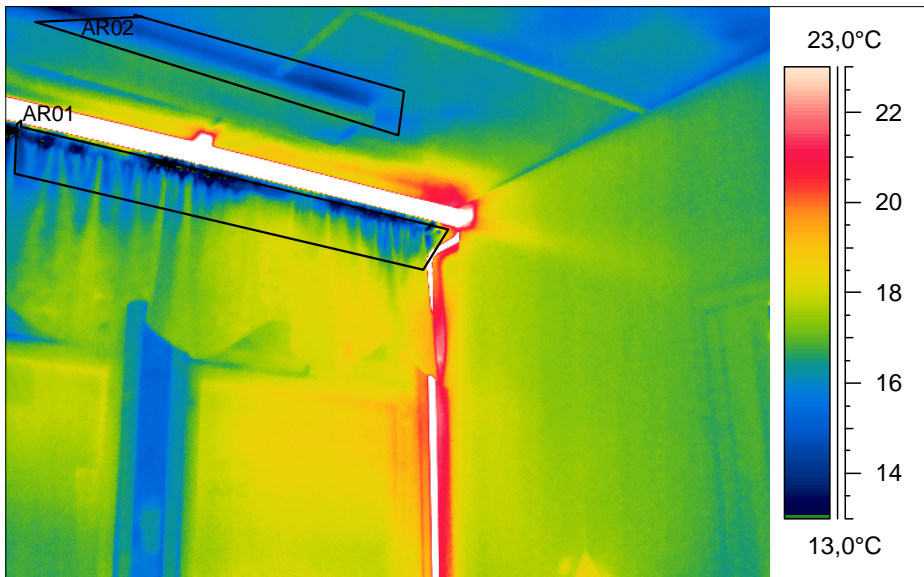
Lämpökuva: Ikkunan alla on ilmapuotoja karmen liitoksessa. Lattian rajan vuotokuvio ei ole selvä ilmapuotokuvio. Nurkassa ei myöskään näy selvä ilmapuodon vaikutus.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	57 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:30:01
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	11,6°C
AR02 : min	13,6°C
AR03 : min	12,7°C

Ir_4588.jpg



Kuva Huone D

Valokuva: Vrt edellinen kuva. Tämä ylempää katon rajasta samasta nurkasta.

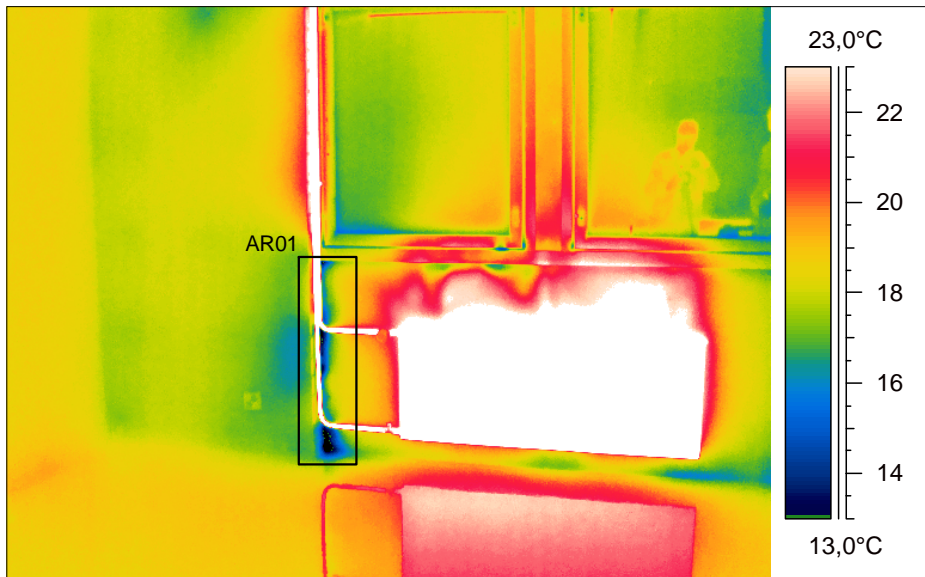
Lämpökuva: Ikkunan yläosassa ilmeisesti karmivuotoa. Lampun alla höyrönsulussa ilmavuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	48 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:30:40
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	10,3°C
AR02 : min	13,9°C

Ir_4590.jpg



Kuva Huone E

Valokuva: Ulkoseinää vasemmalta ja ikkunan alta.

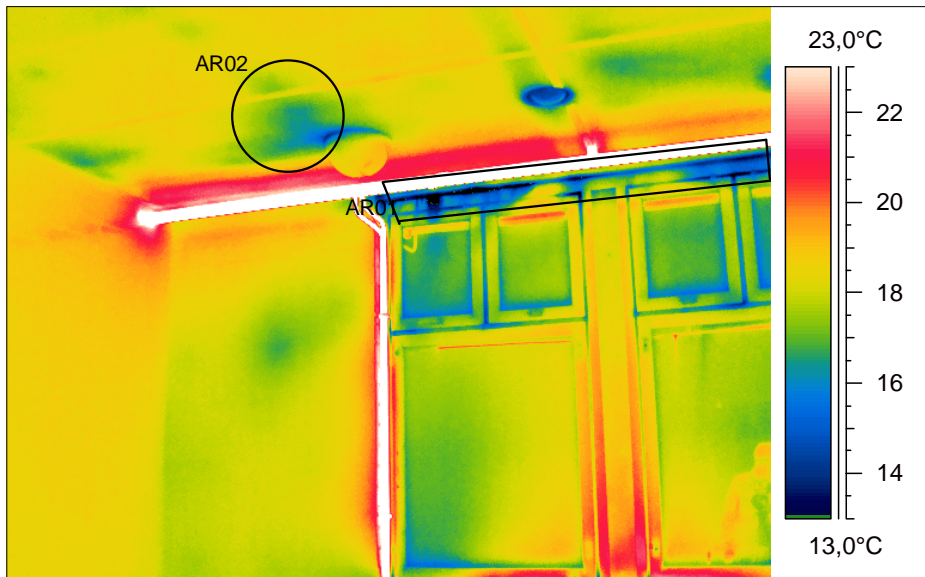
Lämpökuva: Lämpöpatterin syvennyksessä vasemmalla ilmapuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	58 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:31:36
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	11,8°C

Ir_4592.jpg


Kuva Huone E

Valokuva: Vrt edellinen kuva. Tämä ylempää samasta nurkasta.

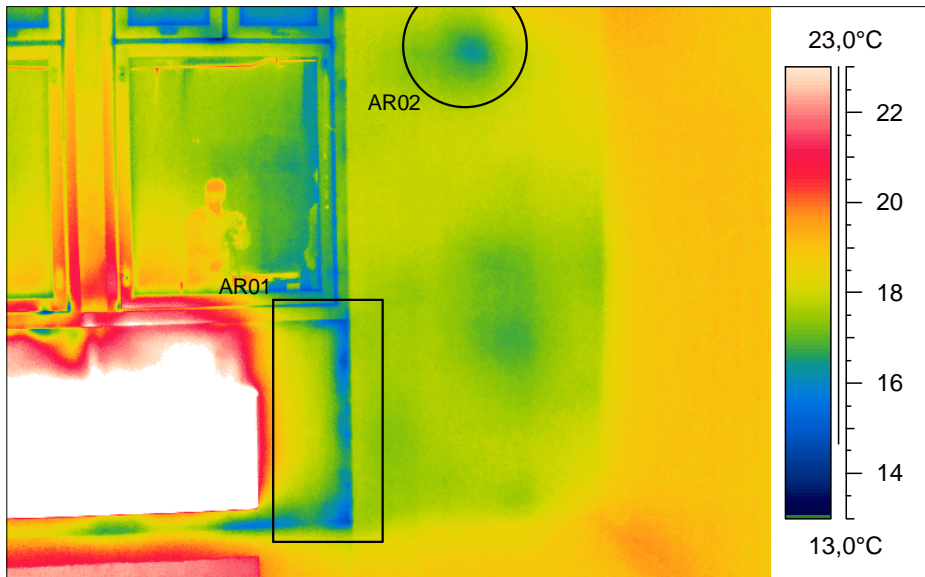
Lämpökuva: Ikkunan karmivuoto ylhäällä. Lampun juuressa ilmavuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	40 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:32:09
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	9,1°C
AR02 : min	14,0°C

Ir_4594.jpg



Kuva Huone E

Valokuva: Ikkunan oikealta puolelta seinän alaosa.

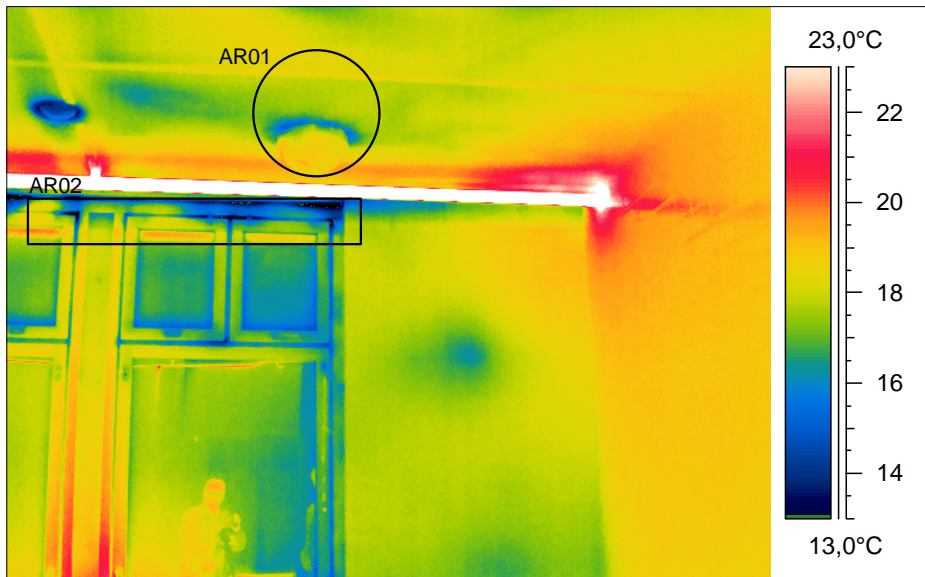
Lämpökuva: Patterisivennyksen oikeassa reunassa ilmavuotoa. ARO2:ssa eristevika.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	77 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:32:33
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	14,6°C
AR02 : min	16,3°C

Ir_4596.jpg



Kuva Huone E

Valokuva: Vrt edellinen kuva. Tämä samasta nurkasta ylempää.

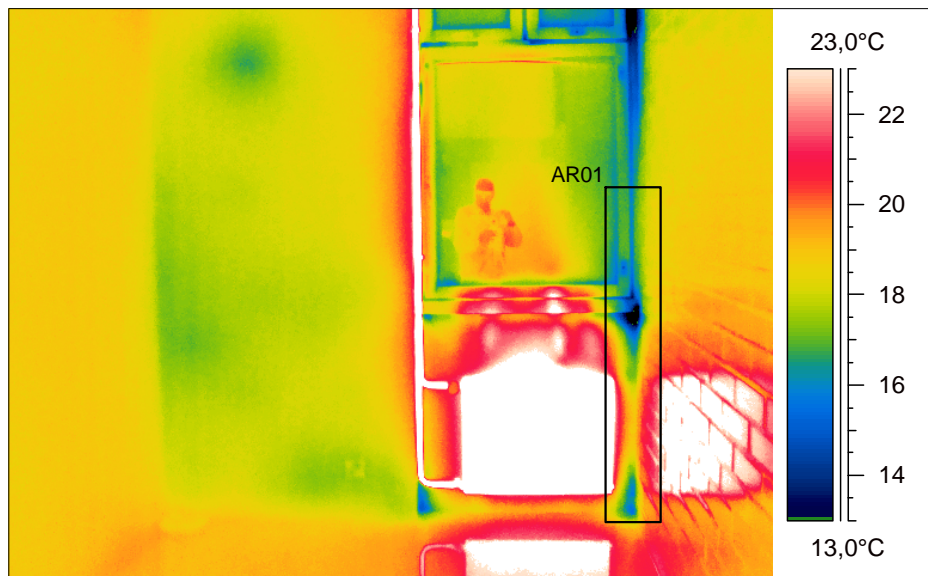
Lämpökuva: Ikkunan yläosassa karmivuoto. Valaisimen ympärillä pientä ilmavuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	79 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:33:02
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	15,0°C
AR02 : min	9,9°C

Ir_4598.jpg



Kuva Huone F

Valokuva: Ulkoseinän alaosa.

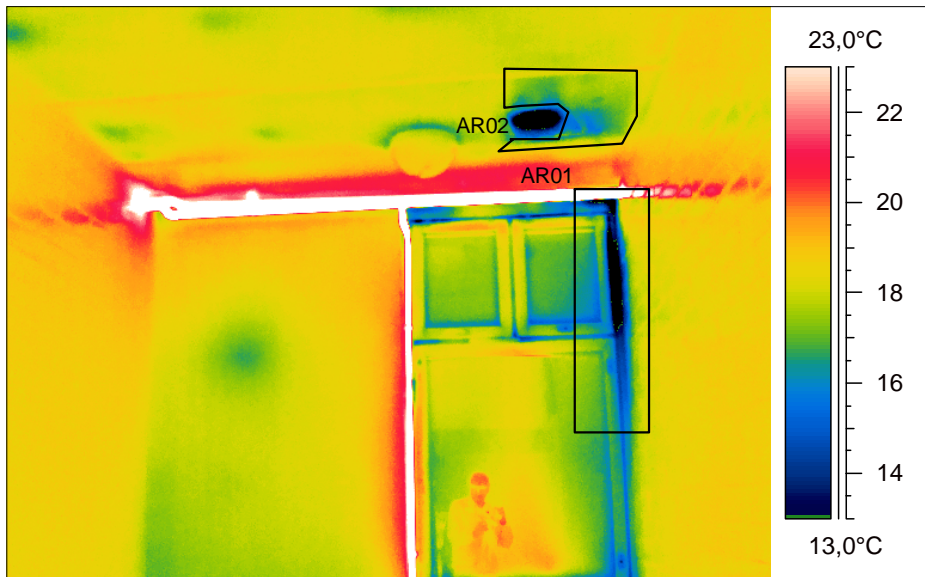
Lämpökuva: Ikkunan oikeassa nurkassa ilmavuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	50 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:33:35
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	10,6°C

Ir_4600.jpg



Kuva Huone F

Valokuva: Seinän yläosaa.

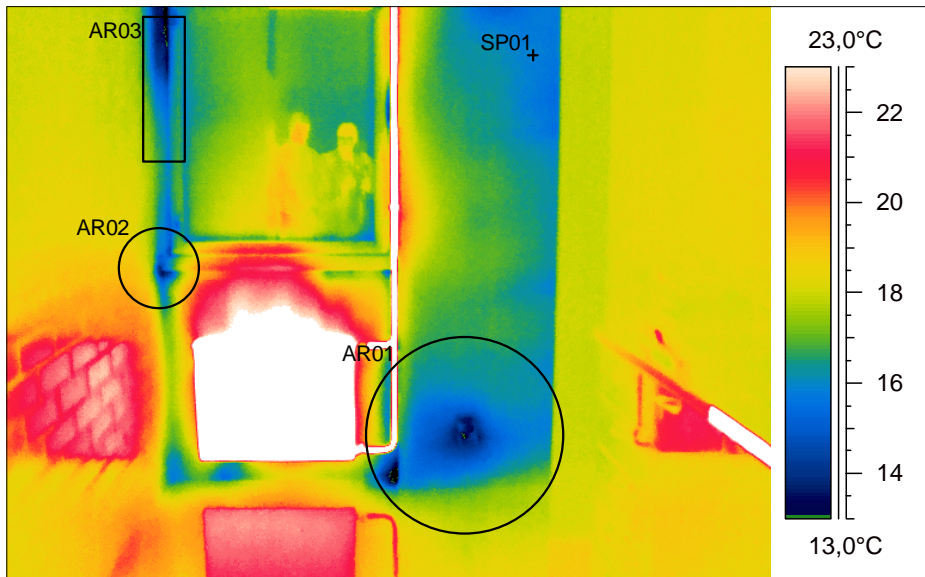
Lämpökuva: Ikkunan oikealla puolella voimakas ilmavuoto.
Ilmastointiventtiilin juuressa höyrynsulun tiivistyksessä ongelmaa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	36 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:33:59
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	8,5°C
AR02 : min	15,1°C

Ir_4602.jpg



Kuva Keittiö

Valokuva: Ulkoseinän alaosa.

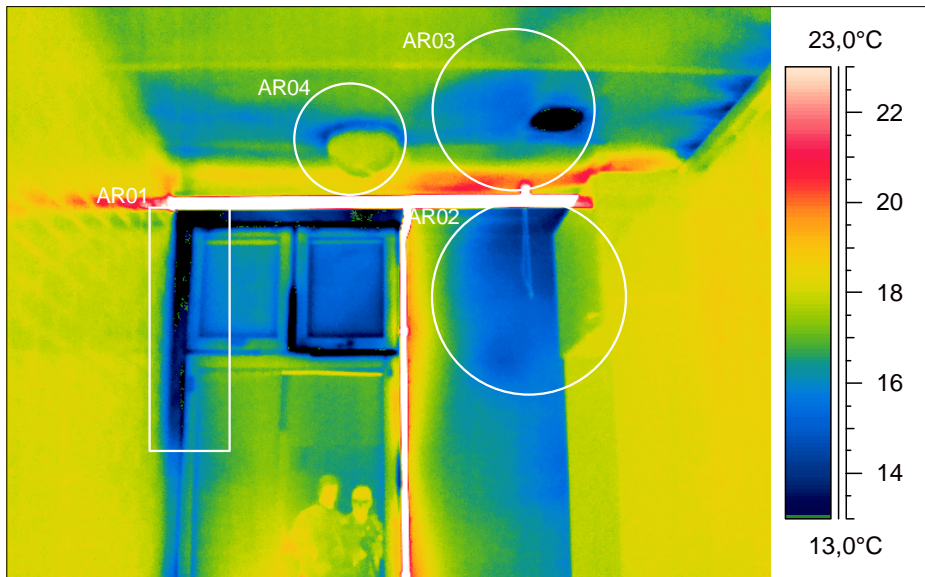
Lämpökuva: Alhaalla pistorasiassa ja patterisyvennyksessä ilmavuotokohdat. Myös ikkunan vasemmassa alakulmassa ja ylempänä vuotoa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	59 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:34:30
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
SP01	15,8°C
AR01 : min	12,0°C
AR02 : min	13,5°C
AR03 : min	12,4°C

Ir_4604.jpg



Kuva Keittiö

Valokuva: Ulkoseinän yläosaa.

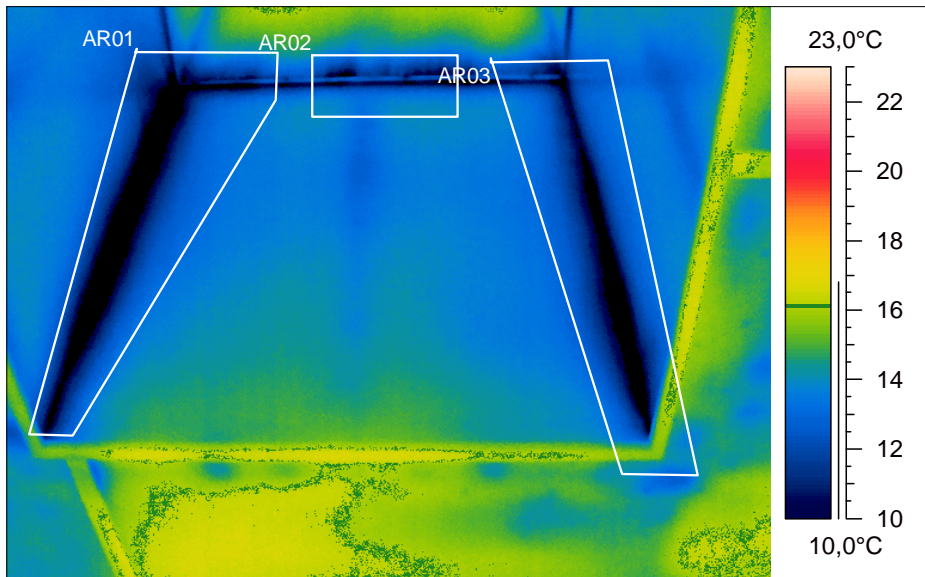
Lämpökuva: Melko voimakkaita ilmavuoja eri kohdissa.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	38 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:35:06
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR01 : min	8,8°C
AR02 : min	13,3°C
AR03 : min	9,0°C
AR04 : min	14,3°C

Ir_4606.jpg



Kuva Kattoikkuna

Valokuva: Kattoluukku, sisääntulon puoleinen reuna.

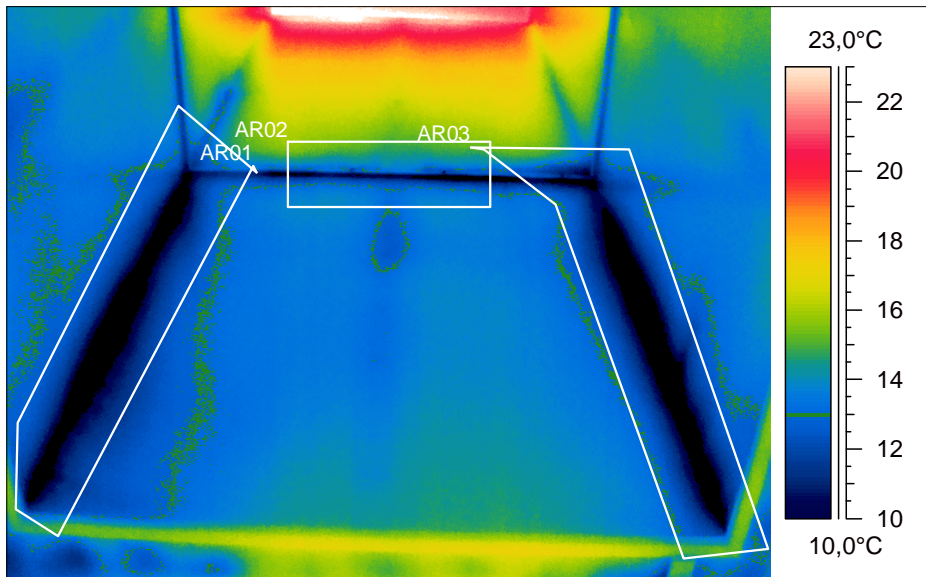
Lämpökuva: Kulmauksissa on ilmapuotoja.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	20 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:36:09
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR03 : min	6,4°C
AR01 : min	6,0°C
AR02 : min	9,2°C

Ir_4608.jpg



Kuva Kattoikkuna

Valokuva: Kattoikkunan takasivun puoleinen reuna.

Lämpökuva: Kulmauksissa on ilmavuotoja.

Emissiviteetti	0,93
Taustan lpt.	20,0°C
Sisäilman lpt.	18°C
Sisäilman suht. kosteus	20%RH
Ulkoilman lpt.	3°C

TI=70%	13,6°C
TI=61%	12,3°C
TI	27 %
Kastepiste	-5,0°C

IR information	Value
Date of creation	1.4.2011
Time of creation	12:36:41
Camera serial number	309000685
Object parameter	Value
Emissivity	0,93
Ambient temperature	20,0°C
Label	Value
AR03 : min	5,3°C
AR01 : min	7,0°C
AR02 : min	8,3°C



Työterveyslaitos

Asiakasratkaisut

ANALYYSIVASTAUS O11215IA

1 (6)

21.4.2011

Talotutkimus Kairitek Oy
Kari Päckilä
Kauppurienkatu 31 B
90100 Oulu



Ilmanäytteen mikrobianalyysi

Näytteenottaja: Taneli Päckilä
Näytteenottoaika: Kuusikoti 41, Oulu
Näytteenottopäivämäärä: 30.3, 31.3, 1.4. ja 11.4.2011
Vastaanottopäivämäärä: 30.3, 31.3, 1.4., 4.4. ja 11.4.2011
Näytemäärä: 29 kpl

Analyysimenetelmä: Impaktorilla kerätyn ilmanäytteen mikrobiologinen analysointi (TY04-TY-035)
Kasvatusmenetelmä, elinkykyisten mikrobien määrä yksikössä cfu/m³
(cfu = colony forming unit = pesäkettä muodostava yksikkö)
Akkreditointi koskee ainoastaan ko. analyysiä.

Määrittäjäraja: 4 cfu/m³

Mikrobiryhmät

Kasvatusalustat

Kasvatus- lämpötila

Kasvatus- aika

Mesofiiliset sienet	Rose Bengal mallasuute-agar (Hagem-agar)	+ 25°C	7 vrk
Mesofiiliset sienet	Dikloran-glyseroli-agar (DG18-agar)	+ 25°C	7 vrk
Mesofiiliset bakteerit	Tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar (THG-agar)	+ 25°C	7 vrk
Mesofiiliset aktinobakteerit	Tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar (THG-agar)	+ 25°C	7-14 vrk

Tutkitut näytteet

1. Huone A
2. Huone B
3. Huone E
4. Huone D
5. Huone C
6. Huone C
7. Huone D
8. Huone A
9. Huone B
10. Huone D
11. Huone D
12. Huone C
13. Huone B
14. Huone A
15. Huone D

ANALYYSIVASTAUS O11215IA 2 (6)

- 16. Huone C
- 17. Huone A
- 18. Huone B
- 19. Huone D
- 20. Huone D
- 21. Huone B
- 22. Huone A
- 23. Huone B
- 24. Huone D
- 25. Huone C
- 26. Oleskelutila 2
- 27. Ryömintätila
- 28. Kellari
- 29. Yläpohja

Analyysitulokset:

Näyte	Mesofiiliset sienet Hagem-agar		DG18-agar		Mesofiiliset bakteerit THG-agar	
	Yhteensä		Yhteensä		Yhteensä	
1.	Yhteensä <i>Penicillium</i>	7 7	Yhteensä hiivat, vaalea	4 4	Yhteensä	57
2.	Yhteensä	-	Yhteensä <i>Penicillium</i>	7 7	Yhteensä	36
3.	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä	21
4.	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä <i>A. penicillioides</i> * <i>A. ustus</i> ^o hiivat, punainen ^o	12 4 4 4	Yhteensä	93
5.	Yhteensä <i>A. versicolor</i> *	4 4	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä <i>Streptomyces</i> * Muut bakteerit	114 4 110
6.	Yhteensä <i>Cladosporium</i>	4 4	Yhteensä hiivat, vaalea	4 4	Yhteensä <i>Streptomyces</i> * Muut bakteerit	68 4 64
7.	Yhteensä <i>Oidiodendron</i> * <i>Penicillium</i>	8 4 4	Yhteensä <i>A. penicillioides</i> *	7 7	Yhteensä	46
8.	Yhteensä	-	Yhteensä <i>Penicillium</i>	11 11	Yhteensä	68
9.	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä	-	Yhteensä <i>Streptomyces</i> * Muut bakteerit	71 7 64
10.	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä <i>A. fumigatus</i> * <i>Wallemia</i> *	8 4 4	Yhteensä	36
11.	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä	28
12.	Yhteensä <i>Penicillium</i>	4 4	Yhteensä	-	Yhteensä	32
13.	Yhteensä <i>Aureobasidium</i> ^o	4 4	Yhteensä	-	Yhteensä <i>Streptomyces</i> * Muut bakteerit	39 4 35
14.	Yhteensä <i>A. fumigatus</i> * <i>Eurotium</i> *	18 11 7	Yhteensä <i>A. fumigatus</i> * <i>Aureobasidium</i> ^o <i>Eurotium</i> *	12 4 4 4	Yhteensä	132

*=kosteusvaurioon viittaava mikrobi, ^o=indikaattorimerkitys vielä avoin (Ympäristö ja Terveys-lehti 8/2005, s. 56-59), *A.*=*Aspergillus*, *Streptomyces*=aktinobakteeri (sädesieni),
- = pitoisuus alle määrittäysrajan

Analyysitulokset:

Näyte	Mesofiiliset sienet		DG18-agar		Mesofiiliset bakteerit	
	Hagem-agar				THG-agar	
15.	Yhteensä	16	Yhteensä	15	Yhteensä	50
	<i>A. fumigatus*</i>	4	<i>A. ochraceus*</i>	7		
	<i>A. ochraceus*</i>	4	<i>Cladosporium</i>	4		
	<i>Cladosporium</i>	4	hiivat,vaalea	4		
	<i>Penicillium</i>	4				
16.	Yhteensä	8	Yhteensä	4	Yhteensä	14
	hiivat,vaalea	4	<i>Penicillium</i>	4		
	<i>Penicillium</i>	4				
17.	Yhteensä	-	Yhteensä	4	Yhteensä	50
			<i>A. versicolor*</i>	4		
18.	Yhteensä	-	Yhteensä	-	Yhteensä	86
19.	Yhteensä	4	Yhteensä	8	Yhteensä	71
	<i>Penicillium</i>	4	<i>Penicillium</i>	4	<i>Streptomyces*</i>	4
			steriilit	4	Muut bakteerit	67
20.	Yhteensä	-	Yhteensä	12	Yhteensä	21
			<i>Aureobasidium</i> ^o	4		
			<i>Cladosporium</i>	4		
			<i>Penicillium</i>	4		
21.	Yhteensä	-	Yhteensä	-	Yhteensä	75
					<i>Streptomyces*</i>	4
					Muut bakteerit	71
22.	Yhteensä	11	Yhteensä	12	Yhteensä	71
	hiivat,vaalea	4	<i>A. penicillioides*</i>	4		
	<i>Penicillium</i>	7	<i>Penicillium</i>	4		
			<i>Wallemia*</i>	4		
23.	Yhteensä	8	Yhteensä	12	Yhteensä	46
	<i>A. fumigatus*</i>	4	<i>A. ochraceus*</i>	4		
	basidiomykeetit ^o	4	<i>A. penicillioides*</i>	4		
			<i>Acremonium*</i>	4		
24.	Yhteensä	-	Yhteensä	-	Yhteensä	50
					<i>Streptomyces*</i>	4
					Muut bakteerit	46
25.	Yhteensä	11	Yhteensä	-	Yhteensä	14
	<i>Penicillium</i>	11				

*=kosteusvaurioon viittaava mikrobi, ^o=indikaattorimerkitys vielä avoin (Ympäristö ja Terveys-lehti 8/2005, s. 56-59), A.=*Aspergillus*, *Streptomyces*=aktinobakteeri (sädesieni),

-= pitoisuus alle määritysrajan

Analyysitulokset:

Näyte	Mesofiilliset sienet Hagem-agar		DG18-agar		Mesofiilliset bakteerit THG-agar	
26.	Yhteensä	40	Yhteensä	118	Yhteensä	154
	basidiomykeetit ^o	18	<i>A. penicillioides</i> *	39		
	<i>Cladosporium</i>	4	<i>Aureobasidium</i> ^o	4		
	<i>Penicillium</i>	18	<i>Cladosporium</i>	39		
			<i>Penicillium</i>	32		
			<i>Wallemia</i> *	4		
27.	Yhteensä	153	Yhteensä	380	Yhteensä	21
	<i>A. versicolor</i> *	7	<i>A. penicillioides</i> *	160	<i>Streptomyces</i> *	7
	basidiomykeetit ^o	7	<i>A. versicolor</i> *	4	Muut bakteerit	14
	<i>Eurotium</i> *	7	<i>Cladosporium</i>	56		
	<i>Monocillium</i>	39	<i>Eurotium</i> *	15		
	<i>Penicillium</i>	93	hiivat,vaalea	4		
			<i>Penicillium</i>	100		
			<i>Wallemia</i> *	41		
28.	Yhteensä	461	Yhteensä	715	Yhteensä	86
	<i>Aureobasidium</i> ^o	4	<i>A. penicillioides</i> *	8	<i>Streptomyces</i> *	4
	<i>Cladosporium</i>	55	<i>Cladosporium</i>	254	Muut bakteerit	82
	<i>Penicillium</i>	402	<i>Eurotium</i> *	12		
			<i>Penicillium</i>	437		
			<i>Wallemia</i> *	4		
29.	Yhteensä	4	Yhteensä	33	Yhteensä	29
	<i>Geothrichum</i>	4	<i>Cladosporium</i>	11		
			<i>Geothrichum</i>	4		
			hiivat,vaalea	18		

*=kosteusvaurioon viittaava mikrobi, ^o=indikaattorimerkitys vielä avoin (Ympäristö ja Terveys-lehti 8/2005, s. 56-59), A.=*Aspergillus*, *Streptomyces*=aktinobakteeri (sädesieni)

Tulkintaohje:

Terveysperusteisia raja-arvoja sisäilman sieni-itiöpitoisuuksille ei ole olemassa. Asumisterveysohjeessa ja -oppaassa (Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1, soveltamisopas 3. korjattu painos 2009) annettujen tulkintaohjeiden mukaan taajamassa sijaitsevien asuinrakennusten sisäilman sieni-itiöpitoisuudet yli 100 cfu/m³ ja aktinobakteeripitoisuudet yli 10 cfu/m³ talviaikana viittaavat mikrobilähteeseen sisätiloissa. Poikkeava mikrobilajisto viittaa mahdolliseen kosteusvaurioon. Yksittäisten kosteusvaurioon viittaavien mikrobien esiintyminen pieninä pitoisuuksina on kuitenkin normaalia. Suuri bakteeripitoisuus (yli 4500 cfu/m³) on useimmiten osoitus puutteellisesta ilmanvaihdosta.

Toimistorakennuksissa sisäilman mikrobipitoisuudet ovat pienempiä kuin asuinrakennuksissa. Sisäilman sieni-itiöpitoisuudet yli 50 cfu/m³ ja aktinobakteeripitoisuudet yli 5 cfu/m³ talviaikana viittaavat mikrobilähteeseen sisätiloissa. Poikkeava mikrobilajisto viittaa mahdolliseen kosteusvaurioon. Suuri bakteeripitoisuus (yli 600 cfu/m³) viittaa riittämättömään ilmanvaihtoon rakennuksessa (Salonen H. ym. Atmospheric Environment 2007, 41:6797-6807).

Sirpa Rautiala

Sirpa Rautiala
vanhempi asiantuntija
Työympäristön kehittämispalvelut

Rauni Ala-aho

Rauni Ala-aho
laboratoriomestari
Työympäristön kehittämispalvelut

Työterveyslaitos

Lab. täyttää:
Näyte saapunut

Työnumero

JOTI-numero

MIKROBIANALYYSIEN TILAUSLOMAKE

Tämän lomakkeen lisäksi tulee täyttää erilliset kutakin näytettä koskevat lähetteet.

Analyyssi halutaan seuraavista näytteistä:

ilmanäytteet	5	kpl
pintänäytteet	_____	kpl
pyyhintänäytteet	_____	kpl
materiaalinäytteet	_____	kpl
nestenäytteet	_____	kpl
muu	_____	kpl

Näytteenottoaika: Kuusikoti 41, Oulu

Näytteenottaja/lähettäjä: Taneli Pääkkilä

Tilauksen yhteyshenkilön yhteystiedot/Vastausosoite:

Yritys: Talonrakennus Kauriteck Oy
Osoite: Kuopperienkatu 31 B
Postinumero: 30200 Paikkakunta: Oulu
Yhteyshenkilö: Kari Pääkkilä
Puh.: 040-5220 442 Sähköposti:
Lisäviite/tilausnro:

Yhteyshenkilön yhteystiedot, jos eri kuin vastausosoite:

Yritys: _____
Osoite: _____
Postinumero: _____ Paikkakunta: _____
Yhteyshenkilö: _____ Puh.: _____

30/3/2011
Tilaus

30/03/2011

Taneli Pääkkilä
Tilauksen allekirjoitus ja nimen selvitys

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, yliviivaa virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos
Ilmaset häirit ja sisäilma -tiimi
Ympäristömikrobiologian laboratorio
Yhteyshenkilö: Neulaniementie 4
01100 KUOPIO
Postiosoite: PL 310, 70101 Kuopio
Puh: 040 5883451

Aapistie 1
90220 OULU
puh 030 4746023

Topeliuksenkatu 41 a A
00250 HELSINKI
puh 030 4742987

netti: etunimi.sukunimi@ttl.fi

11.03.2011

Työterveyslaitos

Lab. täyttää:
Näyte saapunut

Työnumero

JOTI-numero

IIKROBIANALYYSIEN TILAUSLOMAKE

Tämän lomakkeen lisäksi tulee täyttää erilliset kutakin näytettä koskevat lähetteet.

Analyysi halutaan seuraavista näytteistä:

ilmanäytteet	5	kpl
pintänäytteet		kpl
pyyhintänäytteet		kpl
materiaalinäytteet		kpl
nestenäytteet		kpl
muu		kpl

Näytteenottoaika: Keskiviikko 4.4.2011 Oulu

Näytteenottaja/lähettäjä: Taneli Pätkeli

Yhteyshenkilön yhteystiedot/Vastausosoite:

Yhteyshenkilön nimi: Talotutkimus Käsitel Oy
 Osoite: Kauppatori 31 B
 Postinumero: 90700 Paikkakunta: Oulu
 Yhteyshenkilön nimi: Pätkeli Taneli
 Puh.: ~~010 5220 222~~ Sähköposti:
 Viikkoon viite/tilausno: 041-5069 381

Yhteyshenkilön yhteystiedot, jos eri kuin vastausosoite:

Yhteyshenkilön nimi:
 Osoite:
 Postinumero: Paikkakunta:
 Yhteyshenkilön nimi: Puh.:

Oulu 2011
Päiväys

30/3 2011

Tilaajan allekirjoitus ja nimen selvennys

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, ylläilmaa virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos
 Bakteerit ja sisäilma-tiimi
 Ympäristömikrobiologian laboratorio
 Yhteyshenkilö: Neujaniementie 4
 00100 KUOPIO
 Sähköposti: PL 310, 70101 Oulu
 Puh. 040 5883451

Aapistie 1
 90220 OULU
 puh 030 4746023

Töpeluksenkatu 41 a A
 00250 HELSINKI
 puh 030 4742987

Sähköposti: etunimi.sukunimi@ttl.fi

Päiväys: 21.4.2011/mls

Lab. täyttää
Näyte saapunut

Työterveyslaitos

Työnumero

JOTI numero

LÄHETE: ILMANÄYTE IMPAKTORILLA

Näytteenottopäivä: 30.3.2011 Näytteenottaja: Taneli Pekkila

Näytteenottopaikka: Kuusikoti 47, Oulu

Näytteenottopiste	Alusta			Aika min/sarja 1)	Ilmamäärä l/sarja 2)	T °C *	RH % *
	Hagem M2	DG 18	THG				
6 X Huone C				14 min	20 l/s		
7 Z -1- D				14 min	20 l/s		
8 Z -1- A				14 min	20 l/s		
9 Z -1- B				14 min	20 l/s		
10 Z -1- D				14 min	20 l/s		
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							

1) Impaktorin tilavuusvirta 28,3 l/min

2) Ilmoita ilmamäärä, jos tilavuusvirta ei ole 28,3 l/min

*= tieto ei välttämätön

Muuta: _____

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, ylilyyvä virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos
Biologiset haitat ja sisäilma-tiimi
Työympäristömikrobiologian laboratorio
Käyntiosoite Neulanieementie 4
70210 KUOPIO
Postiosoite PL 310, 70101 Kuopio
puh 040 5883451

Aapistie 1
90220 OULU
puh 030 4746023

Topeliuksenkatu 41 a A
00250 HELSINKI
puh 030 4742987

e-mail: elunimi.sukunimi@tti.fi

11.11.2011

Työterveyslaitos

Lab. täyttää:
Näyte saapunut

Tyonumero

JOTI-numero

MIKROBIANALYYSIEN TILAUSLOMAKE

Tämän lomakkeen lisäksi tulee täyttää erilliset kutakin näytettä koskevat lähetteet.

Analyysi halutaan seuraavista näytteistä:

ilmanäytteet	9	kpl
pintanäytteet		kpl
pyyhintänäytteet		kpl
materiaalinäytteet		kpl
nestenäytteet		kpl
muu		kpl

Näytteenottoaika: Kuusikoti 41, Oulu

Näytteenottaja/lähetäjä: Taneli Pähkilä

Tilaaajan yhteystiedot/Vastausosoite:

Yritys Talotutkimus Kainiteh Oy
Osoite Kauppienkatu 31 B
Postinumero 90100 Paikkakunta OULU
Yhteyshenkilö Taneli Pähkilä
Puh 041-5009 391 Sähköposti _____
Asiakkaan viite/tilausno _____

Laskutusosoite, jos eri kuin vastausosoite:

Yritys _____
Osoite _____
Postinumero _____ Paikkakunta _____
Yhteyshenkilö _____ Puh. _____

Oulussa
Päiväys

31.3.2010

Taneli Pähkilä
Tilaaajan allekirjoitus ja nimen selvennys

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, ylitilava virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos
Biologiset häirit ja sisäilma-tiimi
Työympäristömikrobiologian laboratorio
Käyntiosoite: Neulanmentie 4
70210 KUOPIO
Postiosoite: PL 310, 70101 Kuopio
puh 040 5883451

Aapistie 1
90220 OULU
puh 030 4746023

Topeliuksenkatu 41 a A
00250 HELSINKI
puh 030 4742987

etunimi.sukunimi@ttl.fi

14.4.2011/mb



Työterveyslaitos

Lab. täyttää
Näyte saapunut

Työnumero

JOTI-numero

LÄHETE: ILMANÄYTE IMPAKTORILLA

Näytteenottopäivä: 31.3.2011 Näytteenottaja: Taneli Pänkila

Näytteenottopaikka: Kuusiko. 41

Näytteenottopiste	Alusta			Aika min/sarja 1)	Ilmamäärä l/sarja 2)	T °C *	RH % *
	Hagem M2	DG 18	THG				
11 2. Huone D				14 min	20 l/s		
12 2. Huone C				14 min	20 l/s		
13 2. -11- B				14 min	20 l/s		
14 2. -11- A				14 min	20 l/s		
15 2. -11- D				14 min	20 l/s		
16 2. -11- C				14 min	20 l/s		
17 7. -11- A				14 min	20 l/s		
18 8. -11- B				14 min	20 l/s		
19 8. -11- D				14 min	20 l/s		
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							

1) Impaktorin tilavuusvirta 28,3 l/min

2) Ilmoita ilmamäärä, jos tilavuusvirta ei ole 28,3 l/min

*= tieto ei välttämätön

Muuta: _____

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, yllivirtava virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos

Biologiset haitat ja sisäilma -tilmi
Työympäristömikrobiologian laboratorio
Kayntiosoite: Neulaniementie 4
70210 KUOPIO
Postiosoite: PL 310, 70101 Kuopio
puh 040 5883451

Aapistie 1
90220 OULU
puh 030 4746023

Topelluksenkatu 41 a A
00250 HELSINKI
puh 030 4742987

e-mail: etunimi.sukunimi@ttl.fi

Päivitetty 31.1.2011/mh

Työterveyslaitos

Lab. täyttää:
Näyte saapunut

Työnumero

JOTI-numero

MIKROBIANALYYSIEN TILAUSLOMAKE

Tämän lomakkeen lisäksi tulee täyttää erilliset kutakin näytettä koskevat lähetteet.

Analyysi halutaan seuraavista näytteistä:

ilmanäytteet	<u>9</u>	kpl
pintanäytteet	_____	kpl
pyyhintänäytteet	_____	kpl
materiaalinäytteet	_____	kpl
nestenäytteet	_____	kpl
muu	_____	kpl

Näytteenottoaika:

Kuusikoti 41, Oulu

Näytteenottaja/lähettäjä:

Taneli Pekkila

Tilaaajan yhteystiedot/Vastausosoite:

Yritys

Talotekninen Kärnä Oy

Osoite

Kuopinkatu 31 B

Postinumero

90700

Paikkakunta OULU

Yhteysthenkilo

Taneli Pekkila

Puh.

047-5064391

Sähköposti

Asiakkaan viite/tilausnro

Laskutusosoite, jos eri kuin vastausosoite:

Yritys

Osoite

Postinumero

Yhteysthenkilo

Paikkakunta

Puh.

Oulu
Päiväys

1.4.2011

Taneli Pekkila
Tilaaajan allekirjoitus ja nimen selvennys

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, yliviilvää virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos

Biologiset haitat ja sisäilma-tiimi

Työympäristömikrobiologian laboratorio

Käyntiosoite Neulanie mentie 4

70210 KUOPIO

Postiosoite PL 310, 70101 Kuopio

puh 040 5883451

Aapistie 1

90220 OULU

puh 030 4746023

Topeliuksenkatu 41 a A

00250 HELSINKI

puh 030 4742987

e-mail: etunimi.sukunimi@ttli.fi

Fax: 040 3142011/20

Lab. täyttää
Näyte saapunut

Työterveyslaitos

Työnumero

JOTI-numero

LÄHETE: ILMANÄYTE IMPAKTORILLA

Näytteenottopäivä: 1.4.2011 Näytteenottaja: Tanel. Pääkkilä

Näytteenottopaikka: Kuusihoiti 47, Oulu

Näytteenottopiste	Alusta			Aika min/sarja 1)	Ilmamäärä l/sarja 2)	T °C *	RH % *
	Hagem M2	DG 1B	THG				
20 1. Huone D				14 min	20 l/min		
21 2. —" B				14 min	20 l/min		
22 3. —" A				14 min	20 l/min		
23 4. —" B				14 min	20 l/min		
24 5. Huone D				14 min	20 l/min		
25 6. Huone C				14 min	20 l/min		
26 7. Oleskelutila 2				14 min	20 l/min		
27 8. Ryömintätila				14 min	20 l/min		
28 9. Kellari				14 min	20 l/min		
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							

1) Impaktorin tilavuusvirta 28,3 l/min

2) Ilmolta ilmamäärä, jos tilavuusvirta ei ole 28,3 l/min

*= tieto ei välttämätön

Muuta:

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, ylivirta virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos

Biologiset haitat ja sisäilma -tietä
Työympäristömikrobiologian laboratorio
Käyntiosoite: Neulanientie 4
70210 KUOPIO
Postiosoite: PL 310, 70101 Kuopio
puh 040 5883451

Aapistie 1
90220 OULU
puh 030 4746023

Topeluksenkatu 41 a A
00250 HELSINKI
puh 030 4742987

e-mail: etunimi.sukunimi@ttl.fi

Päivitetty 31.2011/mh

Työterveyslaitos

Lab. täyttää:
Näyte saapunut

Työnumero

JOTI-numero

MIKROBIANALYYSIEN TILAUSLOMAKE

Tämän lomakkeen lisäksi tulee täyttää erilliset kutakin näytettä koskevat lähetteet.

Analyysi halutaan seuraavista näytteistä:	Ilmanäytteet	<u>1</u>	kpl
	pintanäytteet	_____	kpl
	pyyhintänäytteet	_____	kpl
	materiaalinäytteet	_____	kpl
	nestenäytteet	_____	kpl
	muu	_____	kpl

Näytteenottoaika: Kuusikoti 21, Oulu

Näytteenottaja/lähetäjä: Taneli Pähkilä

Tilaaajan yhteystiedot/Vastausosoite:

Yritys Talotekninen keskitus Oy
Osoite Kauppamiehenkatu 31 B
Postinumero 90100 Paikkakunta Oulu
Yhteyshenkilö Taneli Pähkilä
Puh. 041-5069 331 Sähköposti _____
Asiakkaan viite/tilausnro _____

Laskutusosoite, jos eri kuin vastausosoite:

Yritys _____
Osoite _____
Postinumero _____ Paikkakunta _____
Yhteyshenkilö _____ Puh. _____

Oulu 8 / 4 2011
Päiväys

Taneli Pähkilä
Tilaaajan allekirjoitus ja nimen selvennys

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, yllivirvaa virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos

Biologiset haitat ja sisäilma -tiimi
Työympäristömikrobiologian laboratorio
Käyntiosoite: Neulanientie 4
70210 KUOPIO
Postiosoite: PL 310, 70101 Kuopio
puh 040 5883451

Aapistie 1
90220 OULU
puh 030 4746023

Topeliuksenkatu 41 a A
00250 HELSINKI
puh 030 4742987

e-mail, etunimi.sukunimi@ttl.fi

Päivitetty 31.2011/mh

Työterveyslaitos

Lab. täyttää
Näyte saapunut

Iyonumero

JOTI numero

LÄHETE: ILMANÄYTE IMPAKTORILLA

Näytteenottopäivä: 8.4.2011 Näytteenottaja: Taneli Pääkkilä

Näytteenottopaikka: Kuusikoti ul. oulu

Näytteenottopiste	Alusta			Aika min/sarja 1)	Ilmamäärä l/sarja 2)	T °C *	RH % *
	Hagem M2	DG 18	THG				
29 1. Yläpohja				17 min	20 L/min		
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							

1) Impaktorin tilavuusvirta 28,3 l/min

2) Ilmoita ilmamäärä, jos tilavuusvirta ei ole 28,3 l/min

*= tieto ei välttämätön

Muuta: _____

Tämä lomake on täytettävä mustekynällä. Mikäli tapahtuu virhe, yliviivaa virheellinen arvo ja kirjoita päälle oikea ja lyhyt selitys ja puumerkki.

Työterveyslaitos
Biologiset häirit ja sisäilma -tunti
Työympäristömikrobiologian laboratorio
käyntiosoite Neulaväenentie 4
70210 KUOPIO
Postiosoite PL 310, 70101 Kuopio
puh 040 5883451

Aapistie 1
90220 OULU
puh 030 4746023

Toppiluksenkatu 41 a A
00250 HELSINKI
puh 030 4742987

e-mail: etunimi.sukunimi@ttli.fi

www.tttli.fi

BUILDING LEAKAGE TEST

LIITE 3

Ilmanpitävyysmittaus alipainemenetelmällä 1. 4.2011

1/2 s.

Date of Test: 1.4.2011
 Test File: n50_040111_1732_alipainetesti
 Customer:

Technician: Taneli
 Building Address: Kuusikoti 41

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m³/h) 2655 (+/- 0.3 %)
 n50: Air Changes per Hour (1/h) 6.03
 w50: m³/(h*m² Floor Area) 16.29
 q50:

Leakage Areas:

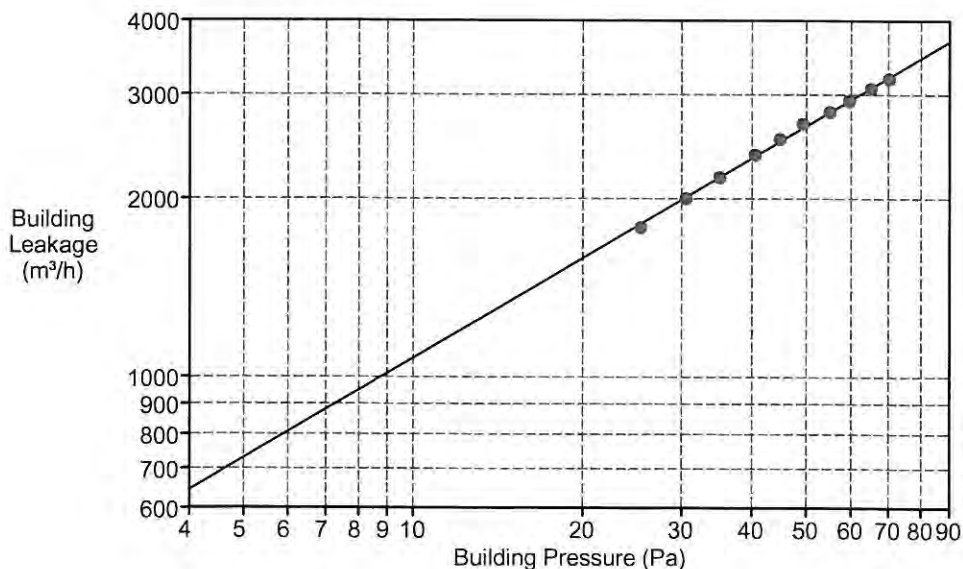
1201.5 cm² (+/- 1.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa
 693.3 cm² (+/- 2.4 %) LBL ELA @ 4 Pa

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 288.3 (+/- 3.7 %)
 Air Leakage Coefficient (CL) = 296.0 (+/- 3.7 %)
 Exponent (n) = 0.561 (+/- 0.009)
 Correlation Coefficient = 0.99887

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
 Type of Test Method: Regulation complied with:
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	18 °C	Volume:	440 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	163 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Ilmanpölymittaus alipainemenetelmällä 1. 4.2011

Date of Test: 1.4.2011 Test File: n50_040111_1732_alipainefesti 2/2 s.

Comments**Data Points: Depressurization**

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.9	n/a				
-70.9	151.6	3284	3187	-0.7	Ring A
-65.9	140.6	3163	3070	-0.3	Ring A
-60.3	127.5	3014	2924	-0.2	Ring A
-55.7	117.0	2888	2803	0.1	Ring A
-50.1	106.4	2756	2674	1.5	Ring A
-45.6	94.5	2598	2521	1.0	Ring A
-41.2	83.5	2444	2372	0.6	Ring A
-35.8	69.9	2238	2172	-0.2	Ring A
-31.3	59.2	2062	2001	-0.7	Ring A
-26.1	47.1	1841	1787	-1.5	Ring A
-0.6	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.9 p01+ = 0.0 p02- = -0.6 p02+ = 0.0

KALIBROINTI 240311	
Jännite, V	Paine-ero, Pa
0,016	0
0,21	10
0,396	20
0,628	30
0,822	40
1,014	50
1,21	60
1,442	70
1,626	80
1,834	90
2	100
0,016	0
0,214	10
0,424	20
0,616	30
0,83	40
1,01	50
1,216	60
1,41	70
1,638	80
1,806	90

	99,709	1,5029
Kalibrointikertoimet	49,8545	-0,75145

Valokuvaliite koekohteesta 3 s



Yleiskuva etupihalta.



Yleiskuva päädyistä.



Etupiikan yleiskuva. Kuuden ikkunan takana huone D ja viimeisenä huonone B ikkuna.



Yleiskuva takapihalta. Kellariin johtavia ovia ja äärimmäisenä oikealla huoneen A ikkuna.



Vesikatto.



Kattoikkunat.

Valokuvaliite koekohteesta 3 s



Yläpohja.



Yläpohja.



Ryömintätila.



Ryömintätila.

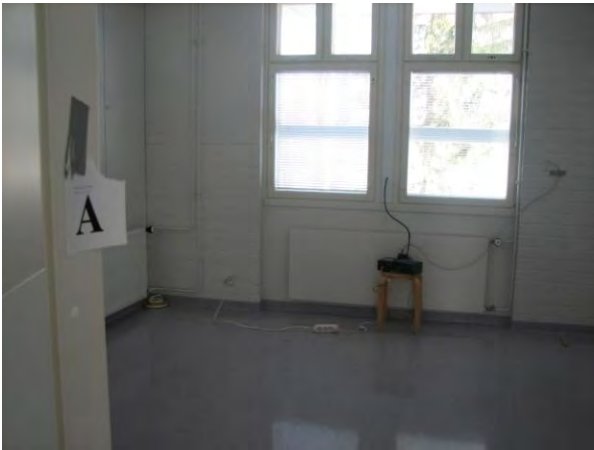


Huone A.



Andersen-keräimen desinfiointi käynnissä huoneessa D. Taustalla ilmanpitävyyssmittauslaite alipaineistamassa.

Valokuvaliite koekohteesta 3 s



Huone A. Taustalla paine-eron mittaus.



Ilmanvaihtokanavat tiivistettiin pääasiassa pumpattavilla kumipalloilla.



Huoneen C viereistä käytävää. Viereiseen soluun johtava oviaukko on tiivistetty oven takapuolelta.



Sisäilmamittaus huoneessa C.



Huone B.

	Homevaurion syy	kpl
	Kellarin seinät	75
1	Seinän vedeneristys ja salaoitus puuttuu	32
2	Seinän salaoitus on tukkeutunut	17
3	Seinän sisäpuolinen lämmöneriste ja/tai rakenne on homeessa	15
4	Pintavedet tunkeutuvat kellaritiloihin	5
5	Katon sadevedet on johdettu kellarin seinää vasten	1
6	Maanpinnan väärä kallistus laskee pintavedet vesieristeen taakse	1
7	Autotallin luiska kerää vedet kellarin	1
8	Kellarin katon muotit ovat paikoillaan ja homeessa päällä olevan muotin takia	1
9	Kellarin seinään tiivistyvä sisäpuolinen kosteus	2
	<i>Salaoituksen ja vedeneristysten ongelmista johtuvat</i>	64
	<i>Pintavesien johtamisesta johtuvat</i>	8
	<i>Väärin tehdyt seinän lämmöneristykset</i>	18
	Tuulettuvat alapohjat	34
10	Riittämätön tuuletus	19
11	Pintavedet vuotavat tuulettuvaan alapohjaan	8
12	Tuulettuvassa alapohjassa on rakennus- tms. homehtuvaa materiaalia	4
13	Osa alapohjan tuuletuksesta on estetty lisärakennuksella	2
14	Multapenkkinen rossipohja, orgaaninen alusta	1
	Maanvastaiset alapohjat	63
15	Lattian alla on homehtunut huolto-onkalo, säilytyskellari tms. tila	12
16	Kapillaarinen nousu betonilaatan muovimaton alle	13
17	Kapillaarinen nousu betonilaatan ja mineraalivillan väliin koolatun puulattian alla	14
18	Ulkopuolelta valuva vesi tunkeutuu valesokkelin taakse seinärakenteisiin	10
19	Ulkopuolelta valuva vesi tunkeutuu lattian lämmöneristekerrokseen	9
20	Kaksoislaatan alemmassa laatassa kastepiste reuna-alueella	1
21	Koolatun puulattian alla betonissa kastepiste	1
22	Jalkineista valuva vesi on kastellut lattian lämmöneristeet	1
23	Tulavesi on kastellut lattian lämmöneristeet	1
24	Tuulettuva alapohja on korjattu maanvastaiseksi, puurakenteet lattiapinnan alla	1
	Yläpohjat	58
	<i>Vuotovauriot</i>	40
25	Harjakatto vuotaa läpi	6
26	Piipun tai muun läpiviennin juuri vuotaa läpi	16
27	Harjakaton vuoto on pysähtynyt eristeisiin	15
28	Tasakatto vuotaa läpi	3
	<i>Muut kattovauriot</i>	18
29	Huonosti tuulettuva yläpohja	12
30	Vesi kondensoituu peltikattoon tuuletuksesta huolimatta	1
31	Yläpohjassa on liian tiivis tuulensuoja (muovi tms.)	2
32	Korjauksen yhteydessä on jätetty homeiset materiaalit vaihtamatta	3
	Pesuhuoneet	98
	<i>Lattiavauriot</i>	20
33	Pesuhuoneen lattiakaivo vuotaa eristetilaan laajalti	5
34	Pesuhuoneen lattiakaivo vuotaa betoniin laajalti, muovimatto homeessa	7

35	Vessan lattiakaivo puulattiassa vuotaa	1
	<i>Lattiakaivovuodot</i>	13
36	Pesuhuoneen lattian muovimaton saumat vuotavat	6
37	Lattian kaato on seinään päin	1
	<i>Pesuhuoneen seinän vauriot</i>	76
38	Seinän muovitapetin saumat vuotavat	2
39	Seinäessä on reikä	4
40	Kipsilevyseinän vesieriste puuttuu	22
41	Vaneri/lastulevyseinän vesieriste puuttuu	11
42	Tiiliseinän vesieriste puuttuu	16
43	Kipsilevyseinän vesieriste ei pidä	11
44	Seinän muovipanelointi ei pidä vettä	1
45	Suihkuseinä paneelia, homeessa	2
46	Suihkun suojaseinä homeessa	1
47	Suihkun vedet vuotavat naapurihuoneeseen, jossa on homevaurio	5
48	Seinäessä höyrynsulku ja vesieriste	1
49	Uima-allas vuotaa	1
50	Saunan seinän tuuletus puuttuu	1
	Ulkoseinät	30
	<i>Vuotovauriot</i>	15
51	Syöksytorvi poikki tai vuotaa	2
52	Rakenteisiin valuu vettä ulkoportaan tai parvekkeen laatalta	9
53	Vesikatko vuotaa ulkoseinän sisään	2
54	Ikkunapelti vuotaa seinän sisään	1
55	Julkisivulaudoitus vuotaa	1
	<i>Kondenssivauriot</i>	10
56	Kylmän seinän sisäpinta kondensoi	2
57	Hirsiseinän raot vuotaa, sisäpuolinen kondenssi	1
58	Höyrynsulku rikki, kondenssi rakenteessa	1
59	Lämmöneristyksessä puute, sisäpuolinen kondenssi	6
	<i>Diffuusiovauriot</i>	5
60	Höyrynsulku ulkopuolella	3
61	Ulkopuolisen rakenteet homeessa muuten diffuusion takia (nk. täystiiliseinä)	1
62	Ulkoseinän korjauksessa jätetty väliin tiivis pinta	1
	Muut kondenssivauriot	17
63	WC-istuin hikoilee, vesi valuu muovimaton alle tms.	4
64	Viemärin tuuletusputki hikoilee eristeisiin	1
65	Kylmävesijohto kondensoi	3
66	Ilmanvaihtoputken kondenssi	5
67	Kylmiön seinä tai muu rakenne kondensoi	4
	Putkisto- tai laitevuodot	43
68	Astianpesukoneen vuoto	7
69	Pesukoneen vuoto	3
70	Muun kojeen vuoto	4
71	Vesijohtovuoto	14
72	Lämmitysputkiston vuoto	6
73	Patterivuoto	1

74	Lämminvesivaraajan vuoto	1
75	Viemärin vuoto	6
76	Viemärin tulviminen	1
	Väliseinärakenteet	3
77	Rakenne on tehty homeisista materiaaleista	1
78	Puurakenteinen väliseinä betonilaatan alapuolella	2
	Ilmanvaihdon puutteesta johtuvat	5
79	Pesuhuoneen pintamateriaalit ovat homehtuneet	1
80	Saunan rakenteet ovat homehtuneet	1
81	Kosteus tiivistyy yläpohjan rakenteisiin	1
82	Ilmanvaihdon eristämättömässä kokoojakotelossa kosteus tiivistyy	2