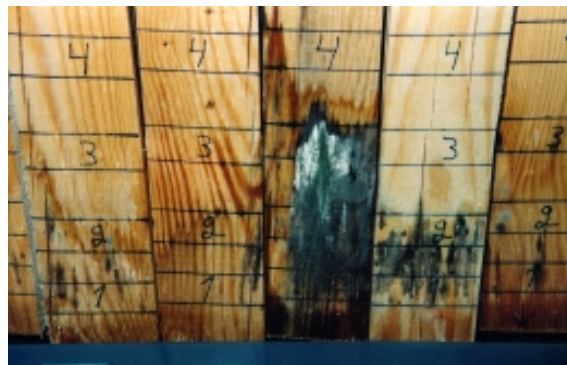
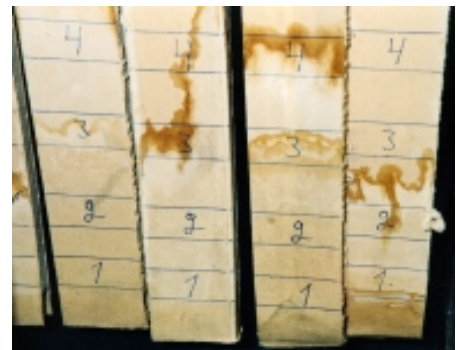
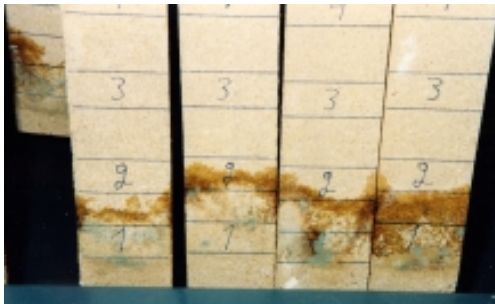


**Jouko Rantamäki, Hannu Kääriäinen, Kauko Tulla,  
Hannu Viitanen, Pentti Kalliokoski, Timo Keskikuru,  
Helmi Kokotti & Anna-Liisa Pasanen**

## **Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet**





# Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet

Jouko Rantamäki, Hannu Kääriäinen,  
Kauko Tulla & Hannu Viitanen

VTT Rakennustekniikka

Pentti Kalliokoski, Timo Keskikuru,  
Helmi Kokotti & Anna-Liisa Pasanen  
Kuopion Yliopisto, Ympäristötieteiden laitos



ISBN 951-38-5667-4 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5668-2 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1235-0605 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland,  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakentaminen ja kiinteistönhallinta, Kaitoväylä 1, PL 18021, 90571 OULU  
puh. vaihde (08) 551 2111, faksi (08) 551 2090

VTT Byggnadsteknik, Byggnad och fastighetsförvaltning, Kaitoväylä 1, PB 18021, 90571 OULU  
tel. växel (08) 551 2111, fax (08) 551 2090

VTT Building Technology, Construction and Facility Management,  
Kaitoväylä 1, P.O.Box 18021, FIN-90571 OULU, Finland  
phone internat. + 358 8 551 2111, fax + 358 8 551 2090

VTT Rakennustekniikka, Rakennusmateriaalit ja -tuotteet sekä puutekniikka,  
Puumiehenkuja 2 A, PL 1806, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7027

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsmaterial och -produkter, träteknik,  
Träkarlsgränden 2 A, PB 1806, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7027

VTT Building Technology, Building Materials and Products, Wood Technology,  
Puumiehenkuja 2 A, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7027

Toimitus Kerttu Tirronen

Otamedia Oy, Espoo 2000

Rantamäki, Jouko, Kääriäinen, Hannu, Tulla, Kauko, Viitanen, Hannu, Kalliokoski, Pentti, Keskikuru, Timo, Kokotti Helmi & Pasanen, Anna-Liisa. Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet [Mildew in buildings and building materials]. Espoo 2000, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2030. 40 s. + liitt. 6 s.

**Avainsanat** buildings, construction materials, fungi, fungus resistance, moisture, microbiology, damages, indoor air, renovation

## Tiivistelmä

Tiedotteeseen on koottu käytännön rakentamiselle merkittäviä tutkimustuloksia Ekologisen rakentamisen tutkimusohjelman tutkimuksesta "Rakennusten rakenteiden kosteus- ja sieni-homevaurioiden esiintyminen ja korjaus". Tutkimuksen lähtökohtana oli rakennusmateriaalien kosteuden ja mikrobikasvun välinen vuorovaikutus, koska varsinkin vaihtelevan kosteuden vaikutus mikrobikasvuun tunnetaan puutteellisesti.

Laboratoriokokeissa selvitettiin eri rakennusmateriaalien alttiutta mikrobikasvuun ennalta valitulla mikrobiyhdistelmällä. Suhteellinen kosteus vaihteli portaittain. Kokeissa seurattiin haihtuvia aineenvaihduntatuotteita ja mikrobien kasvunopeutta. Säähuonekokeissa simuloitiin tilannetta, joka syntyy rakennuksissa pitkäaikaisen kosteusvaurion yhteydessä. Osan aikaa materiaalinäytteet olivat suorassa kosketuksessa veteen, samalla kun ilman suhteellinen kosteus pidettiin vakiona. Myöhemmin materiaaleja kuivattiin ja kostutettiin ilmassa, jolloin voitiin seurata näytteiden mikrobikasvua eri kosteusolosuhteissa. Veden imeytyminen materiaaliin käynnistää mikrobikasvuston, vaikka ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on pienempi kuin kasvun ylläpidon vaatima kosteus. Rakennusten vauriokohdista otettiin materiaalinäytteitä, joiden perusteella selvitettiin vaurion laajuutta ja kosteustilan merkitystä mikrobimääriin eri rakennusmateriaaleissa.

Ryömintätilaisissa rakennuksissa voitiin radonin avulla määrittää, mikä osuus sisäilman korvausilmasta tulee alapohjan kautta. Kokeilut rakennusten alipaineistuksesta antoivat viitteitä siitä, että alipaineistusta voidaan käyttää apuna arvioitaessa rakennusten homevaurioita. Asia vaatii kuitenkin lisäselvityksiä.

Raportissa verrataan eri menetelmiä mikrobikasvun arvioimiseksi ja tarkastellaan, miten tuloksia voitaisiin hyödyntää korjaustöitä suunniteltaessa.

Rantamäki, Jouko, Kääriäinen, Hannu, Tulla, Kauko, Viitanen, Hannu, Kalliokoski, Pentti, Kesikuru, Timo, Kokotti Helmi & Pasanen, Anna-Liisa. Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet [Mildew in buildings and building materials]. Espoo 2000, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2030. 40 p. + app. 6 p.

**Keywords** buildings, construction materials, fungi, fungus resistance, moisture, microbiology, damages, indoor air, renovation

## Abstract

This bulletin includes results from an extensive study that are reckoned to be of significance from the standpoint of practical construction. The purpose of the study was to determine the interaction between moisture in construction materials and microbe growth. Especially the effect of variable moisture on microbe growth has been inadequately understood.

Laboratory tests were conducted using preselected microbe combinations to determine the vulnerability of different construction materials to microbe growth. Relative humidity was varied in steps. Volatile metabolic products and microbe growth were observed during the tests. The situation that develops in buildings in conjunction with long-term moisture damage was simulated in a climate room. Part of the time the material samples were in direct contact with water while the relative humidity of the air was kept constant. Later the materials were dried and dampened in air so microbe growth on the samples could be observed in different moisture conditions. Absorption of water into materials initiates microbe growth even though the relative humidity of the surrounding air is lower than the level required to maintain growth. Material samples were taken from damaged places in buildings. The samples were used to determine the extent of damage and the significance of the degree of moisture to the amount of microbes in different construction materials.

In buildings with crawl spaces radon was used to determine the percentage of replacement air coming from under the floor. Tests with underpressurization of buildings indicated that this could be used as an aid in estimating mildew damage in a building. Further studies are needed, however.

The report compares different methods of estimating microbe growth and explains how the results should be used in planning repairs.

# Alkusanat

Rakennusten kosteusvauriot ja niiden synnyttämä homekasvusto (homevauriot) ovat nousseet otsikoihin julkisessa sanassa viime vuosina. Homevaurioiden syyt ovat moninaiset eikä homeiden kasvuolosuhteitakaan ole tarkasti selvitetty käytännön olosuhteissa. Tässä tutkimuksessa ongelmaa lähestyttiin käytäntöä muistuttavilla kokeilla ja kenttäselvityksillä, jotta saataisiin realistinen kuva rakennusten homevaurioista ja niiden synnystä sekä korjausmahdollisuuksista.

Tiedote on kooste Ekologisen rakentamisen tutkimusohjelman tutkimuksesta "Rakennusten rakenteiden kosteus- ja sieni/homevaurioiden esiintyminen ja korjaus". Tutkimusta tuki Suomen Akatemia (hanke nro 33404). Tutkimus on monitieteinen ja sen tekivät yhdessä Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitos ja VTT Rakennustekniikka vuosina 1995–1999.

Tutkimukseen osallistuivat seuraavat henkilöt:

Hannu Kääriäinen	VTT Rakennustekniikka
Jouko Rantamäki	VTT Rakennustekniikka
Kauko Tulla	VTT Rakennustekniikka
Hannu Viitanen	VTT Rakennustekniikka
Pentti Kalliokoski	Kuopion Yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Timo Keskikuru	Kuopion Yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Helmi Kokotti	Kuopion Yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Anna-Liisa Pasanen	Kuopion Yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Tutkimushankkeen vastuullisena johtajana toimi professori Pentti Kalliokoski ja Kuopion yliopiston tutkimusosuuden vastuuhenkilönä dosentti Anna-Liisa Pasanen. VTT Rakennustekniikan tutkimusosuuden vastuuhenkilönä oli johtava tutkija Jouko Rantamäki.

Oulussa 20.12.1999

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	9
1.1 Tutkimusohjelma.....	9
1.2 Tutkimusten työnjako.....	9
1.3 Tiedotteen sisältö.....	10
2. Laboratoriokokeet pienillä lasikammioilla.....	11
2.1 Koejärjestelyt.....	11
2.2 Tutkittavat mikrobit ja rakenteet.....	11
2.3 Kasvatusolosuhteet ja analyysit.....	12
2.4 Lasikammiokokeiden tuloksia.....	13
3. Säähuonekokeet.....	16
3.1 Yleistä koejärjestelyistä.....	16
3.2 Näytteenotto mikrobianalyysyä varten ja näytemäärät.....	17
3.3 Mikrobianalyysit.....	18
3.4 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	18
3.5 Kosteuden mittaus koemateriaaleista.....	21
3.6 Johtopäätökset sääkaappikokeista.....	23
4. Kenttämittaukset.....	24
4.1 Materiaalin kosteuden ja vauriokohdan etäisyyden vaikutus mikrobipitoisuuteen.....	24
4.2 Radon- ja homeongelman tutkinta.....	27
4.3 Kenttäkohteen ulkoseinän homevaurioiden selvitys, esimerkkitapaus.....	28
4.3.1 Tarkastukset ja tutkimukset.....	29
4.4 Pientalon ryömintätilan radonin ja mikrobien hallinta, tapausselostus.....	32
5. Mikrobiologisten selvitysten käyttö ja merkitys rakennusten homevaurioiden tunnistamisessa ja korjaamisessa.....	33
5.1 Mittausmenetelmät.....	33
5.1.1 Kasvatusmenetelmät.....	33
5.1.2 Suorat itiölaskentamenetelmät.....	34
5.1.3 Ergosterolipitoisuuden määrittäminen.....	34
5.1.4 Toksiinimääritykset.....	34



5.1.5	Mikrobien haihtuvien aineenvaihduntatuotteiden mittaus.....	34
5.2	Suosittelava näytteenottomenettely.....	35
5.3	Rakenteiden kosteusmittausten ja mikrobianalyysien vastaavuus .....	37
5.4	Mikrobiologisten analyysien hyödyntäminen homevaurioiden korjaustarpeen arvioinnissa.....	37
6.	Johtopäätökset.....	38

## LIITTEET

Liite A: Ekologisen rakentamisen tutkimusohjelman julkaisutoiminta

Liite B: Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vuorokausikeskiarvot



# 1. Johdanto

## 1.1 Tutkimusohjelma

Tutkimusohjelman valmistelu aloitettiin vuonna 1995. Tutkimus jakautui seuraaviin osioihin:

- laboratorionkokeet pienillä koekappaleilla ja tunnetuilla homekannoilla
- säähuonekokeet rakennuksista otetuilla materiaaleilla ja niissä luonnostaan olevilla mikrobeilla
- homevauriokohteista otettujen materiaalinäytteiden analyysit
- homevauriorakennusten radonpitoisuuden ja homeiden kaasumaisten aineen vaihduntatuotteiden analysointi.

Tavoitteena oli selvittää seuraavia seikkoja:

- Kosteusolosuhteiden vaikutus mikrobikasvuun eri rakennusmateriaaleilla ja -yhdistelmillä. Varsinkin vaihtelevan kosteuden vaikutuksista kasvuun on niukasti tietoa.
- Rakennusten mikrobiologisen tilan indikaattorit. Näinä analysoitiin mikrobien kokonaispitoisuus ja elinkykyisten pitoisuus, haihtuvat mikrobien aineen vaihduntatuotteet (MVOC), ergosterolipitoisuus ja radonin käyttö merkkiaineena ilmaisemassa alapohjasta tulevan vuotoilman osuutta.
- Kosteuden ja mikrobimäärien välinen riippuvuus, varsinkin materiaalien kosteuspitoisuuden merkitys mikrobikontaminaation indikaattorina.
- Kosteuslähteen etäisyyden ja kostumistavan vaikutus rakennusmateriaalin mikrobikasvuun sekä rakennuksissa että laboratorionkokeissa.

Tutkimusten tulokset on julkaistu erikseen tutkimuksen kestäessä, joten tässä julkaisussa keskitytään erityisesti rakennusalaa kiinnostaviin havaintoihin. Projektista laaditut julkaisut on lueteltu erillisessä luettelossa (Liite A).

Laboratorio- ja säähuonekokeiden koejärjestelyt selostetaan tarkasti myöhemmin, koska tulosten arviointi ilman tarkkaa tietoa koejärjestelyistä olisi vaikeaa. Homevauriokohteista otettiin 235 näytettä, joista määriteltiin mikrobipitoisuuden lisäksi kokonaismikrobimäärät, ergosterolipitoisuus ja näytteiden suhteellinen kosteus. Radonpitoisuutta mitattiin neljässä rakennuksessa ja homeiden aineenvaihduntatuotteita kahdeksassa kohteessa.

## 1.2 Tutkimusten työnjako

Tutkimus tehtiin Kuopion yliopiston Ympäristötieteiden laitoksen ja VTT Rakennustekniikan tutkimusyksikön yhteistyönä seuraavan työnjaon mukaisesti:

### **Kuopion yliopisto**

- mikrobikantojen hankinta, ylläpito ja siirrostus
- ensimmäisen vaiheen laboratoriokokeiden toteutus
- rakennäytteiden kosteuden määrittäminen laboratoriokokeiden aikana
- mikrobianalyysit ja MVOC-analyysit
- ergosteroliselvitykset
- radontutkimukset.

### **VTT Rakennustekniikka, Oulu**

- rakenteiden hankinta ja kokoaminen
- kenttäkohteiden valinta, kosteus- ja ilmanpitävyysmittaukset kohteissa ja rakennäytteiden ottaminen
- sääkaappikokeiden toteutus
- rakennus- ja rakennetekniset tarkastelut.

### **VTT Rakennustekniikka, Espoo**

- ensimmäisen vaiheen puutavaran hankinta ja kosteuden tasaus
- rakennäytteiden pakkaus ja lähetys steriloitavaksi
- näytteiden mikroskooppitarkastelu.

## **1.3 Tiedotteen sisältö**

Tämä tiedote pohjautuu jo julkaistuihin artikkeleihin. Koosteen laadinta katsottiin tarkoituksenmukaiseksi, jotta tutkimuksen tuloksista muodostuisi kokonaiskäsitys. Tulosten merkitystä rakennusalan käytännön työssä on tarkasteltu alkuperäisjulkaisuja laajemmin. Haluttaessa perehtyä johonkin osa-aiheeseen tarkemmin, julkaisuluettelon alkuperäisjulkaisut antavat tähän mahdollisuuden. Viimeinen luku (6) sisältää myös tutkijoiden käsityksiä ja kommentteja tätä tutkimusta laajemmin. Tiedotteen tekstiin ei ole merkitty erikseen lähteitä, mutta sen eri luvut pohjautuvat seuraaviin julkaisuihin:

- luku 2, julkaisut [1], [2]
- luku 3, julkaisut [3], [4], [5] ja [6]
- luku 4, julkaisut [7], [8], [9] ja [10]
- luku 5, julkaisut [6], [11] ja [12].

## 2. Laboratoriokokeet pienillä lasikammioilla

### 2.1 Koejärjestelyt

Ensimmäisessä tutkimusvaiheessa selvitettiin tarkoin valittujen sekamikrobiviljelmien käyttäytymistä rakenteissa, kun kosteusolot nousevat hitaasti, ja seurattiin erityisesti sitä, kasvoivatko eri mikrobilajit tietyssä järjestyksessä näissä olosuhteissa. Kokeiden aikana kerättiin myös tietoja mikrobien - myös lahottajasienten - tuottamista tunnusomaisista orgaanisista yhdisteistä (MVOC), joita voitaisiin käyttää mikrobikasvun indikaattoreina.

Laboratoriokokeet tehtiin vuonna 1996. Rakennenäytteisiin siirrostettua mikrobikasvua tutkittiin vakio-olosuhteissa 24 litran lasikammioissa siten, että 75 %:n suhteelliseen tasapainokosteuteen vakioitu näyte siirrettiin mikrobikasvun edellyttämään minimikosteuteen 3 - 4 viikon ajaksi ja sen jälkeen mikrobikasvun optimikosteuteen jälleen 3 - 4 viikon ajaksi. Mikäli siirrostetuilla mikrobilajeilla oli selvästi erilaisia minimikosteusvaatimuksia (ns. primääri-, sekundääri- ja tertiäärisienet), minimikosteudeksi valittiin kaksi eri suhteellisen kosteuden tasoa. Lopuksi näyte siirrettiin vielä kahdeksi viikoksi alhaiseen kosteuteen, jossa mikrobikasvu hidastui. Koko koe tehtiin huoneen lämpötilassa.

### 2.2 Tutkittavat mikrobit ja rakenteet

Kokeissa siirrostettiin aina viiden mikrobilajin itiöitä tiettyihin rakennekomponentteihin. Mikrobilajit oli valittu tarkoin sen mukaan, millaisia mikrobeja oli aiemmissa koti- ja ulkomaisissa tutkimuksissa havaittu kasvavan kosteusvauriorakennuksissa ja erityisesti niissä rakenteissa ja rakennusmateriaaleissa, jotka oli valittu tähän tutkimukseen. Mikrobilajien nimen jäljessä on roomalaisin numeroin ilmaistu, onko kyseessä kasvun kosteusvaatimuksiltaan primääri- (I), sekundääri- (II) vai tertiääri- (III) laji. Minimikosteus primäärilajeilla on alle 85 % ja tertiäärilajeilla yli 90 %.

#### 1. Rakenne: tapetti-kipsilevy-muovi (kuvastaa esim. ulkoseinärakennetta)

- Muovi oli mukana vain puolessa näytteistä.

Mikrobisiirros:

*Eurotium repens* (I)

*Penicillium brevicompactum* (I ja II)

*Acremonium furcatum* (III)

*Aspergillus fumigatus* (III)

*Stachybotrys atra* (III)

#### 2. Rakenne: lastulevy-lasivilla (kuvastaa lattia- ja väliseinärakennetta)

- Eristettä ei ole kiinnitetty lastulevyyn.

Mikrobisiirros:

*Scopulariopsis* (I)

*Aspergillus versicolor* (I/II)

*Paecilomyces variotii* (II)

*Chaetomium globosum* (katkolahottaja) (III)

*Fusarium culmorum* (III)

**3. Rakenne: höylätty tai sahattu lauta-kivivilla** (kuvastaa alapohja- ja runkorakennetta)

- Puolessa näytteistä on höylättyä lautaa ja puolessa sahattua lautaa, eristettä ei ole kiinnitetty lautaan.

Mikrobisiirros:

*Penicillium chrysogenum* (I)

*Cladosporium cladosporioides* (II)

*Trichodenna viride* (III)

*Chaetomium globosum* (katkolahottaja) (III)

*Ulocladium* sp. (III)

**4. Rakenne: klinkkerilaatta-kiinnityslaasti-kevytsoraharkko** (kuvastaa pesutilojen lattia-rakennetta)

- Jokainen näyte sisältää klinkkereiden sauman.

Mikrobisiirros:

*Streptomyces* sp. (aktinomykeetti) (III)

*Aureobasidium pullulans* (III)

*Exophiala* sp. (III)

*Sporobolomyces* sp.(hiiva) (III)

*Acremonium* (III)

## 2.3 Kasvatusolosuhteet ja analyysit

Ennen kokeiden aloittamista rakennenäytepalat vakioitiin 75 %:n suhteellisessa kosteudessa (RH) tasapainokosteuteen, suljettiin tiiviisiin muovipaketteihin ja steriloitiin gammasäteilyllä (säteilyannos 25 kGy - 50 kGy, säteilylähde radioisotooppi <sup>60</sup>Go). Sen jälkeen noin puolet näytepaloista käsiteltiin mikrobeilla käyttäen ns. kuivasiirrostusta. Siirroksen suuruus arvioitiin koekappaleiden viljelytulosten perusteella. Mikrobikasvun seurauksena muodostuvia haihtuvia yhdisteitä seurattiin viikottain. Aldehydit ja suurin osa ketoneista kerättiin dinitro-fenyylihydratsiini-patruunoihin ja analysoitiin HPLC-laitteistolla. Muut haihtuvat yhdisteet kerättiin Tenax TA -hartsiin ja analysoitiin TCT-GC-MS -tekniikalla. Haihtuvien yhdisteiden emissioita arvioitaessa otettiin huomioon puhtaiden kontrollimateriaalien emissiot.

## 2.4 Lasikammiokokeiden tuloksia

Materiaaliyhdistelmien mikrobipartikkelipitoisuus suhteessa alkuperäiseen mikrobipartikkelipitoisuuteen eri kosteusjaksojen lopussa on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Materiaalien suhteelliset mikrobipartikkelipitoisuudet inkubointien jälkeen siirrostuksen jälkeiseen tilanteeseen verrattuna. Inkubointiaika 80–82 %:n suhteellisessa kosteudessa oli rakenteella 1 ja 2 neljä viikkoa ja rakenteella 3 kolme viikkoa. Rakennetta 4 ei pidetty ollenkaan tässä kosteudessa. Rakenteet 1–3 olivat kosteuksissa 90–92 %, 97–99 % ja 32–33 % vastaavasti 3, 3 ja 2 viikkoa, kun taas rakenne 4 oli kyseisissä kosteuksissa 4, 4 ja 2 viikkoa.*

Rakenne	Materiaali	Mikrobit	Suhteellinen mikrobipartikkelipitoisuus eri inkubointiajan ja -kosteuden jälkeen			
			80–82 %	90–92 %	97–99 %	32–33 %
1	tapetti	mesofiiliset	0,03	0,13	0,15	0,99
		kserofiiliset	0,15	0,74	2,76	6,41
	pahvi	mesofiiliset	0,11	0,11	1,08	1,01
		kserofiiliset	0,22	0,35	3,71	2,40
	muovi	mesofiiliset	0,35	0,28	0,23	0,33
		kserofiiliset	0,44	0,49	0,23	0,59
2	lasivilla	mesofiiliset	0,001	0,06	0,09	0,85
		kserofiiliset	0,0003	0,10	0,10	0,86
	lastulevy	mesofiiliset	0,10	1,05	11,85	20,00
		kserofiiliset	0,09	1,11	4,03	21,90
3	höylätty lauta	mesofiiliset	0,04	0,003	0,004	0,06
		kserofiiliset	0,04	0,003	0,004	0,06
	sahattu lauta	mesofiiliset	0,02	0,002	0,002	0,03
		kserofiiliset	0,02	0,002	0,002	0,07
	kivivilla	mesofiiliset	0,25	0,02	0,02	0,03
		kserofiiliset	0,17	0,02	0,01	0,02
4	klinkerilaatta	kserofiiliset		0,07	0,16	0,11

Runsain mikrobimäärä (ja mikrobikasvu) oli puuperäisillä tuotteilla. Puun pinnan korkeus (höylä- tai sahapinta) ei vaikuttanut merkittävästi tuloksiin. Mikrobikasvustoille tyypillisten suurten vaihteluiden vuoksi kertoimet ovat vain suuntaa antavia verrattaessa eri rakenteita keskenään. Lajistojen välisiin suhteisiin vaikuttavat käytetyt inkubointiajat.

Rakenteessa 1 mikrobeista parhaiten kasvoivat *Eurotium herbariorum* ja *Penicillium brevicompactum*. Varsinkin tapetissa *Penicillium*-homeen partikkelimäärät lisääntyivät kuivatusvaiheessa.

Rakenteessa 2 lastulevyssä kasvoivat parhaiten *Chaetomium globosum* ja *Aspergillus versicolor*. Molemmat jatkoivat kasvuaan vielä kuivatusvaiheessa.

Rakenteessa 3 höylätyllä puulla parhaiten kasvoi *Penicillium crustosum*, joka ylitti alkuperäisen siirrostuksen määrän ja saavutti sahatullakin puulla lähes alkuperäisen tason. Partikkelimäärät olivat suurimmat kuivatusvaiheen jälkeen. Ilmeisesti sienten kasvua tapahtui kuivatusvaiheen alussa alustaan kostutusvaiheessa imeytyneestä kosteuden vuoksi, sillä 32–33 %:n ilman suhteellinen kosteus on liian alhainen sienten kasvuille.

Rakenteessa 4 parhaiten kasvoi *Acremonium furcatum*, joka jatkoi kasvuaan myös kuivumisasiin aikana.

Rakenteissa kasvaneiden mikrobin tuottamat MVOC muuttuvissa kosteusolosuhteissa on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 2. Haihtuvien yhdisteiden muodostuminen eri kosteuksissa mikrobeilla siirrostetussa materiaaliyhdistelmissä. Rakenteet: 1. tapetti-kipsilevy-muovi; 2. lastulevy-lasivilla; 3. höylätty tai sahattu lauta-kivivilla; 4. klinkkerilaatta-kiinnityslaasti-kevytsoraharkko. Steriilin rakenteen VOC-päästöt on huomioitu.*

MVOC	Suhteellinen kosteus															
	80–82 %				90–92 %				97–99 %				32–33 %			
	Rakenne				Rakenne				Rakenne				Rakenne			
	1	2	3		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2-metyyli-1-propanoli	+															
3-metyyli-2-butanoli	+							+								
3-metyyli-1-butanoli	+				+	+		+	+			+		+		
1-pentanoli	+				+	+		+				+				
1-heksanoli	+				+	+		+				+			+	
1-okten-3-oli	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+		+	+	
1-oktanoli		+			+	+		+							+	+
2-heptanoli	+	+				+	+	+			+	+			+	+
3-oktanoli	+	+	+			+	+	+	+		+	+				
alfapineeni	+	+	+		+	+	+	+	+	+		+	+		+	
betapineeni		+			+	+		+	+			+	+		+	+
limoneeni	+	+	+		+	+		+		+	+					
2-/3-metyylifuraani																
3-metyylianisoli											+	+				
geosmiini			+									+				

+ = havaittiin. Epävarmoja ja ei-havaittuja ei ole merkitty.

Lastulevy-lasivilla -yhdistelmällä merkittävimmät haihtuvat yhdisteet koko koejakson aikana olivat 1-okten-3-oli ja 2-pentanoni. Muita mikrobikasvun indikaattoreita olivat 3-metyyli-1-butanoli, 3-metyyli-2-pentanoni, 2-heksanoni, 3-oktanoni,  $\alpha$ -pineeni,  $\beta$ -pineeni ja limoneeni. Tärkeä havainto oli se, että steriilistä lastulevy-lasivilla -rakenteesta vapautui ilmaan kaikkia muita tutkituista yhdisteistä paitsi 3-metyyli-1-butanolia.



Klinkkerilaatta-kevytsoraharkkokoekappaleessa 90–92 %:n suhteellisessa kosteudessa mikrobit tuottivat terpeenejä, alkoholeja, aldehydejä ja ketoneja. Tässä kosteudessa kasvoivat kaikki siirrostetut mikrobit, mutta mikrobipitoisuudet olivat siirrostettuja määriä kertaluokkaa pienempiä. Mikrobimetaboliitteina havaittiin alemmassa kosteudessa havaittujen yhdisteiden lisäksi hieman 3-metyylianisolia ja geosmiiniä. Kuivumisvaiheessa merkittävin MVOC oli butanoni, muita havaittuja aineita olivat pentanaali,  $\alpha$ -pineeni,  $\beta$ -pineeni, 3-metyyli-1-butanoli, 1-pentanol, 1-heksanol ja 1-okten-3-oli. Steriilin materiaalin päästöinä löytyi muita tutkittuja yhdisteitä paitsi 1-pentanolia ja 1-heksanolia.

Puu-kivivillayhdistelmästä vapautui kaikkein runsaimmin alfa-pineeniä ja muita terpeenejä.

Taulukossa 2 useimmin esiintyvät yhdisteet ovat alfa-pineeni ja 1-okten-3-oli, joista jälkimmäinen puuttuu vain yhdestä kosteusjaksosta, mutta esiintyy sekä sitä pienemmillä että suuremmilla kosteuksilla. Pineenejä haihtui myös steriileistä näytteistä, joten ne eivät sovi mikrobikasvua indikoiviksi yhdisteiksi. Geosmiini, jota on pidetty mikrobikasvua indikoivana, esiintyi vain osassa näytteitä. Paras mikrobikasvua indikoiva yhdiste on siten kokeiden perusteella 1-okten-3-oli. Mikään yhdiste ei kuitenkaan indikoi luotettavasti homekasvua.

## 3. Säähuonekokeet

### 3.1 Yleistä koejärjestelyistä

Kokeissa simuloitiin rakennuksissa havaittujen kosteusvaurioiden (esim. kosteuden kapillaarinen eteneminen rakenteessa, pistemäinen vesivahinko) kehittymistä ja tutkittiin mikrobikasvun kehittymistä ja kosteuden kulkeutumista rakenteissa. Materiaalit otettiin vanhoista rakennuksista. Materiaaleissa ei kuitenkaan saanut olla silminnähtävää home- tai kosteusvauriota. Mikrobeja ei siirrostettu, jotta koe vastaisi mahdollisimman tarkoin rakennuksissa tapahtuvaa kosteusvauriota. Kostutuksen toisessa jaksossa lämpötilat muuttuivat vuorokausirytmien mukaan. Näin haluttiin selvittää vaihtelevan lämpötilan vaikutus mikrobikasvulle. Kuivaus tapahtui kahdessa jaksossa, joista toinen oli voimakkaampi, jotta mahdollinen kuivatuksen nopeuden merkitys nähtäisiin. Pilottikokein pyrittiin myös selvittämään, onko merkitystä sillä, että rakennuslevyn kosteus tulee toisen materiaalin kautta kuten esim. seinien alaosassa usein tapahtuu. Säähuonekokeet tehtiin vuoden 1997 aikana Oulussa.

Materiaalit, joita käytettiin, olivat:

- kipsilevy
- lastulevy
- mäntylauta
- kipsilevy kiinnitettynä vaakatasossa olevaan lautaan (laudan alaosa oli upotettuna veteen)
- lastulevy kiinnitettynä lautaan (laudan alaosa oli upotettuna veteen)
- betonilaatta (paksuus n. 2 cm).

Kokeissa käytetyt rakennusmateriaalit hankittiin purettavista tai korjattavista rakennuksista tai pitkään varastoiduista materiaaleista. Kipsilevy oli peräisin 1970-luvulla rakennetusta alaslasketusta kattorakenteesta. Levyn toinen puoli oli maalattu. Lastulevy oli 1980-luvulla rakennetun omakotitalon väliseinästä. Levyn toisen puolen maali poistettiin. Mäntylautaa oli varastoitu yli 5 vuotta ulko-varastossa ja lauta oli paikoin sinistynyttä. Kokeeseen valittiin vähiten sinistynyttä, osittain käyttökelpoista lautaa. Kipsilevyn ja lastulevyn alaosaan käytetty lauta oli uutta sahatavaraa. Betonilaatat olivat VTT:n aiemmissa kokeissa käyttämiä ja niitä oli varastoitu ulkona vähintään yhden vuoden ajan.

Ennen kokeiden aloittamista kaikkien materiaalien kosteus vakioitiin 50 %:n suhteelliseen kosteuteen noin viikon ajan. Kokeet toteutettiin muutoin samalla tavalla jokaisen materiaalin osalta paitsi, että koejärjestelyissä otettiin näytteitä kolmesta ensimmäisestä materiaalista mikrobianalyysyä varten viikottain tai joka toinen viikko. Muilla yhdistelmillä mikrobimääritykset tehtiin vain jokaisen erilaisen koejakson lopussa. Kokeet toteutettiin säähuoneessa, jonka pinta-ala oli noin 6 m<sup>2</sup>. Noin metrin pituisen ja noin 5 cm leveän koekappaleen toinen pää oli upotettu veteen noin kaksi senttimetriä ensimmäisen koevaiheen ajan. Myöhemmissä vaiheissa koekappaleet eivät olleet suorassa kosketuksessa veteen.

Kokeiden yhteydessä tutkittiin myös erilaisten kosteusmittareiden toimintaa ja tarkkuutta.

Kokeen vaiheet:

- 1. I-kostutusvaihe:** Säähuoneen ilman lämpötila pyrittiin pitämään 20 °C:ssa ja suhteellinen kosteus 50 %:ssa. Toteutuneet kosteusolosuhteet on esitetty liitteessä 1. Tekstissä esitetyt olosuhteet ovat suunniteltuja olosuhteita. Kostutusvaihe kesti kuukauden. Kokeen kestäessä otettiin materiaalikappaleita mikrobimäärittäjä varten. Jokaista näytepalaa ja mikrobianalyysia kohden määritettiin näytteen kosteusprosentti painoprosenttina. Lisäksi määritettiin pienemmästä näytemäärästä kullekin materiaalille suhteellinen kosteus (RH) kosteusprosentin funktiona.
- 2. I-kuivausvaihe:** Vesikostutus poistettiin ja koekappaleet pidettiin 30 %:n suhteellisessa kosteudessa ja lämpötila oli 20°C. Vaihe kesti seitsemän viikkoa. Kokeen kestäessä otettiin materiaalikappaleita mikrobimäärittäjä varten. Kosteusmittauksissa noudatettiin samaa periaatetta kuin ensimmäisessä vaiheessa. Kokeen jälkeen koekappaleiden pinnan mikrobikasvustoja tarkastettiin stereomikroskoopilla. Tarkoitus oli varmistaa, oliko kappaleissa silmin havaittavaa kasvua ja oliko kasvu uutta vai mahdollisesti vanhaa, jo aiemmin syntynyttä mikrobikasvua (esim. sinistymää).
- 3. II-kostutusvaihe:** Koekappaleet siirrettiin olosuhteisiin, joissa kosteus oli korkea, suhteellinen kosteus 95 % ja samalla lämpötila vaihteli 20°C:n ja 5°C:n välillä yhden syklin pituuden ollessa 24 tuntia. Kokeessa simuloitiin todellisuudessa esiintyviä kosteus- ja lämpötilavaihteluita rakennuksessa. Kostutusvaihe kesti 2 kk, jolloin materiaalinäytteitä otettiin mikrobimäärittäjä varten. Kosteusmittauksissa noudatettiin samaa periaatetta kuin ensimmäisessä vaiheessa.
- 4. II-kuivausvaihe:** Kaikkia koekappaleita pidettiin 50 %:n suhteellisessa kosteudessa ja 20 °C:ssa seitsemän viikon ajan. Näytteenotto tapahtui kuten edellä. Kosteusmittauksissa noudatettiin samaa periaatetta kuin ensimmäisessä vaiheessa.

Todelliset olosuhteet poikkesivat kokeen kestäessä suunnitellusta. Toteutuneet ja suunnitellut olosuhteet on esitetty liitteessä B.

### 3.2 Näytteenotto mikrobianalyysia varten ja näytemäärät

Näytteitä otettiin koekappaleista yhdeksältä eri etäisyydeltä (1–3, 5–7, 10–12, 15–17, 20–25, 30–35, 50–55, 70–75, 95–100 cm) vesirajasta ylöspäin juoksevasti numeroiden. Näytteen koko vaihteli etäisyyden mukaan seuraavasti:

- näytteet, jotka olivat 1–20 cm:n alueella vesirajasta ylöspäin:  
5 (leveys) x 2 cm (korkeus)
- näytteet, jotka olivat 20–100 cm:n alueella vesirajasta ylöspäin: 5 x 5 cm.

Kipsilevystä otettiin viljelyyn molemmin puolin levyä vain pahviosat, jotka yhdistettiin yhdeksi näytteeksi mikrobianalyyseissä. Lastulevystä näytepalat irrotettiin sahaamalla. Puusta otettiin kappaleen molemmin puolin noin 5 mm:n pintakerros. Betonilaatasta näytepalat sahattiin koko laatan paksuudelta.

### 3.3 Mikrobianalyysit

Materiaalien näytepaloista määritettiin viljelymenetelmällä elinkykyisten sieni-itiöiden ja aktinomykeettien pitoisuudet sekä homesienilajisto ja aktinomykeettien esiintyminen. Kasvatusalustoina oli käytössä 2%-mallasuuteagar (mesofiiliset sienet), dikloran-18%-glyseroliagar (kserofiiliset sienet) ja tryptonihiivauute-glukoosiagar (aktinomykeetit). Lisäksi viljelyitä varten valmistetuista laimennoksista määritettiin kokonaisitiöpitoisuudet valomikroskoopilaskennalla Fuchs-Resenthalin laskentakammion avulla. Jokaisesta näytepalasta määritettiin myös painokosteus.

### 3.4 Tulokset ja tulosten tarkastelu

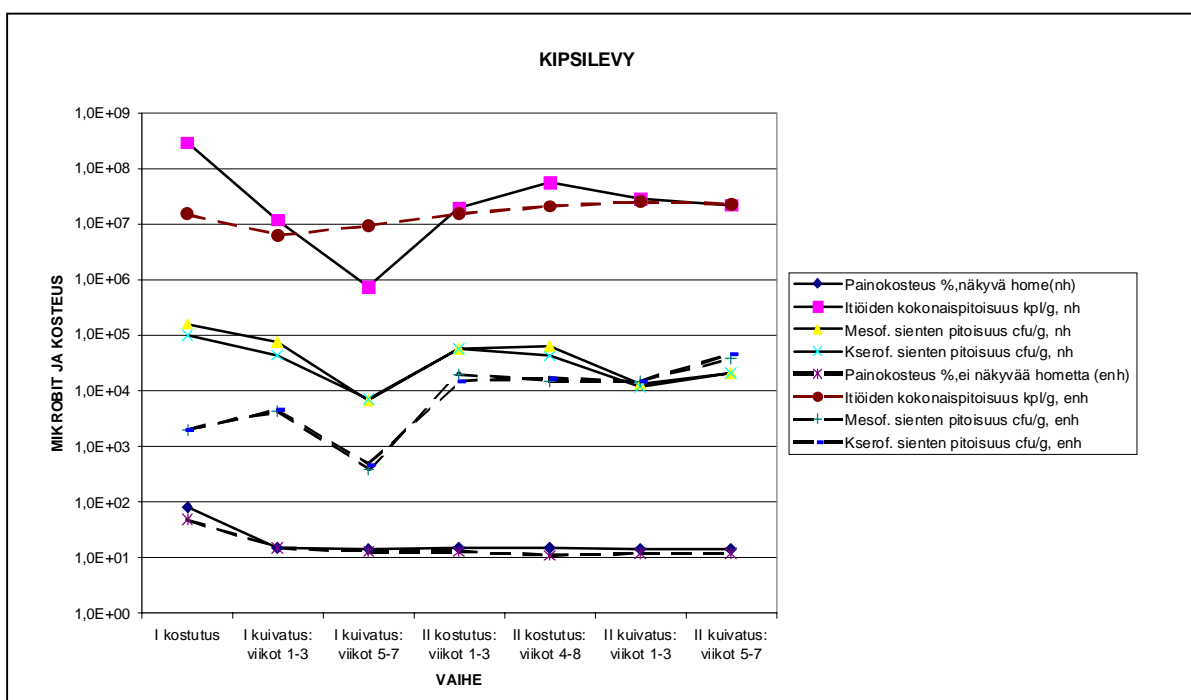
Silmin havaittava mikrobikasvu käynnistyi ensimmäisen kostutusviikon aikana kaikissa materiaaleissa, taulukko 3. Voimakkain näkyvä kasvu ei ollut aivan vesirajassa, vaan kohdassa, jossa kapillaarinen veden nousu loppui ja jossa huokosissa oli veden lisäksi myös ilmaa. Kostutusvaiheen lopussa mikrobikasvu oli edennyt nopeimmin kipsilevyssä ja hitaimmin lastulevyssä, taulukko 3. Mikroskoopilla katsottuna mikrobikasvun raja puulla ja lastulevyllä oli käytännöllisesti katsoen sama kuin silmämääräisesti, mutta kipsilevyllä mikroskoopilla katsottuna raja oli lähes 60 cm, kun se silmämääräisesti oli vain 30–35 cm. Näytteiden painokosteudet ja näkyvä mikrobikasvu vastasivat hyvin toisiaan, etenkin lastulevyssä ja mäntylaudassa, joissa kuivan ja kostean osan kosteuksien ero oli suuri. Näkyvän mikrobikasvun raja-kohta puussa ja lastulevyssä oli noin 20 painoprosentin kohdassa. Sen sijaan kipsilevyssä näkyvän mikrobikasvun edellyttämän painokosteuden minimiarvo jäi epätarkaksi, koska painokosteusalueella 52–87 % mikrobikasvua esiintyi vaihtelevasti. Tämä saattoi johtua siitä, että kosteus kohosi kapillaarisesti ensin kipsilevyn kipsiosaan ja imeytyi siitä kartonkiosaan, jonka pinnalle mikrobikasvusto kehittyi. Sileästä kipsilevystä myös mikrobien irtoaminen näytteidenoton yhteydessä ilmaan saattoi olla muita materiaaleja suurempaa.

Taulukko 3. Näkyvän mikrobikasvun eteneminen materiaaleissa ja materiaalien painokosteudet I-kostutusvaiheen lopussa. Kasvu on varmistettu mikroskooppianalyysillä.

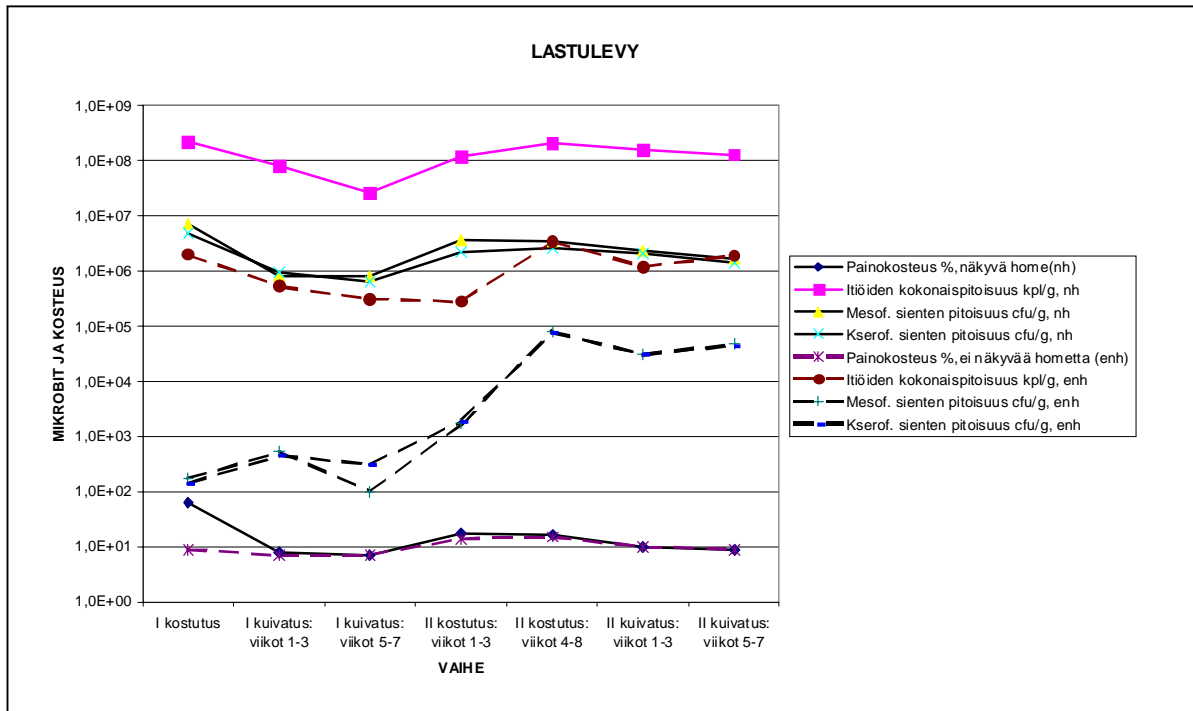
Materiaali	Mikrobikasvun raja vedestä (cm)	Painokosteusprosentti keskiarvo	
		Mikrobikasvun alueella	Mikrobikasvu-alueen ulkopuolella
Kipsilevy	30–35	82	26
Lastulevy	5–7	75	10
Mäntylauta	15–17	59	14

Kokeen alkaessa elinkykyisten sienten partikkelipitoisuudet olivat kipsilevyssä ja laudassa noin 100 cfu/g, lastulevyssä  $10^2$ – $10^4$  cfu/g ja betonissa noin  $10^3$  cfu/g. Aktinomykeettejä havaittiin vain kipsilevyssä. Aktinomykeettejä esiintyi myöhemmin satunnaisesti vain kipsilevyssä molempien kuivausvaiheiden aikana keskimäärin 200–350 cfu/g:n pitoisuuksina.

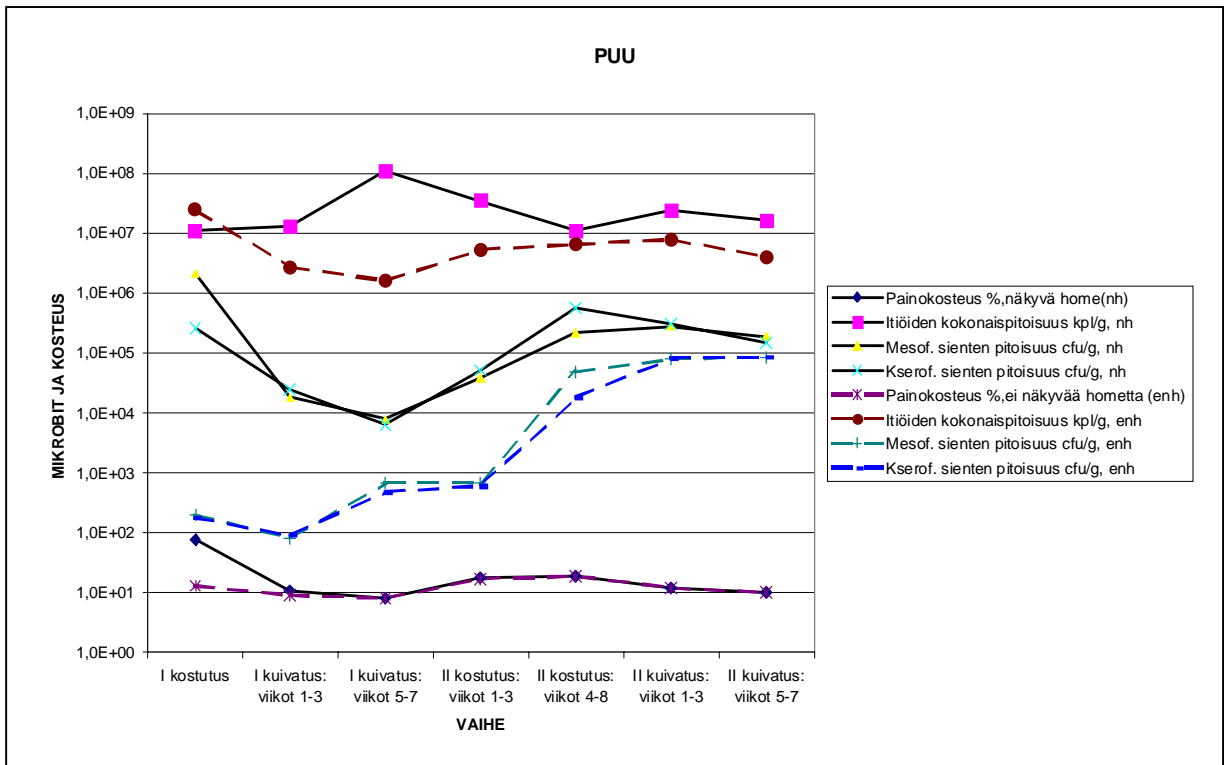
Elinkykyisten sienten pitoisuus ja itiöiden kokonaispitoisuus kasvoivat 100–10 000 -kertaisiksi I-kostutusvaiheen aikana, kuvat 1–3. Kuvissa ei ole esitetty alkutilannetta. Näkyvän mikrobikasvuston alueella 1–20 % itiöistä oli elinkykyisiä, mutta alueella, jossa ei näkyvää kasvustoa ollut, elinkykyisten itiöiden osuus jäi alle 0,1 %.



Kuva 1. Kipsilevykappaleiden mikrobipartikkelipitoisuus eri koenvaiheissa. Kuvassa on esitetty otettujen näytteiden tulokset erikseen näkyvän homekasvuston alueelta sekä alueelta, jossa silmämäärin ei homekasvustoa ollut. Ensimmäisessä kostutusvaiheessa näkyvän homeen koekappaleet olivat märkiä, myöhemmin kosteuserot olivat vähäisiä.



Kuva 2. Lastulevykappaleiden mikrobipartikkelipitoisuus eri koevaiheissa. Kuvassa on esitetty otettujen näytteiden tulokset erikseen näkyvän homekasvuston alueelta sekä alueelta, jossa silmämäärin ei homekasvustoa ollut.



Kuva 3. Puukappaleiden mikrobipartikkelipitoisuus eri koevaiheissa. Kuvassa on esitetty otettujen näytteiden tulokset erikseen näkyvän homekasvuston alueelta sekä alueelta, jossa silmämäärin ei homekasvustoa ollut.

Kaikki materiaalit kuivuivat nopeasti kolmen ensimmäisen kuivausviikon aikana, ja kuivauksen loppuvaiheessa painokosteus laski keskimäärin vain 1–3 prosenttiyksikköä. Laudassa itiöiden kokonaispitoisuus pysyi suunnilleen I-kostutusvaiheen tasolla koko kuivausvaiheen ajan, mutta kipsi- ja lastulevyssä pitoisuudet laskivat yli 50 %:n kuivausvaiheen alusta, mikä saattoi johtua itiöiden irtoamisesta ilmaan materiaalin pinnan kuivuessa nopeasti. Näytteiden otto oli sahauksineen ja näytteiden liikutteluineen niin monivaiheinen, että se voi suurimmaksi osaksi selittää itiöiden kokonaispitoisuuden vähenemisen.

II-kostutusvaiheessa itiöiden kokonaispitoisuudet kasvoivat kipsi- ja lastulevyssä etenkin alueilla, joihin kokeen I-vaiheessa oli muodostunut näkyvää mikrobikasvustoa. Myös elinkykyisten sienten pitoisuudet osoittivat mikrobikasvua tapahtuneen kyseisissä materiaaleissa ja lievää kasvua laudassa kostutusvaiheen loppupuolella. Elinkykyisten itiöiden osuus alueilla, joissa esiintyi näkyvää mikrobikasvua oli 1–5 % ja muilla alueilla se jäi alle 0,1 %:n. Itiöiden kasvu oli niissä koekappaleissa, joissa ei ollut näkyvää kasvustoa, suhteellisesti huomattavasti voimakkaampaa kuin koekappaleissa, joissa oli ollut näkyvää kasvustoa. Mikrobipitoisuudet lähentyivät voimakkaasti toisiaan II-kostutusvaiheen lopussa ja kipsilevyissä tulokset jo yhtyivät (kuvat 1–3). Syynä voi olla mikrobien irtoaminen näytteistä tai ravinteiden väheneminen näkyvän kasvun alueella.

II-kuivatusvaiheen aikana itiöiden kokonaispitoisuudet ja elinkykyisten sienten pitoisuudet säilyivät suunnilleen ennallaan. Tämä saattoi johtua siitä, että materiaalien kuivuminen oli huomattavasti hitaampaa ja vähäisempää kuin I-kuivatusvaiheessa, ja siten itiöt mahdollisesti sopeutuivat paremmin vähitellen muuttuviin olosuhteisiin.

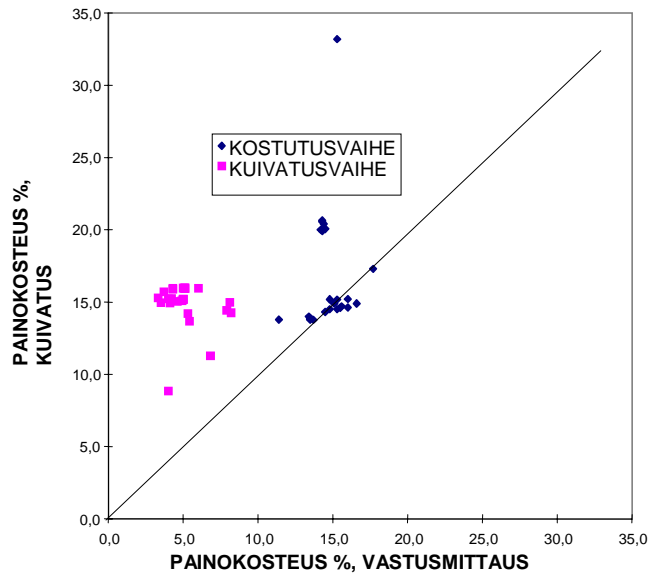
Sienisuvuista *Penicillium* sieti olosuhteiden muutoksia parhaiten. Sen osuus oli kokeen lopussa yli 75 % mikrobimääristä kaikissa materiaaleissa. Sitä vastoin hiivat ja *Aureobasidium* menettivät huomattavasti elinkykyään kuivausvaiheiden aikana.

### 3.5 Kosteuden mittaus koemateriaaleista

Kosteutta mitattiin eri menetelmillä I-kostutusvaiheen mikrobinäytteiden vierestä otetuista senttimetrin levyisistä koepaloista. Myöhemmissä vaiheissa ei seurattu kuin uunikuivauksella saatua painokosteutta. Koevaiheen lopussa neljän kasvatusviikon jälkeen verrattiin koekappaleiden pinnan mikrobikasvua mikroskoopilla. Nousukorkeus on määritelty siltä puolelta, jolla nousu on ollut voimakkaampaa. Kipsilevyn maalatulla puolella kasvu tuli näkyviin hitaammin. Puussa ei ollut eroa sydän- ja pintapuun välillä. Myöskään ei ollut eroa lastulevyssä kokeen alussa puhdistetun ja alkuperäisen pinnan välillä.

Koekappaleiden painokosteus määriteltiin puunkosteusmittarilla, Gann Hydromette RTU 600, männylle tarkoitetuilla asetuksilla. Lopuksi palaset kuivattiin 103 °C:n lämmössä paitsi kipsilevyt, jotka kuivattiin 60 °C:n lämmössä.

Puunkosteusmittarilla mitattu kosteus on lähes sama kuivatukseen verrattuna noin 30 painokosteusprosenttiin asti, jota yleensä pidetään mittarin käyttökelpoisena rajana. Senkin yläpuolella lukemia kyllä saadaan, mutta hajonta kasvaa suureksi ja arvot tulevat epävarmoiksi. Myös lastulevyn mittaus on kohtuullisen luotettavaa. Sen sijaan kipsilevyn tulos riippuu pintapahvin kosteudesta. Jos pintapahvit ovat märkiä, tulos voidaan määrittellä puun lukemia käyttäen, mutta jos pintapahvit ovat kuivat, saadaan erilaisia tuloksia, kuva 4.



Kuva 4. Kipsilevyn painokosteuden ja vastusmittaukseen perustuvan puunkosteusmittarin tulosten vertailua. Kuivatusvaiheen mittaukset poikkeavat kostutusvaiheen arvoista.

Kosteusrintama levyissä ja puussa oli hyvin selväpiirteinen levyjen kastuessa voimakkaasti, joten sen määrittämiseen sopivat hyvin myös suhteellisen epätarkat pintakosteusosoittimet. Kenttämittauksissa ei ilmeisesti ole hyödyksi tarkentaa kevyiden rakenteiden kosteuden määrittystä suhteellisen kosteuden mittauksella kuin aivan erikoistapauksissa. Mittarilla havaittava, ympäristöstään kohonnut levyjen tai puun kosteuspitoisuus merkitsee aina homevaaraa.



### 3.6 Johtopäätökset sääkaappikokeista

Mikrobitulosten suuren hajonnan vuoksi johtopäätösten teossa tulee olla varovainen. Tulosten mukaan mikrobien kasvu käynnistyy muutamassa päivässä, jos materiaali joutuu suoraan kosketukseen veden kanssa. Kipsilevyn vedenimukyky on suuri, jos vettä on tarjolla, ja se voi kastua laajalta alueelta. Mikrobikasvu alkaa materiaalin pinnalla lähes normaaliksi katsottavassa huoneilman suhteellisessa kosteudessa, jos materiaali saa vettä kapillaarisesti.

Nopea materiaalien kuivuminen on sieni-itiöiden elinkyvyn kannalta haitallisempaa kuin hidas kuivuminen. Siten kostuneiden materiaalien tehokkaalla kuivattamisella on mikrobeja tuhoava ja lisäkasvua estävä vaikutus. Materiaalien nopean kuivumisen aikana itiöiden irtoaminen ilmaan voi voimistua. Aikaisempi mikrobikasvu pinnalla hillitsee myöhempää uutta kasvua. Eri sienisukujen ja -ryhmien esiintyminen materiaaleissa näyttäisi riippuvan niiden kyvystä sopeutua vaihteleviin kosteus- ja lämpötilaolosuhteisiin. Esimerkkinä ovat *Penicillium*-lajit, joiden yleisyys kosteusvaurioituneissa rakenteissa selittyy ainakin osittain suurella sopeutumiskyvyllä. Hiivat ja hiivamaiset sienet sietävät heikosti kosteuden vaihtelua, erityisesti kuivumista.

*Taulukko 4. Elinkykyisten ja kokonaisitiömäärien suhde (%). Tulokset on ilmoitettu mesofiilisten ja kserofiilisten sienten keskiarvona (n on näytteiden lukumäärä).*

Materiaali	I-Kostutus	I-Kuivaus	II-Kostutus	II-Kuivaus
<b>Kipsilevy puuhun yhdistettynä</b>				
Näkyvä kasvusto (n =1)	0,2	0,6	1,4	0,4
Ei näkyvää kasvua (n=8)	0,006	0,06	0,009	0,2
<b>Lastulevy puuhun yhdistettynä</b>				
Näkyvä kasvusto (n =1)	1,8	0,02	72,9	2,2
Ei näkyvää kasvua (n=8)	0,2	0,2	1,6	3,3
<b>Betoni</b>				
Näkyvä kasvusto (n =1)	1,1	0,4	0,6	10,2
Ei näkyvää kasvua (n=8)	0,1	0,08	0,04	0,3

Lastulevyn suuri elinkykyisten mikrobien osuus toisessa kostutusvaiheessa voi perustua satumaan (yksi näyte). Muuten elinkykyisten sienten osuus jää vain muutama prosenttiin kokonaismikrobipitoisuudesta (taulukko 4). Mikrobeista *Penicillium* kesti parhaiten vaihtelevia olosuhteita levyissä, betonissa oli hiivoja eniten kokeen lopussa.

## 4. Kenttämittaukset

### 4.1 Materiaalin kosteuden ja vauriokohdan etäisyyden vaikutus mikrobipitoisuuteen

Elinkykyisten mikrobien pitoisuuden ja suvuston muutosta tarkasteltiin vauriokohdan etäisyyden funktiona. Rakennusmateriaalinäytteitä (puu, lastulevy, kipsilevyn pintapahvi, eristeet) otettiin kuudesta homevauriokohteesta eri etäisyydeltä vauriokohdan ympäriltä. Osassa kohteista vuotokohta oli pistemäinen, osassa rintamana etenevä. Näytteenoton vaikeutena oli sopivan välimatkan arvioiminen näytekohtien välillä, koska mikrobimääristä ei ollut etukäteistietoa. Kosteusvaurion syynä eri kohteissa olivat putkivuoto, maaperästä tullut kosteus, viemäriovuoto, lattian pesuvedet ja lumen sulamisvedet. Vaurioitumisajankohta ei aina ollut tarkoin tiedossa, ja useimmiten kyseessä oli jo osittain kuivunut rakenne. Tämän vuoksi esimerkiksi puussa suhteellisen kosteuden ja mikrobipitoisuuden korrelaatio ei ole korkea, taulukko 5. Puun kosteus on mitattu painokosteutena ja muunnettu taulukoiden avulla suhteelliseksi kosteudeksi vertailukelpoisuuden saamiseksi kasvatusmenetelmillä saatuihin tuloksiin, joissa suhteellinen kosteus on tiedossa.

*Taulukko 5. Puumateriaalin näytteenottohetkellä määritetty suhteellinen kosteus (%) ja sitä vastaava mikrobipitoisuus sekä materiaalin silmämääräinen kunto.*

Näyte	Suhteellinen kosteus (%)	Mikrobipitoisuus (cfu/g)		Sädesieni-itiöt (THG)	Näkyvä vaurio
		Sieni-itiöt (M2)	Sieni-itiöt (DG18)		
1	32	90	-	-	1
2	32	8,6*10 <sup>5</sup>	7,7*10 <sup>5</sup>	-	3
3	40	136	227	-	2
4	51	450	630	-	1
5	58	2,0*10 <sup>6</sup>	3,0*10 <sup>5</sup>	500	3
6	67	-	-	-	1
7	67	1,5*10 <sup>6</sup>	1,3*10 <sup>6</sup>	100	3
8	72	3,9*10 <sup>5</sup>	4,6*10 <sup>5</sup>	-	3
9	82	230	150	-	2
10	82	1000	650	-	2
11	83	1,9*10 <sup>4</sup>	1,9*10 <sup>4</sup>	500	2
12	100	3,4*10 <sup>6</sup>	3,6*10 <sup>6</sup>	-	3

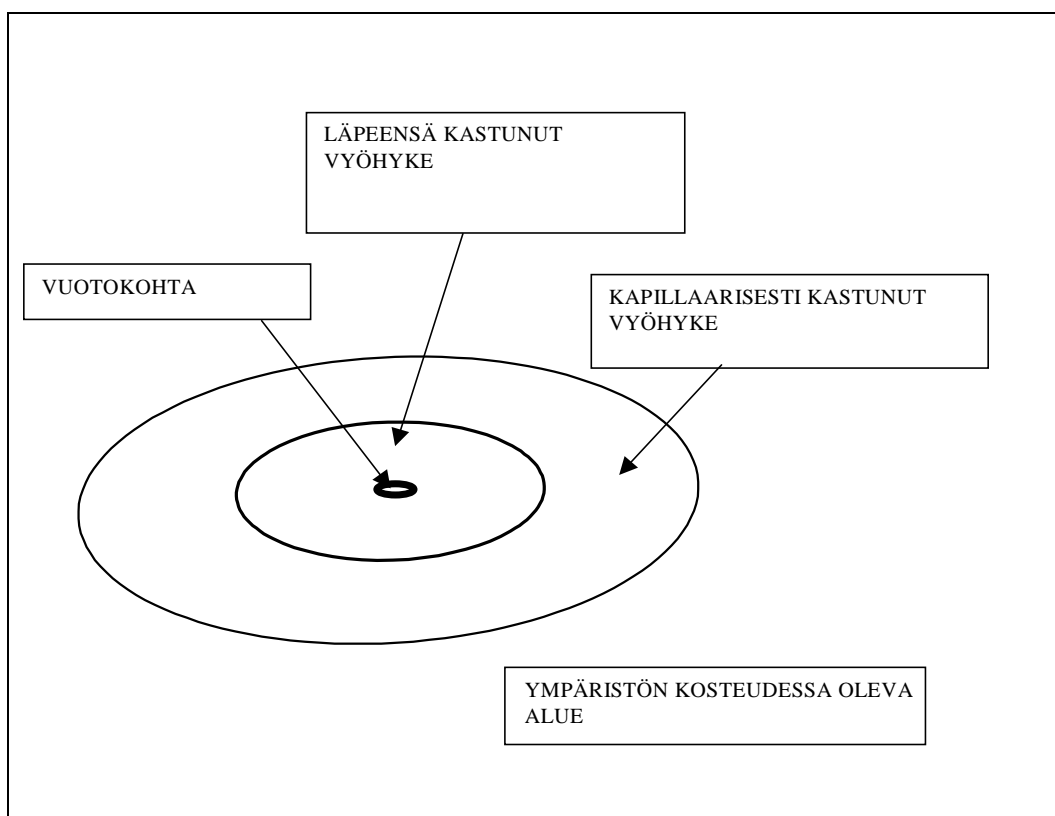
- = pitoisuus alle määrittäysrajan (45 cfu/g)

1= ei näkyviä vaurioita

2= näyte tummunut

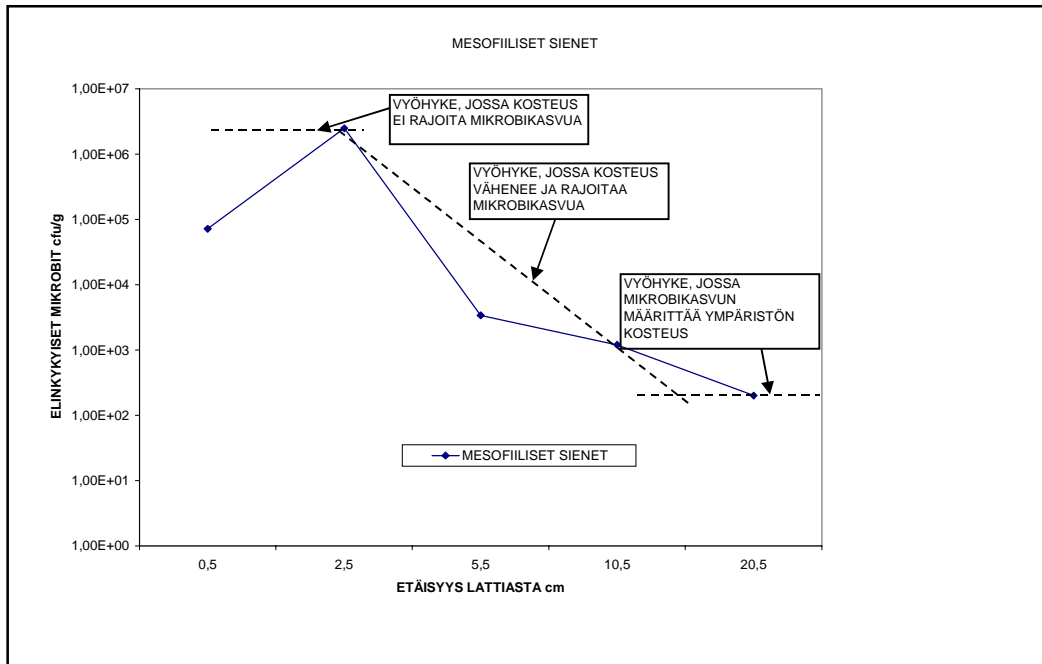
3= näkyvää homekasvua

Vuotovaurion ympäriltä voidaan erottaa kolme vyöhykettä, kuva 5. Vuotokohtaa lähinnä on alue, jossa kosteutta on niin runsaasti, että kasvu käynnistyy. Tälle alueelle on yleensä virrannut vettä tai materiaalin kapillaarisuus on täyttänyt huokokset vedellä kokonaan. Seuraavana alueena on vaihettumisvyöhyke, jossa veden määrä niukkenee ja mikrobikasvu vähenee logaritmisesti etäisyyden funktiona. Vyöhykkeen leveys riippuu materiaalin dimensioista ja kapillaarisuudesta, mutta on yleensä suhteellisen kapea, muutamasta senttimetristä muutamaa kymmeneen senttimetriin. Kolmantena vyöhykkeenä on ympäristön suhteellisen kosteuden kontrolloima alue. Tälle vyöhykkeelle ei vuodolla ole merkittävää vaikutusta. Jos ympäristön suhteellinen kosteus on korkea, siirtymäkohta on epämääräinen.

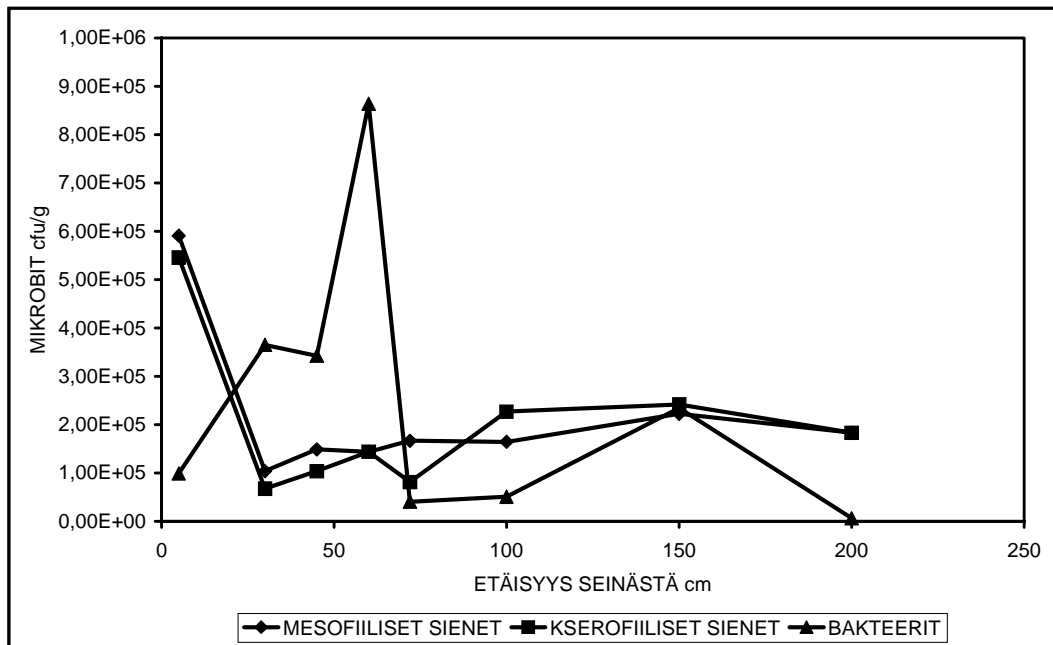


*Kuva 5. Kaavamainen esitys eri vyöhykkeistä vesivaurion ympärillä.*

Käytännön esimerkeissä on nähtävissä samat vyöhykkeet, kuvat 6 ja 7. Kasvu vaihtelee näytteissä huomattavasti, joten vyöhykkeet eivät aina ole selviä. Vyöhykkeellä, jossa kosteutta on paljon, elinkykyisten mikrobien määrä on yleensä yli 100 000 kpl/g. Normaalisti toimivissa rakenteissa taustan elinkykyisten mikrobien määrä on korkeintaan muutamia tuhansia kpl/g .



Kuva 6. Kalusteen lastulevysokkelin mikrobikasvu etäisyyden funktiona lattiasta. Aivan alin osa on mahdollisesti hieman kuivunut, jolloin elinkykyisten mikrobien määrä on alentunut. Vaurion syynä on lattioiden pesu liian runsaalla vesimäärällä.



Kuva 7. Ryömintätilaisen alapohjan kannatinlistan mikrobit.

Kuvan 7 mukaisen rakenteen kastuminen on tapahtunut hirsiseinän läpi, ja heti seinän vierestä alkoi sienillä laskeva osa eli kosteutta on ollut niukalti (vrt. kuva 6). Ympäroivän ilmankosteuden määräämällä alueella kasvu on melko voimakasta, koska ryömintätilan tuuletus toimii huonosti. Bakteerit antavat erilaisen kuvan kuin sienet ja havaittua korkeaa määrää 60 cm:n etäisyydellä on yksittäisen havainnon perusteella vaikea selittää.

## 4.2 Radon- ja homeongelman tutkinta

Ilmanpitävyyskokeiden tarkoituksena olisi selvittää, voidaanko sieni-itiöiden irtoamista edistää alipaineistamalla rakennuksen sisätilat ja voidaanko samalla saada aikaan mitattavissa oleva radontuotto lattiarakenteiden läpi. Kokeet tehtiin kahdessa puurakennuksessa, joissa tiedettiin tapahtuneen vesivahinkoja. Molempien rakennusten vahingot olivat laaja-alaisia, mutta kummassakin esiintyi myös sulamis- ja sadevesien aiheuttamia vaurioita lattiarakenteissa ja seinien alaosassa. Alipaineistus toteutettiin tavanomaisella ilmanpitävyyskoelaitteistolla. Paine-eroa lisättiin kolmessa vaiheessa, kunnes saavutettiin käytetyllä puhaltimella saavutettava huipputeho. Kumpikaan rakennuksista ei ollut tiivis ja tavanomaista 50 Pa:n paine-eroa ei kyetty saavuttamaan. Maksimit olivat 28 Pa rakennuksessa A ja 24 Pa rakennuksessa B. Kukin painetaso ylläpidettiin 20 min:n ajan. Lopuksi synnytettiin viisi painepulssia (kesto 1 min, väli 5 min) maksimiteholla. Ilmanvaihtokertoimet määritettiin merkkiainemenetelmällä ennen paineistustestien aloittamista ja niiden jälkeen. Merkkiaineena oli typpioksiduuli, ja mittaus suoritettiin fotoakustisella infrapuna-analysaattorilla (Brüel&Kjær type 7620).

Radonpitoisuudet määritettiin Pylon AB-5 -mittauslaitteistolla. Mikrobinäytteet kerättiin 6-vaiheisella Andersen-impaktorilla ennen paineistuksia, kunkin painetason aikana ja paineistusten jälkeen seuraavana päivänä. Näytteenottoaika oli 15 min. Kokeiden aikana seurattiin myös ilman hiukkaspitoisuuden kehitystä (laitteistona oli Climet CI-500 rakennuksessa A ja Royco 5000 rakennuksessa B).

Lähtötilanteen radonpitoisuudet olivat 42 Bq/m<sup>3</sup> rakennuksessa A ja 44 Bq/m<sup>3</sup> rakennuksessa B. Rakennuksen A sisäilmassa esiintyi kserofiilisiä sieniä 700 cfu/m<sup>3</sup> ja mesofiilisiä sieniä 620 cfu/m<sup>3</sup>. Vastaavat pitoisuudet rakennuksessa B olivat 150 ja 190 cfu/m<sup>3</sup>. Hiukkaspitoisuudet kokoluokassa 1–5 µm olivat 1,2\*10<sup>6</sup> kpl/m<sup>3</sup> rakennuksessa A ja 0,2\*10<sup>5</sup> rakennuksessa B.

Ilmanvaihtokertoimet ennen paineistuskokeiden alkua ja sen jälkeen olivat 1,9 h<sup>-1</sup> rakennuksessa A ja 0,4 h<sup>-1</sup> rakennuksessa B. Ilmanpitävyysluku n<sub>50</sub> rakennuksessa A oli 16 h<sup>-1</sup> ja rakennuksessa B 10 h<sup>-1</sup>.

Radonin, sieni-itiöiden ja hiukkasten absoluuttiset pitoisuudet eivät merkittävästi lisääntyneet paineistuskokeiden aikana tai suorastaan pienenevät tehostuneen ilmanvaihdon seurauksena. Kuitenkin vastaavat emissiovirrat (saatu kertomalla todettu pitoisuus ilmanvaihtokertoimien suhteella) lisääntyivät alipaineistuksen seurauksena. Taulukossa 6 on esitetty suhteelliset emissiot lähtötilanteeseen verrattuna.

Taulukko 6. Radonin, itiöiden ja hiukkasten emissioiden suhteellinen muutos lähtötilanteeseen verrattuna kokeen aikana.

Emissiolähde	Rakennus	Alipaine [Pa]				
		10	15	20	24	28
Radon	A	6,0		6,9		6,1
	B	9,7	9,5		11,9	
Kserofiiliset itiöt	A	3,0		2,5		3,3
	B	30,1	32,0		42,1	
Mesofiiliset itiöt	A	1,6		2,6		4,2
	B	15,6	8,2		32,4	
Hiukkasemissiot	A	1,1		1,1		1,4
	B	5,6	4,5		6,2	

Alipainepulsseilla ei saatu lisättyä emissioita. Itiöiden emissiot olivat alipaineistuksien jälkeen rakennuksessa A keskimäärin 30 % alkutilanteesta ja rakennuksessa B 10 %. Hiukkasten määrä oli A:ssa 70 % ja B:ssä 10 % alkutilanteesta. Alipaineistus poisti siten rakenteista niihin kertynyttä pölyä. Radontaso palautui ennalleen kokeiden jälkeen.

Menetelmästä voi olla hyötyä rakenteiden sisällä esiintyvien homekasvustojen toteamisessa. Menetelmän käyttökelpoisuus paranee, kun mittauksia on tehty riittävästi erityyppisissä rakennuksissa. Alipaineistus voi nostaa absoluuttiset itiöpitoisuudet haitallisen korkealle homevaurioituneissa rakennuksissa, jolloin tämä voi asettaa - ainakin asutussa rakennuksessa - rajoituksia menetelmän käytölle.

### 4.3 Kenttäkohteen ulkoseinän homevaurioiden selvitys, esimerkkitapaus

Kohteena oli vuonna 1964 rakennettu laaja yksikerroksinen tiilirakenteinen koulu. Pohjavesi on ollut korkealla ja pintavettäkin on valunut rakenteisiin. Kattorakenne on melko loiva tuuletetulla ullakolla varustettu betonirakenteinen yläpohja. Yläpohjassa eristeenä on 50 mm lastuvillaa ja 100 mm mineraalivillaa. Seinät ovat täystiiliseiniä, ja niiden eristeenä on kevyt lasivillaeristys 75 mm. Seinissä on valesokkeli eikä eristetilaa ole tuuletettu. Kellarikerros on osalla rakennusta, mutta pääosa alapohjasta on maanvaraista. Perustukset ovat paalutetut. Sokkelihalkaisu on tehty lastuvillalevyä käyttäen. Samaa levyä on lattiassa lämmöneristeenä 75 mm ulkoseinien vieressä noin 1,0 m leveydeltä. Ikkunat ovat puurakenteisia.

### 4.3.1 Tarkastukset ja tutkimukset

Talon ulkopuolisten ikkunoiden alla oli tiilissä selviä suolamuodostumia. Ikkunoiden alakarmi oli useissa paikoin selvästi laho. Ulkopuolisessa tiiliseinässä ei ollut seinän tuulettamiseksi jätetty aukkoja pystysaumoihin sokkelin yläpuolelle. Ulkopuolinen maan pinta oli lattiapintaan nähden korkealla, joten ulkopuolisilla vesillä oli mahdollisuus tunkeutua sokkeli- ja lattiarakenteisiin.

Luokkien keskilattialla maaperän kosteus pääsee mittausten perusteella nousemaan betoni-laattaan saakka. Reunoilla ja seinän vierillä laatan alapuolista täyttöhiekkää on noin metrin paksuudelta, joten kosteuden kapillaarinen nousu katkeaa. Yhdessä luokassa laatan alapuolinen hiekka katkaisi veden kapillaarisen nousun maaperästä, myös keskialueella.

Ulkoseiniä sisäpuolinen tiilimuuraus oli kuiva, suhteellinen kosteus noin 33 %, paitsi luokassa, jossa oli kattovuoto.

Näytteiden saamiseksi sokkelihalkaisu paljastettiin seitsemästä kohdista talon sisäpuolelta koko korkeudelta. Halkaisu oli selvästi märkä kolmessa luokassa. Lisäksi luokkien ulkoseiniin oli tehty aukkoja, joista voitiin ottaa näytteitä seinän lämmöneristeistä. Seinissä pilarien kohdilla oli käytetty korkkilevyä lämmöneristeinä, muuten eristeinä oli 75 mm:n lasivillaa. Sokkelihalkaisu oli 50 mm.

Sokkelihalkaisussa käytetyssä lastuvillalevyssä oli havaittavissa keskimäärin lievää mikrobien vähenemistä alaspäin mentäessä, mutta eri kohtien erot olivat suuria, mahdollisesti erilaisten kosteusprofiilien vuoksi. Seinän mineraalivillaeristeen suurimmat mikrobipitoisuudet olivat seinän alareunassa ja ikkunoiden ympärillä, joissa kosteus ilmeisesti tiivistyi ikkunapeltiin ja imeytyi rakennusmateriaaleihin, taulukko 7.

Taulukko 7. Seinästä otettujen näytteiden mikrobit

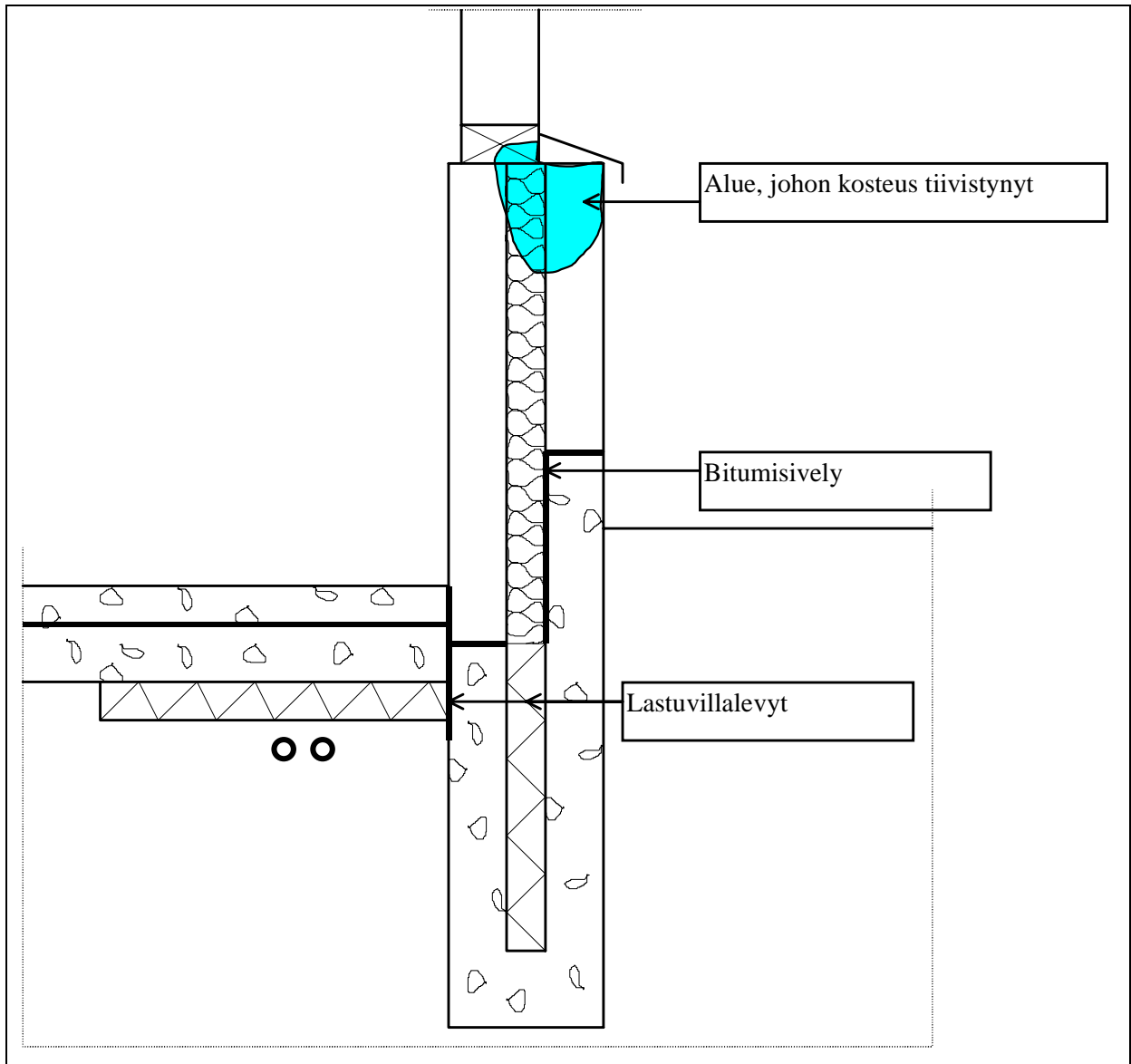
Rakennusosa (Näytteitä kpl)	Itiöiden kokonaispitoisuus kpl/g	Mesofiiliset sienet cfu/g	Kserofiiliset sienet cfu/g	Mesofiiliset aktinomykeetit cfu/g
Sokkelihalkaisu (lastuvillalevy)				
- yläreuna (2–3) <sup>1</sup>	7,0*10 <sup>6</sup> –8,6*10 <sup>7</sup>	2 100–36 300	1 900–110 000	890–1 555 000
- keskellä (2–3)	5,3*10 <sup>6</sup> –2,0*10 <sup>7</sup>	6 500–13 000	7 200–27 300	0–884 000
- alareuna (3–5)	2,4*10 <sup>5</sup> –1,3*10 <sup>7</sup>	720–27 000	180–12 000	0–157 700
Ikkunoiden alla seinäeristeessä (mineraalivilla)				
- yläreuna (2–3)	7,1*10 <sup>8</sup> –7,6*10 <sup>8</sup>	1 000–1 500 000	2 000–563 000	0–3 000 000
- välillä (4)	2,3*10 <sup>7</sup> –6,7*10 <sup>7</sup>	1 700–35 000	760–15 000	0–40 000
- alareuna (3–7)	8,4*10 <sup>7</sup> –5,3*10 <sup>8</sup>	300–1 154 000	3 200–777 000	3 700–1,6*10 <sup>7</sup>
Ikkunan karmi (1)	8,7*10 <sup>7</sup>	220 000	18 000	–

<sup>1</sup> Ensimmäinen luku ilmoittaa, kuinka monesta näytteestä on tehty kokonaisitiöpitoisuusmääritys.

Näytteiden päälajeina esiintyi *Penicillium*, *Aspergillus*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Exophiala*, *Scopulariopsis*, *Cryosporium* ja *Phialophora* -sukujen mikrobeja.

Ulkoseinissä sisältä ja mahdollisesti ulkoakin eristetilaan tuleva kosteus on tiivistynyt talvis-aikaan ikkunapelteihin ja kastellut alaikkunakarmin ja eristeet sekä tiilet, kuva 8. Tiilissä näkyvät jäljet eivät johdu pelkästään ikkunapeltien vesivuodoista, vaan myös eristetilan tuulettomattomuudesta.





*Kuva 8. Seinän leikkaus.*

Sokkelin halkaisuun käytetyn lastuvillalevyn (Tojax) yläosassa oli enemmän mikrobitoimintaa kuin alaosassa, jossa ilmeisesti lämpötilan alhaisuus ja hapen puute ovat hillinneet kasvua. Koko talon levyissä on ollut kuitenkin jossain määrin mikrobikasvua.

Seiniä ei voi korjata rakennusteknisesti tyydyttäväksi muuten kuin purkamalla ulkopuolinen tiiliseinä ja poistamalla eristeet. Uuteen tiiliseinään tulee järjestää riittävä tuuletus. Myös sokkelihalkaisussa on vaihtelevia määriä mikrobeja, joten eristemateriaalin poistaminen kokonaan on suositeltavaa.

Ulkopuolella ympäröivää maanpintaa pitää alentaa seinien vierillä siten, ettei se ole lattiapintaa ylempänä. Maanpinta tulee kallistaa rakennuksesta pois päin. Samalla on syytä uusita salaojitus seinien vierillä.

## 4.4 Pientalon ryömintätilan radonin ja mikrobien hallinta, tapausselostus

Tutkimuskohde oli yksikerroksinen pientalo (kerrosala 129 m<sup>2</sup>), joka sijaitti alavalla savisella maaperällä. Rakennuksen alla oli yhtenäinen ryömintätila. Ryömintätalassa maata vasten oli muovikalvo, jonka päällä oli hiekkakerros. Rakennuksen perustuksissa oli käytetty kevytsora-harkkoja ja alapohjassa kevytbetonielementtejä.

Talossa oli poistoilmanvaihto, ja ryömintätala tuuletettiin asuintilojen poistoilmalla. Ongelmaksi olivat muodostuneet ryömintätalassa korkea suhteellinen kosteus ja mikrobipitoisuus sekä ryömintätalasta ilmajirtojen mukana huoneilmaan kulkeutuneet mikrobit. Entisen järjestelmän tilalle asuintiloja ja ryömintätalaa varten asennettiin erilliset tulo- ja poistoilmajärjestelmät. Ryömintätalassa lämpötilan varmistamiseksi sen tuloilmakanavaan asennettiin lämmitin (1,2 kW). Ilmanvaihtomuutosten jälkeen ylipaineinen ryömintätala säädettiin alipaineiseksi sisätiloihin nähden ja asuintilat säädettiin lievästi alipaineisiksi ulkoilmaan nähden.

Mittaukset ennen ilmanvaihdon muutoksia tehtiin maalishuhtikuussa 1998 ja muutosten jälkeen lokakuussa 1998 sekä helmikuussa 1999.

Merkkiaine- ja kanavamittausten mukaan huoneiston ilmanvaihtuvuus poistoilman ¾-teholla oli 0,34 h<sup>-1</sup> ennen uuden ilmanvaihtojärjestelmän asennusta. Alapohjavuodon osuus kokonaispoistosta oli ainoastaan 8 %, mikä osoittaa alapohjarakenteen hyvää tiiviyyttä. Ryömintätalassa ja huoneilman radonpitoisuuksien suhteeksi saatiin 12,5 sekä poistoilman ja vuotoilman suhteeksi 13,5. Radonpitoisuuksien ja vuotoilmanvirtojen suhteet vastasivat hyvin toisiaan.

Alkuperäinen ryömintätalassa radonpitoisuus (340 Bq/m<sup>3</sup>) nousi muutosten jälkeen kaksinkertaiseksi (755 Bq/m<sup>3</sup>). Asuintilojen radonpitoisuudessa (25 Bq/m<sup>3</sup>) ei tapahtunut muutosta. Ennen muutoksia ryömintätalassa kserofiilisten sienten itiöpitoisuudeksi mitattiin 7 850 cfu/m<sup>3</sup> ja ensimmäisen seurantamittausjakson jälkeen 2 300 cfu/m<sup>3</sup> ja vastaavasti mesofiilisten sienten itiöpitoisuudeksi mitattiin 10 040 cfu/m<sup>3</sup> ja 3 950 cfu/m<sup>3</sup>. Toisen seurantamittausjakson jälkeen pitoisuudet laskivat edelleen ja kserofiilisten sienten itiöpitoisuudeksi mitattiin 1 087 cfu/m<sup>3</sup> ja mesofiilisten sienten 616 cfu/m<sup>3</sup>. Ryömintätalassa suhteellinen kosteus pysyi koko ajan korkeana, noin 85–90 %:na. Kosteus vähenee hitaasti, ja muutoksen havaitseminen olisi vaatinut pitemmän seuranta-ajan.

Seurannassa havaittiin, että ryömintätalassa tulo- ja poistoilmamäärien säätö ja sen avulla haluttu ryömintätalassa paine-eron ylläpitäminen ulkoisten olosuhteiden muuttuessa oli vaikeaa. Jotta ryömintätalassa alipainetta voitiin ylläpitää erilaisissa olosuhteissa, edellytettiin ryömintätalassa poistoilmamäärän lisäämistä. Talvella ryömintätalassa ilmanvaihto oli tarpeettoman suuri ja jäähdytti ryömintätalassa. Ryömintätalassa radontuotto kaksinkertaistui ilmanvaihtomuutosten jälkeen ryömintätalassa alipaineistuksessa. Ryömintätalassa alipaine sisätilaan nähden esti tehokkaasti vuotovirtauksen sisätiloihin.

# 5. Mikrobiologisten selvitysten käyttö ja merkitys rakennusten homevaurioiden tunnistamisessa ja korjaamisessa

## 5.1 Mittausmenetelmät

Sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeen<sup>1</sup> mukaisesti mikrobiologisilla määrittämisillä on ollut keskeinen asema rakennusten kosteus- ja homevauriotapausten selvittämisessä Suomessa. Vaikka tarkempia ohjeita on annettu vain kasvatustutkimusten käytöstä ja tulosten tulkinnasta, niin muitakin mittausmenetelmiä on kokeiltu ja käytetty homevaurioiden tunnistamisessa. Eri menetelmien etuja ja haittoja on esitetty taulukossa 8. Kentällä suoraan käytettävä menetelmä toisi suuren aikaedun ja nopeuttaisi usein muutenkin hitaasti etenevää vaurioselvitysprosessia.

### 5.1.1 Kasvatustutkimukset

Kasvatustutkimuksilla tarkoitetaan mikrobien viljelyyn perustuvia menetelmiä. Niihin kuuluvat mm. rakenteista otettujen pinta- ja materiaalinäytteiden mikrobiologiset analyysit sekä mikrobipitoisuuden ja -lajiston määrittäminen ilmanäytteistä mm. impaktorilla. Kuusivaiheimpaktori (nk. Andersen-keräin) on yleisimmin käytetty menetelmä myös tieteellisten tutkimusten ilmanäytteenotossa, mutta muitakin näytteenottomenetelmiä (esim. RSC-keräintä, rakokeräimiä, impingereitä) on kehitetty. Kasvatustutkimusten heikkoutena on niiden työläys ja pitkä (vähintään 1–2 viikon) viive näytteenoton ja analyysivastauksen välillä. Impaktori-näytteenoton ongelmana on lyhyiden näytteenottoaikojen (10–20 min.) huono ajallinen edustavuus. On runsaasti havaintoja, että rakenteissa voi olla suurikin homevaurio, mutta se ei tule näkyviin ilmanäytteitä tutkittaessa. Kasvatustutkimusten etuja ovat runsas vertailuaineiston saatavuus sekä hyvät mahdollisuudet mikrobilajiston tunnistamiseen.

Vanhon jo kuivuneiden kasvustojen toteaminen kasvatustutkimuksilla on epävarmaa, koska alhainen elinkykyisten mikrobien pitoisuus ei takaa sitä, että materiaalianalyysitulokset kertovat todellisen mikrobiologisen tilan. Mikrobipitoisuudet ja mikrobien elinkykyisyys voivat vaihdella samassa kosteuspitoisuudessa jopa usean kertaluokan verran. Korkeita elinkykyisten sieni-itiöiden ja sädesieni-itiöiden pitoisuuksia voi esiintyä myös materiaaleissa, joissa näytteenottohetkellä on alhainen kosteus. Vastaavasti itiöpitoisuudet eivät aina ole korkeita, vaikka materiaalin suhteellinen kosteus ylittää mikrobikasvun edellyttämän tason. Tämä on mahdollista äkillisissä kosteusvauriotapauksissa, joissa mikrobikasvua ei ole vielä ehtinyt muodostua.

---

<sup>1</sup> Sosiaali- ja terveysministeriö, Sisäilmaohje 1997:1, Helsinki, s. 71

### **5.1.2 Suorat itiölaskentamenetelmät**

Suorilla itiölaskentamenetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joissa rakenteista otettujen näytteiden mikrobistoa tarkastellaan mikroskoopilla, esim. valomikroskoopilla, epifluoresenssimikroskoopilla tai pyyhkäisyelektronimikroskoopilla. Tarkastelun kohteena ovat yleensä sieni- ja aktinomykeetti-itiöt ja -rihmastot, ja tulos voidaan ilmoittaa joko kvantitatiivisesti tai kvalitatiivisesti. Menetelmät ovat käyttökelpoisia kuivuneiden, elinkyvyltään heikentyneiden kasvustojen tunnistamisessa, joskaan näiden erottaminen elinkykyisistä ja aktiivisista kasvu- toista ei ole mahdollista. Menetelmät kuitenkin soveltuvat huonosti sisäilmanäytteille, koska menetelmien määrittämisrajat ovat korkeita mikrobien sisäilmapitoisuustasoihin nähden. Lisäksi homelajiston tunnistaminen ilmanäytteistä on epävarmaa. Suorien laskentamenetelmien yleisesti hyväksytyjä ohjeita ja standardeja ei ole laadittu, mikä vaikeuttaa tulosten tulkintaa.

### **5.1.3 Ergosterolipitoisuuden määrittäminen**

Ergosteroli on eräs rihmasienten (homeiden) soluseinän pääkomponenteista, joten sen määrä kuvastaa sienimateriaalin biomassaa. Ergosterolipitoisuuden määrittämismenetelmän hyviä puolia ovat nopeus, toistettavuus ja luotettavuus sekä se, että ergosterolin määrä ei ole riippuvainen sienien elinkyvystä. Menetelmän heikkouksina voidaan pitää sitä, että se ei anna tietoa sienilajistosta eikä aktinomykeettien esiintymisestä ja se aliarvioi hiivapitoisuutta hiivasolujen alhaisen ergosterolipitoisuuden vuoksi.

### **5.1.4 Toksiinimääritykset**

Toksiinit ovat joidenkin sienten tai bakteerien aineenvaihduntatuotteita tai soluseinärakenteisiin kuuluvia myrkyllisiä yhdisteitä, jotka voivat levitä itiöiden, rihmanosasten ja muiden mikrobisolujen välityksellä, mutta jotka eivät ole haihtuvia normaaliolosuhteissa. Kosteusvauriorakennusten sisäilmassa esiintyvät toksiinipitoisuudet ovat kuitenkin niin matalia, että niiden luotettava havaitseminen nykyisillä analyysimenetelmillä ei ole mahdollista. Rakennusmateriaalien toksiinimäärityksiä voidaan harkita käytettäväksi tapauksissa, joissa esim. mikrobilajiston perusteella on syytä epäillä toksiinien esiintymistä ja niiden aiheuttamia terveys- haittoja siinäkin tapauksessa, että kyse on vanhasta mikrobikasvustosta.

### **5.1.5 Mikrobien haihtuvien aineenvaihduntatuotteiden mittaus**

Haihtuvien aineenvaihduntatuotteiden mittauksen etuna on analyysien nopeus ja mahdollisuus tunnistaa myös rakenteiden sisällä olevat mikrobikasvustot rakenteita rikkomatta. Kuitenkaan ei ole todettu yhdisteitä, jotka olisivat peräisin vain mikrobien aineenvaihdunnasta ja joilla ei olisi muita lähteitä sisäilmassa. Säästä riippuvat rakennuksen painesuhteet vaikuttavat kaasujen virtaukseen sisäilmaan ja samalla näiden pitoisuuteen. Mittauksilla voidaan havaita vain aktiivisessa vaiheessa olevia mikrobikasvustoja. Selkeitä ohjeita ja standardeja ei ole julkaistu menetelmien käytöstä.

Taulukko 8. Mikrobeihin liittyvien määrittelymenetelmien etuja ja haittoja.

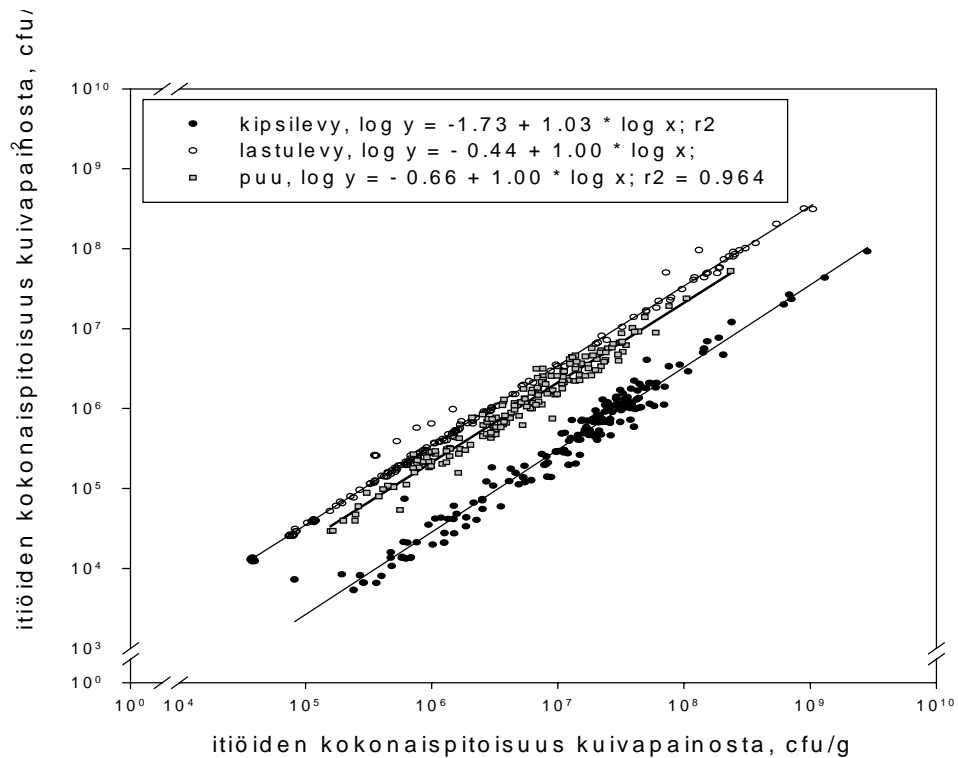
Menetelmä	Standardisointi, ohjeistot	Homelajistojen määrittäminen	Menetelmän nopeus
Kasvatusmenetelmät	+	+	-
Suorat itiölaskentamenetelmät	-	- (?)	+
Ergosterolipitoisuuden määrittäminen	-	-	+
Toksiinimääritykset	-	-	-
Mikrobien haihtuvien aineenvaihduntatuotteiden mittaaminen	-	-	+

## 5.2 Suositeltava näytteenottomenettely

Aikaisempina vuosina mikrobiologiset määritykset rakennusten kosteus- ja homevaurio-tapausten selvityksessä keskittyivät ilmanäytteiden analysointiin. Nytemmin rakenteista otettujen pinta- ja materiaalinäytteiden merkitys on korostunut. Yhdessä riittävän kattavan rakennusteknisen tarkastelun kanssa rakenteista tehty mikrobiologiset määritykset ovat useimmiten riittäviä kosteus- ja homevaurioiden tunnistamiseksi ja vaurion laajuuden arvioimiseksi. Sisäilman mikrobipitoisuuden määrittäminen ei yleensä tuo merkittävää lisätietoa tapauksesta. Mikäli rakennusteknisen selvityksen perusteella ei voida paikallistaa kosteusvaurioita tai muutoin päätellä mahdollisia mikrobi-itiöiden kulkeutumiskeinoja vaurioituneista rakenteista muihin rakennuksen osiin tai jos rakennuksessa esiintyy ongelmia korjausten jälkeenkin, voidaan etsiä ilmanäytteiden avulla rakennuksen epäilyttäviä tiloja. Tällöin voidaan harkita ns. aggressiivisen näytteenottotilanteen järjestämistä paineistamalla rakennus tai rakennuksen osa, jolloin voidaan selvittää ilmavirtausten kulkureittejä rakenteista sisäilmaan. Menetelmää on kuitenkin käytettävä harkiten, varsinkin jos rakennus on normaalikäytössä ja siinä oleilee oireilevia henkilöitä.

Valinta rakenteiden pinta- ja materiaalinäytteiden välillä määräytyy yleensä sen perusteella, voidaanko rakenteita avata. Jos rakenteiden avaaminen on mahdollista, rakennusmateriaalinäytteiden ottaminen on suositeltavampaa määrittelymenetelmän paremman luotettavuuden takia. Rakennusmateriaalinäytteiden otossa on kuitenkin huomioitava, että näyte tulisi ottaa rakenteen pinnalta ja suositeltava näytteen paksuus on 1 mm. STM:n ohjeen mukaan näytteen paksuus voi olla 5–10 mm tai näytteeksi voidaan ottaa vain kontaminoitunut pinta-osa. Paksu näyte voi aiheuttaa kertaluokan suuruisia eroja tuloksissa, kun pitoisuus ilmoitetaan painoon verrattuna. STM:n ohjeiden mukaisesti rakennusmateriaalinäytteiden mikrobipitoisuus voidaan laskea materiaalin märkäpainoa kohden, mikä aliarvioi mikrobipitoisuuden näytteissä, joiden vesipitoisuus on korkea. Käytännössä tästä aiheutuva virhe on merkitykseltön, mutta rajatapauksissa on suositeltavaa määrittää mikrobipitoisuus materiaalin kuivapainoa kohden. Sekä näytteen paksuuden että kosteuspitoisuuden ongelmat voidaan välttää, jos mikrobimäärä ilmoitettaisiin näytteen mikrobeja kasvaneen pinta-alan mukaan. Materiaaleilla,

joilla on selvä pinta, yhteys painosta lasketun ja mikrobeja kasvaneen pinnan välillä on samanlaisilla koekappaleilla hyvin suoraviivainen, kuva 9. Eristeillä ja materiaaleilla, jotka ovat niin huokoisia, että kasvu voi tapahtua materiaalin sisällä, tulisi käyttää edelleen kuivapainoon perustuvaa mikrobipitoisuuden määrittelyä.



Kuva 9. Itiöpitoisuuden korrelaatio pinta-alaa ja painoa kohden laskettujen näytteiden välillä.

Mikrobinäytteiden ottamiskohtan määrittäminen vaatii tietoja sekä rakenteista että mikrobeista. Rakenteiden kosteusmittausten perusteella ei välttämättä voida päätellä mikrobikasvun rajoja rakenteissa. Pistemäisissä kosteusvaurioissa, kuten putki- ja viemäriputkitaipaleissa ja pesuvesien aiheuttamissa kostumisissa, mikrobikasvu voi rajoittua muutamien kymmenien cm:n etäisyydelle vauriokohdasta ja ns. puhtaan alueen raja voi olla hyvin selvä. Sen sijaan rakenteiden kostuessa pitkällä aikavälillä ja rakennetta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden ollessa korkea mikrobikasvu voi levitä laajalle alalle eikä ns. puhtaan alueen rajaa ole selvästi havaittavissa. Virhearvio näytteenottokohdasta voi johtaa kertaluokkien virheeseen mikrobipitoisuudessa. Satunnaisvaihtelu mikrobien kasvussa on suurta, mikä vaatisi luotettavan tuloksen saamiseksi suuria näytemääriä.

### **5.3 Rakenteiden kosteusmittausten ja mikrobianalyysien vastaavuus**

Kosteusmittaukset kuvastavat rakennuksen mittaushetken tilannetta, kun taas mikrobiologiset määrittelyt kertovat rakenteen tilasta pidemmältä ajanjaksolta. Kuivissakin rakenteissa tavataan korkeita mikrobipitoisuuksia ja kosteiden rakenteiden mikrobipitoisuudet voivat olla alhaisia. Syy kuivien rakenteiden korkeisiin mikrobipitoisuuksiin, etenkin jos ne on määritetty suorilla itiölaskentamenetelmillä, voi olla vanha kasvusto, joka on kehittynyt rakenteeseen aikana, jolloin sen kosteus on ollut korkea. Korkea suhteellinen kosteus sisätiloissa tai rakenteen sisällä voi ylläpitää kuivuneessa rakenteessa korkeita mikrobipitoisuuksia kauankin aikaa. Mikrobipitoisuuksia tulee tulkita erityisen varovaisesti, jos näyte on peräisin rakenteesta, joka on tai on ollut kosketuksessa maaperän kanssa tai jos tarkastelun kohteena oleva rakennus on vanha tai siinä on käytetty vanhoja tai pitkään varastoituja materiaaleja. Kosteiden rakenteiden alhaisten mikrobipitoisuuksien selityksenä voi olla, että kosteusvaurio on syntynyt niin äskettäin, ettei mikrobikasvustoa ole vielä ehtinyt muodostua tai materiaali ei ole ominaisuuksiltaan suotuisa kasvualusta mikrobeille. Myös muut olosuhteet voivat rajoittaa mikrobikasvua (esim. pH, tai lämpötila).

Pintakosteusilmaisimilla pystytään määrittämään kastuneen rakenteen raja riittävällä tarkkuudella korjausta ajatellen, kun kuivumista ei ole ehtinyt tapahtua. Kuivuneissa rakenteissa voidaan yleissääntönä pitää, että vähänkin pitempiaikaisissa kosteusvaurioissa selvästi kastuneet biohajoavat materiaalit, kuten puu ja puuperäiset levyt, tulee uusida.

### **5.4 Mikrobiologisten analyysien hyödyntäminen homevaurioiden korjaustarpeen arvioinnissa**

Mikrobiologisia analyysejä voidaan hyödyntää myös arvioitaessa, kuinka laajasti vaurioitunut rakenne tulisi korjata. Usein pistemäisissä kosteusvaurioissa, kuten putkivuodoissa, vaurioalue on helposti rajattavissa ja materiaalista riippuen vaurion laajuus on nähtävissä silmämääräisestäkin, jolloin mikrobiologisia määrittelyjä ei tarvita. Sen sijaan pitkäkestoissa ja toistuvissa kosteusvaurioissa ja huokoisissa materiaaleissa (esim. eristeissä) tai, jos rakenteessa tai tilassa suhteellinen kosteus on pitkiä aikoja ollut korkea, vaurioaluetta on toisinaan vaikeaa määrittää edes kosteusmittausten avulla. Tällöin materiaalien mikrobiologiset määrittelyt voivat antaa luotettavimman kuvan vaurioalueesta. Vauriotapauksissa homekasvun, homevaurion ja lahovaurion määrittely ja kriteeristö on tarpeen. Materiaaleihin voi kertyä myös luontaista homelaskeumaa, jolloin mikrobipartikkelien pitoisuusanalyysit sellaisenaan voivat antaa harhaanjohtavia tuloksia.

## 6. Johtopäätökset

Jokaisella mikrobien määrää tai aktiivisuutta kuvastavalla määrittämenetelmällä on sekä etunsa että heikkoutensa. Menetelmiä yhdistelemällä voidaan tietenkin saada kattava käsitys rakennuksen mikrobiologisesta tilasta, mutta jokainen analyysi vie aikaa ja lisää selvitysten kustannuksia. Siksi tulisikin harkita tarkkaan, mitä mikrobiologisilla tutkimuksilla tarkalleen halutaan selvittää, ja valita sen jälkeen käyttötarkoitukseen ja tutkittavan kohteen ominaisuuksiin parhaiten sopiva menetelmä sekä arvioida selvityksen luotettavuuden edellyttämä näytteen vähimmäismäärä. Mikrobiologiset määrittäykset toimivat hyvin rakennusteknisten selvitysten tukena homevaurioiden tunnistamisessa ja vaurioalueen laajuuden kartoituksessa, ja ne voivat tietyissä tapauksissa antaa enemmän ja erilaista tietoa kuin rakennusten kosteusmittaukset. On huomattava myös se, että tuloksilla voi olla oikeudellisia vaikutuksia. Siksi määrittäykset tulee perustua julkaistuihin ja valideihin menetelmiin. Näytteenoton ja analyysin tulee olla hyvin dokumentoituja. Mikrobit tulee määrittää kvantitatiivisesti ja tulosten tulkinnan tulee perustua ennalta sovittuihin kriteereihin.

Rakennusteknisesti tärkeimpiä havaintoja tässä tutkimuksessa ovat olleet materiaalien nopea mikrobikasvu vesivaurioon verrattavissa olosuhteissa, hitaan kuivatuksen aiheuttama elinkykyisten mikrobien säilyvyys ja eräiden homeiden kasvun kiihtyminen materiaalien kuivatusvaiheessa. Tämä merkitsee sitä, että helposti uusittavia rakenteita, joissa on selvä mikrobikasvu, ei tule kuivata, vaan ne tulee uusida. Asuminen tai jatkuva työskentely kuivattavissa tiloissa ei ole suotavaa mikrobiologisen altistuksen vuoksi, sillä varsinkaan maanvaraisten lattioiden tarkkaa mikrobiologista tilaa ei aina voida näytteen otollakaan täysin selvittää ennen kuivattamista. Rajatuissa selvissä vesivauriotapauksissa, joissa mikrobikasvustoa ei ole ehtinyt muodostua, kuivatus ei edellytä tilojen evakuointia.

Käytännön korjaustyössä selvästi kastuneiden ja silmämääräisesti mikrobikasvua sisältävien materiaalien poisto on selkein korjaustapa. Mikrobiologisia määrittäyksiä tarvitaan vain rajatapauksissa. Jos mikrobimäärittäminen on kalliimpaa kuin epäilyttävän rakenneosan vaihto, ei määrittäyksiä kannata tehdä. Kantavia puurakenteita voidaan puhdistaa höyläämällä tai hiomalla, koska homekasvusto on vain puurakenteen pinnalla. Usein ongelmana on kuitenkin, että kaikkia pintoja ei voi puhdistaa tai käsitellä rakennetta purkamatta. Homekorjaus tulee tehdä siten, ettei rakenteisiin jää merkittäviä määriä mikrobeja, koska muuten joudutaan helposti pitkälliseen korjauskierteeseen, jolloin ei enää lopuksi tiedetä, mitä tulisi tehdä.



## Lähdeluettelo

1. Korpi, A., Pasanen, A.-L., Pasanen, P., Rantamäki, J. & Viitanen, H. Mikrobiein aineenvaihduntatuotteiden muodostuminen kahdessa tyypillisessä rakenteessa. In: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1997. Espoo 1997: SIY Raportti 8: s. 148–154.
2. Korpi, A., Pasanen, A.-L. & Pasanen, P. Volatile compounds originating from mixed microbial cultures on building materials under various humidity conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 1998, Vol. 64, s. 2914–2919.
3. Pasanen, A.-L., Rautiala, S., Ikäheimo, M., Kalliokoski, P., Kääriäinen, H. & Rantamäki, J. Rakennusmateriaalien kostumistavan ja kuivumisen vaikutus mikrobikasvuston muodostumiseen ja elinkykyyn. In: Säteri, J. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1998. Espoo 1998: SIY Raportti 11, s. 147–152.
4. Rautiala, S., Pasanen, A.-L., Kasanen, J.-P., Ikäheimo, M., Kalliokoski, P., Kääriäinen, H. & Rantamäki, J. The effect of fluctuating humidity and temperature conditions on microbial growth on tree construction materials. *Indoor Air '99*, 8.–13.8.1999, Edinburgh, UK. 5 s.
5. Rantamäki, J., Kääriäinen, H., Tulla, K., Viitanen, H., Pasanen, A.-L. & Kalliokoski, P. Vanhojen rakennusmateriaalien kosteuden mittaus ja home. In: Säteri, J. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1998, Espoo 1998: SIY Raportti 11, s. 141–146.
6. Pasanen, A.-L., Kasanen, J.-P., Rautiala, S., Ikäheimo, M., Rantamäki, J., Kääriäinen, H. & Kalliokoski, P. Fungal growth and survival in building materials on fluctuating moisture and temperature conditions. *Lähetetty International Biodeterioration & Biodegradation -lehteen* 10.12.1998.
7. Rautiala, S., Pasanen, A.-L., Rantamäki, J. & Kalliokoski, P. Materiaalien kosteuden ja vauriokohdan etäisyyden vaikutus mikrobipitoisuuteen. In: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1997. Espoo 1997: SIY Raportti 8, s. 143–148.
8. Kalliokoski, P., Korhonen, P., Kokotti, H., Rautiala, S., Rantamäki, J. & Pasanen, A.-L. Radon- ja homeongelman tutkinta paineistuskokeella. In: Säteri, J. & Haakkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13, s. 149–152.
9. Rantamäki, J. & Pasanen, A.-L. Erään kivrakenteisen koulun homevauriot, tapausselostus. In: Säteri, J. & Haakkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13, s. 169–174.

10. Pasanen, A.-L., Rautiala, S., Kasanen, J.-P., Raunio, P., Rantamäki, J. & Kalliokoski, P. Kentältä kerättyjen materiaalinäytteiden tulokset: mikrobit vs. kosteus. Käsikirjoitus valmistunut kesäkuussa 1999.
11. Pasanen, A.-L. Mikrobiologisten selvitysten käyttö ja merkitys rakennusten homevaurioiden tunnistamisessa ja korjaamisessa. In: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13, s. 127–132.
12. Sisäilmaohje 1997:1. Sosiaali- ja terveysministeriön (STM) opas. Helsinki 1997. S. 72.

# Liite A: Ekologisen rakentamisen tutkimusohjelman julkaisutoiminta

## Suomen Akatemian hanke nro 33404

### *A. Artikkelit kansainvälisissä aikakauslehdissä*

1. Korpi, A., Pasanen, A.-L. & Pasanen, P. Volatile compounds originating from mixed microbial cultures on building materials under various humidity conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 64, s. 2914–2919, 1998.
2. Korpi, A., Pasanen, A.-L. & Viitanen, H. Volatile metabolites of *Serpula lacrymans*, *Coniophora puteana*, *Poria placenta*, *Stachybotrys chartarum* and *Chaetomium globosum*. *Building and Environment* Vol. 34, s. 205–211, 1999.
3. Pasanen, A.-L., Yli-Pietilä, K., Pasanen, P., Kalliokoski, P. & Tarhanen, J. Ergosterol content in various fungal species and biocontaminated building materials. *Appl. Environ. Mikrobiol.* Vol. 65, s. 138–142, 1999.
4. Pasanen, A.-L., Kasanen, J.-P., Rautiala, S., Ikäheimo, M., Rantamäki, J., Kääriäinen, H. & Kalliokoski, P. Fungal growth and survival in building materials on fluctuating moisture and temperature conditions. *Lähetetty International Biodeterioration & Biodegradation -lehteen* 10.12.1998.
5. Pasanen, A.-L., Rautiala, S., Kasanen, J.-P., Raunio, P., Rantamäki, J. & Kalliokoski, P. Kentältä kerättyjen materiaalinäytteiden tulokset: mikrobit vs. kosteus. *Käsikirjoitus valmistunut kesäkuussa 1999.*
6. Korhonen, P., Kokotti, H. & Kalliokoski, P. Behaviour of radon, radon progenies and particle levels during room depressurisations. *Atmospheric Environment.* Vol. 34, s. 2373–2378.
7. Kokotti, H., Keskikuru, T. & Kalliokoski, P. Dependence of radon concentration on pressure difference in a crawl-space. *Lähetetty Science of Total Environment -lehteen.*
8. Keskikuru, T., Kokotti, H. & Kalliokoski, P. How did wind affect the radon entry into seven detached houses. *Lähetetty Science of Total Environment -lehteen.*
9. Keskikuru, T., Kokotti, H., Pasanen, A.-L., Lammi, S., Hyttinen, M., Halonen, R., Rantamäki, J., Kalliokoski, P. Reduction of radon, fungal spores and volatile compounds in a crawl space house: a case study. *Lähetetty Indoor Air -lehteen* 3.2.2000.

*B. Artikkelit kansainvälisissä tieteellisissä kokoomateoksissa sekä kansainvälisissä tieteellisissä konferenssijulkaisuissa*

1. Pasanen, A.-L., Korpi, A., Kasanen, J.-P. & Pasanen, P. Can microbial volatile metabolites cause irritation at indoor air concentrations? Third International Conference on Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control, 23.–25.9.1998, Saratoga Springs, NY. Laajennettu tiivistelmä julkaistaan konferenssin kokoomajulkaisussa 1999.
2. Kokotti, H., Keskikuru, T. & Kalliokoski, P. Dependence of radon concentration on pressure difference in a crawl-space. Proceedings of Radon in the Living Environment, 19.–23.4.1999, Ateena, Kreikka. S. 42–43.
3. Keskikuru, T., Kokotti, H. & Kalliokoski, P. How did wind affect the radon entry into seven detached houses. Proceedings of Radon in the Living Environment, 19.–23.4.1999, Ateena, Kreikka. S. 55–56.
4. Kalliokoski, P., Korhonen, P., Kokotti, H., Rautiala, S., Pasanen, A.-L. & Rantamäki, J. Influence of negative pressurization on airborne microbial and radon levels. 92nd Annual Meeting of Air and Waste Management Association, 20.–24.6.1999, St. Louis, USA.
5. Pasanen, A.-L., Yli-Pietilä, K., Raunio, P., Pasanen, P., Kalliokoski, P. & Tarhanen, J. Ergosterol content as a tracer of fungal contamination in building materials. Indoor Air'99 -konferenssi, 8.–13.8.1999, Edinburgh, UK.
6. Kalliokoski, P., Pasanen, A.-L., Rautiala, S., Pasanen, P. & Rantamäki, J. Depressurization tests to detect hidden molds. Indoor Air'99 -konferenssi, 8.–13.8.1999, Edinburgh, UK (laajennettu tiivistelmä).
7. Rautiala, S., Pasanen, A.-L., Kasanen, J.-P., Ikäheimo, M., Kalliokoski, P., Kääriäinen, H. & Rantamäki, J. The effect of fluctuate humidity and temperature conditions on microbial growth on three construction materials. Indoor Air'99 -konferenssi, 8.–13.8.1999, Edinburgh, UK.
8. Keskikuru, T., Kokotti, H. & Kalliokoski, P. Indoor radon reduction in a crawl space house: a case study. Proceedings of Indoor Air'99. Edinburgh, Scotland 8.–13.8.1999, Vol 2, s. 899–902, Construction Research Communications Ltd., London, UK, 1999.
9. Rantamäki, J. & Pasanen, A.-L. Mould damage in a brick school, case study. In: Proceedings of 5th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, 24.–26.8.1999, Göteborg, volume 2. S. 561–568.

C. *Artikkelit kotimaisissa aikakauslehdissä*

1. Pasanen, A.-L. Homeiden aineenvaihduntatuotteet sisäilmaongelmien aiheuttajana. *Ympäristö ja terveys* nro 1: s. 22–24, 1998.
2. Rantamäki, J. Suomalaisen rakentamisen homeongelmat. *Rakennuslehti* nro 5, 20.2.1997.
3. Rantamäki, J. Kylpyhuoneen vesivauriot johtavat homevaurioihin. *Rakennuslehti* nro 10, 27.3.1997.
4. Rantamäki, J. Terve, homeinen talo. *Kunnalliselämä* nro 2. 1997.
5. Rantamäki, J., Kääriäinen, H. & Tulla, K. Pientalojen kosteus- ja homevaurioriskit. *Rakennuslehti* nro 31, 23.10.1997.
6. Rantamäki, J. Maavaraisten lattioiden ja kellarien rakenteet ja home. *Rakennuslehti* nro 35, 20.11.1997.
7. Rantamäki, J. Suihkut lisänneet kosteusriskejä kylpyhuoneissa. *Rakennuslehti* 6, 12.3.1998.

D. *Artikkelit kotimaisissa tieteellisissä kokoomateoksissa sekä kotimaisissa tieteellisissä konferenssijulkaisuissa*

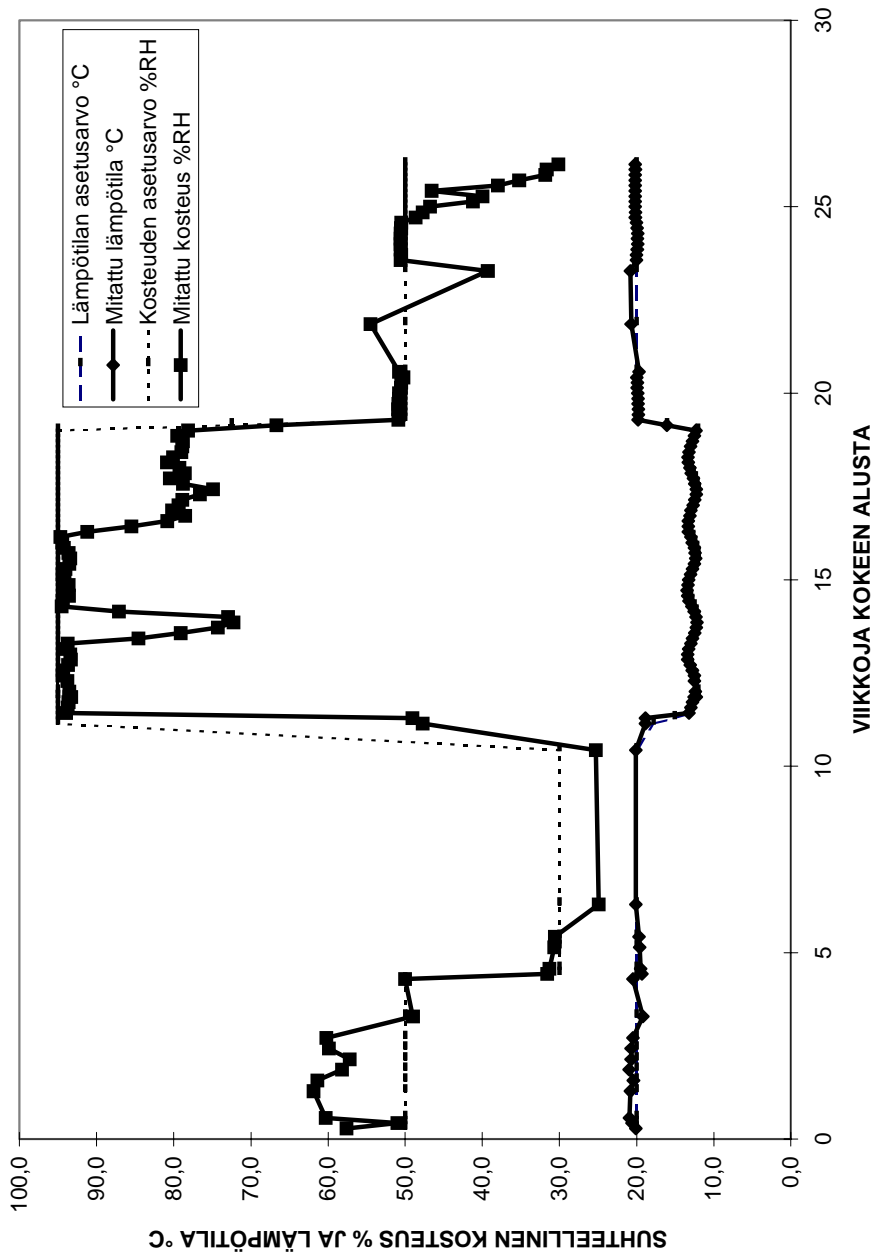
1. Rautiala, S., Pasanen, A.-L., Rantamäki, J. & Kalliokoski, P. Materiaalien kosteuden ja vauriokohdan etäisyyden vaikutus mikrobipitoisuuteen. Kirjassa: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.). *Sisäilmastoseminaari 1997*. Espoo 1997: SIY Raportti 8. S. 143–148.
2. Korpi, A., Pasanen, A.-L., Pasanen, P., Rantamäki, J. & Viitanen, H. Mikrobin aineenvaihduntatuotteiden muodostuminen kahdessa tyypillisessä rakenteessa. Kirjassa: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.). *Sisäilmastoseminaari 1997*. Espoo 1997: SIY Raportti 8. S. 148–154.
3. Korhonen, P., Kokotti, H. & Kalliokoski, P. Radonin, radonin hajoamistuotteiden ja hiukkasten pitoisuuksien vertailu eri alipaineissa. Kirjassa: Ruotsalainen, R. & Säteri, J. (toim.). *Sisäilmastoseminaari 1997*. Espoo 1997: SIY Raportti 8. S. 109–114.
4. Tulla, K. & Rantamäki, J. Kosteus- ja homevaurioiden oikeat korjaustavat. *Rakennusinsinööripäivät* 23.10.1997.

5. Tulla, K. & Pasanen, A.-L. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaaminen. Kirjassa: Säteri, J. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1998. Espoo 1998: SIY Raportti 11. S. 135–140.
6. Rantamäki, J., Kääriäinen, H., Tulla, K., Viitanen, H., Pasanen, A.-L. & Kalliokoski, P. Vanhojen rakennusmateriaalien kosteuden mittaaminen ja home. Kirjassa: Säteri, J. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1998. Espoo 1998: SIY Raportti 11. S. 141–146.
7. Pasanen, A.-L., Rautiala, S., Ikäheimo, M., Kalliokoski, P., Kääriäinen, H. & Rantamäki, J. Rakennusmateriaalien kostumistavan ja kuivumisen vaikutus mikrobikasvuston muodostumiseen ja elinkykyyn. Kirjassa: Säteri, J. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1998. Espoo 1998: SIY Raportti 11. S. 147–152.
8. Pasanen, A.-L. Mikrobiologisten selvitysten käyttö ja merkitys rakennusten homevaurioiden tunnistamisessa ja korjaamisessa. Kirjassa: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13. S. 127–132.
9. Kalliokoski, P., Korhonen, P., Kokotti, H., Rautiala, S., Rantamäki, J. & Pasanen, A.-L. Radon- ja homeongelman tutkinta paineistuskokeella. Kirjassa: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13. S. 149–152.
10. Rantamäki, J. & Pasanen, A.-L. Erään kivirakenteisen koulun homevauriot, tapausselestus. Kirjassa: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13. S. 169–174.
11. Kokotti, H., Keskikuru, T., Halonen, R. & Kalliokoski, P. Ryömintätilan radonpitoisuuden riippuvuus paineolosuhteista ryömintätalossa. Kirjassa: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13. S. 309–313.
12. Keskikuru, T., Kokotti, H., Halonen, R., Rantamäki, J. & Kalliokoski, P. Radonin hallinta ilmanvaihdon avulla ryömintätalossa: tapaus tutkimus. Kirjassa: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13. S. 315–318.
13. Keskikuru, T., Kokotti, H. & Kalliokoski, P. Paine-erot koneellisen ilmanvaihdon pientaloissa. Kirjassa: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 1999. Espoo 1999: SIY Raportti 13. S. 319–322.
14. Keskikuru, T., Kokotti, H., Pasanen, A.-L., Hyttinen, M., Halonen, R., Rantamäki, J., Kalliokoski, P. Radonin, sieni-itiöiden ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden hallinta ilmanvaihdon avulla ryömintätalossa: tapaus tutkimus. Kirjassa: Säteri, J. & Haahkala, H. (toim.). Sisäilmastoseminaari 2000. Espoo 2000: SIY Raportti 14. S. 367–372.

*E. Tieteelliset monografiat*

1. Korpi, A. Eräiden mikrobien tuottamat haihtuvat metaboliitit (MVOC) mikrobikasvun indikaattoreina rakennusmateriaaleilla. Kuopio 1998: Kuopion yliopiston Ympäristötieteiden laitosten monistesarja1/1998. Licensiaattitutkielma.

# Liite B: Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vuorokausikeskiarvot







Tekijä(t)			
Rantamäki, Jouko, Kääriäinen, Hannu, Tulla, Kauko, Viitanen, Hannu, Kalliokoski, Pentti, Keskikuru, Timo, Kokotti Helmi & Pasanen, Anna-Liisa			
Nimeke			
<b>Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet</b>			
Tiivistelmä			
<p>Tiedotteeseen on koottu käytännön rakentamiselle merkittäviä tutkimustuloksia Ekologisen rakentamisen tutkimusohjelman tutkimuksesta "Rakennusten rakenteiden kosteus- ja sienihomevaurioiden esiintyminen ja korjaus". Tutkimuksen lähtökohtana oli rakennusmateriaalien kosteuden ja mikrobikasvun välinen vuorovaikutus, koska varsinkin vaihtelevan kosteuden vaikutus mikrobikasvuun tunnetaan puutteellisesti.</p> <p>Laboratoriokokeissa selvitettiin eri rakennusmateriaalien alttiutta mikrobikasvuun ennalta valitulla mikrobiyhdistelmällä. Suhteellinen kosteus vaihteli portaittain. Kokeissa seurattiin haihtuvia aineenvaihduntatuotteita ja mikrobien kasvunopeutta. Säähuonekokeissa simuloitiin tilanetta, joka syntyy rakennuksissa pitkäaikaisen kosteusvaurion yhteydessä. Osan aikaa materiaalinäytteet olivat suorassa kosketuksessa veteen, samalla kun ilman suhteellinen kosteus pidettiin vakiona. Myöhemmin materiaaleja kuivattiin ja kostutettiin ilmassa, jolloin voitiin seurata näytteiden mikrobikasvua eri kosteusolosuhteissa. Veden imeytyminen materiaaliin käynnistää mikrobikasvuston, vaikka ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on pienempi kuin kasvun ylläpidon vaatima kosteus. Rakennusten vauriokohdista otettiin materiaalinäytteitä, joiden perusteella selvitettiin vaurion laajuutta ja kosteustilan merkitystä mikrobimääriin eri rakennusmateriaaleissa.</p> <p>Ryömintätilaisissa rakennuksissa voitiin radonin avulla määrittää, mikä osuus sisäilman korvausilmasta tulee alapohjan kautta. Kokeilut rakennusten alipaineistuksesta antoivat viitteitä siitä, että alipaineistusta voidaan käyttää apuna arvioitaessa rakennusten homevaurioita. Asia vaatii kuitenkin lisäselvityksiä.</p> <p>Raportissa verrataan eri menetelmiä mikrobikasvun arvioimiseksi ja tarkastellaan, miten tuloksia voitaisiin hyödyntää korjaustöitä suunniteltaessa.</p>			
Avainsanat			
buildings, construction materials, fungi, fungus resistance, moisture, microbiology, damages, indoor air, renovation			
Toimintayksikkö			
VTT Rakennustekniikka, Rakentaminen ja kiinteistönhallinta, Kaitoväylä 1, PL 18021, 90571 OULU			
ISBN		Projektinumero	
951-38-5667-4 (nid.) 951-38-5668-2 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )			
Julkaisu-aika	Kieli	Sivuja	Hinta
Toukokuu 2000	suomi, engl. tiiv.	40 s. + liitt. 6 s.	A
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t)	
Rakennusten rakenteiden kosteus- ja sieni/homevaurioiden esiintyminen ja korjaus		Suomen Akatemia	
Avainnimeke ja ISSN		Myynti:	
VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. +358 9 4561  
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and  
report code of publication

VTT Research Notes 2030  
VTT-TIED-2030

Author(s) Rantamäki, Jouko, Kääriäinen, Hannu, Tulla, Kauko, Viitanen, Hannu, Kalliokoski, Pentti, Kesikuru, Timo, Kokotti Helmi & Pasanen, Anna-Liisa			
Title <b>Mildew in buildings and building materials</b>			
Abstract <p>This bulletin includes results from an extensive study that are reckoned to be of significance from the standpoint of practical construction. The purpose of the study was to determine the interaction between moisture in construction materials and microbe growth. Especially the effect of variable moisture on microbe growth has been inadequately understood.</p> <p>Laboratory tests were conducted using preselected microbe combinations to determine the vulnerability of different construction materials to microbe growth. Relative humidity was varied in steps. Volatile metabolic products and microbe growth were observed during the tests. The situation that develops in buildings in conjunction with long-term moisture damage was simulated in a climate room. Part of the time the material samples were in direct contact with water while the relative humidity of the air was kept constant. Later the materials were dried and dampened in air so microbe growth on the samples could be observed in different moisture conditions. Absorption of water into materials initiates microbe growth even though the relative humidity of the surrounding air is lower than the level required to maintain growth. Material samples were taken from damaged places in buildings. The samples were used to determine the extent of damage and the significance of the degree of moisture to the amount of microbes in different construction materials.</p> <p>In buildings with crawl spaces radon was used to determine the percentage of replacement air coming from under the floor. Tests with underpressurization of buildings indicated that this could be used as an aid in estimating mildew damage in a building. Further studies are needed, however.</p> <p>The report compares different methods of estimating microbe growth and explains how the results should be used in planning repairs.</p>			
Keywords buildings, construction materials, fungi, fungus resistance, moisture, microbiology, damages, indoor air, renovation			
Activity unit VTT Building Technology, Construction and Facility Management, Kaitoväylä 1, P.O.Box 18021, FIN-90571 OULU, Finland			
ISBN 951-38-5667-4 (soft back ed.) 951-38-5668-2 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Project number	
Date May 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 40 p. + app. 6 p.	Price A
Name of project Rakennusten rakenteiden kosteus- ja sieni/homevaurioiden esiintyminen ja korjaus		Commissioned by The Academy of Finland	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

## VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES

### VTT RAKENNUSTEKNIikka – VTT BYGGNADSTEKNIK – VTT BUILDING TECHNOLOGY

- 1958 Mustakallio, Panu, Kosonen, Risto, Laitinen, Ari & Shemeikka, Jari. Matalalämpötilainen vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. 1999. 36 s.
- 1959 Myllymäki, Jukka & Baroudi, Djebbar. Prediction of smoke production and heat release by convolution model. NORDTEST Technical report 1297-96. 1999. 29 p.
- 1963 Hemmilä, Kari & Heimonen, Ismo. Eristyslasin täytekaasun ja lasien toimivuus ja toteaminen. 1999. 43 s.
- 1964 Rämö, Johanna & Ylä-Sulkava, Tuula. Sisusteiden paloturvallisuus. 1999. 30 s. + liitt. 2 s.
- 1967 Kärki, Satu & Karjalainen, Sami. Ilmastointijärjestelmän vikadiagnostiikka. Menetelmät ja sovellukset. 1999. 92 s. + liitt. 2 s.
- 1968 Kokko, Erkki, Kosonen, Risto, Hyttinen, Hannu, Hakulinen, Petri & Pyykkö, Antti. Sellukuitueristetty matalaenergiapientalo. 1999. 53 s.
- 1979 Nieminen, Jyri & Kouhia, Ilpo. Hyvin eristetyin loivan katon toimivuus ja vaatimukset. 1999. 38 s. + liitt. 3 s.
- 1981 Hakkarainen, Tuula (ed.) Smoke gas analysis by Fourier transform infrared spectroscopy. The SAFIR project. 1999. 81 p.
- 1988 Lahdenperä, Pertti. Ajatuksia ST-urakasta. Suomalaisen suunnittelu ja toteutus -menettelyn kehittäminen amerikkalaisten oppien pohjalta. 1999. 40 s. + liitt. 2 s.
- 1990 Keski-Rahkonen, Olavi & Björkman, Jouni. Palotilastoja Suomesta ja ulkomailta toiminnallisten palosäädösten perusteiksi. 1999. 56 s.
- 1991 Kokko, Erkki, Ojanen, Tuomo, Salonvaara, Mikael, Hukka, Antti & Viitanen, Hannu. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. 1999. 160 s.
- 1994 Leppänen, Pekka, Pulakka, Sakari, Saari, Mikko & Viitanen, Hannu. Life-cycle-cost optimised wooden multi-storey apartment building. Nordic Wood, Phase 2, Project P-2. Final report. 1999. 73 p.
- 1997 Jokinen, Petri, Lahtinen, Reima & Lehmus, Eila. Teräsrakenteiden suojaus kaariruiskutetulla sinkkipinnoitteella. 1999. 50 s. + liitt. 14 s.
- 2001 Haakana, Maarit & Soitinaho, Ulla. Kiinteistöhoitohenkilöstön motivointi energiansäästöön. Kokemukset koulukohteista. 1999. 43 s. + liitt. 14 s.
- 2002 Andstén, Tauno, Juutilainen, Hemmo, Vaari, Jukka & Weckman, Henry. Test method for actuating and safety devices of portable fire extinguishers. Nordtest Project No. 1435-99. 1999. 40 p. + app. 25 p.
- 2003 Vainio, Terttu, Riihimäki, Markku & Mäkelä, Pekka. Rakennuskustannusindeksi 2000. 1999. 70 s. + liitt. 2 s.
- 2005 Baroudi, Djebbar, Kokkala, Matti & Weckman, Henry. Savuilmaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.1S. 1999. 37 s. + liitt. 1 s.
- 2013 Tillander, Kati & Keski-Rahkonen, Olavi. Palokunnan saatavuuden merkitys rakennuksen paloriski-tarkastelussa. 2000. 213 s. + liitt. 55 s.
- 2025 Riihimäki, Markku & Lehtinen, Erkki. Talopakettien asuinrakentamisessa. Valmisosien yleisyys toimituksissa. 2000. 44 p.
- 2028 Kokkala, Matti. Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu. Toiminnallinen lähestymistapa. 2000. 63 s. + liitt. 15 s.
- 2029 Helenius, Antti. Shear strength of clinched connections in light gauge steel. 2000. 40 p. + app. 13 p.
- 2030 Rantamäki, Jouko, Kääriäinen, Hannu, Tulla, Kauko, Viitanen, Hannu, Kalliokoski, Pentti, Keskikuru, Timo, Kokkoti Helmi & Pasanen, Anna-Liisa. Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet. 2000. 40 s. + liitt. 6 s.