

TAMPEREEN  
TEKNILLINEN  
KORKEAKOULU



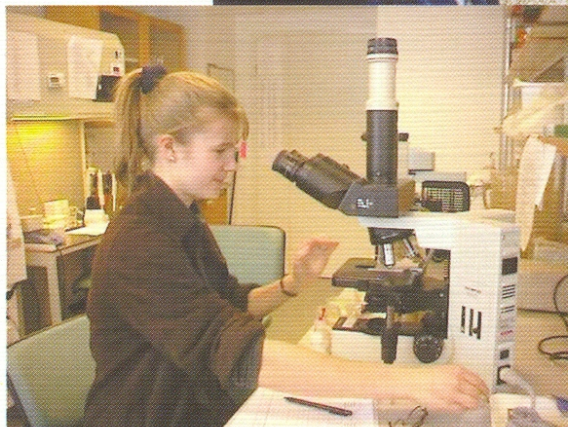
TURUN  
YLIOPISTO

---

JULKAISU **101**  
TALONRAKENNUSTEKNIikka

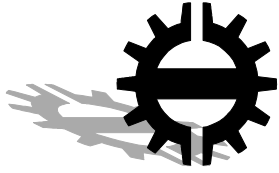
Anna-Mari Pessi – Jommi Suonketo –  
Matti Pentti – Auli Rantio-Lehtimäki

## BETONIELEMENTTIJULKISIVUJEN MIKROBIOLOGINEN TOIMIVUUS



---

Rakennustekniikan osasto  
Tampere 1999



TAMPEREEN  
TEKNILLINEN  
KORKEAKOULU



TURUN  
YLIOPISTO

---

JULKAISU **101**  
TALONRAKENNUSTEKNIikka

**Anna-Mari Pessi, Jommi Suonketo, Matti Pentti,  
Auli Rantio-Lehtimäki**

# **BETONIELEMENTTIJULKISIVUJEN MIKROBIOLOGINEN TOIMIVUUS**

---

TTKK, Rakennustekniikan osasto

Tampere 1999

UDK 691.327  
624.012.3  
692.23

ISBN 952-15-0337-8 (nid.)  
ISBN 978-952-15-2744-9 (PDF)  
ISSN 1237-1483



## ESIPUHE

Julkaisu **Betonielementtjulkisivujen mikrobiologinen toimivuus** on Tampereen teknillisen korkeakoulun (TTKK) ja Turun yliopiston (TY) yhteistyönä toteuttaman samannimisen tutkimusprojektin loppuraportti. Tutkimusprojekti kuuluu TEKESin Terve talo teknologiaohjelmaan .

TTKK:n Rakennustekniikan osaston Talonrakennustekniikan laboratorio on vastannut hankkeen organisoinnista ja tutkimuksen rakennusteknisestä puolesta. TY:n Biologian laitoksen Ekologian osaston Aerobiologian ja sieniekologian yksikkö on vastannut tutkimuksen mikrobiologisesta osasta.

Tutkimuksen vastuullisena johtajana on toiminut Matti Pentti (TTKK) ja tutkimuksen mikrobiologisen osan johdossa on ollut Auli Rantio-Lehtimäki (TY). Julkaisun kirjoittamisesta ovat vastanneet Anna-Mari Pessi (TY) ja Jommi Suonketo (TTKK).

Tutkimusta on ohjannut ja valvonut johtoryhmä, johon ovat kuuluneet: Ilmari Absetz / TEKES , Martti Karimies (pj.) / Rautaruukki Oy, Juha Ryyppö ja Max Tollander / Isover Oy, Kirsti Karppinen / Paroc Oy Ab, Matti Raukola / Parma Betonila ja RTT, Petri Ahonen ja Timo Aalto / Fenestra Oy sekä Risto Ruotsalainen / Allergia- ja astmaliitto.

Tutkimuksen rahoittajina ovat toimineet TEKES, Rautaruukki Oy, Isover Oy, Paroc Oy Ab, Fenestra Oy ja RTT. Tutkimukseen liittyvän terveystutkimuksen rahoitti Yrjö Jahnssoinin säätiö.

Kiitämme Hannu Lumivirtaa, Erkkä Valovirtaa ja Maritta Kilpeläistä sekä kaikkia muita tutkimukseen osallistuneita heidän työpanoksistaan.

Tampereella 10.12.1999

Matti Pentti

Anna-Mari Pessi

Jommi Suonketo

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin suomalaisessa asuntotuotannossa yleisesti käytettyjen betonielementtijulkisivujen mikrobiologista toimivuutta. Elementtien eristetilassa esiintyvää mikrobikasvua, sen syitä ja vaikutusta sisäilman laatuun tarkasteltiin asumisterveyden kannalta.

Kerrostalorakentamisessa on käytetty julkisivurakenteena 1960-luvulta lähtien erittäin yleisesti sandwich-elementtejä. Rakenteen pitkäaikaiskestävyys ei ole vastannut kaikin osin odotuksia ja vanhenevan betonikuoren vauriot ja kosteustekniset puutteet ovat suhteellisen yleisiä. Ulkokuoren kosteustekniset puutteet voivat johtaa eristetilan pitkäaikaiseen kastumiseen, jolloin mikrobikasvu voi olla mahdollista.

Tutkimuksessa käsitellään todellisia rakennuksia Etelä-Suomesta. Laajasta rakennusaineistosta (100 kpl) valittu tutkimusryhmä (26 kpl) oli iältään ja pintaratkaisuiltaan vaihteleva. Lisäksi käytettiin kuntotutkimus- ja julkisivukorjauskohteista sekä tarkemmin tutkituista *Case*-kohteista koostuvaa täydentävää aineistoa (yhteensä 53 rakennusta).

Mikrobikasvustojen esiintymistä eristetilassa tutkittiin ulkokuoren läpi porattujen reikien kautta otetuista eristenäytteistä. Näytteiden mesofiilinen mikrobipitoisuus (sienet, sädesienibakteerit ja muut bakteerit) tutkittiin viljelymenetelmällä. Vain 6,6 % kaikista tutkituista näytteistä (1713 kpl) oli selvästi mikrobivaurioituneita. Tutkimusryhmän taloista 40 % ja tutkituista elementeistä 63 % oli luokiteltavissa mikrobien suhteen puhtaiksi. Elementin eristetilassa osoittautui homesienille ja sädesienibakteereille suhteellisen epäsuotuisaksi kasvupaikaksi.

Tutkimusryhmässä julkisivun kunto luokiteltiin ennen näytteenottoa kunnan ja kosteusteknisen toimivuuden mukaan. Rakennuksen julkisivujen huonon kunnan ja ulkoisen runsaan kosteusrasituksen sekä eristetilan mikrobikasvustojen välillä vallitsi selvä yhteys. Ulkoisten tekijöiden perusteella ei voida kuitenkaan ennustaa mikrobikasvustojen esiintymistä tai määrää, koska selkeät kasvustot ovat harvinaisia.

Sisäilman mikrobiologinen laatu selvitettiin ulkoseinän eristetilaltaan eri asteisesti mikrobivaurioituneista ja vauriottomista asunnoista toistetuilla Andersen-ilmanäytteillä. Valitut asunnot olivat sisäpuolisilta rakenteiltaan kosteusteknisesti hyväkuntoisia. Eristetilassa havaitun mikrobikasvun vaikutusta sisäilmaan suhteessa muihin lähteisiin ja mittaustilanteeseen mallinnettiin yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla.

Voimakas elementin reunaosissa esiintynyt sädesienikasvu vaikutti sisäilman laatuun. Muilla bakteereilla ja sienillä ei havaittu vastaavaa eristeen ja sisäilman yhteyttä. Ulkoilman tausta vaikutti vain sieni-itiöpitoisuuksiin.

Eristetilan mikrobikasvu tulee ottaa huomioon korjaussuunnittelussa, jos julkisivuelementtien lämmöneristeen runsas kastuminen on ollut todennäköistä, eli esimerkiksi silloin, kun julkisivuissa esiintyy poikkeuksellista kosteusrasitusta, riskirakenteita tai asunnoissa havaitaan ulkoseiniin liittyviä kosteusjälkiä. Tuloilman oikealla reitityksellä voidaan vähentää eristetilan mikrobikontaminaation vaikutuksia.

**Avainsanat: Betonielementti, home, kuntotutkimus, mikrobiologia, julkisivu**

## SUMMARY

We studied microbial growth inside precast concrete exterior walls of buildings as a risk factor for indoor air quality. Sandwich facade panels in building frameworks have been in general use in Finland since 1960's. Their long-term durability in northern climate has not fulfilled all the expectations. Various moisture sources may cause favourable conditions for microbial growth in the insulation layer.

Occupied multi-storey buildings in Southern Finland were studied. From a larger set of buildings (100) we chose main set of 26 buildings to represent different ages and surface finishes of concrete. With complementary data (e.g. buildings under repair) we studied a total of 53 buildings.

We took mineral wool samples from the whole depth of the insulation layer through bore-holes in the external panel. We analysed mesophilic bacteria (actinomycetes and other bacteria) and fungal spores with the cultivation method. We found only 6.6 % of all samples (n=1713) to be distinctly contaminated. In the main data set, 40 % of buildings and 63 % of panels were free from actinomycetous or fungal contamination. The insulation layer inside the concrete structure was not found to favour microbial growth.

In the main data set, we appraised the structural and moisture related condition of the exterior walls and each sandwich-panel to be drilled before sampling. Microbial contamination in the insulation and the parameters of condition were compared and clear correspondence was found although it isn't possible to predict the occurrence of microbes by using estimates of condition.

The microbiological quality of indoor air was studied from flats next to contaminated or uncontaminated panels. We double-checked the overall moisture related condition of the chosen flats. Each flat was sampled three times if possible. Sampling was done during period autumn - winter - spring. The microbial contamination in the insulation layer as an indoor source was modelled with other microbe sources as well as weather factors using Generalized Linear Mixed Models.

We found that only high actinomycetous contamination in the edges of insulation layer to had effect on indoor air. We did not find the same effect with other bacterial and fungal counts. Only in fungal counts influence of the outdoor source was found.

The microbial growth in the insulation layer should be taken into consideration if there is exceptional moisture exposure, structures susceptible to the accumulation of moisture or visible moisture stains in interior surfaces that are related to external walls. Improving the fresh air supply is an effective way to reduce the hazards of microbial contamination to the indoor air.

**Keywords:** Precast concrete panel, mould, condition assessment, microbial growth, facades

# SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE .....	I
TIIVISTELMÄ.....	II
SUMMARY .....	III
SISÄLLYSLUETTELO .....	1
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA .....</b>	<b>4</b>
2.1 RAKENNUSTEN KOSTEUSVAURIOT TERVEYSTEKIJÄNÄ .....	4
2.2 JULKISIVUBETONIELEMENTTIEN RAKENNE JA MATERIAALIT .....	5
2.2.1 Rakenne.....	5
2.2.2 Materiaalit.....	6
2.3 MIKROBIKASVUN EDELLYTYKSET JULKISIVUELEMENTEISSÄ .....	9
2.3.1 Mikrobikasvun ympäristövaatimukset.....	9
2.3.2 Betoni kasvualustana.....	10
2.3.3 Eistemateriaalit kasvualustana.....	11
2.3.4 Puu kasvualustana.....	12
2.3.5 Saumausaineet.....	12
2.3.6 Sandwich-elementti ja mikrobikasvu.....	12
2.4 BETONIELEMENTTIJULKISIVUJEN KORJAUS .....	14
2.4.1 Korjauksessa käytetyt menetelmät.....	14
2.4.2 Mikrobikasvu ja julkisivukorjaukset.....	15
<b>3 TUTKIMUSHANKE .....</b>	<b>16</b>
3.1 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYÖDYNTÄMISNÄKÖKOHDAT .....	16
3.2 TUTKIMUSORGANISAATIO.....	17
3.3 AIKATAULU .....	17
<b>4 TUTKIMUKSEN SISÄLTÖ JA TÄRKEIMMÄT MENETELMÄT .....</b>	<b>18</b>
4.1 TUTKIMUSPERIAATE.....	18
4.2 TUTKIMUSAINEISTON VALINTA .....	18
4.2.1 Case –kohteet .....	19
4.2.2 Laaja kohderyhmä.....	20
4.2.3 Perusr ryhmä.....	20
4.2.4 Tutkimusryhmä.....	20
4.2.5 Kuntotutkimus-, korjaus- ja purkukohteet .....	20
4.2.6 Yhteenveto tutkimusaineistosta.....	21
4.3 TEKINEN KYSELY.....	22
4.4 TERVEYSKYSELY .....	23
4.5 ULKOSEINÄN MIKROBIOLOGINEN TUTKIMUS .....	23
4.5.1 Eristenäytteiden ottomenetelmät .....	23
4.5.2 Näytteenoton systematiikka .....	25
4.5.3 Eristenäytteiden analyysimenetelmät .....	26
4.6 RAKENNETEKNINEN TUTKIMUS.....	27
4.6.1 Lähtötietoihin perustuva arviointi.....	27
4.6.2 Ulkopuolinen kuntoluokittelu .....	28
4.6.3 Sisäpuolinen kuntoarvio.....	28
4.6.4 Tarkentava ulkopuolinen kuntoarvio.....	29
4.6.5 Tarkentava sisäpuolinen kuntoarvio .....	29
4.7 SISÄILMAN MIKROBIOLOGINEN TUTKIMUS .....	29
4.7.1 Aineisto.....	29

4.7.2	<i>Ilmanäytteiden otto</i> .....	30
4.7.3	<i>Virhelähteiden huomioonottaminen</i> .....	31
4.7.4	<i>Analyysimenetelmä</i> .....	32
4.8	TILASTOLLISET ANALYYSIT .....	32
4.9	KORJAUSTOIMIEN SEURANTA .....	33
<b>5</b>	<b>TULOKSET</b> .....	<b>34</b>
5.1	ULKOPUOLISEN KUNTOARVION TULOKSET .....	34
5.2	SISÄPUOLISTEN KUNTOARVIoidEN TULOKSET.....	35
5.3	ERISTENÄYTTEIDEN TULOKSET .....	36
5.3.1	<i>Purkukorjauskohteista saatu aineisto</i> .....	39
5.4	ILMANÄYTTEIDEN TULOKSET .....	41
5.5	ILMAVUOTOJEN JA SISÄPUOLISEN TIIVISTYKSEN TEHOKKUUDEN TUTKIMINEN CASE-KOhteESSA .....	42
5.5.1	<i>Taustaa</i> .....	42
5.5.2	<i>Tilanteen kartoitus ja koejärjestelyt</i> .....	42
5.5.3	<i>Tiivistävät korjaukset</i> .....	44
5.5.4	<i>Korjausten jälkeinen alipaineistus</i> .....	44
5.5.5	<i>Tulokset</i> .....	44
<b>6</b>	<b>TUTKIMUSTULOSTEN ANALYYSI</b> .....	<b>51</b>
6.1	MIKROBIKASVUSTON ESIINTYMINEN ERISTETILASSA.....	51
6.1.1	<i>Havaitun mikrobikasvun merkityksen arvioiminen</i> .....	51
6.1.2	<i>Yleisyys</i> .....	52
6.1.3	<i>Elementin eri osat</i> .....	52
6.1.4	<i>Havaitut mikrobiryhmät</i> .....	53
6.2	JULKISIVUN KUNTOLUOKITUS .....	55
6.2.1	<i>Rakennuksen ikä</i> .....	58
6.2.2	<i>Rakennuksen pintamateriaali</i> .....	58
6.2.3	<i>Julkisivun ilmansuunta</i> .....	61
6.2.4	<i>Näytteenottokerros</i> .....	62
6.2.5	<i>Eristemateriaali</i> .....	62
6.3	ERISTETILAN MIKROBIKASVUN VAIKUTUS SISÄILMAAN .....	65
6.3.1	<i>Sädesienibakteerit</i> .....	65
6.3.2	<i>Muut bakteerit</i> .....	69
6.3.3	<i>Sienet</i> .....	70
<b>7</b>	<b>TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>74</b>
7.1	MIKROBIKASVUSTON YLEISYYS RAKENTEESSA.....	74
7.2	ERISTETILASSA ESIINTYVÄN MIKROBIKASVUSTON VAIKUTUS SISÄILMAAN.....	74
7.3	ERISTETILAN MIKROBIKASVUSTON OTTAMINEN HUOMIOON KORJAUSHANKKEESSA.....	75
7.4	ERISTETILAN MIKROBIKASVUSTON HUOMIOIMINEN KUNTOTUTKIMUKSISSA ...	78
7.5	ERISTETILAN MIKROBIKASVUSTON SELVITTÄMISEN KUSTANNUKSET.....	79
7.6	ERISTETILAN MIKROBIKASVUSTON OTTAMINEN HUOMIOON ERI TASOISSA KORJAUKSISSA.....	80
7.7	TUTKIMUKSEN TAVOITTEIDEN TOTEUTUMINEN .....	81
<b>8</b>	<b>LIITELUETTELO</b> .....	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>KIRJALLISUUSVIITTEET</b> .....	<b>84</b>

## 1 JOHDANTO

Rakennusten kosteusvaurioihin liittyvän mikrobialtistuksen terveysriskit on 1990-luvun kuluessa opittu ottamaan huomioon aiempaa suuremmalla varovaisuudella. Vuonna 1997 julkaistussa Sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeessa /1/ terveyshaitaksi tulkitaan tilanne, missä ihminen asuu tai oleskelee asunnossa, jossa voi altistua rakennuksessa olevasta mikrobikasvustosta peräisin oleville soluille tai sen aineenvaihduntatuotteille.

Asuntojen sisäpuolisten homevaurioiden saaman suuren julkisuuden johdosta oli myös alettu epäillä, että betoniulkoseinien sisällä olevassa eristekerroksessa voisi olla merkittäviä mikrobikasvustoja. Vaikka betonirakenne ei ole olosuhteiltaan erityisen suotuisa ympäristö mikrobeille, voivat ulkokuoren vauriot ja kosteustekniset puutteet johtaa eristetilan pitkäaikaiseen kastumiseen. Tällöin mikrobikasvu voi olla mahdollista. Sisäilman mikrobialtistusriskin arvioimisessa on kuitenkin oleellista huomata, että kyseessä on rakenne, josta ei pitäisi olla suoraa yhteyttä asuintilojen sisäilmaan.

Suomalaisen rakentamisen murroksessa 1960-luvulla elementtirakenteiset kerrostalot yleistyivät nopeasti, koska elementtirakentaminen oli nopeaa ja edullista. Betonielementtirakentamisen alkuvuosikymmeninä tehtiin optimistisia oletuksia ja suoranaisia virheitäkin. Materiaalien laatu ja kestävyys ei ollut kaikilta osin odotettua tasoa ja uuden rakenteen käytön myötä tuli esiin myös uusia ongelmia ja vauriotyyppejä. 1960- ja 1970-luvuilla rakennettujen talojen julkisivujen eriasteinen korjaus on jo käynnissä ja korjaustoiminnan arvioidaan kasvavan voimakkaasti lähitulevaisuudessa /2/.

Betonielementtijulkisivujen korjaustarvetta ja varsinaista korjaamista on tähän mennessä lähestytty pääasiassa ulkonäön sekä betonisen ulkokuoren kestävyyskannalta. Julkisivujen korjaustarpeen arvioinnissa ei yleisesti ole otettu huomioon mahdollisia terveysvaikutuksia (esimerkiksi mikrobikasvu ja saumasaineiden PCB-yhdisteet).

Tieto suomalaisen asuntorakentamisen kosteus- ja mikrobivaurioiden yleisyydestä /3, 4/ toi terveysvaikutukset esiin korjausrakentamisessa. Oli odotettavissa, että julkisivuja ryhdyttäisiin korjaamaan homeriskin vuoksi korostetun raskailla menetelmillä. Ylimoitettut julkisivukorjaukset voivat viedä korjaustoimintaan suunnattavia aina rajallisia varoja oleellisemmista korjaustarpeista, mikä ei tietenkään ole asukkaan eikä kansantalouden kannalta järkevää. Asian selvittämiseksi käynnistettiin 'Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus' -tutkimusprojekti, jonka keskeisenä tavoitteena oli selvittää asuinkerrostalojen betonijulkisivujen eristetilan homekasvun yleisyyttä ja yhteyttä julkisivujen rakennustekniseen kuntoon sekä vaikutusta asuntojen sisäilmaan.



## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

### 2.1 Rakennusten kosteusvauriot terveystekijänä

**Kosteusvauriolla** tarkoitetaan rakenteen tai materiaalin liian korkeaa kosteuspitoisuutta. Kriittisen kosteuspitoisuuden määrä on rakenteista ja materiaaleista riippuvainen. Vaikka kosteusvaurioituneen materiaalin tekniset ominaisuudet eivät välttämättä ole havaittavasti huonontuneet, jo sellaista kosteuspitoisuutta, joka todennäköisesti aiheuttaa pidemmällä aikavälillä vaurioitumista rakenteessa tai siihen liittyvissä rakenteissa tai materiaaleissa tulee pitää kosteusvauriona.

Korjaamaton kosteusvaurio saattaa johtaa mikrobikasvuun rakenteissa tai materiaalien pinoilla. Materiaalia voidaan pitää **mikrobivaurioituneena**, jos siinä on aktiivinen tai kuivunut mikrobikasvusto, tai materiaaliin on kulkeutunut rakenteissa olevasta kasvustosta runsaasti mikrobisoluja. Sen sijaan normaalia ulkoilmasta tai asumistoiminnoista peräisin olevaa itiöiden kertymistä materiaaliin ei voida pitää mikrobivauriona. Luonnosta peräisin olevia itiöitä on aina läsnä asuinympäristössämme.

Terveystieteiden tutkimusten nojalla **terveyshaittana** pidetään paitsi elinympäristötekijästä aiheutuvaa sairautta tai sairauden oireita, myös altistumista terveydelle vaaralliselle aineelle siinä määrin, että **sairauden tai sen oireiden syntyminen on mahdollista**. /1/.

Kosteus- ja mikrobivaurioituneessa rakennuksesta oleskelusta johtuvien terveysvaikutusten esiintyminen on hyvin dokumentoitu /mm. 5, 6, 7/, vaikka perimmäiset syyt oireilun takana ovatkin vielä osin selvittämättä. Oireet - limakalvojen ärsytys, tulehdustautien lisääntyminen ja erilaiset yleisoireet, kuten selittämätön kuumeilu - häviävät yleensä, kun altistuminen loppuu, eli oireiden lähde, mikrobikasvusto, on poistettu tai asukas muuttaa pitemmäksi ajaksi pois vaurioituneista tiloista /8/. Osa altistuneista voi kuitenkin saada myös pysyvän sairauden, esimerkiksi astman.

Kosteusvaurioituneessa rakenteessa esiintyvä mikrobikasvusto tuottaa ympäristöönsä biologisia hiukkasia - sieni-itiöitä ja rihmaston palasia, bakteerisoluja, mikrobiperäisiä pienhiukkasia sekä ilmaan haihtuvia kemiallisia yhdisteitä. Osa mikrobeista lähtöisin olevista aineista voi olla myrkyllisiä, esimerkiksi *Stachybotrys chartarum*-homeen tuottamat satratoksiinit ja *Streptomyces griseus* -sädesienibakteerin valinomysiini /9/. Kasvuston kuivuminen ei välttämättä poista terveydellisiä haittavaikutuksia: esimerkiksi kuolleiden sädesieni-itiöiden on nisäkässoluviljelmissä todettu aiheuttavan tulehdusreaktiota /10/. Kostuneista rakennusmateriaaleista haihtuvien kemiallisten yhdisteiden, VOC-aineiden (VOC = *volatile organic compounds*), tiedetään aiheuttavan ärsytysoireita /mm. 11/. Myös mineraalivillaeristeissä havaittua mikrobikasvua on pidetty mahdollisena sisäilman VOC-lähteenä /12, 13/. Joidenkin uusien tutkimusten mukaan mikrobikasvusto ei kuitenkaan sanottavasti lisää kosteusvaurioituneista materiaaleista lähteviä VOC- päästöjä verrattuna pelkästään kostuneisiin materiaaleihin /14/.

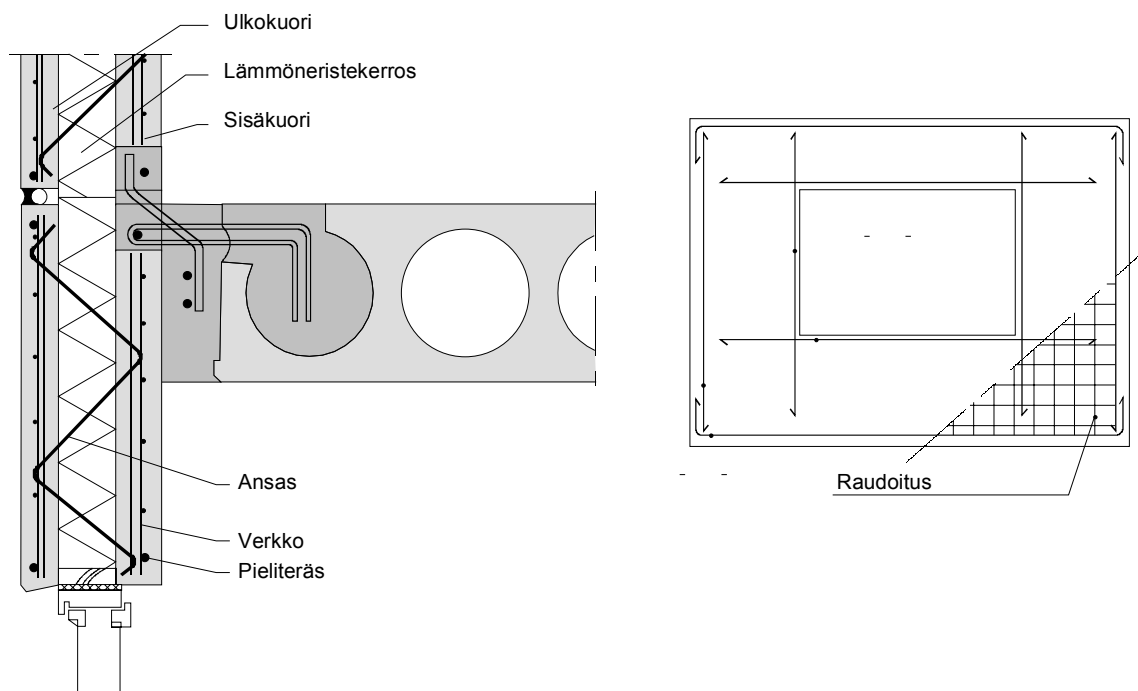
Helposti mitattaville sisäilman sieni-itiö- tai sädesienibakteerimäärille ei ole pystytty määrittämään terveysperusteista annosvastetta, mitattavan pitoisuuden ja oireilun välistä yhteyttä, jolla voitaisiin arvioida mikrobi-altistuksesta aiheutuvan terveysriskin vakavuutta. Rakenteissa oleva mikrobikasvusto tulkitaan aina terveyshaitaksi /1/, mikäli

ihminen oleskelee tilassa, jossa voi altistua rakennuksessa olevasta mikrobikasvustosta peräisin oleville soluille tai aineenvaihduntatuotteille.

## 2.2 Julkisivubetonielementtien rakenne ja materiaalit

### 2.2.1 Rakenne /2/

**Sandwich-rakenteinen julkisivuelementti** yleistyi Suomessa 1960-luvun alussa. Sandwich-elementissä on kahden toisiinsa sidotun betonikuoren välissä lämmöneristekerros. Jo 1960- ja 1970-luvuilla asuinkeuhkalojen julkisivut tehtiin suurelta osaltaan betonisandwich-rakenteisina. Ulkoseinäelementit olivat **nauha- tai ruutuelementtejä**. Nauhaelementti on kerroksen korkeutta matalampi elementti. Päällekkäisten nauhaelementtirivien väleihin asennetaan ns. ikkunanauhat. Ikkunanauhassa ikkunoiden väliset seinäosat ovat usein rankarakenteisia (pelti- tai puuverhottuja), mutta ne voivat olla myös sandwich-elementtirakenteisia. Ruutuelementti on kerroksen korkuinen elementti, jossa ikkuna-aukot ovat valmiina. Puhdas nauhaelementti on asuintaloissa melko harvinainen. 1960-luvullakin ulkonäöltään nauhamaiset julkisivut olivat usein rakenteeltaan ruutuelementtejä.



Kuva 2.1 Sandwich elementti

Julkisivuelementtejä valmistettiin 1960-luvulla **kenttä- eli työmaavalimoissa**. Vaakamuottien rakenteet olivat tällöin maanvaraisia tai tukeutuivat esimerkiksi kellarin maanvaraiseen lattiaan tai holviin. Betonin levitys muottiin tehtiin esimerkiksi pitkän laudan avulla käsityönä. Julkisivuelementtien valmistus siirtyi 1960-luvun aikana työmaavalimoista **elementtitehtaisiin**.

Rakenteen suunnittelijasta ja valmistajasta riippuen julkisivuelementtirakenteiden mitat, rauditus ja kiinnitystavat ovat vaihdelleet, mutta perustyyppit (kuori- ja sandwich-elementit) ovat pysyneet samoina.

Julkisivuelementit valetaan ns. vaakavaluna. Valusuunta riippuu elementin pintamateriaalista: esimerkiksi harjattupintaiset elementit valetaan ulkopinta ylöspäin, kun taas laattapintaisissa elementeissä ulkopinta on valettaessa alaspäin. Valusuunnalla on vaikutusta betonipinnan laatuun, raudoitteiden sijaintiin ja eristepaksuuteen (eristekerroksen kokoonpuristumiseen). **Sandwich-rakenteessa** ulkokuori tukeutuu eristekerroksen läpäisevien ansaiden tai muiden teräsosien (tai muiden metalliosien) välityksellä sisäkuoreen, joka on kiinnitetty runkoon esimerkiksi betonijuotetuilla teräsvaarnaliitoksilla. Rakennuksen pitkän sivun kevyet sandwich-elementit voivat olla suoraan perustuksilta tuettuja, jolloin ne on ainoastaan sidottu rakennuksen runkoon. Kevyet sandwich-elementit on voitu myös ripustaa (kannattaa) poikittaisten väliseinien päistä ns. puukkokiinnityksellä.

Tavallisia sandwich-elementin **ulkokuoren nimellispaksuudet** olivat sileätä tai harjattua betonia käytettäessä elementtirakentamisen alkuaikoina 40-50 mm, ja myöhemmin 50-60 mm. Klinkkerilaattapintaisen ulkokuoren tavallinen paksuus oli 60 mm ja tiililaattakuoreessa taustabetonia on ollut yleensä 50 mm. Vasta 1990-luvulla tehdyissä suosituksissa rakennepaksuutta on kasvatettu nykyiseen 70 mm:iin ja tiililaattapintaisilla ulkokuorilla 85 mm:iin. Käytännössä mm. eristeen kokoonpuristumisen ja työvirheiden vuoksi ulkokuoren paksuus on vaihdellut huomattavasti.

Sandwich-elementtien **sisäkuoren nimellispaksuudet** ovat vaihdelleet riippuen siitä, onko elementti kantava vai ei-kantava rakennusosa. Sisäkuoren paksuus on ei-kantavissa elementeissä ollut 70-100 mm ja kantavissa päätyelementeissä 150 tai 160 mm. Nykyisin käytetään vastaavasti 80 ja 150 mm paksuja sisäkuoria.

Erilaisten rakenteiden, rakennusosien kiinnitysdetaljien, mittojen (kuten terästen halkaisija) ja materiaalien (kuten julkisivuelementtien pinta- tai eristemateriaali) yleisyyttä ja tyypillisyyttä Suomessa eri ajankohtina ei voida arvioida kovin tarkasti, sillä niiden käytössä esiintyy mm. suunnittelijasta, rakentajasta, materiaalin saatavuudesta ja paikkakunnasta riippuvaa vaihtelua ja rinnakkaisuutta. Elementtirakentamista koskevien normien ja ohjeiden julkaiseminen sekä ns. BES-järjestelmän (BES = betonielementtisysteemi) omaksuminen yhtenäistivät suunnittelua ja valmistusta 1960-luvun lopulta lähtien.

## 2.2.2 Materiaalit

Kovettunut **betoni** koostuu sementtikivistä ja runkoaineena käytetyistä pysyvistä mineraaleista sekä erilaisista seos- ja lisäaineista. Elementtivalmistuksessa on käytetty mm. yleisportland-, rapid- ja valkosementtiä, jotka eroavat toisistaan mineraalikoostumukseltaan. Seosaineet ovat sementtiä korvaavia sideaineita, kuten masuunikuonaa, lentotuhkaa ja silikaa, joilla on hydraulisia tai pozzolaanisia ominaisuuksia. Seosaineet ovat yleensä teollisuuden tai voimalaitosten sivutuotteita. Lisäaineilla säädetään betonin ominaisuuksia sekä tuoreessa että kovettuneessa massassa. Julkisivubetonien valmistuksessa käytetään yleisimmin lisähuokostimia, notkistimia ja väripigmentejä.

Betonin todellinen laatu on vaihdellut suuresti mm. tehtaasta (valmistuspaikasta, valmistuksen tarkkuudesta tms.) riippuen. Julkisivubetonin suunnittelulujuutta on nostettu asteittain siten, että 1980-luvulle asti käytettiin yleisesti K25-lujuusluokan betonia ja sen jälkeen pääosin K30-lujuusluokan betonia. Vuodesta 1992 lähtien monet

suunnittelijat alkoivat käyttää lujutta K45 Suomen Betoniyhdistyksen ohjeen /15/ mukaisesti. 1960-luvun alussa käytetyn betonimassan tuli työteknisistä syistä johtuen olla hyvin notkeaa, koska tuolloin mm. elementtejä valmistettiin työmaalla ja käytössä ei ollut riittäviä menetelmiä massan tiivistämiseksi muotissa. Massan notkeus saavutettiin ennen notkistavien lisäaineiden käyttöönottoa yksinomaan vettä lisäämällä, mikä johti betonin korkeaan vesisementtisuhteeseen ja siten heikkolaatuiseen, huokoiseen betoniin.

**Betonin lisähuokostusaineita** on käytetty systemaattisesti vasta vuoden 1976 jälkeen, jolloin Suomen Betoniyhdistys julkaisi betonin säilyvyysohjeet. Lisähuokostusaineita on käytetty jonkin verran jo 1960-luvulla. Betoniyhdistys oli jo 1.3.1966 mennessä hyväksynyt useiden lisähuokostusaineiden käyttöselosteet (luettelo sisältyy Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n julkaisuun Betoninormien selityksiä 1965).

Vielä 1960-luvun puolivälissä katsottiin virheellisesti, ettei **kiihdyttävänä lisäaineena** käytetty kalsiumkloridi ( $\text{CaCl}_2$ ) aiheuta suurta raudotteiden korroosiovaaraa, mikäli pitoisuus ei ylitä 2 % sementin painosta. Lisäksi lisäaineiden annostelu betonimassaan saattoi olla hyvin epätarkkaa. Kalsiumkloridia on käytetty jonkin verran myös betonijulkisivujen ja parvekkeiden valmistuksessa varsinkin kylmänä aikana työmaavalimoissa.

**Betonin seosaineiden** käyttö julkisivuelementtien valmistuksessa on vaihdellut elementtivalmistajasta riippuen. Jotkut elementtivalmistajat eivät ole käyttäneet lainkaan seosaineita julkisivubetonin valmistuksessa.

Sandwich-elementtien **lämmöneristeenä on yleisimmin käytetty mineraalivillaa (kivi- tai lasivillaa)**, jonka paksuus on vaihdellut 70 - 140 mm viranomaismääräysten kulloinkin edellyttämän seinän lämmöneristävyuden mukaan. 1960-luvulla yleisin paksuus oli 80 mm ja 1970-luvun alkupuolella 90 mm. Vuonna 1974 alettiin soveltaa tiukempia lämmöneristävyysvaatimuksia, minkä seurauksena eristepaksuus kasvoi 120 mm:iin. Vuonna 1985 vaatimuksia tiukennettiin edelleen ja tämän seurauksena sandwich-elementtien eristepaksuus kasvoi nykyiseen 140 mm:iin. Kokoonpuristuvuuden vaikutuksia lämmöneristävyyteen ja valmiin rakenteen dimensioihin on pyritty kompensoimaan valmistamalla nimellismittaansa muutaman millin paksumpia eristelevyjä. Lisäksi rakennesuunnitelmissa on otettu usein huomioon eristeen puristuminen määräämällä sekä käytettävän villan paksuus että valmiissa rakenteessa olevan eristeen paksuus.

Sandwich-elementtien lämmöneristeenä on mineraalivillojen lisäksi käytetty vähäisemmässä määrin myös  **muita lämmöneristeitä**. Kevytsorabetonia ja lastuvillalevyä on käytetty 1960-luvulla sandwich-elementtien eristeenä. 1950-60 -lukujen vaihteessa käytettiin eristemateriaalina myös ekspandoitua eli paisutettua korkkilevyä /16/. Muovieristyslevyä (esimerkiksi Styrox) on käytetty lämmöneristeenä maanpinnan alla olevissa rakenteissa (maanpainesinäelementit).

Sandwich-elementeissä käytetyn mineraalivillan puristuslujuudelle asetettiin Rakennushallituksen toivomuksesta minimitaso ensimmäistä kertaa vuonna 1964. Tällöin puristuslujuuden tuli olla vähintään  $2\text{--}2,5 \text{ kN/m}^2$ . Vuonna 1974 puristuslujuusvaatimus kasvoi  $3 \text{ kN/m}^2$ :iin. Pyrkimys puristuslujuuden kasvattamiseen perustui mm. mineraalivillan valmistajien ja betoniteollisuuden tekemien elementtien avauksien yhteydessä tehtyihin havaintoihin: mm. päätyelementtien valmistuksessa

käytetyt täryttimet antoivat aiheita epäilyille mineraalivillojen puristuslujuuden riittämättömyydestä. 1980-luvun alkupuolella puristuslujuuden vaatimus kasvoi edelleen 5 kN/m<sup>2</sup>:iin.

**Sandwich-elementtien ulkokuoren pintamateriaaleista** yleisin on ollut **betoni** /2/, joko maalattuna tai maalaamattomana. Betonipinta voi olla sileä muottipinta, hierretty, harjattu tai muulla tavoin profiloitu, esimerkiksi uritettu. Myös valkobetoni- ja väripintoja on käytetty. Harjattu pinta on ollut hyvin yleinen etenkin elementtirakentamisen alkuvaiheessa 1960-luvulla. Tämän jälkeen 1970-luvulla yleistyi **pesubetonipinnan** käyttö. Pesubetonipinnalla tarkoitetaan muotin pohjalle valettua erillistä pesubetonimassakerrosta (hitaasti kovettuva massa, jonka runkoaineena on halutun värinen ja kokoinen kiviaines), jonka ulkopinnasta sementtiliima on pesty pois muotista irrottamisen jälkeen. Pesubetonin rinnalla käytettiin **tiililaattapintaa**, jota on käytetty yleisesti myös 1980- ja 1990-luvuilla. **Klinkkerilaattapintaisia** nauhajulkisivuja tehtiin melko runsaasti jo 1960-luvulla.

Betonisandwich -rakenteet on pääsääntöisesti tehty ilman tuuletusrakoa tai -uritusta. 1970-luvun alusta lähtien on klinkkerilaattapintaisissa sandwich-elementeissä käytetty pystysuunnassa uritettua mineraalivillaa rakenteeseen joutuneen kosteuden poistamiseksi.

Eristeen alapäässä on pystysuuntaiset urat yhdistävä vaakasuuntainen ura tai elementin valmistuksen yhteydessä tehty viiste, jonka tulisi mahdollistaa ilman kierto elementtien saumoihin asennettujen tuuletusputkien tai -rasioiden kautta. Rakenteen toimivuuden edellytyksenä on ollut huolellinen työnsuoritus elementtiä valmistettaessa. Ulkokuoren sisäpintaa vasten tuleva uritus on saattanut valuvaiheessa täyttyä betonimassalla tai alareunan viiste on voinut jäädä tekemättä. Rakennetta on vasta myöhemmin 1990-luvulla kehitetty mm. suojaamalla eristeen urat valmistuksen yhteydessä kuitukankaalla. Kokemusten mukaan tällaisten elementtien tuulettavuus on kuitenkin usein heikko.

Tuulettuvia rakenneratkaisuja on alettu kehittää vasta viime vuosina teollisuuden Julkisivu 2000- projektin yhteydessä.

Ulkoseinäelementin **ulkokuoren saumojen** tehtävänä on varmistaa julkisivun sadevedenpitävyys, tasata valmistuksessa ja asennuksessa syntyneet mittapoikkeamat sekä mahdollistaa elementtien liikkeet (esimerkiksi lämpöliikkeet). Saumojen leveys suunnitellaan arvioitujen saumassa tapahtuvien liikkeiden mukaan. Saumojen ulkonäöllä (esimerkiksi saumausmassan värillä) ja saumojen sijoittelulla voidaan vaikuttaa rakennuksen ulkonäköön tai saumojen vaikutus ulkonäköön voidaan pyrkiä minimoimaan.

Sandwich-elementtien ulkokuoren saumat ovat lähes yksinomaan suorareunaisia ns. **yksivaihetiivistettyjä elastisia kittisaumoja**, joissa saumausmassakerroksen alla on pohjatäytenauha ja ilmatila. Saumausmassoina on yleisimmin käytetty polysulfidi-, polyuretaani- tai silikonimassoja /17/. Saumojen tiivistämiseen on voitu käyttää myös puristettua kumiprofiilitiivistettä. Alkuvuosina pohjatäytenauhana käytettiin vaahtomuovia, jonka jälkeen siirryttiin solumuovi- ja solukuminauhoihin. Saumarakenteen ja lämmöneristeen välinen ilmatila voi olla tuulettuva vaakasaumaan sijoitettujen tuuletusputkien tai -rasioiden avulla. Ennen 1980-lukua ei tuuletusputkia asennettu kaikkien elementtirakenteisten talojen saumoihin. Putkien asennustiheys on lisäksi saattanut olla harva.

Saumojen ja liitosten yksityiskohtien toimivuudella on vaikutusta mm. elementin eristetilaaan pääsevän veden määrään ja siten myös seinän lämmöneristyskykyyn, maalipintojen ja ikkunoiden karmien yms. puuosien kestävyys, sokkelin ja elementin ulkokuoren kosteus- ja pakkasrasitukseen sekä terästen korroosionopeuteen. Normaalielastisten saumojen kestoiksi on arvioitu 10-15 vuotta /17/.

Betonielementeissä on käytetty **puuta ja puupohjaisia materiaaleja** lähinnä ikkunoiden ja parvekkeenoviekarmien piilissä. Aukkojen kohdille asennettiin yleensä koko eristekerroksen paksuinen painekyllästetystä puusta tehty apukarmi, johon varsinainen ikkunakarmi kiinnitetään. Apukarmiin on voitu tehdä vedenpoistoreikiä rakenteen ulkoreunaan. Yhtenäisen apukarmin tilalla on joskus käytetty puupalikoita karmien kiinnitysruuviin kohdilla. Ikkunakiinnityksissä on myös voitu käyttää ns. valukarmia, jolloin ikkunakarmi on ollut muotissa jo valuvaiheessa. Nauhaelementtijulkisivuissa ikkunoiden välinen osuus on yleensä tehty kokonaan puurunkoisena rankarakenteena.

## 2.3 Mikrobikasvun edellytykset julkisivuelementeissä

### 2.3.1 Mikrobikasvun ympäristövaatimukset

Rakennusympäristössä kasvavat mikrobit, mm. home- ja hiivasienet (mikrosienet), sinistäjä- ja lahottajasienet sekä bakteerit, mm. sädesienet eli aktinomykeettibakteerit toimivat luonnossa eloperäisen eli orgaanisen materiaalin hajottajina. Kuten luonnossa, myös rakennusympäristössä eri mikrobiryhmät hajottavat eri tyyppisiä hiilyyhdisteitä. Mikrobikasvun ravinnevaatimukset ovat useimmiten vähäiset ja ravinnoksi riittää hyvin pieni määrä orgaanista ainetta - pelkän huonepölyn on todettu riittävän energialähteeksi niin homeille kuin sädesienibakteereillekin /18/. Hajotettava aines voi olla paitsi rakennusmateriaali tai sen ainesosa, myös kasvustossa aiemmin esiintyneiden mikroorganismien hajoamistuotteet. Rakennuslahottajasienten ravintona on lähinnä puun sisältämä selluloosa, hemiselluloosa tai ligniini /19/.

Rakennusympäristössä tärkein mikrobien kasvua edistävä tekijä on kosteus. Muut kasvuun vaikuttavat tekijät ovat lämpötila, pH, epäorgaanisten ravinteiden saatavuus, mm. happi-, CO<sub>2</sub>-, typpi-, fosfori-, rikki- ja metalli-ionien pitoisuus. Ympäristötekijät vaikuttavat toisiinsa: esimerkiksi vähäenergisissä, huonosti biohajoavissa rakennusmateriaaleissa mikrobien kosteusvaatimus on korkeampi kuin runsasenergisissä materiaaleissa /20/.

Mikrobikasvu, eritoten homekasvu, on mahdollista, kun materiaalin kosteuspitoisuus ylittää 75 - 80 % ilman suhteellista kosteutta vastaavan tason /20, 21/. Sädesienien kosteusvaatimukseksi rakennusympäristössä on esitetty 90 - 95 % /22/. Kasvun kannalta oleellista on nimenomaan kasvualueen kosteuspitoisuus. Ilman suhteellinen kosteus (RH) vaikuttaa vain epäsuorasti materiaalin kostumiseen ja kuivumiseen. Materiaalin hygroskooppisuus, kyky sitoa vettä itseensä, vaikuttaa mikrobien saatavilla olevaan vesimäärään. Hygroskooppiset ominaisuudet voivat muuttua materiaalin ikääntyessä tai vaihdella käyttökohteesta riippuen.

Homeiden kasvun minimilämpötila vaihtelee välillä -7...+5 °C sienilajista, kasvualueesta ja kosteudesta riippuen /23/. Kasvualueen happamuusasteella on tärkeä merkitys ravinteiden saatavuuteen, liukenemiseen ja entsyymireaktioihin. Näillä on paljon suurempi merkitys kasvulle kuin alueen happamuudella sinänsä /19/. Yleisesti



sienet kasvavat parhaimmin neutraalissa tai lievästi happamassa ympäristössä, välillä pH 5-7. Monet sienet voivat kuitenkin kasvaa hyvin laajalla pH-alueella. pH-optimi vaihtelee sienilajista ja jopa kannasta toiseen. Esimerkkinä emäksisessä ympäristössä viihtyvistä sienistä ovat monet *Chrysosporium*-lajit. Sädesienibakteerit viihtyvät yleensä pH-alueella 5-9 optimin ollessa pH 7.

Paitsi kasvuun, ympäristöolot vaikuttavat myös mikrobien aineenvaihduntaan ja itiöiden tuotantoon, millä voi olla vaikutusta rakennuksessa esiintyvistä mikrobikasvustosta seuraaviin terveysvaikutuksiin. Tämä voi liittyä mikrobien väliseen kilpailuun. Mikrobien, sekä sienien että sädesienibakteerien, kyky tuottaa muiden mikrobien kasvua estäviä aineita riippuu käytetystä kasvualustasta, erityisesti typpilähteestä /24/. Kasvualustan pH:lla on todettu olevan keskeinen merkitys sädesienibakteerien kykyyn aiheuttaa mm. tulehdusreaktioita nisäkkäiden soluviljelmillä tehdyissä kokeissa /25/. Itiöinnin tuoton alkamista stimuloi mm. pula typpiyhdisteistä yhdessä hiililähteen saatavuuteen. Sekä kasvu- että itiöintivaatimukset ovat lajikohtaisia ja vaihtelevat suuresti /19/. Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa lähinnä itiöiden irtoamiseen kasvustosta: ns. joidenkin sienien itiöt irtoavat paremmin kuivempaan ilmaan, toisilla korkeampi ilman kosteus toimii leviämismekanismiin apuna /26/.

Sandwich -ulkoseinäelementissä käytetyt, mahdollisina kasvualustoina toimivat rakennusmateriaalit ovat ulko- ja sisäkuoren betoni, elementtien välinen eristemateriaali, ikkuna- ja ovikarmeihin liittyvät puurakenteet sekä saumaaineet.

### 2.3.2 Betoni kasvualustana

Betonin turmeltumisilmiöistä ovat raportoineet kattavasti mm. Pentti ja muut /17/. Tässä keskitytään betonin kykyyn toimia mikrobien kasvualustana.

Sieni- ja sädesienikasvun kannalta betoni ei ole suotuisa. Materiaalissa ei itsessään ole orgaanista hiililähdettä, jolloin energian saatavuus perustuu epäpuhtauksiin, mahdollisesti betonissa esiintyvän muun mikrobilajiston hyväksikäyttöön ja betonin pintaan kertyneeseen orgaaniseen materiaaliin. Betonissa tapahtuvaa bakteerien, levien ja sienien aiheuttamaa korroosiota voi tapahtua voimakkaasti kosteudelle alttiina olevissa rakenteissa, joissa on saatavilla sulfideja tai typpiyhdisteitä (ammoniakki, typpihapoke), kuten viemäriputkistoissa /27/.

Tuore betonimassa on erittäin emäksinen (pH 12-14). Betonin pintaosa reagoi ilman sisältämän hiilidioksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ). Karbonatisoitumisen jälkeenkin betonipinta on emäksinen (pH n. 8-9) /28/.

Betonin emäksisyys hidastaa tai suorastaan estää mikrobikasvua, erityisesti sienikasvua. Joidenkin sienilajien on havaittu muodostavan kalsiumoksalattia vapaasta kalkista, kipsistä tai kalsiumkarbonaatista /29, 30/. Tällä sienet säätelevät pH-ympäristöään estäen vapaiden metallien toksisuuden tai voivat näin hyödyntää kasvualustan rikkiyhdisteitä /19/.

Näin ollen, vaikka elementtien vesipitoisuus nousee monissa tilanteissa tyypillisen rakennusmateriaalissa tapahtuvan mikrobikasvuoptimin yli, ovat elementin sisäpinnalla esiintyvät muut ympäristötekijät, erityisesti pH ja ravinnon heikko saatavuus, kasvua rajoittavia tekijöitä.

### 2.3.3 Eristemateriaalit kasvualustana

Sandwich-elementtien eristemateriaalina käytetään Suomessa yleisimmin mineraalivilloja eli kivi-, lasi- ja kuonavilloja. 1950 ja -60 -lukujen vaihteessa käytettiin eristemateriaalina myös biologisesti ravintorikkaampia korkkilevyä ja lastuvillalevyä /16/. Orgaanista, mutta boorisuojattua selluvillaa ei tietojemme mukaan ole käytetty Suomessa betonielementtitaloissa. Tässä käsitellään tyypillisimpiä lämmöneristeitä, lasi- ja kivivillaa.

Mineraalivillojen vesihöyryn läpäisevyys on hyvin suuri,  $85 - 125 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$ . Näin ollen vesihöyryn osapaine-erot pääsevät tasoittumaan lähes esteettä eristekerroksen läpi. Mineraalivillojen hygroskooppinen tasapainokosteus on matala, alle 0,05 tilavuusprosenttia, jolloin ilmankosteudesta materiaaliin sitoutuva vesimäärä on vähäinen. Kosteus voi liikkua eristekerroksessa lähinnä vesihöyryn diffuusion avulla ja veden painovoimaisena kulkeutumisena. Kun ulkoilma ja ulkokuori kylmenevät riittävästi, elementtiin kertynyt vesi voi tiivistyä ulkokuoren sisäpinnalla. Painovoimaisesti liikkuva kosteus (esimerkiksi vuotavista saumoista, liitoksista tai räystäistä eristetilaan pääsevä sadevesi) voi kulkeutua myös sivusuunnassa eristeissä käytetyn kuitujen rypytyksen vuoksi. Tällaiset vuotokohtat voivat lisätä eristeen vesipitoisuutta ainakin paikallisesti. Eristetilaan kertyvä vesi laskeutuu elementtikuoren sisällä ja kertyy seinän aukkojen päällisiin, seinien alaosiin ja sokkeliin, jolloin vesipitoisuus voi olla hetkellisesti hyvinkin korkea. Tyypillisessä elementtikerrostalossa sokkeliosa ei yleensä ole asutokäytössä vaan esim. yhteistiloina.

Mineraalivillojen peruskomponentit, **lasi- ja kiviuidut**, eivät epäorgaanisina toimi mikrobien hiililähteenä. Orgaanisia happoja tuottavat sienet voivat jossain määrin käyttää kuituaineita epäorgaanisten ravinteiden lähteenä. Oksaalihappoa erittävien lahottajasiementen on laboratoriokokeissa todettu käyttävän kivivillan kuituja epäorgaanisten ravinteiden lähteenä muuten suotuisissa olosuhteissa. Tässä kokeessa homeiden ei todettu muuttavan eristeiden rakennetta /31/.

Mineraalivillaeristeessä käytetään kuitujen sitomiseen **sideainetta**, jona Suomessa on käytetty lähinnä fenoli-formaldehydihartsia. Hartsin osuus on tuotteesta riippuen vaihdellut kivivillaeristeissä 0,5 - 5 % ja lasivillaeristeissä 0,5 - 8 % hehkutushäviönä mitattuna. Suomessa vuosina 1960 -1990 betonielementtirakentamisessa käytetyn kivivillaeristeen orgaanisen aineksen osuus on vaihdellut välillä 1,9-2,5 paino-% Sideaine antaa tuotteelle sille määrätty ominaisuudet, kuten esimerkiksi kimmoisuus- ja lujuusominaisuudet. **Lisäaineita** käytetään parantamaan tuotteen mekaanisia ominaisuuksia, käsiteltävyyttä ja kosteudenhylkivyyttä. Tyypillinen lisäaine on mineraaliöljy, jota lisätään Suomessa tuotetussa mineraalivillassa noin 0,2 % /32/.

Orgaaniset side- ja lisäaineet voivat toimia mikrobien energianlähteenä. Laboratoriokokeissa on havaittu, että aminohartseista erityisesti ureapohjaisia mikrobit voivat käyttää hiililähteenään. Samassa tutkimuksessa havaittiin hartsien formaldehydiosan heikentävän selvästi sienikasvua, kun sitä oli kasvualustassa eristemateriaaleissa käytettävänä pitoisuuksina /33/.

Valmistusprosessin jälkeen huono ravintotilanne voi kuitenkin kohentua: eristeiden varastoinnin, elementtien valmistuksen, kuljetuksen, varastoinnin ja asentamisen aikana eristeeseen voi kertyä pölyä, mm. siitepölyä ja itiöitä, sekä sadevettä. Asennusvaiheen jälkeenkin huonokuntoisen elementin sisälle voi kertyä epäpuhtauksia ilman ja

sadeveden mukana. Lisäksi hygroskooppiset ominaisuudet muuttuvat eristeen likaantuessa /34, 35/.

Lasi- ja kivivillan on osoitettu toimivan homeiden, sädesienibakteerien ja muiden bakteerien kasvualustana kun vesipitoisuus on riittävä /13, 31, 36, 37, 38, 39/. Kasvua on kuitenkin tutkittu lähinnä ilmanvaihtokanaviston eristeissä, joihin kosteuden tiivistyessä voi syntyä mikrobeille suotuisat olosuhteet /34/. Tyypillisiä ilmanvaihtokanaviston eristeissä kasvavia sieniä ovat *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum* ja *Acremonium*-lajit /13, 34/.

### 2.3.4 Puu kasvualustana

Jatkuvassa kosteusrasituksessa tai hitaasti kuivuvassa rakenteessa oleva puu on erittäin altis mikrobitoiminnalle. Sandwich-elementeissä käytetty puumateriaali on normaalisti painekyllästettyä puutavaraa, joka on siis kemiallisesti suojattu mikrobitoimintaa vastaan. Mikäli rakenteeseen on käytetty käsittelemätöntä puuta, mikrobikasvu on mahdollista.

### 2.3.5 Saumausaineet

Elementtien ulkokuorien väliset saumat on Suomessa tehty lähes yksinomaan elastisilla saumausmassoilla. Nykyisessä tuotannossa saumausmassana on pääosin käytetty polyuretaanipohjaisia massoja mutta vanhemmassa rakennuskannassa voi olla yhä alkuperäisenä rakenteena esimerkiksi polysulfidipohjaisia massoja. Saumauksissa esiintyvä mikrobikasvu ei aiheuta saumojen fyysistä vahingoittumista elementtijulkisivuissa vaan lähinnä esteettisiä haittoja /40/. Saumausmassojen orgaaniset sideaineet, pehmentimet, liuottimet yms. ja pinnalle tarttuva lika voivat toimia mikrobien ravintona. Rakennuksissa käytettyjen saumausmassojen ainesosia on vaikea jäljittää, koska niitä ei yleensä ole eritelty tuoteselostuksissa.

### 2.3.6 Sandwich-elementti ja mikrobikasvu

Sandwich-elementin eri osien kosteuspitoisuudet vaihtelevat sääolojen, rakennustyyppin ja vuodenajan mukaan. Hyväkuntoisenkin elementin eristetilassa (varsinkin sen ulkososassa) kosteus on pitkiä aikoja vuodesta korkeampi kuin mikrobikasvun edellytyksenä yleisesti pidetty 70 % suhteellinen kosteus. Lämpötila elementissä eristemateriaalin sisäpinnalla nousee selkeästi korkeammaksi kuin mikrobikasvun minimivaatimus. Eristetilan ulkoreunalla ja betonikuoressa lämpötilat ovat Suomen ilmastossa pitkiä aikoja aktiiviselle kasvulle liian kylmiä. Elementtien eristetilassa lämpötilan ei kuitenkaan pitäisi rajoittaa oleellisesti mikrobikasvua.

Kosteudelle alttiina olevalle kalkkipitoiselle kiviainekselle tyypillistä tummumista on havaittavissa usein betoniseinien ulkopinnoilla, erityisesti räystäättömissä rakennuksissa. Kiviaineksen värinmuutoksen syynä on useimmiten levien, bakteerien sekä sienten muodostama yhteisö. Tumma väri on peräisin mikrobikasvuston lisäksi leväpigmenteistä (mm. lehtivihreä) ja niiden hajoamistuotteista. Seinän ulkopinnoilla esiintyvä mikrobikasvu on lähinnä esteettinen haitta. Patsaiden pinnoilla tummuneilla alueilla havaittuja sieniä ovat *Alternaria*, *Ulocladium*, *Cladosporium*, *Phoma*, *Aureobasidium pullulans* ja *Exophiala jeanselmei* /30/. Betonin kosteuspitoisuus voi sandwich-elementeissä olla ajoittain riittävä betonia syövyttävälle bakteerille /27/, mutta asuinrakennuksissa ei esiinny runsaasti niiden vaatimia ravinteita, sulfideja tai

typpiyhdisteitä. Tässä tutkimuksessa on keskitytty nk. **mesofiilisen** ("keski"lämpötilassa ja kosteassa viihtyvän) **sädesienibakteeri- ja sienikasvun esiintymiseen eristemateriaalissa.**

Käytännössä valtaosa rakennuskannassa olevista betonielementeistä on tuulettumattomia. Tuulettumattomassa rakenteessa elementin kuivuminen esim. viistosateiden jälkeen tapahtuu pääosin elementtikeruon läpi. Ulkoseinän betonikeruon tai saumojen vauriot voivat johtaa elementtien eristetilan pitkäaikaiseen kastumiseen. Märällä eristeellä on ajoittain jopa lämpötaloudellista vaikutusta vanhoissa kerrostaloissa.

Tuulettumattoman elementin eristetilassa ilmankierto on vähäistä. Tämä vähentää ulkoilmasta eristetilaan kulkeutuvien itiöiden määrää verrattuna moniin muihin ulkoseinätyyppeihin. Koska rakenteen läpi tapahtuu kuitenkin ilmavirtauksia, voi elementin sisälle ainakin paikallisesti kertyä ilman epäpuhtauksia.

Betonielementin kuorien sisäpintojen kautta etenevä betonin karbonatisoituminen kuluttaa hiilidioksidia /28/, mikä voi vaikuttaa hiilidioksiditasapitoisuuteen elementin sisällä eristetilassa, etenkin heikosti tuulettuvissa rakenteissa. Tästä syystä eristetilassa on hiilidioksidivajausta ulkoilmaan verrattuna.

#### **Aiemmat tiedot betonielementtien mikrobikasvusta**

Betonielementtien mikrobikasvua on tutkittu erittäin vähän. Kaufhold ja muut /41/ havaitsivat **sandwich-elementtitalojen sisäseinillä** esiintyvän homekasvun olevan yhteydessä elementin halkeamiin. Esimerkiksi kylpyhuoneesta lähtöisin oleva kosteus tiivistyi sisäkuoren halkeamakohtiin, joissa lämpötila oli matalampi. Tällainen **asuntojen sisäpuolella esiintyvä kasvu on selkeästi terveyshaitaksi luokiteltava tilanne, joka tulee ottaa huomioon korjaussuunnittelussa.**

Elementtijulkisivujen kuntotutkimusten yhteydessä eristetilasta otetuissa näytteissä oli havaittu mikrobikontaminaatiota mm. Turun yliopiston Aerobiologian yksikön laboratoriossa tehdyissä analyyseissä. Kuntotutkimuksissa näytteitä ei yleensä ole otettu systemaattisesti eikä näytteiden edustavuudesta tai näytteenoton epävarmuustekijöistä ole ollut tarkempaa tietoa. Elementtijulkisivujen ulkokeruon purkutöiden yhteydessä oli usein raportoitu silmämääräisiä havaintoja mikrobikasvustoista. Ulkokeruon purun yhteydessä tehdyt arviot ovat perustuneet lähinnä visuaalisiin havaintoihin eristeiden värimuutoksista, eivätkä siten ole luotettavia, etenkin asiaan perehtymättömien henkilöiden tekeminä. Eristeen pintaan kertynyt pöly saattaa näyttää mikrobikasvustolta, mutta usein viljelyssä ei kuitenkaan ole ilmennyt aktiivista mikrobikasvua /42/.

Laajemmin **elementtien sisäistä homekasvua** selvitettiin ennen tätä tutkimusta Turun yliopiston Aerobiologian yksikön ja RHL Oy/Terveellisen Asumisen Edistämisyhdistys ry:n yhteistyönä /43/. Kuudesta 1970-luvulla rakennetun kerrostalon julkisivusta otettiin eristenäytteitä (5-12 kpl/rakennus) betonikeruon kuntoa selvittävän näyteporauksen yhteydessä. Näytteet viljeltiin levittämällä timanttitoratusta reiästä otettua eristettä suoraan mallasuute- ja tryptoni-hiivauute-agar-alustoille (MEA ja THG). Tulokset arvioitiin suhteellisella asteikolla: ei kasvua, kasvua, selkeää kasvua ja voimakasta kasvua. Eristenäytteissä esiintyivät seuraavat sieniryhmät (yleisyysjärjestyksessä): *Cladosporium*, *Phoma*, *Penicillium*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Aureobasidium*,

*Acremonium*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus spp.*, *Fusarium*, basidiomykeetit ja *Alternaria*. Kahdessakymmenessä 46:sta näytteestä esiintyi mesofiilisiä sädesienibakteereja ja/tai sienilajistoa (*Acremonium*, *Aspergillus versicolor*, *Fusarium*, *Rhodotorula*, *Phialophora*, *Trichoderma*), joita pidetään rakenteissa esiintyvään kosteusvaurioon viittaavina /22/. Sädesienien esiintymisen osuudet kustakin talosta otetuista näytteistä vaihtelivat 11 - 25 %. Havaitussa lajistossa esiintyi suhteellisen runsaasti näytteenottoajankohtana (elo-syyskuu) ulkoilmalle tyypillistä lajistoa (*Cladosporium*, *Alternaria*, basidiomykeetit), joiden epäiltiin olevan ulkoilmasta eristeeseen kertyneitä tai näytteenoton yhteydessä mukaan tulleita kontaminantteja. Näytteistä vain neljännes voitiin luokitella puhtaiksi. Esitutkimusluonteisen selvityksen näytemäärät eivät olleet tilastolliseen tarkasteluun riittäviä eikä rakennuksia ollut valittukaan tilastollista tarkastelua silmällä pitäen.

## 2.4 Betonielementtijulkisivujen korjaus

Betonijulkisivujen korjaustarvetta aiheuttavat useat vauriomekanismit, joista merkittävimmät ovat pakkasrapautuminen ja raudoitteiden korroosio. 1960- ja 1970-lukujen julkisivujen eri asteinen korjaus on jo käynnissä ja sen voidaan arvioida laajenevan voimakkaasti lähitulevaisuudessa. Korjaustarpeen tutkimisessa ja korjaussuunnittelussa lähtökohtina ovat em. vauriomekanismit; rakenteen kosteusongelmien ja toteutettavien korjausten terveysvaikutuksia ei kuitenkaan ole pystytty arvioimaan.

### 2.4.1 Korjauksessa käytetyt menetelmät

Julkisivuja voidaan korjata eri menetelmillä /44/. Pahoin vaurioitunut ulkokuori voidaan myös tarvittaessa purkaa ja uusia tai korvata muun tyyppisellä rakenteella. Käyttäen kriteerinä **korjausmenetelmän vaikutusta eristetilan kosteusteknisiin olosuhteisiin** eri tasoiset menetelmät on jaoteltu tässä tutkimuksessa 1) paikkaus- ja pinnoituskorjauksiin, 2) verhoukorkorjauksiin ja 3) purkukorjauksiin.

#### Paikkaus- ja pinnoituskorjaus

Paikkaus- ja pinnoitustyyppisiä säilyttäviä korjauksia voidaan käyttää silloin, kun vauriot ovat riittävän suppeita ja hitaasti laajenevia. Korjaukset sisältävät lähes aina saumojen uusimisen. Korjausmenetelmä ei vaikuta eristekerroksen lämpöolosuhteisiin, mutta vähentää elementtiin kohdistuvaa kosteusrasitusta.

#### Verhoukorkorjaus

Ulkopuolista lisälämmöneristystä ja verhousta käytetään yleensä laajasti vaurioituneen rakenteen korjaukseen, tai mikäli rakenteen ulkonäköä tai lämmöneristävyyttä halutaan parantaa. Tällöin vanha rakenne saadaan kuivempaan tilaan ja vaurioiden kehitys hidastuu merkittävästi. Normaalisti vanhan ulkokuoren saumat avataan rakenteen tuulettumisen tehostamiseksi. Erilaisia lämpörappausmenetelmiä lukuun ottamatta lähes kaikki käytetyt verhoukorkorjausmenetelmät ovat ns. tuulettuvia rakenteita, jolloin ne estävät tehokkaasti normaalin ulkopuolisen kosteusrasituksen vaikutuksen vanhaan rakenteeseen /45/.

## **Purkukorjaus**

Ulkokuoren ja lämmöneristeiden purkua ja uusimista käytetään vakavimmin vaurioituneissa julkisivuissa. Purkutyö nostaa aina kustannukset korkeiksi. Lisäksi työnaikaiset haitat asukkaille ja ympäristölle ovat suuremmat kuin kevyemmissä korjausmenetelmissä. Sandwich-elementin ulkokuoren purkaminen on ollut teknisesti vaikeasti toteutettavissa kuorien välissä olevien ansasterästen vuoksi, mutta viime vuosina on kehitetty uusia tehokkaampia purkutapoja, kuten esimerkiksi nostotyynymenetelmä /46/. Purkukorjauksessa uusitaan yleensä myös koko vanha lämmöneristyskerros ja ulkopuolinen rakenne tehdään yleensä tuulettuvaksi, jolloin rakenteen sisällä mahdollisesti olevat mikrobivaurioituneet materiaalit poistetaan ja julkisivun kosteustekninen toiminta paranee.

### **2.4.2 Mikrobikasvu ja julkisivukorjaukset**

Pinta- ja verhoukorkorjauksissa vanha eristemateriaali jää rakenteen sisälle. Rakennuksen sisäpuolisissa mikrobivaurioissa saastuneen rakenneosan jättämistä korjatun rakenteen sisään pidetään riskinä, koska myös kuivuneesta kasvustosta voi aiheutua altistusta sisäilmaan /1/. Toisaalta mikrobitoiminnan vuoksi muuntunutta materiaalia pidetään riskialttiina uuden kosteusvaurion sattuessa, koska se sisältää suuria määriä pitkäaikaistakin kuivuutta sietäviä, itämiskykyisiä itiöitä ja materiaalin hygroskooppisuus lisääntyy mikrobikasvustojen vuoksi /47/.

Ulkoseinäelementeissä havaittavan mikrobikasvuston merkitystä sisäilman laadulle ei voida arvioida samalla tavalla kuin rakennuksen sisäpuolisissa vaurioissa. Eristetilassa esiintyvän mikrobikasvun vaikutus sisäilmaan riippuu eristetilan ja asuntoilman välisestä yhteydestä. Tässä tutkimuksessa arvioidaan asukkaiden mikrobialtistuksen todennäköisyyttä tilanteessa, jossa eriste on mikrobivaurioitunut.

Jo syntyneitä mikrobikasvustoja ei voida poistaa pintakorjauksissa, mutta vaurioiden eteneminen hidastuu. Kosteusteknisesti oikein suoritettussa verhoukorkorjauksessa kosteuden kertyminen eristeeseen loppuu ja vuodenaikarytmiin liittyvä kuivuminen tapahtuu vähitellen elementin läpi. Verhoukorkorjauksissa vanhan seinäpinnan päälle lisätty eriste muuttaa kosteuden tiivistymispistettä seinärakenteessa ja vanhan eristeiden kuivuminen nopeutuu.

Ulkoseinän julkisivuelementtien kosteusvauriot ovat ajoittain niin vakavia, että myös sisäpuoliset rakenteet kastuvat ja seinän tasoitteet tai sisustusmateriaalit saattavat homehtua. Tällöin ulkoseinän kastumisesta on selkeä haitta sisäilmalle. Julkisivun korjaaminen kosteusteknisesti toimivaksi tulisi edeltää asuntojen sisäpuolisten vaurioiden korjaamista.

1960 – 1980 -lukujen kerrostaloille tyypillisessä ilmanvaihtojärjestelmässä, jossa varsinaisia korvausilmanreittejä ei ole, syntyy alipaine. Alipaine johtaa helposti ilman sisäänottoon rakenteiden läpi. Elementtitaloissa on lukuisia rakenteellisia yksityiskohtia (ikkunoiden ja ovien asennusraot, elementtien saumat ja muut rajapinnat), joista ilmaa pääsee hallitsemattomasti sisätiloihin. Kun korvausilma kulkeutuu asuntoon homeisten ulkoseinäelementtien läpi, voi asunnossa olla riski homealtistukselle. Kiinnittämällä huomiota korvausilmareititykseen julkisivukorjausten yhteydessä voitaisiin ongelmaan liittyviä riskejä vähentää.



### 3 TUTKIMUSHANKE

#### 3.1 Tutkimuksen tarkoitus ja hyödyntämisenäkökohdat

Tutkimuksen keskeisenä tavoitteena oli selvittää asuinkerrostalojen betonijulkisivujen eristetilän homekasvun yleisyyttä ja yhteyttä julkisivujen rakennustekniseen kuntoon sekä vaikutusta asuntojen sisäilmaan.

##### **Tutkimuksen tavoite jaettiin seuraaviin selvitettäviin kysymyksiin:**

- I Mikä on homekasvustojen yleisyys kosteusrasitukseltaan ja vaurioasteeltaan erilaisissa betonielementti -ulkoseinärakenteissa?
- II Onko betonielementin eristetilassa olevalla homekasvustolla vaikutusta sisäilman mikrobiologiseen laatuun?
- III Onko eristetilassa mahdollisesti olevat mikrobikasvustot otettava huomioon julkisivujen kuntotutkimuksessa ?
- IV Miten elementtien sisällä olevien eristeiden mikrobikasvustoja pitäisi tutkia ?
- V Milloin mikrobikasvustojen haitta-aste vaatii asian huomioonottamista korjauksessa?
- VI Miten erilaiset korjausvaihtoehdot vaikuttavat rakenteen mikrobikasvustoihin sekä sisäilman mikrobipitoisuuksiin?
- VII Vaikuttaako ulkoseinärakenteiden homekasvusto asukkaiden terveyteen?
- VIII Tulisiko betonijulkisivujen rakennetta tai käytettyjen materiaalien ominaisuuksia kehittää rakenteen kosteusteknisen toimivuuden parantamiseksi sekä uudis- että korjausrakentamisessa?

##### **Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää käytännössä:**

- I Betonijulkisivujen kuntotutkimuksien suunnittelussa ja toteutuksessa
- II Julkisivukorjaushankkeen suunnittelussa
- III Korjausmenetelmien valinnassa

**Kansantaloudellisella tasolla** tutkimustuloksia voidaan käyttää hyväksi, jos lisääntyneen tiedon avulla korjaukset voidaan tehdä paremmin kaikki haittatekijät huomioon ottaen ja toisaalta niiden avulla voidaan välttää rakenteellisesti ja taloudellisesti tarpeettoman raskaita julkisivukorjauksia, jotka voivat viedä korjaustoimintaan suunnattavia aina rajallisia varoja oleellisemmista kohteista.

### **3.2 Tutkimusorganisaatio**

Tutkimuksen keskeiset osat toteutettiin TTKK:n Talonrakennustekniikan laboratorion ja TY:n Aerobiologian ja sieniekologian yksikön yhteistyönä. Päättäjöinä toimivat Anna-Mari Pessi TY:sta vastuualueenaan mikrobiologia ja Jommi Suonketo TTKK:lta vastuualueenaan rakennustekniikka.

Tutkimuksen koordinaattorina toimi TTKK:n Talonrakennustekniikan laboratorio, vastuuhenkilönä TkT Matti Pentti.

Tämän tutkimuksen kohderakennuksissa samanaikaisesti toteutetusta terveystutkimuksesta vastasivat yhteistyössä Turun yliopiston Keuhkosairausopin ja kliinisen allergologian oppiaine (LL Maritta Kilpeläinen) ja Turun seudun Allergiakeskus (LKT Erkki Valovirta).

### **3.3 Aikataulu**

Tutkimushankkeen kehittäminen aloitettiin syksyllä 1996 ja rahoituspäätös saatiin maaliskuussa 1997. Toimenpiteiden tarkempi suunnittelu ja tutkimusaineiston hankkiminen aloitettiin välittömästi ja jo huhtikuussa 1997 otettiin ensimmäiset eristenäytteet. Pääosa otettavaksi suunnitelluista eristenäytteistä saatiin kerätyksi vuoden 1997 aikana. Vuonna 1998 aineistoa laajennettiin korjattaviin taloihin sekä otettiin sisäilmanäytteet. Korjatun talon ilmanäytteiden otto tehtiin talvikautena 1998-1999.

## 4 TUTKIMUKSEN SISÄLTÖ JA TÄRKEIMMÄT MENETELMÄT

### 4.1 Tutkimusperiaate

Tutkimuksessa käsiteltiin todellisia rakennuksia. Tutkimusaineistoksi valittiin pääosin rannikkoalueen eri ikäisiä asuinkerrostaloja, joiden ulkoseinät olivat betonielementtirakenteisia. Tutkimuksessa tarkasteltiin julkisivultaan sekä hyväkuntoisia (normaaleja) että huonokuntoisia (korjattavia) rakennuksia.

Tutkimuksen päätavoite oli selvittää kohdetalojen ulkoseinien mikrobikasvustojen ja asuntojen sisäilman mikrobiologisen laadun välisiä yhteyksiä. Tätä tavoitetta lähestyttiin seuraavasti:

- Julkisivujen kuntoa selvitettiin rakennusteknisillä kuntoarvioilla.
- Elementtien sisäistä mikrobikasvua tutkittiin eristetilasta otettujen materiaalinäytteiden mikrobianalyseillä.
- Sisäilman mikrobiologista laatua tutkittiin ilmanäytteillä tutkittuihin elementteihin liittyvistä asunnoista.
- Muiden mikrobilähteiden kuin ulkoseinien vaikutus sisäilmatuloksiin pyrittiin poistamaan mahdollisimman tarkasti kaksivaiheisella rakenneteknisellä tarkastuksella ja asukaskyselyillä, joilla aineistosta karsittiin sellaiset asunnot, joissa oli ilmeisesti muita mikrobilähteitä.
- Eri osa-alueiden välisiä yhteyksiä tutkittiin tilastollisilla analyyseillä.

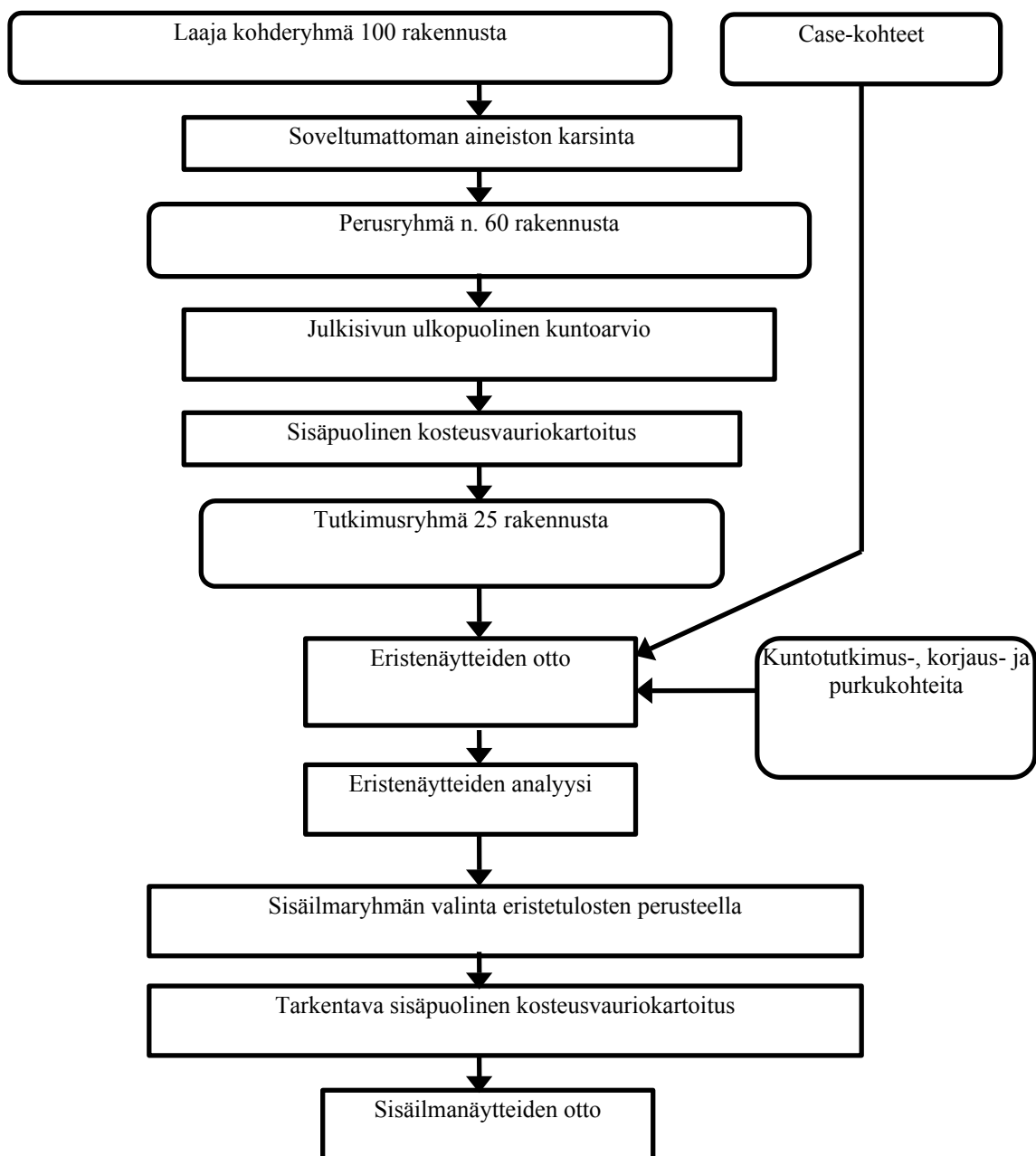
Työn kuluessa tutkimuksen painopisteitä kohdennettiin saatujen tulosten perusteella uudelleen, jolloin käytössä olevat resurssit voitiin käyttää mahdollisimman hyvin alkuperäisiä tavoitteita palvelevan aineiston saamiseksi.

Tutkimuksen kanssa samanaikaisesti toteutetun lääketieteellisen kyselytutkimuksen tavoitteena oli selvittää eristetilän mikrobikasvustojen ja asukkaiden terveyden tilan välisiä yhteyksiä.

### 4.2 TUTKIMUSAINEISTON VALINTA

Tutkimusaineiston valintaprosessilla pyrittiin kokoamaan tilastollisen tarkastelun mahdollistava aineisto, johon kaikki tutkimukset kohdistetaan. Aineiston valinta tapahtui portaittain siten, että ensin hankittiin mahdollisimman suuri joukko taloja, joissa oli halukkuutta lähteä mukaan tutkimukseen (**laaja kohderyhmä**, lyhennettynä **Lkr.**). Aineistoon soveltumattomien talojen karsinnan jälkeen jäljelle jääneestä **perusryhmästä** valittiin taloyhtiöiden yhteistyöhalukkuuden perusteella mahdollisimman edustava varsinainen kohdeaineisto (**tutkimusryhmä**). Tutkimuksessa käytettiin tutkimusryhmää täydentävää aineistoa (**täydentävä ryhmä**), joka koostui tutkimuksen alkuvaiheessa tutkituista *case*-kohteista sekä **kuntotutkimus-**, **korjaus-** ja **purkukohteista**.

Tutkimusaineiston valintaprosessia on havainnollistettu kuvassa 4.1.



Kuva 4.1 Tutkimusaineiston valintaprosessi ja tutkimuksen yksinkertaistettu eteneminen

#### 4.2.1 Case –kohteet

Koska mikrobikasvuston yleisyydestä ja sen jakautumisesta elementtien sisällä ei ollut käytettävissä riittävästi tietoa tutkimusaineiston näytteenoton suunnittelemiseksi, tehtiin tutkimuksen alkuvaiheessa alustavia näytemporauksia 6 talosta. Näytemäärät vaihtelivat

välillä 36 – 65 kpl / talo ja 3 - 18 kpl / elementti. *Case*-kohteet sijoittuivat Turun ja Helsingin alueille.

#### 4.2.2 Laaja kohderyhmä

Tutkimusperiaatteen vuoksi talojen määrän oli oltava riittävän suuri, jotta voitiin tehdä päätelmiä homekasvustojen yleisyydestä, siihen vaikuttavista tekijöistä ja niiden vaikutuksista. Alkukarsintaa varten tutkimukseen hankittiin yli 100 kerrostaloa, jotka sijaitsivat Turun ja Salon (75 %) sekä Tampereen (25 %) alueilla.

Laajan kohderyhmän aineisto luokiteltiin tutkimuksen tavoitteiden mukaan siten, että kuhunkin luokkaan saatiin mahdollisimman paljon taloja. Luokittelevina tekijöinä olivat mm. kosteustekninen rasitus (liittyen rakennusten maantieteelliseen sijaintiin), julkisivun kosteustekninen toimivuus ja rakennuksen ikä.

Laajaan kohderyhmään valituille taloille annettiin tässä vaiheessa tunnusnumerot, joita käytettiin koko tutkimuksen ajan. Laajan kohderyhmän taloille tehtiin alustava ulkopuolinen tarkastus ja kaikkiin perusryhmän kohteisiin jaettiin kyselytutkimuskaavakkeet (terveyskysely ja tekninen kysely, katso tarkemmin kohdista (4.3 ja 4.4).

#### 4.2.3 Perusryhmä

Laajasta kohderyhmästä valittiin taustatietojen, alustavan tarkastuksen ja kiinteistön omistajan suostumuksen perusteella 57 taloa, jotka muodostivat tutkimuksen perusryhmän.

#### 4.2.4 Tutkimusryhmä

Perusryhmän taloista poistettiin asukaskyselyn ja rakennusteknisen tutkimuksen perusteella ne talot, joissa oli oleellisesti sisäilmaan vaikuttavia mikrobilähteitä. Varsinaiseen tutkimusaineistoon valittiin 39 taloa ja kustakin joukko (10-15 kpl) asuntoja, joille tehtiin sisäpuolinen kuntotarkastus (katso kohta 4.6.3). Eristenäytteiden ottoon valittiin kustakin talosta kuusi elementtiä, joiden takana olevista asunnoissa ei ollut havaittu sisäpuolisia kosteusvaurioita.

#### 4.2.5 Kuntotutkimus-, korjaus- ja purkukohteet

Tutkimusaineiston laajentamiseksi tutkimukseen otettiin mukaan normaalien betonijulkisivujen **kuntotutkimuksien** yhteydessä otettuja mikrobinäytteitä yhteensä 31 kappaletta 6:sta talosta. Nämä näytteet on otettu ulkokuoren betonin näytteenoton yhteydessä tehdyistä rei'istä ja näytteiden jakautuminen julkisivulla ja lukumäärä poikkeavat tutkimusryhmän näytteenottosystematiikasta (katso kohta 4.5.2).

Tutkimukseen otettiin lisäksi mukaan 7 kpl kohteita lähinnä pääkaupunkiseudulta, joissa tehtiin **julkisivukorjauksia**. Näissä kohteissa näytteenotto suoritettiin mahdollisuuksien mukaan tutkimusryhmän näytteenottosystematiikkaa vastaavalla tavalla. Tutkitut kohteet edustivat kaikki verhoustyyppistä julkisivukorjausta.

Tampereen teknillisen korkeakoulun Rakentamistalouden laitoksen kanssa tehdyn tutkimusyhteistyön puitteissa tähän tutkimukseen saatiin mukaan eristenäytteitä myös kolmesta ulkokuoren purkukohteesta. Näistä Helsingissä olleista kohteista

eristenäytteitä otettiin tutkimusryhmän näytteenottosystematiikkaa vastaavalla tavalla elementtien ulkokuoren poistamisen yhteydessä. Osa näytteistä otettiin kolmena päällekkäisenä kappaleena eri syvyyksiltä eristekerroksesta.

#### 4.2.6 Yhteenveto tutkimusaineistosta

Taulukossa 4.1 on esitetty koottuna yksilöintitiedot ja tehtyjen tutkimusten lukumäärät kaikista tutkimuksessa mukana olleista rakennuksista. Täydentävässä ryhmässä on mukana kuntotutkimusrakennuksia joista ei ole selvitetty kaikkia lähtötietoja (merkintä \*), koska näitä kohteita ei ole käytetty tarkemmissa analyyseissä.

*Taulukko 4.1 Tutkimuksen koko aineisto rakennuksittain. Eristenäytteet = eristenäytteiden määrä. Purkukohteista otetussa aineistossa on näytekohtien määrän lisäksi suluissa eristekerroksen eri pinnoilta viljeltyjen näytteiden määrä Elementit = tutkittujen elementtien määrä, Asunto = sisäilmatutkimuksessa mukana olleiden asuntojen määrä. Tku = Turku ja lähikunnat, Hki = Helsinki ja lähikunnat, Muu = muu Suomi.*

Rakennuksen tunnus	Rakennusvuosi	Eristenäytteet	Elementit	Asunto	Alue
Tutkimusryhmä					
Lkr-1082	1961	72	12	4	Tku
Lkr-1079	1962	36	6	4	Tku
Lkr-1054	1970	36	6	4	Tku
Lkr-1038	1974	36	6	5	Tku
Lkr-1027	1975	36	6	5	Tku
Lkr-1069	1975	36	6	6	Tku
Lkr-1075	1975	36	6	6	Tku
Lkr-1048	1976	36	6	4	Tku
Lkr-1072	1976	36	6	4	Tku
Lkr-1002	1980	36	6	4	Tku
Lkr-3101	1982	36	6	4	Salo
Lkr-3090	1987	36	6	6	Salo
Lkr-3106	1987	36	6	3	Salo
Lkr-1041	1988	36	6	4	Tku
Lkr-3113	1995	36	6	3	Salo
Lkr-1011	1973	36	6	-	Tku
Lkr-1064	1974	36	6	-	Tku
Lkr-1067	1974	36	6	-	Tku
Lkr-1057	1977	36	6	-	Tku
Lkr-1080	1979	36	6	-	Tku
Lkr-1040	1986	36	6	-	Tku
Lkr-3086	1990	36	6	-	Salo
Lkr-3112	1991	36	6	-	Salo
Lkr-3109	1995	36	6	-	Salo
Täydentävä ryhmä, case kohteet					
Lkr-1058	1968	64	12	6	Tku
Lkr-1052	1972	35	13	6	Tku
Lkr-1031	1974	36	13	6	Tku
Lkr-1001	1966	65	16	-	Tku

*Taulukko 4.1 jatkuu*



Taulukko 4.1 jatkuu

Rakennuksen tunnus	Rakennusvuosi	Eristenäytteet	Elementit	Asunto	Alue
Täydentävä ryhmä, muut kohteet					
Lkr-1037	1959	13	13	4	Tku
Lkr-4003	1974	36	6	-	Hki
Lkr-4004	1974	36	6	-	Hki
Lkr-4005	1974	36	6	-	Hki
Lkr-4006	1974	36	6	-	Hki
Lkr-1114	*	35	7	-	Tku
Lkr-4007	*	36	6	-	Hki
Lkr-4008	*	36	6	-	Hki
Lkr-4009	*	36	6	-	Hki
Lkr-4001	1970	27	9	-	Hki
Lkr-4002	1972	21	7	-	Hki
Lkr-6001	1975	11	11	-	Muu
Lkr-6002	1975	24	27	-	Tku
Lkr-6008	*	8	8	-	Tku
Lkr-6009	*	7	7	-	Tku
Lkr-6010	1977	9	9	-	Muu
Lkr-6011	*	9	9	-	Muu
Lkr-6012	*	6	6	-	Muu
Lkr-6013	*	8	8	-	Muu
Purkukorjauskohteista saatu aineisto					
Lkr-6005	1966	15 (45)	3	-	Hki
Lkr-6006	1966	12 (34)	8	-	Hki
Lkr-6007	*	26 (78)	6	-	Hki
Lkr-6003	*	6 (12)	2	-	Hki
Lkr-6004	*	5 (10)	2	-	Hki

### 4.3 Tekninen kysely

Tutkimuksen alkuvaiheessa perusryhmän talojen asukkaille jaettiin tekninen kyselylomake (**Liite 1**) ja terveystutkimuslomake. Teknisellä kyselyllä oli tutkimuksessa kaksitahoinen merkitys: toisaalta se toimi terveystutkimuksen taustatietoja antavana osana ja toisaalta sillä pyrittiin saamaan alustavaa tietoa asuntojen kunnosta ja mahdollisista sisäpuolisista ongelmista.

Teknistä kyselykaavaketta jaettiin 1377 kappaletta Turun, Salon, Tampereen ja Helsingin alueella tutkittaviin kerrostaloihin. Lomakkeessa kysyttiin asunnon haltijalta asunnon perustietoja, arvioita rakenteiden kunnosta, asunnossa tehtyjä korjauksia ja havaittuja ongelmia sekä asiaan liittyviä yksityiskohtia (mm. asukasmäärä, vedenkäyttöön liittyvät tottumukset, lemmikkieläimet). Asumiseen liittyvät vastaukset käsiteltiin luottamuksellisesti, eikä niistä annettu tietoa taloyhtiölle tai ulkopuolisille tahoille.

## 4.4 Terveyskysely

Perusryhmän (ks. 4.2.3) talojen asukkaille jaettiin ennen eristenäytteenottoa terveystarkastus (sokkokysely ennen vauriokartoitusta), jossa selvitettiin silmä-, hengitystie- ja iho-oireiden esiintymistä, tyypillisiä kosteusvaurioon liittyviä epäspesifisiä oireita ja infektiioireita. Kysymykset noudattivat pitkälti suomalaisten tutkijoiden epidemiologisia selvityksiä varten vuonna 1996 laatimaa ”Tuohilampikysymyssarjaa” /48/ mainittujen oireiden osalta. Aikuisille (yli 17-vuotiaat) ja lapsille (16-vuotiaat ja alle) laaditut lomakkeet erosivat kysymyksiltään. Lasten oireita kartoittavat kyselylomakkeet laadittiin aikuisten täytettäväksi. Kyselytutkimuksen kattavuutta pyrittiin parantamaan kahdella postitse toistetulla jaolla. Sisäilmamittausten yhteydessä asukkaita vielä kehoitettiin täyttämään mahdollisesti palauttamatta jäänyt terveystarkastuslomake. Näin saatuja vastauksia ei voitu pitää sokkoutettuina, koska vastaajien asennoituminen kyselyyn saattoi muuttua tutkimustoimenpiteiden johdosta. Terveystarkastuksen suunnittelussa lähtökohtana oli koko laajan aineiston käytettävyyden ulkoisiin kuntoarvioihin tukeutuen, jolloin korrelaatioketjun **ulkokuoren kunto → eristeen mikrobivaurioaste → sisäilman laatu** avulla olisi käytettävissä olevaa aineistoa voitu laajentaa koskemaan koko tutkimusryhmän, mahdollisesti perusryhmän, rakennusten asukkaat, sisältäen myös eristetilaltaan kartoittamattomat asunnot. Aineiston käyttökelpoisuus sisäilmahaittojen ja terveystarkastusten selvittämiseksi suppeni oleellisesti mikrobivaurioiden osoittaututtua oletettua lievemiksi ja rakennusten sisällä havaitut asuntojen välisten sisäilmakontaminaation erojen ollessa merkitseviä (ks. kpl 6.3). Näin ollen kyselyn tuloksia on analysoitu tässä.

## 4.5 Ulkoseinän mikrobiologinen tutkimus

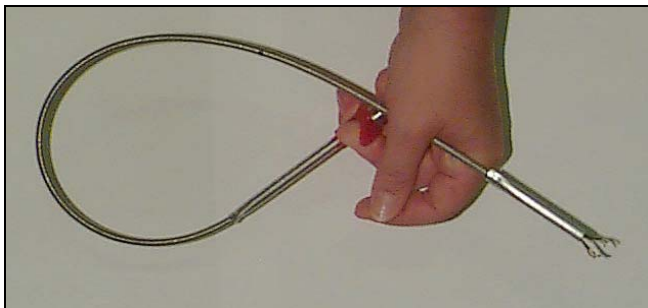
### 4.5.1 Eristenäytteiden ottomenetelmät

Ulkoseinien mikrobiologista laatua tutkittiin elementtien sisältä otetuilla eristenäytteillä. Näytteiden tilavuus oli noin 10 cm<sup>3</sup>, ja koska ne otettiin suhteellisen pienen reiän kautta (Ø 16 – 22 mm), yleensä koko eristekerroksen paksuudelta.

Eristenäytteet otettiin seuraavasti (kuivaporaus):

- poraus tehtiin pneumaattisella poravasaralla
- reiän halkaisija oli 16-22 mm
- näytteenottoon käytettiin joko tarttumakynnä (taipuisan varren päässä olevaa noutajaa, kuva 4.2) tai ns. ’ankannokkapihtejä’
- kukin näyte suljettiin välittömästi erilliseen tiiviiseen muovipussiin
- pussiin merkittiin näytteen ja kohteen tunnistetiedot vedenkestävällä tussilla
- näytteenottopisteen tunnus ja näytteenottokohdassa mahdollisesti olleet poikkeavat yksityiskohdat tai vauriot merkittiin porauskarttaan

- näytteenottimet puhdistettiin jokaisen näytteenoton välillä kastamalla ne desinfioivaan ja nopeasti haihtuvaan nesteeseen (etanoli, isopropanoli tai aseton)
- näytteet toimitettiin (tai postitettiin) saman vuorokauden aikana Turun yliopiston Aerobiologian yksikön laboratorioon.



Kuva 4.2 Elementin sisäiseen näytteenottoon soveltuva noudin

Poiketen edellisestä, kuntotutkimuskohteiden yhteydessä otettiin eristenäytteitä timanttikoratun reiän kautta betonilieriön irrotuksen jälkeen. Timanttikoraa käytettäessä on olemassa vaara, että näyte kastuu porauksen tai näytteenoton aikana, joten näin otettujen näytteiden osalta näytteenottajille annettiin seuraavat ohjeet varotoimenpiteiksi:

- porauksen loppupuolella pitää käyttää mahdollisimman pientä jäähdytysveden määrää
- vesi tulee katkaista heti ulkokuoren läpäisyn jälkeen
- timanttikoraa ei paineta eristekerroksen sisään
- porausreiän yläpuolelta poistetaan mahdollisesti kastunut eristekerros
- näyte otetaan porausreiän yläpuolelta kuivasta eristeestä
- kukin näyte suljetaan välittömästi tiiviiseen muovipussiin, johon on etukäteen lisätty kuivaustyyyny (imupaperipussi jonka sisällä on n. 5 g kuivaa silikageeliä); tällöin näytteessä mahdollisesti oleva kosteus ei ehdi edistää mikrobisolujen lisääntymistä ja vääristää siten analyysitulosta

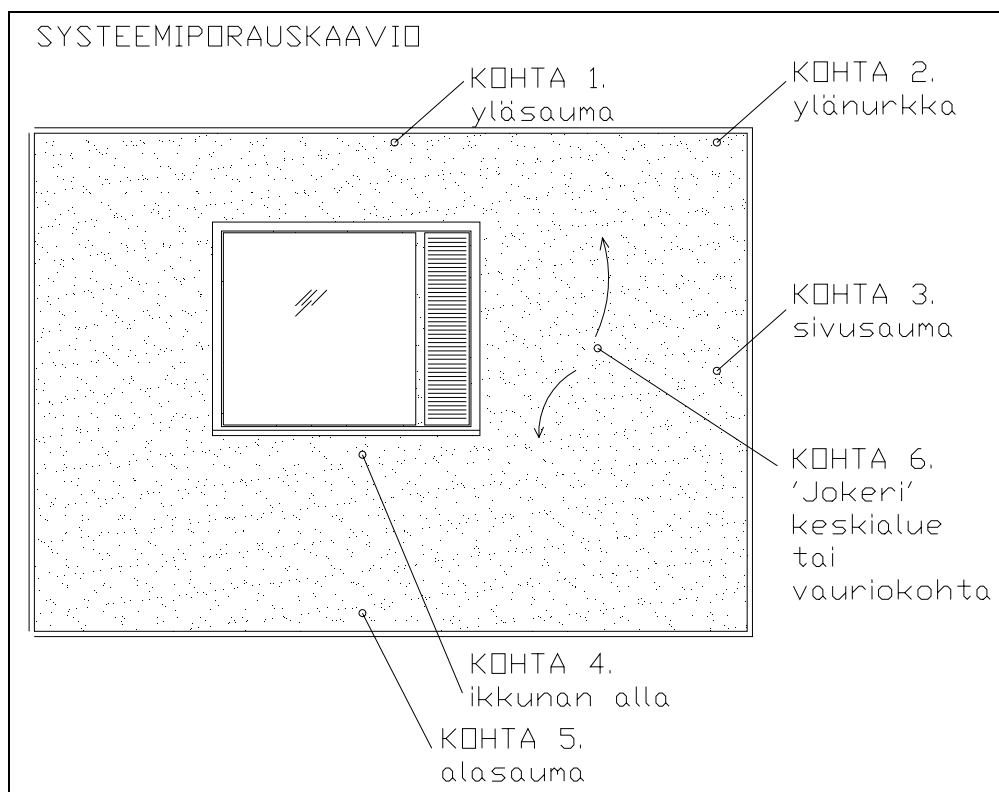
Tutkimuksellisen vertailun vuoksi osasta kuntotutkimustaloista otettiin samoista timanttikorausrei'istä rinnakkaiset näytteet, joista toiset pakattiin kuivaustyyнын kanssa ja toiset ilman kuivaustyyynyä. Koska mikrobianalyysituloksissa ei ollut merkittäviä pakkaustavasta riippuvia eroja, huolellisella työskentelyllä mikrobinäytteitä voidaan ottaa timanttikorauksen yhteydessä myös ilman erillisiä kuivaustyyynyjä. Mikrobinäytteenotto suositellaan kuitenkin tehtäväksi kuivaporausreiän kautta.

Ulkokuoren purkukohteista näytteet otettiin elementtien ulkokuoren irrottamisen jälkeen leikkaamalla n. 100 cm<sup>2</sup> pala eristettä, joka pakattiin välittömästi muovipussiin. Ulkokuoren irrotuksen ja näytteenoton välillä oli n. 30 min viive.

## 4.5.2 Näytteenoton systematiikka

### Ruutuelementti

Eristenäytteiden ottamiseen käytettiin ruutuelementeissä kuvissa 4.3 ja 4.4 esitettyä systeemporauskaaviota. Kaavio perustui tutkimuksen alun *case*-kohteiden tuloksiin. Systematiikan tavoitteena oli mahdollistaa eri taloista otettujen näytteiden keskinäinen vertailu näytteenottokohdan perusteella. Lisäksi haluttiin mahdollistaa yksittäisten vauriokohtien ja muiden poikkeavien kohtien tutkiminen määrittelemällä näytekohta numero 6 ”jokeriksi” (näytteen merkintä tunnuksella 6J). Mikäli elementissä ei ollut poikkeavia kohtia, näyte 6 otettiin aina keskeltä mahdollisimman suurta yhtenäistä betonipintaa (näytetunnus 6). Elementin reuna-alueiden näytteet otettiin noin 100-150 mm etäisyydeltä saumasta.



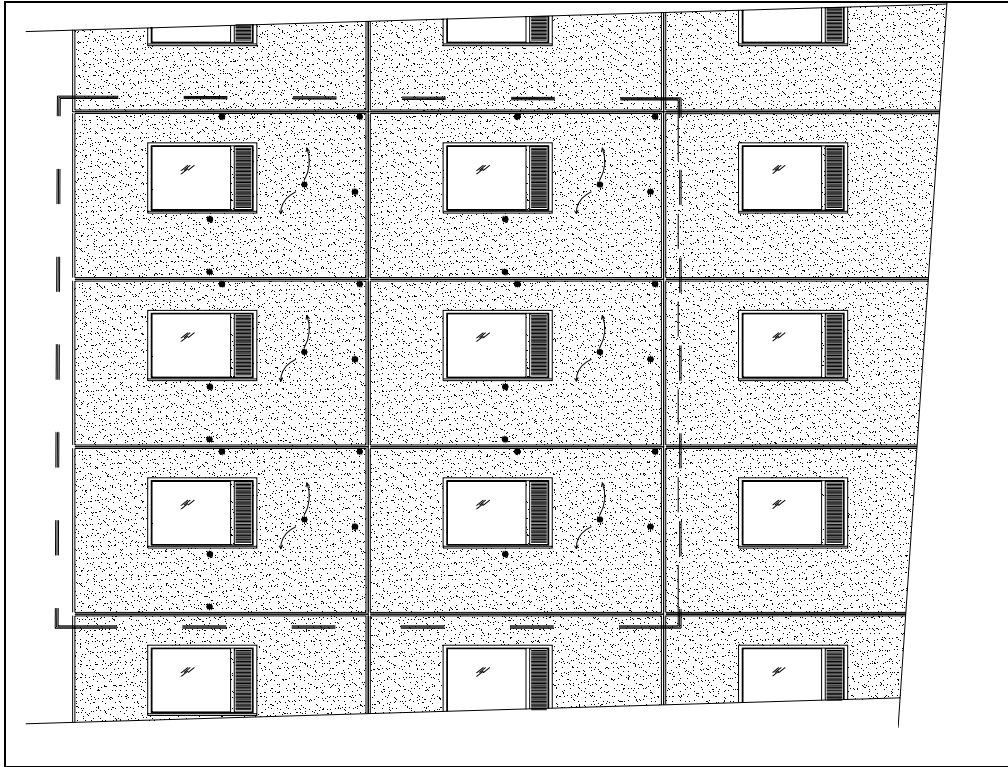
Kuva 4.3 Ruutuelementin systeemporauskaavio

### Nauhaelementti

Poraus toteutettiin ruutuelementin kaaviota mukailten ja ottaen huomioon julkisivujen yksilölliset ominaisuudet.

### Elementtikokonaisuus

Tutkittavat elementit pyrittiin saamaan samasta ryhmästä, jolloin vierekkäisten elementtien näytteet täydensivät toisiaan. Näytteenotossa vältettiin ensimmäistä kerrosta, mikäli se oli maanpinnan tasolla, ja nostokaluston korkeudesta johtuen pääosa näytteitä otettiin 2-5 kerroksen väliltä joko pystyryhmänä (3 kerrosta korkea ja 2 elementtiä leveä) tai vaakaryhmänä (2 kerrosta korkea ja 3 elementtiä leveä) (Kuva 4.4). Poikkeustapauksissa ryhmää jouduttiin hajottamaan parvekelinjojen takia.



Kuva 4.4 Esimerkki pystysuunnaisesta näytteenotokentästä

### 4.5.3 Eristenäytteiden analyysimenetelmät

#### Viljely

Laboratorioon toimitetut näytteet viljeltiin seuraavana päivänä tai, mikäli se ei ollut mahdollista, säilytettiin viileässä (+5 °C) tai pakastimessa (-25 °C). Eristenäytteet olivat pääsääntöisesti kuivia. Näytteet, jotka timanttikorauksen yhteydessä olivat kastuneet, säilytettiin viljelyyn asti pusseissa, joissa oli imupaperipusseihin pakattua silikageeliä (5 g silikageeliä /näyte). Näytteiden annettiin kuivua (1-2 vrk), jonka jälkeen eristeet punnittiin. Erittäin märissä näytteissä silikageeli vaihdettiin vuorokauden kuluttua.

Kustakin eristenäytteestä otettiin steriileillä pinseteillä satunnaisesti osanäyte näytteen eri puolilta (0,10-0,90 g). Näytteet upotettiin peptoniliuokseen (0.1 % peptoni, 0.85 % NaCl, 0,02 % Tween-80; /49/) suhteessa 1:10 (w/v), käsiteltiin 30 min ultraäänihäuteessa ja 60 min ravistelijassa itiöiden irrottamiseksi homogeeniseksi suspensioksi. Suspensiosta tehtiin laimennussarja 1:10 - 1:1000 tai 1:10 - 1:10000 ja viljeltiin kahtena rinnakkaisena toistona kustakin laimennoksesta mallasuuteagarille (MEA: 2 % mallasuute, 2 % sakkaroosi, 0.1 % peptoni, 2 % agar, 0.01 % kloramfenikoli) /50, glukoosi vaihdettu sakkaroosiin/ ja tryptoni-hiivauuteagarille (THG: 0.1 % glukoosi, 0.5 % tryptoni, 0.25 % hiivauute, 1.5 % agar, 0.05 % sykloheksimidi asetoniin liuotettuna) /1/. Viljelmät kasvatettiin huoneenlämmössä.

Sienet analysoitiin MEA-alustalta 7-10 vrk kasvatuksen jälkeen ja bakteerit THG-alustalta 10-14 vrk jälkeen. Näytteistä määritettiin kokonaissieni-itiöpitoisuus painoyksikköä kohden (cfu/g; cfu = pesäkkeen muodostava yksikkö) ja sienilajisto

sukutasolle, osin lajitasolle, sekä mesofiilisten sädesienibakteerien ja muiden bakteerien pitoisuus (cfu/g). Laimennossarjaa käytettäessä pienin havaittava pitoisuus vaihteli 40-250 cfu/g.

### **Mikroskooppinen tarkastelu**

Mikrobikasvustojen esiintymistä eristeissä pyrittiin selvittämään suoralla fluoresenssimikroskopointiin perustuvalla menetelmällä. Pieni osanäyte eristettä käsiteltiin 1 % fluoreskeiini-diasetaatilla 60 mM fosfaattipuskurissa pH 7.5. Näytettä tarkasteltiin UV-valaistuksessa mikroskoopilla, jolloin elävä rihmasto erottui näytteestä kirkkaana alueena. Ongelmia tuotti fluoresoivan aineen akkumuloituminen lasivillakuitujen sisälle, tosin mahdollisesti osoittaen aktiivista bakteerikasvua. Edelleen suoraa mikroskopointia käytettäessä saatiin analysoitua erittäin pieni osuus eristenäytteestä (n. 0,01g) kerrallaan.

Mikrobikasvun esiintymisen osoittauduttua vähäiseksi, sienirihmaston havaitsemiseksi soveltuva menetelmä osoittautui liian työlääksi suhteessa saatavan tiedon määrään. Mikroskoopilla tarkasteltaessa puhtaan näytteen analysointi kestää yhtä pitkän ajan kuin saastuneen, eikä vaurioastetta voi ao. menetelmällä määrällisesti arvioida. Näin ollen näytteiden suorasta mikroskopoinnista luovuttiin ja viljeltävien näytteiden kokonaismäärää lisättiin.

## **4.6 Rakennetekninen tutkimus**

### **4.6.1 Lähtötietoihin perustuva arviointi**

Laajaan 100 talon kohderyhmään hankituista taloista selvitettiin seuraavat lähtötiedot:

- taloyhtiön nimi
- yhteyshenkilön nimi, postiosoite ja puhelinnumero
- kohteen osoite
- rakennusvuosi
- kerros- ja porraskerros
- asuntojen määrä
- julkisivun pintatyyppi
- sandwich-elementtityyppi (ruutu/nauha)
- kattomuoto
- tiedossa olevat aikaisemmat kuntoarviot tai –tutkimukset ja tiedossa olevat aiemmat julkisivukorjaukset

Lähtötietojen perusteella aineistoa karsittiin siten, että rakennukset jakaantuivat eri vuosikymmenille ja julkisivutyyppeihin ja että joukkoon saatiin myös eri korkuisia taloja.

#### 4.6.2 Ulkopuolinen kuntoluokittelu

Perusryhmään valittujen talojen kaikille julkisivuille tehtiin ulkopuolinen, silmämääräinen kuntoarvio maanpinnalta käsin kiikaria apuna käyttäen. Samassa yhteydessä suunniteltiin mahdollisia näytteenottokohtia, joihin oli mahdollista päästä nostokalustolla. Kuntoarviossa julkisivuja arvioitiin kuuden eri tekijän osalta käyttäen asteikkoa 0-3. Arvioituja tekijöitä olivat kosteusrasitus (asiantuntijan tekemä kokonaisarvio rakennuksen olosuhteista), saumausten kunto, terästen näkyvä korroosio, pakkasrapautuma, elementtien käyryys, pinnoitteen vauriot (tämä suure koski lähinnä maalattuja pintoja). Käytetyt arviointiluokat selityksineen on esitetty taulukossa 4.2.

Taulukko 4.2 Ulkopuolisessa kuntoarvioinnissa käytetyt luokat arviointiperusteineen

<b>Rakennusten ja ulkoseinien luokittelu</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pintamateriaali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesubetoni</li> <li>• maali</li> <li>• tiililaatta</li> <li>• klinkkeri</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ikä</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ulkokuoren rakennustekninen kunto*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• saumojen kunto</li> <li>• pakkasrapautuminen</li> <li>• terästen korroosio</li> <li>• käyristyminen</li> <li>• pinnoitevauriot</li> <li>• yleinen kosteusrasitus</li> </ul>
<p>* Kuntoluokitus visuaaliseen havaintoon perustuen:</p> <p>0 = pieni rasitus / ei mainittavaa vauriota – virheetön</p> <p>1 = normaali rasitus / ei korjaustarvetta</p> <p>2 = normaalia suurempi rasitus / paikallisesti vaurioitunut /korjaustarve tulevaisuudessa</p> <p>3 = suuri kosteusrasitus / vaurioitunut / välitön korjaustarve</p>	

#### 4.6.3 Sisäpuolinen kuntoarvio

Perusryhmän taloista valittiin kohteet tutkimusryhmään. Mikäli valittu taloyhtiö suostui eristenäytteiden poraukseen, kohteen 10-15 asuntoon tehtiin sisäpuolinen kuntoarvio. Sisäpuolinen kuntoarvio tehtiin systemaattista silmämääräistä kartoitusta ja

kosteudenosoitinta hyväksi käyttäen. Kosteustekninen kunto tarkastettiin koko asunnosta. Eri talojen arvioiden yhdenmukaistamiseksi tarkastuksessa käytettiin tätä tarkoitusta varten kehitettyä tarkastuslomaketta (**Liite 2**), johon eri tarkastuskohteet arvioitiin huonetiloittain käyttäen kolmiasteista arvostelua (taulukko 4.3). Mikäli asunnossa havaittiin luokkaan ”erittäin huono” kuuluvia vaurioita tai puutteita, asunto jätettiin pois jatkotutkimuksista.

*Taulukko 4.3 Sisäpuolisen kuntoarvion kuntoluokat arviointiperusteineen*

<b>Kuntoluokka</b>	<b>Selitys</b>
0	Hyvä = Ei huomautettavaa
1	Huono, tyydyttävä = Asia kirjattiin ylös analyysiä varten mutta se ei aiheuttanut automaattista hylkäämistä
2	Erittäin huono = Hylkäysperuste

#### **4.6.4 Tarkentava ulkopuolinen kuntoarvio**

Eristenäytteiden porauksen yhteydessä ulkopuolista kuntoarviointia tarkennettiin siten, että kustakin tutkittavasta elementistä kirjattiin yksilölliset kuntoarviot, mikäli ne poikkesivat koko talon kuntoarviosta. Käytetyt arviointisuureet ja kuntoluokat olivat samat kuin aiemmassa arvioissa.

#### **4.6.5 Tarkentava sisäpuolinen kuntoarvio**

Välittömästi ennen sisäilmanäytteiden ottamista mukana oleviin asuntoihin tehtiin tarkentava sisäpuolinen kuntoarvio. Kuntoarviossa käytettiin vastaavaa muistilistaa kuin ensimmäisessä arviossakin, mutta aikaisemmat tulokset eivät olleet arvioitsijalla käytössä. Tässä yhteydessä sisärakenteissa havaituista epäillyistä kohteista, jotka eivät automaattisesti johtaneet aineistosta hylkäämiseen, otettiin pintasivelynäytteet, jotka analysoitiin viljelymenetelmällä (ks. kpl 4.7.2).

### **4.7 Sisäilman mikrobiologinen tutkimus**

Sisäilman mesofiilisen mikrobilajiston esiintymistä tutkittiin volumetrisistä ilmanäytteistä viljelymenetelmällä.

#### **4.7.1 Aineisto**

Sisäilman mikrobiologinen laatu selvitettiin ulkoseinän eristetilaltaan eri asteisesti mikrobivaurioituneista ja vauriottomista asunnoista. Aineisto koostui sekä tutkimusryhmän että täydentävän ryhmän rakennuksista (taulukko 4.1). Eristenäytteissä havaitun mikrobivaurioitumisen osoittauduttua vähäiseksi ei sisäilmatutkimuksiin käytetyn aineiston suhteen voitu tehdä juurikaan valintaa tai satunnaistamista.



Jos vaurioitunut elementti rajoittui kahteen huoneeseen, otettiin molemmista näyte. Lisäksi mitattiin jokaisesta rakennuksesta vähintään yksi eristetilaltaan vaurioitumaton asunto. Jos rakennuksen kaikissa tutkituissa elementeissä oli havaittu mikrobikontaminaatiota, otettiin samana näytteenottopäivänä ilmanäyte saman alueen ja ikäluokan rakennuksen eristetilaltaan mikrobivauriottomasta asunnosta.

Eristenäytteiden otto pyrittiin rajaamaan makuu- ja olohuonetiloihin, mikäli se elementtien sijoittumisen ja nostokaluston käytettävyyden kannalta oli mahdollista. Osassa rakennuksia oli mukana myös keittiö- tai olohuone-keittiötiloja ja yhdessä rakennuksessa tutkittu elementti rajoittui osin pesuhuonetilaan.

Tarkentavan sisäpuolisen kuntoarvion yhteydessä havaittujen lievään asunnon sisäpuoliseen kosteusvaurioon viittaavien pinnoitevaurioiden ja värimuutosten mahdollinen sädesieni- tai sienivaurio selvitettiin pintasivelynäytteillä: Peptoniliukokseen (ks. kpl 4.5.3) kostutetulla pumpulipuikolla siveltiin epäiltyä kasvustoaluetta ja puikosta tehtiin viljely sivelemällä sillä tasaisesti ristiin viljelymaljalle. Käytetyt kasvatusalustat olivat MEA- ja THG-agar (ks. kpl 4.5.3). Viljelystä analysoitiin sienilajisto ja bakteerit tyyteltiin sädesieniin ja muihin bakteereihin. Kasvun voimakkuutta arvioitiin suhteellisella asteikolla (ei kasvua, heikko, kohtalainen tai runsas kasvu).

Aineistosta suljettiin pois asunnot tai mittauskerrat, joissa oli

- asumistoimintoihin /51/ liittyviä selkeitä mikrobilähteitä, mm. häkkieläimet, huomattava epäsiisteys
- tutkimushetkellä tai vuoden sisällä korjattuja asunnon sisäisiä vakavia kosteusvaurioita.

Aineistoon hyväksyttiin asunnot, joissa havaittiin kosteusvaurioon viittaavia pinnoitevaurioita, mutta ei viljelyllä (ks. kpl 4.5.3) todennettavaa homekasvua. Edelleen aineistoon hyväksyttiin asunnot, joissa oli lieviä muissa kuin näytteenottohuoneessa esiintyneitä kasvustoja (esim. silikonitiivisteiden kasvustot pesu- tai keittiötiloissa). Muut asumistoimintoihin liittyvät virhelähteet huomioitiin tulosten tilastollisessa analysoinnissa.

Rakennuksen Lkr. 1058 sisäilmatulokset jouduttiin pääosin hylkäämään aineiston tilastollisesta käsittelystä. Kyseisen *case*-kohteen yhden asunnon korkeat sädesienipitoisuudet poikkesivat voimakkaasti muusta aineistosta kohoten 200-400 cfu/m<sup>3</sup>. Asunnon ulkoseinässä oli virheellisesti toteutettu läpivienti (ks. kpl 5.5). Sisäilman sädesienitasot olivat myös kyseisen asunnon viereisissä ja saman rakennuksen kontrollihuoneistossa muusta aineistosta poikkeavasti koholla, mahdollisesti yhteisen ilmastointihormin kautta tapahtuneen leviämisen vuoksi.

#### 4.7.2 Ilmanäytteiden otto

Yksittäisenä näytteenottopäivänä tutkittiin 1-4 rakennusta, joista yhteensä 2-16 asuntoa. Tutkittujen asuntojen määrä rakennusta kohden vaihteli yhdestä neljään.

Ilmanäytteet otettiin pääosin syys-kevätkautena 1997-1998. Osa näytteistä otettiin jo keväällä 1997. Kussakin asunnossa pyrittiin kolmeen toistoon, joista vähintään yksi

ajoittui ajanjaksoon, jona maanpinta oli lumipeitteinen. Näytteenoton aikana tutkittavan huoneen ovi suljettiin ja mittauksen suorittava henkilö poistui huoneesta, mikäli se oli mahdollista.

Mitattavasta huoneesta otettiin ilmanäyte kuusivaiheisella impaktorikerääjällä (*Andersen 2000 / Andersen 10-800 viable (microbial) particle sizing sampler -kerääjä, tr#76-900042, Graseby Andersen ltd*) tai samalla periaatteella toimivalla kerääjällä (*Kymppi-tuote*). Näyte otettiin 0,5 - 1,0 m korkeudelta lattiapinnasta vähintään 0,5 m päässä seinästä. Näytteet otettiin samanaikaisesti kahdella kerääjällä, toisella MEA-alustalle ja toisella THG-alustalle. Käytetty näytteenottolavuus vaihteli sisätiloissa 244 - 525 l ja ulkotiloissa 110 - 434 l.

Ulkoilmasta otettiin vertailunäyte kunakin näytteenottopäivänä ja kullakin alueella (kuva 4.5). Ulkoilmanäyte otettiin vähintään 6 m etäisyydellä rakennuksen ulkoseinästä, avoimella paikalla (parkkipaikka, leikkikenttä tms.) 0,7-1,5 m korkeudella maanpinnasta. 11.11.1997 satoi taukoamatta ja näyte otettiin siksi kuudennen kerroksen parvekkeelta. Mikäli näytteenotto oli voimakkaan lumisateen tai pakkasen vuoksi ( $< -5^{\circ}\text{C}$ ) mahdotonta, käytettiin tulosten tilastollisessa käsittelyssä ulkoilman sieni-itiö- ja bakteerimäärinä arvoa  $0\text{ cfu/m}^3$ .

#### 4.7.3 Virhelähteiden huomioonottaminen

Ennen mittausta pyydettiin asukkaita välttämään seuraavia toimia mittauspäivänä ja sitä edeltävänä päivänä:

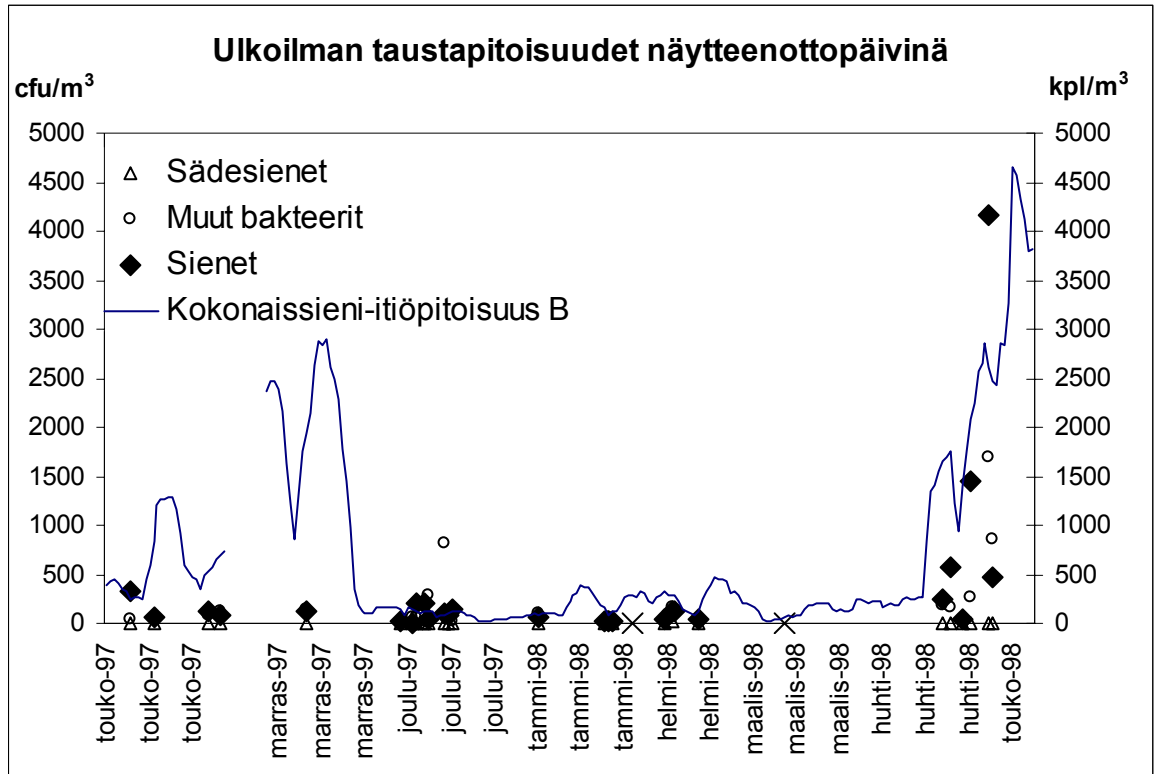
- 1) homehtuneen ruuan käsittely
- 2) ikkunatuuletus
- 3) imurointi tai lakaisu
- 4) ulkona kuivatun pyykin käsittely

ja lisäksi välttämään mittausta edeltävänä viikkona

- 5) mullan käsittelyä (multaiset juurekset, kukkamullan vaihto)
- 6) ilmanpuhdistimen käyttöä

*Kuhunkin mittaukseltaan liittyvät virhelähteet kartoitettiin asuntoihin ennen tai jälkeen näytteenottoa toimitetulla virhelähdekyselyllä, mittauksen aikana paikalla olevien asukkaiden haastattelulla sekä tutkijan mittauksen aikaisilla havainnoilla. Virhelähdekyselyn ja havaintolomakkeen kysymykset on esitetty liitteessä (*

**Liite 3).** Havaintolomakkeeseen kirjattiin tiedot asukkaan haastattelussa tai lomakkeessa antamien vastausten perusteella. Arvion asunnon siisteystasosta ja huonekasvien määrästä rekisteröi näytteenottaja.



Kuva 4.5 Ulkoilman mikrobiryhmien taustapitoisuudet näytteenottojakson aikana. Sädesieni- ja muiden bakteerien sekä sieni-itiöiden taustapitoisuudet ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) mitattuna näytteenottoaikkakunnilta. Kokonaissieni-itiöpitoisuus B ( $\text{kpl}/\text{m}^3$ ) on mitattu Turun yliopiston katolta siitepöly- ja itiöseurannan yhteydessä /52/ ja pitoisuus on esitetty viikkokeskiarvona. X = ulkoilmanäytettä ei otettu pakkasen tai lumisateen vuoksi.

#### 4.7.4 Analyysimenetelmä

Ilmanäytemaljat viljeltiin huoneenlämmössä. Sienet analysoitiin 7-10 vrk:n ja bakteerit 10-14 vrk:n kuluttua. Bakteerit tyypiteltiin mikroskooppisesti sädesienibakteereihin ja muihin bakteereihin. Bakteeri- ja itiöpitoisuudet ilmakeuutiometrissä määritettiin Andersenin 'positive hole correction' -menetelmän mukaisista korjatuista pesäkemääristä /53/.

#### 4.8 Tilastolliset analyysit

Tilastollisten analyysien avulla pyrittiin selvittämään mitkä olosuhde-, vaurio- ja rakennetekijät vaikuttivat eristetilasta ja sisäilmasta havaittuihin mikrobimääriin.

Mikrobien esiintyminen eri tilanteissa on esitetty suurelta osin geometrisinä keskiarvoina (GM, kaava 4.1.), jolloin aineiston jakauma oli helpommin esitettävissä. Geometrinen keskiarvo laskettiin käyttäen logaritmimuunnosta, jolloin havaintorajan alittavat pitoisuudet sekä eriste- että ilmanäytteissä käsiteltiin arvona 1. Geometrinen keskiarvo ja useissa tapauksissa käytetyt keskiarvon luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä laskettiin Sokal & Rohlf'in /54/ mukaan.

$$\text{Geometrinen keskiarvo (GM)} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n i'} = \sqrt[n]{X_1 X_2 X_3 \dots X_n} \quad (\text{kaava 4.1})$$

Julkisivun kuntoarvioissa luokiteltujen vaurio- ja rasisuureiden yhteyttä eristenäytteiden mikrobikasvustoihin tutkittiin käyttäen Kendallin järjestyskorrelaatiota. Korrelaatiokertoimet laskettiin käyttäen SAS-ohjelmistoa /55/.

### Sisäilmanäytteiden tilastolliset analyysit

Eristekontaminaation vaikutusta asuntojen sisäilmaan tutkittiin käyttäen yleistettyä lineaarista sekamallia ('*Generalized Linear Mixed Model*' -menetelmä) SAS-ohjelmiston GLIMMIX-makrolla /56, 57/.

Sisäilman mikrobimäärien vaihtelun selittämisessä käytettiin malleja, joissa eristeissä havaitun mikrobimäärän lisäksi käytettiin sisäilmastotekijöitä, säättekijöitä, ulkoseinäelementin kuntotekijöitä ja mahdollisia mikrobilähteitä, jotka eivät johtaneet aineistosta poissulkemiseen (tuuletus näytteenottopäivänä, mullan käsittely, huonekasvien määrä, lemmikkieläimet). Testattuja säättekijöitä olivat paikallinen ulkolämpötila, alueelliset vuorokautiset keskilämpötila ja minimilämpötila mittauspaikkakunnalla /58, 59/ sekä maanpinnan lumipeitteisyys.

Sisäilman kosteuspitoisuus määritettiin sisälämpötilan ( $t$ ) ja suhteellisen kosteuden perusteella käyttäen Nevanderin ja Elmarssonin kyllästyskosteuden  $v_k$  ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) lämpötila-alueella  $-20\dots+80$  °C toimivaa likiarvokaavaa /60/. Kosteuspitoisuus määritettiin kyllästyskosteuden ja suhteellisen kosteuden tulona.

$$v_k = 4,85 + 3,47(t/10) + 0,945(t/10)^2 + 0,158(t/10)^3 + 0,0281(t/10)^4 \quad (\text{kaava 4.2})$$

Malleissa käytettävistä muuttujista **luokittelevia** olivat ulkoseinäelementin kuntotekijät, sisäilmanäytteenoton virhetekijät, maanpinnan lumipeitteisyys ja yöpakkasten esiintyminen. **Kovariaatteja** (jatkuvia muuttujia) olivat muut säättekijät, sisäilman kosteuspitoisuus sekä sisäilman ja eristetilan mikrobimäärät. Kontrolleina (verrokkit) käytettiin asuntoja, joiden vastaavissa elementeissä eristeen sädesienibakteeripitoisuus oli  $\leq 100$  cfu/ $\text{m}^3$  ja sieni-itiöpitoisuus oli  $\leq 1000$  cfu/ $\text{m}^3$ .

## 4.9 Korjaustoimien seuranta

Korjaustoimien tarkastelun osuus jäi tutkimuksessa vähäiseksi taloyhtiöiden päätöksenteon hitauden vuoksi. Osassa mikrobivaurioituneista kohteista taloyhtiöt päätyivät järeään julkisivun purkukorjaukseen osittain eristenäytteiden tuloksien perusteella, vaikka tutkimusryhmä ei tällaista suositellut. Korjaustoimien seuranta jäi vähäiseksi, koska ei löytynyt kohteita, joissa kaikki vaadittavat ehdot olisivat täyttyneet: sekä eristetilasta että sisäilmasta olisi havaittu selkeästi eristeperäisiä kasvustoja, rakennukselle tehtävät korjaukset olisivat ajoittuneet projektin alkuvaiheeseen ja rakennuksen omistaja olisi suostunut korjausten jälkeisiin jatkotutkimuksiin. Käytännössä korjausten tarkastelu koostui yhden yksittäisen talon tarkemmista tutkimuksista ja seurannasta.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Ulkopuolisen kuntoarvion tulokset

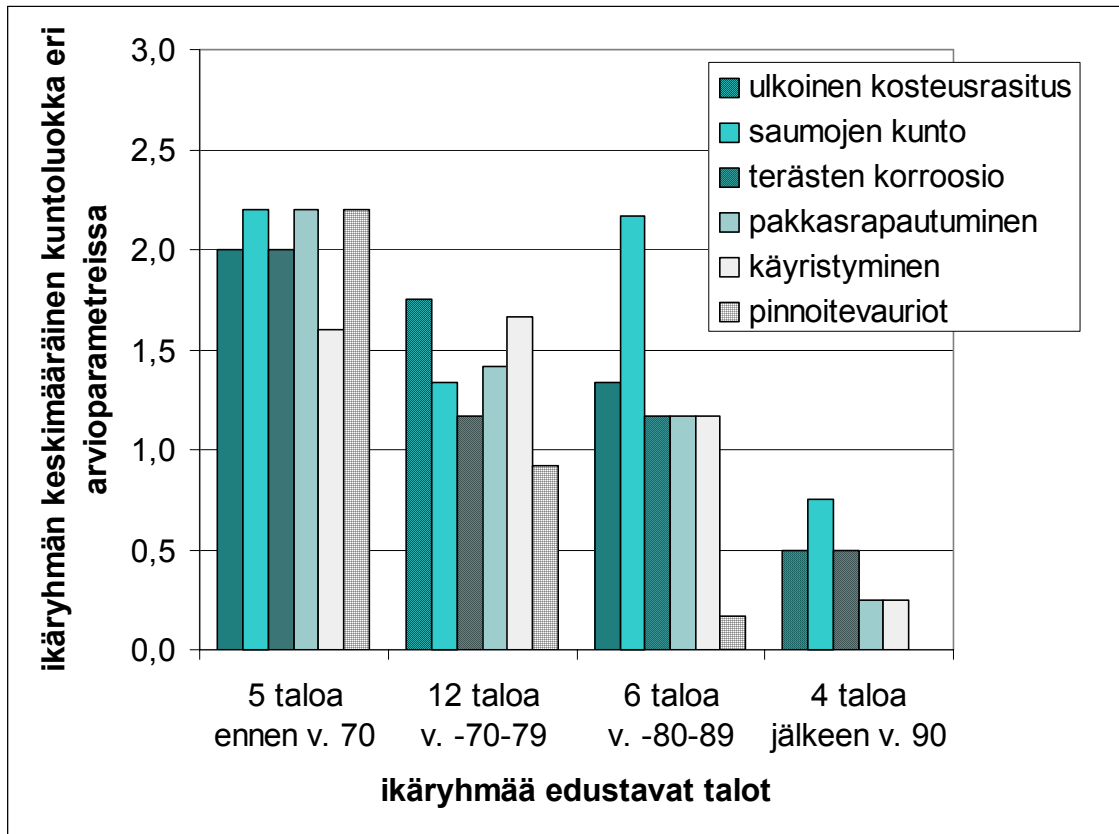
Julkisivujen ulkopuolisen kuntoarvion tuloksista (taulukot 5.1 ja 5.2 sekä kuva 5.1) on selkeästi nähtävissä rakennusvuoden ja julkisivun kunnan välinen yhteys, paitsi ikäryhmässä 20-30 vuotta, jossa on nähtävissä saumojen todennäköisen korjaamisen vaikutus. Arvioiduista parametreista saumojen kunto osoittautui hieman yleisemmäksi virheeksi kuin muut, ja kaikkien kohteiden keskimääräinen kunto asettui normaalin ja paikallisesti vaurioituneen väliin. Tarkentavan ulkopuolisen kuntoarvion elementtikohtaiset tulokset olivat keskimäärin hieman parempia kuin talokohtaisten arvioiden tulokset, koska tutkittuja elementtejä ei pyritty kohdentamaan talon vaurioituneimpiin tai rasitetuimpiin osiin. Pinnoitevaurio –arvioparametri oli jakautumaltaan muista poikkeava, koska näkyviä pintavaurioita voidaan havaita lähinnä maalatuista julkisivuista.

Taulukko 5.1. Rakennuskohtaisen kuntoluokittelun tulokset

Rakennuskohtaisten kuntoarvioiden tulokset		Arvioluokat selityksineen			
		0	1	2	3
n=28 taloa	keskiarvo (kaikki talot)	OK, ei mainittavaa vauriota, alhainen	vähäinen, vain erittäin paikallisesti	paikallisia vaurioita, korjaustarve	laajoja tai pahoja vaurioita, välitön korjaustarve
Parametrien keskiarvo (0-3)	1,24	havaittujen vauriotapausten osuus			
Ulkoinen kosteusrasitus (0-3)	1,40	11 %	41 %	33 %	15 %
Saumojen kunto (0-3)	1,61	19 %	26 %	33 %	22 %
Terästen korroosio (0-3)	1,21	15 %	52 %	30 %	4 %
Pakkasrapautuminen (0-3)	1,26	19 %	41 %	30 %	11 %
Käyristyminen (0-3)	1,17	19 %	44 %	22 %	15 %
Pinnoitevauriot (0-3)	0,82	56 %	15 %	19 %	11 %

Taulukko 5.2. Elementtikohtaisen kuntoluokittelun tulokset

Elementtikohtaisten kuntoarvioiden tulokset		Arvioluokat selityksineen			
		0	1	2	3
n=168 elementtiä	keskiarvo (kaikki elementit)	OK, ei mainittavaa vauriota, alhainen	normaali, vähäinen, vain erittäin paikallisesti	kohonnut, paikallisia vaurioita, korjaustarve	erittäin korkea, laajoja tai pahoja vaurioita, välitön korjaustarve
Parametrien keskiarvo (0-3)	1,08	havaittujen vauriotapausten osuus			
Ulkoinen kosteusrasitus (0-3)	1,20	14 %	54 %	29 %	2 %
Saumojen kunto (0-3)	1,34	21 %	29 %	45 %	5 %
Terästen korroosio (0-3)	0,97	25 %	53 %	22 %	0 %
Pakkasrapautuminen (0-3)	0,95	25 %	58 %	15 %	2 %
Käyristyminen (0-3)	0,96	25 %	54 %	21 %	0 %



Kuva 5.1. Ulkopuolisen kuntoluokittelun tulokset ikäryhmittäin

## 5.2 Sisäpuolisten kuntoarvioiden tulokset

Asuntojen sisäpuolisia kuntoarvioita tehtiin yhteensä 140 asunnossa 22 eri kohteessa. Tarkentavia sisäpuolisia kuntoarvioita tehtiin yhteensä 78 asunnossa 15 eri kohteessa. Sisäpuolisten kuntoarvioiden tulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa. Virhepistesysteemi on esitetty liitteenä 3 olevassa tarkastuslomakkeessa.

Taulukko 5.3. Ensimmäisen sisäpuolisen kuntoarvion tulokset

n= 140 asuntoa	virheluokkaan kuuluvien asuntojen / huonetilojen osuus koko ensimmäisen sisäkuntoarvion tutkimusaineistosta					
	koko asunto	keittiö	märkätilat	makuuhuoneet	olohuone	aputilat
puhtaat	14 %	50 %	27 %	64 %	86 %	91 %
1-3 virhettä	41 %	23 %	45 %	27 %	14 %	9 %
4-6 virhettä	5 %	9 %	23 %	9 %	0 %	0 %
7-10 virhettä	18 %	14 %	5 %	0 %	0 %	0 %
11-15 virhettä	14 %	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %
16-20 virhettä	9 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
yli 20 virhettä	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Taulukko 5.4. Tarkentavan sisäpuolisen kuntoarvion tulokset

n= 78 asuntoa	virheluokkaan kuuluvien asuntojen / huonetilojen osuus tarkentavan sisäpuolisen kuntoarvion tutkimusaineistosta					
	koko asunto	keittiö	märkätilat	makuuhuoneet	olohuone	aputilat
puhtaat	13 %	33 %	20 %	60 %	80 %	93 %
1-3 virhettä	7 %	53 %	40 %	40 %	13 %	7 %
4-6 virhettä	20 %	0 %	20 %	0 %	7 %	0 %
7-10 virhettä	33 %	13 %	13 %	0 %	0 %	0 %
11-15 virhettä	20 %	0 %	7 %	0 %	0 %	0 %
16-20 virhettä	7 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
yli 20 virhettä	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Sekä ensimmäisen että tarkentavan sisäpuolisen kuntoarvion tuloksista voidaan havaita, että keittiö- ja märkätilaryhmissä esiintyi huomattavasti enemmän vaurioita kuin muissa huoneryhmissä. Hylkäysperusteena olleeseen vaurioluokkaan 2 (erittäin huono) kuuluneiden havaintojen osuus oli vähäinen.

Tutkimusaineiston suppeneminen ensimmäisen ja tarkentavan kuntoarvion välillä perustui ensisijaisesti eristenäytteistä saatuihin tuloksiin. Sisäpuolisten kuntoarvioiden tuloksia käytettiin näin ollen karsintaan, jossa sisäilmavaikutusta selvittävään aineistoon saatiin sisäpuoliselta kunnoltaan mahdollisimman hyviä asuntoja. Lopullisen sisäilmatutkimusryhmän kohteet eivät sisältäneet kuntoluokkaan 2 kuuluneita virrehavaintoja, jollei mikrobikasvuston mahdollisuutta oltu suljettu pois havaintokohdasta otetulla pintasivelynäytteellä.

### 5.3 Eristenäytteiden tulokset

Taulukossa 5.5 on esitetty havaittujen mikrobiryhmien keskipitoisuudet ilmoitettuna geometrisenä keskiarvona, keskiarvon luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä ja maksimipitoisuudet. Aineistona on koottu aineisto tutkimusryhmästä ja kuntotutkimusten ja case-kohteiden näytteistä (taulukko 4.1).

Sädesienipitoisuudet nousivat korkeimmillaan tasolle  $2 \times 10^5$  cfu/g, sieni-itiöpitoisuudet samaan suuruusluokkaan eli  $1 \times 10^5$  cfu/g. Taulukossa 5.6 on esitetty tutkimusryhmän kaikista näytteissä havaitut sädesienibakteeri- ja sieni-itiöpitoisuusluokkien osuudet sekä näiden logaritmisesti kasvavien pitoisuustasojen mukaan määritetyt mikrobikasvun asteen arvioinnissa käytetyt raja-arvot. Taulukossa käytettyä jakoa on käytetty tulosten analyyseissä (kpl 6.) **Näytteistä 89.8 % oli luokiteltavissa mesofiilisen sieni- tai sädesienikasvun suhteen puhtaksi.**

Taulukko 5.5 Havaittujen mikrobiryhmien pitoisuuden geometriset keskiarvot (GM) ja luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä, sekä maksimipitoisuus (eristenäytteet tutkimusryhmän rakennuksista, n=900). cfu/g = pesäkkeen muodostava yksikkö eristegrammaa kohden.

MIKROBIRYHMÄ	GM (cfu/g)	95 % luotettavuusrajat (cfu/g)	Max (cfu/g)
Sädesienibakteerit	0.9	1.1 - 0.6	219460
Muut bakteerit	5.2	6.6 - 4.0	134920
Sienet	1.7	2.1 - 1.3	110000

Taulukko 5.6 Eristenäytteissä esiintyneen mikrobikasvun osuus tutkimusryhmän näytteistä (n=900) eri pitoisuusluokissa

	PITOISUUSALUE JA KONTAMINAATIOASTE			
	Puhdas	Lievä	Selkeä	Voimakas
Sädesienibakteerit	< 100 cfu/g	100-1 000	1 000 –10 000	>10 000 cfu/g
	92.80 %	3.40 %	2.10 %	1.70 %
Sienet	< 1 000 cfu/g	1 000 – 10 000	10000 - 100000	> 100 000 cfu/g
	95.50 %	3.50 %	0.80 %	0.20 %
Sädesienibakteerit ja/tai sienet	89.80 %	5.60 %	2.80 %	1.80 %

Havaitussa sienilajistossa (taulukko 5.7) yleisimpiä olivat *Penicillium*- ja *Acremonium* -suvut sekä *Aspergillus versicolor*. Näytteissä esiintyi erittäin vähän ulkoilmalähteeseen viittaavaa lajistoa (esim. *Cladosporium*).

Rakennusten väliset erot olivat suuret. Taulukossa 5.8 on esitetty tutkimusryhmän rakennusten eristenäytteiden eri mikrobiryhmien kasvua kuvaavat tunnusluvut.



Taulukko 5.7 Havaitut sieniryhmät eri pitoisuusalueissa. Aineistona laajennettu tutkimusryhmä. Sieniryhmät on esitetty yli 1000 cfu/g pitoisuuksissa esiintymisen osuuden mukaisessa järjestyksessä.

	Havaittu itiöitä ≥0-1 000 cfu/g	Kontaminaatioaste		
		lievä 1 000-10 000 cfu/g	selkeä 10 000 – 100 000 cfu/g	voimakas yli 100 000 cfu/g
<i>Penicillium</i>	6.76 %	2.16 %	0.34 %	
<i>Acremonium</i>	0.81 %	0.54 %	0.14 %	0.07 %
<i>Aspergillus versicolor</i>	1.28 %	0.34 %		
<i>Chrysosporium</i>	0.88 %	0.14 %	0.07 %	0.07 %
Steriilit rihmat	1.08 %	0.14 %	0.07 %	
<i>Aureobasidium</i>	0.54 %	0.20 %		
<i>Tritirachium</i>	0.41 %	0.14 %		
Coelomycetes (sis. <i>Phoma</i> )	1.15 %	0.07 %	0.07 %	
<i>Acrodontium</i>	0.07 %	0.07 %		
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0.07 %	0.07 %		
Basidiomykeetit	0.14 %		0.07 %	
<i>Cladosporium</i>	1.82 %	0.07 %		
<i>Paecilomyces</i>	0.07 %	0.07 %		
<i>Phialophora</i>		0.07 %		
<i>Rhinocladiella</i>		0.07 %		
<i>Rhodotorula</i>	0.47 %		0.07 %	
<i>Sporothrix</i>	0.27 %	0.07 %		
<i>Cryptococcus</i>	0.47 %			
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0.41 %			
<i>Oidiodendron</i>	0.20 %			
<i>Exophiala</i>	0.14 %			
<i>Fusarium</i>	0.14 %			
<i>Aspergillus niger</i>	0.07 %			
<i>Aspergillus sydowii</i>	0.07 %			
<i>Aspergillus ustus</i>	0.07 %			
<i>Chaetomium</i>	0.07 %			
<i>Stachybotrys</i>	0.07 %			
<i>Ulocladium</i>	0.07 %			

Taulukko 5.8 Mikrobikasvu rakennuksittain. Selkeä= selkeän tai voimakkaan mikrobikasvun osuus tutkituista näytteistä (sädesienipitoisuus > 1 000 cfu/g, kokonaissieni-itiöpitoisuus > 10 000 cfu/g), GM = geometrinen keskiarvo, MAX = maksimipitoisuus. Näytteiden määrä / rakennus oli 36 kpl.

Rakennuksen tunnus (Lkr.)	Sädesienibakteerit			Muut bakteerit		Sienet		
	Selkeä	GM (cfu/g)	MAX (cfu/g)	GM (cfu/g)	MAX (cfu/g)	Selkeä	GM (cfu/g)	MAX (cfu/g)
1002	28 %	69.6	219 460	35.7	10 685	0 %	3.7	5 241
1011	0 %	0.3	142	2.3	2 884	0 %	0.3	71
1027	22 %	41.9	12 230	6.6	14 474	0 %	1.1	1 242
1038	6 %	1.8	12 153	19.3	17 900	0 %	0.8	74
1040	0 %	0.0	0	1.0	68 955	0 %	2.6	7 882
1041	3 %	0.4	1 519	12.2	112 292	3 %	3.0	10 528
1048	6 %	0.9	1 269	19.3	24 375	0 %	0.4	723
1054	0 %	0.4	83	0.7	317	0 %	2.2	2 481
1057	0 %	0.0	0	0.2	556	0 %	0.0	0
1064	0 %	0.2	307	7.0	27 069	3 %	11.5	10 835
1067	0 %	0.0	0	5.1	47 019	0 %	0.9	1 884
1069	0 %	0.8	435	13.0	115 299	0 %	0.2	164
1072	3 %	0.3	15 454	2.1	15 029	3 %	3.4	106 007
1075	3 %	0.6	81 226	0.9	200	3 %	5.9	24 630
1079	3 %	0.3	3 590	14.7	56 962	3 %	2.8	28 481
1080	0 %	0.0	0	3.3	38 105	3 %	0.8	12 414
1082	0 %	0.0	0	20.9	79 874	3 %	16.1	46 474
3086	0 %	0.0	0	3.4	134 924	0 %	0.0	0
3090	0 %	0.9	306	4.0	7 772	3 %	0.7	10 518
3101	3 %	0.7	20 089	2.9	5 348	0 %	0.3	85
3106	6 %	1.3	5 883	0.6	901	0 %	0.1	66
3109	0 %	0.0	0	0.5	1 819	0 %	0.1	51
3112	0 %	0.0	0	0.4	1 287	0 %	0.2	701
3113	0 %	0.1	121	23.6	46 875	0 %	1.2	9 104

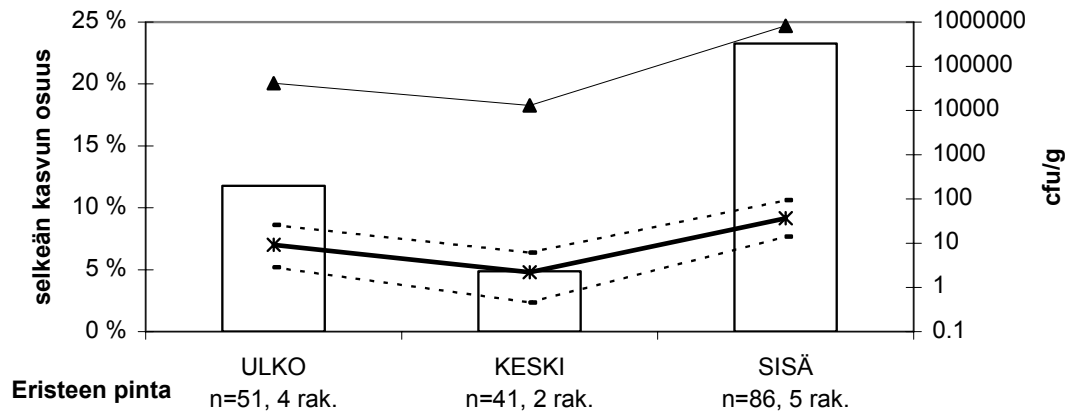
### 5.3.1 Purkukorjauskohteista saatu aineisto

Ulkokuoreltaan purettavista sandwich-elementtitaloista koostuvan täydentävän aineiston (taulukko 4.1) pitoisuustasot ja lajisto poikkesivat oleellisesti muusta aineistosta: sädesienipitoisuudet nousivat korkeimmillaan tasolle  $8 \times 10^5$  cfu/g ja sienet jopa suuruusluokkaan  $1,4 \times 10^6$  cfu/g. Julkisivultaan purettavissa rakennuksissa eristenäytteet leikattiin suoraan paljaan elementin pinnasta. Näissä ei eristettä viljelty koko eristekerroksen paksuudelta vaan ulko- ja sisäpinta sekä näyte eristekerroksen keskeltä viljeltiin erikseen. Näin mahdollisesti pintaan keskittynyt kasvu näkyi korkeampina pitoisuuksina. Lajistossa oli korkeita, yli 10 000 cfu/g pitoisuuksia Coelomyces-

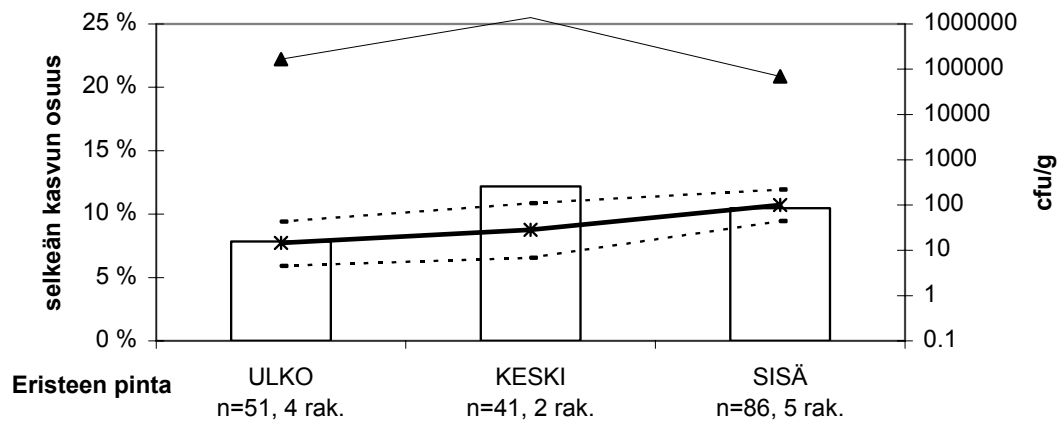
ryhmän sieniä (2.8 % näytteistä), hiivoja (2.2 %) ja *Cladosporium* -homeita (1.1 %) - mutta myös muussa aineistossa yleisiä *Penicillium*- (1.7 %), *Aspergillus versicolor* (1.7 %) sekä *Acremonium*-homeita (1.1%). Näin suuri ero havaitussa lajistossa muuhun aineistoon verrattuna ei selittyne pelkällä näytteenottotekniikalla.

Tästä aineistosta on havaittavissa, että erityisesti sädesienibakteerit esiintyvät poikkeavan runsaina eristeen sisäpinnalla (kuva 5.2).

### A. SÄDESIENIBAKTEERIT



### B. SIENET



Selkeän kontaminaation osuus       MAX  
 \* GM      luotettavuusrajat (95%)

Kuva 5.2. Mikrobien esiintyminen puretusta julkisivusta otetuissa eristenäytteissä eri kohdilla eristekerrosta. Pylväs = sädesienillä yli 1000 cfu/g ja sienillä yli 10 000 cfu/g pitoisuuksina esiintyneiden näytteiden osuus eristekerroksittain. GM = geometrinen keskiarvo, luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä on esitetty katkoviivalla. MAX = maksimipitoisuus. n = eristenäytteiden määrä. rak = rakennusten määrä.

## 5.4 Ilmanäytteiden tulokset

Taulukoissa 5.9, 5.10 ja 5.11 on esitetty tutkittujen mikrobiryhmien pitoisuudet asunnoissa ja ulkoilmassa. Ulkoilma-arvoissa on esitetty vain todelliset mittaukset; so. osalla sisäilmamittauksista ei ole ulkoilmakontrollia, koska ulkoilmaa ei voitu mitata pakkasesta tai lumisateesta johtuen. Tutkimusasuntoina on tässä esitetty ne asunnot, joiden vastaavissa elementeissä korkein havaittu eristeen sädesienibakteeripitoisuus oli  $> 100 \text{ cfu/m}^3$  ja sieni-itiöpitoisuus oli  $> 1\,000 \text{ cfu/m}^3$ . Muut olivat kontrolliasuntoja. Muiden bakteerien (ei sädesienibakteerit) suhteen asunnot on niinkään jaettu asuntoa vastaavan elementin eristeessä havaitun maksimipitoisuuden perusteella ( $> 10\,000 \text{ cfu/g}$ ).

*Taulukko 5.9 Ilmanäytteissä havaittujen sädesienien pitoisuuden geometriset keskiarvot (GM) ja luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä, minimi- ja maksimipitoisuus sekä  $10 \text{ cfu/m}^3$  ylittävien mittausten osuus kaikista toistoista. n = näytteiden määrä (kaikki toistot yhteensä)*

SÄDESIENIBAKTEERIEN PITOISUUS ILMASSA						
	n	GM ( $\text{cfu/m}^3$ )	95 % luotettavuusrajat ( $\text{cfu/m}^3$ )	min. ( $\text{cfu/m}^3$ )	max. ( $\text{cfu/m}^3$ )	> 10 ( $\text{cfu/m}^3$ )
Tutkimus- asunnot	141	1.5	1.1-2.0	0	45	7.8 %
Verrokki- asunnot	76	1.0	0.6-1.5	0	21	5.3 %
Ulkoilma	25	0.9	0.5 - 1.4	0	10.5	4.0 %

*Taulukko 5.10 Ilmanäytteissä havaittujen muiden bakteerien kuin sädesienien pitoisuuksien geometriset keskiarvot (GM) ja luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä sekä minimi- ja maksimipitoisuus kaikista toistoista. E = asuntoa vastaavan elementin eristeessä korkein havaittu bakteeripitoisuus, n = näytteiden määrä (kaikki toistot yhteensä).*

MUIDEN BAKTEERIEN PITOISUUS ILMASSA					
	n	GM ( $\text{cfu/m}^3$ )	95 % luotettavuusrajat ( $\text{cfu/m}^3$ )	min. ( $\text{cfu/m}^3$ )	max. ( $\text{cfu/m}^3$ )
E > 10 000 cfu/g	76	346.6	258.2 - 465.2	19	15144
E ≤ 10 000 cfu/g	147	324.9	258.5 - 408.3	2	20407
ULKOILMA	31	51.6	26.5 - 99.6	0	1694

Taulukko 5.11 Ilmanäytteissä havaittujen kokonaissieni-itiöpitoisuuksien geometriset keskiarvot (GM) ja luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä, minimi- ja maksimipitoisuus sekä 100 cfu/m<sup>3</sup> ja 500 cfu/m<sup>3</sup> ylittävien mittausten osuus kaikista toistoista. n = näytteiden määrä (kaikki toistot yhteensä).

SIENI-ITIÖPITOISUUS ILMASSA							
	n	GM (cfu/m <sup>3</sup> )	95 % luotettavuusrajat (cfu/m <sup>3</sup> )	min. (cfu/m <sup>3</sup> )	max. (cfu/m <sup>3</sup> )	> 100 (cfu/m <sup>3</sup> )	> 500 (cfu/m <sup>3</sup> )
Tutkimus- asunnot	146	58.8	47.5 - 72.7	2	1784	31.5 %	6.2 %
Verrokki- asunnot	76	51.2	41.2 - 63.5	9	488	22.4 %	0.0 %
Ulkoilma	31	79.5	41.5-151.4	0	4158	48.4 %	9.7 %

## 5.5 Ilmavuotojen ja sisäpuolisen tiivistyksen tehokkuuden tutkiminen case-kohteessa

### 5.5.1 Taustaa

Julkisivun kautta sisätiloihin tulevien ilmavuotojen esiintymistä ja sisäpuolisen tiivistyksen vaikutusta ulkokuoresta tulevaan mikrobikontaminaatioon tutkittiin kokeellisesti case-kohteessa.

Havaitun sisäilmaongelman tarkempaa kartoittamista varten tilasta otettiin useita sisäilmanäytteitä. Pahiten kontaminoituneen huonetilan ulkoseinäelementti osastoitiin muusta huonetilasta ja muodostunut kammio alipaineistettiin ulkoilmaan nähden. Kokeessa tutkittiin ulkoseinäelementin läpi tulevia ilmavirtauksia sekä niiden vaikutusta kammion ilman mikrobipitoisuuksiin.

Tutkittu rakennus on tunnukseltaan Lkr. 1058. Rakennuksesta oli löydetty merkittäviä mikrobilöydöksiä eristenäytteistä ja sisäilmamittauksista (kuva 5.3 ja taulukko 5.12). Asunnon 1058-9 sisäilman sädesienibakteeripitoisuudet olivat merkittävästi koholla. Kohonneet tasot varmistettiin uusintamittauksin.

Tutkittava tila oli huoneiston keittiö. Vastaava ulkoseinäelementti oli maalattupintainen ruutuelementti, joka ei ollut kantavaa rakennetta. Keittiön alkuperäiseen varustukseen oli kuulunut ns. kylmäkomero, johon oli johdettu ulkoseinäelementin läpi metalliset tuuletusputket seinän ylä- ja alaosaan (tyypillinen rakenne 1960-luvun rakennuksissa). Kylmäkomeron käyttötarkoitusta oli myöhemmin muutettu siten, että putken sisään oli asennettu lämmöneristettä, mutta putken ulkopinnan ja elementin välistä rakoa ei ollut tiivistetty.

### 5.5.2 Tilanteen kartoitus ja koejärjestelyt

Keittiön ulkoseinää vastaavilta seiniltä poistettiin jalkalistat, verhonkannattimet, ikkunalistoitukset sekä kylmäkomeron ja ulkoseinäelementin välissä oleva peitelevy.

Ilmavirtausten ja paine-erojen mittauksiin käytettiin *TSI VelociCalc 8388 Plus* -mittaria. Ulkoseinän läpi kylmäkomeroon tulevien tuuletusputkien ja elementin sisäkuoren välisestä raosta havaittiin voimakasta ilmavirtausta. Asunnon ikkunat olivat suljettuina. Ilmanvaihto oli ko. talolle normaalilla päiväaikateholla. Alimmaisen putken kohdalla virtausnopeus oli paikallisesti lähes 5 m/s. Ilmamäärää tai vuotokohtien pinta-alaa ei pystytty mittaamaan, mutta silmämääräisen arvion mukaan putken ja elementin välinen rako oli noin 1 mm. Ylemmän tuuletusputken vieressä virtausnopeus oli suurimmillaan 1.3 m/s. Molemmissa vuotokohdissa ilmavirtauksen pystyi selvästi havaitsemaan ihon pinnalla. Näiden havaittujen ilmavuotokohtien lähistöltä otettiin pintasivelynäytteet (taulukko 5.13) MEA, THG- ja DG-18-agarille ks. kpl 4.5.3 ja 4.7.3, /61/. Näytteet otettiin kylmäkomeron ja seinän välisestä tilasta ilmavirtausten todennäköisten reittien kohdalta. Näytteenottokohdissa oli havaittavissa pinnan tummuusasteen muutoksia mutta ei silmämääräisesti havaittavaa kasvustoa.

Kylmäkomeron ja ulkoseinän välisen tilan alaosa erotettiin polyeteenimuovista rakennetulla hupulla alaputken ympärillä oleva tila (korkeus 700 mm, leveys 150 mm ja syvyys 600 m) josta otettiin sisäilmanäyte. Tästä tilasta käytetään tunnusta ”komero”.

### **Alipaineistettu tila**

Keittiön sisälle ulkoseinän viereen seinälle rakennettiin kevytrakenteinen tiivistysseinä 0.2 mm polyeteenimuovista ja rimarungosta. Tästä tiivistysseinän ja ulkoseinän välisestä tilasta käytetään tunnusta ”kammio”. Kammion tilavuus oli n. 4.3 m<sup>3</sup>. Runkorimojen ja seinä- ja lattiapintojen väli tiivistettiin p-tiivistysnauhalla ja muoviteippauksella. Kammio alipaineistettiin HEPA -luokan suodattimilla varustetulla imurilla. Kammion alipaineistus voitiin säätää halutun suuruisiksi. Kammion mikrobipitoisuus alkutilanteessa selvitettiin sisäilmanäytteillä.

Kylmäkomeron tuuletusputken sisäkautta johdettiin putki ulkoilmasta huonetilaan ja putkessa ollut mineraalivillatulppa asennettiin takaisin. Ulkoseinäelementtiin porattiin reikä jonka kautta johdettiin putki kammion sisältä eristetilaan. Kammion läpi johdettiin putki huoneilmaan. Putkia yhdistämällä pystyttiin mittaamaan paine-erot huoneilman, kammion, eristetilan ja ulkoilman välillä. Putkenpäät pidettiin tulpattuina mittausten välillä.

Testausvaiheessa kammioon imettiin 200 Pa alipaine, joka kuitenkin nopeasti säädettiin halutulle 50 Pa tasolle. Testivaiheen aikana mitattiin rankaseinästä tapahtuvia ilmavuotoja, joita tiivistettiin siten, että testivaiheen jälkeen ei rankaseinässä ja sen liitoksissa ollut enää merkittäviä ilmavuotoja (ilmavirtausnopeudet olivat alle 0.1 m/s). Kammion testaamisen jälkeen mitattiin rakenteen yli vaikuttavat paine-erot ja ilmavirtaukset sekä normaalikäyttötilassa (kammio avoinna) että keinotekoisien alipaineen (50 Pa) vallitessa.

Elementin alasauman juotosbetonissa oli runsaasti halkeamia ja alasaumasta mitattiin useasta kohdin ilmavuotoja. Niiden aiheuttamat virtausnopeudet olivat kuitenkin pieniä, 0.15 - 0.5 m/s. Ikkuna oli ns. valukarmi, jossa muovilla suojattu ikkunakarmi on asetettu suoraan elementtimuottiin. Betonin kutistuessa saumaan syntyneistä halkeamista mitattiin useasta kohdin 0.15 - 0.25 m/s ilmavirtauksia. Nopeuksista voidaan päätellä, että virtauskohdat olivat pinta-alaltaan pieniä, jolloin virtausnopeudet alenevat välittömästi reiän ulkopuolella.

Ulkoseinäelementin läpi huonetilaan tulevia mikrobeja tutkittiin siten, että rakennettu kammio alipaineistettiin 50 Pa:n alipaineeseen ulkoilmaan nähden neljän tunnin ajaksi. Kammion mikrobipitoisuuksia tutkittiin ottamalla ilmanäytteet kolmena toistona (Andersen-kerääjät, MEA ja THG-agar) ennen alipaineistusta ja sen jälkeen. Alipaineistusjakson aikana ulkoseinäelementin läpi tulevat hiukkaset kertyivät kammion ilmatilaan ilman nopeuden laskeutessa halkeaman tai muun vuotoreitin ulkopuolella kammion suuresta tilavuudesta johtuen.

### 5.5.3 Tiivistävät korjaukset

Elementin alasauma ja ikkunaliitos tiivistettiin elastisella kitillä SikaFlex 11-F ja 1-A avaamalla saumaa taltalla. Ikkuna-aukon reunoilta betonia poistettiin siten, että kittisauman vahvuudeksi saatiin noin 5 mm. Elementin alasaumassa juotosbetonia jouduttiin poistamaan laajemmalla alueella juotosmassan heikon lujuuden takia. Elementin sisäkuori oli osittain vain 20 mm paksu, joten mineraalivillat tulivat paikoitellen näkyviin. Alasauman kittikerroksen leveys oli n. 30 mm ja paksuus 15 - 20 mm. Kylmäkomeron ilmaputkien vieressä olleet vuotokohdat tiivistettiin elastisella kitillä, koska putkia ei voitu koetilanteessa poistaa ilman taloyhtiön lupaa.

### 5.5.4 Korjausten jälkeinen alipaineistus

Tiivistystyöt tehtiin kammion sisäpuolelta ja niiden jälkeen kammion alipaineistus uusittiin taas 50 Pa alipaineeseen ja mitattiin uudelleen ulkoseinän läpi tulevia ilmavuotoja. Ilmavirtausmittarilla havaittiin ainoastaan yksi tuoreeseen kittiin mahdollisesti alipaineen takia syntynyt reikä (halkaisija noin 1 mm, ilmavirtaus n. 3 m/s), joka tukittiin painamalla kittiä paremmin betonin pintaan kiinni. Tämän jälkeen ei ulkoseinäelementistä löydetty enää yhtään ilmavuotokohtaa. Entisen kylmäkomeron putket eivät sijainneet alipaineistettavalla alueella, mutta niiden ympäriltä ei enää havaittu ilmavuotoja.

### 5.5.5 Tulokset

#### Tilanne ennen korjauksia

Asunnon Lkr.1058-9 tutkitun huoneen kohdalla olevan ja viereisten elementtien eristenäytteiden mikrobimääritykset on esitetty kuvassa 5.3. Ennen korjauksia ja korjausten jälkeen tehdyt sisäilman mikrobiologisen laadun mittausten tulokset on esitetty taulukossa 5.12.

Kylmäkomeron eri pinnoilta havaitut mikrobiryhmät ja niiden suuruusluokat on esitetty taulukossa 5.13. Kylmäkomerotilaan liittyvillä pinnoilla esiintyi runsaasti sekä sädesienibakteereja että homeitiöitä. Vallitsevana lajistona olivat *Penicillium*, *Aspergillus* ja *Cladosporium* -suvut. Sädesienibakteereja esiintyi runsaasti vain osassa näytteitä.

#### Alipaineistuskoe

Ulkoseinää vasten rakennetun alipainekammion paine-eromittausten tulokset on esitetty taulukossa 5.14. Paineistuksessa tapahtuneet sisäilman laadun muutokset on esitetty kuvissa 5.4. ja 5.5.

Asunnon mikrobikontaminaatio on todennäköisesti peräisin elementin villatilassa kasvavista kasvustoista, mutta mikrobien kulkeutuminen tapahtui lähes yksinomaan kylmäkomeroiden tuuletusputkien ulkopintojen ja betonielementin välisistä raoista. Koska rakenteeseen jätetyt tuuletusputket olivat metallia, niin sisäilman kosteuden tiivistyminen metalliputken ulkopintaan on todennäköisesti lisännyt mikrobikasvua eristetilassa ja seinärakenteen sisäosissa.

**Alipaineistuskokeessa elementin läpi tapahtui huomattavia ilmavuotoja.** Koejärjestelyn aikana ilmavirtojen mukana kulkeutuneessa lajistossa pääpaino ei ollut asunnotilassa aiemmin havaitussa lajistossa (*Aspergillus*, *Penicillium*), vaan ulkoilman lajistoilla (muut homesienet, basidiomykeetit, hiiwasienet) (Kuva.5.4). Sädesienibakteerien pitoisuudet eivät lisääntyneet paineistuksen aikana (Kuva.5.5).

### **Korjaustoimet**

**Tiivistävillä korjaustoimilla pystyttiin estämään ulkoseinäelementin läpi tulevat ilmavuodot.** Tässä tapauksessa tärkeimpänä tiivistystyönä on kylmäkomeron tuuletusputkien poistaminen ja aukkojen tukkiminen. Seurantamittausten välillä taloyhtiö oli teettänyt julkisivujen saumojen korjauksia, mutta nämä toimenpiteet eivät olleet vielä ehtineet muuttaa eristetilan kosteustilannetta, eivätkä siten häirinneet asunnoissa tehtäviä seurantamittauksia.



		o	o	+ aa
Asunto lkr. 1058-10			+	Asunto lkr. 1058-2
AA S +	+ AA	o	+	AA+ +AA
o	o	+ S	o	AA+ + A S + S
AA S +	o	Asunto lkr. 1058-9	keittiö	o
o	o	o	o	Asunto lkr. 1058-3
		o	o	o
		o	o	o
+		o	+SS	A +
			o	+ S
				o
		o		o

o EI HAVAINTORAJAN YLITTÄVIÄ MÄÄRIÄ SIENIÄ / SÄDESIENIÄ

+ HAVAINTORAJAN YLITTÄVIÄ MÄÄRIÄ SIENIÄ / SÄDESIENIÄ

A SÄDESIENIBAKTEEREJA 100-1000 cfu/g

AA SÄDESIENIBAKTEEREJA 100-1000 cfu/g

S SIENI-ITIÖPITOISUUS 1000-10000 cfu/g

SS SIENI-ITIÖPITOISUUS 1000-10 000 cfu/g

Kuva 5.3 Alipaineistuskokeissa tutkitun ja viereisten elementtien mikrobivauriot. Asunnon Lkr.1058-9 keittiön kylmäkomoeroalue merkitty tummennuksella.

Taulukko 5.12. Sisäilman sieni-itiöpitoisuudet (A) ja sädesienipitoisuudet (B) (cfu/m<sup>3</sup>) rakennuksessa Lkr. 1058 ja ulkoilmakontrolli. k = keittiö, h1 ja h2 = muut mitatut huonetilat. Tiivistyskorjaukset suoritettu asunnossa 1058-9. Asunto 1058-9 ilmaistu taulukossa tummennettuna.

## A

Pvm.	Mittaustilanne / toimenpiteet	Kokonaissieni-itiöpitoisuus (cfu/m <sup>3</sup> )									
		Mitattu asunto (Lkr.-tunnus) /tila								ulkoilma	
		1058-4 /k	1058-3 /k	1058-2 /k	1058-9 /k	1058-9 /h2	1058-9 /h1	1058-10 /k	1058-12 /k		
13.5.97	Mittaus 1	55	107	27	160				*59	23	63
27.5.97	Varmistusmittaus				76	55	84				116
<b>30.7.97, Tiivistyskorjaukset asunnossa 1058-9</b>											
11.11.97	Seuranta a1.	111	50	21	179	71	29	57	36		117
9.1.98	Seuranta a2.	12	30	17	11	4	10	6	11		71
<b>1998 kevät, Saumojen korjaukset: koko julkisivu</b>											
17.1.99	Seuranta b1.	78	37	25	27	25	32	34	42		144
8.2.99	Seuranta b2.	11	9	0	4	11	11	2	19		-
10.3.99	Seuranta b3.	6	9	19	**8	**75	**16	4	**2		-

## B

Pvm.	Mittaustilanne / toimenpiteet	Sädesienipitoisuus (cfu/m <sup>3</sup> )								
		Mitattu asunto (Lkr.-tunnus) /tila								ulkoilma
		1058-4 /k	1058-3 /k	1058-2 /k	1058-9 /k	1058-9 /h2	1058-9 /h1	1058-10 /k	1058-12 /k	
13.5.97	Mittaus 1	25	4	4	420			*25	0	0
27.5.97	Varmistusmittaus	-	-	-	215	116	204	-	-	9
<b>30.7.97, Tiivistyskorjaukset asunnossa 1058-9</b>										
11.11.97	Seuranta a1.	10	0	0	24	38	10	24	21	2
9.1.98	Seuranta a2.	0	0	0	29	14	17	38	17	0
<b>1998 kevät, Saumojen korjaukset: koko julkisivu</b>										
17.1.99	Seuranta b1.	21	0	0	14	19	12	7	5	0
8.2.99	Seuranta b2.	5	0	0	7	12	2	0	0	-
10.3.99	Seuranta b3.	0	0	10	**7	**14	**9	5	**0	-

\* ikkuna ollut auki välittömästi ennen mittausta

\*\* kukkamullan vaihto mittaussviikolla

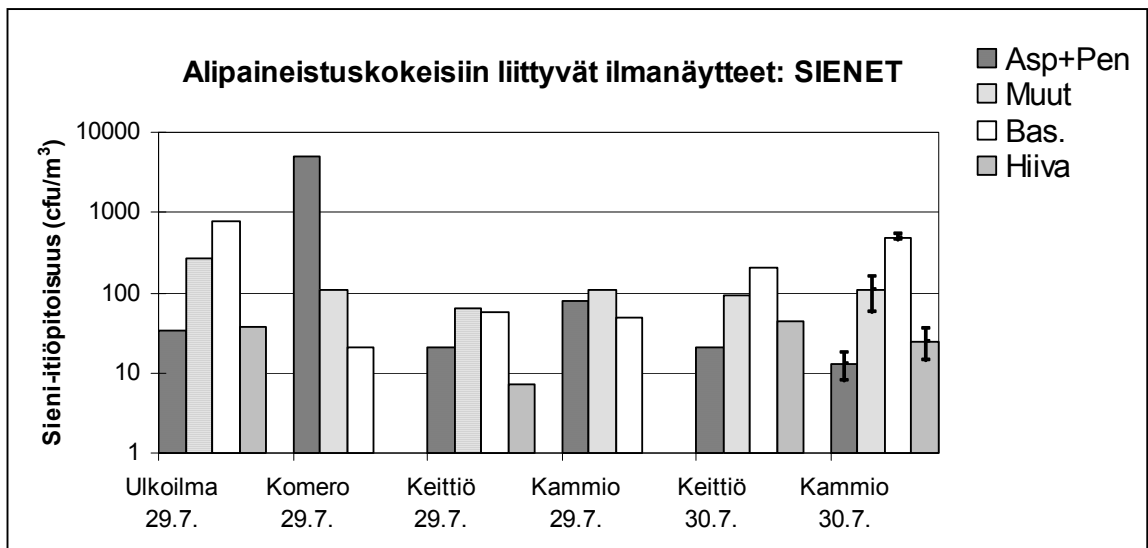
- ei mittausta

Taulukko.5.13 Kylmäkomeron ja ulkoseinäelementin välitilasta (KOMERO) otetut pintasivelynäytteet

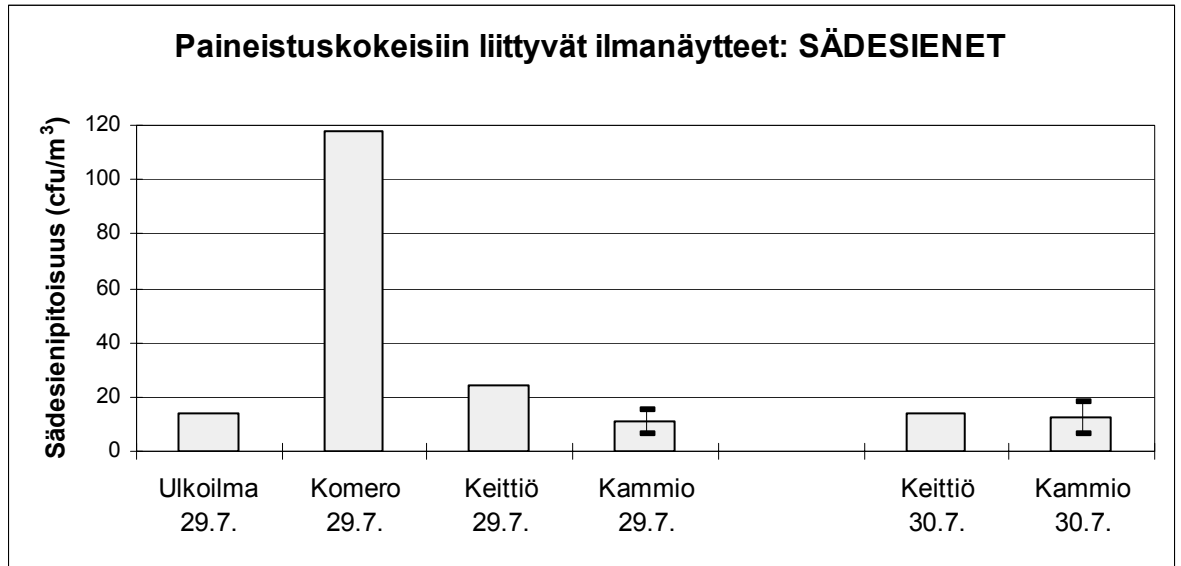
Näyte	Sädesieni- bakteerit	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet
A Alatuuletusputken pelti- pinnasta ulkoseinän juuressa	+++	<i>Penicillium</i> +++ <i>Cladosporium</i> ++	<i>Cladosporium</i> +++ <i>Penicillium</i> +++ <i>Asp spp.</i> <i>Eupenicillium</i> ++ <i>Eurotium</i> ++ steriili rihma +++ basidiomykeetit ++
B Kaapiston alakokkelilevyn yläpinnasta (peitelevyn ja sokkelin välissä oli ilmarako, josta välitilan ilma oli päässyt huoneistoon)	+++	<i>Penicillium</i> ++++ <i>Aspergillus ustus</i> +++ <i>Cladosporium</i> +++ <i>Aspergillus ochraceus</i> ++ <i>Chaetomium</i> ++ <i>Paecilomyces</i> ++	<i>Penicillium</i> ++++ <i>Cladosporium</i> ++++ <i>Aspergillus versicolor</i> +++ <i>Aspergillus clavatus</i> ++ <i>Aspergillus ochraceus</i> ++
C Ylätuuletusputken ympäriltä betonipinnasta	+++	<i>Penicillium</i> +++	<i>Penicillium</i> ++
D Kaapiston yläsokkelin ja peitelevyn välisen raon kohdalta ulkoseinän betoni- pinnasta (kohdassa oli ilma- virtauksen jättämä pöly- / likajälki)	-	<i>Aspergillus ustus</i> ++ <i>Cladosporium</i> ++ <i>Paecilomyces</i> ++ <i>Penicillium</i> ++ <i>Cryptococcus</i> +	<i>Aspergillus ustus</i> ++
E Alatuuletusputken ympäriltä betonipinnasta	-	<i>Penicillium</i> +++ <i>Aspergillus ustus</i> + <i>Aspergillus ochraceus</i> +	<i>Penicillium</i> ++

Taulukko 5.14 Paine-eromittausten tulokset eri koevaiheissa. Mittauspiste 1 on keittiö, 2 on ulkoilma, 3 on eristetila ja 4 on rakennettu alipaineistuskammio (kammio).

Mitatut paine-erot						Laskennalliset paine-erot ulkoilmaan nähden		
PAINE-ERO (Pa) =>	1 - 2	1 - 3	1 - 4	3 - 4	4 - 2	keittiö	eristetila	kammio
Alkutilanne ennen kammion rakentamista	-15	-5	-	-	-	-15	-10	-
Ensimmäinen alipaineistus	-16	-	52	17	43	-16	-42	-68
3 tunnin alipaineistuksen jälkeen	-17	14	52	-	-	-17	-31	-69
Alipaineistuksen poistamisen jälkeen	-15	-6	0	-	-	-15	-9	-15
Mitatut paine-erot						Laskennalliset paine-erot ulkoilmaan nähden		
PAINE-ERO (Pa) =>	1 - 2	1 - 3	1 - 4	3 - 4	4 - 2	keittiö	eristetila	kammio
Alkutilanne ennen kammion rakentamista	-15	-5	-	-	-	-15	-10	-
Ensimmäinen alipaineistus	-16	-	52	17	43	-16	-42	-68
3 tunnin alipaineistuksen jälkeen	-17	14	52	-	-	-17	-31	-69
Alipaineistuksen poistamisen jälkeen	-15	-6	0	-	-	-15	-9	-15



Kuva.5.4 Paineistuskokeisiin liittyvät sieni-itiöpitoisuudet ilmassa. Asp+Pen = Aspergillus- ja Penicillium-suvut. Muut = Muut homesienet. Bas. = basidiomykeetit, Hiiva = hiivasienet. Komero = kylmäkomeron ja ulkoseinän välinen osastoitu tila. Keittiö = tausta-arvot tutkittavasta tilasta. Kammio = alipaineistettava tila keittiön ulkoseinää vasten (30.7. mittauksessa kolmen toiston keskiarvo ja keskivirhe). Keittiön ja kammion arvot on esitetty ennen alipaineistusta (29.7.) ja alipaineistuksen jälkeen (30.7.). Ulkoilman tausta-arvot puuttuvat 30.7. yhtenäisen sateen vuoksi.



*Kuva.5.5 Paineistuskokeisiin liittyvät sädesienipitoisuudet ilmassa. Komero = kylmäkomeron ja ulkoseinän välinen osastoitu tila. Keittiö = tausta-arvot tutkittavasta tilasta. Kammio = alipaineistettava tila keittiön ulkoseinää vasten (kolmen toiston keskiarvo ja keskivirhe). Keittiön ja kammion arvot on esitetty ennen alipaineistusta (29.7.) ja alipaineistuksen jälkeen (30.7.). Ulkoilman tausta-arvot puuttuvat 30.7. yhtenäisen sateen vuoksi.*

## 6 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYYSI

### 6.1 Mikrobikasvuston esiintyminen eristetilassa

#### 6.1.1 Havaitun mikrobikasvun merkityksen arvioiminen

Elementtien ja rakennusten mikrobivaurioitumisen arvioinnissa käytetty asteikko on esitetty taulukossa 6.1. Luokat on jaettu logaritmisesti kasvavien näytepainoon suhteutettujen pitoisuustasojen mukaan. Tässä yhteydessä vain kasvukykyisten mesofiilisten sienten tai sädesienibakteerien esiintyminen on huomioitu.

*Taulukko 6.1 Mikrobikontaminaation arvioinnissa käytetty asteikko*

Kontaminaatioaste	Mikrobiryhmä	
	Sienet	Sädesienibakteerit
Ei kontaminaatiota	0 - 1 000 cfu/g	0 - 100 cfu/g
Lievä kontaminaatio	1 001 – 10 000 cfu/g	101 – 1 000 cfu/g
Selkeä kontaminaatio	10 001 – 100 000 cfu/g	1 001 – 10 000 cfu/g
Voimakas kontaminaatio	> 100 000 cfu/g	>10 000 cfu/g

Sienikasvua tai selkeää kontaminaatiota kuvaavaksi pitoisuudeksi määritettiin yli 10 000 cfu/g. Vastaavasti selkeäksi sädesienikontaminaatioksi määritettiin yli 1 000 cfu/g oleva pitoisuus. Pitoisuusero johtuu siitä, että sädesienien katsotaan tässä yhteydessä kertovan ajoittaisesta liiallisesta kosteudesta eristeissä selkeämmin kuin mahdollisesti ulkoilmasta/asuntoilmasta eristeeseen kertyneet homeitiöt. Esimerkiksi sädesieni-itiöiden kulkeutuminen maaperästä toisen kerroksen elementteihin saakka on epätodennäköistä.

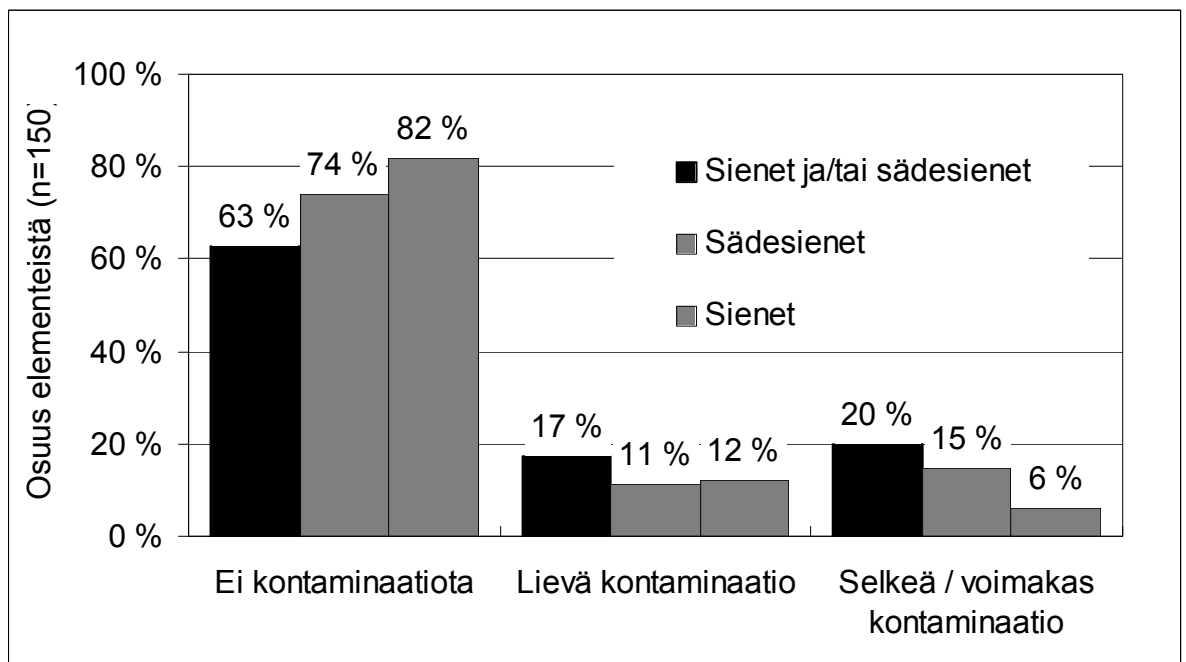
Lievää kontaminaatiota, eli todennäköisesti elementin eristetilassa paikasta toiseen kulkeutunutta itiöstöä, kuvaaviksi pitoisuuksiksi määritettiin sienille yli 1 000 cfu/g ja sädesienibakteereille yli 100 cfu/g:n pitoisuus. Muille bakteereille ei vastaavia rajoja käytetty. Vaikka muissa bakteereissa epäilemättä onkin eristeissä kasvavia, mahdollisesti sisäilma-altistusta aiheuttavia ryhmiä, käytetty analyysimenetelmä on liian karkea.

Lievän kontaminaatioluokan käyttämisellä pyrittiin huomioimaan myös näytteenottomenetelmä, jossa eristenäyte otetaan koko eristekerroksesta. Tällöin mahdollisesti vain eristeen pintakerroksessa esiintynyt mikrobikasvu havaitaan suhteellisesti sitä pienempänä pitoisuutena, mitä paksummasta eristeestä näyte otetaan.

### 6.1.2 Yleisyys

Vaikka aineiston yksittäisten näytteiden määrä oli suuri (1534), esiintyi ainoastaan 4,8 %:ssa tutkimus- ja täydentävän ryhmän näytteistä selkeästi mikrobikontaminaatiota, joko sädesieni- tai sienikasvua. 88,7 % näytteistä oli luokiteltavissa puhtaksi. Koko aineistossa selkeästi kontaminoituneiden osuus oli 6,6 %.

Tutkituista elementeistä 63 % oli luokiteltavissa täysin puhtaksi (kuva 6.1). Tutkimusryhmän rakennuksista 48,3 %:ssa ei ollut edes lievää mikrobikontaminaatiota. Vauriot keskittyivät voimakkaasti osaan rakennuksia. Tutkimusryhmän taloista kahdessa (8 %) esiintyi selkeää sieni- tai sädesienikasvua viidessä kuudesta tutkituista elementistä, useimmiten monessa kohdin elementtiä.



Kuva 6.1 Mikrobikontaminaation osuus tutkituista elementeistä (tutkimusryhmä). Elementit on arvioitu kontaminoituneiksi, jos yksikin tutkituista pisteistä oli kontaminoitunut. Vaurioasteet ks. Taulukko 6.1.

### 6.1.3 Elementin eri osat

Eristetilassa havaittu mikrobikasvu vaihtelee elementin eri osien välillä (Taulukko 6.2.). Elementtien laitaosat lähellä saumojen mahdollisia vuotokohtia olivat odotetusti mikrobivaurioituneita. Yllättävästi ruutuelementin keskiosissa, etäällä sauma-alueelta, havaittiin kuitenkin yhtä paljon mikrobikasvua kuin elementin laidoilla. Tällä alueella kasvustot olivat nimenomaan aktinomykeettejä. Ikkuna-aukon alapuolella olevat osat arvioitiin mahdollisten pellityksessä ja karmien asennuksessa tapahtuneiden virheiden vuoksi kosteusteknisesti riskialttiiksi. Sekä heti ikkuna-aukon alapuolella, että ikkunan alapuolella alasauman läheisyydessä havaittiin kuitenkin suhteellisesti katsoen vähän kasvustoja. Lämpöpatterien sijoittaminen asuinkerrostaloissa tyypillisesti ikkunan alle muuttaa myös ulkoseinän lämpö- ja kosteusoloja ja voi selittää ikkunanalaisen eristetilän puhtauden.

Taulukko 6.2 Mikrobikontaminoituneiden näytteiden osuus elementin eri osista otetuissa näytteissä. Aineistona kaikki systemaattisesti poratut elementit (ks. 4.5.2.). n = näytemäärä.

Elementin alue	n	Mikrobikontaminaation osuus (sädesienibakteerit ja/tai sienet)	
		Lievä	Selkeä / voimakas
Yläreuna, keskellä	199	11.1 %	4.0 %
Yläkulma	199	10.6 %	3.5 %
Elementin sivu	199	9.5 %	5.5 %
Ikkunan alla	199	6.0 %	0.5 %
Alareuna	199	5.5 %	3.0 %
Elementin keskellä	192	12.5 %	5.7 %

#### 6.1.4 Havaitut mikrobiryhmät

Rakennusekologisesti kiintoisa havainto on, että kosteusvauriomikrobeista nimenomaan sädesienibakteerit eli aktinomykeetit suosivat elementtien eristetilaa, sienet eivät. Tutkitussa aineistossa selvien homesieni- ja sädesienibakteerikasvustojen yhteisesiintyminen oli suhteellisesti harvinaista (Taulukko 6.3).

Taulukko 6.3 Sädesieni- ja sienikontaminaation osuudet tutkimus- ja täydentävän ryhmän kaikissa näytteissä (n=1534).

Kontaminaatioaste	Vain sädesieniä	Vain sieniä	Sieniä ja sädesieniä
Vähintään lievä kontaminaatio	6.1 %	3.0 %	1.4 %
Vähintään selvä kontaminaatio	3.8 %	0.8 %	0.2 %

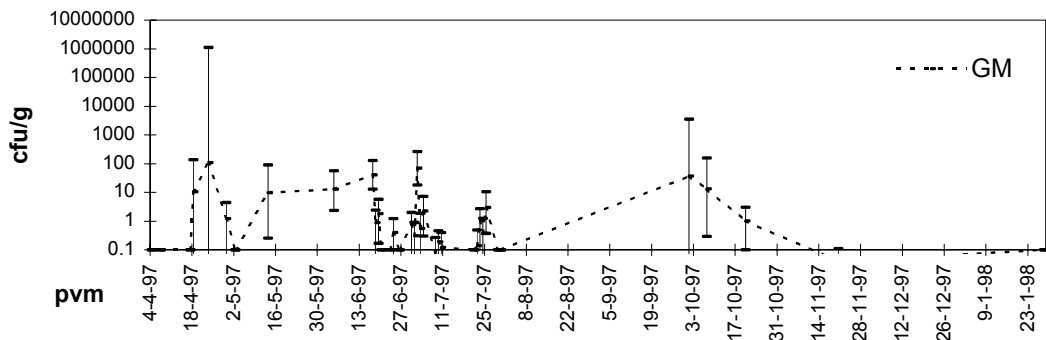
Sienistä yleisin oli *Penicillium* -suku. Osittain suvun yleinen esiintyvyys voi johtua itiöiden pitkäikäisyydestä - kuivuutta sietävien *Penicillium* -itiöiden on todettu säilyttävän elävyytensä kuukausia, jopa vuosia, kuivissa olosuhteissa /mm. 62/. Rakennuksissa esiintyvässä mikrobisuknessiossa *Penicillium* ja *Aspergillus* -suku on luokiteltu ”pioneereiksi”. Niiden ravinne- ja kosteusvaatimukset ovat erittäin vähäiset. Aineistossa yleiset ryhmät, *Aspergillus versicolor* ja *Acremonium* -lajit ovat kirjallisuuden mukaan yleisiä eristemateriaaleissa /13/.



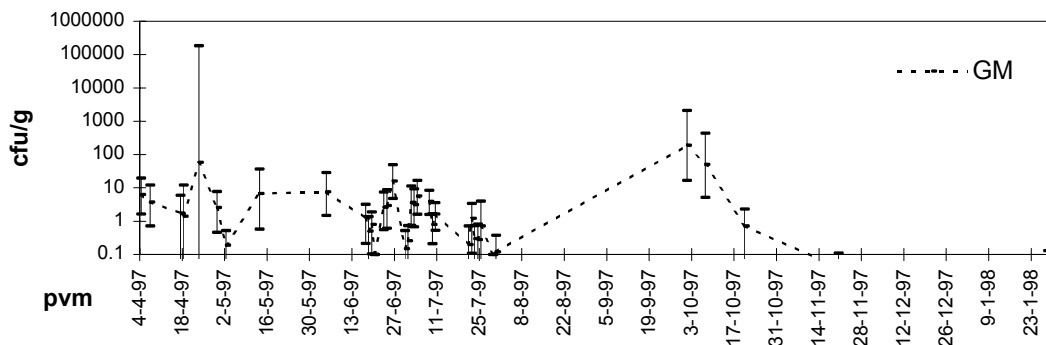
Tässä tutkimuksessa ulkokuoren purun yhteydessä poikkeavalla näytteenottomenetelmällä saatujen näytteiden lajisto poikkesi olennaisesti muusta aineistosta (ks. kpl 5.3.1). Näissä rakennuksissa havaittu lajisto vastaa kivipinnoilta, esimerkiksi patsailta, eristettyä lajistoa /30/, ja oli myös yhteneväisempi Pessin ja muiden /43/ tutkimuksessa havaitun lajiston kanssa.

Ulkoilmalähteeseen viittaavaa lajistoa (erityisesti *Cladosporium*) ei juurikaan esiintynyt muussa aineistossa. Ulkoilman sieni-itiöpitoisuudet nousevat kasvukauden loppua kohden ja ovat huipussaan heinäkuun puolivälistä elokuun loppuun. Kuvassa [Kuva 6.2] on esitetty sienien ja sädesienibakteerien esiintyminen eristenäytteissä eri näytteenottopäivinä. Kesän edetessä pitoisuudet eivät kohonneet varsinaisessa tutkimusryhmässä. 1.10.97 (6 näytettä) ja 7.10.97 (15 näytettä) otettujakolmen rakennuksen näytteitä ei otettu systemaattisesti, vaan otettiin kuntotutkimustaloissa poikkeavan huonokuntoisista elementeistä. Näytteenottoajankohta ei todennäköisesti vaikuttanut porausmenetelmällä saatuihin näytteisiin eli porausmenetelmällä tehtyyn näytteenottoon ei näytä liittyvän suurta kontaminaatoriskiä.

### A. SÄDESIENIBAKTEERIT



### B. SIENET



Kuva 6.2 Mikrobien esiintyminen koko aineiston eristenäytteissä näytteenottopäivämäärän mukaan. GM = geometrinen keskiarvo, luotettavuusväli 95 % todennäköisyydellä esitetty janoin.

## 6.2 Julkisivun kuntoluokitus

Ulkopuolisissa kuntoarvioissa luokiteltujen vaurio- ja rasitussuureiden yhteyttä eristenäytteiden mikrobikasvustoihin tutkittiin vain elementtitasolla. Mikrobikasvustojen epätasainen jakautuminen ja vähäinen esiintyminen vaikeutti kokonaisten julkisivujen kuntoarvioiden ja mikrobimääritysten keskinäistä vertailua.

### Elementtitason analyysi

Elementtien rakenneteknisen kunnan ja rasitusolosuhteiden vaikutusta mikrobikontaminaatioon tutkittiin vertaamalla elementtikohtaisia mikrobivaurioita tarkentavassa ulkopuolisessa kuntoarviossa tutkittuihin vaurio- ja rasitustekijöihin. 'Pinnoitevauriot' – vaurioluokkaa ei käytetty analyysissä, koska se koskee vain pientä osaa aineistosta eli maalattuja julkisivuja.

Analyysi tehtiin kaikista niistä elementeistä, joiden eristenäytteet oli otettu kappaleessa 4.5.2 esitetyllä systeemiporauksella ja joista oli olemassa elementtikohtaiset kuntoarviotulokset. Aineisto (tutkimusryhmä) piti sisällään 1008 eristenäytteen tulokset 168:sta elementistä.

Elementtikohtaiset eristenäytteiden mikrobitulokset pelkistettiin analyysiä varten siten, että näytteet jaoteltiin selkeästi mikrobivaurioituneisiin ja muihin (puhtaat — lievästi vaurioituneet) sekä sädesienibakteerien että sieni-itiöiden pitoisuuksien osalta (rajat, ks. taulukko 6.1). Sienien suku/lajitason esiintyvyyden eroja tai muita bakteereja kuin sädesienibakteereja ei otettu analyysiin mukaan.

Näin saadut yksinkertaistetut tulokset laskettiin elementtikohtaisesti yhteen, jolloin kullekin elementille saatiin sienien / sädesienibakteerien kontaminaatiota kuvaava indeksi. Kontaminaatioasteella 0 tarkoitetaan siis elementtiä, jossa ei ollut yhdessäkään näytteessä selkeää sieni/sädesienikasvua ja kontaminaatioaste 6 kuvaa elementtiä, jossa kaikki kuusi näytettä ylittivät raja-arvona pidetyn mikrobipitoisuuden.

Tiedot analysoitiin käyttäen Kendallin järjestyskorrelaatiota. Tulokset (Taulukko 6.4) osoittivat, että

- sädesienibakteeri -kontaminaatioaste korreloi pakkasrapautumisen, saumojen kunnan, elementtien käyristymisen ja ulkoisen kosteusrasituksen kanssa
- sädesienibakteeri -kontaminaatioaste ei korreloinut terästen näkyvän korroosion kanssa
- homesieni - kontaminaatioaste ei korreloinut minkään elementin kuntoon liittyvän tekijän kanssa
- kaikki kuntoarvioluokat korreloivat toistensa kanssa.

Havaitut korrelaatiot pohjautuvat kuitenkin vain muutamaaan taloon, joten hieman erilaisella aineistolla tulos olisi voinut muodostua hyvinkin erilaiseksi. Tutkimusaineisto ei mahdollistanut talon sisällä tehtyä tarkastelua.

On mahdollista, että huonokuntoisissakin julkisivuissa voi eristetilan kosteustilanne olla oletettua parempi - esimerkiksi huonosta lämmöneristyksestä johtuva lämpövirta

sisätiloista voi kuivattaa eristetilaa. Lisäksi analyysi ei mahdollistanut muiden kasvuun vaikuttavien tekijöiden huomioimista.

*Taulukko 6.4 Kendallin järjestyskorrelaatiotaulukko elementtikohtaisten mikrobikontaminaatioasteiden ja kuntoarvioluokkien välillä.  $\tau$  = Kendallin järjestyskorrelaatiokerroin. Testin arvioidut merkitsevyytasot: ei merkitsevä  $p > 0.1$ ; suuntaa antava  $^a = p < 0.1$ ; merkitsevä  $* = p < 0.05$ ; erittäin merkitsevä  $** = p < 0.01$*

		Home- sieni- kontami- naatio	Ulkoinen kosteus- rasitus	Saumo- jen kunto	Näkyvä teräs- korroosio	Pakkas- rapautu- minen	Käyris- tyminen
Sädesieni- kontami- naatio	$\tau =$ $p =$ $n =$	-0.083 0.2740 167	0.176 0.0158 * 167	0.175 0.0146* 167	0.101 0.1657 167	0.303 0.001** 167	0.228 0.0017** 167
Homesieni kontami- naatio	$\tau =$ $p =$ $n =$		-0.021 0.7778 167	-0.111 0.1249 167	-0.105 0.1541 167	-0.096 0.1915 167	-0.067 0.3635 167
Ulkoinen kosteus- rasitus	$\tau =$ $p =$ $n =$			0.532 0.001** 168	0.383 0.001** 168	0.560 0.001***	0.677 0.001** 168
Saumojen kunto	$\tau =$ $p =$ $n =$				0.537 0.001** 168	0.442 0.001** 168	0.467 0.001** 168
Näkyvä teräs- korroosio	$\tau =$ $p =$ $n =$					0.691 0.001** 168	0.639 0.001** 168
Pakkas- rapautu- minen	$\tau =$ $p =$ $n =$						0.8423 0.001** 168

Taulukko 6.5 Elementtikohtaisen kuntoarvion tulokset ja lasketut kontaminaatioasteet. Arviointiluokat ja perusteet on esitetty kappaleessa 4.6.2.

Elementtien lukumäärä	kussakin ryhmässä	<i>n</i>	Sädesieni -kontaminaatioaste							Homesieni -kontaminaatioaste						
			0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
			147	15	4	2	0	0	0	160	8	0	0	0	0	0
Pakkasrapautumisen arviointiluokat	0	42	40	2						39	3					
	1	97	90	7						92	5					
	2	25	14	6	3	2				25						
	3	4	3		1					4						
Saumojen kunnan arviointiluokat	0	36	34	2						33	3					
	1	48	43	5						45	3					
	2	75	65	7	3					73	2					
	3	9	5	1	1	2				9						
Näkyvän teräskorroosion arviointiluokat	0	42	40	2						39	3					
	1	89	75	11	1	2				84	5					
	2	37	32	2	3					37						
	3															
Elementtien käyristymisen arviointiluokat	0	42	40	2						39	3					
	1	90	81	9						86	4					
	2	36	26	4	4	2				35	1					
	3															
Ulkoisen kosteusrasituksen arviointiluokat	0	24	24							23	1					
	1	91	79	11		1				86	5					
	2	49	44	3	1	1				47	2					
	3	4		1	3					4						

### 6.2.1 Rakennuksen ikä

Kuvassa kuva 6.3 on esitetty mikrobikasvun esiintyminen eristeessä eri ikäisissä rakennuksissa. Vuosina 1974 ja 1985 tiukennettiin rakennusmääräyksissä eristepaksuusvaatimuksia, joten aineisto on jaettu rakennusvuosien perusteella näistä taitekohdista.

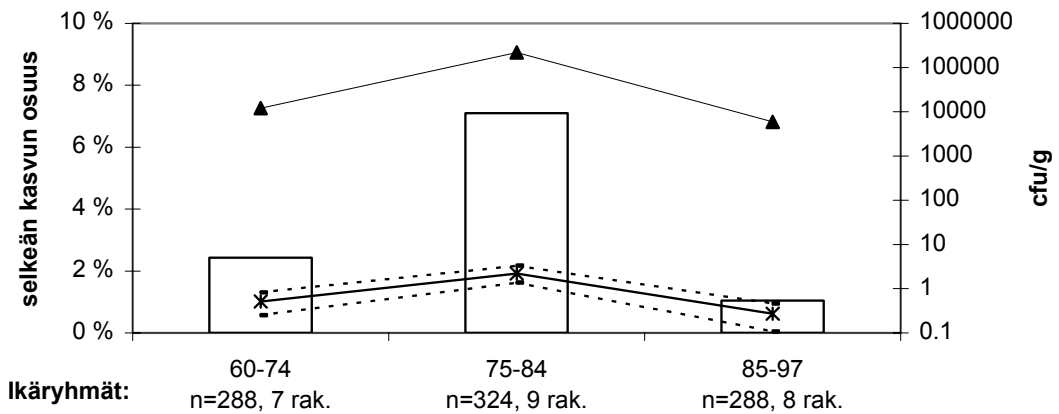
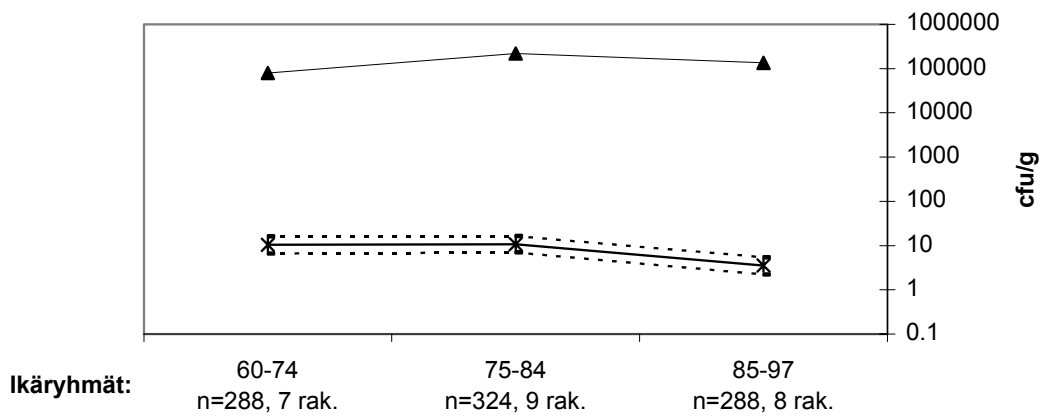
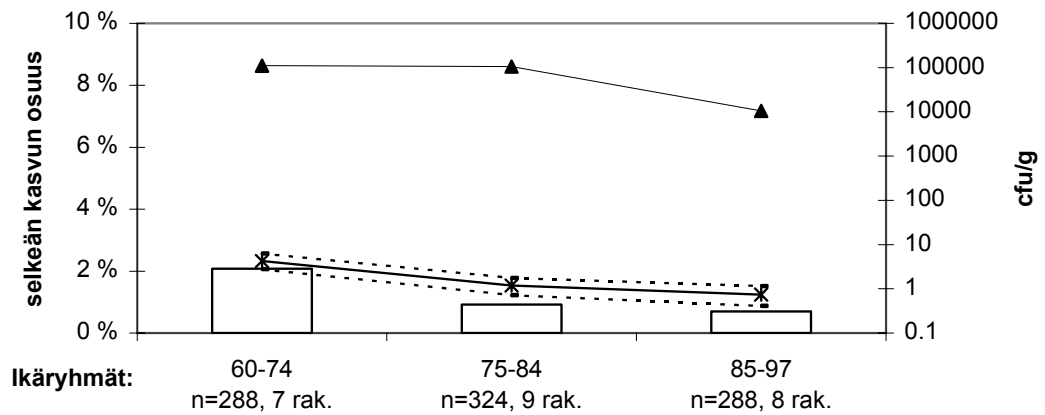
Uusissa rakennuksissa sädesieni- ja sienikontaminaation määrä on pieni. Tämä selittyy paitsi vanhenevan elementin kunnan heikkenemisellä myös eristeiden vähittäisellä likaantumisella ja itiöiden kertymisellä. Yllättäen sädesieniä esiintyy yleisimmin ikäluokassa 1975-84 arvioituna sekä selkeän kasvun osuutena näytteistä että geometrisenä keskiarvona. Tämä voi johtua myös ikäluokkaan liittyvistä rakenneratkaisuista, ehkä myös vanhimmassa aineistossa jo tapahtuneesta ylläpitohuollosta. Sienien määrä eristeissä lisääntyy rakennuksen iän myötä vain vähän.

Rakennuksittain tehdyssä keskiarvotarkastelussa ei eri mikrobiryhmien pitoisuuksien ja käytettyjen ikäluokkien suhteen havaittu tilastollista yhteyttä.

### 6.2.2 Rakennuksen pintamateriaali

Mikrobikasvun esiintyminen eristeessä pintamateriaaliltaan erilaisissa rakennuksissa on esitetty kuvassa 6.4. Tutkimusryhmässä käytetyin pintamateriaali oli pesubetoni. Aineiston ikäjakautuma painottui 70- ja 80-luvun rakennuksiin, jolloin pesubetoni oli suosittua Turun seudun elementtirakentamisessa. Maalattut julkisivut edustivat yleensä myös tutkimuksen vanhempaa taloainesta (maalattujen keski-ikä oli 29 vuotta kun pesubetonipintojen keski-ikä oli vain 20 vuotta). Aineiston epätasainen jakautuminen ei mahdollista eri pinnoitetyyppeihin liittyvien johtopäätösten tekemistä.

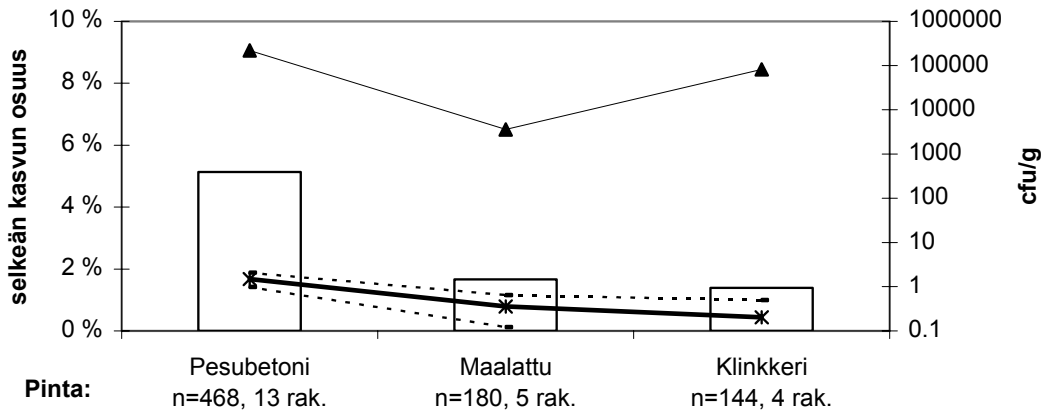
Rakennuksittain tehdyssä keskiarvotarkastelussa ei eri mikrobiryhmien pitoisuuksien ja kolmen yleisimmän pinnoitemateriaalin suhteen havaittu tilastollista yhteyttä.

**A. SÄDESIIENIBAKTEERIT****B. MUUT BAKTEERIT****C. SIENET**

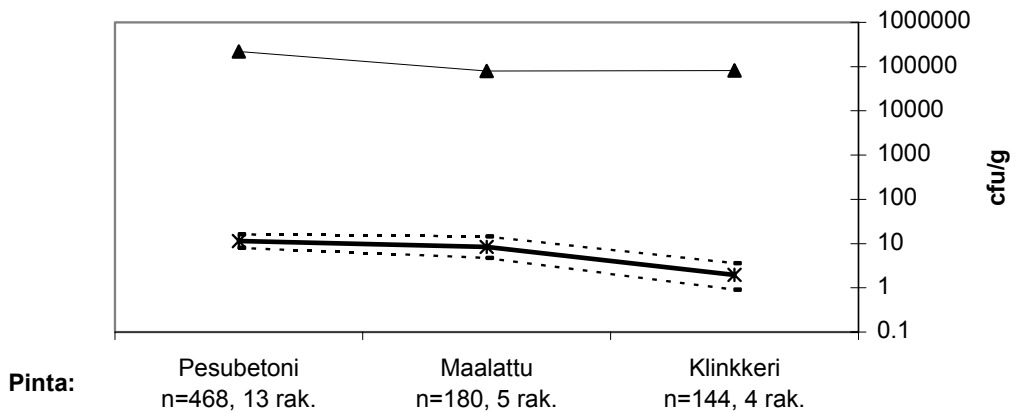
Selkeän kontaminaation osuus    ▲ MAX  
\* GM     luotettavuusrajat ( 95%)

Kuva 6.3. Mikrobin esiintyminen eristeessä; luokitus rakentamisvuoden mukaan. Pylväs = niiden näytteiden osuus, joissa sädesienipitoisuus oli yli 1000 cfu/g ja sieni-itiöpitoisuus yli 10 000 cfu/g, GM = geometrinen keskiarvo, luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä on esitetty katkoviivalla, MAX = maksimipitoisuus, n = eristenäytteiden määrä, rak. = rakennusten määrä.

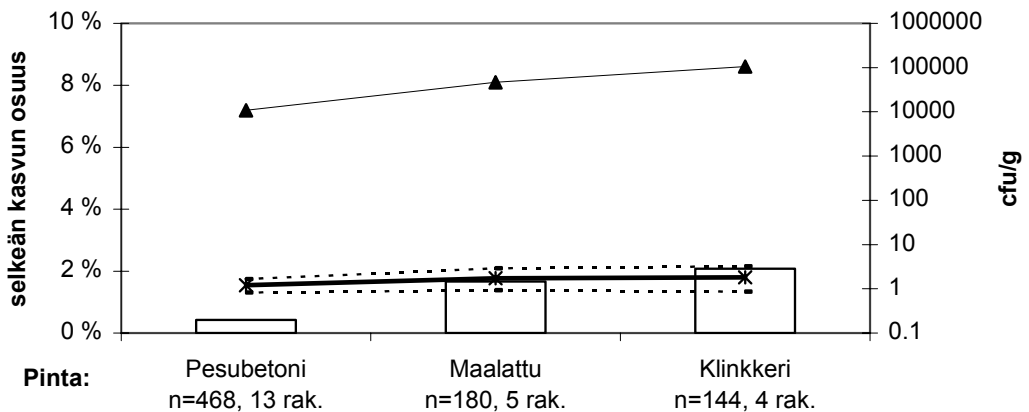
### A. SÄDESIENIBAKTEERIT



### B. MUUT BAKTEERIT



### C. SIENET



Selkeän kontaminaation osuus
  MAX

GM
  luotettavuusrajat ( 95%)

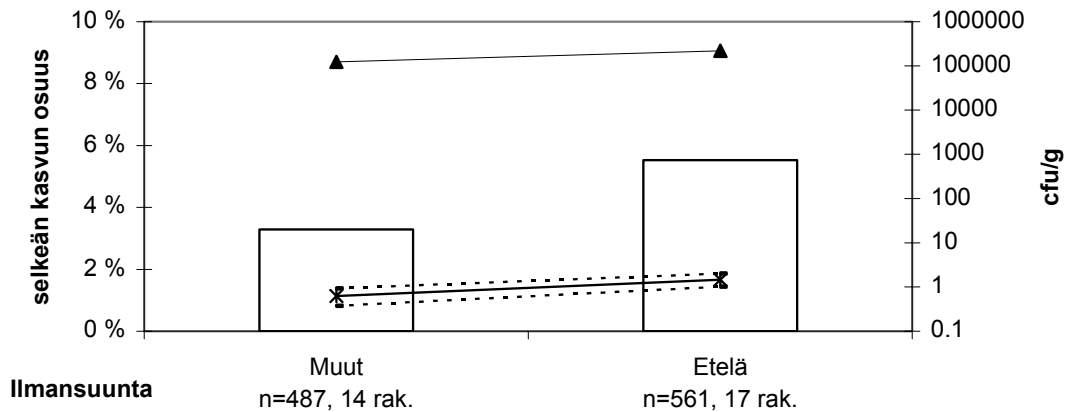
Kuva 6.4. Mikrolien esiintyminen eristeessä; luokitus rakennuksen julkisivun pintamateriaalin mukaan. Pylväs = niiden näytteiden osuus, joissa sädesienipitoisuus oli yli 1000 cfu/g ja sienitiö-pitoisuus yli 10 000 cfu/g, GM = geometrinen keskiarvo, luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä on esitetty katkoviivalla, MAX = maksimipitoisuus, n = eristenäytteiden määrä, rak. = rakennusten määrä.

### 6.2.3 Julkisivun ilmansuunta

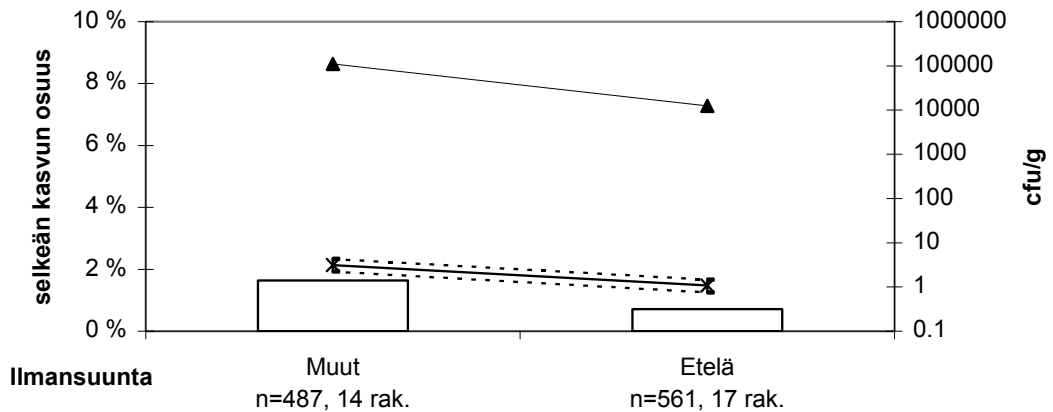
Näytteenottojulkisivujen ilmansuunnat on luokiteltu etelänpuoleisiin ja muihin. Sädesienibakteerien osuus oli korkeampi etelänpuoleisilla julkisivuilla, sienet esiintyivät tasaisemmin. Aineiston kaikki julkisivut olivat eri rakennuksista, joten ilmansuunnan vaikutusta yksinään on vaikea erottaa. Esitutkimuksessa /43/ havaittiin vastaavasti voimakkaampaa kasvua kaakon ja koillisen puoleisilta julkisivuilta ja vähiten kasvua luoteisella seinällä.

Rakennuksittain tehdyssä keskiarvotarkastelussa ei eri mikrobiryhmien pitoisuuksien ja näytteenottoseinän ilmansuunnan suhteen havaittu tilastollista yhteyttä.

#### A. SÄDESIENIBAKTEERIT



#### B. SIENET



Selkeän kontaminaation osuus       MAX  
 GM      luotettavuusrajat (95%)

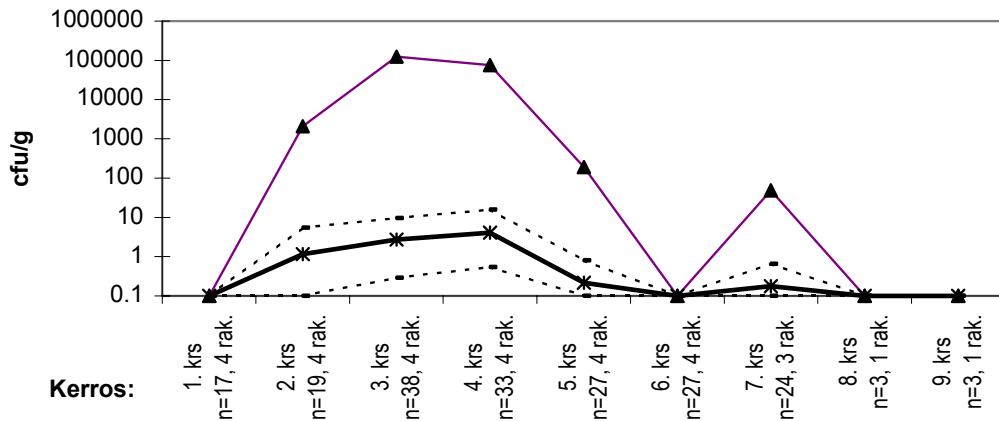
Kuva 6.5. Mikrobin esiintyminen koko aineiston eristenäytteissä, luokitus eri ilmansuuntiin olevien julkisivujen mukaan. Pylväs = niiden näytteiden osuus, joissa sädesienipitoisuus oli yli 1000 cfu/g ja sieni-itiöpitoisuus yli 10 000 cfu/g, GM = geometrinen keskiarvo, luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä on esitetty katkoviivalla, MAX = maksimipitoisuus, n = eristenäytteiden määrä, rak. = rakennusten määrä, Muut = lännen, pohjoisen ja idän puoleiset julkisivut.



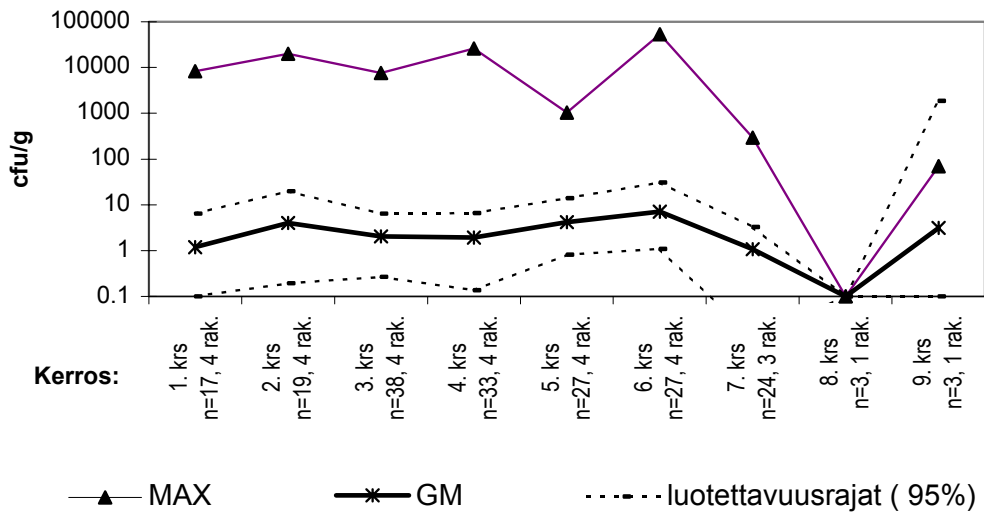
## 6.2.4 Näytteenottokerros

Tutkimusryhmässä poraukset keskittyivät vain 2-5 kerroksen elementteihin. *Case*-kohteiden poraukset ulotettiin laajemmalle. Kuvassa 6.6 on esitetty eristeissä havaittu mikrobikasvu *case*-kohteissa näytteenottokerroksittain. Vaikka hajonnat ovatkin suuria, varsinaisessa tutkimusryhmässä poraukset ulotettiin kerrokseen 2-5 (ks. kpl 4.5.2)

### A. SÄDESINIIBAKTEERIT



### B. SIENET



—▲— MAX      —\*— GM      - - - - - luotettavuusrajat ( 95%)

Kuva 6.6 Mikrobin esiintyminen *case*-talojen eri kerroksista otetuissa eristenäytteissä. GM = geometrinen keskiarvo, luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä on esitetty katkoviivalla, MAX = maksimipitoisuus, n = eristenäytteiden määrä, rak. = rakennusten määrä.

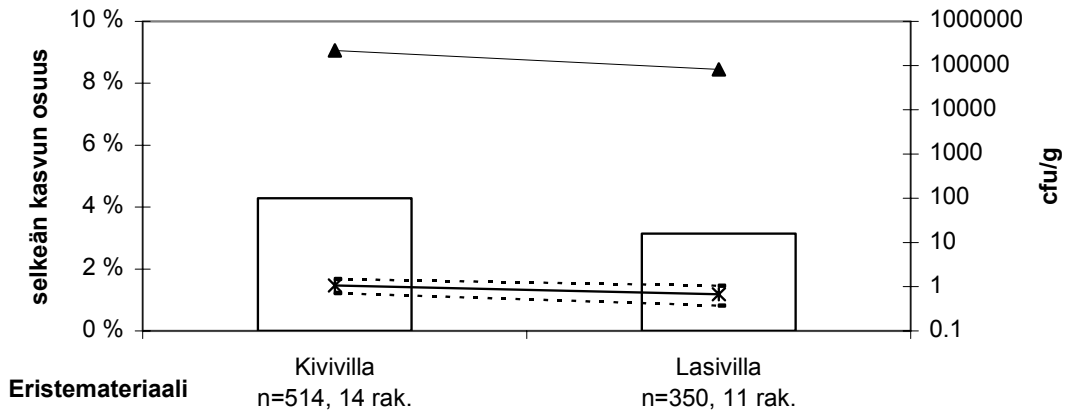
## 6.2.5 Eristemateriaali

Tutkituissa rakennuksissa käytetyt eristetyypit olivat kivi- ja lasivilla. Yksityiskohtaisia tietoja rakennuksessa käytetystä eristemateriaalista ei ollut saatavissa ja rakennuksia ei siten voitu valita eristemateriaalinsa suhteen ennen näytteenottoa.

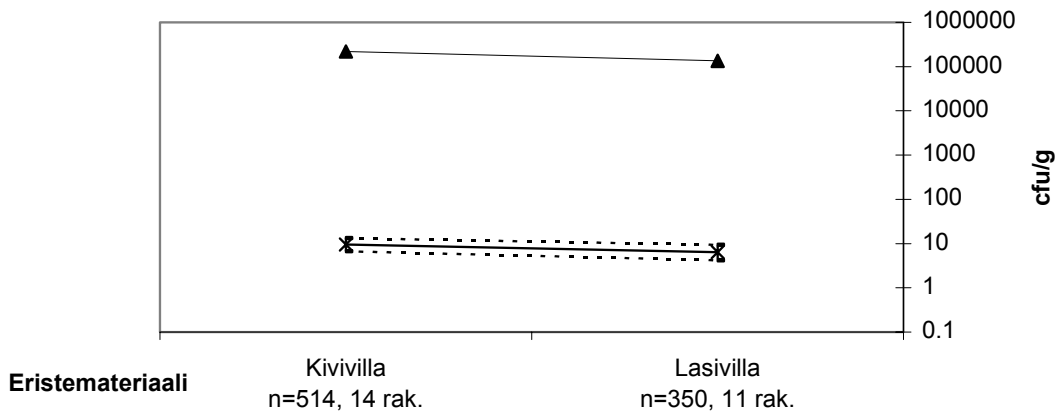
Käytetty eristemateriaali vaihteli usein samassa rakennuksessa ja jopa saman elementin sisälläkin oli käytetty kahta eristemateriaalia. Sekä lasi- että kivivillassa esiintyi mikrobikasvua. Kivivillan lievästi korkeammat tasot selittyivät osin sillä, että aineistossa ei ollut ennen vuotta 74 rakennettuja lasivillaeristettyjä taloja ja myös uusimmat (rakennusvuosi 95) olivat lasivillaeristeisiä.

Rakennuksittain tehdyssä keskiarvotarkastelussa ei eri mikrobiryhmien pitoisuuksien ja eristemateriaalityypin suhteen havaittu tilastollista yhteyttä.

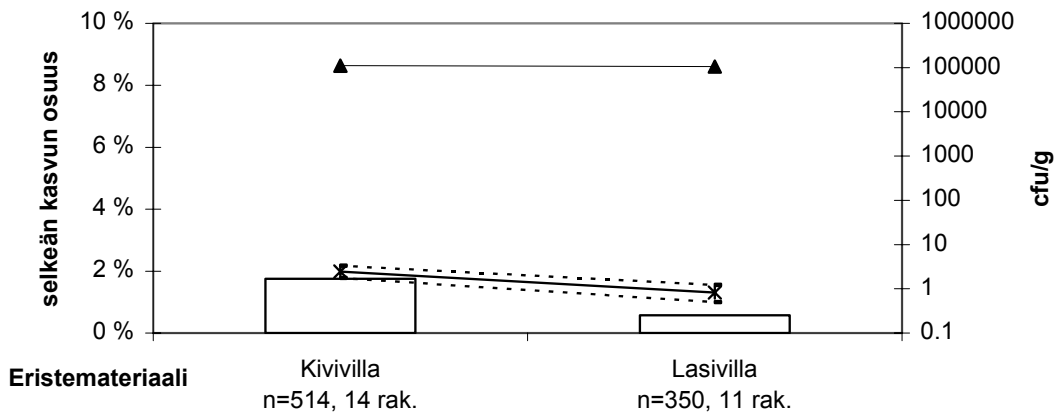
### A. SÄDESIENIBAKTEERIT



### B. MUUT BAKTEERIT



### C. SIENET



□ Selkeän kontaminaation osuus

▲ MAX

✱ GM

⋯ luotettavuusrajat ( 95%)

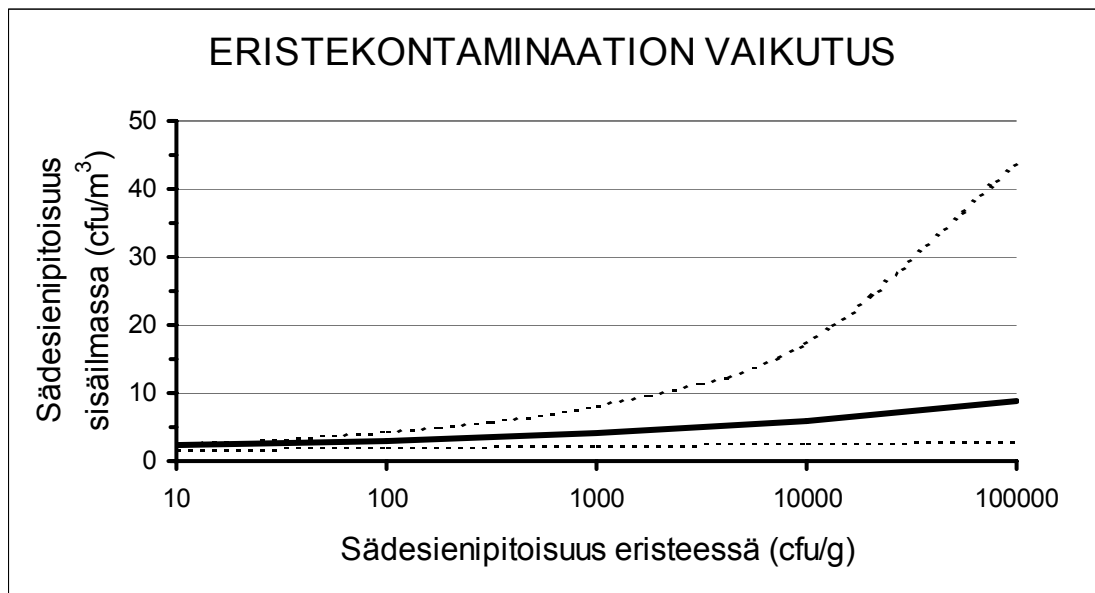
Kuva 6.7 Mikrobien esiintyminen eristeessä; luokitus eristemateriaalin mukaan. Pylväs = niiden näytteiden osuus, joissa sädesienipitoisuus oli yli 1000 cfu/g ja sieni-itiöpitoisuus yli 10 000 cfu/g, GM = geometrinen keskiarvo, luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä on esitetty katkoviivalla, MAX = maksimipitoisuus, n = eristenäytteiden määrä, rak. = rakennusten määrä.

### 6.3 ERISTETILAN MIKROBIKASVUN VAIKUTUS SISÄILMAAN

Sisäilman mikrobilähteitä ovat rakenteista, asumistoiminnoista ja ulkoilmasta peräisin olevat mikrobit. Tässä tutkimuksessa selvityksen alla olevan lähteen, eristetilassa havaitun mikrobikasvun, vaikutus on näin ollen erotettava muista lähteistä. Hiukkasten esiintyvyyteen tai mitattavuuteen voivat vaikuttaa lisäksi säätila ja huoneilman kosteusolot. Käytetyllä yleistetyllä lineaarisella sekamallilla muiden tekijöiden vaikutus sisäilman laatuun on pyritty erottamaan eristeen mikrobipitoisuudesta. Viive eristenäytteiden ja ilmanäytteiden oton välillä vaihteli 1 kuukaudesta (*case*-kohteiden ensimmäiset näyteenotot) yli vuoteen. Viivettä ei pystytty huomioimaan tilastollisessa analyysissä. Tilastolliset mallit on yksinkertaistettu niin, että oletetun eristeperäisen lähteen lisäksi vain biologisesti/rakennusteknisesti mielekkäät ja tilastollisesti merkitsevät tekijät on jätetty kuhunkin malliin. Tämän kappaleen taulukoissa on esitetty nämä tekijät ja tekstissä on ilmoitettu lisäksi testatut, mutta sisäilman laatuun vaikuttamattomat tekijät.

#### 6.3.1 Sädesienibakteerit

**Eristemateriaalin sädesienipitoisuuden todettiin vaikuttavan asunnosta tavattuun sisäilman sädesienipitoisuuteen** (taulukko 6.6 ja kuva 6.8). Ulkoseinän eristemateriaalin sädesienipitoisuuden kymmenkertaistuessa sisäilman sädesienimäärät nousivat kertoimella 1,20 (luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä 1,09 - 1,32). Sosiaali- ja terveyshallituksen ohjeissa /1/ mainittu mahdollista mikrobilähdettä ilmanäytteessä indikoiva pitoisuus  $10 \text{ cfu/m}^3$  ylittyi tutkimusasunnoissa 2.5 prosenttiyksikköä useammin kuin kontrolliasunnoissa (taulukko 5.9). Samoin sisäilman geometriset keskiarvot olivat hieman korkeammat.



Kuva 6.8 Mallin mukainen sisäilman sädesienipitoisuuden vaihtelu suhteessa ulkoseinäelementin eristeessä havaittuun sädesienipitoisuuteen ja luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä (katkoviivat).

Sisäilman sädesieni-itiöpitoisuuksien tarkastelussa käytettiin mallia, jossa selittäjinä olivat:

- **eristemateriaalin sädesienipitoisuus** (muuttujana käytettiin logaritmuunnettujen ( $y = \ln(x+1)$ ) pitoisuuksien keskiarvoa ko. asuntoa vastaavan elementin reuna-alueilta otetuista näytteistä)
- maanpinnan lumipeitteisyys
- yöpakkasen (mittausvuorokauden minimilämpötila laski alle 0°C)
- saumojen kunto
- sisäilman kosteuspitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

Tärkein sädesienibakteerien havaittavuuteen vaikuttava tekijä oli sisäilman kosteus (Kuvat 6.9 ja 6.10). Muita sädesienipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä olivat sääolosuhteet eli luokittelevina muuttujina käytetyt maanpinnan lumipeitteisyys ja yöpakkaset (kuva 6.11). Saumojen huonokuntoisuus lisäsi eristeiden mikrobikontaminaatiota (ks. kpl 6.2). Tästä huolimatta käytetyn mallin mukaan sisäilmaan tuleva sädesienipitoisuus väheni saumojen kunnan heikentyessä.

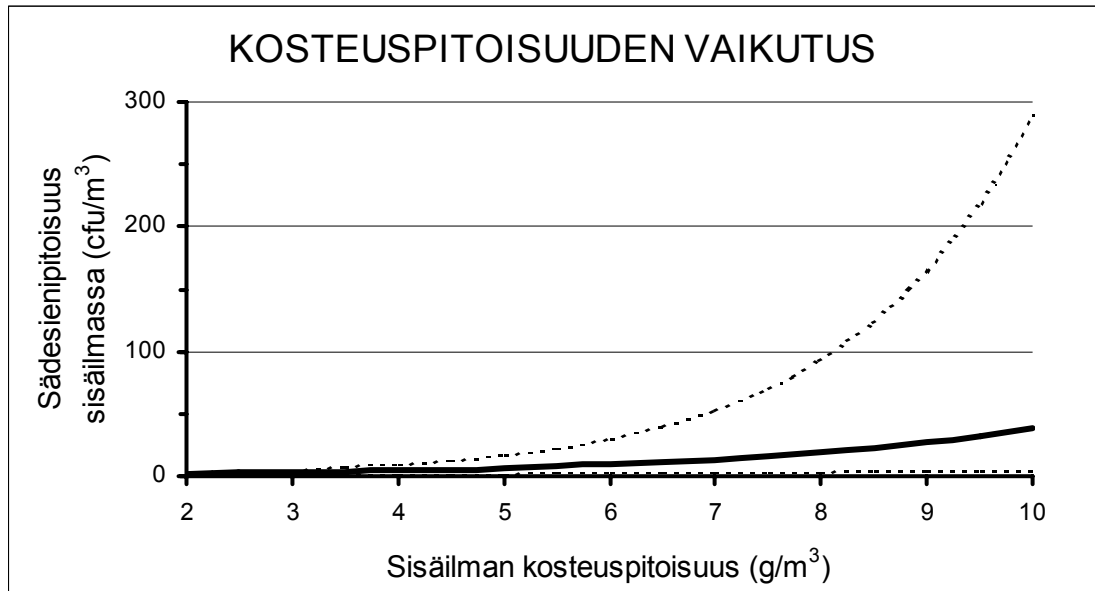
Mallin sopivuutta eivät parantaneet: elementin keskialueelta otettujen näytteiden ottaminen mukaan sädesienipitoisuuden keskiarvoon, ulkoilman sädesienipitoisuus, muut elementin kuntotekijät kuin saumojen kunto, muiden bakteerien pitoisuus eristemateriaalissa, rakennuksen ikä tai mittauksista tapahtumaan vaikuttavat kirjatut virhetekijät (mm. tuuletus mittauspäivänä, huonekasvien määrä, lemmikkien oleskelu asunnossa tai kukkamullan käsittely).

*Taulukko 6.6 Sisäilman sädesienipitoisuuteen vaikuttavat tekijät. (Yleistetyt lineaarisen sekamallin F-taulukko, Poisson -jakauma). Kovariaatteina on käytetty sisäilman kosteuspitoisuutta ja eristeen sädesienipitoisuutta. ndf = osoittajan vapausasteet, ddf = jakajan (virhetermin) vapausasteet, F = testisuure, p = tilastollisen merkitsevyyden riskitaso.*

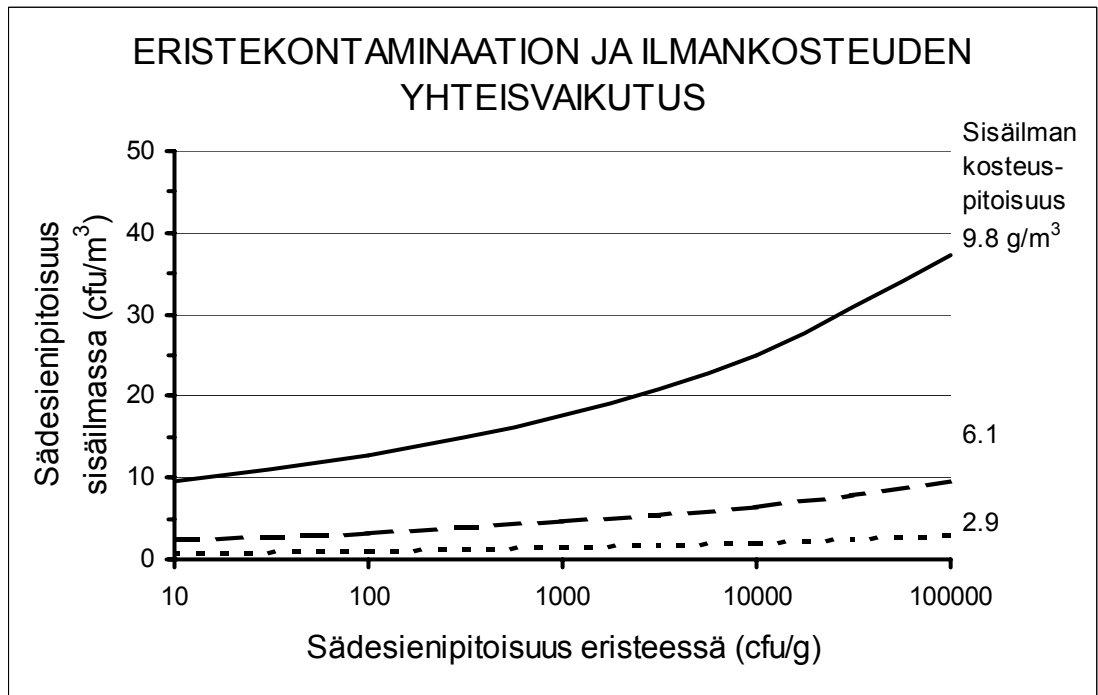
Selittävä muuttuja	ndf	ddf	F	p
Lumipeite	1	132.3	0.76	0.3864
Yöpakkasen	1	11.5	0.15	0.7036
Lumi & Yöpakkasen	1	136.2	2.80	0.0964a
Saumojen kunto	3	43.8	3.52	0.0226*
Sisäilman kosteus- pitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )	1	67.0	13.07	0.0006**
<b>Eristeen sädesieni- bakteeripitoisuus</b>	<b>1</b>	<b>17.7</b>	<b>11.78</b>	<b>0.0030*</b>

a suuntaa antava,  $p < 0.1$   
 \*  $p < 0.05$   
 \*\*  $p < 0.01$   
 \*\*\*  $p < 0.001$

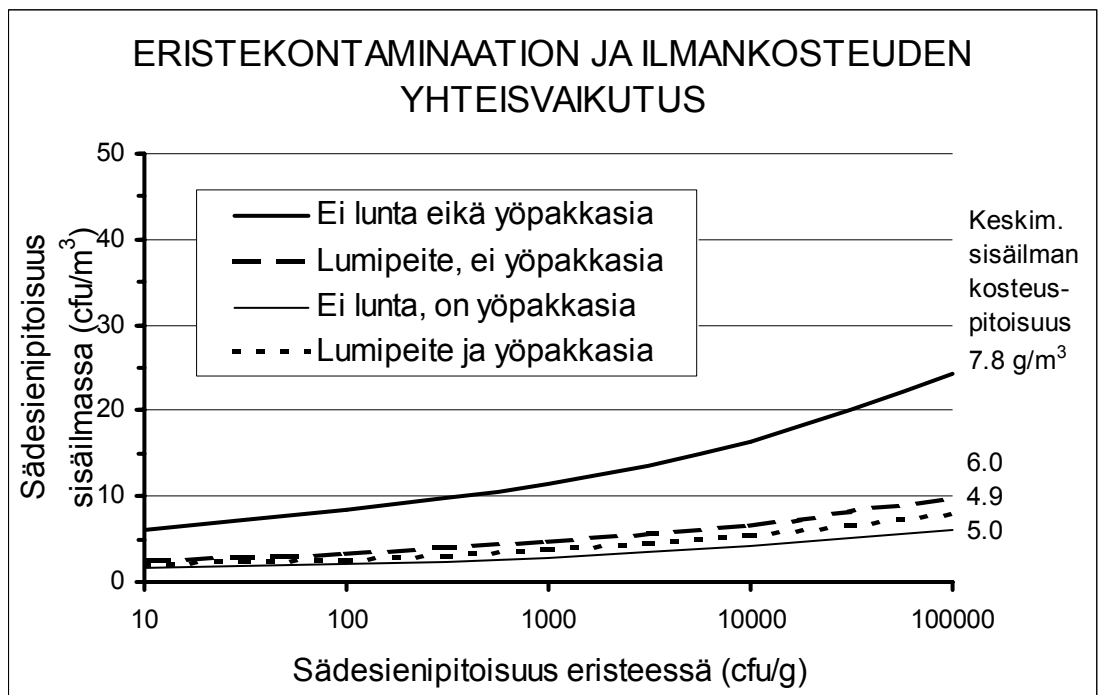
Yksittäisen asunnon sädesienipitoisuutta ei voida yleistää koko rakennukseen: rakennusten välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja, kun taas rakennusten sisällä asuntojen väliset erot olivat merkitseviä (testisuure  $Z = 2.35$ , testin merkitsevyytaso  $p = 0.019$ ). Niinikään asunnoissa näytteenottopäivien väliset erot olivat merkitseviä ( $Z = 8.4$ ,  $p = 0.0001$ ). Yksittäinen mittauskerta voi siis antaa virheellisen kuvan todellisesta tilanteesta.



Kuva 6.9 Mallin mukainen sisäilman sädesienipitoisuuden vaihtelu suhteessa sisäilman kosteuspitoisuuteen (g/m<sup>3</sup>) ja luotettavuusrajat 95 % todennäköisyydellä (katkoviivat).



Kuva 6.10 Mallin mukainen sisäilman sädesienipitoisuuden vaihtelu suhteessa ulkoseinäelementin eristeessä havaittuun sädesienipitoisuuteen sisäilman eri kosteuspitoisuuksissa (g/m<sup>3</sup>). Esimerkkitalanteina käytetyt kosteuspitoisuudet olivat aineiston minimi-, keski- ja maksimikosteus (kosteuspitoisuuden jakauma oli normaali). Muut vaikuttavat tekijät on huomioitu esimerkkitalanteissa käyttämällä keskiarvoa eri sääolosuhteista ja sauman kuntoluokista.



Kuva 6.11 Mallin mukainen sisäilman sädesienipitoisuuden vaihtelu suhteessa ulkoseinäelementin eristeessä havaittuun sädesienipitoisuuteen eri sääolosuhteissa. Kukin säätekijä -yhdistelmä (lumi\* yöpakkas) on esitetty keskimääräisessä kosteuspitoisuudessaan.

### 6.3.2 Muut bakteerit

Tarkasteltaessa muiden kuin sädesienibakteerien eristetilassa ja sisäilmassa havaitun pitoisuuden välistä yhteyttä, on hyvä huomioida, että tärkein asunnoissa oleva bakteerilähde on ihminen itse /63/. Merkittävä kohonneiden bakteerimäärien selittäjä on riittämätön ilmastointi /64/.

Jos elementin eristetilassa oli havaittu korkeita, yli 10 000 cfu/g bakteeripitoisuuksia, havaittiin sisäilmassa geometriseltä keskiarvoltaan lievästi korkeampia pitoisuuksia kuin muissa asunnoissa (taulukko 5.10). Muut tekijät huomioivassa tilastollisessa mallissa **eristetilassa muiden mesofilisten bakteerien kuin sädesienien pitoisuuden ei havaittu vaikuttavan sisäilmaan** (taulukko 6.7). Tarkastelussa käytettiin mallia, jossa selittäjinä olivat:

- **eristemateriaalin muiden bakteerien kuin sädesienien pitoisuus** (muuttujana käytettiin logaritimuunnettujen,  $y = \ln(x+1)$ , pitoisuuksien keskiarvoa ko. asuntoa vastaavasta elementistä otetuista näytteistä)
- maanpinnan lumipeitteisyys
- yöpakkanen (mittausvuorokauden minimilämpötila laski alle 0°C)
- sisäilman kosteuspitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

Mallia tukemattomina analyysistä jätettiin pois vuorokauden keskilämpötila, ulkoilman bakteeripitoisuus, rakennuksen ikä, elementin kuntotekijät, eristemateriaalin sieni-itiöpitoisuus ja sädesienibakteeripitoisuus sekä mittauksista vaikuttavat kirjatut virhetekijät.

*Taulukko 6.7 Sisäilman bakteeripitoisuuteen vaikuttavat tekijät. (Yleistetyn lineaarisen sekamallin F-taulukko, Poisson -jakauma). Kovariaatteina on käytetty sisäilman kosteuspitoisuutta ja eristeen bakteeripitoisuutta. ndf = osoittajan vapausasteet, ddf = jakajan (virhetermin) vapausasteet, F = testisuure, p = tilastollisen merkitsevyyden riskitaso.*

Selittävä muuttuja	ndf	ddf	F	P
Lumipeite	1	67.7	3.29	0.0743 <sup>a</sup>
Yöpakkanen	1	66.6	1.86	0.1778
Lumi & Yöpakkanen	1	101.0	20.60	0.0001***
Sisäilman kosteuspitoisuus	1	38.6	36.74	0.0001***
<b>Eristeen bakteeripitoisuus</b>	<b>1</b>	<b>33.2</b>	<b>2.17</b>	<b>0.1500</b>

a suuntaa antava,  $p < 0.1$   
 \*  $p < 0.05$   
 \*\*  $p < 0.01$   
 \*\*\*  $p < 0.001$

Sisäilman bakteeripitoisuutta nosti erittäin selkeästi sisäilman kosteuspitoisuus sekä talviolosuhteita kuvaavat maanpinnan lumipeitteisyys ja yöpakkanen. Rakennusten



välillä ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja ( $Z = 0.42$ ,  $p = 0.6734$ ), kun taas rakennusten sisällä asuntojen väliset ( $Z = 3.29$ ,  $p = 0.001$ ) ja asuntojen sisällä näytteenottopäivien väliset erot ( $Z = 8.9$ ,  $p = 0.0001$ ) olivat merkitseviä.

### 6.3.3 Sienet

#### Sisäilman kokonaissieni-itiöpitoisuus

Tutkimusasunnoissa havaittiin korkeampia sisäilman kokonaissieni-itiöpitoisuuksia kuin kontrolliasunnoissa (taulukko 5.11). Kuitenkaan tilastollisessa mallissa **ei eristemateriaalin sieni-itiöpitoisuuden havaittu selittävän sisäilman kokonaissieni-itiöpitoisuuksia** (taulukko 6.8). Tarkastelussa huomioitiin selittäjinä:

- **eristemateriaalin sieni-itiöpitoisuus** (muuttujana käytettiin ko. asuntoa vastaavan elementin reuna-alueilta otettujen näytteiden keskiarvoa)
- maanpinnan lumipeitteisyys
- yöpakkasen (mittausvuorokauden minimilämpötila alle 0°C)
- ulkoilman kokonaissieni-itiöpitoisuus
- huonekasvien määrä
- sisäilman kosteuspitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

Odotetusti talviolosuhteet (lumipeitteisyys ja yöpakkaset) ja ulkoilman tausta olivat tärkein sisäilman kokonaissieni-itiöpitoisuuteen vaikuttava seikka. Ulkoilma tärkeimpänä sisäilman sieni-itiölähteenä ja talvikauden merkitys ulkoilmasta tulevien sieni-itiömäärien vähentäjänä on todettu monissa tutkimuksissa /mm. 65/. Näiden lisäksi sisäilman kosteuspitoisuus sekä hieman yllättäen huonekasvien määrä selittivät sisäilman sieni-itiömääriä. Tässä tutkimuksessa mallin sopivuutta eivät parantaneet elementin kuntotekijät, rakennuksen ikä tai muut mittaustapahtumaan vaikuttavat kirjatut virhetekijät (mm. tuuletus mittauspäivänä, asukkaan lemmikit tai kukkamullan käsittely).

Rakennusten välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ( $Z = 0.95$ ,  $p = 0.3425$ ), rakennusten sisällä asuntojen väliset erot olivat merkittäviä ( $Z = 3.34$ ,  $p = 0.0008$ ), samoin asuntojen sisällä näytteenottopäivien väliset erot ( $Z = 7.75$ ,  $p = 0.0001$ ).

Taulukko 6.8 Sisäilman kokonaissieni-itiöpitoisuuteen vaikuttavat tekijät (Yleistetyin lineaarisen sekamallin F-taulukko, Poisson -jakauma). Kovariaatteina on käytetty sisäilman kosteuspitoisuutta ja eristeen sieni-itiöpitoisuutta. ndf = osoittajan vapausasteet, ddf = jakajan (virhetermin) vapausasteet, F = testisuure, p = tilastollisen merkitsevyyden riskitaso.

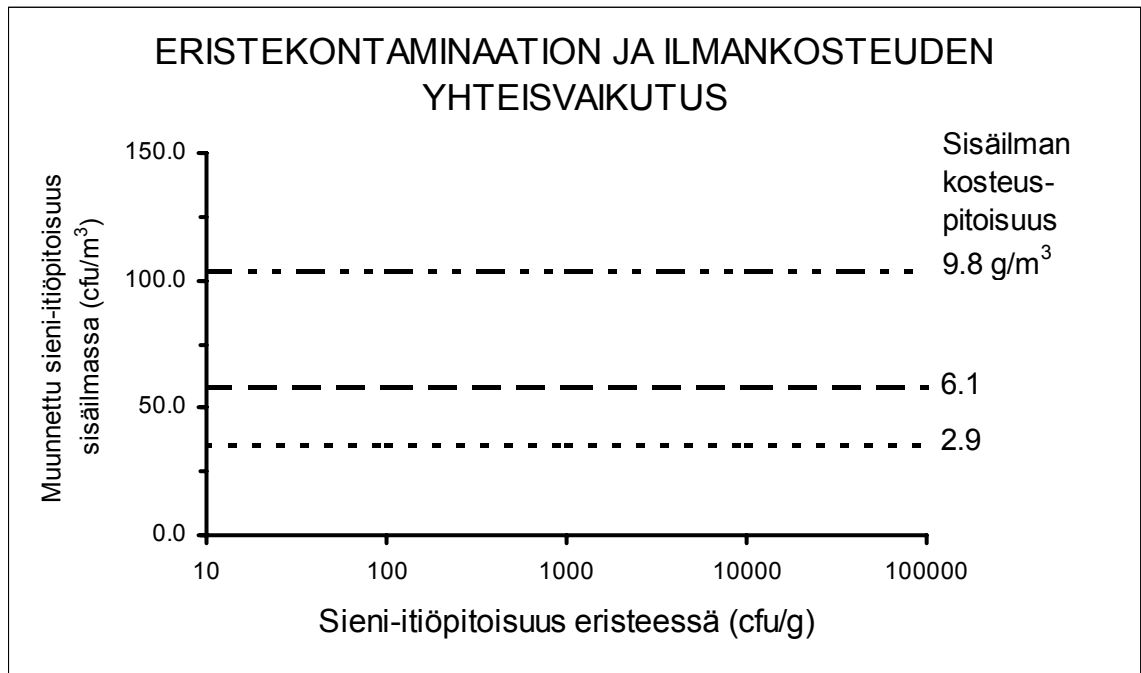
Selittävä muuttuja	ndf	ddf	F	p
Lumipeite	1	65.1	0.03	0.8707
Yöpakkanen	1	56.0	1.43	0.2369
Lumi & Yöpakkanen	1	89.3	17.95	0.0001***
Ulkoilman sieni-itiöpitoisuus	1	13.2	28.53	0.0001***
Huonekasvien määrä	3	31.9	7.42	0.0007***
Sisäilman kosteuspitoisuus (g/m <sup>3</sup> )	1	12.6	25.18	0.0003***
<b>Eristeen sieni-itiöpitoisuus</b>	<b>1</b>	<b>14.3</b>	<b>0.81</b>	<b>0.3833</b>
a	suuntaa antava, p < 0.1			
*	p < 0.05			
**	p < 0.01			
***	p < 0.001			

### Sienien lajistotarkastelu

Voimakkaasti ulkoilmasta riippuvan kokonaissieni-itiöpitoisuuden sijasta pyrittiin eristekerroksen ja sisäilman välisiä yhteyksiä selvittämään samojen laji- tai sukutason ryhmien esiintymisellä. **Tutkittaessa eristenäytteissä yleisimpien sieniryhmien (*Penicillium*, *Chrysosporium*, *Acremonium*, *Aspergillus versicolor*) pitoisuutta eristemateriaalissa ja sisäilmassa, ei niiden välillä ei havaittu yhteyttä.** Kunkin sienien sisäilmapitoisuuden tarkastelussa käytettiin mallia, jossa selittäjinä olivat saman sienien pitoisuus eristeessä ja ulkoilmassa sekä vastaavat taustaselittäjät kuin sisäilman kokonaisitiöpitoisuuksia mallinnettaessa. Yksittäisiä analyysituloksia ei ole esitetty tässä.

### Muunnetut sisäilman sieni-itiöpitoisuudet

Ulkoilman sieni-itiömäärien vaikuttaessa erittäin voimakkaasti analyysiin pyrittiin todella eristeperäisten itiöiden havaitsemiseen vähentämällä sisäilmapitoisuuksista selkeästi ulkoilmaan viittaavan lajiston osuus (*Cladosporium*, *Fusidium*, basidiomykeetit, steriilit rihmat). Näin saadussa **muunnetussa sisäilmapitoisuudessa oli tilastollisesti havaittavissa oleva yhteys eristemateriaalin sieni-itiöpitoisuuden kanssa** (taulukko 6.9). Muunnettu sisäilmapitoisuus jäi kuitenkin matalaksi (GM = 56,1 cfu/m<sup>3</sup>), ja sen **vaikutus sisäilmapitoisuuksiin muiden tekijöiden rinnalla oli käytännössä olematon.** Sisäilman pitoisuus pysyy käytännöllisesti katsoen vakiona eristeessä havaitun sienipitoisuuden suhteen (kuva 6.12).



Kuva 6.12 Sisäilman muunnettu sieni-itiöpitoisuus pysyy käytännöllisesti katsoen vakiona ulkoseinäelementin eristeessä havaitun sienipitoisuuden suhteen. Mallin mukainen sisäilman muunnetun sieni-itiöpitoisuuden vaihtelu suhteessa ulkoseinäelementin eristeessä havaittuun sieni-itiöpitoisuuteen sisäilman eri kosteuspitoisuuksissa ( $\text{g/m}^3$ ). Muut vaikuttavat tekijät on huomioitu esimerkkitalanteissa keskiarvoina.

Tarkastelussa käytetyn mallin selittäjinä olivat:

- **eristenäytteiden muunnettu sieni-itiöpitoisuus** (muuttujana käytettiin ko. asuntoa vastaavan elementin reuna-alueilta otettujen näytteiden keskiarvoa)
- maanpinnan lumipeitteisyys
- yöpakkasen (mittausvuorokauden minimilämpötila alle  $0^\circ\text{C}$ )
- tuuletus mittauspäivänä
- sisäilman kosteuspitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )
- ulkoilmapitoisuus, josta oli vähennetty samojen sienien osuus kuin sisäilmatuloksista

Ulkoilman jäljelle jäänyt, nk. muunnettu, itiöpitoisuus selitti edelleen sisäilmatuloksia. Muita merkitseviä selittäjiä olivat sisäilman kosteuspitoisuus ja taustaan viittaavat talviolosuhteet sekä tuuletus mittauspäivänä.

Rakennusten välillä ei edelleenkään havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ( $Z = 0.80$ ,  $p = 0.4253$ ), kun taas rakennusten sisällä asuntojen väliset erot olivat merkittäviä ( $Z = 2.93$ ,  $p = 0.0034$ ), samoin asuntojen sisällä näytteenottopäivien väliset erot ( $Z = 6.38$ ,  $p = 0.0001$ ). Mallin sopivuutta eivät parantaneet muut mittaustapahtumaan vaikuttavat kirjatut virhetekijät, elementin kuntotekijät eikä rakennuksen ikä.

Taulukko 6.9 Sisäilman muunnettuun sieni-itiöpitoisuuteen vaikuttavat tekijät, ulkoilmaan viittaava lajisto (*Cladosporium*, *Fusidium*, basidiomykeetit, steriilit rihmat) on poistettu sisäilman ja ulkoilman kokonaissieni-itiöpitoisuuksista. *ndf* = osoittajan vapausasteet, *ddf* = jakajan (virhetermin) vapausasteet, *F* = testisuure, *p* = tilastollisen merkitsevyyden riskitaso.

Selittävä muuttuja	ndf	ddf	F	p
Lumipeite	1	25.0	7.61	0.0107*
Yöpakkanen	1	33.0	8.22	0.0072**
Lumi & Yöpakkanen	1	59.5	9.96	0.0025**
Tuuletus	1	56.3	0.02	0.8986
Tuuletus & Yöpakkanen	1	36.0	8.24	0.0068**
Lumi & Tuuletus	1	29.7	7.52	0.0102*
Sisäilman kosteuspitoisuus & Lumi & Tuuletus	2	37.5	5.5	0.0080**
Sisäilman kosteuspitoisuus & Tuuletus & Yöpakkanen	2	45.3	4.25	0.0204*
Ulkoilma (muunnettu) & Lumi & Yöpakkanen	3	47.7	2.52	0.0688 <sup>a</sup>
Ulkoilma (muunnettu)	1	41.9	6.12	0.0175*
Eristeen sieni-itiöpitoisuus	1	7.6	6.13	0.0398*

<sup>a</sup> suuntaa antava,  $p < 0.1$   
\*  $p < 0.05$   
\*\*  $p < 0.01$   
\*\*\*  $p < 0.001$

## 7 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 7.1 Mikrobikasvuston yleisyys rakenteessa

Betonijulkisivujen eristetilassa esiintyvä mikrobikasvu osoittautui betonielementtien kosteusrasituksen perusteella tehtyä ennakoarviota huomattavasti vähäisemmäksi. Vaikka tutkimusaineiston yksittäisten näytteiden määrä oli suuri (1713), **vain 6,6 % kaikista tutkituista näytteistä oli selvästi mikrobivaurioituneita**. Tutkimusryhmästä tehdyssä tarkastelussa taloista 40 % ja tutkituista elementeistä vastaavasti n. 63 % oli luokiteltavissa mikrobien suhteen puhtaiksi.

Tulokset poikkesivat selvästi suppealla taloaineistolla tehdystä esitutkimuksesta, jossa kuntotutkimuksen yhteydessä tehty näytteenotto oli valikoitunut betonielementtien kuntoa selvittäviin kohtiin ja mahdollisesti poikkeavan huonokuntoisiin elementteihin /43/. Elementin eristetilassa osoittautui homesienille ja sädesienibakteereille epäsuotuisaksi kasvupaikaksi. Vaikka ongelma rajoittuneekin pahimmin vaurioituneisiin rakennuksiin/elementteihin, on kuitenkin huomioitava, että pienikin määrä vaurioituneita elementtejä voi vastata suhteellisesti isompaa osuutta asunnoista.

Rakennuksen julkisivujen kunnan ja ulkoisen kosteusrasituksen sekä eristetilassa mikrobikasvustojen välillä vallitsi selvä yhteys, joskaan ulkoisten tekijöiden perusteella ei voida ennustaa mikrobikasvustojen esiintymistä tai määrää.

### 7.2 Eristetilassa esiintyvän mikrobikasvuston vaikutus sisäilmaan

Mikrobikasvun esiintyminen ulkoseinässä ei sinänsä kerro sen merkityksestä sisäilman laatuun ja sitä kautta asukkaiden terveyteen. Mikrobialtistus tapahtuu hengitysilman kautta, jolloin kasvustoista lähtöisin olevien hiukkasten - sieni-itiöiden ja rihmaston palasten, bakteerisolujen ja niistä irronneiden hiukkasten sekä kaasumaisten aineenvaihduntatuotteiden on siirryttävä ulkoseinärakenteen sisältä sisäilmaan. Hiukkaset voivat siirtyä sisäilmaan, mikäli korvausilma ilmanvaihdon puutteiden vuoksi johtuu sisätiloihin vaurioituneiden ulkoseinäelementtien läpi.

**Tässä tutkimuksessa havaittiin, että ainoastaan runsas sädesienikontaminaatio elementin eristetilassa vaikuttaa sisäilman laatuun.** Vasta kun sädesienipitoisuus eristeessä ylitti 10 000 cfu/g havaittiin sisäilmassa kohonneita sädesienimääriä (yli 10 cfu/m<sup>3</sup>) useammin kuin verrokiasunnoissa. Tällaisia elementtejä oli 7 % tutkimusryhmästä. Tulosten analysoinnissa käytetyn tilastollisen mallin mukaan n. 10 cfu/m<sup>3</sup> pitoisuudet ovat erittäin todennäköisiä eristeiden sädesienipitoisuuden ylittäessä 100 000 cfu/g. Elementin keskiosissa esiintynyt, tutkimuksen koko aineistoon verrattuna suhteellisen yleinen, sädesienikasvu ei vaikuttanut sisäilman laatuun tilastollisesti osoitettavissa olevassa määrin.

Asuntoilman terveysvaikutuksia arvioitaessa käytettyä sisäilman sädesienipitoisuuden raja-arvoa 10 cfu/m<sup>3</sup> /1/ ei ole määritetty terveysperusteisesti. Se on enemmänkin havaintoraja, jonka avulla voidaan arvioida terveydelle haitalliseksi arvioidun sädesienikasvuston esiintymistä asunnossa. Hetkelliset ympäristöolosuhteet voivat

vaikuttaa mittaustulokseen - paitsi itiöiden irtoamiseen kasvustosta myös niiden mitattavuuteen, esimerkiksi ilman kosteus vaikuttaa suoraan itiön kokoon /mm. 66, 67 / ja elävyyteen /68/.

Tutkituissa kohteissa havaittiin erityisesti ilman kosteuspitoisuuden vaikuttavan mikrobien mitattavuuteen. Kaikkien tutkittujen sisäilmamikrobien – sädesienibakteerit, muut mesofiiliset bakteerit ja sieni-itiöt – pitoisuudet laskivat ilman kosteuspitoisuuden laskiessa. Sisäilman kosteuspitoisuus ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) on paitsi asumistoimintoihin liittyvä, myös ulkoilman lämpötilasta ja säätilasta kertova suure. Talvikautena kylmän ulkoilman erittäin pieni kosteuspitoisuus laskee myös asunnoista mitattavaa ilmankosteutta (vrt. Kaava 4.2). Ilman kosteuspitoisuus selittäjänä saattaa liittyä myös pakkaskausien aiheuttaman pintojen sähköisyyden muutoksiin. Sähkövaraukset vaikuttavat biologisten hiukkasten kerättävyyteen /69/.

Mittausjakso ulottui myöhäissyksystä kevääseen ja vain osa näytteenottopäivistä rajoittui suositeltuun maanpinnan lumipeitteisyyden perusteella määriteltyyn talvikauteen /1, 64/. Lumipeitteinen kausi on Lounais- ja Etelä-Suomessa lyhyt ja vaikeasti ennakoitava.

Ulkoilman tausta näkyi selkeästi sisäilman sieni-itiömittauksissa. Käytetyllä tilastollisella analyysillä voitiin taustavaikutus kuitenkin erottaa tutkittavista eristeperäisistä mikrobeista. Muut käytetyt selittäjät olivat osin ulkoilmataustaan liittyviä tekijöitä (lumipeitteisyys, yöpakkaset, tuuletus). Sädesienibakteerien osalta ulkoilman tausta-arvo on kuitenkin erittäin matala, eikä talvikautena otetuissa ulkoilmanäytteissä ollut lainkaan sädesieniä. Asunnoista tavattava sädesienibakteeripitoisuus, samoin kuin muidenkin bakteerien pitoisuus laski ilmankosteuden mukana ulkoilman taustasta riippumatta.

### **7.3 Eristetilan mikrobikasvuston ottaminen huomioon korjaushankkeessa**

Tutkimustulosten pohjalta päädyttiin johtopäätökseen, etteivät eristetilan mahdolliset mikrobikasvustot ja niistä aiheutuva sisäilmaongelma ole niin yleisiä ilmiöitä, että mikrobitalanne pitäisi selvittää aina, esimerkiksi korjaustoimenpiteitä suunniteltaessa. Toisaalta tutkimuksessa havaittiin, että voimakas eristetilan sädesienikasvu vaikutti sisäilman laatuun.

Korjaustarvetta selvittäessä on syytä tarkastella rakennuksen julkisivujen kuntoa ja niiden rasitusoloja sekä rakennuksen korjaus- ja vauriohistoriaa siten, että voidaan arvioida julkisivujen tai asuntojen poikkeukselliset, ajankohtaiset tai lähihistoriassa mahdollisesti esiintyneet kosteusongelmat. Poikkeuksellisilla kosteusongelmilla tarkoitetaan kaikkia ulkoseiniin liittyviä vesivuotoja tai vauriojälkiä.

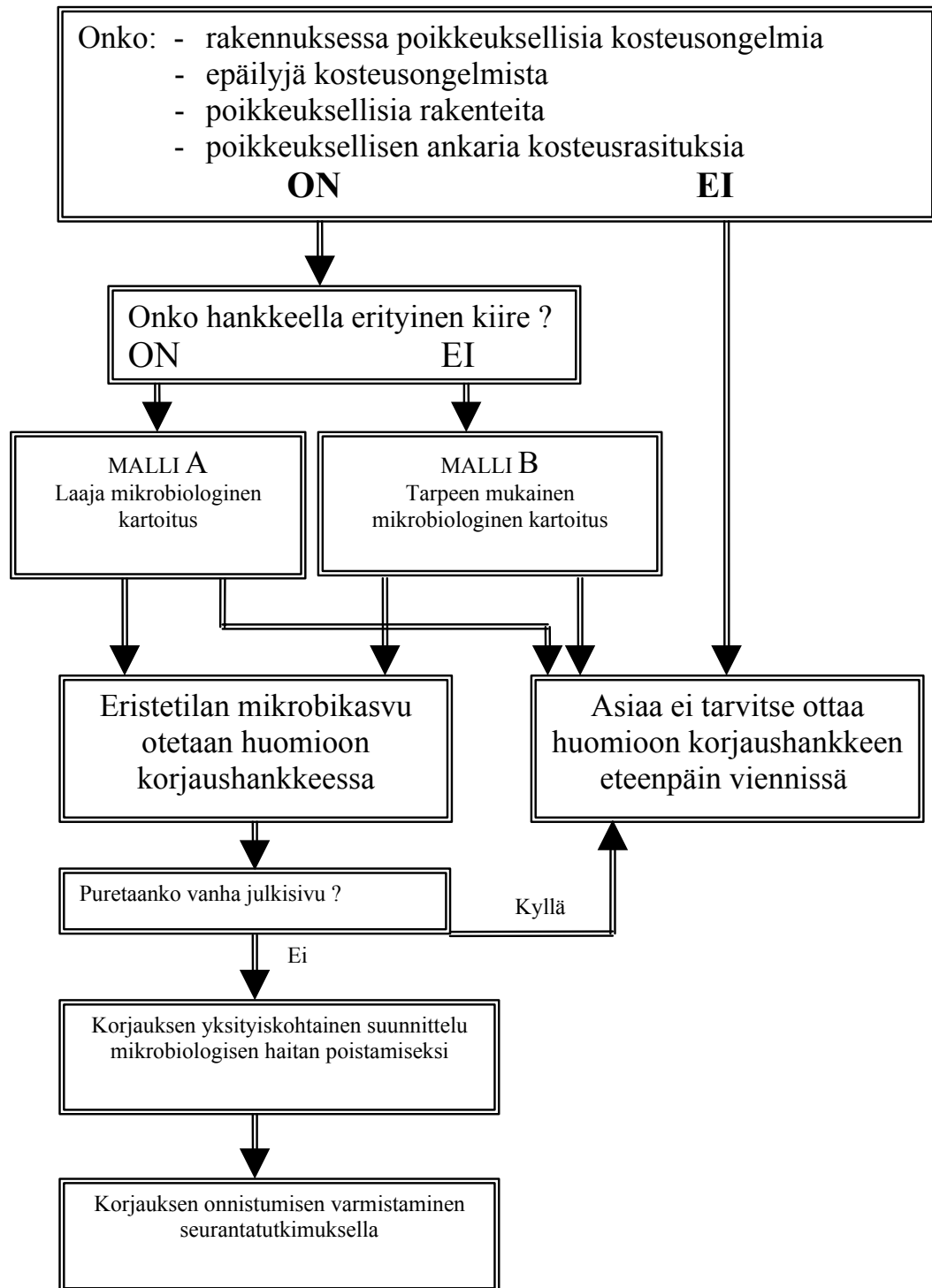
Lisäksi on selvitettävä julkisivuissa mahdollisesti olevat riskirakenteet tai yksityiskohdat, jotka olisivat voineet aiheuttaa julkisivuelementtien poikkeuksellista kosteusrasitusta. Arvioinnissa on otettava huomioon myös ennen aikaisempia julkisivukorjauksia vallinnut tilanne. Mikäli ulkoseinärakenteeseen voidaan olettaa päässeen merkittäviä sadevesivuotoja tai jos muista lähteistä kosteuden runsas kertyminen on ollut mahdollista, on mikrobiologinen kunto syytä selvittää. Mikrobikasvuston selvittäminen on perusteltua myös, mikäli hankesuunnitteluvaiheessa

on lähes tasavertaisina vaihtoehtoina eri tasoisia ja hyvin eri hintaisia korjausmenetelmiä, esimerkiksi verhous- ja purkutyyppiset korjaukset, ja niiden yhtenä valintaperusteena voidaan käyttää mikrobiologista kuntoa.

Poikkeuksellisen korkeita kosteusrasituksia ovat esimerkiksi:

- runsas viistosade yhdistettynä pitkäaikaisesti huonokuntoisiin saumoihin
- puutteelliset tai vaurioituneet liitosrakenteet, kuten räystääs-, ikkuna- ja parvekeliitokset tai julkisivussa olevat huonokuntoiset ilmanvaihtoviitit
- korkea pitkäaikainen sisäilman suhteellinen kosteus, joka on voinut aiheuttaa kosteuden kertymistä seinään.

Tiivistetyssä toimintamallissa (kuva 7.1) esitetään yksinkertaistettu malli asian ottamisesta huomioon korjauksen hankesuunnitteluvaiheessa. Kuvassa esitetyt vaihtoehtomallit A ja B ovat seuraavassa kappaleessa esitetyt kuntotutkimustoimintamalleja, joiden valintaan vaikuttaa lähinnä hankesuunnittelun aikataulu /2/.



Kuva 7.1 Toimintamalli eristetilan mikrobikasvuston ottamisesta huomioon hankesuunnitteluvaiheessa

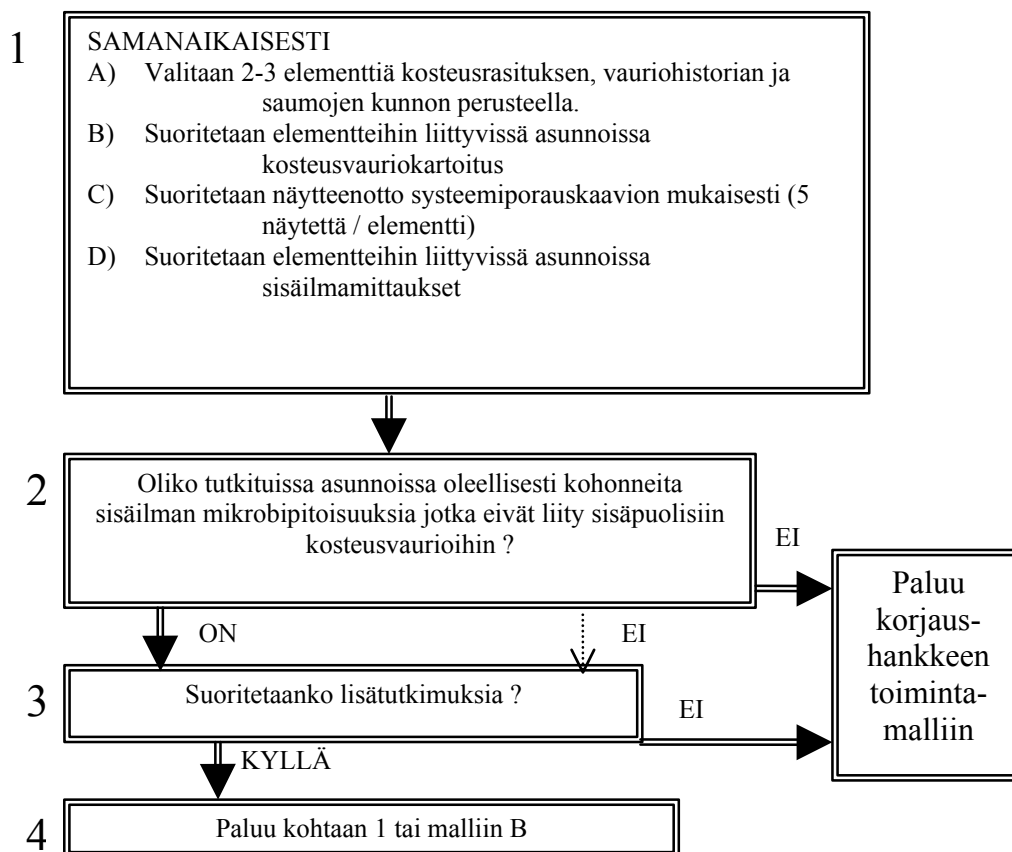


## 7.4 ERISTETILAN MIKROBIKASVUSTON HUOMIOIMINEN KUNTOTUTKIMUKSISSA

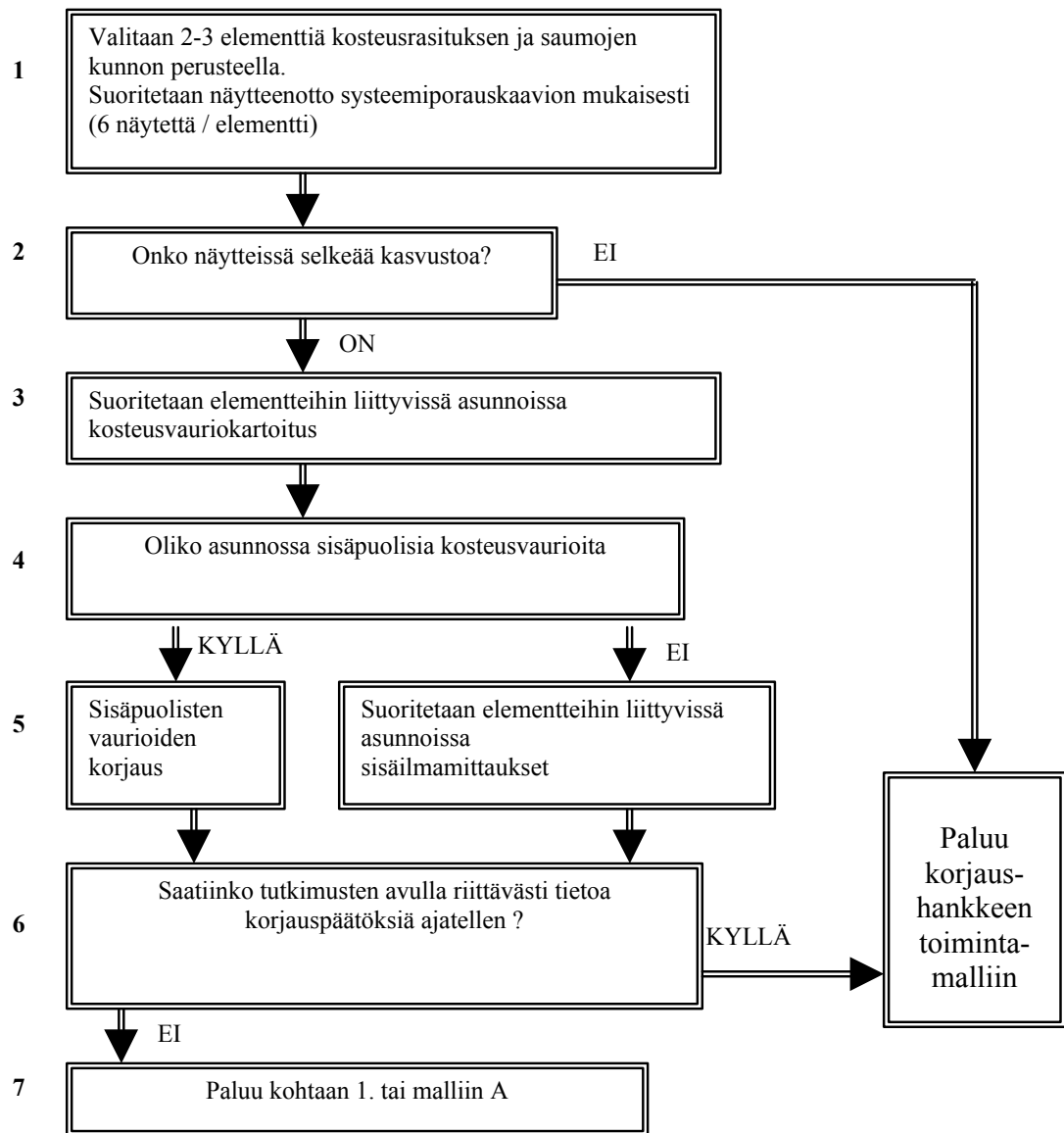
Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin myös julkaisu *Ohje betonielementtijulkisivujen eristetilan mikrobitutkimuksen toteuttamisesta*, jossa annetaan käytännönläheisiä ohjeita tutkimuksen aikana saatujen kokemusten perusteella. Ohje julkaistaan TTKK:n Talonrakennustekniikan julkaisusarjassa.

Mikäli hankesuunnittelussa on päädytty siihen, että mahdollinen eristetilan mikrobikasvu pitää ottaa huomioon korjaushankkeessa, selvityksiin on ryhdyttävä mahdollisimman nopeasti, jotta tulokset voidaan saada korjaussuunnitteluun riittävän ajoissa.

Seuraavassa esitetään kaksi ajankäytöllisesti erilaista mikrobivauriota selvittävää tutkimusmallia. Malli A on kokonaiskestoajaltaan huomattavasti lyhyempi, mutta sen kustannus on suurempi kuin mallin B. Mikäli korjaushankkeeseen on varauduttu riittävän ajoissa ja hankesuunnitteluun on varattu riittävästi aikaa, mikrobiologiset tutkimukset voidaan suorittaa mallin B mukaan.



Kuva 7.2 Toimintamalli A eristetilan mikrobikasvuston kuntotutkimuksesta



Kuva 7.3 Toimintamalli B eristestilan mikrobikasvuston kuntotutkimuksesta

## 7.5 Eristestilan mikrobikasvuston selvittämisen kustannukset

Laajamittaisten korjausten ollessa kyseessä eristestilan mikrobivaurioiden selvittämisen kustannukset jäävät marginaalisiksi. Toisaalta, jo tunnetun sisäilmaongelman ratkaisemisessa myös ulkoseinässä olevan mahdollisen mikrobilähteen selvittäminen on perusteltua.

Mikrobivaurioiden selvityskustannukset riippuvat tapauskohtaisesti rakennuksen koosta ja siihen liittyvästä tarvittavien mikrobinäytteiden määrästä, näytteenottoon tarvittavasta ajasta ja kalustosta. Kustannukset jäävät pienimmiksi, jos mikrobivaurioiden mahdollisuus kartoitetaan muiden kuntotutkimustoimien tai korjaustoimien yhteydessä. Tällöin esimerkiksi nosturikustannusten osuus jää pienemmäksi.

---

**Kustannustekijät eristetilan mikrobikasvuston selvittämisessä:**

---

- Työvoimakustannukset
  - Nostokalusto
  - Mikrobiologiset analyysit eristenäytteistä
  - Asuntojen sisäiset ilmanäytteet ja niiden analyysi
- 

Yksittäisen rakennuksen näytteenottoon, näytteiden käsittelyyn ja tulosten tulkintaan vaadittava työpanos on noin 6-12 työtuntia. Vuoden 1998 kustannustasolla työpanoksen kustannukset vaihtelevat noin 1000 - 2500 mk. Näytteenottoon lähes poikkeuksetta tarvittava nosturikaluston vuokrat vaihtelevat kalustontyypistä ja kaudesta riippuen 250 - 400 mk/h. Tutkimuksen aikana saatujen kokemusten mukaan pienen harjaantumisen jälkeen kahden hengen työryhmä ottaa näytteet yhdestä elementistä noin tunnin aikana, eli nosturin siirtoon vaadittavista yms. ajoista riippuen näytteenoton kalustokustannukset esimerkiksi kolmesta tutkimusta elementistä vaihtelevat välillä 1000 – 2000 mk.

Mikrobiologisten analyysien hinnat vaihtelevat huomattavasti eri laboratorioiden välillä. Näytteiden hinnat vaihtelevat n. 150-450 mk näytemääräkokonaisuuksista, analyysitarkkuudesta ja menetelmästä riippuen. Jos tyydytään sieni- ja sädesienipitoisuuden määrittämiseen ilman lajistomäärityksiä, on hinta usein pienempi.

Asuntojen sisäilman mikrobiologisen laadun selvittämisen kustannukset voivat nousta korkeiksi, mikäli näytteenottoon ei ole terveysperusteisia syitä. Mikäli epäilyjä terveysvaikutuksista on, kuntien terveysvalvonta yleensä hoitaa näytteenoton ja analyysikustannukset. Asuntokohtaisen näytteenoton hinnat vaihtelevat tyypillisesti välillä 700 mk - 2500 mk. Näytteenotto ennen suuria korjaustoimia on kuitenkin perusteltua, koska eristeessä olevan kontaminaation lisäksi tilanteeseen vaikuttaa korvausilmareititys ja sisäkuoren kunto: kasvu eristeessä ei aina vaikuta sisäilmaan.

## **7.6 Eristetilan mikrobikasvuston ottaminen huomioon eri tasoissa korjauksissa**

Tutkimukseen saatiin mukaan ennakoitua vähemmän korjauskohteita, joissa olisi voitu selvittää eri tasoisten korjaustoimien vaikutusta mikrobiongelmaan. Aineisto ei riitä yleisten johtopäätösten tai korjaustapasuosittelusten antamiseen.

Yleisesti voidaan sanoa, että:

- useimmissa korjaushankkeissa elementtien eristetilan mahdollinen mikrobikasvu ei vaadi erityistä huomioonottamista
- korvausilman saannin parantamisella seinärakenteesta lähtöisin olevan mikrobikontaminaation vaikutukset vähenevät

- purkukorjaus mikrobivaurion poistossa todennäköisesti toimii aina, mutta voi olla ylimitoitettu muuhun vauriotilanteeseen nähden
- verhous ja lisälämmöneristys poistaa kasvuston vaatimat olosuhteet vanhassa eristeessä mutta kuiva kasvusto jää jäljelle
- verhoukseen voidaan yhdistää sisäpuolinen tiivistys, jolla vähennetään ilmapuotoja ulkoseinän läpi. Tiivistys on tehtävä koko julkisivun alueelle, ei yksittäisiin asuntoihin

Jos eristetila on mikrobivaurioitunut, voi verhoukorkorjauksissa eristeeseen jäävä itiöstö mikrobikasvulle suotuisissa kosteusolosuhteissa nopeasti aktivoitua kasvustoksi. Verhoukorkorjauksien kosteustekniseen toimivuuteen ja yksityiskohtien toteutuksen suunnitteluun onkin kiinnitettävä erityistä huomiota jotta rakenteeseen ei korjauksen jälkeen pääsisi syntymään edes paikallisia kosteuskertymiä.

Mikäli korjauksissa käytetään tiivistys- tai verhoustyyppejä korjausmenetelmiä, niin on perusteltua järjestää myös korjauksen onnistumisen jälkiseuranta. Nykyinen mittaus- ja tiedonkeruuteknologia mahdollistaa seinärakenteen kosteustilanteen jatkuvan seurantamittauksen suhteellisin edullisin kustannuksin. Seuranta voidaan tehdä myös yksittäisten mittausten avulla, mutta tällöin johtopäätösten tekeminen on paljon vaikeampaa. Mikrobiologisen tilan seuranta voidaan tehdä esimerkiksi toistettujen sisäilmamittausten avulla.

## 7.7 Tutkimuksen tavoitteiden toteutuminen

Tutkimuksen tavoitteet muotoiltiin projektin alussa kahdeksaan kysymykseen (kappale 3.1). Kysymysten asettelu oli suunniteltu siten, että ensimmäiseen viiteen kysymykseen saadaan joka tapauksessa vastaus, mutta viimeisen kolmen kysymyksen osalta tutkimuksen tulokset määräävät sen, onko kysymyksiin mahdollista saada vastausta. Seuraavassa luettelossa on esitetty tutkimuksen tavoitteiden toteutuminen kysymyksittäin.

- I. Mikä on homekasvustojen yleisyys kosteusrasitukseltaan ja vaurioasteeltaan erilaisissa betonielementti -ulkoseinärakenteissa?
  - Mikrobikasvustojen yleisyys selvitettiin perusteellisesti (kappaleet 5.3, 6.1 ja 7.1)
  - Mikrobikasvustojen, kosteusrasituksen ja julkisivun vaurioiden välinen riippuvuus selvitettiin (kappaleet 5.1 ja 6.2)
- II. Onko betonielementin eristetilassa olevalla homekasvustolla vaikutusta sisäilman mikrobiologiseen laatuun?
  - Eristetilan kasvustojen ja sisäilmapitoisuuksien välinen riippuvuus selvitettiin (kappale 6.3)

- III. Onko eristetilassa mahdollisesti olevat mikrobikasvustot otettava huomioon julkisivujen kuntotutkimuksessa ?
- Mikrobikasvustojen ottamisesta huomioon kuntotutkimusten yhteydessä annettiin toimintaohjeet (kappale 7.4 ja erillinen julkaisu: Ohje betonielementtijulkisivujen eristetilan mikrobitutkimuksen toteuttamisesta)
- IV. Miten elementtien sisällä olevien eristeiden mikrobikasvustoja pitäisi tutkia ?
- Eristetilan mikrobikasvuston tutkimisesta annettiin ohjeet tutkimustuloksiin perustuen (Erillinen julkaisu: Ohje betonielementtijulkisivujen eristetilan mikrobitutkimuksen toteuttamisesta)
- V. Milloin mikrobikasvustojen haitta-aste vaatii asian huomioonottamista korjauksessa?
- Mikrobikasvustojen huomioimisessa korjaushankkeessa annettiin toimintamallit (kappale 7.3), mutta ei raja-arvoja.
- VI. Miten erilaiset korjausvaihtoehdot vaikuttavat rakenteen mikrobikasvustoihin sekä sisäilman mikrobipitoisuuksiin?
- Korjausten vaikutuksia ei pystytty laajamittaisesti tutkimaan, joten tähän kysymykseen ei saatu vastausta.
- VII. Vaikuttaako ulkoseinärakenteiden homekasvusto asukkaiden terveyteen?
- Sisäilman kohonneiden mikrobipitoisuuksien harvinaisuuden vuoksi tämän tutkimuksen kanssa samanaikaisesti toteutetun terveystutkimuksen tuloksia ei ole analysoitu. Näin ollen kysymykseen ei saatu vastausta. Tutkimuksen muiden tulosten (ks. 7.2) valossa voidaan kuitenkin todeta, että sandwich-elementeistä aiheutuva mikrobilähtöinen sisäilma-altistus on harvinaista eikä näin ollen aiheuta normaalitilanteessa haitallisia terveysvaikutuksia.
- VIII. Tulisiko betonijulkisivujen rakennetta tai käytettyjen materiaalien ominaisuuksia kehittää rakenteen kosteusteknisen toimivuuden parantamiseksi sekä uudis- että korjausrakentamisessa?
- Tutkimuksen tuloksena ei voida esittää uusia kehitystarpeita julkisivujen rakenteiden tai materiaalien osalta.
  - Julkisivua lävistävien osien (esimerkiksi korvausilmaventtiilien) tiiviiden suhteen on ehkä syytä tehdä kehitystyötä, tai niiden tiiviys on ainakin paremmin otettava huomioon suunnittelu- ja toteutusvaiheessa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että vaikka kaikkiin tutkimuksen tavoitteina oleviin kysymyksiin ei saatukaan vastausta, saatiin selkeä käsitys betonielementtiulkoseinien mikrobiologisesta toiminnasta ja siitä, ettei tavanomaisia, huolellisesti hoidettuja betonielementtijulkisivuja ole tarvetta tutkia mikrobiologisen kunnan suhteen ilman erityisiä perusteita.

## 8 LIITELUETTELO

<i>Liite 1 Tekninen kysely –lomake</i>	2 s.
<i>Liite 2 Sisäiseen tarkastukseen liittyvän havaintolomakkeen kysymykset</i>	2 s.
<i>Liite 3 Ilmanäytteenottoon liittyvän virhelähdekyselyn ja havaintolomakkeen kysymykset</i>	2s.

## 9 KIRJALLISUUSVIITTEET

---

- 1 Sosiaali- ja terveysministeriö. Sisäilmaohje: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1. Helsinki. 72 s.
- 2 Pentti M, Mattila J, Wahlman J. Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus, Julkaisu 87, TTKK, Tampere 1998. 156 s.
- 3 Partanen P, Jääskeläinen E, Nevalainen A ja muut. Pientalojen kosteusvauriot - Yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. KTL B6/1995, Kuopio. 48 s.
- 4 Koivisto J, Jääskeläinen E, Nevalainen A, ja muut. Asuinkerrostalojen kosteusvauriot - Yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. KTL B9/1996, Kuopio. 86 s.
- 5 Garret M, Rayment R, Hooper M, Abramson M, Hooper B. 1998. Indoor airborne fungal spores, house dampness and association with environmental factors and respiratory health in children. Clin. Exp. Allergy 28:459-467
- 6 Koskinen O, Husman T, Hyvärinen A, Reponen T, Nevalainen A. 1995. Respiratory symptoms and infections among children in a day-care center with mold problems. Indoor Air 5:364-67
- 7 Brunekreef B. 1992. Damp housing and adult respiratory symptoms. Allergy 47:498-502
- 8 Majvikin suositus: kosteusvauriomikrobien aiheuttamien oireiden selvittely. 1998. Suomen lääkärilehti 53:2149-2155
- 9 Andersson M, Mikkola R, Kroppenstedt R, Rainey F, Peltola J, Helin J, Sivonen K, Salkinoja-Salonen M. 1998. The mitochondrial toxin produced by *Streptomyces griseus* strains isolated from an indoor environment is valinomycin. Appl. Environ. Microbiol. 64: 4767-4773
- 10 Hirvonen M, Ruotsalainen M, Savolainen K, Nevalainen A. 1997. Effect of viability of actinomycete spores on their ability to stimulate production of nitric oxide and reactive oxygen species in RAW264.7 macrophages. Toxicology 124:105-114
- 11 Andersson K et al. 1997. TVOC and health in non-industrial indoor environments. Report from a Nordic scientific consensus meeting at Långholmen in Stockholm, 1996. Indoor Air 7:78-91
- 12 Bjurman, J. 1993. Thermal insulation materials, micro-organisms and the sick building syndrome. Proc. Indoor Air '93. Helsinki, Finland. 4:339-343

- 
- 13 Aheam D, Crow S, Simmons R, Price D, Noble J, Mishra S, Pierson D. 1996. Fungal colonization of fiberglass insulation in the air distribution system of a multi-story office building: VOC production and possible relationship to a sick building syndrome. *J. Ind. Microbiol.* 16:280-285
  - 14 Pasanen A-L, Korpi A, Kalliokoski P, Pasanen P. 1998. Critical aspects on the significance of microbial volatile metabolites as indoor air pollutants. *Environ. Int.* 24:703-712
  - 15 Suomen Betoniyhdistys ry. Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus 1992, by 32, 2.painos. Helsinki.
  - 16 Mäkiö E, Malinen, M, Neuvonen P, Vikström K, Mäenpää R, Saarenpää J, Tähti E. Kerrostalot 1960-1975. Rakennustieto, Helsinki, 1994. 288 s.
  - 17 Pentti M. 1988. Ulkoseinärakenteiden pitkäaikaiskestävyys: Betonirakenteiset, muuratut ja puujulkisivut. TTKK, Raportti 33. Tampere. 254 s.
  - 18 Kalliokoski P, Pasanen A-L, Korpi A, Pasanen P. 1996. House dust as a growth medium for micro-organisms. *Proc. Indoor Air '96. Nagoya, Japan* 3:131-135.
  - 19 Deacon J. *Modern Mycology*. Blackwell Science. 1997. 303 s.
  - 20 Grant C, Hunter C, Flannigan B, Bravery A. 1989. The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. *Int. Biodet.* 25:259-284
  - 21 Pasanen A-L, Juutinen T, Jantunen M, Kalliokoski P. 1992 (1993). Occurrence and moisture requirements of microbial growth in building materials. *Int. Biodet. Biodegr.* 30:273-283
  - 22 Workshop on Health implications of fungi in indoor environments, Baarn, 9-13. 11. 1992. In: Samson, R. A. et al. (eds. ): *Health implications of fungi in indoor environments*. Elsevier, Amsterdam. 1994. 531-538
  - 23 Viitanen H, Ritschkoff A-C. 1991. Mould growth in wooden constructions. The Swedish Univ. Agricultural Sciences, Dept Forest products. Report 221. 40 s.
  - 24 Rätty K, Raatikainen O, Holmalahti J, von Wright A, Joki S, Pitkänen A, Saano V, Hyvärinen A, Nevalainen A, Buti I. 1995. Biological activities of actinomycetes and fungi isolated from the indoor air of problem houses. *Int. Biodeter. Biodegr.* 34:143-154
  - 25 Hirvonen M-R, Ruotsalainen M, Suutari M, Nevalainen A. 1999: Kasvualustan pH:n vaikutus hometalosta eristetyn aktinomykeetin biologisiin vasteisiin nisäkässoluissa. *Sisäilmastoseminaari, Sisäilmayhdistys Raportti* 13:215-218
  - 26 Madelin T, Madelin M. 1995: Biological analysis of fungi and associated molds. In: Cox C, Wathes CM. (eds.): *Bioaerosols handbook*. CRC Press, Boca Raton. ss. 15-25.



- 
- 27 Diercks M, Sand W, Bock E. 1991. Microbial corrosion of concrete. *Experientia* 47:514-516
  - 28 Neville A. Properties of concrete. 4rd and Final Edition, Longman Group Limited 1995, 797 s.
  - 29 Lapeyrie F, Chilvers G, Bhem C. 1987. Oxalic acid synthesis by the mycorrhizal fungus *Paxillus involutus* (Batsch. ex. Fr.) Fr. *New phytologist* 106:139-146
  - 30 Urzì C, 1995. Biodiversity of rock inhabiting microbiota with special reference to black fungi and black yeasts. In: Allsopp D et al. (eds. ) *Microbial diversity and ecosystem function*. University Press, Cambridge. ss. 289-302
  - 31 Paajanen, L, Ritschkoff, A-C, Viitanen, H. Lämmöneristeiden merkitys rakennusten biologisissa vaurioissa. VTT julkaisuja 791. VTT offsetpaino, Espoo 1994. 64 s.
  - 32 Karppinen Kirsti, Paroc Oy Ab, sähköpostiviesti 16.6.1999.
  - 33 Ezeonu I, Price D, Crow S, Ahearn D. 1995. Effects of extracts of fiberglass insulations on the growth of *Aspergillus fumigatus* and *A. versicolor*. *Mycopathologia* 132:65-69
  - 34 Foarde KK, van Osdell D, Chang C. 1996. Amplification of *Penicillium chrysogenum* on three HVAC duct materials. HVAC-induced alterations in microbial flora of indoor air - a potential for increased pathogenity of microbes? Proc. Indoor Air '96. Nagoya, Japan 3:197-202
  - 35 West M, Hansen, E. 1989. Determination of material hygroscopic properties that affect indoor air quality. Proc. IAQ'89 - The human equation: Health and comfort, American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, Inc., Atlanta, GA, USA. ss. 60-63
  - 36 Ezeonu I, Noble J, Simmons R, Price D, Crow S, Ahearn D. 1994. Effect of relative humidity on fungal colonization of fiberglass insulation. *Appl. Environ. Microbiol.* 60:2149-2151
  - 37 Price D, Simmons R, Ezeonu I, Crow S, Ahearn D. 1994. Colonization of fiberglass insulation used in heating, ventilation and air conditioning systems. *J. Ind. Microbiol.* 13:154-158
  - 38 Bjurman J. 1993. Thermal insulation materials, micro-organisms and the sick building syndrome. *INDOOR'93*, Helsinki, 4:339-343
  - 39 Andersson MA, Nikulin M, Koljalg U, Andersson MC, Rainey F, Reijula K, Hintikka E L, Salkinoja-Salonen M. 1997. Bacteria, molds, and toxins in water-damaged building materials. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:387-393

- 
- 40 Wolf AT. Ageing resistance of building and construction sealants. Proc. Int. RILEM Symp. on Durability of Building Sealants. Building Research Establishment, Garston, UK. 1994 :81-84
  - 41 Kaufhold T, Fiedler K, Jung G, Lindner M, Gassel R. 1997. Feuchtigkeit und Schimmelbefall an Innenwänden von Plattenbauten - Untersuchungen zu einer ungewöhnlichen Ursache (Moisture and mould at the inner-walls of "Plattenbauten" (prefabricated slabs): examinations of a strange reason). Zbl. Hyg. 199:527-536
  - 42 Suonketo J, TTKK, Suullinen tiedonanto 20.6.1999
  - 43 Pessi A-M, Lumivirta, H, Rantio-Lehtimäki A. 1996. Homekasvu kerrostalon sandwich-rakenteisten julkisivuelementtien eristetilassa. Sisäilmastoseminaari, Sisäilmayhdistys raportti 6:131-135
  - 44 TTKK, Betonijulkisivujen kuntotutkimus –kurssiaineisto. 1995. 3. 3:7-30
  - 45 Lehtinen T et al. Julkisivun lisälämmöneristäminen tuulettuvalla rakenneratkaisulla. Julkaisu 56, TKK, talonrakennustekniikka, Espoo 1996. 92 s.
  - 46 Muurimäki J. Sandwich-elementin ulkokuoren purku nostotyynymenetelmällä, diplomityö, TTKK, Rakentamistalouden laitos, Tampere 1997, 136 s.
  - 47 Foarde K, van Osdell D, Meyers E, Chang J. 1997. Investigation of contact vacuuming for remediation of fungally contaminated duct materials. Environ. Int. 23:751-762
  - 48 Tuohilampi-ryhmä; Susitaival P, Husman T (toim.) Tuohilampi kysymyssarjat: kyselylomakkeisto hengityselinten, ihon ja silmien yliherkkyysairauksien väestötutkimuksia varten. Kuopio, 1996. 104 s.
  - 49 Verhoeff A, van Reenen-Hoekstra E, Samson R, Brunekreef B, van Wijnen J. 1994. Fungal propagules in house dust. I. Comparison of analytic methods and their value as estimators of potential exposure. Allergy 49:533-9
  - 50 Pitt JI. 1979, The genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. London, Academic Press. 1979. 634 s.
  - 51 Lehtonen M, Reponen T, Nevalainen, A. 1993. Everyday activities and variation of fungal spore concentrations in indoor air. Int. Biodet. Biodegr. 31:25-39
  - 52 Turun yliopisto, Ekologian osasto, Aerobiologian ja sieniekologian yksikkö
  - 53 Andersen, A. 1958. A new sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particles. J. Bacteriol. 76:471-484
  - 54 Sokal R, Rohlf F. 1981. Biometry. W. H. Freeman & Co, San Francisco. 859 s.

- 
- 55 SAS -institute Inc. 1998. SAS Systems for Windows, 6. 12. , SAS Institute Inc. , Cary, NC, USA.
- 56 SAS -institute Inc. 1997. SAS Sample library, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- 57 Wolfinger R, O'Connell M. 1993, Generalized linear mixed models: a pseudo-likelihood approach. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 48.
- 58 Ilmastokatsaus 5/97-5/98.
- 59 Ilmatieteen laitos, ilmastopalvelu
- 60 Björkholz, D. Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy, Helsinki 1997. 6. 1:43 kaava 6. 8.
- 61 Hocking A, Pitt J. 1980. Dichloran-glycerol medium for enumeration of xerophilic fungi from low-moisture foods. *Appl. Environ. Microbiol.* 36:723-727.
- 62 Cooke, WB. 1979. The ecology of fungi. CRC Press.
- 63 Reponen T, Nevalainen A, Raunemaa T. 1989. Bioaerosol and particle mass levels and ventilation in Finnish homes. *Environ. Int.* 15:203-208
- 64 Nevalainen A, Pasanen A-L, Niinen M, Reponen T, Kalliokoski P, Jantunen MJ. 1991. The indoor quality in Finnish homes with mold problems. *Environ. Int.* 17:299-302
- 65 Reponen T, Nevalainen A, Jantunen M, Pellikka M, Kalliokoski P. 1992. Normal range criteria for indoor air bacteria and fungal spores in a subarctic climate. *Indoor air* 2:26-31
- 66 Reponen T, Gazenko S, Grinshpun S, Willeke K, Cole E. 1998. Characteristics of airborne actinomycete spores. *Appl. Environ. Microbiol.* 64:3807-3812
- 67 Madelin T, Johnson H. 1992. Fungal and actinomycete spore aerosols measured at different humidities with an aerodynamic particle sizer. *J. Appl. Bacteriol.* 72:400-409
- 68 Cox CS. 1989. Airborne bacteria and viruses. *Sci. Prog. Oxf.* 73:469-500
- 69 Cox CS. 1995: Physical aspects of bioaerosol particles. In: Cox C, Wathes CM. (eds.): *Bioaerosols handbook*. CRC Press, Boca Raton. ss. 15-25

## Betem - tutkimusprojekti: TEKNINEN KYSELY, SIVU 1

Tampereen teknillinen korkeakoulu / Talonrakennustekniikan laboratorio

**A) YLEISTIETOJA HUONEISTOSTA JA ASUKKAISTA:** (merkitkää sopiva vaihtoehto)

1. Huoneiston koko _____ m <sup>2</sup>	(1) 1 h + k	(2) 2 h + k	(3) 3h+k	(4) 4 h + k	(5) oma sauna
2. Asukkaat, aikuiset yli 16 v	(1) 1	(2) 2	(3) 3 tai enemmän		
3. Asukkaat, lapset 0-16 v	(1) 1	(2) 2	(3) 3 tai enemmän		

**B) ARVIOITA RAKENTEIDEN KUNNOSTA**

**TÄYTTÖOHJE:** - Arvioikaa mikä esitetyistä vaihtoehtoista sopii parhaiten kysytyjen asioiden kohdille, mikäli vastaatte 'HUONO' voitte perustella miksi ?

Asia	Huonetila	HYVÄ	TYDYTTÄVÄ	HUONO	JOS HUONO NIIN MIKSI ?
ILMANVAIHTO: ilmanlaatu, riittävyys ?	1. MAKUUHUONEET	(0)	(1)	(2)	
	2. KEITTIÖ	(0)	(1)	(2)	
	3. KYLPYHUONE	(0)	(1)	(2)	
	4. VAATEHUONE	(0)	(1)	(2)	
	5. WC	(0)	(1)	(2)	
VESIKALUSTEET: vesivuodot, tippuminen yms. ?	6. KEITTIÖ	(0)	(1)	(2)	
	7. KYLPYHUONE	(0)	(1)	(2)	
	8. WC	(0)	(1)	(2)	
VIEMÄRIT ja LATTIAKAIVOT toimivuus ?	9. KEITTIÖ	(0)	(1)	(2)	
	10. KYLPYHUONE	(0)	(1)	(2)	
	11. WC	(0)	(1)	(2)	
LATTIAKALLISTUKSET jäähkö lattialle vettä ?	12. KYLPYHUONE	(0)	(1)	(2)	
	13. WC	(0)	(1)	(2)	
IKKUNAT: tiiviyys, veto ?	14. OLOHUONE	(0)	(1)	(2)	
	15. MAKUUHUONE 1	(0)	(1)	(2)	
	16. MAKUUHUONE 2	(0)	(1)	(2)	
	17. MAKUUHUONE 3	(0)	(1)	(2)	
	18. KEITTIÖ	(0)	(1)	(2)	
	19. KYLPYHUONE	(0)	(1)	(2)	
ULKOSEINIEN OVET	21. PARVEKEOVI	(0)	(1)	(2)	

**C) TUTKIMUKSESSA TARVITAAN ASUKKAIDEN TIETOJA OMASSA HUONEISTOSSA TEHDYISTÄ KORJAUKSISTA TAI HAVAITUISTA ONGELMISTA.**

(täyttäkää kaikki kohdat ja kuvaillkaa tehdyt toimenpiteet)

1. Kylpyhuoneremontti ? [ 0 ]ei tietoa, [ 1 ]tehty \_\_\_ v sitten, mitä tehty =&gt; \_\_\_\_\_

2. Ikkunoiden tiivistäminen? [ 0 ]ei tietoa, [ 1 ]tehty \_\_\_ v sitten, mitä tehty =&gt; \_\_\_\_\_

**Huoneistosta havaitut kosteusvauriot ( mm. vesivuodot putkistosta tai kodinkoneista yms.)?**

3. Keittiö [ 0 ]ei tietoa [ 1 ] havaittu \_\_\_ v sitten, mitä =&gt; \_\_\_\_\_

4. Kosteat tilat [ 0 ]ei tietoa [ 1 ] havaittu \_\_\_ v sitten, mitä =&gt; \_\_\_\_\_

5. Muut tilat [ 0 ]ei tietoa [ 1 ] havaittu \_\_\_ v sitten, mitä =&gt; \_\_\_\_\_

**Huoneistosta havaitut kosteusjäljet ( pintojen värimuutokset, maalipintojen kupruilu yms ) ?**

6. Keittiö [ 0 ]ei tietoa [ 1 ] havaittu \_\_\_ v sitten, mitä =&gt; \_\_\_\_\_

7. Kosteat tilat [ 0 ]ei tietoa [ 1 ] havaittu \_\_\_ v sitten, mitä =&gt; \_\_\_\_\_

8. Muut tilat [ 0 ]ei tietoa [ 1 ] havaittu \_\_\_ v sitten, mitä =&gt; \_\_\_\_\_

**9. Huoneistosta havaitut näkyvät homekasvustot ?**

[ 0 ]ei havaintoja, [ 1 ] havaittu \_\_\_ v sitten, missä =&gt; \_\_\_\_\_

[ 2 ] havaittu \_\_\_ v sitten, missä =&gt; \_\_\_\_\_

10. Muita korjauksia tai vaurioita ? \_\_\_\_\_

**KÄÄNNÄ =>**



merkitse 0=OK, 1=huono/tyydyttävä, 2=erittäin huono (=hylkäysperuste, **kuvaa vaurio!**)

Piirrä lomakkeen taakse kaavio huoneistosta ja merkitse huoneet! Havainnoi myös huoneistoon tultaessa ilmanlaatua!

**A) KEITTIO** **0** Keittiön virhepisteet yhteensä

- 1  Alaskaappien sisäosa, viemärien kunto, tiskikoneen putkikukset, lastulevyjen kupruilu, lattiapinnoitteen kunto.
- 2  Tiskialtaan silikonitiivistysten ehjyys.
- 3  Liesituulettimen tai poistoilmaventtiilien yleisilme / likaisuus
- 4  Kylmäkalusteiden alapuolisen lattiapinnoitteen kunto ja ympäröivien kaapistojen kunto.
- 5  Seinäpintojen materiaali ja vesivauriojäljet
- 6  Ikkunoiden kunto / vesivuotojäljet
- 7  Lämmityspatterien ja -putkien ympäristö.

**B) WC, KYLPYHUONE ja SAUNA** **0** Märkätilojen virhepisteet yhteensä

- 1  Seinäpinnoitteiden kunto ja materiaali, nurkkasaumojen kunto ja ehjyys.
- 2  Lastulevykalusteiden kupruilu.
- 3  WC-istuimen takaosa.
- 4  Lattian pinnoitemateriaali ja sen kunto.
- 5  Lattiakaivon ympäristö ja toimivuus, lattiakallistusten riittävyys.
- 6  Lattia- / kattopintojen vesivauriojäljet
- 7  Oven / karmien / kynnysten kunto
- 8  Viemärien / putkistojen ympäristö
- 9  Pesukoneen taka- / alapuoli
- 10  Kosteudenosoittimella tehdyt havainnot kosteusvaurioista

**C) MAKUUHUONEET, merkitse MH1, MH2, .. jne** **0** Makuuhuoneiden virhepisteet yhteensä

- 1  Lämmityspatterien ja -putkistojen ympäristö
- 2  Ikkunoiden kunto / vesivuotojäljet
- 3  Lattia- / kattopintojen vesivauriojäljet
- 4  Seinäpintojen vesivauriojäljet, etenkin ulkoseinät ja märkätilojen vastaiset seinät

**D) OLOHUONE** **0** Olohuoneen virhepisteet yhteensä

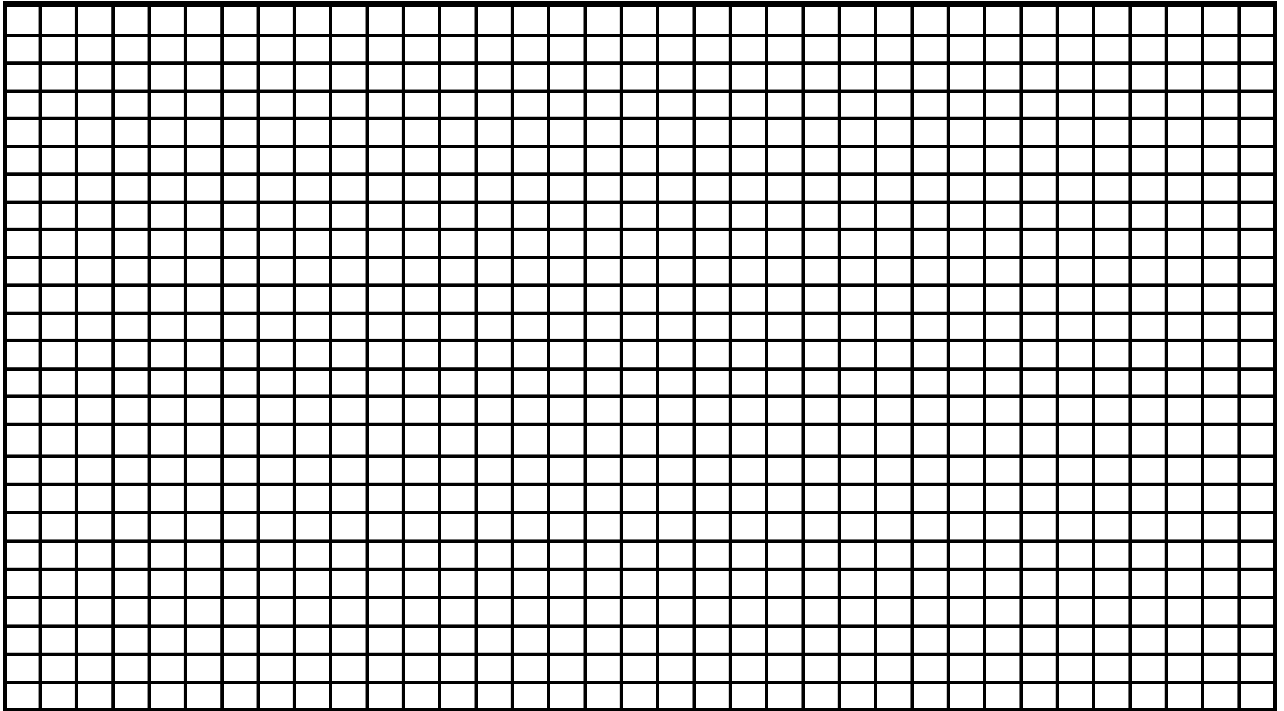
- 1  Lämmityspatterien ja -putkistojen ympäristö
- 2  Ikkunoiden kunto / vesivuotojäljet
- 3  Lattia- / kattopintojen vesivauriojäljet
- 4  Seinäpintojen vesivauriojäljet, etenkin ulkoseinät ja märkätilojen vastaiset seinät

**E) VAATEHUONEET, ETEINEN yms APUTILAT** **0** Aputilojen virhepisteet yhteensä

- 1  Lämmityspatterien ja -putkistojen ympäristö
- 2  Ikkunoiden kunto / vesivuotojäljet
- 3  Lattia- / kattopintojen vesivauriojäljet
- 4  Seinäpintojen vesivauriojäljet, etenkin ulkoseinät ja märkätilojen vastaiset seinät

**Huoneiston virhepisteet yhteensä =** **0**

POHJAPIIRROS HAHMOTELMA JA TILOJEN TUNNUKSET



Olohuone = OH  
Keittiö = K

Makuuhuone n = MH n  
Kylpyhuone = KH

WC

Sauna = S

Vaatehuone = VH

Lisämerkintöjä kääntöpuolen kohtaa \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

Lisämerkintöjä kääntöpuolen kohtaa \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

Lisämerkintöjä kääntöpuolen kohtaa \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

**Liite 3.** Virhelähdekyselyn ja havaintolomakkeen kysymykset.

---

Kysymykset 3.1 - 3.11 esitettiin asunnon haltijalle<sup>\*1</sup>. Kysymystä 3.2. on käytetty vasta 1998 suoritetuissa mittauksissa<sup>\*2</sup>.

---

1. Näytteenotto, perustiedot
    - 1.1. rakennuksen koodi
    - 1.2. osoite
    - 1.3. pvm
    - 1.4. näytteenottaja
    - 1.5. toisto
  2. Näytteenotto, huoneiston kuvaus
    - 2.1. asunto no
    - 2.2. asukas
    - 2.3. kerrosluku
    - 2.4. huoneluku
    - 2.5. paikalla olevien henkilöiden lukumäärä
  3. Asumistoiminnot
    - 3.1. Onko asukkaalla maatalouteen liittyvä ammatti tai harrastus, esim. ratsastus?<sup>\*1</sup>
      - on, mikä: \_\_\_\_\_
      - ei
    - 3.2. Onko asukkaalla korjausrakentamiseen liittyvä ammatti tai harrastus (pientaloremontti tms)<sup>\*1, \*2</sup>
      - on, mikä: \_\_\_\_\_
      - ei
    - 3.3. Onko asunnossa käsitelty multaisia juureksia tai homehtunutta ruokaa<sup>\*1</sup>
      - mittauspäivänä
      - ei mittauspäivänä
    - 3.4. Onko asunnossa biojätekeräys; onko biojäteastia tyhjennetty<sup>\*1</sup>
      - mittauspäivänä
      - aiemmin
      - ei biojätekeräystä
    - 3.5. Onko asunnossa käsitelty multaa, esimerkiksi kukkamullan vaihto<sup>\*1</sup>
      - mittauspäivänä
      - mittausta edeltävänä viikkona
      - ei ole / aiemmin
    - 3.6. Onko asunnossa ilmanpuhdistin käytössä<sup>\*1</sup>
      - mittauspäivänä
      - mittausta edeltävänä viikkona
      - ei ole / aiemmin
    - 3.7. Onko asunnossa tuuletettu ikkunan kautta<sup>\*1</sup>
      - mittauspäivänä
      - ei mittauspäivänä
    - 3.8. Onko asunnossa lakaistu<sup>\*1</sup>
-



- 
- mittauspäivänä
  - ei mittauspäivänä
  - 3.9. Onko asunnossa imuroitu \*1
    - mittauspäivänä
    - ei mittauspäivänä
  - 3.10. Onko asunnossa käsitelty ulkona kuivattua pyykkiä \*1
    - mittauspäivänä
    - ei mittauspäivänä
  - 3.11. Onko asunnossa lemmikkieläimiä \*1
    - on, mitä: \_\_\_\_\_
    - ei
  - 3.12. Onko asunnossa huonekasveja
    - ei lainkaan
    - + yksi-2 huonekasvia/mittaushuone
    - ++ 3 huonekasvia/mittaushuone
    - +++ erittäin runsaasti huonekasveja
  - 3.13. Mikä on asunnon siisteystaso
    - erittäin epäsiisti, perussiivoustarve
    - heikohko
    - hyvä
  - 4. Näytteenottoon liittyvät tiedot
    - 4.1. mitatun huoneen lämpötila
    - 4.2. mitatun huoneen suhteellinen kosteus
    - 4.3. mitatun huoneen tyyppi (olohuone, makuuhuone, keittiö)
    - 4.4. mitatun huoneen mahdollinen kuvaus (käyttötapa, sijainti)
    - 4.5. Andersen-mittausten tiedot
      - 4.5.1. Bakteerit, THG-agar
        - mittauksen kesto
        - käytetty kerääjä
        - käytetty pumppu (pumpun keräämä litramäärä/min)
      - 4.5.2. Sienet, MA-agar
        - mittauksen kesto
        - käytetty kerääjä
        - käytetty pumppu (pumpun keräämä litramäärä/min)
-

Anna-Mari Pessi - Jommi Suonketo - Matti Pentti - Auli Rantio-Lehtimäki

## BETONIELEMENTTIJULKISIVUJEN MIKROBIOLOGINEN TOIMIVUUS

Julkaisussa on käsitelty suomalaisessa asuntotuotannossa yleisesti käytettyjen betonielementtijulkisivujen mikrobiologista toimivuutta. Elementtien eristetilassa esiintyvää mikrobikasvua, sen syitä ja vaikutusta sisäilman laatuun on tarkasteltu asumisterveyden kannalta. Tavoitteena on antaa uutta tietoa niille, jotka suunnittelevat tai päättävät betonielementtijulkisivujen korjauksista ja kuntotutkimuksista.

Julkaisun pohjana on Tampereen teknillisen korkeakoulun Talonrakennustekniikan laboratorion sekä Turun Yliopiston Aerobiologian ja sieniekologian yksikön yhteistyönä toteuttama laaja tutkimusprojekti. Tutkimukseen liittyen julkaistaan myös opas *Ohje betonielementtijulkisivujen eristetilan mikrobitutkimuksen toteuttamisesta* joka valmistuu vuonna 2000.

---

Julkaisun hinta on 250,- + alv 8%



**TALONRAKENNUS-  
TEKNIikka**

TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Korkeakoulunkatu 3, PL 600, 33101 Tampere

Puh. (03) 365 4804

Telefax (03) 365 2811

Email: [makipaa@cc.tut.fi](mailto:makipaa@cc.tut.fi)