

Jussi Saari

# Tuulettuvien alapohjien mikrobipitoisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Rakentamisen koulutusohjelma

(korjausrakentaminen)

Opinnäytetyö

3.4.2014

Tekijä Otsikko	Jussi Saari Tuulettuvien alapohjien mikrobipitoisuudet
Sivumäärä Aika	46 sivua 3.4.2014
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Rakentamisen koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen
Ohjaajat	Yliopettaja Hannu Hakkarainen Sisäilma-asiantuntija Julia Debarh
<p>Työn tavoitteena oli tutkia rakennusten tuulettuvien alapohjien mikrobipitoisuuksia. Alapohjatiloja tutkittiin ilmasta ja täyttömaasta otettujen näytteiden avulla. Tutkimus tehtiin yhteistyönä Espoon kaupungin Tilakeskus-liikelaitoksen kanssa.</p> <p>Kirjallisuusosiossa käytiin läpi rakennusten mikrobeja ja mikrobivaurioita sekä kosteuden siirtymismekanismeja.</p> <p>Työssä tutkittiin kolmen eri-ikäisen ja kuntoisen rakennuksen tuulettuvaa alapohjaa aistinvaraisesti sekä näytteiden avulla. Kohde A oli hyväkuntoinen uudisrakennus ja kohteet B ja C aiempina vuosikymmeninä rakennettuja rakennuksia, joiden tuulettuvissa alapohjatiloissa oli havaittu epäkohtia. Jokaisesta kohteesta otettiin yksi ilmanäyte Andersen-keräimellä, kaksi pyyhintänäytettä kahden viikon pölylaskeumasta pintasivelymenetelmällä, kolme materiaalinäytettä täyttömaasta mikrobitutkimusta varten sekä kolme materiaalinäytettä täyttömaasta toksisuusanalyysiä varten.</p> <p>Näytetulosten perusteella havaittiin, että kaikkien tutkittujen rakennusten alapohjatilojen mikrobipitoisuuksissa ei havaittu suuria eroja Andersen-keräimellä otetuissa näytetuloksissa eikä täyttömaasta otetuissa materiaalinäytteissä. Toksisuusanalyysin mukaan yhdessä näytteessä ei esiintynyt toksisuutta. Kohteiden väliset erot tulivat näkyviin pyyhintänäytteiden tuloksissa. Kohteessa A otetuissa pyyhintänäytteissä havaittiin runsaasti mikrobeja, kun taas kahdessa muussa kohteessa mikrobien määrät olivat normaaleja. Tulos on yllättävä, koska kohde A oli uudisrakennus ja rakennuksen tuulettuva alapohja oli aistinvaraisesti tarkasteltuna hyvässä kunnossa.</p>	
Avainsanat	mikrobit, mikrobivaurio, mikrobinäyte, tuulettuva alapohja

Author Title	Jussi Saari Microbial Content In Ventilated Base Floor Structures
Number of Pages Date	46 pages 3rd April 2014
Degree	Master's Degree in Civil Engineering
Degree Programme	Master's Degree Programme In Civil Engineering
Specialisation option	Renovation
Instructors	Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer Julia Debbarh, Project Manager
<p>The objective of this thesis was to research the microbial content of air ventilated base floors of buildings. The research was implemented by taking samples of materials and air from air ventilated base floors of buildings. This thesis was made in collaboration with Espoo Real Estate Centre.</p> <p>The material and air samples were taken from three buildings. Building A was new and in very good condition. Buildings B and C were older buildings and some technical flaws occurred in their base floors. Air microbes were sampled by using a six-stage impactor and two swipe samples of two weeks' particle fallout. Samples were also collected from soil in order to research microbial content and toxicity.</p> <p>Surprisingly, the samples did not hold any toxicity. The microbial content in all samples was approximately same except the two weeks fallout of particles. The biggest microbial content were detected in samples taken from building A. This is surprising, because building A is the newest and it is in good condition.</p>	
Keywords	microbe, mold damage, microbial sample, air ventilated base floor

## Sisällys

### Termit ja käytetyt lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimusongelma	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	3
1.4	Tutkimuksen tavoitteet	4
2	Mikrobit ja mikrobivauriot	4
2.1	Mikrobivaurio	5
2.2	Kosteusvaurioindikaattorit ja viitearvot	6
2.3	Mikrobien terveysvaikutukset	10
2.4	Mikrobien tutkiminen	10
2.4.1	Mikrobien viljelyyn perustuvattutkimusmenetelmät	11
2.4.2	Muita mikrobien tutkimusmenetelmiä	14
3	Kosteus rakennuksissa	15
3.1	Veden painovoimainen siirtyminen	16
3.2	Kapillaarisuus	17
3.3	Konvektio	19
3.4	Diffuusio	19
4	Rakennusten tuulettuvat alapohjat	20
4.1	Ryömintätila Suomen rakentamismääräyksissä	21
4.2	Ryömintätilaisten alapohjien vauriot	22
4.3	Mikrobivaurioituneiden ryömintätilojen korjaaminen	24
5	Tutkimuskohteet ja niissä tehdyt mittaukset sekä havainnot	25
5.1	Kohde A	25
5.2	Kohde B	27
5.3	Kohde C	28
6	Tulokset ja tulosten tarkastelu	30
6.1	Kohde A	30
6.2	Kohde B	34

6.3 Kohde C	37
6.4 Tulosten tarkastelu	41
7 Johtopäätökset	42
Lähteet	45
Liitteet	

## Termit ja käytetyt lyhenteet

Aktinomykeetit	Bakteereita, jotka indikoivat rakennuksen kosteusvauriota. Käytetään myös nimitystä aktinobakteeri tai sädesieni. Aktinomykeetillä on sienten tapaan kyky muodostaa itiöitä ja rihmastoja.
Andersen-keräin	6-vaihe-impaktori, käytetään sisäilman mikrobien näytteenottoon.
Cfu	<i>Colonyformingunit</i> , pesäkkeen muodostava yksikkö (pmy)
DG-18-agar	Dikloranglyseroli (18 %) -alusta. Käytetään mikrobien viljelyssä kasvatusalustana. DG-18-agarilla kasvaa vähemmän kosteutta vaativia homesienilajeja.
Diffuusio	Molekyylien liikettä kaasuseoksessa, joka pyrkii tasoittamaan seoksessa esiintyvät osapaine-erot.
Indikaattorilaji	Kosteusvaurioindikaattori tarkoittaa mikrobeja, joita ei tulisi esiintyä vaurioitumattoman rakennuksen rakenteissa tai sisäilmassa viitearvoja suurempia määriä. Indikaattori ilmaisee mikrobivaurion olemassaolon, mutta ei välttämättä ole vaurion aiheuttaja.
Kondensoituminen	Vesihöyryn tiivistymistä rakenteissa vedeksi silloin kun rakenteeseen syntyy kastepiste (vesihöyrynpiitoisuus RH 100 %). Kondensoituminen tapahtuu yleensä rakenteiden eri rakenerosten (kovissa) rajapinnoissa.
Konvektio	Vesihöyryn siirtyminen ilmavirtauksen mukana.
Korjausvelka	Rahamäärä, joka rakennuskantaan tulisi investoida sen kuntoon saattamiseksi.
Mallasuuteagar	Mikrobien viljelyssä käytetty kasvualusta, jossa kasvaa homeita.

Mikrobit	Pieneliöitä, joihin kuuluvat mm. levät, bakteerit, homesienet, hiivat ja virukset. Mikrobit eivät ole yksittäinen taksonominen ryhmä.
Mikrobitoksiini	Mikrobien myrkyllinen aineenvaihduntatuote.
Suhteellinen kosteus	RH %, vesihöyrynpaineen ja kyllästys-höyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa. Suhteellinen kosteus kertoo, kuinka monta prosenttia absoluuttinen kosteus on vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta.
THG	Tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar. Mikrobiviljelyssä käytetty kasvualusta, jossa kasvaa bakteereita.
Taksonomia	Tieteenala, joka tutkii eliöiden luokittelua ja luokittelee niitä taksoneihin (eliöryhmiin).
qPCR	<i>quantitative Polymerase Chain Reaction</i> : kvantitatiivinen polymeerasiketjureaktio. Menetelmä, joka perustuu polymeerasientsyymien kykyyn kopioida DNA:ta. qPCR-menetelmää voidaan käyttää rakennuksen mikrobivaurioiden tutkimiseen.
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> , haihtuvat orgaaniset yhdisteet.

## 1 Johdanto

Koetut sisäilmaongelmat ovat Suomessa viime vuosien aikana yleistyneet. Sisäilmaongelmista julkaistaan uutisia eri medioissa aiempaa enemmän ja kynnys yleisen tason keskustelulle aiheesta on madaltunut. Keskustelua käydään erityisesti julkisen sektorin omistamien rakennusten sisäilmaongelmista. Sisäilmaongelmat ovat usein vaikeita ratkaista johtuen monesta eri tekijästä. Suurena tekijänä voidaan pitää sitä, että syy-yhteyden osoittaminen sisäilman ja koettujen oireiden ja sairastumisien välille on vaikeaa. Niitä fysiologisia mekanismeja, jotka saavat aikaan oireilua tai jopa aiheuttavat ihmisten sairastumisen rakennuksissa ei tunneta tarpeeksi hyvin.

Eduskunnan tarkastusvaliokunta tilasi Työterveyslaitokselta selvityksen siitä, kuinka paljon ongelmia Suomessa esiintyy ja mitkä ovat niihin johtaneet syyt. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisun mukaan (Reijula ym. 2012) merkittäviä kosteus- ja homevaurioita esiintyy pien- ja rivitaloissa 7- 10 %, kerrostaloissa 6 – 9 %, kouluissa ja päiväkodeissa 12 – 18 %, hoitolaitoksissa 20 – 26 % ja toimistoissa 2,5 – 5 % kerrosalasta. Sisäilmaongelmien aiheuttajina on kuitenkin kosteus- ja homevaurioiden lisäksi muita tekijöitä kuten: kuiva huoneilma, heikko ilmanvaihto, pölyt, tupakansavu ja teolliset kuidut. Sisäilmaongelmat ovatkin niin monen osatekijän aiheuttamia, että tarkkojen arvioiden tekeminen sisäilmaongelmien esiintyvyydestä on vaikeaa.

Viime vuosien aikana on julkaistu paljon erilaisia opaskirjoja ja muita ohjeita liittyen sisäilmaongelmien selvitysprosessiin ja rakennusten tutkimiseen. Kosteus- ja homevaurioiden yhteydessä esiintyville mikrobeille on määritelty viitearvoja sosiaali- ja terveystieteiden julkaisemassa Asumisterveysohjeessa (2003). Viitearvot eivät kuitenkaan ole terveystieteellisiä, koska mikrobien terveyshaittaa aiheuttavat tekijät ja vaikutusmekanismit ovat vielä epäselviä.

### 1.1 Tutkimuksen tausta

Espoon kaupungin suoraomisteisten kiinteistöjen määrä oli vuonna 2012 977 kpl ja yhteispinta-ala noin 754 000 m<sup>2</sup>. Kiinteistöjen jälleenhankinta-arvo oli arvioitu olevan noin 1,7 miljardia euroa ja tekninen arvo noin 1,2 miljardia euroa. Korjausvelan määräksi oli arvioitu noin 171 miljoonaa euroa, joka on 10 % jälleenhankinta-arvosta. (Slätis, 2012.)



Korjausvelan on arvioitu syntyneen useamman vuosikymmenen aikana suurimmaksi osaksi siitä syystä, että rakennusten ylläpitoon, vuosikorjauksiin ja perusparannuksiin ei ole ollut riittävän suuria taloudellisia resursseja. Toisaalta yhtenä merkittävänä osasyynä voidaan pitää sitä, että käytettäviä taloudellisia resursseja ei ole aina osattu kohdentaa riittävän hyvin.

Aiempiina vuosikymmeninä rakennetuissa rakennuksissa on usein havaittu olevan rakennusteknisiä epäkohtia ja sellaisia rakenneratkaisuja, joita nykytietämyksen mukaan voidaan pitää jopa suunnittelu- tai rakennusvirheinä. (Hometalkoot, 2013) Rakennusten perustuksissa ja alapohjissa olevat rakennusaikana syntyneet virheet ja puutteet ovat usein jälkikäteen hankalasti selvitettävissä. Usein korjaustoimenpiteitä on toteutettu ilman riittävän tarkkoja esiselvityksiä siitä, miten korjaustoimenpiteet tulisi toteuttaa. Tämä on voinut johtaa siihen, että samoja rakennusteknisiä epäkohtia on vuosien aikana korjattu useampaan kertaan kuitenkin pääsemättä tyydyttävään tulokseen.

## 1.2 Tutkimusongelma

Ryömintätilan rakennusteknisellä kunnolla ja toimivuudella voi olla suuri merkitys rakennuksen oleskelutilojen sisäilman laatuun. Pahimmillaan ryömintätilan ummehtunut ilma kulkeutuu suoraan alapohjan epätiivetyksien kautta rakennuksen oleskelutiloihin, heikentää sisäilman laatua ja aiheuttaa terveyshaittaa. Ongelma on yleinen, koska rakennus suunnitellaan alipaineiseksi ulkoilmaan nähden ja sen vuoksi ryömintätilan ja sisätilojen välillä on yleensä paine-ero sisätilojen ollessa alipaineisia myös ryömintätilaan nähden. Rakennuskannassa on paljon ryömintätilaisia rakennuksia, jotka on eri aikakausina rakennettu ja joiden kunnossa on suuria poikkeamia. Suurimpia sisäilmaongelmia voivat aiheuttaa ryömintätilaiset rakennukset, joissa on puutteellinen tuuletus tai rakentamisaikana käytetyt muottilaudoitukset ja muut rakennusjätteet on jätetty ryömintätilaan. Lisäksi ryömintätilan maatäyttö voi olla sinne nykytietämyksen mukaan soveltumatonta ja maatäyttöä voi olla niin runsaasti, etteivät nykyiset rakentamismääräykset ryömintätilan ilmatilavuudesta täyty. Kunnoltaan puutteellisiksi havaittuja ryömintätiloja on korjattu paljon eri tavoilla. Joskus on katsottu, että esimerkiksi vain muottilaudoitusten poisto on riittävä toimenpide, kun joskus taas on pyritty korjaamaan kaikki mahdolliset epäkohdat tai jotain siltä väliltä. Valitut korjausmenetelmät ovat usein olleet suurelta osin myös taloudellisista resursseista riippuvaisia.

Tässä tutkimuksessa on tavoitteena selvittää, voidaanko ryömintätilan täyttömassasta ja ilmasta otetuista näytteistä tehdä johtopäätöksiä ryömintätilan korjaustarpeesta tai teknisestä kunnosta ja arvioida ryömintätilan potentiaalia aiheuttaa terveyshaittaa rakennuksen oleskelutiloissa.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusta varten valittiin kolme erilaista ryömintätilaista rakennusta, jotka oli rakennettu eri vuosikymmenien aikana. Rakennusten määrä rajoitettiin kolmeen kappaleeseen joh-tuen työhön käytettävien resurssien rajallisuudesta. Kohteiden valinnassa oli tärkeää, että valittujen tutkimuskohteiden ryömintätilojen olosuhteet olivat oleellisesti toisistaan poikkeavat jo pelkästään rakennustavan ja -ajankohdan sekä elinkaaren perusteella. Kohteiksi valittiin kaksi kohdetta, joissa voitiin arvioida jo pelkästään aistinvaraisen arvi-oinnin perusteella olevan jossain määrin epäkohtia ja yksi kohde, jossa puutteita ei ais-tinvaraisessa alkukatselmuksessa havaittu. Lokakuussa 2013 kohteiden ryömintätiloista otettiin mikrobinäytteitä erilaisilla menetelmillä sekä erilaisia laboratorioanalyysjä var-ten.

Ilmanäytteitä ryömintätilojen ilman mikrobianalyysia varten otettiin kahdella eri menetel-mällä. Ensimmäisenä menetelmänä käytettiin Andersen-keräintä ja toisena kahden vii-ikon laskeumanäytettä, joka otettiin puhdistetulta pinnalta. Andersen-keräimellä ryömin-tätiloista otettiin yksi näyte jokaisesta ryömintätilasta sekä vertailuna yksi näyte ulkoil-masta. Laskeumanäytteitä otettiin jokaisesta ryömintätilasta kaksi kappaletta.

Ryömintätilojen pintamaakerroksesta otettiin materiaalinäytteitä viljelymenetelmällä teh-tävää analyysia varten kolme kappaletta jokaisesta kohteesta. Toksisuusanalyysia var-ten materiaalinäytteitä otettiin myös kolme kappaletta jokaisesta kohteesta.

Taulukko 1. Kustakin tutkimuskohteesta otetut näytteet ja niiden analysointimenetelmät

Rakennuksen ryömintätilasta tehdyt näyteanalyysit	
määrä / kpl	Menetelmä
1	Andersen-keräin, mikrobit ilmanäytteestä viljelymenetelmällä
2	Kahden viikon laskeumasta, puhdistetulta pinnalta otettu pyyhintä-näyte (pintasively), ilman mikrobit viljelymenetelmällä
3	materiaalinäyte pintamaasta, mikrobit viljelymenetelmällä
3	materiaalinäyte pintamaasta, toksisuustesti siittiösolujen avulla

Kirjallisuudessa käydään läpi elinympäristössä ja rakennuksissa esiintyviä mikrobeja sekä niiden analytiikkaa. Lisäksi käydään läpi ryömintätilojen suunnittelun ohjeita.

#### 1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Voidaanko rakennuksen ryömintätilasta otetun mikrobinäytteen avulla tehdä johdopäätöksiä ryömintätilan kunnosta?
2. Voidaanko rakennusten ryömintätilojen mikrobipitoisuuksille asettaa viitearvoja?
3. Ovatko viljelymenetelmällä analysoidut, vaurioituneiksi tulkitut materiaalinäytteet myös toksisia?

## 2 Mikrobit ja mikrobivauriot

Mikrobeja ovat homeet, hiivat, bakteerit, virukset ja muut alkueläimet. Ne eivät ole yksi yhtenäinen taksonominen eliöryhmä, vaan mikrobeja löytyy kaikista eliökunnista. Mikrobit voivat koostua yhdestä solusta tai solurykelmästä. Bakteerit ovat yksisoluisia, homeet kasvavat yleensä solurykelminä ja alkueläimet ovat monisoluisia. Mikrobit kuuluvat luonnollisena osana elinympäristöömme. Mikrobeja esiintyy monenlaisissa olosuhteissa, kuten ilmassa, maaperässä, vesistöissä ja esimerkiksi kuumissa rikkipitoisissa lähteissä. Mikrobit voivatkin elää hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa. (Salkinoja-Salonen, 2001.) Mikrobien merkitystä ekosysteemin kokonaistasapainolle on vasta viime vuosi-

kymmenien aikana alettu ymmärtää paremmin. Mikrobit ovat todennäköisesti ensimmäisiä elämänmuotoja maapallolla sen syntymisen jälkeen, joten mikrobien evoluutio on paljon muiden eliöiden evoluutiota pidempi.

Rakennusterveydessä mikrobit ovat merkittäviä siinä mielessä että niiden liiallinen esiintyminen rakennuksessa voi aiheuttaa rakennuksen käyttäjille terveyshaittaa. Terveysturvallisuuslain (763/94) 26 §:n mukaan asunnon ja muun sisätilan sisäilman tulee olla puhtaasta eivätkä lämpötila, kosteus, melu, ilmanvaihto, valo, säteily, mikrobit ja muut vastaavat tekijät saa aiheuttaa terveyshaittaa asunnossa ja muussa tilassa oleskeleville. (Terveysturvallisuuslaki, 1994.)

## 2.1 Mikrobivaurio

Mikrobeja on kaikkialla ihmisen elinympäristössä ja siten niitä esiintyy myös luonnollisesti rakennuksen rakenteiden sisällä ja kaikilla pinnoilla sekä sisäilmassa. Rakennuksissa mikrobien kokonaismäärää rajoittaa vain kosteus ja jossain määrin myös lämpötila. Tavanomaisia mikrobilähteitä rakennusten sisällä ovat rakennusten käyttäjinä olevat ihmiset ja eläimet sekä erilaiset toiminnot, kuten esimerkiksi ruoanlaitto. Rakennusten mikrobivauriot syntyvät, kun rakennuksen kosteusrasitus kasvaa joiltain osin liian suureksi. Tämä voi tapahtua kertaluontoisen kastumisen vaikutuksesta tai kosteus voi lisääntyä hitaasti ja synnyttää mikrobivaurion. Kosteusrasituksen arviointi voi olla vaikeaa, koska rakennuksen kosteusolosuhteet voivat vaihdella vuodenajan, vuorokauden, rakennuksen käytön ja elinkaaren aikana tapahtuvien huolto ja muutostöiden seurauksena. Mikrobivaurion erottaminen muista toiminnallisista syistä johtuvista mikrobilähteistä voi joskus olla vaikeaa. Asumisterveysopas (2009) määrittelee asunnon mikrobivaurion olevan sellainen, joka syntyy kosteusvauriosta. Kosteusvauriolla tarkoitetaan epätavanomaista kosteuden esiintymistä rakennuksen rakenteissa tai pinnoilla. Yleisesti kuitenkin puhuttaessa kosteusvauriosta, tällä tarkoitetaan myös mikrobivauriota. Mikrobivaurion olemassaoloa ei kuitenkaan voida todeta tai poissulkea vain kosteusolosuhteita tarkastelemalla, koska myös kuivunut mikrobikasvusto voi olla terveydelle haitallinen ja siten määriteltävä mikrobivaurioksi. Kansankielessä mikrobivaurioita kutsutaan yleisesti homevaurioiksi. (Pirinen, 2006.)

## 2.2 Kosteusvaurioindikaattorit ja viitearvot

Mikrobivaurioiden toteaminen mikrobifloorasta otettujen näytteiden avulla ei ole yksiselitteistä. Erilaisia mikrobeja on suuri määrä, pelkästään sienilajeja arvioidaan olevan noin 100 000. (Hyvärinen, 2012.) Tämän vuoksi ei mikrobien kokonaismäärää rakenteessa, pinnoilla tai sisäilmassa ole mahdollista nyky menetelmin selvittää. Paljolti käytettävissä olevista analysointimenetelmistä johtuen on päädytty siihen, että mikrobinäytteestä analysoidaan onko mikrobiflooran joukossa epätavallisen suuria määriä ns. kosteusvauriota indikoivia mikrobilajeja. Työterveyslaitoksen Ympäristömikrobiologian laboratorio on julkaissut listan kosteusvaurioindikaattorimikrobeista, lista vuodelta 2008 on kuvassa 1.



Työterveyslaitos

## KOSTEUSVAURIOINDIKAATTORIMIKROBIT

© Työterveyslaitos

Ympäristömikrobiologian laboratorio 19.2.2008

\*kosteusvaurioindikaattorimikrobi,

°indikaattorimerkitys vielä avoin,

\*\*mahdollinen toksiinintuottaja

<i>Acremonium</i> *, **	<i>Absidia</i> °
<i>Aspergillus fumigatus</i> *, **	<i>Aspergillus flavus</i> °, **
<i>Aspergillus ochraceus</i> *, **	<i>Aspergillus niger</i> °, **
<i>Aspergillus penicillioides</i> / <i>A. restrictus</i> *	<i>Aspergillus ustus</i> °, **
<i>Aspergillus sydowii</i> *, **	<i>Aureobasidium</i> °
<i>Aspergillus terreus</i> *, **	basidiomykeetit °
<i>Aspergillus versicolor</i> *, **	<i>Botrytis</i> °
<i>Chaetomium</i> *, **	<i>Chrysonilia</i> °
<i>Engyodontium</i> *	<i>Chrysosporium</i> °
<i>Eurotium</i> *	<i>Mucor</i> °
<i>Exophiala</i> *	punaiset hiivat °
<i>Fusarium</i> *, **	<i>Rhinochrysiella</i> °
<i>Geomyces</i> *	<i>Rhizopus</i> °
<i>Memnoniella</i> *, **	
<i>Oidiodendron</i> *	
<i>Paecilomyces</i> *, **	
<i>Phialophora</i> *	
<i>Phoma</i> *	
<i>Scopulariopsis</i> *	
Sphaeropsidales *	
<i>Sporobolomyces</i> *	
<i>Stachybotrys</i> *, **	
<i>Streptomyces</i> *, **	
<i>Trichoderma</i> *, **	
<i>Tritirachium</i> *	
<i>Ulocladium</i> *	
<i>Wallemia</i> *	

Työterveyslaitos

Neulaniementie 4, PL 93, 70701 Kuopio, puh. 030 4741, faksi 030 474 7474, Y-tunnus 0220266-9, www.ttl.fi/kuopio

Kuva 1. Työterveyslaitoksen Ympäristömikrobiologian laboratorion listaus kosteusvaurioindikaattoreista.

Myös Asumisterveysoppaassa (2009) on luettelo kosteusvaurioon viittaavista indikaattorilajeista ja tämän lisäksi on lueteltu tyypillisiä sisä- ja ulkoilmassa esiintyviä sienisukuja, jotka on kirjattu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Asumisterveysoppaan esimerkkejä ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyvistä sienisuvuista ja -ryhmistä sekä kosteusvaurioon viittaavista mikrobisuvuista, -lajeista ja -ryhmistä

Ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Sisäilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä.
<i>Cladosporium</i> basidomykeetit <i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Alternaria</i> hiivat steriilit	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Cladosporium</i> hiivat	<i>Acremonium</i> * <i>aktinomykeetit</i> * <i>Aspergillus fumigatus</i> * <i>Aspergillus versicolor</i> * <i>Chaetomium</i> * <i>Fusarium</i> * <i>Phialophora</i> <i>Scopulariopsis</i> <i>Stachybotrus</i> * <i>Trichoderma</i> *

\* mahdollisesti toksiineja tuottavia mikrobeja

Taulukossa 2 on eroteltu eri sukuja ja ryhmiä toisistaan ja epätavanomainen lajisto voi viitata mikrobivaurion olemassaoloon. Tämän lisäksi mikrobivauriota määriteltäessä tarkastellaan mikrobitutkimuksissa saatujen tulosten mikrobimääriä. Asumisterveysoppaan (2009) mukaan taajamassa sijaitsevien asuntojen sisäilman sieni-itiöpitoisuudet 100 – 500 cfu/m<sup>3</sup> ovat poikkeavan suuria talviaikana. Jos samalla näytteen mikrobikasvusto on tavanomaisesta poikkeava, mikrobikasvun esiintyminen on todennäköistä. Taajamassa sijaitsevan asunnon talviaikainen sieni-itiöpitoisuus yli 500 cfu/m<sup>3</sup> on mikrobikasvustoon viittaava. Työterveyslaitos on tutkinut mikrobivaurioita mm. toimistoympäristössä ja suositellut toimistojen mikrobimittausten viitearvoiksi seuraavia pesäkemääriä: (Työterveyslaitos, 2011.)

### Ilmanäytteet talviaikana

- homeet, yli 50 cfu / m<sup>3</sup> on kohonnut sieni-itiöpitoisuus, viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen
- bakteerit, yli 600 cfu / m<sup>3</sup> on kohonnut bakteeripitoisuus, viittaa riittämättömään ilmanvaihtoon tai epätavanomaiseen mikrobilähteeseen
- aktinobakteerit, yli 5 cfu / m<sup>3</sup> viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen

### Materiaalinäytteet

- Sieni-itiöpitoisuus 10 000 cfu / g, rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän sienikasvustoa kun näytteen sieni-itiöpitoisuus on suurempi kuin 10 000 cfu / g. Jos näytteen sieni-itiöpitoisuus on pienempi kuin 10 000 cfu / g, yksinomaan sieni-itiöpitoisuuden perustella ei voida tehdä johtopäätöstä materiaalin kasvustosta, vaan myös lajistoa on tarkasteltava.
- Bakteeripitoisuus 100 000 cfu / g, näytteen bakteeripitoisuus vähintään 100 000 cfu / g viittaa bakteerikasvuun materiaalissa.
- Aktinobakteeripitoisuus 500 cfu / g, jos aktinobakteeripitoisuus on suurempi kuin 500 cfu / g, se viittaa aktinobakteerikasvustoon.

### Pintanäytteet

- Sieni-itiöpitoisuus 10 cfu / m<sup>2</sup>, puhtailla pinnoilla sieni-itiöpitoisuus on yleensä alle 10 cfu / m<sup>2</sup>.
- Sieni-itiöpitoisuus 1000 cfu / m<sup>2</sup> on poikkeava sieni-itiöpitoisuus jos pitoisuus on samalla vähintään 100 kertaa suurempi pitoisuus, kuin ns. vertailunäytteessä.
- Aktinobakteeri-itiöpitoisuus katsotaan poikkeavaksi, jos pitoisuus on 10 kertaa suurempi kuin vertailupinnalla. Jos rakenteiden pinnalla on tällaista poikkeavaa mikrobikasvua, voidaan terveyshaittaa pitää todennäköisenä.



### 2.3 Mikrobin terveysvaikutukset

Mikrobin terveysvaikutuksista tiedetään yleisellä tasolla se, että suurilla mikrobipitoisuuksilla on yhteys rakennuksen käyttäjien sairastavuuteen. Mikrobin ihmisille aiheuttamien terveysvaikutusten fysiologisia mekanismeja ei tunneta kovinkaan tarkasti. Sen vuoksi käytettävissä olevilla mikrobin analysointimenetelmillä mikrobin esiintyvyydelle rakennuksissa ei voida asettaa terveysperusteisia raja-arvoja. Toisaalta tiedetään että osa ympäristön ja ihmiskehon luonnollisista mikrobeista on ihmisen terveyden kannalta positiivinen asia.

Rakennuksessa olevasta mikrobivauriosta emittoituu epäpuhtauksia sisäilmaan, jolloin altistuminen tapahtuu pääsääntöisesti hengityselinten kautta. Ihminen hengittää vuorokaudessa noin 10 000 litraa ilmaa ja oleskelee lämmityskaudella sisätiloissa noin 90 % ajasta. Mikrobivaurion emissioita sisäilmaan ovat mikrobin itiöt, rihmaston kappaleen, mikrobin pintarakenteet ja kaasumaiset haihtuvat aineenvaihduntatuotteet. Mikrobit tuottavat myös erilaisia entsyymejä, joilla ne hajottavat eloperäistä materiaalia. Lisäksi monet homeet ja eräät bakteerit erittävät sekundaarimetaboliittina toksineja. Kokeellinen tutkimus ihmisillä, eläimillä ja soluviljelmillä viittaa siihen, että kosteusvauriomikrobin terveysvaikutusten aiheuttajia ovat mikrobin itiöiden lisäksi kasvustosta vapautuvat pienhiukkaset, aineenvaihduntatuotteet ja eri mikrobin synergistiset yhteisvaikutukset. (Putus, 2010.)

Mikrobivaurion ihmisille aiheuttamia oireita ovat mm. erilaiset yleisoireet kuten päänsärky tai väsymys, lievä lämpöily, pahoinvointi, nivelsärky ja huimaus. Yleensä mikrobivaurio aiheuttaa myös ärsytysoireita, joita ovat nenän tukkoisuus, nuha, yskä, kurkun karheus, kurkkukipu, äänen käheys, nielun ärsytys, hengenahdistus, hengityksen vinkuna, silmäoireet tai iho-oireet. Yleensä oireilu poistuu, kun altistus, eli oleskelu vaurioituneessa rakennuksessa loppuu. Pitkäaikainen altistuminen mikrobivauriolle voi kuitenkin aiheuttaa jopa sairastumisen kuten astman, allergisen nuhan tai allergisen alveoliitin eli homepölykeuhkon. (Putus, 2010.)

### 2.4 Mikrobin tutkiminen

Rakennusterveyteen liittyvien mikrobitutkimuksien kehitystyö on vasta alussa. Millään menetelmällä ei voida todeta mikrobin varsinaista alkuperää, kun näyte otetaan ilmasta. Toisaalta vain ilmasta otetun näytteen avulla voidaan tehdä suoria päätelmiä siitä, että

mikrobit ja/tai niiden aineenvaihduntatuotteet ovat altisteena tilojen käyttäjille, jolloin voidaan tehdä arvio tilan terveyshaitasta. Ilmasta otetusta näytteestä ei voida luotettavasti sanoa, ovatko mikrobit peräisin rakennuksen rakenteista vai jostain muusta rakennuksen sisällä olevasta tekijästä. Kaikki nykyisin käytettävissä olevat mikrobien tutkimusmenetelmät ovat sellaisia, että suorien johtopäätösten tekeminen analyysivastauksista on vaikeaa. Tämä voi olla yhtenä suurena syynä siihen, että rakennusten sisäilmaongelmien korjaaminen voi olla vaikeaa ja joskus voi käydä jopa niin, että korjauksista saatava hyöty koetaan tilojen käyttäjien puolelta vähäiseksi. (Kosteusvauriot työpaikoilla, 2009.)

#### 2.4.1 Mikrobien viljelyyn perustuvat tutkimusmenetelmät

Viljelyyn perustuvia mikrobien tutkimusmenetelmiä on käytetty jo 1800-luvulla, jolloin keksittiin penisilliini. Lääketiede on käyttänyt ja kehittänyt erilaisia elatusaineita lähinnä terveydenhuollon näkökulmasta. Paljon myöhemmin samaa analytiikkaa on ryhdytty hyödyntämään ympäristömikrobiologian alalla. Tämän vuoksi myös rakennusten mikrobivaurioiden toteamisessa käytetään yleisesti mikrobien viljelyyn perustuvaa analytiikkaa. Myös muita kuin viljelyyn perustuvia menetelmiä on olemassa, mutta ne ovat suuressa määrin vielä kehittämisvaiheessa.

Viljelyssä mikrobeja kasvatetaan elatusalustalla tietty ajanjakso, jonka jälkeen alustalla kasvaville mikrobeille voidaan mikroskoopin avulla tehdä lajitunnistus ja pesäkemäärien laskenta. Siten näytteelle saadaan tulokseksi kvalitatiivinen sekä kvantitatiivinen arvo. Viljelymenetelmän hyvänä puolena voidaan mainita kattava tausta-aineisto. Menetelmää on käytetty suhteellisen kauan maailmanlaajuisesti, joten siitä on paljon kokemusperäistä tietoa. Huonoina puolina voidaan mainita analyysien suuri hajonta ja epävarmuus. Viljelyn ongelmana on lisäksi analyysimenetelmän hitaus. (Putus, 2010.) Mikrobien viljelyyn perustuvassa analyysissä saadaan tuloksena ainoastaan se, esiintyykö näytteessä tiettyjen, ennalta tunnettujen mikrobien elinkelpoisia itiöitä, jotka siis saadaan kasvaamaan elatusalustalla. Erityyppiset elatusalustat on valmistettu siten, että vain tietyn tyyppiset mikrobit kasvavat niissä eli ne ovat selektiivisiä. Mikrobiflooran suuresta kirjosta johtuen analyysiin on valittu vain tiettyjä mikrobilajeja, jotka kyetään tunnistamaan. Asuimisterveys tutkimuksissa on havaittu tiettyjen mikrobilajien (homeet, hiivat ja tietyt bakteerit) esiintyvän usein tutkittavissa näytteissä. Lisäksi mikrobilajeista on havaittu tiettyjen lajien esiintyvän runsaampina silloin, kun tutkittavassa rakennuksessa on todettu kosteusvaurioita. Siten analyysissä voidaan antaa vastauksia siihen, esiintyykö näitä ns. indikaattorilajeja, jotka ilmaisevat kosteusvaurion olemassaoloa tutkituissa näytteissä.

Viljelyyn perustuvassa analysoinnissa käytetään Asumisterveysoppaan (2009) ohjeen mukaan valmistettuja agar-kasvualustoja. Agar eli agar-agar on eräistä valtamerten punaleivistä eristetty polysakkaridiseos, jota käytetään mikrobiologiassa ja lääketieteessä mikrobien viljelyaineena sekä elintarviketeollisuudessa hyytelöimisaineena. Agarmaljaan voidaan lisätä tarpeen vaatiessa lisäaineita riippuen haetun mikrobin yksilöllisistä vaatimuksista. Agariin voidaan lisätä esimerkiksi lihauutetta. Agarmaljaan voidaan myös lisätä tietylle mikrobille haitallista ainetta, jolloin saadaan puhtasviljelmä haluttua mikrobia. Tiedetyt mikrobit vaativat vitamiineja, hormoneja tai tiettyjä proteiineja, jotta kasvu ylipäänsä käynnistyisi. (Wikipedia, 2013.) Asumisterveysoppaassa (2009) mainittuja agar-kasvualustoja ovat bakteerien kasvualustana käytettävä tryptoni-hiivauute-glukoosiagar eli lyhennettynä THG ja sienten kasvualustoina käytettävät 2 % mallasuuteagar eli lyhennettynä MEA sekä dikloran-glyseroli-18-agar eli lyhennettynä DG18.

Rakennuksesta, jossa epäillään olevan mikrobivaurioita, voidaan sisäilmasta tai rakenteista tai rakenteiden pinnoilta ottaa näytteitä, joiden avulla voidaan tehdä suuntaa-antavia päätelmiä mikrobivaurioiden olemassaolosta. Asumisterveysoppaassa on kuvailtu erilaisia näytteenottomenetelmiä. Niitä ovat rakennusmateriaalinäytteet, pintanäytteet ja ilmanäytteet.

Rakennusmateriaalinäyte edellyttää yleensä pintoja rikkovia toimenpiteitä eli rakenteiden osittaista purkamista tai vähintäänkin näytteenottoreikien poraamista. Rakennusmateriaalinäytteet ovat kuitenkin yleensä luotettavimpia mikrobivaurion olemassaoloa arvioitaessa, koska samanaikaisesti näytteenoton kanssa voidaan tehdä avatun rakenteen aistinvarainen arviointi. Rakennusmateriaalinäytteenotto tehdään yksinkertaisesti siten, että vaurioituneeksi epäillystä materiaalista otetaan koepala ja se toimitetaan laboratorioon analysoitavaksi. Laboratoriossa näyte preparoidaan ja siitä voidaan tehdä kasvatusalustoille joko suoraviljely tai Asumisterveysoppaan (2009) mukainen laimennusliuos, jolla kasvatusalustat viljellään.

Pintanäytteiden ottaminen suoraan rakennuksen pinnasta on yksi Asumisterveysohjeessa kuvatuista mikrobivaurion toteamismenetelmistä. Pintanäytteen ottamisessa tulee aina käyttää vertailunäytettä, joka on otettu samasta rakennuksesta vastaavanlaiselta pinnalta. Yleensä pintanäytteitä otetaan silloin, kun pinnalla on näkyvää homekasvustoa. Tällaisessa tilanteessa pintanäytteen ottaminen voi olla tarpeetonta. Viljelyä varten pintanäyte otetaan ns. pintasivelynä pumpulipuikolla vaurioituneelta pinnalta tietyn

kokoiselta pinta-alalta. Alue sivellään tislattuun veteen kostutetulla pumpulipuikolla ja sen jälkeen samalla puikolla tehdään kasvatusalustan viljely joko laimennosliuoksia käyttäen tai suoraviljelynä.

Asumisterveysoppaan (2009) mukaan sisäilmanäytteitä tulee ottaa 2- tai 6-vaiheimpaktorilla. Myös muista keräimistä on ohjeessa maininta, mutta niitä ei yleisesti käytetä asumisterveyteen liittyvissä tutkimuksissa. Impaktori on laite, joka on nimensä mukaisesti jaettu kahteen tai kuuteen vaiheeseen. Yleensä Suomessa käytetään 6-vaiheimpaktoria eli Andersen-keräintä, josta on olemassa suuri määrä vertailuaineistoa. Impaktorin kuusi vaihetta ovat siivilöitä, joissa on erikoinen rei'itys. Kuuteen vaiheeseen impaktorin sisälle asetetaan näytteenotossa käytettävät viljelyalustat ja näytteenotossa impaktorin läpi imetään pumpulla ilmaa. Kun tilavuusvirta ja aika tiedetään, voidaan laskea keräimen läpi kulkenut ilmamäärä. Näytteenottoaikana käytetään yleensä noin 15 minuuttia, impaktorin tilavuusvirran ollessa noin 28 litraa minuutissa. Impaktorilla suositellaan ilmanäytteiden ottamista lähinnä talvikauden aikana, jolloin ulkoilman mikrobipitoisuudet ovat mahdollisimman pieniä.

Impaktorilla otetun näytteenottomenetelmän lisäksi käytössä on vielä toinen viljelyyn perustuva sisäilman mikrobien näytteenottomenetelmä, jota ei ole mainittu Asumisterveysoppaassa. Menetelmällä on pyritty korvaamaan impaktorin käyttöä sen huonon käytettävyyden ja näyteanalyysien epätarkkuuden vuoksi. Ns. pyyhintänäyttemenetelmää käyttävät yleisesti mm. tutkimuslaitokset, kuten Työterveyslaitos ja Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos. Analyysissa näyte otetaan samalla menetelmällä kuin edellä mainitussa pintanäytteessä, mutta ei rakenteen pinnasta vaan kahta viikkoa aiemmin puhdistetulta tasopinnalta. Kasvatusalustat viljellään suoraviljelynä. Tällä menetelmällä pyritään saamaan tuloksia sisäilmassa esiintyviin mikrobeihin, jotka kahden viikon näytteenottoaikana laskeutuvat puhdistetulle pinnalle.

Viljelyyn perustuvissa analyyseissä on paljon erilaisia epävarmuustekijöitä ja sen vuoksi on ryhdytty kehittämään muunlaisia mikrobi tutkimuksia. Mikrobikasvustosta vapautuu sisäilmaan erilaisia epäpuhtauksia, joita voidaan yrittää mitata tai tunnistaa muilla keinoin. Viljelyanalytiikassa saadaan tunnistettua vain niitä mikrobeja, joilla on niin paljon elinkelpoisia itiöitä, että niitä saadaan kasvamaan elatusalustalla. Ongelmana on mm. se, että mikrobit itiöivät yleensä eniten kuivuvissa olosuhteissa ja vielä vauriota edeltävään kosteuteenkin kuivuttuaan. Tällöin elatusalustalla kasvatetut itiöt eivät välttämättä vielä kasva analyysin kasvatusjakson aikana. Viljelyalustat ovat valikoivia ja suosivat tiettyjä

nopeakasvuisia lajeja ja sukuja. Mikrobeista vapautuu sisäilmaan itiöiden lisäksi mm. soluja, rihmastoja ja niiden osia sekä kaasumaisia aineenvaihduntatuotteita, joiden olemassaolon selvittäminen terveyshaitan selvittämiseksi olisi tärkeää. Viljelyyn perustuvilla tekniikoilla saadaan esiin vain 1 – 10 % mikrobisoluista. (Putus, 2010.)

#### 2.4.2 Muita mikrobien tutkimusmenetelmiä

Nykyisin kosteusvauriomikrobeille on olemassa muitakin tutkimusmenetelmiä, jotka tosin ovat vielä jossain määrin kehitysasteella. Suurta osaa menetelmistä ei ole akkreditoitu käytettäväksi mikrobien tutkimiseen asumisterveydessä.

##### *Mikroskopointi*

Asumisterveysoppaassa (2009) todetaan, että teipin avulla otettuja rakennusmateriaali- ja pintanäytteitä voidaan myös tutkia myös suoralla mikroskopoinnilla. Mikroskopointi antaa vain kvalitatiivisia tuloksia. Suoran mikroskopoinnin käyttö nykyisin tehtävissä kuntotutkimuksissa on suhteellisen vähäistä, koska se edellyttää kokeneen ja osaavan mikroskopioijan osallistumista kenttätutkimukseen. (Putus, 2010.)

##### *DNA:n analysointi qPCR-menetelmällä*

Yhtenä kehittyvänä menetelmänä pidetään qPCR-analytiikkaa (kvantitatiivinen reaaliaikainen polymeerasiketjureaktio), jossa näytteestä tutkitaan mikrobien genomi. Tätä kutsutaan yleisesti DNA-analyysiksi. Menetelmällä voidaan näytteestä todeta siinä esiintyvät mikrobit tai mikrobiryhmät. Menetelmä ei kuitenkaan analysoi kaikkia eri mikrobeja vaan vain ennalta määritellyt lajit ovat analyysissä mukana. qPCR-analyysistä saaduille rakennuksen mikrobipitoisuuksille ei ole olemassa yleisesti hyväksytyjä viitearvoja, joten tulosten tulkitseminen on nykytietämyksen mukaan vaikeaa. DNA-analytiikan etuna on, että sen avulla näytteiden analysointi on nopeaa ja tehokasta. Analyysiin tarvittava laitekniikka on ollut olemassa jo pidemmän aikaa, sitä käytetään jatkuvasti lääketieteellisissä tutkimuksissa. Asumisterveyteen liittyvissä tutkimuksissa viitearvojen luominen pitoisuuksille ja koko menetelmän kehittäminen on vasta alussa. (Putus, 2010.)

##### *Toksisuusmittaukset*

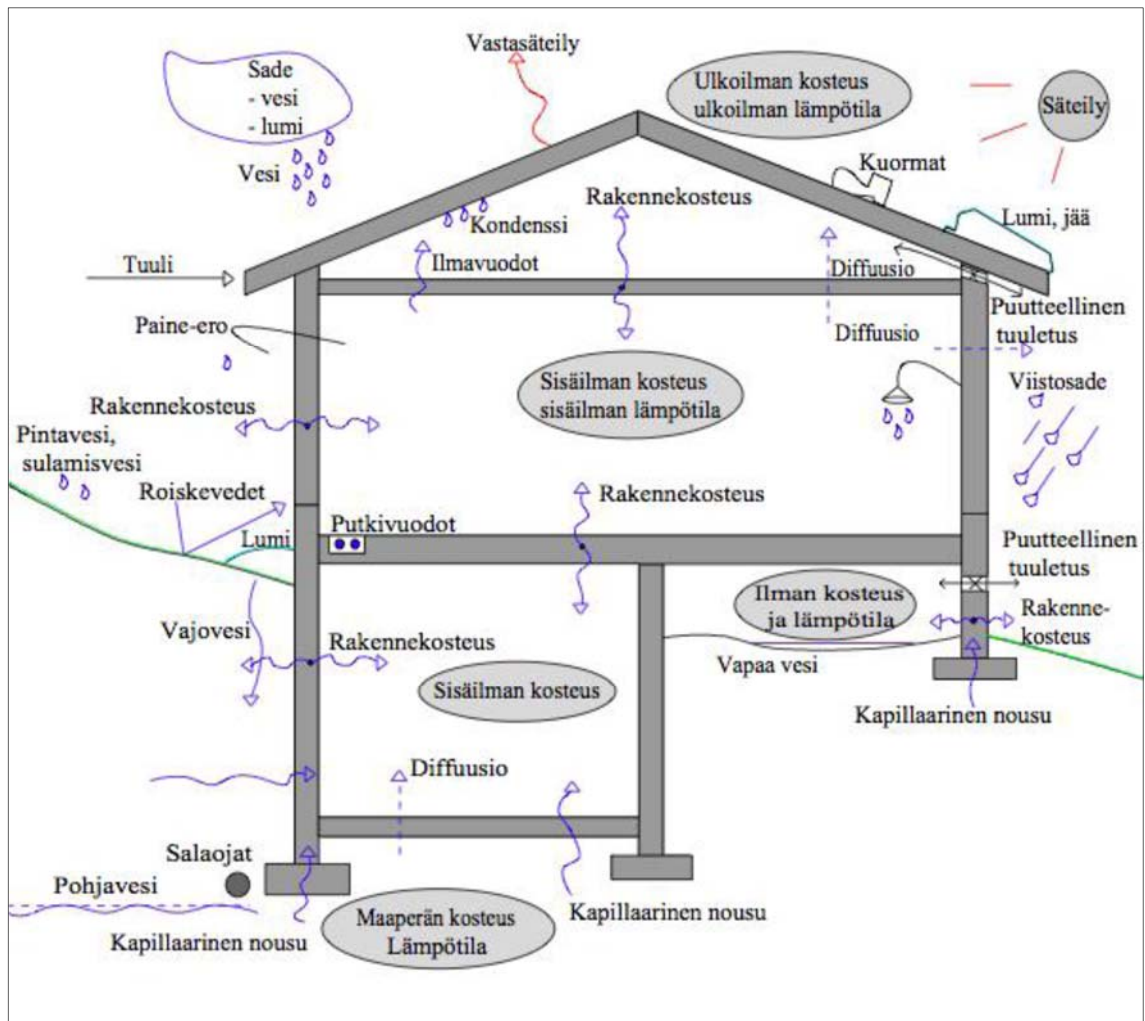
Mikrobinäytteen yleistä toksisuutta voidaan testata soluviljelmien avulla. Soluviljelmien avulla tehdyt analyysit eivät kerro mikä näytteessä aiheuttaa toksisuuden. Mikrobitoksiineja ovat mm. kereulidi, amylosiini ja valinomysiini. Luonnossa arvioidaan olevan noin 20 000 erilaista mikrobitoksiinia. Toksisuutta testeissä voivat aiheuttaa mikrobitoksiinien lisäksi esimerkiksi ulkoilman saasteet, pakokaasut, palamustuotteet, pesuaineen ja muut talouskemikaalit. (Hyvärinen, 2012.) Tutkimusmenetelmän käytöstä ollut sosiaali- ja terveysministeriön johtama tutkimushanke, jonka johtopäätösten mukaan huonepölyn toksisuutta ei voida käyttää kosteusvauriokohteiden luokittelussa tai terveyshaitan arvioinnissa. (Alenius, 2012.)

#### *MVOC – Microbial Volatile Organic Compounds*

Yhtenä mikrobivaurioiden tutkimusmenetelmänä on käytetty sisäilmasta mitattujen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) esiintymistä, jotka ovat yksi mikrobien aineenvaihdunnan tuote. VOC- analyysistä voidaan erotella ne yhdisteet, jotka ovat mikrobien aineenvaihdunnan tuottamia. MVOC-analyysien tulkinnan ongelmaksi on muodostunut se, että samoja yhdisteitä emittoituu myös täysin vaurioitumattomista tai kostuneista materiaaleista. (Valvira, 2011.)

### **3 Kosteus rakennuksissa**

Mikrobivaurioiden aiheuttaja rakennuksen rakenteissa on liiallinen kosteusrasitus. Kosteusrasitusta rakennukseen tuottavat erilaiset sisä- ja ulkopuoliset lähteet, kuten ulkoilman kosteus, sade, maakosteus, pintavedet, rakennuskosteus, ihmiset ja käyttövesi. (Ympäristöministeriö, 1997.) Oleellista kosteusvaurioiden ehkäisemiseksi on ehkäistä ja hallita kosteuden liikkumista rakennuksessa koko rakennuksen elinkaaren ajan. Kuvassa 2 on esitetty rakennuksen kosteuslähteitä.



Kuva 2. Rakennuksen kosteuslähteitä. Leivo, 1998.

Seuraavissa luvuissa on kerrottu tarkemmin kosteuden siirtymistapoja rakennuksessa ja sen rakenteissa.

### 3.1 Veden painovoimainen siirtyminen

Ilmakehässä olevan vesihöyryn tiivistyminen vedeksi johtaa sen painovoimaiseen liikkeeseen kohti maanpintaa. Tämän aiheuttaa maan vetovoima. Sadevesi kastelee rakennuksen vesikattoa ja roiskuessaan myös julkisivua sekä sokkelia. Sadevesi tai keväinen sulamisvesi kulkeutuu painovoimaisesti rakennusta kohti, mikäli rakennuksen korkeusasema tekee sen mahdolliseksi. (Ympäristöministeriö, 1997.) Usein rakennuksissa on kellari- tai ryömintätiloja, joiden lattiataso tai alapinta on maanpinnan tasoa alempana. Tämä voi johtaa vapaan veden kertymiseen alapohjaan.



Kuva 3. Pintavesien hallitsematon valuminen rakennusta kohti voi johtaa vapaan veden kertymiseen ryömintätilaan.

Rakennukseen kohdistuva pintavesien valuminen on torjuttava maanpinnan kallistuksilla rakennuksesta poispäin viettäväksi. Sopiva maanpinnan vähimmäiskaltevuus kolmen metrin etäisyyteen sokkelista on 1:20. Sadevedet on johdettava painovoimaisesti sadevesijärjestelmän kautta pois tontilta tai imeyttää maaperään tontilla. Imeytys on tehtävä riittävän kaukana rakennuksesta. (Ympäristöministeriö, 1999.) Osa pintavedestä valuu pintamaakerroksen läpi salaojiin. Myös salaojissa vesi liikkuu painovoimaisesti.

### 3.2 Kapillaarisuus

Kapillaarisuus tarkoittaa rakennusaineiden ja maaperän kykyä imeä ja siirtää vettä itseensä huokosalipaineen paikallisten erojen aiheuttamana niiden ollessa kosketuksissa veden kanssa. Sade, pohjavesi, sulamis- ja valumavedet ovat tällaista vettä. Maaperässä kapillaarisuus nostaa vettä pohjaveden pinnan yläpuolelle. (Björkholtz, 1997.) Tämän vuoksi rakennuspohjassa on oltava kapillaarikatko, jotta voidaan estää perustusten ja alapohjan kosteusvaurioita. Kapillaarikatkoja on käytettävä myös muissa rakennuksen



rakenneliittymäkohdissa kosteuden kapillaarisen siirtymisen ehkäisemiseksi. Kuvassa 4 on näkyvissä veden kapillaarista nousua betoniseinässä.



Kuva 4. Veden kapillaarista nousua betonirakenteessa.

Vesi voi siirtyä kapillaarisesti kaikkiin suuntiin. Kapillaarisesti siirtyvä kosteus määrä voi olla hyvin suuri. Rakenteen kapillaarinen kosteustasapaino on saavutettu, kun kosteus on noussut korkeudelle, jossa huokosalipaineen aiheuttama kapillaarinen imu ja painovoima ovat yhtä suuria. (RIL, 2011.)

Taulukossa 3 on esitetty eri maalajien likimääräisiä kapillaarisia nousukorkeuksia.

Taulukko 3. Maalajien likimääräiset kapillaariset nousukorkeudet

Maalaji	Raekoko (mm)	Kapillaarinen nousukorkeus (m)	
		Löyhä kerrostuma	Tiivis kerrostuma
Savi	0,002	8	10
Hiesu	0,002 - 0,02	10 - 4	12 - 6
Hieno hieta	0,002 - 0,06	5 - 1,5	8 - 2,5
Karkea hieta	0,06 - 0,2	2 - 0,3	3,5 - 0,4
Hieno hiekka	0,2 - 0,6	0,35 - 0,10	0,5 - 0,12
Karkea hiekka	0,6 - 2	0,12 - 0,03	0,15 - 0,04

Tarvittaessa rakennuspohjan massanvaihto on tehtävä routimattomasta, hyvin tiivistyvästä ja kantavasta kiviaineksesta, esimerkiksi sora tai kalliomurskeesta. Murskeen rae-koon määrittelee kerrospaksuus. Mitä paksumpi murskekerros, sitä suurempi on kiviaineksen raekoko. Minimikerrospaksuuden on oltava vähintään kolminkertainen kiviaineksen maksimiraekokoon nähden. Kantavan kerroksen yläosan murskeen minimiraekooksi voidaan suositella 16 mm. (Lohja Rudus.)

### 3.3 Konvektio

Konvektiolla tarkoitetaan vesihöyryn siirtymistä ilmavirtauksen mukana. Konvektio syntyy rakenteen eri puolisten paine-erojen vuoksi. Paine-eroja aiheuttavat tuuli, lämpötila-ero sekä koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä. Kosteusvaurion syntymisen riski on suurin lämmityskaudella, kun lämmintä, kosteussisällöltään ulkoilmaa suurempaa sisäilmaa virtaa rakenteisiin. Tällöin sisäilman suurempi kosteus voi tiivistyä kylmään ulkovaipparakenteeseen. Konvektiolla siirtyvä kosteusmäärä voi olla moninkertainen rakenteen läpi diffuusiolla siirtyvään kosteusmäärään verrattuna. (RIL, 2011.)

### 3.4 Diffuusio

Diffuusio johtuu vesihöyrypitoisuuksien erosta rakenteen eri puolilla. Vesihöyry siirtyy suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään. Diffuusiolla tapahtuvan virtauksen suuruus riippuu vesihöyrynpitoisuuseron suuruudesta ja rakenteen vesihöyrynläpäisevyydestä. (RIL, 2011.)

Diffuusion suuruutta voidaan arvioida laskennallisesti vesihöyryn pitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden erolla. Kosteus siirtyy suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempään päin. (Ympäristöministeriö, 1997.)

Diffusoituvan vesihöyryn siirtymisen rakenteen läpi sisältä ulos estetään rakenteiden eri kerrosten höyryvastusten oikealla valinnalla. Jotkut rakennetyypit voivat toimia ilman erillistä diffuusiokatkoa eli höyrinsulkua. Muihin rakenteisiin tulee lisätä erillinen höyrynsulku. Höyrynsulku asennetaan yleensä rakenteen lämpimälle puolelle lähelle pintaa. (Ympäristöministeriö, 1999.)

Rakenteen oikea kosteustekninen toiminta on siis diffuusionkin kannalta rakenteen kosteusteknisen toiminnan perusedellytys. Tarkastelemalla kosteuden siirtymistä diffuusiolla rakenteessa voidaan arvioida rakenteen vaurioitumisriskiä. Kerroksellisen rakenteen kosteustekninen toiminta riippuu rakenteen eri puolilla vallitsevien olosuhteiden lisäksi rakennekerrosten vesihöyrynläpäisevyydestä ja rakennekerrosten järjestyksestä. Lämpimältä puolelta siirtyvä kosteus ei saa nostaa suhteellista kosteutta haitallisen korkeaksi rakenteen kylmissä osissa. Toisaalta ulompien rakennekerrosten tulee päästää rakenteessa oleva kosteus liikkumaan diffuusiolla ulos. Siten rakenne voi vaurioitua kosteuden siirtymisestä diffuusiolla jos sisäilman kosteus on liian korkea. Lisäksi rakenne voi vaurioitua jos rakenteen sisäpuolisen kerroksen höyrynläpäisevyys on suuri ja rakenteen ulkopuolisen kerroksen höyrynläpäisevyys pieni. (Sisäilmayhdistys, 2008.)

#### **4 Rakennusten tuulettuvat alapohjat**

Tuulettuvan alapohjarakenteen historia ulottuu Suomessa aikaan, jolloin alettiin rakentaa lamasalvosrakennuksia. Pyöröhirrestä tehtävä rakennus kasattiin luonnonkivistä asetettujen kulmakivien päälle. Näin voitiin välttää alimpien hirsikerrosten ja lattian kastuminen maakosteudesta ja sen seurauksena oleva pikainen lahoaminen. Myöhemmin kivet laddottiin koko rakennuksen kattavaksi sokkeliksi ja kivien väliin jätettiin kissanluukkuja, joiden avulla alapohja tuulettui. Lankuista voitiin rakentaa perinteinen rossipohja, jossa eristeenä käytettiin mm. sahanpurua, turvetta, jäkälää ja sammalta.

#### 4.1 Ryömintätila Suomen rakentamismääräyksissä

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 käsitellään rakennuksen rakenteiden kosteutta ja todetaan ryömintätilan osalta seuraavasti (Suomen rakentamismääräyskokoelma C2 1998):

Ryömintätila tarkoittaa rakennuksen alapohjan, sokkelin ja perusmaan rajoittamaa tarkoituksellisesti järjestettyä ilmatilaa. Alapohjan alainen ryömintätila on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei ryömintätilaan kerääny vettä ja että ryömintätila tuulettuu riittävästi, eikä ilmatilan kosteudesta ole haittaa rakenteiden toiminnalle ja kestävyydelle.

Sade- ja valumavesien pääsy rakennuksen ulkopuolelta ryömintätilaan ja jääminen sinne estetään sadevesien poistojärjestelmällä, maanpinnan muotoilulla ja tarvittaessa rakennuspohjan salaojituksella.

Kosteuden kapillaarinen nousu ja haihtuminen ryömintätilaan estetään esim. kapillaarisen nousun katkaisevalla salaojituskerroksella tai kosteuseristyksellä. Kosteudeneristystä käytettäessä ryömintätilan pohja muotoillaan salaojiin tai alempana olevaan ympäröivään maanpintaan päin viettäväksi niin, ettei kosteudeneristykseen päälle voi muodostua lammikoita tai kosteudeneristys tehdään vettä läpäiseväksi.

Kesäaikaista ryömintätilan korkeaa suhteellista kosteutta voidaan alentaa maapohjan lämmöneristyksellä. Ryömintätila tuuletetaan yleensä sokkelin tuuletusaukkojen tai – putkien kautta ulkoilmaan. Ryömintätila voidaan tuulettaa myös koneellisesti tai painovoimaisesti esimerkiksi katolle vietävien tuuletusputkien kautta.

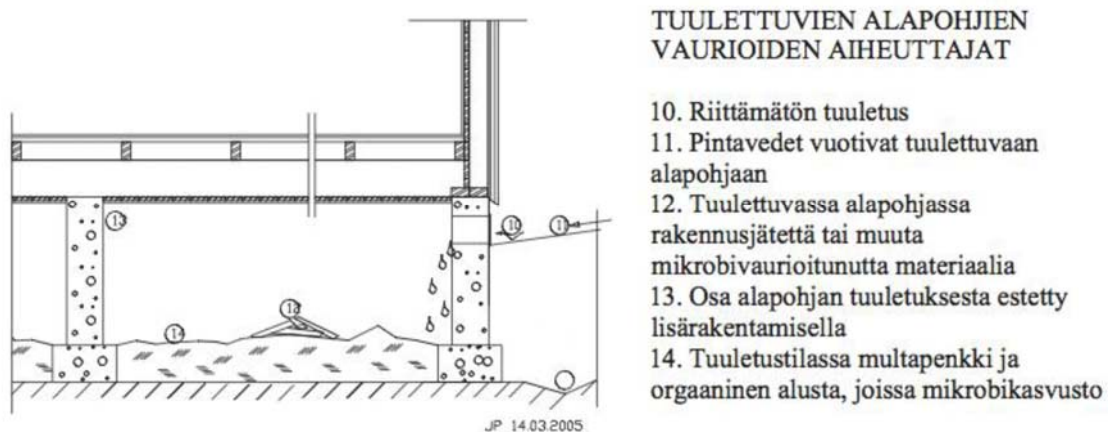
Ryömintätilaan ei saa muodostua umpinaisia, väliseiniä tai palkkien erottamia tuulettumattomia tiloja. Ryömintätilan tuuletusaukkojen yhteispinta-alan tulee olla ainakin 4 promillea ryömintätilan pinta-alasta. Tuuletusaukon pinta-alalla tarkoitetaan suojaavan ritilän tai säleikön vapaata pinta-alaa. Tuuletusaukot jaetaan tasaisesti ulkoseinälinjalle siten, että koko ryömintätila tuulettuu. Aukkojen alareunan on oltava vähintään 150 mm maanpinnan yläpuolella, mutta mahdollisuuksien mukaan tätä korkeammalla. Aukkojen vähimmäiskoon on oltava 150 cm<sup>2</sup> sekä enimmäisvälin 6 m. Ryömintätalassa oleviin väliseiniin ja osastoiviin palkkeihin tehdään vastaavat, mutta vähintään kaksi kertaa niin suuret tuuletusaukot kuin samalla virtausreitillä olevat ulkoilmaan avautuvat aukot.

Ryömintätilaan on järjestettävä tarkastusmahdollisuus ja pääsy kaikkialle tilaan. Ryömintätilan korkeuden tulisi olla vähintään 0,8 m. Ryömintätalassa ei saa olla rakennusjätettä eikä lahoavaa orgaanista ainesta.

Edellä olevien määräysten ja ohjeiden tarkoituksena on estää sellaisten olosuhteiden muodostuminen ryömintätilaan, jotka mahdollistaisivat liiallisen mikrobikasvun kehittymisen ja voisivat johtaa esimerkiksi lahovaurioihin sekä terveyshaittaa aiheuttavan mikrobikasvuston kehittymiseen.

#### 4.2 Ryömintätilaisten alapohjien vauriot

Ryömintätilan kosteusolosuhteet voivat johtaa siihen, että ryömintätilaan syntyy vaurioita. Mikäli alapohjarakenteissa on puuta, on lahovaurion uhka ilmeinen. Lahovaurio voi pahimmillaan johtaa ongelmiin alapohjarakenteiden kantavuuden suhteen. Kosteuden aiheuttamalla vauriolla voidaan tarkoittaa myös sitä, että ryömintätilaan on syntynyt joko liiallisen tai muuntunen mikrobikasvuston aiheuttama olosuhde, joka voidaan määritellä rakennuksessa terveystaitaksi. Pirinen on väitöskirjassaan todennut alapohjien mikrobivaurioiden aiheuttajiksi seuraavia tekijöitä: riittämätön tuuletus, pintavesien vuotaminen tuulettuvaan alapohjaan, osa alapohjan tuuleuksesta estetty lisärakentamisella sekä tuulettutilassa multapenkki ja orgaaninen alusta joka mikrobivaurioitunut. (Pirinen, 2006.)



Kuva 5. Tuulettuvien alapohjien vaurioiden aiheuttajat. Pirinen, 2006.

Kurnitski ym. (1999) ovat tutkineet ryömintätilojen kosteuspitoisuuksia ja mikrobipitoisuuksia. Mikrobitutkimuksissa on käytetty viljelyyn perustuvaa analyysimenetelmää. Tutkimustulosten perusteella havaittiin, että ryömintätilan kevytsora rajoittaa kosteuden haihtumista maanpinnalta. Kevytsorakerros toimii kapillaarikatkona ja samalla myös lämmöneristeenä nostaen ryömintätilan kesäaikaista lämpötilaa, mikä puolestaan vähentää ryömintätilan pintojen kondenssiriskiä. Kondenssiriski ilmenee silloin, kun ryömintätilan ilman lämpötila on ulkoilman lämpötilaa huomattavasti alhaisempi ja ulkoa siirtyy suuremman kosteussisällön omaavaa ilmaa tuuletuksen johdosta ryömintätilaan. Tällöin ulkoilmavirran sisältämä kosteus voi tiivistyä ryömintätilan kylmille pinnoille. Tutkimuksen

mukaan ryömintätilan sieni-itiöpitoisuudet voivat olla joitakin tuhansia pmy/m<sup>3</sup>, jolloin ne ylittävät kymmenkertaisesti asuntojen sisäilmassa normaalisti tavattavat pitoisuudet. Ryömintätilan maaperästä tai alapohjan rakenteista otettujen näytteiden sieni-itiöpitoisuudet osoittivat rakenteiden olevan kontaminoituneita. Pääsääntöisesti näytteen kosteus tai märkyys heijastui myös itiö-pitoisuuteen. Mitatut ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila tai havainnoitu ryömintätilan märkyys ei aina tullut esille mikrobien kohonneena pitoisuutena ilmassa. Tämä heikentää ilman mikrobipitoisuusmäärityksen käyttömahdollisuuksia ryömintätilan mikrobiologisen kunnan arvioinnissa. (Kurnitski, ym. 1999.) Edelleen (Matilainen ym. 2003) ovat tutkineet tuulettuvien alapohjien kosteus- ja lämpötilaolosuhteita erilaisilla perusmaan lämmöneriste valinnoilla. Tutkimuksessa käytettiin lämmöneristeinä suulakepusitettua EPS-eristettä ja leca-soraa. Mittaamalla ryömintätilan ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa, voitiin homeen kasvun todennäköisyyttä ennustaa laskentamallin avulla. Kuvassa 6 on esitetty homeen teoreettisen kasvun mahdollisuus suhteessa käytettyihin lämmöneristeratkaisuihin. Neljä eri kuvaajaa on saatu käyttäen eri ilmanvaihtokertoimia.

186

M. Matilainen, J. Kurnitski / Energy and Buildings 35 (2003) 175–187

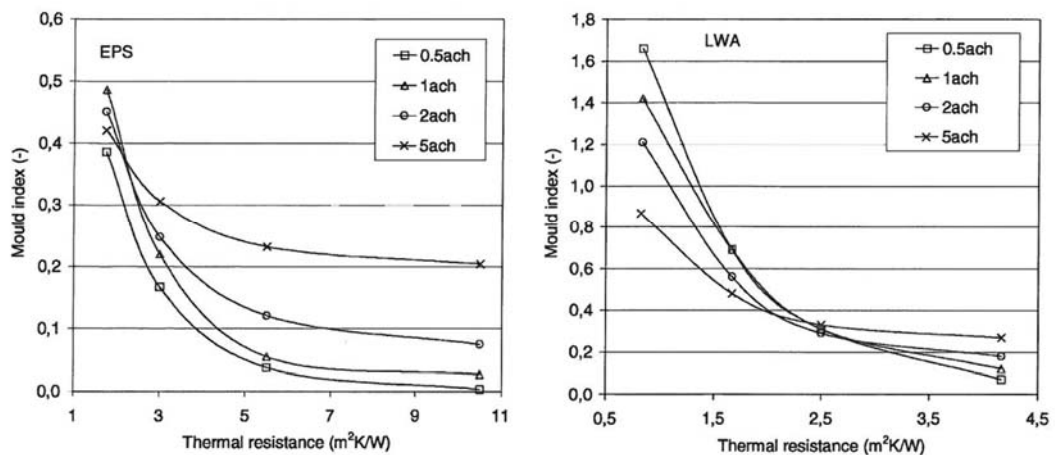


Fig. 14. The mold growth index as a function of the thermal resistance of the ground cover: EPS (left), and LWA (right).

Kuva 6. Homeindeksi suhteessa lämmöneristykseen. Matilainen ym. 2003.

Tuulettuvan alapohjan kuntoa ei kuitenkaan voida määrittää vain mittaamalla ilman kosteuspitoisuutta ja laskemalla siitä homeindeksin mukainen vaurioitumisherkkyys. Tuulettuvan alapohjan mikrobiologisiin olosuhteisiin vaikuttaa paljon muitakin tekijöitä ja homeindeksin käyttö yksittäisessä tutkimuskohteessa on kyseenalaista. Yleisesti tuulettuvan alapohjan mikrobivaurioituneeksi määrittelemisen on tehtävä tapauskohtaisesti ja aistinvaraisen arvioinnin osuus on siinä suurin.

### 4.3 Mikrobivaurioituneiden ryömintätilojen korjaaminen

Puisten alapohjarakenteiden lahoaminen on riski rakenteiden kantavuudelle ja siksi lahonneet rakenteet on vaihdettava uusiin. Lahon toteaminen on suhteellisen yksinkertaista ja voidaan tehdä esimerkiksi piikin avulla. Muun kuin lahovaurioiden aiheuttaman mikrobivaurion toteaminen on usein tulkinnanvarainen asia. Mikrobikasvua ei aina voi havaita aistinvaraisesti, joten se voi jäädä huomaamatta. Käytännössä ryömintätilojen mikrobivauriot voivat aiheuttaa terveyshaittaa, jos mikrobien haitta-aineet pääsevät kulkeutumaan rakennuksen oleskelutiloihin. Ryömintätilojen korjauksissa pyritäänkin siihen, että haitallista mikrobikasvua jäisi ryömintätilaan mahdollisimman vähän ja toisaalta siihen, että mikrobien haitta-aineet eivät kulkeudu alapohjarakenteiden läpi rakennuksen sisäilmaan.

Ryömintätilojen korjaamiseen vaikuttavat usein taloudelliset resurssit. Tämän vuoksi korjausten suunnittelussa on paljon pyritty alentamaan kustannuksia. Käytännössä tämä on tarkoittanut sitä, että laajoihin ja kalliisiin maarakennustöihin ryhtymistä on pyritty välttämään. Aiempina vuosina korjaustoimenpiteiksi on yleensä riittänyt rakennusjätteiden ja muottilaudoitusten poistaminen ryömintätilasta. Myös tuuletusluukkuja tai putkia on saatettu lisätä. Ryömintätilan orgaanisten maamassojen poisto ja vaihto soveltuviin materiaaleihin vaatii imuauton tai jopa lapion ja ämpäreiden käyttöä. Virheellisesti asennetut tai tukkeutuneet salaojat voidaan uusia kaivamalla rakennusten vierustat auki. Tilanne vaikeutuu huomattavasti, jos kaivamisen yhteydessä joudutaan esimerkiksi louhimaan kalliota. Rakennuspaikan alkuperäinen valinta vaikuttaa paljon siihen millaisia korjaustoimenpiteitä joudutaan tekemään. Jos rakennus on montussa ja pihan maapinta viettää rakennusta kohden sekä ryömintätilan perusmaanpinnan taso on pihan maanpinnan tasoa alhaisempi, voidaan maanrakennustöissä joutua rakentamaan niskaojia ja tukimureja, joiden avulla pinta- ja valumavesiä ohjataan pois rakennuksesta.

Oleellisena korjaustoimenpiteenä ryömintätilojen mikrobivaurioiden korjaamiseksi edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi on varmistaa alapohjan tiiveys. Rakenneliittymien ja läpivientien tiiveys on varmistettava diffuusiopitävin menetelmin.

## 5 Tutkimuskohteet ja niissä tehdyt mittaukset sekä havainnot

Tutkimuskohteiksi valittiin 3 eri-ikäistä rakennusta, joissa kaikissa oli ryömintätila. Kohteiksi valittiin yksi päiväkotirakennus ja kaksi koulurakennusta. Mittauksia tehtiin vain rakennusten ryömintätiloissa, muilta osin rakennuksen rakenteiden kuntoa tai sisäilman laatua ei tässä tutkimuksessa selvitetty. Kohteissa B ja C on kuitenkin aiemmin tehty rakenteiden kuntotutkimuksia ja sisäilmaselvityksiä koettujen sisäilmaongelmien vuoksi. Kaikkien kohteiden ryömintätiloissa tehtiin seuraavat mittaukset:

- Ilman suhteellinen kosteus RH (%) näytteenottohetkellä
- Ilman lämpötila T (°C) näytteenottohetkellä

Ryömintätiloista otettiin seuraavat näytteet laboratoriotutkimuksia varten:

- Ilman mikrobipitoisuus Andersen-keräimellä (1 kpl)
- Ilman mikrobipitoisuus pintasivelymittauksena 2 viikon laskeumasta puhdistetulta pinnalta (2 kpl)
- Maapohjan materiaalinäytteet mikrobimääritystä varten viljelymenetelmällä (3 kpl)
- Maapohjan materiaalinäytteet toksisuusmääritystä varten (3 kpl)

Toksisuusnäytteet lähetettiin analysoitavaksi Metropolilab Oy:n Ympäristölaboratorioon Helsinkiin ja mikrobiinäytteet Työterveyslaitoksen Oulun Mikrobiologian laboratorioon.

Näytteenottokohdat on merkitty liitteinä 1, 2 ja 3 oleviin paikannuspiirustuksiin.

### 5.1 Kohde A

Kohde on 3-kerroksinen koulurakennus, joka on valmistunut vuonna 2012. Rakennuksen alapohja ei ole kauttaaltaan ryömintätilainen, vaan ryömintätila käsittää rakennuksen yhden siiven alapohjan. Ryömintätilaan on pääsy rakennuksen lämmönjakohuoneen miesluukun kautta. Alapohja on rakennettu ontelolaatoista ja seinämät ovat betonielementtejä. Perusmaan erottaa ryömintätilasta kapillaarikatkona toimiva salaojasorakerros ja lämmöneristys. Ryömintätilassa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Tuloilma on suodatettua. Ilmanvaihto on jatkuvasti toiminnassa, eikä sitä ole



sidottu rakennuksen oleskelutilojen ilmanvaihdon käyttöaikoihin. Varsinaisia tuuletusluokkuja tai -putkia ei ole, joten suoraa ilmayhteyttä ulkoilmaan ei ole.



Kuva 7. Kohde A:n ryömintätila pituussuunnassa.

Ryömintätilassa ei aistittu vieraita hajuja eikä tunkkaisuutta. Ryömintätilan maapohja viettää selvästi ryömintätilan keskilinjan suuntaan, pintavesien valumista ryömintätilaan ei kuitenkaan ollut havaittavissa.



Kuva 8. Kohteen A ryömintätilassa Andersen-mittaus tehtiin anturan päällä.

## 5.2 Kohde B

Kohde B on 2-kerroksinen koulurakennus, joka on valmistunut vuonna 1990. Rakennus on rakennettu kallioiseen rinteeseen siten, että alemman kerroksen tilat rajoittuvat toiselta sivultaan maanvastaiseen seinään. Rakennuspaikka on louhittu kallioon. Rakennuksessa oleva ryömintätila on yksittäinen rakentamaton tila, jossa louhittua kalliota on näkyvissä. Ryömintätilan pohjan tasaisella osuudella on louhetta ja sepeliä. Ryömintätilan seinät ovat betonista paikalla valettuja. Rakennuksessa on tehty sisäilmaongelmien vuoksi tutkimuksia ja selvityksiä sekä niissä suositeltuja korjaustoimenpiteitä. Rakennukseen on mm. uusittu salaojia, tehty sokkelin vedeneristystä, rakennettu alempaan kerrokseen ilmastoitua lattiaa sekä tehty alitusporauksia rakennuksen maanvaraisen alapohjan kuivattamiseksi. Lisäksi ryömintätilassa olevaan kalliopintaan on tehty kulmahiomakoneella leikkauksia, koska kallio padotti vettä ja aiheutti siten pintavesien lammitumista ryömintätilaan. Ongelmat ovat syntyneet rakentamisvaiheessa, jolloin ei ole huolehdittu siitä, että kallioon louhittuun perustukseen valuu pintavesiä sekä tulee mahdollisesti kalliohalkeamista valuvaa vettä. Ryömintätilassa on koneellinen poistopuhallin

ja poistoilma on kanavoitu ulos. Korvausilma tulee painovoimaisesti tuuletusputkien kautta.



Kuva 9. Kohde B:n ryömintätilassa on laajalti kalliopintaa näkyvissä.

Ryömintätila on lämmöneristetty oleskelutilojen suuntaan. Ryömintätilan katto on lähes samassa tasossa ylärinteen maanpinnan tason kanssa. Ryömintätilassa havaittiin pintavesien valumista ylärinteen puolelta. Kuvassa 9. palkin alapuolinen sorakerros oli osittain kosteaa tai lähes märkää. Myös kalliopinnat olivat osin märkiä. Ryömintätilassa aistitiin lievää maakellarimaista hajua.

### 5.3 Kohde C

Kohde C on 1-kerroksinen, puurakenteinen 1976 valmistunut päiväkotirakennus. Kohde on perusparannus on valmistunut vuonna 2010. Rakennuksessa on tehty sisäilmatutkimuksia ennen ja jälkeen perusparannuksen. Ennen perusparannusta rakennuksessa suurimpina puutteina olivat alapohjan ja yläpohjan kosteus- ja homevauriot sekä puut-

teellinen ilmanvaihto. Perusparannuksen jälkeen tehdyssä selvityksessä ei havaittu merkittäviä epäkohtia, jotka voisivat heikentää sisäilman laatua. Kohteen ryömintätilassa on poistopuhallin. Korvausilma tulee tuuletusputkien kautta. Ryömintätilan keskiosalla on suuri savikerrostuma, jota ei rakentamisen aikana eikä perusparannuksen yhteydessä poistettu. Savikerrostuma on korkeudeltaan osin sellainen, että se on lähes kiinni yläpuolisissa ontelolaatoissa. Ryömintätilan seinämät ovat paikallavalettuja betonisia sokkelirakenteita. Ryömintätilan seinien sivustoilla on perusmaan päälle valettu maanvarainen laatta, joka on kuvassa 10 näkyvien viemäriinjojen oikealla puolella.



Kuva 10. Kohde C:n ryömintätilan kuljettavilla osuuksilla on perusmaan päälle valettu laatta. Kuvassa vasemmalla savikerrostumaa, joka kattaa suurimman osa ryömintätilan pohjapinta-alasta.

Ryömintätilassa aistittiin lievää maakellarimaista hajua. Savikerrostuman havaittiin olevan paikoin kosteaa.

## 6 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Andersen-keräimellä otettiin vertailunäyte ulkoilmasta, jotta sitä voitiin verrata samalla menetelmällä kohteista otettujen näytteiden tuloksiin. Siten voitiin arvioida sitä, miten paljon ryömintätiloihin kulkeutui ulkoilman mikrobeja tuuletusputkien kautta. Vertailunäyte otettiin kohteen C pihassa. Andersen-keräimellä otettujen näytesarjojen keräysaikana käytettiin 5 minuuttia.

Ulkoilman lämpötila näytteenottohetkellä oli 15,8 °C ja suhteellinen kosteus 76,5 %.

Taulukossa 4 on esitetty ulkoilmasta Andersen-keräimellä otetun mikrobinäytteen analyysivastauksen tulokset.

Taulukko 4. Andersen-keräimellä ulkoilmasta otetun näytteen analyysivastauksen tulokset. Tähdellä merkityt mikrobit ovat kosteusvaurioindikaattoreita. Yksikkönä on cfu / m<sup>3</sup>.

Näyte	Mesofiiliset sienet Hagem-agar	DG18-agar	Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit THG-agar
1.	<b>Yhteensä</b> <b>1061</b>	<b>Yhteensä</b> <b>648</b>	<b>Yhteensä</b> <b>64</b>
	<i>Acrodontium</i> 29	<i>A. niger</i> 14	Muut bakteerit 57
	<i>Aureobasidium</i> 7	<i>Acrodontium</i> 21	<i>Streptomyces</i> * 7
	<i>Beauveria</i> 22	<i>Botrytis</i> 14	
	<i>Botrytis</i> 7	<i>Cladosporium</i> 507	
	<i>Cladosporium</i> 799	<i>Eurotium</i> 21	
	<i>Geothrichum</i> 102	hiivat, vaalea 14	
	hiivat, vaalea 15	<i>Penicillium</i> 57	
	<i>Penicillium</i> 22		
	steriilit 58		

Ulkoilman mikrobien kokonaispitoisuus oli näytteenottohetkellä erittäin runsas, mikä on luonnollista vuodenaika ja vallinnut säätila huomioiden. Syksyllä, maanpinnan ollessa sulana on mikrobien määrä ulkoilmassa korkea. Tuloksesta erottuu *Cladosporiumin* suuri pitoisuus, joka on yleisimpiä ulkoilman mikrobilajeja. Toisen yleisen ulkoilman mikrobilajin, *Penicilliumin*, pitoisuudet olivat odotettua pienemmät.

### 6.1 Kohde A

Ulkoilman lämpötila näytteenottohetkellä oli 15,8 °C ja suhteellinen kosteus 76,5 %.



Ryömintätilan lämpötila näytteenottohetkellä oli 19,7 °C ja suhteellinen kosteus 55,2 %.

Kohteen A ryömintätilan tuuletus on järjestetty kokonaan koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla, joka on varustettu lämmöntalteenotolla. Tämän seurauksena ryömintätilan lämpötila on ulkoilmaa selvästi korkeampi ja suhteellinen kosteus matalampi.

Taulukossa 5 on esitetty kohteen B ryömintätilan ilmasta Andersen-keräimellä otetun mikrobinäytteen analyysivastauksen tulokset.

Taulukko 5. Andersen-keräimellä kohteesta A otetun näytteen analyysivastauksen tulokset. Tähdellä merkityt mikrobit ovat kosteusvaurioindikaattoreita. Yksikkönä on cfu / m<sup>3</sup>.

Näyte	Mesofiiliset sienet Hagem-agar	DG18-agar	Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit THG-agar
1.	<b>Yhteensä</b> <b>592</b>	<b>Yhteensä</b> <b>317</b>	<b>Yhteensä</b> <b>862</b>
	<i>A. versicolor</i> * 95	<i>A. versicolor</i> * 101	Muut bakteerit 618
	basidomykeetit 300	<i>Cladosporium</i> 14	<i>Streptomyces</i> * 200
	<i>Geomyces</i> * 7	<i>Eurotium</i> * 22	
	<i>Penicillium</i> 183	<i>Penicillium</i> 75	
	<i>Trichoderma</i> 7	<i>Scopulariopsis</i> * 173	
		steriilit7	

Mikrobien kokonaismäärä oli erittäin runsas. Myös vaurioindikaattorien määrä oli erittäin runsas. Näytteen mikrobilajisto poikkesi selvästi ulkoilmanäytteen mikrobilajistosta. Myös mahdollisesti toksisuutta aiheuttavien mikrobien määrä oli erittäin runsas. Näytteessä todettiin mm. sädesienen erittäin runsas pitoisuus.

Taulukossa 6 on esitetty puhdistetulta pinnalta otettujen kahden viikon pölylaskeumasta otettujen pyyhintänäytteiden tulokset. Näytteet otettiin tislattuun veteen kostutetulla pumputipukolla kahta viikkoa aiemmin puhdistetun alustan pinnalta siihen kertyneestä pölylaskeumasta pintasivelymenetelmällä sadan neliösenttimetrin pinta-alalta ja kasvatusalustat viljeltiin pumputipukolla suoraan näytteenottohetkellä.

Taulukko 6. Pyyhintänäytteiden mikrobiologisten analysointien tulokset kohteessa A. Näytteet on otettu 2 viikon aikana laskeutuneesta pölystä 100 cm<sup>2</sup> pinta-alalta. Yksikönä on cfu / m<sup>3</sup> .

Näyte	Mesofiilliset sienet Hagem-agar	DG18-agar	M2-agar	Mesofiilliset bakteerit ja aktinobakteerit THG-agar
1.	<b>Yhteensä</b> + <i>A. versicolor</i> * +(3) basidomykeetit -(1) <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> ++ <i>A. versicolor</i> * +(12) <i>Penicillium</i> + <i>Scopulariopsis</i> * +(3)	<b>Yhteensä</b> ++ <i>A. versicolor</i> * +(18) <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> +++ Muutbakteerit +++ <i>Streptomyces</i> * -
2.	<b>Yhteensä</b> + <i>A. versicolor</i> *+(6)	<b>Yhteensä</b> ++ <i>A.versicolor</i> * ++(22) <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> ++ <i>A. versicolor</i> * +(16) Cladosporium + <i>Penicillium</i> + <i>Ulocladium</i> * +(1)	<b>Yhteensä</b> ++ Muutbakteerit ++ <i>Streptomyces</i> * -

Samasta ryömintätilasta otetut pyyhintänäytteet ovat rinnakkaisia näytteitä, ne on kerätty ja otettu samanaikaisesti. Tuloksissa ei ole toisistaan suurta poikkeamaa. Tuloksissa esiintyy myös samoja mikrobilajeja, kuin ryömintätilasta Andersen-keräimellä otetussa näytteessä. Mikrobien kokonaismäärät näytteissä ovat kuitenkin normaaleja tai hieman kohonneita. Vaurioindikaattorit ovat mikrobilajeista enemmistönä. Kummassakaan näytteessä ei esiinny sädesieniä. Mikrobimäärät ovat selvästi pienempiä, kuin Andersen-keräimellä otetussa näytteessä.

Taulukossa 7 on esitetty kohteessa A otettujen materiaalinäytteiden tulokset. Materiaalinäytteitä otettiin yhteensä kolme kappaletta. Näytteet kerättiin ryömintätilojen pohjalla olevasta maatäytöstä, yksittäisistä kohdista. Näytteenottoaikat olivat lähellä toisiaan eikä näytteitä pyrittykään keräämään eri puolilta ryömintätilaa.

Taulukko 7. Materiaalinäytteen mikrobiologinen analysointi kohteessa A, ryömintätilan maapohja. Yksikkönä on cfu / g.

Näyte	Mesofiiliset sienet				Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit	
	Hagem-agar		DG18-agar		THG-agar	
1. Hiekka	<b>Yhteensä</b>	<b>354600</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>618200</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>9600</b>
	<i>A. versicolor</i> *	245500	<i>A. versicolor</i> *	381800	Muut bakteerit	3200
	<i>Penicillium</i>	109100	<i>Penicillium</i>	236400	<i>Streptomyces</i> *	6400
2. Sepeli	<b>Yhteensä</b>	<b>1100</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>1500</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>300</b>
	<i>A. versicolor</i> *	1000	<i>A. versicolor</i> *	1300	Muut bakteerit	300
	<i>Penicillium</i>	100	<i>Penicillium</i>	200	<i>Streptomyces</i> *	-
3. Hiekka	<b>Yhteensä</b>	<b>100</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>900</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>10600</b>
	<i>A. versicolor</i> *	100	<i>A. versicolor</i> *	400	Muut bakteerit	10600
			<i>Errotium</i> *	100	<i>Streptomyces</i> *	-
			<i>Penicillium</i>	400		

Näytteiden 1 ja 3 materiaali on hiekka ja näytteessä 2 materiaali on sepeli. Näytteessä 1 mikrobien kokonaispitoisuus on erittäin runsas. Vaurioindikaattorit ovat enemmistönä. Näytteessä 2 olevat mikrobilajit ovat näytteen 1 kanssa yhtenevät ja tässäkin näytteessä vaurioindikaattoreita on muita enemmän. Mikrobien kokonaispitoisuus on kohonnut. Näytteessä 3 homesienten kokonaispitoisuus on pienin ja viitearvojen mukaan normaali. Näytteen bakteeripitoisuus on saman suuruinen näytteen 1 kanssa. Näyte 1 poikkeaa selvästi kahdesta muusta näytteestä mikrobimäärien osalta.

Taulukossa 8 on esitetty kohteesta A otettujen materiaalinäytteiden toksisuuden tulokset. Toksisuutta testattiin laboratoriossa testillä, jossa testisoluina käytettiin karjun siittäösoluja. Näytemateriaalista valmistettiin uutteen etanoliin ja uutteen eri pitoisuuksien vaikutusta solujen liikkuvuuteen tutkittiin.

Taulukko 8. Materiaalinäytteiden toksisuusanalyysin tulokset kohteessa A

Näyte	Siittiöiden liikkuvuus
	Etanoliutaltoististus
1. Hiekka	ei toksinen
2. Sepeli	ei toksinen
3. Hiekka	ei toksinen



Analyysivastauksen mukaan näytteissä ei esiintynyt toksisuutta. Vaikka mikrobimääritelyissä materiaalinäytteissä havaittiin suuri poikkeama yhden näytteen kohdalla, ei vastaavaa poikkeamaa ole toksisuusanalyysissä havaittavissa.

## 6.2 Kohde B

Ulkoilman lämpötila näytteenottohetkellä oli 14,7 °C ja suhteellinen kosteus 77,9 %.

Ryömintätilan lämpötila näytteenottohetkellä oli 15,9 °C ja suhteellinen kosteus 83,6 %.

Kohteen B ryömintätila on alipaineistettu yhdellä kanavapuhaltimella ja korvausilma tulee tuuletusputkien kautta. Siksi ulkoilman ja ryömintätilan suhteelliset kosteusprosentit ja lämpötila ovat lähellä toisiaan.

Taulukossa 9 on esitetty kohteen B ryömintätilan ilmasta Andersen-keräimellä otetun mikrobinäytteen analyysivastauksen tulokset.

Taulukko 9. Andersen-keräimellä kohteesta B otetun näytteen analyysivastauksen tulokset. Tähdellä merkityt mikrobit ovat kosteusvaurioindikaattoreita. Yksikkönä on cfu / m<sup>3</sup>.

Näyte	Mesofiiliset sienet Hagem-agar	DG18-agar	Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit THG-agar
1.	<b>Yhteensä</b> <b>1796</b>	<b>Yhteensä</b> <b>4001</b>	<b>Yhteensä</b> <b>862</b>
	<i>A. versicolor</i> *1036	<i>A. ocheaceus</i> * 8	Muut bakteerit 812
	<i>Acrodontium</i> 46	<i>A. penicilloides</i> * 458	<i>Streptomyces</i> * 44
	basidomykeetit 15	<i>A. versicolor</i> * 2217	
	<i>Cladosporium</i> 31	<i>Cladosporium</i> 100	
	<i>Monocillium</i> 453	<i>Engyodontium</i> * 442	
	<i>Penicillium</i> 100	<i>Eurotium</i> * 92	
	steriilit 115	<i>Monocillium</i> 100	
		<i>Penicillium</i> 75	
		<i>Scopulariopsis</i> * 442	
		steriilit 67	

Analyysivastauksesta erottuu erityisesti *Aspergillus versicolorin* muita lajeja suuremmat pitoisuudet. Vaurioindikaattoreista myös *Engyodontiumilla* ja *Scopulariopsiksella* on suurempi pitoisuus kuin tavanomaisilla ulkoilman mikrobilajeilla kuten *Penicillium* ja *Cladosporium*. Mikrobin kokonaispitoisuus on erittäin runsas ja myös vaurioindikaattorien pitoisuus erittäin runsas. Mikrobimäärät ovat ulkoilmanäytettä suurempia kuten myös sädesienten pitoisuus.

Taulukossa 10 on esitetty kohteessa B puhdistetulta pinnalta otettujen kahden viikon pölylaskeumasta otettujen pyyhintänäytteiden tulokset. Näytteet otettiin tislattuun veteen kostutetulla pumpulipuikolla kahta viikkoa aiemmin puhdistetun alustan pinnalta siihen kertyneestä pölylaskeumasta pintasivelymenetelmällä sadan neliösenttimetrin pinta-alalta ja kasvatusalustat viljeltiin pumpulipuikolla suoraan näytteenottohetkellä.

Taulukko 10. Pyyhintänäytteiden mikrobiologisten analysointien tulokset kohteessa B. Näytteet on otettu 2 viikon aikana laskeutuneesta pölystä 100 cm<sup>2</sup> pinta-alalta. Yksikönä on cfu / m<sup>3</sup>.

Näyte	Mesofiilliset sienet			Mesofiilliset bakteerit ja aktinobakteerit
	Hagem-agar	DG18-agar	M2-agar	
1.	<b>Yhteensä</b> + <i>A. versicolor</i> * +(2) <i>Cladosporium</i> + <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + <i>A. penicilloides</i> * +(3) <i>A. versicolor</i> * +(3) <i>Cladosporium</i> + <i>Eurotium</i> *+(1) <i>Penicillium</i> + <i>Scopulariopsis</i> * +(1) <i>Ulocladium</i> * +(1)	<b>Yhteensä</b> + <i>A. versicolor</i> * +(3) <i>Aureobasidium</i> +(2) <i>Cladosporium</i> + <i>Eurotium</i> * +(1) <i>Oidiodendron</i> * +(1) <i>Scopulariopsis</i> * +(1)	<b>Yhteensä</b> ++ muut bakteerit++ <i>Streptomyces</i> *+(2)
2.	<b>Yhteensä</b> + <i>A. versicolor</i> *+(2) <i>Cladosporium</i> + <i>Penicillium</i> + <i>Thysanophora</i> +	<b>Yhteensä</b> + <i>A. versicolor</i> *+(3) <i>Botrytis</i> +(1) <i>Cladosporium</i> + <i>Engyodontium</i> +(1) <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + <i>Cladosporium</i> + <i>Geotichum</i> + <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + muut bakteerit + <i>Streptomyces</i> * +(1)

Rinnakkaisten pyyhintänäytteiden mikrobimäärät ovat lähellä toisiaan. Mikrobin kokonaismäärät näytteissä ovat normaaleja. Mikrobilajistot vastaavat myös suhteellisen hyvin toisiaan. Mikrobin kokonaismäärät ovat kuitenkin yllättävän pieniä. Näytteissä esiintyy osin samoja mikrobilajeja kuin Andersen-keräimellä ryömintätilasta otetussa näytteessä, mutta pitoisuudet ovat huomattavasti pienempiä.

Taulukossa 11 on esitetty kohteessa B otettujen materiaalinäytteiden tulokset. Materiaalinäytteitä otettiin yhteensä kolme kappaletta. Näytteet kerättiin ryömintätilojen pohjalla olevasta maatyöstä, yksittäisistä kohdista. Näytteenottoapaikat olivat lähellä toisiaan eikä näytteitä pyrittykään keräämään eri puolilta ryömintätilaa.

Taulukko 11. Materiaalinäytteen mikrobiologinen analysointi kohteessa B, ryömintätilan maapohja. Yksikkönä on cfu / g.

Näyte	Mesofiiliset sienet		Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit	
	Hagem-agar	DG18-agar	THG-agar	
1. Hiekka	<b>Yhteensä</b> 1300 <i>Geotrichum</i> 400 <i>Oidiodendron</i> 200 <i>Penicillium</i> 300 steriilit 400	<b>Yhteensä</b> 1700 <i>A. fumigatus</i> * 200 <i>A. penicilloides</i> * 500 <i>Penicillium</i> 400 steriilit 600	<b>Yhteensä</b> 781800 Muut bakteerit 600000 <i>Streptomyces</i> * 181800	
2. Sepeli	<b>Yhteensä</b> 1100 <i>A. versicolor</i> * 100 <i>Penicillium</i> 300 <i>Scopulariopsis</i> * 700	<b>Yhteensä</b> 1700 <i>A. penicilloides</i> * 200 <i>A.versicolor</i> * 100 <i>Engyodontium</i> * 700 <i>Scopulariopsis</i> * 200 steriilit 500	<b>Yhteensä</b> 32000 Muut bakteerit 31800 <i>Streptomyces</i> * 200	
3. Hiekka	<b>Yhteensä</b> 300 <i>A. versicolor</i> * 100 <i>Acremonium</i> * 100 <i>Engyodontium</i> * 100	<b>Yhteensä</b> 1600 <i>A. penicilloides</i> * 300 <i>Acremonium</i> * 200 <i>Engyodontium</i> * 800 <i>Scopulariopsis</i> * 300	<b>Yhteensä</b> 1450500 Muut bakteerit 1387400 <i>Streptomyces</i> * 63100	

Näytteiden 1 ja 3 materiaali on hiekka ja näytteessä 2 materiaali on sepeli. Kaikissa näytteissä mikrobien kokonaismäärät ovat erittäin runsaita. Jokaisessa näytteessä erotuu myös bakteerien suuri määrä. Analysoitujen näytteiden bakteerien määrät ovat suurempia kuin homesienten ja hiivojen määrät. Näytteissä 1 ja 3 sädesienten määrä on erittäin runsas. Homesienten määrät ovat kaikissa näytteissä samansuuruiset. Näytteessä 2 bakteerien määrä on moninkertaisesti pienempi kuin kahdessa muussa näytteessä.

Taulukossa 12 on esitetty kohteesta B otettujen materiaalinäytteiden toksisuuden tulokset. Toksisuutta testattiin laboratoriossa testillä, jossa testisoluina käytettiin karjun siitiosoluja. Näytemateriaalista valmistettiin uutteen etanoliin ja uutteen eri pitoisuuksien vaikutusta solujen liikkuvuuteen tutkittiin.

Taulukko 12. Materiaalinäytteiden toksisuusanalyysin tulokset kohteessa B

Näyte	Siittiöiden liikkuvuus
	Etanoliuuttoaltistus
1. Hiekka	ei toksinen
2. Sepeli	ei toksinen
3. Hiekka	ei toksinen

Analyysivastauksen mukaan näytteissä ei esiintynyt toksisuutta. Vaikka mikrobimäärityissä materiaalinäytteissä havaittiin suuri poikkeama bakteerien määrässä yhden näytteen kohdalla, ei vastaavaa poikkeamaa ole toksisuusanalyysissä havaittavissa.

### 6.3 Kohde C

Ulkoilman lämpötila näytteenottohetkellä oli 15,8 °C ja suhteellinen kosteus 76,5 %.

Ryömintätilan lämpötila näytteenottohetkellä oli 16,7 °C ja suhteellinen kosteus 86,5 %.

Ryömintätila on alipaineistettu kahden kanavapuhaltimen avulla. Ryömintätilan pinta-alasta on suurin osa savea ja savikerroksen ja ontelolaattojen välissä on vain noin 200 – 400 mm:n ilmatila. Ryömintätilan lämpötila oli noin asteen ulkoilman lämpötilaa korkeampi ja ryömintätilan suhteellinen kosteus 10 prosenttiyksikköä ulkoilman suhteellista kosteutta korkeampi. Siten kohteen C ryömintätilan lämpötila- ja kosteusolosuhteet olivat mittaushetkellä erittäin lähellä ulkoilman vastaavia olosuhteita.

Taulukossa 13 on esitetty kohteen C ryömintätilan ilmasta Andersen-keräimellä otetun mikrobinäytteen analyysivastauksen tulokset.

Taulukko 13. Andersen-keräimellä kohteessa C otetun näytteen analyysivastauksen tulokset. Tähdellä merkityt mikrobit ovat kosteusvaurioindikaattoreita. Yksikkönä on cfu / m<sup>3</sup> .

Näyte	Mesofiiliset sienet Hagem-agar	DG18-agar	Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit THG-agar
1.	<b>Yhteensä</b> <b>402</b>	<b>Yhteensä</b> <b>551</b>	<b>Yhteensä</b> <b>49</b>
	<i>Cladosporium</i> 216	<i>A. versicolor</i> * 58	Muut bakteerit 28
	<i>Engyodontium</i> * 14	<i>Botrytis</i> 7	<i>Streptomyces</i> * 21
	<i>Eurotium</i> * 7	<i>Cladosporium</i> 268	
	<i>Geotrichum</i> 86	<i>Engyodontium</i> * 138	
	<i>Penicillium</i> 7	<i>Eurotium</i> * 7	
	steriilit 72	<i>Penicillium</i> 58	
		steriilit 15	

Analyysivastauksessa suurin pitoisuus on tyypillinen ulkoilman mikrobilaji *Cladosporium*. Mikrobien kokonaismäärä on runsas. Kokonaismäärä on saman suuruinen kuin ulkoilmasta otetussa vertailunäytteessä. Myös lajistot ryömintätilassa otetusta näytteestä ja ulkoilmasta otetusta näytteestä vastaavat toisiaan.

Taulukossa 14 on esitetty kohteessa C puhdistetulta pinnalta otettujen kahden viikon pölylaskeumasta otettujen pyyhintänäytteiden tulokset. Näytteet otettiin tislattuun veteen kostutetulla pumpulipuikolla kahta viikkoa aiemmin puhdistetun alustan pinnalta siihen kertyneestä pölylaskeumasta pintasivelymenetelmällä sadan neliösenttimetrin pinta-alalta ja kasvatusalustat viljeltiin pumpulipuikolla suoraan näytteenottohetkellä.

Taulukko 14. Pyyhintänäytteiden mikrobiologisten analysointien tulokset kohteessa C. Näytteet on otettu 2 viikon aikana laskeutuneesta pölystä 100 cm<sup>2</sup> pinta-alalta. Yksikönä on cfu / m<sup>3</sup> .

Näyte	Mesofiiliset sienet			Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit	
	Hagem-agar	DG18-agar	M2-agar	THG-agar	
1.	<b>Yhteensä</b> ++ <i>Cladosporium</i> + hiivat, vaalea + <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + <i>A. versicolor</i> * +(1) <i>Cladosporium</i> + <i>Eurotium</i> *+(2) <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + <i>Aureobasidium</i> +(9) <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> ++ muut bakteerit ++ <i>Streptomyces</i> * -	
2.	<b>Yhteensä</b> + <i>Cladosporium</i> + <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + <i>Botrytis</i> +(1) <i>Cladosporium</i> + <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + <i>Botrytis</i> +(1) <i>Cladosporium</i> + <i>Penicillium</i> +	<b>Yhteensä</b> + muut bakteerit + <i>Streptomyces</i> * -	

Rinnakkaisten pyyhintänäytteiden mikrobimäärät ovat lähellä toisiaan. Mikrobien kokonaismäärät näytteissä ovat normaaleja lukuun ottamatta näytteessä 1 olevaa kohonnutta bakteeripitoisuutta. Mikrobilajistot vastaavat myös suhteellisen hyvin toisiaan. Mikrobien kokonaismäärät ovat kuitenkin yllättävän pieniä. Näytteissä esiintyy samoja mikrobilajeja kuin Andersen-keräimellä ryömintätilasta otetussa näytteessä, mutta pitoisuudet ovat pyyhintänäytteissä huomattavasti pienempiä. Pyyhintänäytteissä ei myöskään esiintynyt lainkaan sädesieniä.

Taulukossa 15 on esitetty kohteessa C otettujen materiaalinäytteiden tulokset. Materiaalinäytteitä otettiin yhteensä kolme kappaletta. Näytteet kerättiin ryömintätilojen pohjalla olevasta maatäytöstä, yksittäisistä kohdista. Näytteenottoaikat olivat lähellä toisiaan eikä näytteitä pyrittykään keräämään eri puolilta ryömintätilaa.

Taulukko 15. Materiaalinäytteen mikrobiologinen analysointi kohteessa C, ryömintätilan maapohja. Yksikkönä on cfu / g.

Näyte	Mesofiiliset sienet				Mesofiiliset bakteerit ja aktinobakteerit	
	Hagem-agar		DG18-agar		THG-agar	
1. Savi	<b>Yhteensä</b>	<b>3200</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>4700</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>381800</b>
	<i>Cladosporium</i>	100	<i>A. versicolor*</i>	100	Muut bakteerit	372700
	<i>Penicillium</i>	100	<i>Botrytis</i>	500	<i>Streptomyces*</i>	9100
	<i>Scopulariopsis*</i>	2900	<i>Cladosporium</i>	200		
	steriilit	100	<i>Engyodontium*</i>	800		
			hiivat, vaalea	200		
			<i>Penicillium</i> 300			
			<i>Scopulariopsis*</i>	3000		
2. Hiekka	<b>Yhteensä</b>	<b>200</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>100</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>3600</b>
	<i>A. versicolor*</i>	100	<i>A.versicolor*</i> 100		Muut bakteerit	200
	<i>Penicillium</i> 100				<i>Streptomyces*</i>	3400
3. Savi	<b>Yhteensä</b>	<b>1500</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>700</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>254600</b>
	<i>Geotrichum</i> 100		steriilit	700	Muut bakteerit	218200
	hiivat, vaalea	100			<i>Streptomyces*</i>	36400
	steriilit	1300				

Näytteissä 1 ja 3 materiaalina oli savi ja näytteessä 2 hiekka. Näytteiden mikrobimäärät ovat näytteissä 1 ja 3 erittäin runsaat. Näytteessä 2 homesienten kokonaismäärä on kohonnut. Näytteessä 1 homesienten määrä on selvästi näytteitä 2 ja 3 suurempi ja mikrobilajeja on enemmän. Sädesienten pitoisuus on näytteessä 1 runsas, näytteessä 2 kohonnut ja näytteessä 3 erittäin runsas.

Taulukossa 16 on esitetty kohteesta C otettujen materiaalinäytteiden toksisuuden tulokset. Toksisuutta testattiin laboratoriossa testillä, jossa testisoluina käytettiin karjun siittiösoluja. Näytemateriaalista valmistettiin uutteen etanoliin ja uutteen eri pitoisuuksien vaikutusta solujen liikkuvuuteen tutkittiin.

Taulukko 16. Materiaalinäytteiden toksisuusanalyysin tulokset kohteessa C

Näyte	Siittiöiden liikkuvuus
	Etanoliuuttoaltistus
1. Savi	ei toksinen
2. Hiekka	ei toksinen
3. Savi	ei toksinen

Analyysivastauksen mukaan näytteissä ei esiintynyt toksisuutta.

#### 6.4 Tulosten tarkastelu

Tuloksia on pyrittävä tarkastelemaan kokonaisuutena, koska yksittäisen näytetuloksen perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä. Yksittäiset analyysivastaukset ovat aina suuntaa-antavia. Taulukkoon 17 on koottu tulokset siten, että analyysivastaukset on esitetty jaoteltuna neljään luokkaan. Tämä on yleinen laboratorioden käyttämä tapa ja apuna on käytetty Työterveyslaitoksen käyttämää numeerista taulukkoa. Neljää luokkaa kuvataan ”+” - merkinnöillä seuraavasti:

- + = normaali pitoisuus mikrobeja
- ++ = kohonnut pitoisuus mikrobeja
- +++ = runsas pitoisuus mikrobeja
- ++++ = erittäin runsas pitoisuus mikrobeja

Lisäksi analyysivastaukseen tulee merkintä AMR (alle määrittäysrajan), mikäli näytteessä esiintyy niin vähän mikrobeja, että pesäkkeitä ei kasvatusalustoille muodostu. Tässä luokittelussa on huomioitava se, että ilmanäytteiden viitearvot on tarkoitettu sisäympäristölle ja ryömintätiloissa on yleensä huomattavan paljon enemmän mikrobeja kuin esimerkiksi toimistoympäristöissä.

Taulukko 17. Mikrobianalyysien tulokset esitettynä taulukkomuotoisesti kaikissa tutkimuskohteissa

Mittaus / Kohde	A			B			C		
Andersen	++++			++++			+++		
Pyyhintä	+++	+++		+	+		+	+	
Materiaali	++++	++	+	++++	+	+++	+++	+++	++++



Taulukossa olevalla jaottelulla pyritään kuvaamaan analysoitujen mikrobinäytteiden pesäkemääriä. Pesäkkeiden kokonaismäärille on asetettu numeeriset viitearvot, joiden avulla näytetulos voidaan sijoittaa tiettyyn luokkaan. Tämän lisäksi huomioidaan kuitenkin analyysivastauksessa oleva lajisto. Mikäli analyysivastauksen lajistossa esiintyy kosteusvaurioindikaattorimikrobeja, on niille omat numeeriset viitearvonsa. Nämä huomioiden, on tulokset koottu taulukkoon siten, että jokaisesta analyysivastauksesta on vain yksi merkintä. Taulukosta on jätetty toksisuusanalyysivastaukset pois, koska toksisuustulosten esittäminen neljässä luokassa ei ole yhdenmukaista viljelyyn perustuvien menetelmien kanssa. Toisena syynä on se, että yhdestäkään tutkitusta näytteestä ei toksisuutta analysoitu.

## 7 Johtopäätökset

Erilaisia mikrobimittauksia ja näytteenottomenetelmiä käytetään usein, kun tehdään rakennusten kuntotutkimuksia ja selvitetään onko rakennuksessa mikrobivaurioita. Mikrobeja tutkitaan rakennuksista sen vuoksi, että niiden tiedetään voivan aiheuttaa terveyshaittoja. Kuitenkaan niitä mekanismeja, jotka aiheuttavat mikrobialtistuksessa oireita tai sairauden, ei tunneta. Millään mikrobien tutkimusmenetelmällä ei voida tunnistaa kaikkia näytteessä tai mittaushetkellä olevia mikrobeja. Mikrobitutkimuksia tehdäänkin sen vuoksi pääsääntöisesti vain ennalta määriteltyjen mikrobilajien ja -ryhmien osalta. Edellä mainituista tekijöistä johtuen, ei mikrobeille ole voitu määrittellä terveysperusteisia viitearvoja. Mikrobimittauksia tehtäessä onkin huomioitava, että mittaustulokset ovat viitteellisiä ja suuntaa-antavia, eivätkä mittaa sitä suuretta tai kokonaisuutta, joka määrittelee mikrobialtisteesta johtuvan terveyshaitan vakavuuden.

Tutkimuksen tavoitteena oli saada vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. Voidaanko rakennuksen ryömintätilasta otetun mikrobinäytteen avulla tehdä johtopäätöksiä ryömintätilan kunnosta?
2. Voidaanko rakennusten ryömintätilojen mikrobipitoisuuksille asettaa viitearvoja?
3. Ovatko viljelymenetelmällä analysoidut, vaurioituneiksi tulkitut materiaalinäytteet myös toksisia?

Tutkimuskohteina olevien rakennusten ryömintätilat tutkittiin ennen näytteenottoa ja mittauksia aistinvaraisesti. Aistinvaraisella tarkastuksella pyrittiin selvittämään esiintyykö

ryömintätiloissa mikrobiperäisiä hajuja ja minkälainen tuulettuvuus tiloissa on. Lisäksi voitiin tarkastella kaikkia näkyviä rakenteita ja talotekniikkaa. Tarkastelun perusteella voitiin todeta, että kohteen A ryömintätila oli aistinvaraisen tarkastuksen perusteella kunnoltaan ja toimivuudeltaan erinomainen. Kohteissa B ja C sen sijaan havaittiin puutteita, joiden voitiin olettaa olevan sellaisia, että niillä voisi olla vaikutusta ryömintätilan mikrobiologiseen kuntoon.

Erilaiset näytteenottomenetelmät valittiin siten, että ne tukisivat toisiaan ja samasta kohteesta otettuja mittaustuloksia voitaisiin tarkastella kokonaisuutena. Ajatuksena oli, että ryömintätilan maapohjasta otetuissa näytteessä olisi samoja mikrobeja kuin ryömintätilan ilmatilasta kerätyissä näytteissä. Ilmatilan mikrobeja tutkittiin Andersen-keräimellä otetuilla näytteillä sekä pyyhintänäytteillä, jotka otetaan kahden viikon aikana kertyneestä laskeumasta. Siten näillä kahdella menetelmällä saatuja tuloksia voitiin myös vertailla keskenään. Oletuksena oli myös se, että jos viljelyyn perustuvassa näytteessä esiintyi paljon mahdollisesti toksisuutta aiheuttavia mikrobilajeja, näkyisi se myös solukokeeseen perustuvassa toksisuusanalyysissä. Lisäksi ennen tutkimuksia oletettiin, että hyväkuntoisessa, hyvin tuulettuvassa ja kuivassa ryömintätilassa mikrobien pitoisuudet olisivat selvästi pienempiä kuin kunnoltaan huonommissa ryömintätiloissa.

Tulosten mukaan mikrobipitoisuudet eivät olleet selvästi matalampia kohteessa A, jonka ryömintätila oli todettu kunnoltaan erinomaiseksi. Ilmasta Andersen-keräimellä mitatut mikrobipitoisuudet olivat kaikissa kohteissa samaa suuruusluokkaa. Myös ryömintätilojen täyttömässasta kerätyissä materiaalinäytteissä tutkitut mikrobipitoisuudet olivat saman suuruisia. Poikkeuksen teki pyyhintänäyte eli kahden viikon laskeumasta otettu mikrobinäyte, joka siis kuvastaa ilman mikrobipitoisuutta. Jokaisesta kohteesta otettiin pyyhintänäytteitä kaksi kappaletta. Kohteessa A molempien pyyhintänäytteiden mikrobipitoisuudet olivat runsaita. Sen sijaan kohteissa B ja C kaikkien pyyhintänäytteiden mikrobipitoisuudet olivat normaaleja. Pyyhintänäytteiden tulosten mukaan voidaan siis kumota olettamus siitä, että hyväkuntoiseksi luokitellun ryömintätilan ilmassa mikrobeja, tai oikeammin niiden itiöitä olisi vähemmän kuin huonokuntoisessa ryömintätilassa. Mielenkiintoiseksi asian tekee se, että kohteen A ryömintätilan tuuletus on järjestetty kokonaan koneellisesti ja tuloilma on suodatettua. Ryömintätilaan ei siis pitäisi juurikaan kulkeutua ulkoilman mikrobien itiöitä. Kohteen A mikrobilähde on siis tulostenkin perustella ryömintätilan täyttönä oleva hiekka ja sepeli. Korkein mikrobipitoisuus kohteen A materiaalinäytteistä oli hiekalla. Miksi siis kuivassa ja hyväkuntoisessa ryömintätilassa on enemmän mikrobeja kuin kunnoltaan huonommissa ryömintätiloissa? Tätä voidaan selittää

ainakin siten, että käytetyt mikrobimittaukset on tehty viljelyyn perustuvilla menetelmillä. Viljelyyn perustuvissa menetelmissä kasvatetaan mikrobien itiöitä ja kasvatettujen pesäkkeiden lukumäärän perusteella lasketaan mikrobien kokonaispitoisuudet. Ryömintätiloista on siis tässä tutkimuksessa mitattu elinkelpoisten mikrobi-itiöiden määrää. Mikrobit tuottavat yleensä itiöitä runsaasti silloin, kun mikrobikasvusto on uhattuna. Tämä johtuu yleensä siitä, että mikrobikasvuston kosteuden saanti heikkenee. Kosteus on suurin mikrobikasvua rajoittava tekijä. Kun mikrobien elinympäristö heikkenee, pyrkivät ne leviittäytymään uusille kasvusijoille, jossa elinympäristö olisi suotuisampi. Nopein tapa leviittäytyä, on tuottaa runsaasti ilmassa leijuvia itiöitä, jotka voivat kulkeutua uuteen kasvupaikkaan. Kohteessa A olosuhteet olivat sellaiset, että todennäköisesti mikrobit tuottivat runsaasti itiöitä ilmaan. Kohteissa B ja C olosuhteet olivat kosteammat, joten mikrobikasvusto ei oletettavasti tuottanut itiöitä ryömintätilojen ilmatiloihin.

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli ryömintätilan kunnan arviointi näytetulosten avulla. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että tehtyjen mikrobitutkimusten perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä ryömintätilan kunnosta tai toimivuudesta. Toisena tavoitteena oli selvittää viitearvojen asettamisen mahdollisuutta ryömintätilojen mikrobipitoisuuksille. Tulosten mukaan viitearvojen asettaminen ryömintätilojen mikrobipitoisuuksille ei ole mahdollista, ainakaan viljelyyn perustuvilla tutkimusmenetelmillä. Kolmantena tavoitteena oli selvittää, ovatko viljelymenetelmällä analysoidut, paljon vaurioindikaattorimikrobeja sekä mahdollisia toksiniutuuttajia sisältävät mikrobilajit myös toksisia. Tehdyissä yhdeksässä toksisuusanalyysissä ei yhdessäkään todettu olevan toksisuutta. Tulokset olivat siinä mielessä yllättäviä, että mitatut mikrobipitoisuudet olivat osassa näytteitä hyvinkin korkeita ja sisälsivät suhteellisen suuria pitoisuuksia mahdollisesti toksisuutta aiheuttavia mikrobilajeja. Tätä tutkimusta olisikin jatkettava tulosten ja johtopäätösten tukemiseksi siten, että erilaisten tutkimusmenetelmien käyttöä lisättäisiin. Toksisuusanalyysijä voitaisiin teettää useammassa laboratoriossa, koska analysointimenetelmät voivat poiketa toisistaan. Lisäksi näytteiden tutkimiseen voitaisiin käyttää qPCR-analyysiä, koska ainakin yhdellä laboratoriollla Suomessa menetelmä on validoitu. Jatkotutkimuksiin pitäisi valita suurempi otos rakennuksia ja mittauksia olisi tehtävä kaikkina vuodenaikoina, koska ulkoilmaan ilmayhteydessä olevien ryömintätilojen mikrobipitoisuuksiin voi ulkoilman mikrobipitoisuudella olla sulan maan aikana suuri vaikutus.

## Lähteet

Alenius, Harri & Andersson, Maria & Atosuo, Janne & Hirvonen, Maija-Riitta & Huttunen, Kati & Hyvärinen, Anne & Järvi, Kati & Lehto, Maili & Leino, Marina & Lilius, Esa-Matti & Markkanen, Piia & Matikainen, Sampsa & Mikkola, Raimo & Nevalainen, Aino & Salkinoja-Salonen, Mirja & Täybel, Martin. 2012. Toksikologisen menetelmän kehittämissuunnitelma TOXTEST 2010 - 2012. Loppuraportti. Terveyden ja Hyvinvoinnin laitos Ympäristötoksikologian yksikkö, Terveyden ja Hyvinvoinnin laitos Ympäristö-mikrobiologian yksikkö, Helsingin Yliopisto, Työterveyslaitos, Turun Yliopisto.

Asumisterveysopas. 2009. 3. korjattu painos. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003 : 1) soveltamisopas. Pori: Ympäristö- ja Terveyslehti.

Björkholtz, Dick. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hometalkoot. 2013. Verkkodokumentti. [www.hometalkoot.fi](http://www.hometalkoot.fi)

Hyvärinen, Anne. 2012. Luento Ympäristöterveyspäivät 2012.

Kurnitski, Jarek & Pasanen, Pertti & Matilainen, Miimu & Hyttinen, Marko & Asikainen, Vesa. 1999. Ryömintätilan kosteus ja mikrobit – kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisu, mikrobit ryömintätalassa ja asunnossa. Raportti B 62. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio. Espoo

Matilainen, Miimu & Kurnitski, Jarek. 2003 Moisture conditions in highly insulated outdoor ventilated crawl spaces in cold climates. *Energy and buildings* (35).

Lohja Rudus. Pienrakentajan kiviainekset. Verkkodokumentti. <http://www.rakentaja.fi/pdf/lohja/kiviainekset.pdf>.

Pirinen, Juhani. 2006. Pientalojen mikrobivauriot, lähtökohtana asukkaiden kokemat terveyshaitat. Tampereen teknillinen yliopisto. Hengitysliiton julkaisu 19/2006. Hengitysliitto Heli ry.

Putus, Tuula. 2010. Home ja terveys, kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveyshaitat. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Reijula, Kari & Ahonen, Guy & Alenius, Harri & Holopainen, Rauno & Lappalainen, Sanna & Palomäki, Eero & Reiman, Marjut. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. Espoo: Kopijyvä Oy.

RIL, 2011. RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Salkinoja-Salonen, Mirja. 2001. Mikrobiologian perusteita. Helsingin Yliopisto. Gummerus kirjapaino Oy. Jyväskylä 2002.

Slätis Carl. 2012. Esitys, Kiinteistövarallisuuden hallinta. Tilakeskus aamupäivä. 24.9.2012.

Sisäilmayhdistys. 2008. Kosteusvauriot. Verkkodokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/kosteusvaurioituminen/ulkoseinat/> luettu 4.12.2013

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2009. Kosteusvauriot työpaikoilla. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2009:18. Helsingin Yliopisto.

Terveydensuojelulaki 19.8.1994/763.

Työterveyslaitos. 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Tammerprint Oy. Tampere 2011.

Ympäristöministeriö. 1997. Ympäristöopas 28. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Tampere: Rakennustieto Oy.

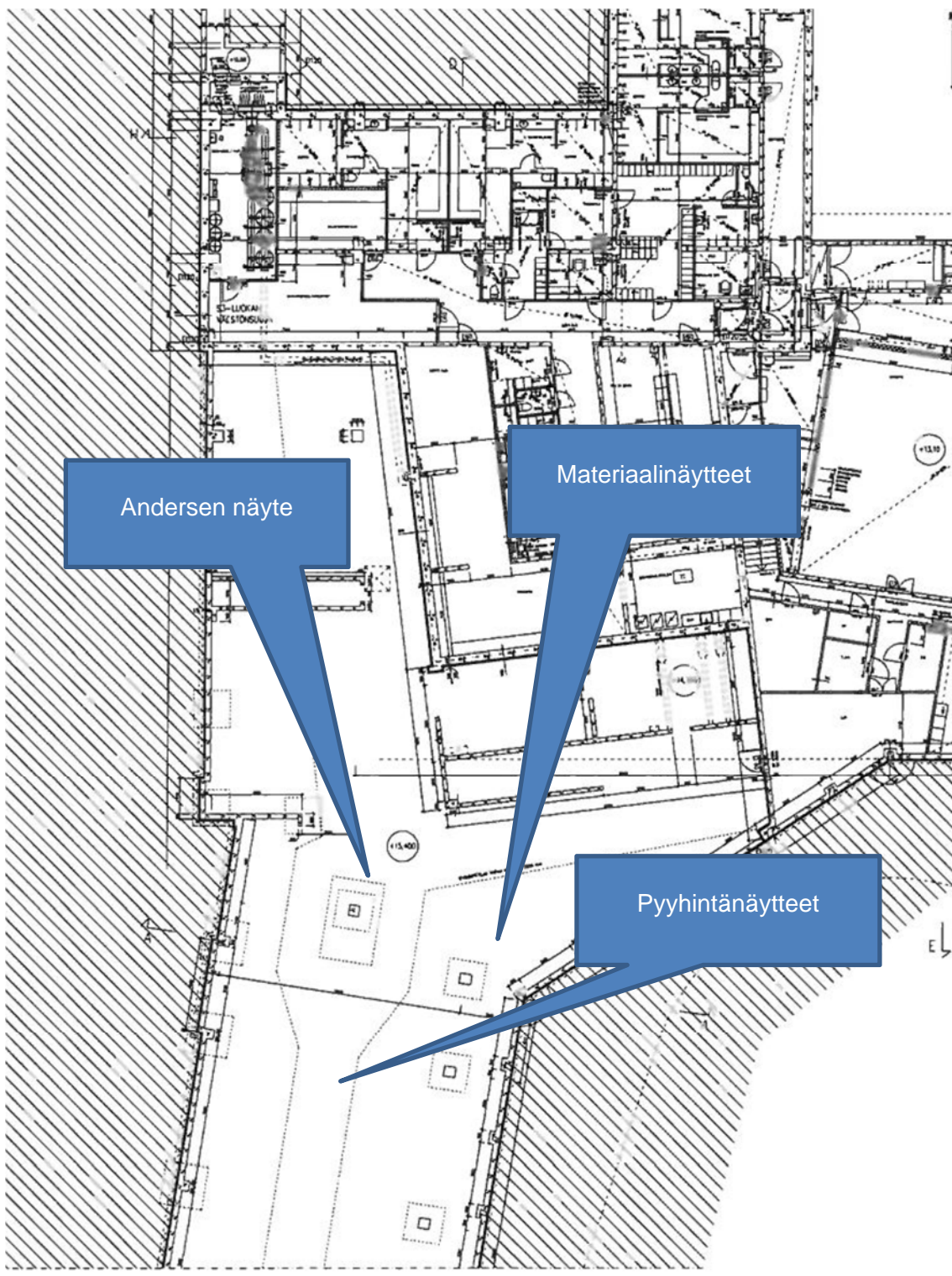
Ympäristöministeriö. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma SRMK, C2. Kosteus, määräykset ja ohjeet. Saatavissa <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>.

Ympäristöministeriö. 1999. Ympäristöopas 51. Kosteus rakentamisessa RakMK C2 opas. Tampere: Rakennustieto Oy.

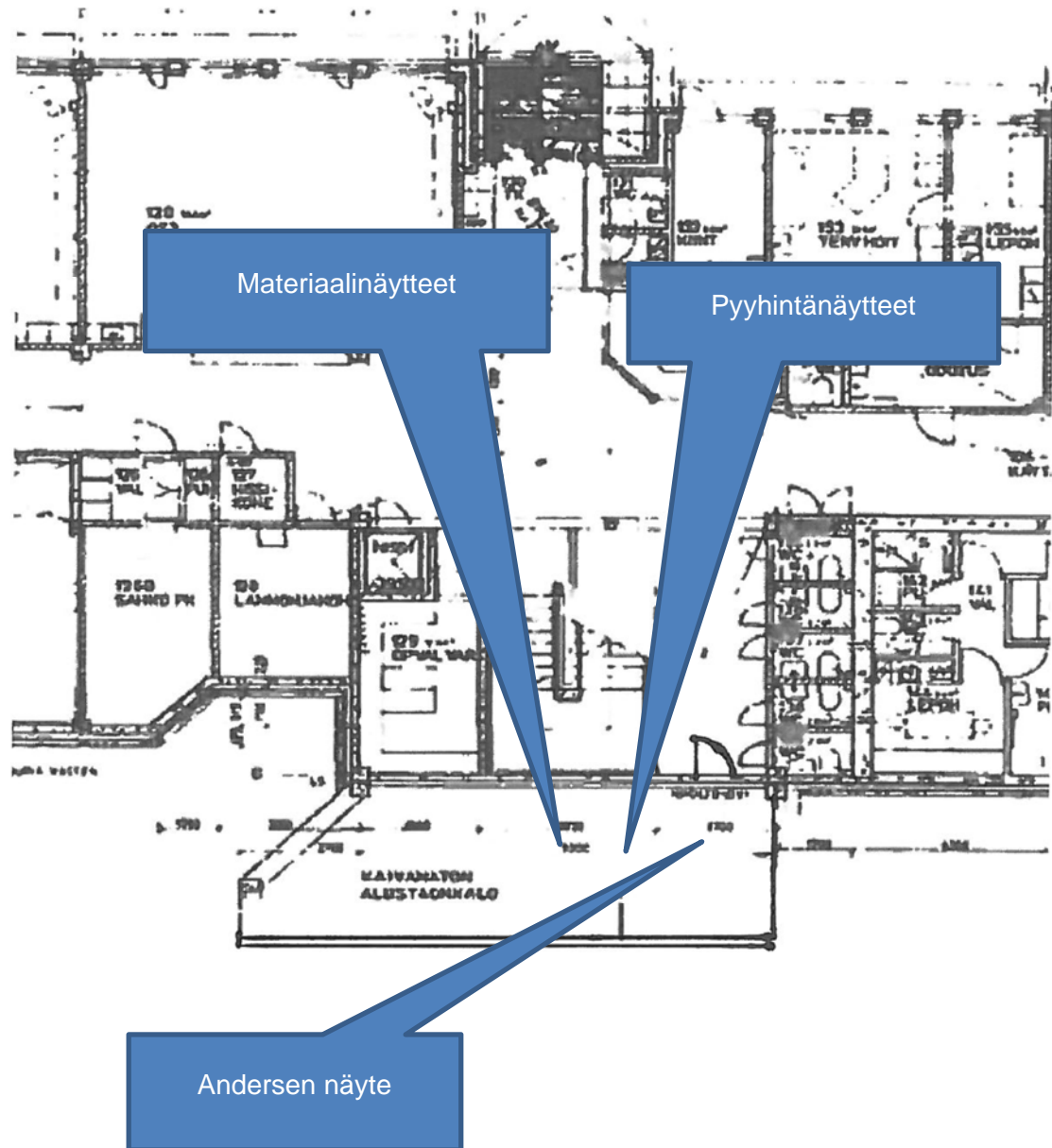
Valvira, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 2011. Lausunto VOC- mittaus- tulosten tulkinnasta asuntojen terveyshaitta-asioissa. Saatavissa [http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC\\_lausunto\\_ESAVI.pdf](http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC_lausunto_ESAVI.pdf).

Wikipedia - Vapaa Tietosanakirja. 2013. Verkkodokumentti. Agar. <http://fi.wikipedia.org/wiki/A>

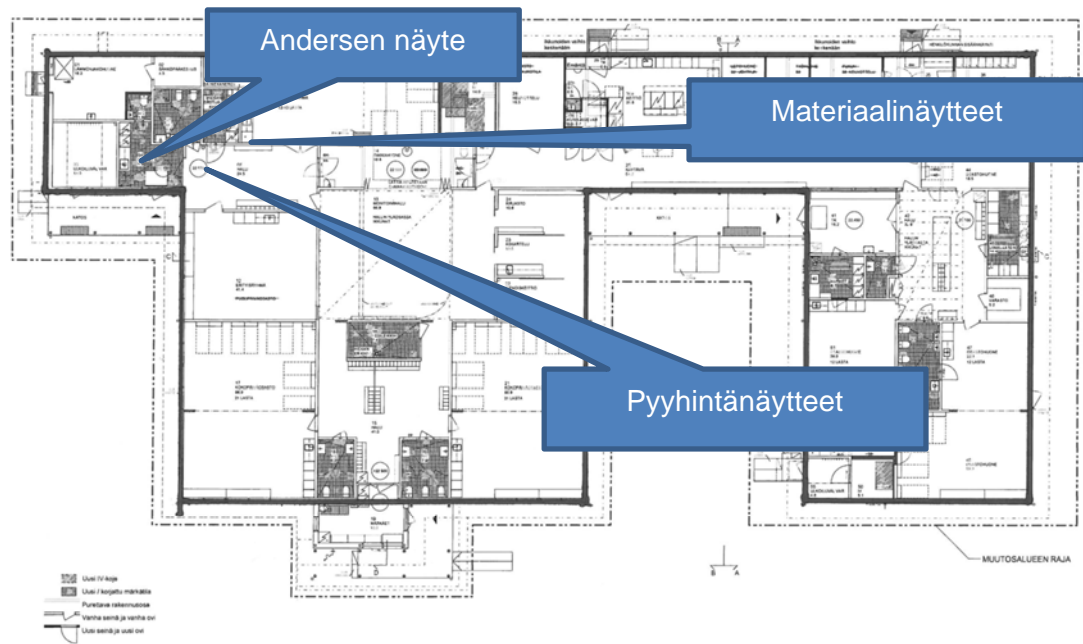
Kohde A, Paikannuspiirustus, Näytteettokohdat



Kohde B, Paikannuspiirustus, Näytteenotkokohdat



Kohde C, Paikannuspiirustus, Näytteenottokohtat



POHJAPIIRROS 1:100