

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Kiinteistönhoito, korjaus ja restaurointi

2013

Marjo Linja

MIKROBINÄYTTEET OSANA BETONIJULKISIVUN KUNTOTUTKIMUSTA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marjo Linja

MIKROBINÄYTTEET OSANA BETONIJULKISIVUN KUNTOTUTKIMUSTA

Opinnäytetyön tilaaja oli Insinööritoimisto Lauri Mehto. Työn tavoitteena oli selvittää, paljonko kuntotutkimusten yhteydessä otetuissa mineraalivillanäytteissä havaitaan kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja ja mikä vaikutus poikkeavilla mikrobilöydöksillä on lisätutkimus- ja korjausehdotuksiin. Työn rajaamiseksi päätettiin keskittyä kohteisiin, joiden ulkoseinärakenne on betonia.

Vaikka sandwich-elementtien lämmöneristeestä otetuissa näytteissä havaitaan harvoin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja, Insinööritoimisto Lauri Mehto on halunnut pitää mikrobianalyysit osana julkisivujen kuntotutkimusta, koska tutkimuksissa on aiemmin tullut vastaan muutamia kohteita, joissa on havaittu poikkeavia mikrobipitoisuuksia. Kahden esimerkkikohteen avulla havainnollistettiin, miten jatkotutkimusten kanssa oli edetty, kun kuntotutkimuksen yhteydessä mineraalivillasta oli löytynyt poikkeavia mikrobipitoisuuksia.

Tutkimuksessa käytiin läpi 73 kuntotutkimusraporttia. 25 kohdetta jätettiin pois analyysistä, koska niistä ei ollut otettu mikrobinäytteitä tai niiden julkisivut eivät olleet betonisandwich-elementtejä. Tutkituissa kohteissa mikrobinäytteitä oli otettu yhteensä 162. Poikkeava mikrobipitoisuus havaittiin 13 kohteessa, yhteensä 20 näytteessä. Kustakin näytteestä arvioitiin erikseen homesienten, kosteusvaurioindikaattorien, bakteerien ja sädesienten pitoisuudet, ja jokaisessa näytteessä ainoastaan yhden mikrobiryhmän tulos oli yli normaalirajan. Yhdessäkään näytteessä ei havaittu poikkeavan korkeita homesienipitoisuuksia. Poikkeavat mikrobitulokset oli esitetty jokaisessa kuntotutkimusraportissa, mutta ainoastaan kolmessa oli suositeltu lisätutkimuksia. Tässä tutkimuksessa kosteusvaurioon viittaavia mikrobipitoisuuksia havaittiin 11,7 %:ssa näytteistä.

Tällä hetkellä Insinööritoimisto Lauri Mehdolla on laatukäsikirjassaan hyvä ohje mineraalivillanäytteiden ottamisesta, mutta ohje mikrobitulosten tulkinnasta ja lisäselvitysten tekemisestä ongelmatilanteissa puuttuu. Mikäli jatkossakin otetaan mikrobinäytteitä kuntotutkimuksen yhteydessä, kannattaisi tulosten tulkinnasta ja lisätutkimuksista koota selkeät toimintaohjeet.

ASIASANAT:

kuntotutkimus, kosteusvaurio, mikrobianalyysi, sieni, aktinomykeetti

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Real Estate Management, Renovation and Restoration

November 2013 | Total number of pages: 49

Instructors: Maarit Järvinen, Senior Lecturer (Turku University of Applied Sciences) and Simo-Pekka Valtonen (Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy)

Marjo Linja

MICROBIAL SAMPLING DURING CONDITION INVESTIGATION OF CONCRETE EXTERIOR WALLS

This thesis was commissioned by Engineering Office Lauri Mehto. The aim was to determine firstly the amount of microbes indicative of moisture damage in mineral wool samples taken during condition investigations and secondly whether abnormal microbial growth in the samples influences the additional analyses and repairs that are suggested. In this study only buildings with concrete exterior wall were considered.

Even though microbes indicative of moisture damage are rarely found in the mineral wool of sandwich panels, Engineering Office Lauri Mehto has taken samples for microbial analysis routinely as part of the condition investigation. The reason for this are buildings investigated previously where high quantities of microbes were found in the samples. Using two buildings with abnormal microbial findings as examples, the procedure with additional analyses is described.

In this study 73 condition investigation reports were inspected. 25 buildings were excluded from the analysis because either microbial samples were not taken or the exterior walls were not of concrete. A total of 162 mineral wool samples were taken from the remaining 48 buildings. Abnormal microbial growth was found in 13 buildings, 20 samples altogether. The quantity of fungi, bacteria, microbes indicative of moisture damage, and actinomycetes was analysed. In each of the samples only one group of microbes was present in abnormal quantities. The level of fungi was not atypically high in any of the samples. The microbial findings were presented in all of the condition investigation reports but additional analysis were recommended in only three. In this study microbial levels indicating moisture damage were found in 11.7 % of the samples.

At the moment the sampling of mineral wool is described distinctly in the quality manual of Engineering Office Lauri Mehto but there are no instructions for interpreting the results of microbial analysis or investigating the possible moisture damage further. If routine analyses of mineral wool samples during condition investigations are continued with, it might be advantageous to include such instructions in the quality manual.

KEYWORDS:

condition investigation, moisture damage, microbial analysis, fungus, actinomycete

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 KUNTOTUTKIMUKSET	8
3 RAKENTEIDEN KOSTEUS	11
3.1 Rakenteiden kosteustekninen toiminta	11
3.2 Ulkoinen kosteusrasitus	13
3.3 Rakennuksen sisäinen kosteusrasitus	15
3.4 Riskirakenteita	16
4 MIKROBIKASVUSTO	17
4.1 Mikrobit	17
4.2 Kosteuden vaikutus mikrobikasvuun	19
4.3 Mikrobikasvuston vaikutukset	21
4.3.1 Mikrobin vaikutus terveydelle	22
4.3.2 Mikrobin vaikutus rakennusmateriaaleihin	23
4.4 Rakenteet ja rakennusmateriaalit mikrobin kasvualustana	25
4.5 Mikrobikasvuston tutkiminen	26
4.5.1 Mikrobinäytteet	27
4.5.2 Mikrobimääritykset	30
4.5.3 Mikrobitulokset	33
5 KOSTEUSVAURIOIDEN KORJAUS	36
6 NYKYINEN TOIMINTATAPA JA KUNTOTUTKIMUSRAPORTIT	40
6.1 Esimerkkikohteiden esittely	40
6.2 Mineraalivillanäytteiden ottaminen	41
6.3 Kuntotutkimusraportit	43
7 POHDINTAA	46
LÄHTEET	48

KUVAT

Kuva 1. Mineraalivillan pinta nostettu sivuun näytteenottoreiässä.	42
Kuva 2. Mineraalivillanäytteen ottamisessa tarvittavia välineitä.	43

KUVIOT

Kuvio 1. Jakauma tutkittujen kuntotutkimuskohteiden valmistumisvuosista.	44
Kuvio 2. Poikkeavien mikrobipitoisuuksien osuudet mikrobiryhmittäin.	45

1 JOHDANTO

Kuntotutkimuksessa selvitetään rakennuksen jonkin osan tai järjestelmän kunto ja korjaustarve. Kuntotutkimus antaa tiedon tutkitun osan vaurioista, niiden syistä, laajuudesta ja vaikutuksesta sekä tulevaisuudessa odotettavissa olevista vaurioista. (Suomen betoniyhdistys ry. 2012, 6.) Kuntotutkimus toteutetaan käyttäen erilaisia tutkimusmenetelmiä, joita ovat muun muassa suunnitelma-asiakirjojen tarkasteleminen, kohteen silmämääräinen tarkasteleminen, erilaiset kentällä tapahtuvat mittaukset ja -tutkimukset sekä näytteenotto ja laboratoriotutkimukset. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 8.)

Jos rakenteessa esiintyy ylimääräistä kosteutta, joka voi aiheuttaa rakenteen vaurioitumista tai terveydelle haitallisen mikrobikasvuston kehittymistä, puhutaan kosteusvauriosta (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 17). Rakenteessa mikrobit voivat hajottaa rakennusmateriaalia tai sen ainesosia sekä kasvustossa aiemmin esiintyneiden mikrobien hajoamistuotteita (Pessi ym. 1999, 9). Mikrobikasvustosta irtoaa itiöitä, muita hiukkasia, hajua aiheuttavia ja muita haihtuvia yhdisteitä huoneilmaan (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 148). Mikrobikasvustolle reagoivat herkimmin sellaiset henkilöt, joilla on ennestään allergiaa tai astmaa (Meklin ym. 2007, 30). Tavallisia oireita ovat yskä, nuha, äänenkäheys, silmien ja ihon ärsytys sekä astmaoireet (Maailman terveysjärjestö 2009, 5).

Mikrobinäytteitä voidaan ottaa rakennuksen sisäilmasta, erilaisilta pinnoilta ja rakennusmateriaaleista. Ihmiseen vaikuttava tekijä joutuu todennäköisimmin ilman välityksellä. Pinta- ja materiaalinäytteet kertovat altistumisen mahdollisuudesta, mutta eivät itse altistumisesta. Näytteiden etuna on, että niiden avulla voidaan jäljittää paikka, josta sisäilman mikrobit ovat peräisin. (Leivo ym. 1998, 87.) Mikäli epäillään, että eristetilassa on mikrobikasvustoja, niiden toteamiseksi tarvitaan laboratoriotutkimuksia. Betonielementtien tutkiminen tapahtuu pääasiassa lämmöneristeestä otettuja näytteitä tutkimalla. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 81.)

Mikrobikasvun kehittymisen estämiseksi havaitut kosteusvauriot olisi korjattava välittömästi. Kosteusvaurioita voi esiintyä rakennuksissa niin ala- ja yläpohjakuin seinärakenteissa. Syitä voivat olla suunnittelu- tai rakennusvirhe, rakennuksen tai rakenteiden puutteellinen tuuletus, vesikattovuodot, putkisto- ja laitevi-oista aiheutuneet vuodot, epäonnistunut materiaalivalinta tai rakennuksen käyttöön liittyvät seikat. Myös rakennusvaiheen aikana tapahtunut materiaalien tai rakenteiden kastuminen voi johtaa mikrobikasvuun ja mikrobien vapautumiseen sisäilmaan vielä pitkään sen jälkeen, kun rakenteet ovat kuivuneet. (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus 2009, 149.)

Rakennus korjataan siten, että rakennusta voidaan käyttää turvallisesti eikä vaurio uusiudu. Korjauksen laajuus selvitetään tapauskohtaisesti silmämääräisin havainnoin, kosteusmittauksin, tutkimalla näytteitä, rakennusosia avaamalla ja tekemällä materiaaleista mikrobianalyysyjä. Korjausmenetelmästä riippumatta kaikissa tapauksissa vaurion syy tulee poistaa. (RT 80–10712 1999.) Korjaustöiden piteisiin kuuluu rakenteiden purkaminen ja kuivattaminen, homeen poistaminen sekä tarvittaessa mikrobikasvuston desinfiointi (Leivo ym. 1998, 116–117).

Home ja muut mikrobit muodostavat aina terveysriskin niin vauriorakennuksissa asuville tai työskenteleville ihmisille kuin myös kohteita tutkiville ja korjaaville henkilöille. Homekorjauksissa ja myös -tarkastuksissa tulee hometta vastaan suojautua vähintään hengityssuojaimella. Purku- ja korjaustöiden aikana rakennus on tyhjennettävä ihmisistä, mikäli korjauskohdetta ei voida rajata siten, että pöly ei leviä ympäröiviin tiloihin. Pölyn leviäminen voidaan estää osastoimalla ja alipaineistamalla korjattavat tilat. (Ympäristöministeriö 1997b, 64.)

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, paljonko kuntotutkimusten yhteydessä havaitaan kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja ja mikä vaikutus poikkeavilla mikrobilöydöksillä on lisätutkimus- ja korjausehdotuksiin. Työn rajaamiseksi päätettiin keskittyä kohteisiin, joiden ulkoseinärakenne on betonia. Työn tilaaja on Insinööritoimisto Lauri Mehto.

2 KUNTOTUTKIMUKSET

Kuntotutkimus käynnistetään usein kuntoarvion havaintojen perusteella (Meklin ym. 2007, 11). Kuntoarvio on pääsääntöisesti kiinteistön rakenteiden ja LVIS-järjestelmien aistinvaraista tutkimista. Julkisivujen osalta se antaa tietoa vain näkyvistä vaurioista. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 6.) Kuntotutkimuksella tarkoitetaan rakennuksen, rakennusosan, rakennusosakokonaisuuden, järjestelmien tai laitteiden kunnan ja toimivuuden sekä korjaustarpeen selvittämistä systemaattisesti eri vauriotapojen suhteen (RT 80–10712 1999; Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 8). Kuntotutkimuksella pyritään hankkimaan tietoa rakenteen kunnosta ja korjaustarpeesta rakenteen korjaustavan ja -ajankohdan valitsemiseksi. Rakenteen kunnosta riippuu, mitkä korjaustavat ovat teknisesti mahdollisia ja taloudellisesti järkeviä. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 46.)

Julkisivujen ja parvekerakenteiden korjaustarvetta ja oikeita korjaustapoja ei voida päätellä vain silmämääräisen tarkastelun perusteella, vaan niiden selvittämiseksi tarvitaan oikealla laajuudella ja tarkkuudella tehty kuntotutkimus (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 9). Julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimuksella tarkoitetaan tutkimuskokonaisuutta, jossa tarkastellaan julkisivun betonirakenteita osana rakennuksen koko ulkovaippaa (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 6). Kuntotutkimus voidaan tehdä myös yksittäisissä kosteusvauriotapauksissa (RT 80–10712 1999).

Kuntotutkimus antaa tiedon tutkitun osan vaurioista, niiden syistä, laajuudesta ja vaikutuksesta sekä tulevaisuudessa odotettavissa olevista vaurioista. Kuntotutkimuksen avulla pyritään ennakoimaan myös tulevaisuudessa syntyvät vauriot jo siinä vaiheessa, kun varsinaisia näkyviä vaurioita ei vielä ole olemassa. Tällaisessa tapauksessa oikein ajoitetulla kunnossapito- ja suojaustoimilla voidaan usein estää vaurioiden eteneminen haitallisen pitkälle. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 8; Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 6.) Säännöllisten kuntotutkimusten antaman tiedon avulla korjaus- ja huoltotoimenpiteet voidaan ajoittaa parhaalla tavalla taloudellisen tilanteen ja käyttöiän kannalta. Toistuvat kuntotutkimukset

täydentävät aiempien tutkimusten tietoja ja antavat päivitetyn kuvan vaurioiden etenemisestä. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 10.)

Rakennuksen vaipan kaikki osat liittyvät yhdeksi toiminnalliseksi kokonaisuudeksi suojaten rakennusta luonnonvoimilta. Kattava kuntotutkimus kiinnittää erityistä huomiota eri rakenneosien liittymiin näissä piilevien riskien takia. Kuntotutkimus voidaan tehdä myös vain yhdelle rakenneosalle. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 6.) Kuntotutkimuksen sisältö on suunniteltava kutakin kohdetta varten erikseen luotettavien tuloksen saamiseksi ja ylimääraisten kustannusten välttämiseksi (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 9; Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 13).

Kuntotutkimus toteutetaan käyttäen erilaisia tutkimusmenetelmiä, joita ovat muun muassa suunnitelma-asiakirjojen tutkiminen, kohteen aistinvarainen tarkasteleminen, erilaiset kentällä tapahtuvat mittaukset sekä näytteenotto ja laboratorio-tutkimukset (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 8). Kenttätutkimukset suoritetaan olosuhteiden salliessa autoalustaisesta henkilönostimesta käsin. Kenttätutkimuksessa kuntotutkija tekee aistinvaraisia havaintoja betonirakenteiden lisäksi rakennuksen ulkovaipan eri osien liittymistä kosteusongelmien löytämiseksi. Mikäli on aihetta epäillä kosteuden aiheuttavan ongelmia rakennuksen sisätiloissa asti, on suositeltavaa teettää erikseen sisäilma- ja kosteustekninen tutkimus. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 17.)

Laboratorioanalyysit tukevat silmämääräisiä havaintoja ja antavat tietoa rakenteen piilevistä vaurioista sekä vaurioiden syistä. Tyypillisillä laboratorioanalyysillä selvitetään betonin kuntoa ja ominaisuuksia, betoniterästen ruostumista sekä rakennusmateriaaleissa olevia haitallisia yhdisteitä. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 18.) Riittävä näytemäärä on keskeinen tekijä luotettavien tulosten saamisessa (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 17).

Vauriotapauksissa kuntotutkimuksen päätarkoituksena on selvittää kohteen korjaustarpeet, korjausvaihtoehdot, aikataulu ja mahdolliset turvallisuusriskit. Rakennuksen kunto, vaurioriskit ja tiedossa olevat kosteusvauriot tulisi selvittää

mahdollisimman varhaisessa vaiheessa vaurion syntymisen jälkeen. Rakenteita avataan tarpeen mukaan. (Meklin ym. 2007, 11; RT 80–10712 1999.)

Kosteus- ja mikrobikasvu aiheuttavat usein näkyviä muutoksia pinnoissa ja materiaaleissa. Kosteus- ja homevaurioituneessa rakennuksessa voidaan käyttää mikrobiologisia näytteenottomenetelmiä sekä rakennusfysikaalisia mittauksia. Mikrobiologisia näytteenottomenetelmiä ovat pinta-, rakennusmateriaali- ja ilma-näytteet. Mikrobiologisilla tutkimuksilla voidaan osoittaa suoraan, onko tutkittava rakenne homehtunut ja onko rakenteessa ollut haitallisessa määrin kosteutta. Mikrobitutkimuksia ei aina tarvita, jos kosteus- tai homevaurio on ilmeinen. Rakennusfysikaalisia mittauksia ovat lämpötilan, kosteuden, virtaus- ja paineja-kauman sekä materiaaliominaisuuksien mittaukset. Lämpötila- ja kosteusmittauksilla voidaan osoittaa, onko rakenteissa tai niiden pinnoilla homeen kasvulle mahdolliset olosuhteet. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 150; Ympäristöministeriö 1997a, 26.)

Kuntotutkimuksen tekeminen on erikoistunutta asiantuntijatyötä, joten niitä tekevät tutkimuksiin erikoistuneet insinööritoimistot ja tutkimuslaitokset. Kuntotutkimuksen tekijän on tunnettava erilaiset korjaustapavaihtoehdot erityisesti siltä osin, mitä vaatimuksia korjattava rakenne asettaa korjaustavalle ja miten eri korjausvaihtoehdot vaikuttavat vaurioiden syntymiseen ja etenemiseen. Kuntotutkimuksen tekeminen edellyttää vanhojen rakennetyyppien, rakennusmateriaalien ja niiden vaurioitumisen sekä rakenteiden toimivuusperiaatteiden tuntemusta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 9; Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 13.) Kosteusvauriotapauksissa rakennuksen kosteusvauriokuntoarvion tekijän tulisi olla sisäilmakysymyksiin ja talonrakennustekniikkaan perehtynyt alan ammattilainen (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 150).

Rakenteen korjaustarve määräytyy pääosin rakenteen kunnon perusteella ja kuntotutkimuksen tulokset esitetään yleensä kysymykseen tulevina korjaustapaehdotuksina (RT 80–10712 1999; Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 9). Suppeimmassa muodossaan kuntotutkimuksen on otettava kantaa turvallisuuteen ja terveellisyyteen vaikuttaviin tekijöihin (Suomen Betoniyhdistys ry. 2012, 14).

3 RAKENTEIDEN KOSTEUS

Kosteus eri muodoissaan on useimpien rakenteiden pahin rasisitustekijä ja se on osallisena lähes kaikissa merkittävässä turmeltumisilmiöissä. Betonijulkisivujen ja parvekkeiden turmeltumisilmiöiden kannalta käytön aikaiset kosteusrasitukset ovat merkittävimpiä. Tärkeimmät huomioon otettavat kosteuskähteet ovat sade, ulkoilman kosteus ja pinnoille tiivistyvä ilman kosteus. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 17.)

3.1 Rakenteiden kosteustekninen toiminta

Vesi esiintyy rakennuksessa vesihöyrynä, nestemäisenä vetenä ja jäänä. Rakennusmateriaalin hygroskooppisuus kertoo, kuinka paljon kosteutta se pystyy sitomaan ilmasta. Kapillaarisuus puolestaan kertoo, paljonko materiaali ottaa kosteutta itseensä ollessaan kosketuksissa veteen. (Ympäristöministeriö 1997a, 45–47.) Rakenteissa kosteus ja vesi voivat siirtyä diffuusiolla, konvektiolla, kapillaarisuudella ja haihtumalla. Diffuusiolla tarkoitetaan vesihöyryn siirtymistä korkeammasta pitoisuudesta alemman pitoisuuden suuntaan. Konvektiossa kosteus siirtyy rakenteissa tapahtuvien virtausten mukana. Jotta ilmavirtauksia syntyisi, rakenteen eri puolilla tulee olla erilaiset ilman kokonaispaineet. (Leivo ym. 1998, 17–19.)

Rakennusmateriaalien kosteusteknisessä käyttäytymisessä on erotettavissa hygroskooppinen ja kapillaarinen alue. Normaaleissa käyttöolosuhteissa asuinrakennusten materiaalit ovat hygroskooppisella alueella ja materiaalin vesipitoisuus riippuu pääasiassa ympäristön suhteellisesta kosteudesta. Useat rakennusmateriaalit ottavat kosteutta itseensä kapillaarisesti huokosmaisen rakenteensa ja veden pintajännityksen ansiosta, kun ne ovat kosketuksissa veteen. (Leivo ym. 1998, 17–20.)

Kesällä vesihöyryn määrä ilmassa on suurempi kuin talvella, sillä lämmin ilma sitoo enemmän kosteutta (Ympäristöministeriö 1997a, 48). Tiettyssä lämpötilassa

ilma voi sisältää enintään tietyn määrän vesihöyryä. Tätä kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Ilma voi sisältää sitä enemmän vesihöyryä, mitä korkeampi lämpötila on. (Leivo ym. 1998, 22.) Materiaalin tasapainokosteudeksi kutsutaan tilannetta, jossa materiaalin huokosten ilman suhteellinen kosteus on sama kuin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Tasapainokosteuden arvo riippuu materiaalin lisäksi lämpötilasta ja siitä, onko kyseessä kostuminen vai kuivuminen. Kosteusvauriokohdissa tai niissä materiaaleissa, joihin on jäänyt kosteutta rakentamisen yhteydessä, vettä voi olla paljon enemmän. (Leivo ym. 1998, 17–19.) Rakennekosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka rakenteesta poistuu ennen kuin rakenne on kosteustasapainossa ympäristönsä kanssa (Leivo ym. 1998, 23).

Vesi poistuu materiaalista haihtumalla. Jos vesihöyrypitoisuus materiaalin rajapinnan lähellä ilmassa on lähellä kyllästystilaa, haihtumista ei tapahdu ja materiaali ei kuivu. Kuivumisessa voidaan erottaa kaksi vaihetta. Ensimmäisen vaiheen aikana kuivumisnopeus pysyy lähes vakiona. Ensimmäinen vaihe päättyy suurin piirtein silloin, kun kriittinen kosteuspitoisuus on saavutettu. Toisen vaiheen aikana kuivumisnopeus alenee jatkuvasti kostean rintaman siirtyessä vähitellen yhä kauemmas materiaalin sisälle. Materiaalin sisällä kosteuden siirtymien tapahtuu pääasiassa diffuusion avulla. (Leivo ym. 1998, 20.)

Kosteusvauriotutkimuksissa ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitataan aina samanaikaisesti, jotta saadaan selville ilman kosteussisältö (g/m^3). Sisäilmalämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauskohta valitaan siten, että saadaan selville tarkasteltavaan rakenteeseen kohdistuva rasitus. (Ympäristöministeriö 1997a, 27.) Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä arvioitaessa tarkastellaan erityisesti lämpötilan muuttumista rakenteen matkalla sekä kyllästyspitoisuutta ja vesihöyrypitoisuutta rakenteen eri kohdissa. Mikäli kyllästyspitoisuuskäyrä ja vesipitoisuuskäyrä leikkaavat toisensa, rakenteeseen muodostuu tiivistymisvyöhyke, jossa vesihöyryä tiivistyy rakenteen sisään. Ennen korjaustavan valintaa tulisi arvioida, onko korjattu rakenne kosteusteknisesti toimiva vai riskialtis. (Leivo ym. 1998, 14.)

Rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen ja Suomessa vallitsevan ilmaston takia rakenteiden suunnittelussa tulisi ottaa huomioon, että suurimman osan

vuotta ulkoilmaa vasten olevassa rakenteessa, kuten ulkoseinässä tai yläpohjassa, on sellaiset kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, että kosteutta pyrkii siirtymään sisältä ulospäin. Näin ollen rakenteen vesihöyryvastuksen tulee pienentyä siirryttäessä rakenteen sisäpinnalta ulkopintaa kohti, eli rakenne harvenee ulospäin mentäessä. Lisäksi rakenteessa on oltava riittävän vesihöyryntiivis kerros sisäpinnassa tai lähellä sisäpintaa. Rakenteiden tulisi olla sellaisia, että niiden läpi ei pääsisi tapahtumaan lämmön tai kosteuden siirtymistä. Käytännössä konvektiota tapahtuu varsinkin rakenteissa olevista vuotokohdista. (Leivo ym. 1998, 15.)

Ilmanvaihhdolla pyritään pitämään ulkoilman paineeseen nähden pieni alipaine. Liian suuri sisäilman alipaine ulkoilman paineeseen nähden voi aiheuttaa vuotoja rakenteista ja raoista, joiden mukana sisäilmaan voi kulkeutua haitallisia aineita ja itiöitä. Rakennuksen sisällä oleva ylipaine voi vuorostaan aiheuttaa ilmansulun vuotokohdista kostean sisäilman kulkeutumisen rakenteisiin ja kosteuden tiivistymisen rakenteen kylmään osaan. (RT 80–10712 1999.) Ilman virtausta rakennuksessa voidaan tarkastella merkkisavulla, jälkiainetekniikalla, pinta- ja tilalämpötilan muutosmittauksilla sekä virtausnopeus- ja paine-eromittauksilla (Ympäristöministeriö 1997a, 30).

3.2 Ulkoinen kosteusrasitus

Rakennuksen tulisi olla suojattu sen ulkopuolelta tulevalta kosteudelta, johon kuuluvat sade, maaperän kosteus, lumi ja pintavedet (Maailman terveysjärjestö 2009, 36). Pystysuora sade rasittaa rakennuksen vaakasuoria pintoja, kuten kattoja ja terasseja. Merkittävin julkisivujen käyttöaikainen kosteuslähde on kuitenkin viistosade, joka rasittaa vaakapintojen lisäksi pystysuoria rakennusosia, kuten julkisivuja. Viistosateen vaikutus on erityisen suuri seinien yläosissa, räystäättömissä, avoimilla paikoilla sijaitsevilla ja korkeissa rakennuksissa. Tuuli voi aiheuttaa jopa sadeveden kulkeutumisen ylöspäin rakennuksen ulkopinnoilla. Myös kattovuodot, käyttövesivuodot, maaperän kosteus ja pintavedet voivat lisätä kosteusrasitusta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 18; Ympäristöministeriö 1997a, 51.)

Maaperän kosteusrasitus syntyy maaperästä kapillaarisesti nousevasta vedestä ja rakenteeseen kohdistuvasta vedenpaineesta. Maaperästä kapillaarisesti tulevan kosteuden määrä riippuu maalajista, sen kapillaarisuudesta, pohjaveden pinnan korkeudesta ja salaojaverkoston toimivuudesta. Kapillaarinen nousukorkeus on sitä suurempi, mitä pienempiä kapillaarihuokokset ovat. Ulkoilman kosteus saattaa rasittaa rakenteita sateen jälkeen, jos ulkoilman lämpötila laskee nopeammin kuin ulkoseinän pinnan lämpötila. (Leivo ym. 1998, 22; Ympäristöministeriö 1997a, 52.)

Betoniin imeytyvän veden määrä riippuu betonin laadusta ja betonin pinnasta, kuten pinnan tasaisuudesta, mahdollisesta pinnoitekäsittelystä ja pintatarvikkeista. Sateella julkisivun pintaan syntyy nopeasti vesikalvo, joka pääsee tunkeutumaan elementtien eristetilaan vuotavien saumojen ja toimimattomien liitosdetaljien kautta. Sandwich-elementtitalojen sisäseinillä esiintyvän homekasvuston on havaittu olevan yhteydessä elementin halkeamiin. Eristetilaan kertyvä vesi liikkuu painovoiman mukana alaspäin elementtikuoren sisällä ja kertyy seinän aukkojen päällisiin, seinien alaosiin ja sokkeliin, jolloin vesipitoisuus voi olla hetkellisesti hyvin korkea. (Pessi ym. 1999, 11–13; Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 18.)

Kun sadevesi pääsee tunkeutumaan rakenteen sisälle, se voi kulkeutua kauas vuotokohdasta. Pintavedet voivat aiheuttaa vaurioita ulkoseinien alaosiin ja perustuksiin, jos vesi roiskuu julkisivuun, maan pinta viettää rakennukseen päin tai perustusten vedeneristykset ovat puutteelliset. Pintavesi suotautuu maahan, josta se voi siirtyä rakenteisiin. (Ympäristöministeriö 1997a, 51.)

Ulkokuoren saumojen tehtävänä on varmistaa julkisivun sadevedenpitävyys, tasata valmistuksessa ja asennuksessa syntyneet mittapoikkeamat sekä mahdollistaa elementtien liikkeet, kuten lämpöliikkeet. Saumojen ja liitosten yksityiskoh- tien toimivuus vaikuttaa elementin eristetilaan pääsevän veden määrään ja siten myös seinän lämmöneristyskykyyn, maalipintojen ja puuosien kestävyYTEEN, sokkelin ja elementin ulkokuoren kosteus- ja pakkasrasitukseen sekä terästen korroosionopeuteen. (Pessi ym. 1999, 8–9.) Räystäät suojaavat tehokkaasti ulkoseinien yläosia viistosateelta ja katoilta valuvilta vesiltä (Leivo ym. 1998, 21).

Kapillaarinen veden nousu maaperästä rakenteisiin estetään oikeaoppisesti kapillaarisuuden katkaisevalla kerroksella. Kapillaarikatkoa käytetään myös paikoissa, joissa vettä voi siirtyä haitallisessa määrin rakennusaineesta toiseen. Sadepesi johdetaan pois rakennuksen viereltä maanpinnan riittävän kallistuksen ja erilaisten vedenpoistojärjestelmien avulla. Toimiva salaojitus vähentää tehokkaasti maanpohjan kosteuden aiheuttamaa kosteusrasitusta. Sokkelin veden-eristys estää tehokkaasti pintavesien pääsyn rakenteisiin tai rakennuksen alle. (Leivo ym. 1998, 21–22.)

3.3 Rakennuksen sisäinen kosteusrasitus

Rakennuksen käyttö tuottaa sisäilmaan kosteutta ja epäpuhtauksia, jotka tulee poistaa ilmanvaihdolla (Leivo ym. 1998, 16). Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttavat ulkoilman kosteuspitoisuus, sisällä kehitetyn kosteuden määrä ja ilmanvaihdon suuruus (Leivo ym. 1998, 24). Ilmanvaihdon puutteet vaikuttavat sisäilmaan, jos esimerkiksi poistoilmanvaihto toimii huonosti tai rakennuksessa on käytössä koneellinen poisto ilman korvausilmareittiä. Sisäilmaan voi tulla kosteutta ja epäpuhtauksia muun muassa pyykin kuivaamisesta sisätiloissa, rakenteiden kosteudesta, tilan käyttötarkoitukseen soveltumattomista rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai tilojen käytöstä. (Leivo ym. 1998, 11.) Käyttövedestä aiheutuva kosteusrasitus riippuu käyttötottumuksista, jotka vaihtelevat suuresti. Tilojen muuttunut käyttötarkoitus voi lisätä tilan tai koko rakennuksen kosteusrasitusta. Kosteissa tiloissa kosteuden siirtyminen rakenteisiin estetään seinien ja laattojen tiiviillä vedeneristyksellä. (Leivo ym. 1998, 23.)

Rakennuksen sisällä suurimpia kosteuden tuottajia ovat runsas pesutilojen käyttö, vesi- ja viemärijohtojen sekä astian- ja pyykinpesukoneiden vuotaminen, siivoaminen liialla vedellä, vesihöyry, rakennusajalta rakenteisiin jäänyt kosteus ja korjausrakentamisessa käytetty vesi. Pienempiä kosteuslähteitä rakennuksen sisällä ovat pyykin kuivaus sisätiloissa, liiallinen ilmankostuttimen käyttö, ruuanlaitossa syntyvä kosteus ja kukkien ylikastelu. (Salmi & Kemoff 1996, 14.) Lisäksi

vesihöyry tiivistyy eli kondensoituu pinnalle, kun pinnan lämpötila on ympäröivän ilman kastepistelämpötilan alapuolella (Ympäristöministeriö 1997a, 45).

3.4 Riskirakenteita

Rakennus ja rakenteet kestävät eri lähteistä tulevia kosteusrasituksia, kunnes rasitukset ylittävät rakenteen kosteudensietokyvyn ja seurauksena on kosteus tai jopa homevaurio. Kosteusvaurion voi aiheuttaa rakennus-, suunnittelu- tai korjausvirhe, tilojen muuttunut käyttö, väärän materiaalin tai materiaaliyhdistelmän valitseminen, LVI-järjestelmän toimimattomuus, rakennusosan käyttöiän loppuminen tai odottamattomat tapaturmat. Materiaalivalintojen ja rakenneratkaisujen lisäksi olosuhteilla on ratkaiseva merkitys rakenteiden vaurioitumiseen ja pitkäikäisyyteen. On syytä muistaa, että hometta voi ajoittain esiintyä, vaikka rakenne olisi tehty oikein. Ulkoilmassa ja maaperässä on aina homeitiöitä ja Suomen ilmasto-olot ovat otollisia homekasvulle. (Leivo ym. 1998, 25.)

Julkisivujen kosteusvauriot johtuvat usein ulkoseinärakenteen riittämättömästä tuuletuksesta, viistosateista tai kosteuden tiivistymisestä rakenteisiin. Vesikattojen vuotovauriot ovat yleensä jiireissä ja läpivienneissä, joista vesi pääsee valumaan rakenteisiin tai aluskatteen alle aiheuttaen kosteusvaurion. Monessa ongelmatapauksessa rakenteiden kosteusvaurioita aiheuttavat rakennuksen virheellinen korkeusasema maastoon nähden, kattovesien ohjaaminen perustusten vierelle tai pintavesien kulkeutuminen rakennukseen päin. (Kärki & Heikkinen 2011.) Rakennuksiin on vaadittu salaojat jo 1940-luvulla (Leivo ym. 1998, 30). Salaojituksen puuttuminen tai toimimattomuus ja huono täyttömaa voivat olla syynä maasta tulevan kosteuden aiheuttamiin vaurioihin (Leivo ym. 1998, 25). Kosteus pääsee nousemaan kapillaarisesti ulkoseiniin perustusten kautta, jos perustusten alla ei ole käytetty kosteuden nousua estävää sorakerrosta eli kapillaarikatkoa (Kärki & Heikkinen 2011).

4 MIKROBIKASVUSTO

Mikäli rakenteessa esiintyvä ylimääräinen kosteus aiheuttaa rakenteen vaurioitumista tai terveydelle haitallisen mikrobikasvuston kehittymistä, puhutaan kosteusvauriosta. Mikrobikasvuston lisäksi liiallinen kosteus voi aiheuttaa rakennusmateriaalien kemiallista hajoamista, jolloin sisäilmaan voi vapautua esimerkiksi formaldehydiä, ammoniakkia tai haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 17.) Terveysturvallisuuslaki (1994) 27. §:n mukaan asunnossa tai oleskelutilassa ei saa olla haitallisia aineita siinä määrin, että niistä aiheutuu terveyshaittaa.

4.1 Mikrobit

Mikrobit ovat pieniä, yksi- tai monisoluisia eliöitä. Mikrobeja ovat muun muassa virukset, bakteerit, sienet, levät ja alkueläimet. Mikrobeja on joka puolella, sillä ne ovat monipuolisia eliöitä ja sopeutuvat melko nopeasti ympäröiviin olosuhteisiin. (Sisäilmayhdistys 2013a.) Homeille on tyypillistä, että ne kasvavat elatusaineen, esimerkiksi puun pinnalla (Leivo ym. 1998, 40). Luonnossa mikrobit osallistuvat kuolleen elollisen materiaalin hajottamiseen (Husman ym. 2002, 15). Rakenteissa mikrobit voivat hajottaa rakennusmateriaalia tai sen ainesosia sekä kasvustossa aiemmin esiintyneiden mikrobien hajoamistuotteita. Osa mikrobeista tuottaa itiöitä, joiden avulla ne voivat lisääntyä ja levitä. Itiöt ovat erittäin kestäviä ja ne selviävät pitkiä aikoja odottaen otollisia kasvuolosuhteita. (Pessi ym. 1999, 9.)

Mikrobit vaativat kasvaakseen riittävästi kosteutta, ravintoa, sopivan lämpötilan ja pH:n sekä epäorgaanisia ravinteita. Kullakin mikrobilajilla on omat kasvuvaatimuksensa. Mikrobikasvusto voi kehittyä muutamien päivien, kuukausien tai vuosien kuluessa, riippuen olosuhteista. Tärkein mikrobikasvuun vaikuttava tekijä on rakenteiden ja pintojen kosteus. Mikrobikasvu alkaa, kun rakenteen tasapainokosteus ylittää 80 %. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 146; Pessi ym. 1999, 9; Sisäilmayhdistys 2013b.)

Ravinnon suhteen mikrobit eivät ole tarkkoja, sillä ne voivat käyttää energialähteenään lähes mitä tahansa orgaanista materiaalia. Myöskään lämpötila ei ole Suomen oloissa kasvua rajoittava tekijä, sillä mikrobit kestävät jonkin verran pakasta ja voivat kasvaa vaikka lämpöasteita olisi vaan muutama. (Sisäilmayhdistys 2013b.) Osa mikrobeista voi tarttua rakenteiden pinnoille, minkä vuoksi rakenteiden pinnoilta löydetään yleensä aina pieniä määriä mikrobeja. Terveyshaittaa mahdollisesti aiheuttava mikrobialtistus johtuu kuitenkin siitä, että home- ja hiivasieniä tai bakteereja kasvaa rakennuksen kostuneilla pinnoilla tai rakenteissa, joista mikrobeja, niiden itiöitä tai niiden haitallisia aineenvaihduntatuotteita kulkeutuu ihmisten oleskelutiloihin. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 146.)

Suurimmat mikrobilähteet ulkoilmassa ovat maaperä, kasvit, pistemäiset lähteet, esimerkiksi maanviljely, vesi ja kaukokulkeumat. Suomessa vuodenaikojen vaihtelu aiheuttaa suuria muutoksia ilman mikrobipitoisuuteen eli lumipeitteen ja pakasen vuoksi talvella ilmassa on hyvin vähän mikrobeja. Koska valtaosa itiölähteistä on lähellä maanpintaa, ilman itiöpitoisuus on suurin lähimpänä maaperää olevissa kerroksissa. Yksittäisten sienilajien itiöiden pitoisuus ilmassa vaihtelee eri vuorokauden aikoina. Tämä selittyy suurimmaksi osaksi kunkin sienen ominaisilla itiöiden vapautumismekanismeilla, joissa myös säättekijöillä ja ilman suhteellisella kosteudella on suuri merkitys. Itiöt kulkevat ulkoilmassa turbulentissa ilmakerroksessa. Suomessa selvästi yleisin ulkoilmassa esiintyvistä sienilajeista on *Cladosporium*, jonka itiöitä on noin 85 % ilmassa esiintyvistä sieni-itiöistä. Muita yleisiä lajeja ovat *Penicillium* (4 %), *Botrytis* (2 %) ja *Fusarium* (0,8 %). (Leivo ym. 1998, 41–43; Sisäilmayhdistys 2013b.)

Mikrobit kulkeutuvat rakennuksiin tuloilman mukana, mutta niistä ei ole haittaa sisäilmassa, elleivät ne pääse kasvamaan rakennuksen pinnoilla (Meklin ym. 2007, 13). Ulkoilmasta tulevien mikrobien lisäksi sisäilman mikrobistoon vaikuttavat huoneistossa olevat elintarvikkeet, polttopuut, huonekasvit, ilmankostuttimet, huonepöly, kotieläimet ja asukkaat itse. (Sisäilmayhdistys 2013b.) Tavallimmat sisäilmassa tavattavat sienilajit ovat *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* ja hiivat (Husman ym. 2002, 15). Mikrobikasvusto voi näkyä rakennusten

sisäpinnoilla tai rakenteissa värinmuutoksena materiaalin pinnalla tai puuterimaisina, pölymäisinä tai pistemäisinä kasvustoina. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 148.)

Rakennusmateriaaleissa on aina mikrobeja. Erityisesti rakennuksen uloimmissa rakenteissa olevissa materiaaleissa, kuten lämmöneristeissä ja tuloilmasuodattimissa, on luonnostaan ulkoilmasta peräisin olevia mikrobeja. Jos alapohjan tai ulkoseinän materiaalinäytteistä on todettu suuria pitoisuuksia mikrobeja, terveyshaittana kasvustoa voidaan pitää vain silloin, kun itiöt ja mikrobien aineenvaihduntatuotteet voivat kulkeutua sisätiloihin. Alapohja- ja ulkoseinärakenteissa oleva mikrobikasvusto ja sen synnyttämä kosteusvaurio voivat olla haitallisia talon rakenteille. Vaurion syy tulee korjata ja mikrobikasvusto poistaa. Maaperän kanssa kosketuksissa olevissa alapohjan ja ulkoseinän materiaaleissa voi esiintyä mikrobeja huomattavia määriä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 168.)

4.2 Kosteuden vaikutus mikrobikasvuun

Vaikka vesi on mikrobien kasvulle välttämätöntä, vapaata vettä ei välttämättä tarvita. Materiaalin vesiaktiivisuus vaikuttaa siihen, alkaako mikrobikasvu vai ei. Hygroσκοoppiset materiaalit voivat lämpimissä kosteissa olosuhteissa imeä ilmasta niin paljon vettä, että homehtuminen lähtee käyntiin. (Leivo ym. 1998, 48.) Mikrobit alkavat kasvaa, kun rakenteet kostuvat pysyvästi tai toistuvasti. Viitanen (2004) havaitsi, että homeen kasvu oli selvästi hitaampaa, kun suhteellinen kosteus oli 88–90 % verrattuna korkeampiin kosteusoloihin. Kasvua havaittiin ainoastaan orgaanista ainesta sisältävissä materiaaleissa. Kun suhteellinen kosteus oli vain 78–80 %, kasvua ei havaittu missään rakennusmateriaalissa.

Homesienet ja hiivat vaativat kasvaakseen rakenteen huokosilman suhteelliseksi kosteudeksi 65–85 %, kun taas sinistäjä- ja lahottajasienet vaativat yli 95 % kosteutta (Sisäilmayhdistys 2013b). Jos ilman suhteellinen kosteus on alle 30 %, sienet eivät kasva, mutta jos ilman suhteellinen kosteus on yli 70 %, sienikasvu on todennäköinen. Huonosti tuulettuva tila on alttiimpi homehtumiselle kuin hyvin

tuulettuva. (Leivo ym. 1998, 45.) Sisäilman kosteuden merkitys rakenteiden mikrobikasvulle on lähinnä välillinen, mutta huoneilmasta voi tiivistyä kosteutta huoneilman lämpötilaa kosteammille pinnoille. Toisin kuin home- ja hiivasienet, lahottajasienet voivat siirtää rihmastollaan vettä käyttöönsä kosteasta rakenteesta kuivaan puuhun. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 147.)

Aluksi kostuneessa rakenteessa kasvavat tavanomaiset ulkoa sisälle kulkeutuneet mikrobit, joita kutsutaan primaarivaiheen mikrobeiksi. Näille primaarivaiheen mikrobeille riittää ravinnoksi pinnoilla oleva pöly ja lika. Kasvunsa aikana mikrobit muuttavat kasvuympäristönsä kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, jolloin kasvuolosuhteet voivat muuttua vaativimmille mikrobeille edullisiksi. Paikalle ilmaantuvat sekundaarivaiheen mikrobit, jotka käyttävät ravintonaan pitkäketjuisia hiilihydraatteja. Pitkään jatkuneessa kosteusvauriossa valtalajeiksi jäävät tertiäärivaiheen mikrobit, jotka pystyvät hajottamaan paperin selluloosaa ja puun lingiiniä. (Husman ym. 2002, 18; Leivo ym. 1998, 50–51.)

Koska homeista puhutaan paljon julkisuudessa, niitä epäillään ja syytetään usein myös aiheettomasti. Kosteus- ja homevaurioita on syytä epäillä, jos rakennuksessa on aikaisemmin ollut selvä kosteusvaurio, joka on puutteellisesti korjattu, merkkejä kosteusvaurioista, näkyvää homea tai selvä tunkkainen, homeinen haju, mikrobitutkimukset viittaavat kosteusvaurioihin tai rakennuksen käyttäjät oireilevat. (Leivo ym. 1998, 10; RT 80–10712 1999.) Kosteusvaurioihin viittaavia merkkejä ovat esimerkiksi kosteusläikät sisäpinnoitteissa, sisustusmateriaalien, kuten tapettien, laattojen, muovimattojen tai maalin irtoilu, levyrakenteisten seinien tai kaapistojen sokkelien turpoaminen tai kupruilu, parketin tummuminen, sokkelin tai kellarinseinien sisäpintojen maalin hilseily ja vesihöyryn tiivistyminen pinnoille. Useiden rakennusmateriaalien emissiot kasvavat materiaalin kosteuspitoisuuden kasvaessa. Vanhan rakennusmateriaalin suuret emissiot voivat siten indikoida kosteusvauriota. (Leivo ym. 1998, 11–12.)

Haju voi olla tärkeä havainto mikrobihaitan toteamisessa ja paikantamisessa. Haju on seurausta mikrobien aktiivisesta kasvusta ja aineenvaihdunnasta, jota muun muassa kosteusolosuhteet säätelevät. Sisäilman homeen tai maakellari-

mainen haju viittaa usein rakenteiden mikrobikasvustoon. Hajua aiheuttavat mikrobien aineenvaihdunnasta peräisin olevat haihtuvat orgaaniset yhdisteet, joita on sisäilmassa pieninä pitoisuuksina. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 151.)

Materiaalia voidaan pitää mikrobivaurioituneena, jos siinä on aktiivinen tai kuivunut mikrobikasvusto, tai materiaaliin on kulkeutunut rakenteissa olevasta kasvustosta runsaasti mikrobisoluja (Pessi ym. 1999, 4). Eri tutkimuksissa esiintyneitä, vauriorakennuksissa tai vaurioituneissa materiaaleissa todettuja mikrobeja, joita harvemmin esiintyy vauriottomien vertailurakennusten ilmanäytteissä tai vertailupinnoilta tai -materiaaleista otetuissa näytteissä, kutsutaan kosteusvaurioindikaattoreiksi (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 172).

4.3 Mikrobikasvuston vaikutukset

Runsas mikrobikasvusto rakenteiden pinnoilla voi aiheuttaa asumisviihtyvyyttä heikentävää hajua, vaikka mikrobilajisto ei olisikaan erityisesti haitallisena pidettyä (Lahdensivu 2010, 22). Kasvuston lajisto määräytyy kasvualustana toimivan materiaalin mukaan (Meklin ym. 2007, 13). Rakennuksen homeongelmista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä bakteerien ja mikrosienten epänormaalia kasvua rakennusmateriaalissa. Mikrobeista homeet ovat mikrosieniin kuuluvia pieneliöitä, jotka tuottavat lisääntyäkseen itiöitä ja joiden kasvava osa on soluketjujen muodostama rihmasto. Haitallista homekasvustoa muodostuu rakenteisiin pääasiallisesti rakenteiden kosteusteknisten toimivuuspuutteiden seurauksena. Betonirakenteissa homesieniä voi esiintyä lähinnä lämmöneristeen ulkopinnoissa, josta niiden itiöt ja aineenvaihduntatuotteet voivat mahdollisesti kulkeutua sisäilmaan rakenteen läpi ilmanvirtausten mukana, esimerkiksi vuotavien liitoskohtien kautta. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 44.)

4.3.1 Mikrobin vaikutus terveydelle

Mikrobin kasvaminen rakennusmateriaaleissa näkyy mikrobiperäisten yhdisteiden määrän lisääntymisenä tai muuttumisena sisäilmassa. Joko yksin tai yhdessä muiden yhdisteiden kanssa ne saavuttavat riittävän tason, että voivat vaikuttaa ihmisten terveyteen. (Pitkäranta ym. 2011.) Mikrobikasvustosta voi kulkeutua sisäilmaan sekä kaasumaisia että hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Homesienet ja jotkut bakteerit tuottavat itiöitä. Pienimmät itiöt viipyvät ilmassa pitkään ja kulkeutuvat helposti syvälle hengitysteihin, kun taas suuremmat itiöt laskeutuvat nopeasti pinnoille ja hengitettynä jäävät yleensä hengitysteiden yläosiin. Itiöiden lisäksi kasvustosta vapautuu hiukkasia, jotka ovat kooltaan itiöitä ja soluja paljon pienempiä ja viipyvät siksi ilmassa pitkiä aikoja ja pääsevät helposti syvälle hengitysteihin. Hiukkaset ovat solujen rakenneosia, kuten bakteerien endotoksiineja tai sienten 1,3- β -glukaania sekä allergeeneja ja toksineja. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 71; Meklin ym. 2007, 14, 30.)

Toksiinit voivat joskus esiintyä sisäilmassa kiinnittyneinä muihin pieniin hiukkasiin (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 151). Toksiinien tuoton määrä riippuu mikrobin elinolosuhteista. Tutkimusten mukaan rakennusmateriaalin korkea kosteus vaikuttaa toksiinien tuottoa lisäävästi. Toksiinien analysointiin ei ole toistaiseksi käytettävissä terveysvalvontaan sopivia määritysmenetelmiä. Myöskään toksiinien pitoisuuksien ja terveyshaitan välistä riippuvuutta ei tunneta. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 152.) Kosteusvaurioindikoivat mikrobit tuottavat keskimääräistä todennäköisemmin toksineja (Lahdensivu 2010, 22). Kosteusvauriorakennuksen mahdolliset toksiinintuottajasienet esiintyvät yleisimmin materiaali- kuin ilmanäytteissä (Leivo ym. 1998, 52).

Sienet ovat rakennusmateriaalien pääkolonisoijat ja hajottajat. Niillä on kapasiteetti levittää itiöitä ja pienempiä kappaleita kasvupaikaltaan ympäröivään ilmaan. Kyky aiheuttaa oireita herkistymättömille ihmisille riippuu lajispesifisistä ominaisuuksista, kuten allergeenisyydestä, patogeenisyydestä ja mykotoksiinien tuotokyvystä. (Pitkäranta ym. 2011.) Mikrobikasvustolle reagoivat herkimmin sellaiset yksilöt, joilla on ennestään allergiaa tai astmaa. Tavallisia oireita ovat yskä, nuha,

äänenkäheys, silmien ja ihon ärsytys sekä astmaoireet (Maailman terveysjärjestö 2009, 5). Mikrobialtistukseen viittaavat myös toistuvat infektiot. Poikkeuksellisen mikrobialtistuksen seurauksena voi kehittyä pitkäaikaissairaus, esimerkiksi krooninen keuhkoputkentulehdus, allerginen nuha, astma, ihottuma tai alveoliitti. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 152.) Altistumiseen tuovat oman lisänsä myös kosteuden vaikutuksesta hajoavien materiaalien kemialliset hajoamistuotteet, kuten muovien pehmittimet (Meklin ym. 2007, 14).

Ulkoelementeissä havaittavan mikrobikasvuston merkitystä sisäilman laadulle ei voida arvioida samalla tavalla kuin rakennuksen sisäpuolisissa vaurioissa. Eristetilassa esiintyvän mikrobikasvuston vaikutus sisäilmaan riippuu eristetilan ja asuntoilman välisestä yhteydestä. Alipaine johtaa helposti ilman sisäänottoon rakenteiden läpi. Elementtitalossa on lukuisia rakenteellisia yksityiskohtia, kuten ikkunoiden ja ovien asennusraot, elementtien saumat ja muut rajapinnat, joista ilmaa pääsee hallitsemattomasti sisätiloihin. (Pessi ym. 1999, 14.)

Kosteus- ja homevaurioiden yhteys hengitystieoireisiin on osoitettu kiistatta, mutta haittojen varsinaisia aiheuttajia tai niihin johtavia mekanismeja ei tunneta vielä kunnolla. Tästä syystä ei ole mahdollista antaa terveysperusteisia ohjeita yksittäisten homeiden pitoisuuksille tai muita yhden epäpuhtauden valvontaan perustuvia määräyksiä. Bakteerien esiintymisestä materiaaleilla tiedetään paljon vähemmän kuin homesienten kasvusta. Joissain tapauksissa vaurioituneen materiaalin homesienipitoisuus on pieni ja bakteeripitoisuus on suuri. Tunnetuin homeisilla materiaaleilla kasvava bakteeriryhmä ovat aktinomykeetit eli sädesienet, joita ei mainittavasti esiinny normaalissa kaupunkisisäilmassa. (Neväläinen 2003.)

4.3.2 Mikrobien vaikutus rakennusmateriaaleihin

Mikrobien vaikutus rakennusmateriaaleihin on monitahoinen. Viruksia lukuun ottamatta kaikkia mikrobiluokkia on löydetty rakennusmateriaalien pinnoilta. Pigmenttimuutosten lisäksi materiaalin pinnalla kasvavat mikrobit voivat muuttaa veden diffuusiota materiaaliin sekä veden kapillaarista sisäänottoa yhdessä pinta-

aktiivisten aineiden kanssa. (Gaylarde ym. 2003.) Värjäntymisen aiheuttajana on pidetty pääasiassa materiaalin sienikasvustoa. Värinmuutosten lisäksi sienet voivat aiheuttaa rapautumista betonin ja kiven pinnalle. (Giannantonio ym. 2009.) Kasvaessaan betonin tai kiven pinnalla sienet voivat hajottaa pintaa tunkemalla sienirihmansa betonin sisään, jolloin ne suurentavat vahingoittunutta aluetta ja lisäävät betonin huokoisuutta (Gu ym. 1998).

Betoni- ja kivipinnoilla kasvavilla mikrobeilla voi olla haitallisia vaikutuksia rakenteen kestävyydelle ja esteettiselle viehätykselle. Kasvaessaan jotkut mikrobit tuottavat orgaanisia happoja, joiden on havaittu vaikuttavan betonin korroosioon ja hajoamiseen. Hapot vahingoittavat betonia muodostamalla liukenemattomia kalsiumyhdisteitä saostamalla kalsiumia betonista. Tämä saa aikaan betonin painon alenemista sekä lisääntynyttä läpäisevyyttä ja huokoisuutta. Betonin, jolla on korkea vesi-sementtisuhde, on havaittu olevan herkempi mikrobien aiheuttamille vaurioille. Sen sijaan betonipinnan epätasaisuudella ei näytä olevan juurikaan merkitystä. (Giannantonio ym. 2009; Gu ym. 1998.)

Mikrobikasvuston aiheuttama korroosio aiheuttaa merkittäviä taloudellisia kuluja erityisesti maanteiden ja viemäreiden huolto- ja korjauskustannusten muodossa. Asuinrakennuksissa betonia hajottavien mikrobien kasvua ei ole juurikaan havaittu. Vaikka betonin kosteuspitoisuus voi sandwich-elementeissä olla ajoittain riittävä betonia syövyttävien mikrobien kasvulle, asuinrakennuksissa ei esiinny runsaasti niiden vaatimia ravinteita, kuten sulfideja ja typpiyhdisteitä. (Giannantonio ym. 2009; Pessi ym. 1999, 12.) Vaikka mikrobien kasvaminen betonipinnoilla saattaa aiheuttaa ongelmia, joidenkin bakteerien on toisaalta havaittu parantavan betonin laatua. Näiden bakteerien tuottamat yhdisteet aiheuttavat kalsiumkarbonaatin saostumista betonissa. Tätä reaktiota voidaan hyödyntää betonissa olevien halkeamien ja huokosten täyttämisessä. (Siddique & Chahal 2011.)

4.4 Rakenteet ja rakennusmateriaalit mikrobien kasvualustana

Rakennusmateriaaleissa voi kasvaa monenlaisia mikrobeja ja jotkut näistä mikrobeista voivat hajottaa tai muuttaa kasvualustansa. Rakennusaineiden hajottamiseen yleisimmin liittyvät mikrobit ovat bakteereja, syanobakteereja, sieniä ja leviä. Mikrobit eivät voi elää ilman vettä ja ympäristötekijöiden lisäksi niiden kasvualustan ominaisuudet, kuten sen koostumus, huokoisuus ja läpäisevyys, vaikuttavat niiden kasvuun. Mikrobikasvusto voi muuttaa materiaalin mikrorakennetta ja kosteuspitoisuutta. Monet mikrobit saavat rakennusmateriaalista riittävästi ravintoa kasvaakseen. (Gaylarde ym. 2003.)

Sandwich-ulkoseinäelementeissä käytetyt, mahdollisina kasvualustoina toimivat materiaalit ovat ulko- ja sisäkuoren betoni, elementtien välinen eristemateriaali, ikkuna- ja ovikarmeihin liittyvät puurakenteet ja saumausaineet (Pessi ym. 1999, 10). Vapaasti ympäröivän ilman kanssa kosketuksissa olevissa rakennusmateriaaleissa mikrobikasvusto kehittyy nopeammin ja runsaammaksi kuin tiiviissä kerroksissa olevissa materiaaleissa (Viitanen 2004). Sandwich-elementin eri osien kosteuspitoisuudet vaihtelevat sääolojen, rakennustyyppin ja vuodenajan mukaan. Hyväkuntoisenkin elementin eristetilassa, varsinkin sen ulko-osassa, kosteus on pitkiä aikoja vuodesta yli 70 %, jota on pidetty mikrobikasvuston edellytyksenä. Eristetilan ulkoreunalla ja betonikuoressa lämpötilat ovat Suomen ilmastossa pitkiä aikoja aktiiviselle kasvulle liian kylmiä. (Pessi ym. 1999, 12.)

Betonin emäksisyys hidastaa tai jopa estää mikrobikasvustoa, erityisesti sienikasvua. Sienet viihtyvät yleisesti paremmin neutraalissa tai lievästi happamassa ympäristössä. (Pessi ym. 1999, 10.) Myös Viitanen (2004) on havainnut, että puhdas betonirakenne ei ole altis mikrobikasvulle. Jatkuvässä kosteusrasituksessa tai hitaasti kuivuvassa rakenteessa oleva puu on erittäin altis mikrobien kasvulle. Betonielementeissä on käytetty puuta ja puupohjaisia materiaaleja lähinnä ikkunoiden ja parvekkeiden pielissä. (Pessi ym. 1999, 8–9.) Julkisivuissa mikrobikasvustoa esiintyy yleisimmin puujulkisivujen maalipinnoissa. Runsas

mikrobikasvusto näkyvillä pinnoilla aiheuttaa vähintäänkin ulkonäöllisen ongelman, mutta samalla heikentää maalipinnan kestävyyttä ja vaikeuttaa pintojen uudelleen kunnostamista. (Lahdensivu 2010, 22.)

Mineraalivillojen lasi- ja kivituidut ovat epäorgaanisia, eivätkä siten toimi mikrobien hiililähteenä. Kuitujen sitomiseen käytetyt orgaaniset sidosaineet ja tuotteen mekaanisia ominaisuuksia parantamaan käytetyt lisäaineet sen sijaan soveltuvat mikrobien energialähteeksi. Lisäksi varastoinnin, elementtien valmistuksen, kuljetuksen tai asentamisen aikana eristeeseen voi kertyä siitepölyä, itiöitä ja sadetta. Jos vesipitoisuus on riittävä, mineraalivillat voivat toimia mikrobien kasvualustana. (Pessi ym. 1999, 11.) Mikäli sopivat kosteusolosuhteet vaikuttavat riittävän pitkänä ajanjaksoina, eristetilaan voi syntyä haitalliseksi tunnettujen mikrobien yhdisteitä, jotka voivat kulkeutua ilmapvirtausten mukana sisäilmaan, jos sisäkuoren läpi tai rakenteiden liitoskohdissa esiintyy ilmapvirtausta. Leudot talvet ja sateiset syksyt voivat lisätä mikrobivaurioituneiden betonielementtien määrää. (Lahdensivu 2010, 23.)

Saumaussmassojen orgaaniset sideaineet, pehmentimet, liuottimet ja pinnalle tarttuva lika voivat toimia mikrobien ravintona. Saumauksissa esiintyvä mikrobikasvu ei aiheuta saumojen fyysistä vahingoittumista elementtijulkisivuissa, vaan haitta on lähinnä esteettinen. (Pessi ym. 1999, 12.) Mikrobikasvuston esiintyminen lämmitys-, tuuletus- ja ilmanvaihtojärjestelmien lasikuitueristeessä on harvinaista, mutta mahdollista jos ilman suhteellinen kosteus on yli 90 %. Sopivissa olosuhteissa lasikuidun huokoinen pinta imee kosteutta ja orgaanisia yhdisteitä, jolloin mikrobien kasvaminen on mahdollista. (Ezeonu ym. 1994.)

4.5 Mikrobikasvuston tutkiminen

Useimmiten mikrobiologisten mittausten tarkoituksena on vahvistaa tai poissulkea rakennuksen kosteusvaurion mahdollisuus (Leivo ym. 1998, 87). Yhdistämällä mikrobikasvun määrä ja lajiston määrittäminen kosteus- ja muihin rakennusteknisiin havaintoihin voidaan päätellä vaurioiden sijainti, syy, laajuus ja va-

kavuus (Meklin ym. 2007, 15). Mikrobin esiintyminen sandwich-elementtien eristetilassa on todettu varsin harvinaiseksi, eikä mikrobitutkimuksia ole välttämättä tehdä varmuuden vuoksi. Mikrobiongelmien todennäköisyys kasvaa, mikäli eristetilan kosteusrasitus on ollut erittäin suuri. Mikäli epäillään, että eristetilassa on mikrobikasvustoja, niiden toteamiseksi tarvitaan laboratoriotutkimuksia. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 81.)

4.5.1 Mikrobinäytteet

Mikrobikasvu todetaan rakennusteknisten selvitysten ja mikrobiologisten määrittysten avulla. Pinta- ja materiaalinäytteitä otetaan kohdista, joihin on arvioitu muodostuneen kosteus- ja mikrobivaurioita. Vaurioita voidaan tutkia myös sisäilmanäytteillä, kun halutaan selvittää ongelman laajuutta tai rakennuksen käyttäjillä on oireita, mutta homekasvustoa ei ole näkyvillä. Otetuista näytteistä määritetään mikrobikasvun voimakkuus ja näytteessä esiintyvä lajisto. (Meklin ym. 2007, 14; RT 80–10712 1999.) Mikrobinäytteiden oton ja analysoinnin tulee perustua laboratorion omaan laadunvarmistusjärjestelmään toiminnan laatuvaatimuksien täyttämiseksi (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 154).

Pintanäytteenotto soveltuu koville ja sileille pinnoille, eikä näytteenotto vaurioita tutkittavaa rakennetta (Meklin ym. 2007, 19). Pintanäyte otetaan sivelemällä tutkittavaa pintaa määrääältä, tavallisimmin $10 \times 10 \text{ cm}^2$, steriiliin laimennosliuokseen (5 ml nestettä koeputkessa) kostutetulla steriilillä vanupuikolla. Näytealue sivellään puikkoa pyörittäen tasaisesti kolmeen kertaan. Näyte voidaan siirrostaa välittömästi elatusaineen pinnalle sivelemällä kasvatusmaljan pintaa tasaisesti näytteenottopuikolla. Näyte voidaan myös toimittaa suoraan laboratorioon jatkokäsittelyä varten, jolloin vanupuikko laitetaan puskuriliuosputkeen näytteenoton jälkeen. Ilman viljelyä tapahtuvaa suoramikroskopiointia varten voidaan ottaa myös teippinäyte painamalla tavallista kaksipuoleisen teipin palaa tutkittavaa pintaa vasten. Suoramikroskopiointissa pyritään havaitsemaan pinnalta teippiin tarttuneet mikrobit, itiöt ja mahdollinen rihmasto. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 156; Leivo ym. 1998, 88.)

Rakennusmateriaalinäytteiden ottamista suositellaan silloin, kun mikrobikasvustoa epäillään huokoisessa tai helposti irrotettavassa ja hienonnettavassa materiaalissa, kuten eristeissä, tapetin tai kipsilevyn pinnalla, tai jos rakennetta on jo avattu. Jos materiaali on huokoista, näytettä otetaan noin 200–300 cm³ (noin 3–10 grammaa). Home-, hiiva- ja bakteerikasvusto esiintyy yleensä materiaalin pinnalla. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 156; Meklin ym. 2007, 19.) Jokaista vauriokohdasta otettua näytettä kohden otetaan vertailunäyte vastaavasta rakennetyypistä vaurioitumattomalta, samaa materiaalia olevalta pinnalta. Vertailunäytteet otetaan kuivilta pinnoilta, joissa ei havaita kosteusläikkiä tai poikkeavaa väriä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 155.) Vanhemmissa rakennuksissa on käytetty eristemateriaalina luonnonmateriaaleja, joissa esiintyy luonnostaan paljon mikrobeja (Meklin ym. 2007, 17).

Betonielementtien tutkiminen tapahtuu pääasiassa lämmöneristeestä otettuja näytteitä tutkimalla. Mikrobitutkimuksia on suositeltavaa tehdä vain silloin, kun eristetilassa epäillään olevan mikrobikasvustoja. Sandwich-elementin eristetilan mikrobikasvustojen olemassaoloa tai kasvustojen sijaintia seinässä ei voida päätellä pelkästään julkisivun kunnon, kosteusrasitustason tai eristemateriaalin ulkonäön perusteella. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 81.) Mikrobinäytteet voidaan ottaa betoninäytelieriöiden porauksen yhteydessä. Eristenäyte tulee ottaa paikasta, joka on säilynyt kuivana porauksen aikana. Näytteenottimina voidaan käyttää tarkoitukseen soveltuvia terävä- ja pitkäkärkisiä pihtejä tai tarttujia. Mikäli näytteitä otetaan ainoastaan saumojen kohdalta, voidaan saada väärä käsitys mikrobimääristä ja -lajeista. Sauman kohdalla saumavuodot voivat aiheuttaa kosteusrasitusta eristeisiin ja ulkoilman homeitiöitä on saattanut päästä eristetilaan. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 112–113.)

Materiaalinäytteiden ottamisessa on tärkeää, että edetään aiempien havaintojen perusteella puhtaimmista likaisempiin materiaaleihin näytteiden keskinäisen kontaminaation välttämiseksi. On tärkeää huolehtia siitä, että näytteenottaja ei muuta näytteen mikrobiologiaa. Riski pienenee, kun käytetään steriilejä välineitä ja kertakäyttökäsineitä. Näyte on suljettava välittömästi tiiviiseen muovipussiin. Kastumisriskin takia näytteenottoa sateisella ilmalla on syytä välttää. Näytteitä tulee

säilyttää kuivassa ja tasalämpöisessä paikassa. Näytteet tulisi toimittaa laboratorioon mahdollisimman nopeasti, viimeistään näytteenottoa seuraavana päivänä, ettei mikrobisto muutu näytteenoton ja näytteenkäsittelyn välisenä aikana. (Leivo ym. 1998, 88–89; Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 113.)

Ilmanäyte on ainoa tapa osoittaa, mille mikrobeille kosteusvauriorakennuksessa olevat ihmiset altistuvat. Sisäilman mikrobimittaukset ovat tarpeen myös silloin, kun mikrobikasvu ei ole näkyvää eikä vaurioita ole voitu paikallistaa rakennuksen kosteusvauriokuntoarvioilla, mutta esimerkiksi homeenhaju tai asukkaiden oireilu viittaavat mahdolliseen vaurioon. Sisäilman mikrobimittauksilla voidaan osoittaa kulkeutuuko mikrobeja sisäilmaan vaurioituneista rakenteista muualta, esimerkiksi porraskäytävästä tai kellaritilasta. Ilmanäytteitä otetaan myös, kun arvioidaan onko mikrobivaurioituneiden rakenteiden korjaus onnistunut. Sisäilmasta otettavilla mikrobiologisilla ilmanäytteillä selvitetään, poikkeavatko rakennuksen sisäilmapitoisuudet ja suvusto tavanomaisesta (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 153; Leivo ym. 1998, 89; Meklin ym. 2007, 19, 34.) Mikäli ulkoseinäelementin eristetilassa on materiaalinäytteiden tutkimuksen perusteella havaittu mikrobikasvustoa, kasvuston vaikutusta asunnon sisäilmaan voidaan tutkia ilmanäytteiden avulla (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 81).

Ilmanäyte kuvaa huoneilman laatua riippumatta siitä, ovatko mikrobit lähtöisin tuulilmakehanavasta, vaurioituneista rakenteista, homehtuneesta kukkamullasta tai muualta ympäristöstä (Leivo ym. 1998, 89). Sisäilman mikrobitasot heijastavat tavallisesti ulkoilman mikrobitasoa. Mikrobipitoisuudet vaihtelevat vuodenajan, vuorokaudenajan, sääolojen, ihmisten toiminnan ja ilmanvaihdon mukaan. Rakennuksen käytön ja ilmanvaihdon aiheuttamat ilmavirtaukset nostavat pinnoille laskeutuneet partikkelit uudelleen ilmaan ja siirtävät partikkeleita huoneesta toiseen. (Meklin ym. 2007, 15; Pitkäranta 2012.)

Mikäli sisäilman mikrobimittauksia tehdään sulan maan aikana, on otettava samanaikaisesti näyte myös ulkoilmasta ja selvitettävä ulkoilman sienipitoisuus sekä mikrobisuvusto. Tulosten arvioinnin tukena voidaan käyttää sisäilman mikrobimittauksen tuloksia vaurioitumattomasta vertailuasunnosta. Sisäilman mikrobinäytteet otetaan ajankohtana, joka edustaa mahdollisimman hyvin huoneiston

normaalia käyttötilannetta. Tästä syystä huoneistossa ei tulisi siivota, käsitellä tekstiilejä, elintarvikkeita ja polttopuita, eikä pitää lemmikkieläimiä 1–2 tuntia ennen mittauksia. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 157.)

Yksittäisen ilmanäytteen osoitusarvo on vähäinen. Tämän vuoksi tutkittavista tiloista tulisi aina ottaa useita näytteitä. Mikrobipitoisuuksissa tapahtuvan vaihtelun takia näytteitä olisi hyvä ottaa pidemmällä aikavälillä. Jos näytteet kerätään lyhyen ajan sisällä, pitäisi ottaa useita rinnakkaisia näytteitä saman edustavuuden saavuttamiseksi. (Leivo ym. 1998, 89; Pitkäranta 2012.) Suositeltavin keräin ilman mikrobien näytteenottoon on impaktori, esimerkiksi 6- tai 2-vaiheimpaktori. Kasvatusmaljat laitetaan impaktoriin ja maljojen kannet jätetään alaspäin puhtaasta alustan päälle. Näytteenottoaika on noin kymmenen minuuttia. Näytteet otetaan 1–1,5 metrin korkeudelta, huoneen keskeltä. Ikkunat ja ovet pidetään suljettuina näytteenoton aikana. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 159; Meklin ym. 2007, 20.) Ilmanäytteen sijaan voidaan kerätä pinnoille laskeutunutta pölyä, joka on itsessään pidemmällä aikavälillä kerääntynyt näyte (Pitkäranta 2012).

Näytteiden taustatiedoilla on merkitystä. On hyvä tietää, minkä vuoksi näytteet on otettu, mitä näytteitä ja mistä kohdasta ne on otettu, jotta voidaan arvioida tulokseen vaikuttaneita tekijöitä. Näytteenotossa tarvitaan ammattitaitoa, ja hyvä näytteenottaja merkitsee jo näytteenottohetkellä havaintoja näytteenottotilanteesta ja näytteestä. Näytteenottoajankohdasta tutkimuslaboratorio voi päätellä, kuinka pitkä aika on kulunut näytteenoton ja näytteen käsittelyn välillä. (Leivo ym. 1998, 92–93.)

4.5.2 Mikrobimääritykset

Mikrobinäytteistä määritetään yleensä sienet ja bakteerit. Mikrobien tutkimisessa käytetään tavallisimmin valomikroskooppia tai elektronimikroskooppia. Sienien tunnistaminen perustuu mikroskopiassa näkyviin rakenteisiin, kuten rihmastominaisuuksiin, itiöiden väriin, muotoon ja pintarakenteisiin sekä itiöitä tuottavien solujen ominaisuuksiin. Bakteerien tunnistaminen voi perustua värjäykseen, mik-

roskopiassa näkyvään solun muotoon ja biokemiallisiin testeihin. Mikroskooppisilla laskentamenetelmillä voidaan hyvin arvioida kasvukykyisten ja -kyvyttömien mikrobien yhteismäärä, mutta mikrobien tunnistaminen on erittäin vaativaa. Viljelymenetelmiä käytetään sekä bakteerien että sienten tutkimuksissa, koska kasvaessaan keinoitekoisilla elatusalustoilla mikrobien tunnistaminen helpottuu huomattavasti. Viljelyssä tulevat kuitenkin esiin vain käytetyissä viljelyoloissa kasvavat elinkykyiset mikrobit. (Leivo ym. 1998, 41, 87, 90).

Tutkittavalta pinnalta vanupuikolla kerätyt mikrobit irrotetaan ravistelemalla vanupuikosta puskuriliuokseen, josta tehdään laimennossarja. Materiaalinäytteestä voidaan siirtää pieniä murusia sellaisenaan elatusaineen pinnalle tai kvantitatiivisessa menetelmässä punnitaan esimerkiksi yksi gramma näytettä, joka laitetaan laimennosliuokseen, mikrobit irrotetaan näytteestä nesteeseen ravistelemalla tai ultraäänikäsittelyllä ja tehdään laimennossarja. Kustakin laimennoksesta otetaan pieni näyte elatusaineen pinnalle. Ilmanäytteet otetaan impaktorilla suoraan kasvatusmaljoille. Kasvatuksen jälkeen pesäkemäärät lasketaan kustakin laimennoksesta ja pesäkkeet tunnistetaan. Syntyneestä kokonaisuudesta käytetään nimitystä pesäkkeen muodostava yksikkö (pmy) tai englanninkielisestä termistä tulevaa lyhennettä cfu (colony forming unit). Yksi silminnähtävä pesäke on muodostunut joko yhdestä itiöstä, mikrobista, sienirihmaston palasesta, toisiinsa taakertuneista mikrobeista, tai toisissaan kiinni olevista itiöistä tai bakteereista. (Leivo ym. 1998, 88–92.)

Mikrobinäytteiden analysoinnissa sienille suositeltava kasvualusta on mallasuu-teagar ja bakteereille tryptoni-hiivauute-glukoosiagar. Jos kyseessä on vanha, kuivunut vaurio tai kosteusvaurion reuna-alue, materiaaleissa saattaa kasvaa myös kuivemmalla kasvualustalla viihtyviä lajeja, jotka kasvavat parhaiten dikloran-glyseroli-18-agarilla. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 154.) Bakteerimaljoja kasvatetaan aluksi seitsemän vuorokautta, jonka jälkeen lasketaan bakteeripesäkkeiden kokonaislukumäärä. Kasvatusta jatketaan vielä toiset seitsemän vuorokautta, jonka jälkeen maljoilta lasketaan sädesienipesäkkeiden lukumäärä. Sienimaljojen kasvatusaika on seitsemän vuorokautta. Ennen viljelyä suositellaan näytteen mikroskopointia suoraan näytteestä tai teippinäytteestä. Tämä on

erityisesti tarpeen silloin, kun kostunut materiaali on kuivunut ja on oletettavaa, että siinä olevat mikrobit eivät ole elinkykyisiä eivätkä näin ollen tule esiin viljelyllä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 160–161.)

Pesäkkeitä voidaan tarkastella suoraan maljalta. Tunnistettavista pesäkkeistä voidaan tehdä myös preparaatti valomikroskooppitarkastelua varten. Mikroskooppilla tarkasteltuna aktinomykeeteissä havaitaan rihmastoja ja pyöreitä tai soikeita itiöitä. Sienialustoilta lasketaan sienipesäkkeiden kokonaismäärät. Eri homeiden pesäkkeet ja hiivapesäkkeet lasketaan erikseen. Valomikroskooppilla tarkasteltaessa homeissa havaitaan rihmastoja ja itiöitä muodostavia rakenteita sekä erikoisia ja -muotoisia itiöitä. Maljalla olevan pesäkemäärän laskenta on luotettavimmillaan, jos pesäkemäärä on sienimaljoilla alle 150 pesäkettä ja bakteerimaljoilla alle 250 pesäkettä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 162.)

Nykyinen tietous sisäilman sienistä on peräisin pitkästä historiasta viljely- ja suoramikroskopointimenetelmistä. Näiden menetelmien tiedetään kuitenkin suosivan tiettyjä lajeja. (Pitkäranta ym. 2011.) Pienet soluosat menettävät elinkykynsä nopeammin kuin itiöt, joten niitä ei välttämättä havaita viljelymenetelmin, mutta myös pienet soluosat voivat olla toksisia ja aiheuttaa allergiaa. Pienen kokonsa vuoksi ne pääsevät helposti hengitysteihin. Suoramikroskopoinnilla havaittujen, mutta viljelykelvottomien mikrobien joukossa on muun muassa kuolleita tai lepotilassa olevia soluja sekä harvinaisia ja harvalukuisia mikrobeja, jotka peittyvät muiden mikrobien alle tai eivät kasva hyvin käytetyissä viljelyolosuhteissa. (Pitkäranta 2012.)

Uudet molekyylibiologiset menetelmät, kuten polymeerasiketjureaktio (PCR), perustuvat mikrobin perintöaineksen tunnistamiseen (Leivo ym. 1998, 41). DNA-pohjaiset menetelmät antavat tulokseksi huomattavasti suurempia arvoja kuin käytössä olevat viljelymenetelmät, koska ne mittaavat elävien mikrobien DNA:n lisäksi myös kuolleiden mikrobien DNA:ta (Meklin ym. 2007, 28). Tutkimusmenetelmiä vertaamalla on havaittu, että runsaimmin esiintyvät sienilajit havaitaan kaikilla menetelmillä, mutta viljelyyn perustuvat menetelmät antavat aliarvion mikrobilajiston monimuotoisuudesta. Jotkut runsaana esiintyvät lajit peittävät muiden lajien näkymisen. (Pitkäranta ym. 2011.)

Koska perinteisillä menetelmillä, kuten itiöiden laskemisella, ei ole havaittu korrelaatiota oireilun määrään, Adhikari ym. (2013) ehdottavat, että tutkittaessa homevaurioita, pitäisi mitata myös pienempien solupartikkelien määrää. Sienifragmenttien vapautuminen ilmaan riippuu sienilajista, ilmavirtauksista ja kontaminoituneen materiaalin koostumuksesta. Itiöiden määrällä ja ilmaan vapautuvien kapaleiden määrällä ei näytä olevan korrelaatiota. Sienisolujen fragmentit voivat leijua ilmassa pidempään kuin suuremmat partikkelit, kuten sieni-itiöt. Sienten tuottamaa NAHA-entsyymiä (b-N-asetyyliheksaamidaasi) esiintyy sienten eri muodoissa, myös pienissä partikkeleissa ja kuivuneessa sienikasvustossa. Määrittämällä näytteiden NAHA-entsyymiaktiivisuus voitaisiin arvioida rakennuksen homeongelmia. Pienissä partikkeleissa on iso osa sienten kokonaisbiomassasta ja endotoksiineista, joten niiden osuus tulisi ottaa huomioon. (Adhikari ym. 2013.)

4.5.3 Mikrobitulokset

Mikrobituloksia koskevassa lausunnossa tai raportissa on aina ilmoitettava käytetty keräys- ja analysointimenetelmä, määrittysraja sekä tulosten tulkintaperiaatteet (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 173). Kohonnut pitoisuus tai epätavallinen lajisto kertovat mikrobilähteestä rakennuksessa. Löydökset tietyssä huonetilassa viittaavat vaurion sijaintiin kyseisessä tilassa. Tulokset voivat antaa viitteitä kuntotutkimukselle, joka edellyttää rakenteiden avaamista vauriokohdan paikallistamiseksi. (Meklin ym. 2007, 19.) Tulkintaa vaikeuttaa se, että mikrobit leviävät vauriokohdasta ilmaan ja poistuvat ilmasta takertumalla vauriottomillekin pinnoille (Leivo ym. 1998, 94).

Mikroskooppilaskennassa ei eroteta eläviä ja kuolleita mikrobeja. Tuloksena on tavallisesti kokonaisitiöpitoisuus ja tulos ilmoitetaan lukumääränä. Kasvatuksella menetelmällä saatu tulos on aina aliarvio, koska viljelyssä saadaan tietoa ainoastaan niistä mikrobeista, joille käytetyt kasvatusalustat ja kasvuolosuhteet sopivat. (Leivo ym. 1998, 92.) Laimennossarjamenetelmä on kvantitatiivinen, ja sen antama tulos on pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määrä neliösenttimet-

riä tai grammaa kohden (Leivo ym. 1998, 88). Ilmanäytteiden mikrobimäärä ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määränä kuutiometrissä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 171).

Jos pintanäytteessä on paljon mikrobeja, tulos viittaa mikrobien kasvuun tutkitulla pinnalla. (Leivo ym. 1998, 94.) Kuivien vaurioitumattomien pintojen sieni-itiöpitoisuudet ovat yleensä alle 10 cfu/cm². Jos vauriopinnalta otetun näytteen sieni-itiöpitoisuus on yli 1 000 cfu/cm² ja vähintään sata kertaa suurempi kuin vertailupinnan näytteessä, voidaan vauriokohdassa katsoa esiintyvän sienikasvustoa. Mikäli vauriokohdasta otetun näytteen sädesienipitoisuus on vähintään kymmenen kertaa suurempi kuin vertailukohdasta otetun näytteen pitoisuus, voidaan vauriokohdassa katsoa esiintyvän sädesienikasvustoa. Pintanäytteen mikrobipitoisuus voi olla pieni myös sellaisessa tapauksessa, että kyseessä on osittain kuivunut vaurio. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 166–167.)

Rakennusmateriaaleissa voidaan katsoa olevan sienikasvustoa, kun näytteen sieni-itiöpitoisuus on vähintään 10 000 cfu/g. Näytteen bakteeripitoisuus vähintään 100 000 cfu/g viittaa bakteerikasvuun materiaalissa. Jos sädesienipitoisuus on suurempi kuin 500 cfu/g, se viittaa sädesienikasvustoon näytteessä. Epätavallinen lajisto saattaa viitata vaurioon. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 169.) Jos rakennusmateriaalinäytteessä on runsaasti mikrobeja, tulos on viite kosteusvauriosta, samoin jos näytteessä esiintyy indikaattorimikrobeja. Vanhat eristämateriaalit ovat joskus hankalia tulkittavia, sillä joissain materiaaleissa mikrobien määrä lisääntyy normaalisti ikääntymisen seurauksena ja tätä normaalia kasvustoa voi olla vaikea erottaa kosteusvauriokasvustosta. (Leivo ym. 1998, 94.)

Jos ilman mikrobipitoisuus on suuri, tulos viittaa mikrobien olevan peräisin rakennuksen sisältä riippumatta siitä, löytyykö näytteestä indikaattorimikrobeja vai ei (Leivo ym. 1998, 94). Sisäilman sieni-pitoisuudet 100–500 cfu/m³ ovat poikkeavan suuria talviaikana. Aktinomykeetti-itiöiden esiintyminen yli 10 cfu/m³ pitoisuuksina viittaa mikrobikasvustoon rakennuksessa ja sisäilman aiheuttamaan terveyshaittaan. Jos aktinomykeettejä ei ole todettu, suuri bakteeripitoisuus (yli 4 500 cfu/m³) on useimmiten osoitus puutteellisesta ilmanvaihdosta. Tiettyyn huoneeseen painottuvat suuret pitoisuudet voivat antaa viitteitä vaurion sijainnista.

Määrän lisäksi tarkastellaan mikrobilajistoa. Sienten lajintunnistus on vaikeaa ja näin ollen ne tunnistetaan usein suku- tai ryhmätasolle. Joidenkin homeiden lajintunnistus on helpompaa pesäkkeen ulkonäön sekä itiöiden ja itiöitä muodostavien rakenteiden perusteella, joten myös lajitason tunnistusta tehdään. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 171.) Asunnon tilaa edustava pitoisuustaso voidaan selvittää tarkemmin toistamalla näytteenotto useita kertoja (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 170).

Mikrobivaurioituneelle materiaalille muodostuva mikrobilajisto on usein monimuotoinen. Joissain näytteissä havaitaan normaalia enemmän mikrobisukuja ja jossain tapauksissa sienten yleisyysjärjestys on epätavallinen. Hyvin tunnettujen mikrobilajien, kuten ulkona esiintyvien sienten, homeiden ja ihmisen iholla elävien bakteerien lisäksi on paljon mikrobeja, joita ei saada tunnistettua perinteisin viljelymenetelmin. (Nevalainen 2003; Pitkäranta 2012.) Rakennusten sisäilma-, pinta- ja materiaalinäytteissä esiintyy tavallisimmin *Penicillium*-, *Aspergillus*- ja *Cladosporium*-sienisukuja sekä hiivoja (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 172).

Tutkimusten perusteella PCR-menetelmällä mitatut mikrobipitoisuudet ovat yleensä 10–100 kertaa suuremmat kuin viljelymenetelmällä saadut pitoisuudet. PCR-menetelmällä havaitaan paremmin pieniä pitoisuuksia, joten mikrobeja löytyy useammasta näytteestä. Kasvatusmenetelmällä saatua tietoa mikrobien määrästä rakennusmateriaaleissa, ilmassa tai pinnoilla ei voida sellaisenaan käyttää arvioitaessa PCR:llä määritettyjä mikrobien pitoisuuksia, vaan PCR:ää varten on kerättävä sille ominainen havaintoaineisto. PCR-menetelmän antama tulos ilmoittaa sekä elävät että kuolleet mikrobit ja niiden osat, mutta tuloksen perusteella ei voida päätellä, kasvaako kyseinen mikrobi näytteessä vai onko se kulkeutunut esimerkiksi ilmapirtausten mukana näytteeseen. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 174.)

5 KOSTEUSVAURIOIDEN KORJAUS

Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus on oleellinen osa rakennuksen kosteusvaurioiden korjaushanketta. Kuntotutkimuksella selvitetään kosteusvaurion syyt, jotta osataan valita oikeat korjausmenetelmät niiden poistamiseen. Korjaustöiden laajuuden määrittely on oleellinen osa vaurioselvitystä. Korjaus on tehtävä tarpeenmukaisessa laajuudessa siten, että kosteusvauriosta aiheutuvat terveyshaitat poistuvat ja rakennusta voidaan käyttää turvallisesti, mutta myös siten, että korjauskustannukset pysyvät kohtuullisina. Korjattavat kohdat ja korjausten laajuus määritellään aina yksityiskohtaisesti. (Ympäristöministeriö 1997a, 9; Ympäristöministeriö 1997b, 60.)

Kun rakennuksessa on todettu kosteusvaurio tai mikrobikasvusto, on mahdollisimman pian ryhdyttävä selvittämään rakenteissa esiintyvän kosteusvaurion aiheuttajia ja vaurioituneen alueen laajuutta. Nopealla ja tehokkaalla kuivatuksella sekä viipymättä käynnistetyillä korjaustöillä kyetään vaurion eteneminen pysäyttämään heti alkuunsa ja pitkäaikaisemmassa kosteusvauriossa rajoittamaan vaurioalueen laajeneminen. Homeet voivat lähteä kasvamaan muutaman viikon sisällä, ja puurakenteissa laho voi käynnistyä muutamassa kuukaudessa. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 175; Ympäristöministeriö 1997b, 61.) Korjaustoimenpiteisiin kuuluu rakenteiden purkaminen, rakenteiden kuivattaminen, homeen poistaminen joko rakenteen pinnalta tai vaihtamalla materiaalit, mikrobikasvuston desinfiointi (vain tarkoin harkituissa kohteissa haittapuolten takia) ja asbestipurkutekniikan käyttäminen selvästi homevaurioituneiden rakenteiden käsittelyssä (Leivo ym. 1998, 116–117).

Ennen purkutyötä ympäröivät tilat suojataan sulkemalla korjattava kohde homepölyn leviämisen estämiseksi. Purku- ja korjaustyötä tekevien tulee suojautua homepölyltä hengityssuojaimella sekä suojapuvulla ja -käsineillä. Jos kohteessa on silminnähtäviä home- ja kosteusvaurioita, tilan käyttäjillä on mikrobien kasvusta johtuvia ärsytysoireita ja sairauksia tai siellä on esimerkiksi tapahtunut putkivuoto, kohde eristetään ilmanvaihtoteknisesti muista tiloista. Jos korjauskohde on yli 0,5 m², rakenteissa on hometta, homeet tuottavat toksineja ja rakenteet

ovat olleet kauan märkinä, kohde osastoidaan ja korjauskohteeseen kuljetaan sulun kautta. (RT 80–10712 1999.) Purkukorjaus mikrobivaurion poistossa toimii todennäköisesti aina, mutta voi olla ylimitoitettu vauriotilanteeseen nähden (Pessi ym. 1999, 81).

Kuivattamisella poistetaan haitallinen kosteus eli kuivattamisesta on hyötyä vain, jos kosteuslähde on eliminoitu. Kuivattaminen voidaan toteuttaa puhaltamalla rakenteeseen lämmitettyä ilmaa, kuivattua ilmaa tai lämmittämällä rakennetta. Mikäli rakenne on kastunut hetkellisesti eikä rakenteen sisään ole jäänyt vettä, voidaan kuivattaminen hoitaa luonnollisella ilmankierrolla purkamalla ja avaamalla rakenteita siten, että ilma pääsee vapaasti kiertämään. Koneellista kuivatusta vaativat yleensä esimerkiksi betonilattiat, koska niiden luonnollinen kuivuminen on niin hidasta, että kosteutta jää helposti korjattuun rakenteeseen. Koneellinen kuivatus on yleisin rakenteiden kuivatustapa. Paikallisesti kastuneita pieniä alueita voidaan kuivattaa tehokkaasti mikroaaltokuivaimilla. Kuivatuksen lopputulos on aina varmistettava asianmukaisella kosteuden mittauksella, oli rakenne sitten kuivattu millä menetelmällä tahansa. (Leivo ym. 1998, 118–119; Ympäristöministeriö 1997b, 61–62.)

Mikrobikasvustojen saastuttamat materiaalit on yleensä uusittava, etenkin jos mikrobikasvusto on sisätilojen pintamateriaaleissa tai vauriosta johtuvien epäpuhtauksien kulkeutuminen asunnon sisätiloihin on mahdollista. Jos vaurioitunut materiaalia ei voida uusia, esimerkiksi kantavasta rakenteesta, poistetaan mikrobikasvusto höyläämällä, hiomalla tai harjaamalla. Uusiminen ulotetaan noin 0,2–0,5 metrin etäisyydelle vaurioituneen kohdan ohi terveeseen materiaaliin. Uusimisen rajakohtina on parasta käyttää rakenteiden luonnollisia saumakohtia, jolloin vanha ja uusi rakenne saadaan liitettyä toisiinsa saumattomasti. Osa kosteusvaurioituneista rakennusosista ja materiaaleista voi olla sellaisia, ettei niiden uusiminen ole taloudellisesti järkevää. (Ympäristöministeriö 1997b, 61–63.)

Homekasvuston mekaanisen poistamisen jälkeen pinnoilta poistetaan pöly imuroimalla ja puhdistusharjauksella. Rakennukseen jätettävät homeen vaurioittamat pinnat käsitellään tarvittaessa hometta tuhoavilla aineilla tai desinfiointiai-

neilla. Desinfiointiaineet tuhoavat homeihmastot ja -itiöt, mutta ne eivät estä homeen kasvua jatkossa, mikäli rakenteet jäävät kosteiksi tai ne kostuvat uudelleen. Tyypillinen desinfiointiaine on hypokloriittiliuos. Hypokloriittikäsittelyn jälkeen pinnat on pyyhittävä ja huuhdeltava vedellä ja sen jälkeen annettava kuivua. Huuhdeltuvaatimuksen ja hajuhaittojen vuoksi aineet ovat harvoin käyttökelpoisia olemassa olevissa rakennuksissa. Homeen kasvua pidemmän aikaa estäviä aineita, biosidejä, käytetään silloin, kun ei voida olla aivan varmoja rakenteiden pysymisestä kuivana jatkossa. Tuotteet ovat kemialliselta koostumukseltaan, teholtaan ja käyttötavoiltaan hyvin erilaisia. Kemiallisten aineiden käytössä tulee tarkoin noudattaa valmistajan antamia ohjeita niin käyttötavan, työsuojelun kuin myös varoajan suhteen. Kemiallinen saneeraus ei korvaa rakenteiden uusimista vaan täydentää sitä. (Ympäristöministeriö 1997b, 63.)

Rakenteiden sisällä tai ulkopuolisissa tuuletustiloissa olevaa homehtunutta materiaalia ei välttämättä tarvitse uusida tai puhdistaa, mikäli homepölyn tai vastavien aineiden kulkeutuminen huonetiloihin voidaan estää luotettavasti (Ympäristöministeriö 1997b, 60). Kapselointia voidaan harkita, jos rakenteet ovat vaurioituneet vain vähän ja ne ovat kuivattavissa pysyvästi. Kapselointia on kuitenkin syytä käyttää vain silloin, kun muut korjaustavat ovat liian hankalia tai niiden kustannukset muodostuisivat kohtuuttomiksi. Korjaustyö on tehtävä huolellisesti ja homevauriokohtia on tarkkailtava sopivin väliajoin. Home ei sinänsä ole vaaraksi rakenteiden kantavuudelle, mikäli lahoaminen ei ole vielä käynnistynyt, mutta se aiheuttaa terveysriskin ihmisille. Kapseloinnin tavoitteena on estää homepölyn leviäminen sisäilmaan tiivistämällä rakenne. Kapseloitaessa rakenteiden höyrynsulku tehdään niin tiiviiksi, ettei ilma pääse kulkeutumaan sisälle. Käytännössä tämä merkitsee lattian ja seinän sekä seinän ja katon välisten saumojen tiivistämistä esimerkiksi elastisilla massoilla. Myös ilmanvaihdon toimivuus ja korvausilman saanti on tarkistettava korjauksen yhteydessä. (RT 80–10712 1999; Ympäristöministeriö 1997b, 62.)

Peittävän korjauksen periaatteena on, että vaurioitunut rakenne peitetään uudella pintaverhouksella. Verhouksella voidaan useimmissa tapauksissa vähentää kos-

teusrasitusta huomattavasti, jolloin rapautuminen pysähtyy ja raudoitteiden korroosio hidastuu merkittävästi. Vanhan ulkokuoren purkaminen ei yleensä ole tarpeen, mutta mikäli ulkokuori puretaan, myös lämmöneristys joudutaan uusimaan. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002, 49.) Verhous ja lisälämmöneristys poistavat kasvuston vaatimat olosuhteet vanhassa eristeessä, mutta kuiva kasvusto jää jäljelle. Verhoukseen voidaan yhdistää sisäpuolinen tiivistys, jolla vähennetään ilmapuotoja ulkoseinän läpi. Korvausilman saannin parantamisella seinärakenteesta lähtöisin olevan mikrobikontaminaation vaikutukset vähenevät. (Pessi ym. 1999, 80–81.)

Yleisin syy epäonnistuneisiin homekorjauksiin on liian suppea vaurion korjaus tai se, että vaurion syytä ei ole poistettu. Mitä suppeampana ja kevyempänä korjaus tehdään eli mitä enemmän hometta rakenteisiin jätetään, sitä suurempi riski otetaan. Homevaurioituneet tilat on saatava korjaamalla sellaiseen kuntoon, että niitä voidaan turvallisesti käyttää jatkossa. (Ympäristöministeriö 1997b, 69.) Oireilu ei välttämättä lopu heti, kun korjaukset on tehty. Korjauksen onnistuminen kannattaa arvioida vasta 2–3 kuukauden kuluttua, kun korjauksen yhteydessä ilmaan levinnyt pöly on varmasti saatu siivottua pois. (Leivo ym. 1998, 103–104.)

6 NYKYINEN TOIMINTATAPA JA KUNTOTUTKIMUSRAPORTIT

Insinööritoimisto Lauri Mehto on halunnut pitää mikrobianalyysit osana julkisivujen kuntotutkimusta, koska tutkimuksissa on aiemmin tullut vastaan muutamia kohteita, joissa on havaittu kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Kun näytteet on otettu huolellisesti ja voidaan olla varmoja, että positiiviset mikrobilöydökset eivät ole näytteenoton aiheuttamia, tulee selvittää vaurion laajuus ja se, onko löydöksellä vaikutusta myös sisäilmaan.

6.1 Esimerkkikohteiden esittely

Kahden esimerkkikohteen avulla havainnollistetaan, miten jatkotutkimusten kanssa on edetty, kun kuntotutkimuksen yhteydessä mineraalivillasta on löytynyt poikkeavia mikrobipitoisuuksia. Kohteiden kuntotutkimukset tehtiin 1999. Molemmat kohteet ovat asuinkerrostaloja. Kohde A sijaitsee Espoossa ja kohde B Hollolassa.

Kohteessa A otettiin ensin kolme mineraalivillanäytettä mikrobimäärityksiin kuntotutkimuksen yhteydessä. Kussakin kolmessa näytteessä havaittiin poikkeavaa mikrobikasvustoa, vaikka yhdessä näytteessä havaittujen mikrobien määrä oli vähäinen. Lisäselvitykseksi kohteesta otettiin 17 mineraalivillanäytettä lisää. Kuudessa lisänäytteessä oli poikkeava mikrobikasvusto, mutta 11 näytteessä ei havaittu kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Kohteeseen ehdotettiin sisäilmaselvitystä, joka myös toteutettiin. Sisäilmaselvityksessä ainoastaan yhden asunnon sisäilmassa havaittiin poikkeavia mikrobipitoisuuksia ja selvityksessä ehdotettiin, että kyseisen asunnon kohdalla selvitettäisiin syy kosteuden pääsyyn ulkoseinä- ja kattorakenteisiin. Lämmöneristekerroksen ei voitu katsoa tuottavan yleisesti mikrobihaittoja huoneistoihin.

Koska kohteessa A kyseessä oli vain paikallinen, yhden asunnon kohdalla esiintyvä ongelma, ei korjausten yhteydessä ollut tarvetta purkaa vanhoja lämmöneristeitä. Ei kuitenkaan haluttu, että lämmöneristeessä oleva paikallinen mikrobikasvusto pääsisi vaikuttamaan huoneistojen sisäilmaan jatkossa, ja päädyttiin tiivistämään elementtiliitokset sisäpuolelta siten, että ilma ei pääse kulkeutumaan eristetilasta sisäilmaan. Uudesta rakenteesta haluttiin tehdä tuulettuva kosteuden kertymisen estämiseksi.

Kohteessa B oli neljä rakennusta, joista kahteen tehtiin kuntotutkimus vuonna 1999 ja kolmanteen vuonna 2004. Kustakin rakennuksesta otettiin kolme mineraalivillanäytettä mikrobitutkimuksiin kuntotutkimuksen yhteydessä. Lähes kaikissa näytteissä havaittiin poikkeavaa mikrobikasvustoa, vaikka joissain näytteissä mikrobikasvusto oli vähäistä. Myös kohteeseen B suositeltiin sisäilmamittauksia. Sisäilmatutkimuksissakin havaittiin yleisesti poikkeavia mikrobipitoisuuksia, vaikka pitoisuudet olivat joissain asunnoissa suurempia kuin toisissa.

Kaikille neljälle kohteen B rakennukselle haluttiin löytää yhtenäinen korjaustapa. Kuntotutkimusten ja niiden yhteydessä otettujen mikrobinäytteiden perusteella oli selvä, että kohteissa ei voida tehdä peittävää korjausta. Vanhat lämmöneristeet ja ulkokuoret olisi uusittava tai rakenteiden ilmatiiviys varmistettava perusteellisesti, ettei kontaminoituneista lämmöneristeistä pääsisi enää haitallisia yhdisteitä asuntojen sisäilmaan. Kuntotutkimuksen perusteella myös parvekkeiden korjaus tai uusiminen oli ajankohtaista. Koska kohteeseen vaadittiin merkittäviä korjaustöitä ja suurta rahallista panostusta, ei korjaustavan valinta ollut itsestään selvä. Rakennusten omistajat päätyivät odottamaan lopullisen korjauksen kanssa ja pohtimaan oikein mitoitettua korjaustapaa kohteelle.

6.2 Mineraalivillanäytteiden ottaminen

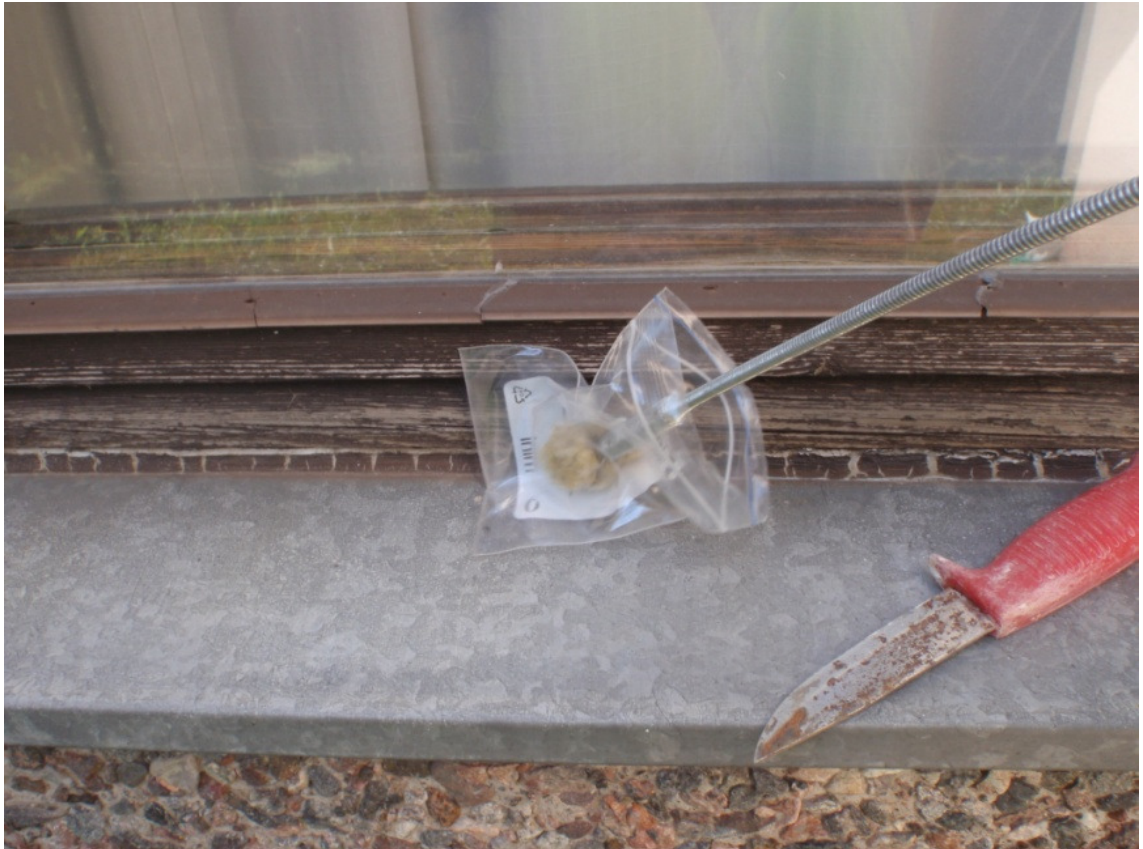
Insinööritoimisto Lauri Mehdon laatukäsikirjassa on kuvattu toimintaohje mineraalivillanäytteiden ottamiselle. Toimintaohjeiden tarkoituksena on, että mikrobitulokset olisivat luotettavia, kun mineraalivillanäytteet pyritään ottamaan aina huolellisesti ja samalla tavalla. Näytteet otetaan eri puolilta julkisivuja samalla,

kun julkisivusta porataan betoninäyte. Kun sandwich-elementin ulkokuoresta on porattu läpi, esiin tulleesta mineraalivillasta nostetaan pintakerros sivuun desinfioidulla puukon terällä (ks. kuva 1).



Kuva 1. Mineraalivillan pinta nostettu sivuun näytteenottoreiässä.

Desinfiointiin käytetään Sinolia, joka on 90–100 % etanolia (Lasol 2013). Villanäytteen sisästä otetaan desinfioidulla näytteenottimella noin viisi grammaa villaa tiiviisti suljettavaan pussiin varoen osumasta näytteenottimella muualle kuin villaan ja pussin sisälle (ks. kuva 2).



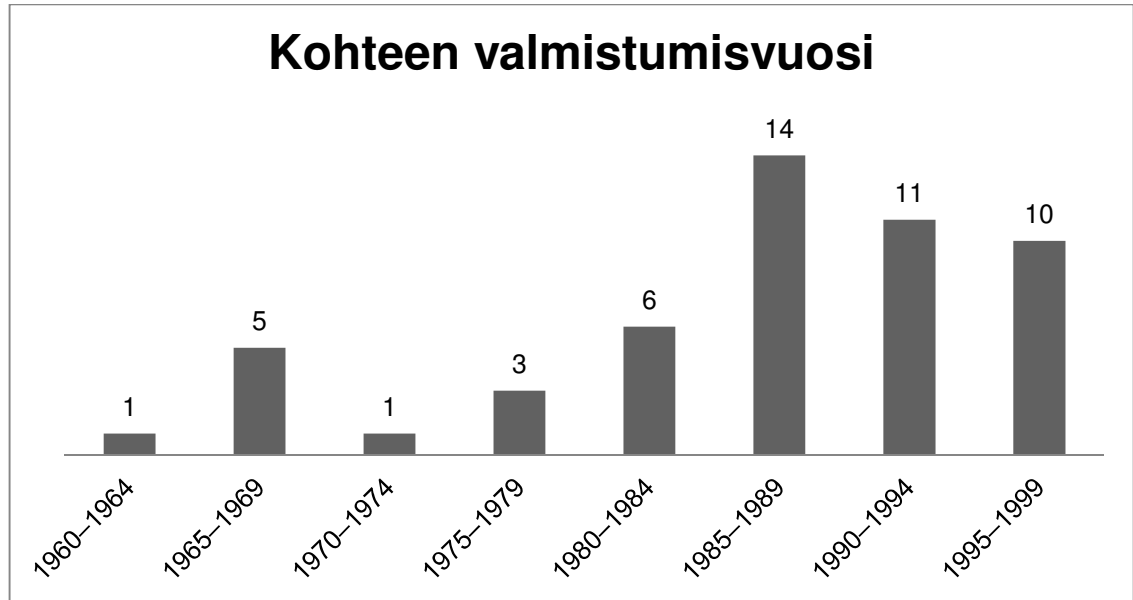
Kuva 2. Mineraalivillanäytteen ottamisessa tarvittavia välineitä.

Pussi suljetaan huolellisesti ja siihen kirjoitetaan tarvittavat tunnistetiedot. Otetut mikrobi-näytteet lähetetään tutkimuslaboratorioon kirjekuoressa mielellään samana päivänä, mutta mikäli se ei ole mahdollista, näytteitä säilytetään jääkaapissa yön yli.

6.3 Kuntotutkimusraportit

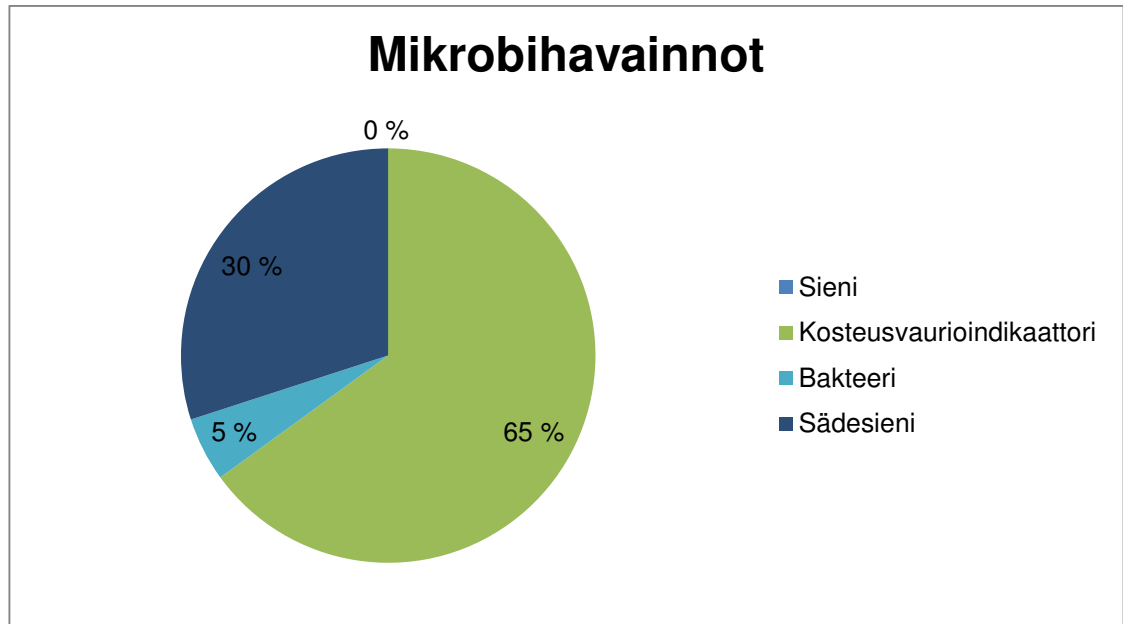
Jotta saataisiin selville, miten yleisiä poikkeavat mikrobilöydökset ovat kuntotutkimuksen yhteydessä otetuissa mineraalivillanäytteissä, käytiin läpi 73 kuntotutkimusraporttia. Raportit poimittiin toimiston sähköisestä arkistosta sattumanvaraisesti. 25 kohdetta jätettiin pois analyysistä, koska niistä ei ollut otettu mikrobi-näytteitä tai niiden julkisivut eivät olleet betonisandwich-elementtejä. Jäljelle jääneiden 48 kohteen kuntotutkimukset oli tehty vuosina 2002–2012, joista 73 % oli tehty vuosina 2010–2012.

Kuntotutkimusraporteista kerättiin taustatietoja kohteista, kuten kohteen sijainti, valmistumisvuosi ja otettujen mikrobinäytteiden määrä. Kohteen valmistumisvuodet on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Jakauma tutkittujen kuntotutkimuskohteiden valmistumisvuosista.

Tutkituissa kohteissa mikrobinäytteitä oli otettu yhteensä 162. Poikkeava mikrobipitoisuus havaittiin 13 kohteessa, yhteensä 20 näytteessä. Kohteet olivat seitsemältä eri paikkakunnalta ja niistä kolme oli valmistunut 60-luvulla, viisi 70-luvulla, kaksi 80-luvulla ja kolme 90-luvulla. Kustakin näytteestä arvioitiin erikseen homesienten, kosteusvaurioindikaattorien, bakteerien ja sädesienten pitoisuudet, ja jokaisessa näytteessä ainoastaan yhden mikrobiryhmän tulos oli yli normaali-ajan. Havainnot on esitetty kuviossa 2. Yhdessäkään näytteessä ei havaittu poikkeavan korkeita homesienipitoisuuksia.



Kuvio 2. Poikkeavien mikrobipitoisuuksien osuudet mikrobiryhmittäin.

Poikkeavat mikrobitulokset oli raportoitu jokaisessa kuntotutkimusraportissa, mutta ainoastaan kolmessa oli suositeltu lisätutkimuksia. Yhdessä lisätutkimuksia suosittelevassa raportissa lisätutkimuksia oli suositeltu, mikäli kohteeseen tehdään peittävä korjaus. Korjausehdotuksena oli kuitenkin ulkokuorien ja lämmöneristeiden osittainen uusiminen elementtien huonosta kunnosta johtuen. Myös toisessa kohteessa raportissa oli suositeltu lisätutkimuksia, mikäli päädytään tekemään peittävä korjaus. Kohteelle suositeltiin kuitenkin vain kevyttä korjausta. Kolmannessa kohteessa mikrobituloksiin ei otettu kantaa lisätutkimusten lisäksi.

7 POHDINTAA

Tässä tutkimuksessa poikkeuksellisia mikrobipitoisuuksia havaittiin 12,3 %:ssa (n = 162) kuntotutkimuksen yhteydessä otetuista mineraalivillanäytteistä. Pelkästään korkeita bakteeripitoisuuksia ei voida pitää merkinä mikrobivauriosta, ainoastaan korkeasta kosteuspitoisuudesta. Mikäli näyte, jossa bakteeripitoisuus oli poikkeavan korkea, jätetään pois laskuista, poikkeuksellisia mikrobituloksia on 11,7 %:a. Tulos on vain hieman suurempi kuin Pessin ym. (1999, 35) havainnoissa, joissa korkeita mikrobipitoisuuksia oli 10,2 %:ssa (n = 900) tutkituista näytteistä.

Vaikka eristeessä olisi paikallisesti mikrobikasvustoa, on muutaman yksittäisen mikrobimäärityksen avulla hankala sanoa, onko mikrobikasvusto paikallinen vai laajempi ongelma ja ennen kaikkea vaikuttaako se huoneiston sisäilmaan. Näytteiden ottaminen selkeistä vauriokohdista on helpommin perusteltavissa ja ohjeistettavissa kuin rutiininomaisesti kuntotutkimuksen yhteydessä otetut näytteet silmämääräisesti kunnossa olevista julkisivuista. Koska mikrobien kasvaminen sandwich-elementtien eristetilassa on todettu melko harvinaiseksi ja muutaman mineraalivillanäytteen informaatioarvo on pieni, jos epäillään kosteusvauriota, kannattaisi mikrobinäytteitä ottaa tilanteissa, joissa epäillään eristetilaan päässeeseen runsaasti kosteutta. Mikäli on aihetta epäillä kosteuden aiheuttavan ongelmia rakennuksen sisätiloissa asti, on suositeltavaa teettää erikseen sisäilma- ja kosteustekninen tutkimus.

Insinööritoimisto Lauri Mehdon sisäinen ohjeistus on ollut, että muutamalla kuntotutkimuksen yhteydessä otetulla mineraalivillanäytteellä on lähinnä poissulkeva merkitys eikä muutaman näytteen perusteella voida tehdä kovin pitkälle tehtyjä päätelmiä rakennuksen mikrobi- tai kosteusongelmista. Mikäli kohteessa on merkkejä kosteusongelmista, ja mineraalivillanäytteissä havaitaan kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja, ei ole suositeltu peittävää korjausta ilman lisätutkimuksia. Käytännössä kohteen julkisivun huonosta kunnosta johtuen korjauksessa on usein päädytty purkamaan julkisivu, jolloin mikrobiongelman on poistunut. Ke-

veässä huoltokorjauksessa on keskitytty kosteusrasituksen vähentämiseen, ilmatäivien parantamiseen, korvausilmareittien järjestämiseen ja tiedostettu tilanteen seurannan merkitys.

Kuntotutkimusten mikrobimääryyksissä oli käytetty kahta eri laboratoriota, joista toinen arvioi mikrobikasvun määrän 0–4 plusmerkillä ja liitti tuloksiinsa lausunnon näytteiden mikrobilöydöksestä. Toinen laboratorio taas ilmoitti tuloksensa yksiköllä cfu/g ja viittaisi tuloksissaan sosiaali- ja terveysministeriön 2003 ilmestyneeseen Asumisterveysoppaaseen, mutta ei antanut sanallista lausuntoa tuloksista. Erityisenä ongelmana lausunnon puuttuessa olivat tilanteet, joissa villaa oli ollut vähän ja näytettä oli ripoteltu maljan pinnalle. Tällöin tulokset ilmoitettiin pesäkelukumääränä, mutta koska maljalle ripoteltua näytemäärää ei ole tiedossa, pesäkkeiden lukumäärän perusteella oli vaikea sanoa, viittasiko löydös kosteusvaurioon.

Mikrobinäytteiden ottaminen samalla, kun elementeistä porataan muutenkin näytteitä, on ajallisesti ja taloudellisesti varsin pieni panostus verrattuna erikseen tehtäviin tutkimuksiin. Yhden mikrobimääryyksen hinta on 100 €, kun koko kuntotutkimuksen hinta on keskimäärin 10 000 €, riippuen kuntotutkimuksen laajuudesta. Mikrobitulosten ongelmana on tulosten tulkitseminen. Jos näytteitä otetaan rutiininomaisesti kuntotutkimuksen yhteydessä ilman epäilyä kosteusongelmista, pitää näytteiden ottamisen ja mikrobitulosten tulkitsemisen olla selkeästi ohjeistettu. Tällä hetkellä Insinööritoimisto Lauri Mehdolla on laatukäsikirjassaan hyvä ohje mineraalivillanäytteiden ottamisesta, mutta ohje mikrobitulosten tulkinnaasta ja lisäselvitysten tekemisestä ongelmatilanteissa puuttuu. Mikäli jatkossakin otetaan mikrobinäytteitä kuntotutkimuksen yhteydessä, kannattaisi tulosten tulkinnaasta ja lisätutkimuksista koota selkeät toimintaohjeet. Lisätutkimusten teettäminen on tietysti kiinteistön omistajan päätös, mutta kuntotutkimusraportista olisi hyvä käydä ilmi, mitä poikkeavat mikrobitulokset voivat tarkoittaa ja miten asiaa kannattaisi tutkia lisää.

LÄHTEET

Adhikari, A.; Reponen, T. & Rylander, R. 2013. Airborne fungal cell fragments in homes in relation to total fungal biomass. *Indoor Air*, Vol. 23, No 2, 142–147.

Ezeonu, I.; Noble, J.; Simmons, R.; Price, D.; Crow, S. & Ahearn, D. 1994. Effect of relative humidity on fungal colonization of fiberglass insulation. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 60, No 6, 2149–2151.

Gaylarde, C.; Ribas Silva, M. & Warscheid, T. 2003. Microbial impact on building materials: an overview. *Materials and Structures*. Vol. 36. No 5, 342–352.

Giannantonio, D. J.; Kurth, J. C.; Kurtis, K. E. & Sobecky, P. A. 2009. Effects of concrete properties and nutrients on fungal colonization and fouling. *International Biodeterioration & Biodegradation*. Vol. 63, No 3, 252–259.

Gu, J.; Ford, T.; Berke, N. & Mitchell, R. 1998. Biodeterioration of concrete by the fungus *Fusarium*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 41, No 2, 101–109.

Husman, T.; Roto, P. & Seuri, M. 2002. Sisäilma ja terveys – tietoa rakentajille. Kuopio: Kansanterveyslaitos.

Kärki, J.-P. & Heikkinen, P. 2011. Riskirakenteet ja niiden tunnistaminen sekä tutkimusmenetelmät. *Ympäristö ja Terveys-lehti*, Vol. 42, No 6–7, 26–35.

Lahdensivu, J. 2010. Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa. Suomen ympäristö 17. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Lasol. Sinol 100 käyttöturvallisuustiedote. Viitattu 21.9.2013. www.lasol.fi > tuotteet > Sinol > Käyttöturvallisuustiedote.

Leivo, V.; Pirinen, J.; Reiman, M.; Uitti, J.; Ruotsalainen, R.; Rautiala, S. & Suojanen, P. 1998. Opas kosteusongelmiin – Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Julkaisu 95, Talonrakennustekniikka. Tampere: TKK, Rakennustekniikan osasto.

Maailman terveysjärjestö 2009. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Saksa: Druckpartner Moser.

Meklin, T.; Putus, T.; Hyvärinen, A.; Haverinen-Shaughnessy, U.; Lignell, U. & Nevalainen, A. 2007. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Opas ongelmien selvittämiseen. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja C9/2007.

Nevalainen, A. 2003. Asumisterveysohje – opastusta homeongelmien selvittämiseen. *Työterveyslääkäri*, Vol. 4, 472–474.

Pessi, A.-M.; Suonketo, J.; Pentti, M. & Rantio-Lehtimäki, A. 1999. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Julkaisu 101, Talonrakennustekniikka. Tampere: TTKK, Rakennustekniikan osasto.

Pitkäranta, M.; Melkin, T.; Hyvärinen, A.; Nevalainen, A.; Paulin, L.; Auvinen, P.; Lignell, U. & Rintala, H. 2011. Molecular profiling of fungal communities in moisture damaged buildings before and after remediation – a comparison of culture-dependent and culture-independent methods. *BMC Microbiology*, Vol. 11, 235.

Pitkäranta, M. 2012. Molecular profiling of indoor microbial communities in moisture damaged and non-damaged buildings. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta, biotieteiden laitos. Viitattu 12.9.2013. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-7569-8>

RT 80–10712. 1999. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Korjausrakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Salmi, T. & Kemoff, T. 1996. Home- ja kosteusongelmat rakennuksessa. Joutsa: Nettopaino Oy.

Siddique, R. & Chahal, N. 2011. Effect of ureolytic bacteria on concrete properties. *Construction and Building Materials*, Vol. 25, No 10, 3791–3801.

Sisäilmayhdistys 2013a. Katsaus mikrobeihin. Viitattu 1.4.2013 www.sisailmayhdistys.fi > Terveelliset tilat > Kosteusvauriot > Mikrobit.

Sisäilmayhdistys 2013b. Mikrobikasvun edellytykset. Viitattu 1.4.2013 www.sisailmayhdistys.fi > Terveelliset tilat > Kosteusvauriot > Mikrobit.

Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fyysikaaliset kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki: Edita Prima Oy.

Sosiaali- ja terveysministeriö 2009. Asumisterveysopas. Kolmas korjattu painos. Ympäristö- ja Terveys-lehti. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2002. By 42: Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2012. Tilaaajan ohje: Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus. Viitattu 20.9.2013 www.betoniyhdistys.fi > Julkaisut, käyttöselosteet > By 42 tilaaajan ohje.

Terveydensuojelulaki. 1994. L 19.8.1994/763 muutoksineen.

Viitanen, H. 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. VTT Working Papers 6. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo: VTT Tietopalvelu.

Ympäristöministeriö 1997a. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Ympäristöopas 28. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Ympäristöministeriö 1997b. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. Ympäristöopas 29. Tampere: Tammer-Paino Oy.