



Henna Kauppi

# Mikrobivaurioituneiden rakenteiden tutkiminen

Rakenteesta otettava ilmanäyte tutkimusten apuna

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri YAMK  
Korjausrakentaminen ko  
Insinööriyö (YAMK)  
12.3.2013

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Henna Kauppi Mikrobivaurioituneiden rakenteiden tutkiminen - Rakenteesta otettava ilmanäyte tutkimusten apuna 70 sivua 12.3.2013
Tutkinto	Insinööri, ylempi amk
Koulutusohjelma	Rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentamisen ylempi amk
Ohjaajat	Yliopettaja Hannu Hakkarainen 1. kaupungineläinlääkäri Kirsi Hiltunen
<p>Työn tavoitteena oli tutkia, voiko rakenteesta otettavia ilmanäytteitä käyttää apuna tutkittaessa rakenteiden kuntoa ja mahdollisten rakenteissa olevien mikrobivaurioiden vaikutuksia sisäilman laatuun. Työ tehtiin yhteistyössä Vantaan kaupungin tilakeskuksen ja Vantaan kaupungin ympäristökeskuksen kanssa. Näytteenoton suoritti yksityinen taho.</p> <p>Kirjallisuusosiossa käytiin läpi yleisesti kosteus- ja mikrobivaurioita ja rakennuksen kunnan selvittämistä.</p> <p>Työssä tutustuttiin kahden päiväkotirakennuksen ja kahden koulurakennuksen selvityksiin. Kaikissa kohteissa yhtenä näytteenottomenetelmänä oli ilmanäytteen ottaminen rakenteesta. Ilmanäytteitä otettiin lattia- ja seinärakenteista käyttäen 6-vaihe-impaktoria. Näytteitä otettiin yhteensä 19 kappaletta ja näytteenottoajat vaihtelivat 2-8 minuutin välillä.</p> <p>Näytetulosten perusteella havaittiin, että rakenneilmanäytteiden tukena tarvitaan aina myös muita selvityksiä ja mittauksia. Ilmanäytteitä tulisi ottaa useampana näytteenottokertana. Menetelmän avulla on mahdollista saada lisätietoa rakenteiden kunnosta ja mahdollisten mikrobien kulkeutumisesta rakenteesta sisäilmaan.</p> <p>Menetelmää tulee kehittää edelleen ja tutkimuksia tulee jatkaa, jotta menetelmän käyttökelpoisuudesta saadaan lisätietoa.</p>	
Avainsanat	mikrobit, mikrobivaurio, sisäilmanäyte, rakenneilmanäyte, sisäilma

Author Title	Henna Kauppi Investigating Mold Damaged Buildings - Samples of Air Taken from Structure as a Research Method
Number of Pages Date	70 pages 12 March 2013
Degree	Master´s Degree in Engineering
Degree Programme	Master´s Degree Programme In Civil Engineering
Specialisation option	Renovation
Instructor(s)	Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer Kirsi Hiltunen, Chief Veterinarian
<p>The objective of this thesis was to research if sample of air taken from a suspected mold damaged structure could be used to help to investigate the condition of the building.</p> <p>This thesis was made in collaboration with Vantaa Centre for Environmental Affairs and Vantaa Real Estate Centre.</p> <p>Air samples were taken from two day-care buildings and two school buildings. Air samples were taken from wall structures or floor structures. Indoor microbes were sampled by using six-stage impactors. In total there were 19 samples taken and the sampling duration times were from two to eight minutes.</p> <p>In addition to samplings of air taken from a structure, other measurements and investigations also had to be made. The samples should be taken repeatedly at different times.</p> <p>With the help of this method, it is possible to get more information about the condition of the building.</p> <p>The method needs to be developed further and more samples need to be taken to make sure how viable this method is.</p>	
Keywords	Microbe, air samples, indoor air

## Sisällys

Esipuhe ja kiitokset

Termistö

Käytetyt lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	2
1.2	Tutkimusongelma	3
1.3	Tutkimuksen menetelmät	3
1.4	Tutkimuksen tavoitteet	4
2	Kosteus rakenteissa ja kosteusvauriot	4
2.1	Kosteuden siirtyminen rakenteissa	4
2.1.1	Diffuusio	5
2.1.2	Kapillaarisuus	6
2.1.3	Konvektio	7
2.1.4	Veden painovoimainen siirtyminen	8
2.2	Kosteuslähteet ja riskirakenteet	8
2.2.1	Tuulettuva alapohja	10
2.2.2	Maanvastainen alapohja	11
2.2.3	Yläpohja	12
2.2.4	Julkisivu	13
2.2.5	Sisäilma	14
3	Mikrobit ja mikrobivauriot	15
3.1	Mikrobitoksiinit	17
3.2	Mikrobipitoisuuksien ohje-arvoja	18
3.3	Mikrobien kasvuedellytykset	20
3.4	Terveyshaitat	23
4	Rakennuksen kunnon selvittäminen	25
4.1	Kosteusvauriokartoitus	27
4.2	Ilmanvaihdon tarkastus	27
4.3	Aistinvaraiset arviot	27

4.4	Kosteustekninen kuntotutkimus	28
4.5	Sisäilmaston kuntotutkimus	28
4.5.1	Ilmanäyte	29
4.5.2	Materiaalinäyte	30
4.5.3	Materiaalipäästöt	31
5	Koulu- ja päiväkotirakennusten kunto	31
6	Epäpuhtauksien kulkeutuminen	35
6.1	Tiiveyden tutkiminen	37
6.2	Tiivistykset	38
7	Kohteet ja kohteissa tehdyt selvitykset	39
7.1	Kohde A	40
7.2	Kohde B	44
7.3	Kohde C	47
7.4	Kohde D	49
8	Tulokset	52
8.1	Kohde A	52
8.2	Kohde B	54
8.3	Kohde C	55
8.4	Kohde D	57
8.5	Tulosten analysointi	58
8.6	Tulosten luotettavuus	61
9	Johtopäätökset	62
	Lähteet	65

## **Esipuhe ja kiitokset**

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Vantaan kaupungin ympäristökeskuksen ja Vantaan kaupungin tilakeskuksen kanssa. Kiitos tilakeskukseen Jouni Räsäselle ja Ulla Lignelille kohdetiedoista ja materiaaleista.

Haluan kiittää työni ohjaajaa Hannu Hakkarasta kommentteista ja neuvoista työn teon aikana.

Vantaan ympäristökeskuksesta työni ohjaajaa, esimiestäni Kirsi Hiltusta haluan kiittää neuvoista ja tuesta ja kollegaani Kari Grönbergiä kommentteista. Kaikki työkaverit ympäristökeskuksessa ansaitsevat myös kiitoksen mielenkiinnosta koulua ja opinnäytetyötä kohtaan.

Perheelle ja ystäville iso kiitos tuesta. Erityisen kiitoksen ansaitsee aviomieheni Ville, ilman kärsivällisyyttäsi ja apuasi tämä matka olisi varmasti vielä kesken.

Vantaalla maaliskuussa 2013

Henna Kauppi

## Termistö

Aktinomykeetit	Bakteereita, jotka indikoivat kosteusvaurioita. Kutsutaan myös aktinobakteereiksi, tai sädesieniksi. Aktinomykeeteillä on muista bakteereista poiketen kyky muodostaa sienten tapaan itiöitä ja rihmastoja.
Andersen-keräin	6 vaihe impaktori, jota käytetään sisäilman näytteenottoon.
Cfu	colony forming unit, pesäkkeen muodostava yksikkö. Käytetään myös pmy = pesäkkeen muodostava yksikkö.
DG-18-agar	Dikloranglyseroli (18 %) –alusta. Käytetään mikrobiviljelyssä kasvatusalustana. DG-18-agarilla kasvaa vähemmän kosteutta vaativia homeita.
Diffuusio	Molekyylien liikettä kaasuseoksessa, joka pyrkii tasoittamaan seoksessa esiintyvät osapaine-erot.
Indikaattorilaji	Kosteusvaurioindikaattori tarkoittaa mikrobeja, joita ei tulisi esiintyä sellaisen rakennuksen sisäilmassa, jossa ei ole kosteus- tai mikrobivaurioita. Indikaattorimikrobien esiintyminen pinta-, materiaali- tai sisäilmanäytteessä viittaa mahdolliseen mikrobivaurioon.
Kondensoituminen	Vesihöyryn tiivistymistä rakenteissa vedeksi tai jääksi silloin, kun kyseissä kohdassa on vesihöyrypitoisuus RH 100%. Kondensoitumista tapahtuu useimmiten materiaalien rajapinnoissa.
Korjausvelka	Se rahamäärä, joka rakennuskantaan tulisi investoida, jotta se saataisiin kohtuulliseen kuntoon.

Kosteuskonvektio	Vesihöyryn siirtymistä ilman paine-erojen aiheuttaman ilmavirran mukana.
Kosteussulku	Vedenkulkeutumista estävä kerros rakenteessa tai sen pinnalla.
Mallas-agar	Mikrobiviljelyssä käytetty kasvatusalusta, jossa kasvaa homeita.
Mikrobit	Pieneliöitä, joihin kuuluvat mm. levät, bakteerit, sienet, hiivat ja virukset. Tässä työssä keskitytään lähinnä sisäilman mikrobeihin, sieniin eli homeisiin ja bakteereihin.
Mikrobisuksessio	Suksessiolla tarkoitetaan mikrobien muuttumista ympäristöolosuhteiden mukaan.
Mikrobitoksiinit	Mikrobien myrkyllisiä aineenvaihduntatuotteita.
Suhteellinen kosteus	RH %, vesihöyrynpaineen ja kyllästys-höyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa. Suhteellinen kosteus kertoo, kuinka prosenttia absoluuttinen kosteus on vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta.
Riskirakenne	Rakenneratkaistu, joka voi rakenteen vaurioitumiseen muita rakenneratkaistuja nopeammin. Riskirakenteen kosteustekninen toimivuus on puutteellista.
Sieni	Mikrobi, joka tuottaa rihmastoja ja itiöitä. Tässä työssä keskitytään lähinnä homesieniin.



## Käytetyt lyhenteet

THL	Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, ennen KTL (Kansanterveyslaitos)
THG	Tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar. Mikrobiviljelyssä käytetty kasvualusta, jossa kasvaa bakteereita.
PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i> : polymeerasiketjureaktio. Menetelmä, joka perustuu polymeerasi-entsyymin kykyyn kopioida DNA:ta. PCR-menetelmää voidaan käyttää sisäilman mikrobien pitoisuuksien määrittämiseen ja analysoimiseen.
VTT	Valtion teknillinen tutkimuslaitos
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> , haihtuvat orgaaniset yhdisteet

## 1 Johdanto

Eduskunnan julkaisun (Reijula ym. 2012) mukaan 12–18 %:ssa koulu- ja päiväkotirakennuksista on merkittävästi kosteus- ja homevaurioituneita. Näissä rakennuksissa työskentelee ja oleskelee noin 172 000 – 259 200 henkilöä. Merkittäviä kosteus- ja homevaurioita esiintyy pien- ja rivitaloissa 7-10 %, kerrostaloissa 6-9 %, hoitolaitoksissa 20–26 % ja toimistoista 2,5-5 % kerrosalasta. Kosteus- ja homevaurioiden on arvioitu aiheuttavan 23–953 miljoonan eurojen kustannukset pelkästään terveyteen liittyvien kustannusten osalta. Tähän kuuluu oireiden ja sairauksien tutkiminen, työkyvyn menetys ja tuottavuuden lasku. (Reijula ym. 2012.)

Koulu- ja päiväkotirakennusten sisäilman laatu sekä kosteus- ja mikrobivauriot ovat olleet julkisuudessa kuntien huonontuneen taloustilanteen takia. Kuntien taloudellisen tilanteen huonontuessa myös peruskorjauksia siirretään ja jopa perutaan. Tämä vaikuttaa oleellisesti rakennusten kuntoon ja sitä kautta sisäilman laatuun.

Kun epäillään rakennuksessa olevaa kosteus- ja mikrobivauriota, tehdään laajoja selvityksiä syyn löytämiseksi ja vaurioiden korjaamiseksi. Mikrobikasvua pyritään toteamaan aistivaraisten arviointien lisäksi näytteenotoin. Useimmiten mikrokasvun todentamiseen käytetään materiaali- ja sisäilmanäytteitä. Näiden menetelmien tulosten tulkintaan on annettu viitearvoja sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeessa (2003).

Lämmöneristekerroksessa oleva mikrobikasvu ja sen vaikutus sisäilman laatuun aiheuttaa eniten pohdintaa. Annetut viitearvot koskevat näytteitä, jotka on otettu sisätilasta tai tilasta, josta on todettu olevan ilmayhteys sisätilaan. Maaperän ja ulkoilman kanssa kosketuksissa olevissa rakenteissa voi olla suuriakin pitoisuuksia mikrobeja ilman, että kyseessä on terveyshaitta.

Työssä tutustuttiin kahden päiväkotirakennuksen ja kahden koulurakennuksen selvityksiin, joista saatiin raportit talven, kevään ja kesän 2012 aikana. Kohteissa suoritettiin mittauksia ja näytteenottoja. Kokeellisessa mielessä yhtenä näytteenottomenetelmänä oli ilmanäytteen ottaminen rakenteesta. Ilmanäytteenoton suoritti yksityinen taho. Kyseessä ei ole virallinen näytteenottomenetelmä, eikä sille ole ohjearvoja eikä

näytteenotto-ohjeita. Työn tarkoitus oli vertailla rakenteesta otettavia ilmanäytetuloksia keskenään ja pohtia, voiko tällä menetelmällä saada lisätietoa rakenteiden kunnosta ja onko menetelmä käyttökelpoinen.

Työ tehtiin yhteistyössä Vantaan kaupungin ympäristökeskuksen ja Vantaan kaupungin tilakeskuksen kanssa. Selvitysten, mittausten ja näytteenottojen tilaajana toimi tilakeskus. Työn tarkoitus on toimia apuna niin tilakeskukselle kuin viranomaisille ympäristökeskuksessa arvioitaessa kaupungin kiinteistöjen, etenkin päiväkotien ja koulujen terveydellisiä oloja ja sisäilman laatua.

### 1.1 Tutkimuksen tausta

Tilojen kunnosta ja terveellisyydestä vastaa kiinteistönomistaja. Vantaan julkisten koulujen ja päiväkotien kunnosta vastaa Vantaan kaupungin tilakeskus. Laajat selvitykset tilataan yksityisiltä yrityksiltä ja niiden pohjalta tehdään korjaussuunnitelmia ja peruskorjauksia.

Terveysuojelulain (763/94) 26 pykälän mukaan asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa.

Terveysuojelulain (763/94) mukaan terveysuojeluviranomaisen vastuulla on asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olojen valvonta. Terveydellisten olojen valvontaa terveysuojeluviranomaiset suorittavat kouluissa ja päiväkodeissa. Useissa tapauksissa kiinteistönomistaja on teettänyt kohteissa selvityksiä, mittauksia ja näytteenottoja ja terveysuojeluviranomaisen vastuulle jää kannanotto siihen, ovatko suoritettut toimenpiteet riittäviä ja esiintyykö tilassa terveysuojelulain mukaista terveyshaittaa.

## 1.2 Tutkimusongelma

Kosteus- ja homevaurio epäilyissä joudutaan tekemään iso määrä erilaisia selvityksiä. Mahdollisen vaurion syy tulee löytää ja poistaa ennen kuin korjauksiin on järkevää ryhtyä.

Kun vaurio löydetään, joudutaan pohtimaan sen vaikutuksia sisäilman laatuun. Missä tapauksessa mikrobivaurio on sellaisessa kohtaa, että se ei aiheuta terveyshaittaa tilojen käyttäjille? Mikä on normaalia rakenteissa esiintyvää mikrobikasvustoa ja milloin siitä tulee ongelmallinen? Minkälainen vaikutus rakenteessa olevalla mikrobikasvulla on sisäilman laatuun?

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, voiko rakenteista otettavalla ilmanäytteellä saada lisätietoa ja apua rakenteiden kunnan arvioimiseen ja korjaussuunnitelman tekoon.

## 1.3 Tutkimuksen menetelmät

Opinnäytetyötä varten tutustuttiin kahteen päiväkotirakennukseen ja kahteen koulurakennukseen. Kaikissa kohteissa on koettu ongelmia sisäilman kanssa ja niissä on tehty laajoja selvityksiä. Keväällä 2012 näissä kohteissa jatkettiin selvityksiä ja muiden selvitysten ja näytteenottojen ohella rakenteista otettiin ilmanäytteitä.

Ilmanäytteet otettiin rakenteista käyttämällä Andersen-keräintä. Kolmen kohteen osalta näytteenotossa käytettävä laitteisto oli samanlainen, yhden kohteen osalta välineistö erosi hieman. Näytteitä otettiin muutamaa eri näytteenottoaika käyttäen ja näytteet otettiin joko seinä- tai lattiarakenteesta.

Kirjallisuudessa käydään läpi yleisesti kosteus- ja mikrobivaurioita sekä niiden vaikutuksia koettuun sisäilman laatuun. Rakennuksen kunnan selvittämisessä keskitytään etenkin koulu- ja päiväkotirakennuksiin.

#### 1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Voiko rakenteesta otettavaa ilmanäytettä käyttää apuna tutkittaessa rakennuksen sisäilman laatua?
2. Onko menetelmä käyttökelpoinen?

## 2 Kosteus rakenteissa ja kosteusvauriot

Erilaiset kosteuskuormat rasittavat rakennuksia niiden elinajan aikana. Materiaalit ja rakenteet kuuluu suunnitella niin, että ne kestävät normaalikuormituksessa ennakoitujen kosteusrasitukset riittävässä määrin. Rakenteiden vaurioitumiseen ja pitkäikäisyyteen vaikuttavat myös materiaalivalinnat, rakenneratkaisut ja olosuhteet. (RIL, 2011; Leivo, 1998.)

Kylminä vuodenaikoina riski kosteusvaurioille on suurin. Rakenteet ovat kylmempiä kuin kesäaikaan ja ilman sisältämä kosteus tiivistyy rakenteisiin. Näin voi käydä esimerkiksi tapauksissa, joissa rakenteissa on epätiivelyskohtia, kuten höyrynsulkumuovin reiät tai puutteelliset tiivistykset ovissa, seinissä ja ikkunoissa. (RIL, 2011.)

Rakenteiden kyky kuivua vaikuttaa oleellisesti niiden kosteustekniseen toimivuuteen. Kun rakenteeseen päässyt kosteus pääsee poistumaan mahdollisimman tehokkaasti, jää kosteuden vaikutusaika rakenteessa vaurioiden muodostumisen kannalta lyhyeksi. (Kokko ym. 1999.)

### 2.1 Kosteuden siirtyminen rakenteissa

Suomessa vuotuinen sademäärä on keskimäärin 600 mm. Osa sade- ja pintavesistä jää maakerrokseen adsorption ja kapillaarivoimien vaikutuksista. Samalla kapillaarivoimat siirtävät vettä vapaista lähteistä pitkiäkin matkoja. (Leivo & Rantala, 2002b.)

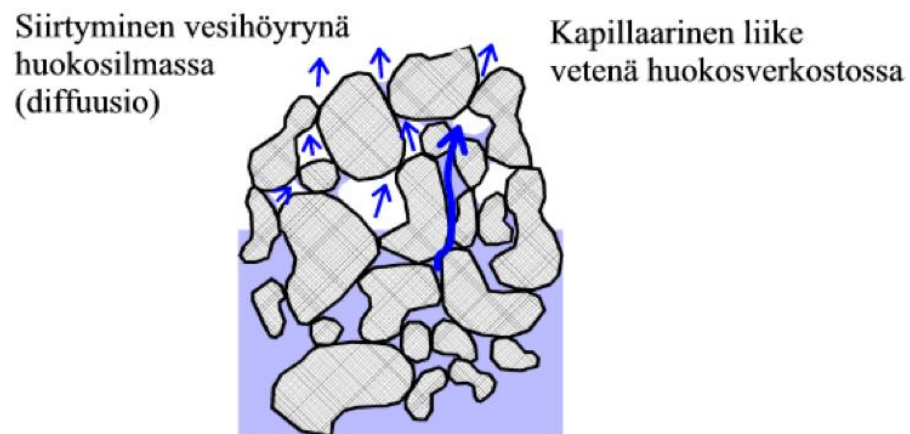
Rakennusten rakenteet ovat koko ajan kosketuksissa kosteuden kanssa, kosteutta on niin ilmassa kuin maaperässäkin. Jotta saadaan kosteusteknisesti toimiva rakenne, on

otettava huomioon ilman kosteuspitoisuus. Suurin osa rakennusaineista sisältää myös ilmaa, koska niiden huokosissa esiintyy ilmaa. (Björkholtz, 1997.)

Ilma, kosteus ja lämpö pyrkivät siirtymään rakennuksen vaipan läpi ja sisällä, jotta ne saavuttavat tasapainotilan. Siirtymistä tapahtuu sekä ulos- että sisäänpäin. Monet näistä siirtymismuodoista vaikuttavat samanaikaisesti eri voimakkuudella ja eri suuntiin. (RIL, 2011.)

Kosteus siirtyy rakenteissa pääasiassa kahdella tapaa, diffuusiolla ja kapillaarisesti. Diffuusiolla vesi esiintyy vesihöyrynä ja kapillaarisessa vetenä. Ilmavirtausten mukana kosteus siirtyy konvektiolla, jossa ilma siirtää vesihöyryä mukanaan. Vettä liikkuu myös painovoiman vaikutuksesta. (Opetushallitus, 2008.) Kuvassa 1 on esitetty kosteuden siirtymismekanismit.

### Kosteuden siirtymismekanismit



Kuva 1. Kosteuden siirtyminen. Leivo & Rantala, 2002.

#### 2.1.1 Diffuusio

Materiaali pyrkii saavuttamaan ympäristön kanssa tasapainokosteuden. Sisä- ja ulkoilman välillä oleva vesihöyrypitoisuuksien ero saa aikaan diffuusion (Leivo, Rantala, 2006). Diffuusion suuruutta voidaan arvioida laskennallisesti vesihöyryn pitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden erolla. Diffuusio siirtää sisäilman kosteutta sisältä ulos, koska sisäilman vesihöyryn osapaine on yleensä suurempi kuin ulkoilman vesihöyryn

osapaine. Kun kyseessä on kerroksellinen rakenne, tulee rakenteen vesihöyryvastusten pienentyä sisältä ulospäin mentäessä. Jos rakennetta ei suunnitella ja toteuteta näin, vesihöyry voi tiivistyä rakenteen sisällä vedeksi ja rakennekerroksen kosteuspitoisuus nousee. (Ympäristöministeriö, 1997.)

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

Materiaalin vesihöyrynvastus ja ilman vesihöyryn osapaine-erot vaikuttavat diffuusioon. Ulkoilman vesihöyryn osapaine on pienempi kuin sisäilman vesihöyryn osapaine, joten diffuusion voimasta kosteutta siirtyy sisäilmasta ulos. Sisä- ja ulkoilman välinen vesihöyryn osapaine-ero on suurempi talvella, jolloin myös diffuusion merkitys on suurempi. Kesällä kosteutta siirtyy diffuusiolla ulkoa rakenteen sisälle. Näin käy sekä höyrinsulullisessa että höyrinsuluttomassa rakennuksessa. Talvella vesihöyryä siirtyy ulospäin. Sisään ja ulospäin siirtyvän kosteuden määrä on melkein tasapainossa, kun kyseessä on höyrinsulullinen seinä. Höyrinsuluttomassa seinässä sisältä ulos siirtyy moninkertaisesti enemmän kosteutta kuin ulkoa sisään. (Ympäristöministeriö, 1997.)

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa C2 määrätään, että höyrinsulkukerroksen vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen verrattuna eristekerroksen kylmällä puolella olevan rakennekerroksen vesihöyrynvastukseen. (Ympäristöministeriö, 1998.)

### 2.1.2 Kapillaarisuus

Vapaaseen veteen kosketuksissa oleva materiaali imee vettä kapillaarisesti. Vesi liikkuu rakeiden välisissä huokoisissa, jotka toimivat kapillaariputkina. Kapillaariset voimat aiheuttavat huokosalipainetta ja tästä johtuu kapillaarinen siirtyminen. Vesi voi liikkua kapillaarisesti myös ylöspäin. Mitä pienempi huokosen koko on, sitä suurempaa on huokosalipaine. Kapillaarisuuteen vaikuttaa huokoskoon lisäksi myös maalajien kerrostuminen, tiiveysaste ja lämpötila. Kitkavoimat ja painovoima vastustavat kapillaarista siirtymistä. Aktiivinen kapillaarisuus tarkoittaa materiaalin kastumista ja veden noususta kapillaarisesti. Passiivinen kapillaarisuus tarkoittaa taas materiaalin kastumista

samalla kun veden pinta laskee. (Leivo & Rantala, 2000; Ympäristöministeriö, 1997.)  
Eri maalajien kapillaarisia nousukorkeuksia on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Eräiden maalajien kapillaarisia nousukorkeuksia. Leivo & Rantala, 2000.

Maalaji	Kapillaarinen nousukorkeus (m)	
	Löyhä	Tiivis
Karkea hiekka	0,03 ... 0,12	0,04 ... 0,15
Hiekka	0,10 ... 0,35	0,12 ... 0,50
Hieno hiekka	0,3 ... 2,0	0,4 .. 3,5
Karkea siltti	1,5 ... 5	2,5 ... 8
Hieno siltti	4 ... 10	6 ... 12
Savi	> 8	> 10

Maanvastaisissa rakenteissa kapillaarisen nousun katkaiseva kerros on hyvin tärkeä. Kapillaarikatko toteutetaan materiaalilla, joka nostaa mahdollisimman vähän vettä kapillaarisesti. (RIL, 2011.)

### 2.1.3 Konvektio

Konvektiossa vesihöyry siirtyy ilmavirran mukana. Kun rakenteiden eri puolilla vallitsee erilaiset ilman kokonaispaineet, syntyy ilmavirtauksia. Ilmanpaine-eroja aiheuttaa tuuli, ilmanvaihtojärjestelmät ja lämpötilaerot. Ilman virratessa sisältä ulos ilma jäähtyy ja tiivistyy. Ilman virratessa ulkoa sisälle se lämpenee ja virtaus kuivattaa rakennetta. (Björkholtz, 1997.)

Rakenteeseen jäävää kosteusmäärää voidaan laskea kaavalla 1:

$$G = Q(v_s - v_u) \quad (1)$$

Jossa

$G$  = kosteusvirta [g/s]

$Q$  = tilavuusvirta [ $m^3/s$ ]

$v_s$  = rakenteeseen tai rakoon sisään virtaavan ilman kosteusmäärä [ $g/m^3$ ]

$v_u$  = virtausreitin alinta lämpötilaa vastaava kriittinen kosteuspitoisuus [ $g/m^3$ ]



Useimmiten konvektiosta aiheutuneet kosteusvauriot sijoittuvat seinien yläosiin ja kattorakenteisiin. Huoneiden yläosiin muodostuu ylipainetta savupiippuvaikutuksen seurauksena ja ilmavirtausten mukana näihin rakenteisiin siirtyy vesihöyryä. (RIL, 2011.)

Rakennuksen painesuhteiden tulisi olla sellaiset, että lämmintä ilmaa ei pääse virtaamaan kylmiin rakenteisiin tai rakennusosiin. Kun rakenteen lämpimällä puolella ylipaine on vallitseva, on aina vaurioriski olemassa. (Ympäristöministeriö, 1997.)

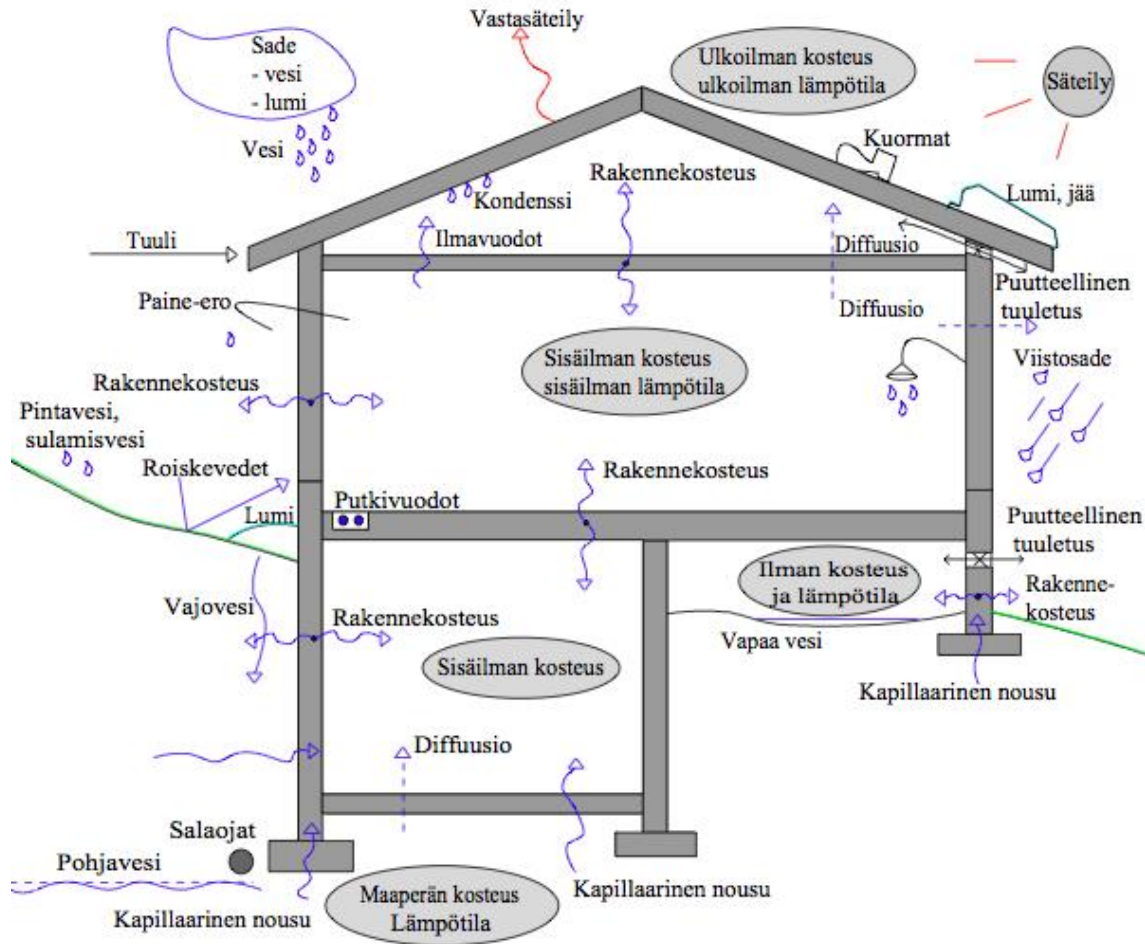
#### 2.1.4 Veden painovoimainen siirtyminen

Vesi kulkee alaspäin painovoiman vaikutuksesta. Kapillaarivoimat ovat usein suurempia kuin painovoima, joten kapillaarisesti vettä imevissä materiaaleissa painovoimaisella veden siirtymisellä ei ole merkitystä. Esimerkiksi karkeassa sorassa taas painovoimainen siirtyminen itse materiaalissa on hallitseva siirtymismuoto, koska se on heikosti vettä imevää materiaalia. (Ympäristöministeriö, 1997.)

Veden painovoimaista siirtymistä käytetään hyväksi veden hallittuun poisjohtamiseen rakenteiden ulko- ja sisäpinnoilta sekä rakennuksen vierustoilta. Rakennuksen kuivataminen salaojituksella perustuu myös veden painovoimaiseen siirtymiseen. (Ympäristöministeriö, 1997.)

## 2.2 Kosteuslähteet ja riskirakenteet

Rakennusta rasittavat sade, sisä- ja ulkoilman kosteus sekä mahdollisesti rakennusai-  
kainen kosteus. Myös maaperän kosteus on iso rasitus alapohjarakenteille. Kuvassa 2 on esitetty eri kosteuslähteitä.



Kuva 2. Rakennuksen kosteuslähteet. Leivo, 1998.

Rakentamismääräyskokoelman C2 (Ympäristöministeriö, 1998) mukaan rakenteet tulee suunnitella niin, ettei sisäisistä tai ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva kosteus tunkeudu haitallisesti rakenteisiin tai rakennuksen sisätiloihin. Rakenteen on myös kyettävä kuivumaan haittaa aiheuttamatta.

Pirinen (2006) on tutkinut väitöskirjaansa varten pientalojen mikrobivaurioiden syitä. Tutkimuksen aineistona oli 429 omakotitaloa, joissa tehtiin tarkastuksia Hengitysliitto Helin korjausneuvojien toimesta. Mikrobivaurioita löytyi 291 talosta, mutta vaurioita löydettiin yhteensä 425, koska joka kolmannessa talossa vauriokohtia oli enemmän kuin yksi. Tutkimuksen mukaan pientalojen vauriot sijaitsivat pääasiassa alapohjarakenteissa, pesutiloissa ja kellarirakenteissa. Kellari- ja alapohjavaurioita löytyi useimmiten taloista, jotka oli rakennettu ennen 1960-lukua. 1960-luvulla rakennetuissa

taloissa vaurio sijaitsi useimmiten alapohjassa, kellarissa tai pesuhuoneessa. 1970- ja 1980-luvulla rakennettujen talojen vauriokohta oli useimmiten kylpyhuoneessa.

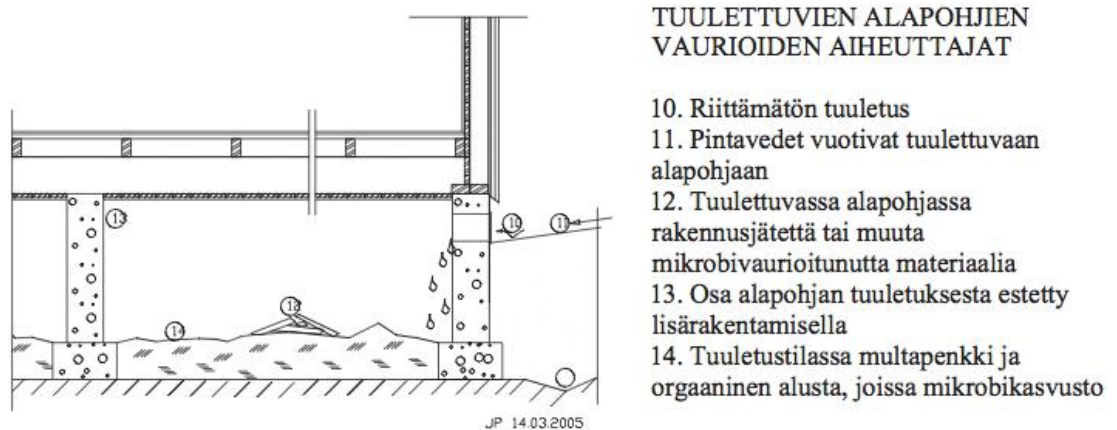
Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) tekemän raportin (Matalaenergiarakenteiden toimivuus, 2008) mukaan uutena riskirakenteena tulevaisuudessa saattaa olla lämmöneristemääräysten kiristymisestä johtuvat lisälämmöneristykset. Rakennusosien lisälämmöneristykset heikentävät rakenteiden kosteusteknistä toimintaa ja joskus myös lämpötekniistä toimintaa. Rakennuksen ulkovaippa viilenee, jolloin homeen kasvu ja kosteuden kondensoitumisriski niissä voi lisääntyä. Myös ilmastonmuutos voi vaikuttaa rakenteiden toimivuuteen tulevaisuudessa ilmaston lämmitessä ja sateiden lisääntyessä.

Alttiita kosteuden kertymiselle ja sen seurauksena mikrobivaurioille ovat etenkin lattiarakenteet, ulkoseinät, vesikaton rakenteet ja kosteat tilat ja niihin liittyvät rakenteet. Luvuissa 2.2.1-2.2.5 on käyty eräitä rakenteita tarkemmin läpi.

### 2.2.1 Tuulettuva alapohja

Tuulettu tilallinen alapohja on suoraan yhteydessä ulkoilmaan, jolloin ulkoilman olosuhteet vaikuttavat suoraan ryömintätilan olosuhteisiin. Tavallisin ongelma tuulettuvissa alapohjissa on tuulettu tilan ilman korkea suhteellinen kosteus. Kosteuspitoisuutta nostaa etenkin maaperästä haihtuva kosteus. Maaperästä haihtuvaa kosteutta pyritään estämään tuuletuksella. Joskus ryömintätilaan on jätetty rakennusjätettä tai muuta orgaanista materiaalia, jotka alkavat korkeassa kosteudessa homehtua. Ryömintätilassa voi esiintyä suuriakin mikrobipitoisuuksia, joten on tärkeää, että alapohjasta ei ole ilmavirtauksia sisäilmaan. (Kokko ym. 1999.)

Pirisen (2006) tutkimuksessa havaittiin tuulettuvien alapohjarakenteiden yleisimmäksi vaurioitumisyyksi puutteellinen tuuletus. Useimmissa kohteissa ongelmana oli lisäksi puutteellinen salaojitus ja kapillaarisen vedennousun katkaisevan kerroksen puute. Kuvassa 3 on esitetty tuulettuvien alapohjarakenteiden vaurioiden aiheuttajat.



Kuva 3. Tuulettuvien alapohjien vaurioiden aiheuttajat. Pirinen, 2006.

Kurnitski ym. (1999) ovat tutkineet ryömintätilojen kosteuksia ja mikrobeja. Tutkimustulosten perusteella havaittiin, että ryömintätilan kevytsora rajoittaa tehokkaasti kosteuden haihtumista maanpinnalta. Kevytsorakerrokset toimivat kapillaarikatkoina ja se toimii samalla myös lämmöneristeenä nostaa ryömintätilan kesäaikaista lämpötilaa. Tutkimuksen mukaan ryömintätilan sieni-itiöpitoisuudet voivat olla muutamia tuhansia pmy/m<sup>3</sup>, jolloin ne ylittävät kymmenkertaisesti asuntojen sisäilmassa normaalisti tavattavat pitoisuudet. Mikäli sisätilojen ja ryömintätilojen välinen vaippa ei ole tiivis, voi sisätilassa altistua korkeille mikrobipitoisuuksille.

### 2.2.2 Maanvastainen alapohja

Perustamistapana maanvastainen alapohja on yleinen sekä julkisissa rakennuksissa että pientaloissa. Vaikka se on rakenteena yksinkertainen, niissä on havaittu lukuisia kosteusongelmia. Kosteudenhallinta maanvastaisissa alapohjarakenteissa ei ole yksinkertaista. (Leivo & Rantala, 2006.)

Leivon & Rantalan (2000) tutkimuksen mukaan rakenteena maanvastaisen alapohja on koko ajan kosketuksissa lämpimän ja kostean salaoja- ja täyttökerroksen tai pohjaan kanssa. Suhteellisen kosteuden voidaan olettaa olevan 100 % RH. Tämä aiheuttaa kosteusrasitusta alapohjarakenteisiin.

Maanvastaisia rakenteita suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon massiivisten betonilaattojen rakennekosteuden hidas haihtuminen, sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteiden muutos sekä lämmitetyn rakennuksen aiheuttama pohjamaan lämpeneminen. Kun maanvastaisten alapohjarakenteiden vaurioita on tutkittu, on huomattu, että alapohjarakenteet eivät toimi kosteus- ja lämpöteknisesti suunnitellulla tavalla. (Leivo & Rantala, 2006.)

Maanvastaisten alapohjien vaurioituminen voi johtua kosteuden noususta kapillaarisesti, jos alapohjarakenteeseen ei ole tehty kapillaarista nousua katkaisevaa kapillaarikatkoa. Toinen vaurioitumistapa voi johtua pohjamaan lämpenemisestä. Mikäli rakennuksen pohjamaa lämpenee, aiheutuu ylöspäin suuntautuvaa vesihöyryn diffuusiota. Pohjamaan lämmitessä maan vesihöyrypitoisuus on korkeampi kuin sisäilman vesihöyrypitoisuus ja diffuusio pyrkii tasoittamaan tätä eroa. Monesti rakennuksen ongelmana on molemmat vaurioitumistavat. (Leivo & Rantala, 2006.)

Pirisen (2006) tutkimuksen mukaan maanvastaisten alapohjarakenteiden yleisimpänä vaurioiden syynä oli kapilaarinen vedennousu. Tällaisten rakenteiden kohdalla havaittiin myös puutteita salaojituksessa.

### 2.2.3 Yläpohja

Vesikattoa rasittaa vesi, lumi ja jää. Ulkoilman korkea suhteellinen kosteus on myös suuri kosteusrasitus yläpohjarakenteille. Kaiken kaikkiaan yläpohjan olosuhteet ovat sellaisia, että homekasvuriski on olemassa. Materiaalivalinnoilla ja rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa siihen, että riskiolot ovat mahdollisimman paikallisia ja lyhytaikaisia. (Kokko ym. 1999.)

Kattovuotojen havaitsemiseen voi mennä pitkäkin aika, jos kattovuoto on pieni tai jos vesi valuu rakenteeseen, josta sitä ei heti havaita. Vesikatteen läpivientien, kuten savupiippujen, kattoikkunoiden –ja ilmakehävien liitokset voivat olla epätiivitä ja tuulisella säällä sadevesi voi tunkeutua näiden epätiiviskohtien kautta rakenteisiin. Katemateriaalin ikääntyminen, kuten peltikatteen korroosio tai huopakatteen haurastuminen sekä katemateriaalin kiinnitysten irtoaminen voivat myös aiheuttaa

kattovuotoja. Myös kattorakenteiden ulkopuolinen rasitus voi vaikuttaa katteen elinikään ja aiheuttaa näin vesivaurioita. (Ympäristöministeriö, 1997.)

Yläpohjan tuuletustilan kosteuspitoisuus voi aiheuttaa myös kosteus- ja mikrobivaurioita, jos sisätilan kosteus siirtyy tuuletustilaan diffuusiolla tai konvektiolla. Tällainen tilanne voi syntyä etenkin silloin, jos yläpohjassa ei ole höyrynsulkua tai höyrynsulussa on epätiivelyskohtia. Ylimääräinen kosteus tiivistyy vesikattorakenteisiin ja jäätyy pakkasella. Kun sää lämpenee, sulanut vesi voi aiheuttaa yläpohjarakenteeseen paikallisen kosteusvaurioriskin. Vesikaton läpi päässyt kosteus sekä sisäilmasta yläpohjasta läpi tullut kosteus pyritään poistamaan tuuletuksella. Jälkikäteen tehdyillä lisäeristyksillä on voitu tukkia räystäään suuntainen tuuletusrako. Harjakatoissa tuloilma johdetaan räystäältä ja poistoilma päädyistä. Auma- ja tasakattojen ongelmana voi olla ullakkotilan riittämätön tuuletus. (Ympäristöministeriö, 1997; Opetushallitus, 2008; Leivo, 1998.)

Tasakattojen tavallisimmat vauriot ovat vesikaton aluslaudoituksessa. Vaurioiden syinä ovat sadevedet tai sisäilman kosteuden pääsy rakenteisiin konvektion johdosta. Tasakattojen tuuletus perustuu lähinnä tuulen vaikutukseen, joten tuulesta on hankala järjestää. Vesikatteen vesitiiveydestä ja kattokaivojen toimivuudesta tulee huolehtia tasakattojen kohdalla, jotta kattivuodoilta vältytään. (Leivo, 1998.)

Mikäli yläpohjan mikrobivauriot johtuvat puutteellisesta tuuleuksesta, voi vaurio olla hankala paikantaa. Vaurio on yleensä eristevillojen yläpinnasta tai katon puurakenteista tai aluskatteesta (Pirinen, 2006). Yläpohjan mikrobivauriot ovat merkityksellisiä etenkin silloin, jos rakennus on voimakkaasti alipaineinen. Tällöin ilmanvaihto voi imeä epäpuhtauksia yläpohjasta sisätiloihin.

#### 2.2.4 Julkisivu

Rakennuksen vaipan ja sen yksityiskohtien tulee olla niin tiiviitä läpi kulkevien ilma-  
vuotojen suhteen, että estetään sisäilman vesihöyryn haitallinen konvektio. Myös veden ja lumen haitallinen tunkeutuminen rakenteisiin tulee estää. (Ympäristöministeriö, 1998.)

Ulkoseinärakenteissa voi esiintyä kosteus- ja mikrobivaurioita, mikäli rakenteeseen pääsee kulkeutumaan kosteutta ulkopuolelta tai sisäilman kosteus tiivistyy rakenteisiin. Muita seinärakenteen kosteusongelmien syitä voi olla puutteellinen vedeneristys kosteissa tiloissa, viistosateen pääsy rakenteisiin, putkivuodot ja vesivuodot katolta. Myös maata vasten olevissa rakenteissa voi esiintyä vaurioita johtuen veden kapillaarisesta noususta seinärakenteisiin. Mikrobivaurioita voi muodostua etenkin seinän ja sokkeli-halkaisun lämmöneristeeseen sekä ikkunankarmiin ja -puitteisiin. (Ympäristöministeriö, 1997; Opetushallitus, 2008.)

Tuulettumattomat ulkoseinärakenteet kastuvat joko viistosateen tunkeutuessa ulkoverhouksen läpi seinärakenteen sisään tai sadeveden päästessä vuotamaan seinän sisään ikkuna- tai räystäspellityksen kautta. Tuulettuvissa seinärakenteissa sadevesi voi valua ulkoverhouksen liitoskohtien läpi tuuletusväliin tai ulkoilman kosteus voi tiivistyä verhouksen pintaan, kun verhous jäähtyy ulkoilmaa viileämmäksi. (Opetushallitus, 2008.)

Ulkoilman olosuhteet voivat aiheuttaa tuulensulun ulkopinnalle lievää homesienikasvua. Mikäli kasvun aiheuttajana ovat ulkoilman olosuhteet, eikä sisäilmaan ole ilmavuotoja ulkorakenteesta, tämä voidaan sallia. Kosteusvaurioriski on rakenteissa, joissa ulkoseinän lämmöneristeen lämpimällä puolella olevien rakenteiden kohtaan muodostuu kylmäsiltoja ja pintaa jäähdyttäviä ilmavirtauksia. Kantavissa rakenteissa olosuhteiden tulee olla sellaisia, ettei synny homekasvustoon johtavia olosuhteita. (Ympäristöministeriö, 1997; Kokko ym. 1999.)

#### 2.2.5 Sisäilma

Sisäilman kosteuspitoisuuden voidaan olettaa olevan sisäilman kosteuslisä + ulkoilman kosteuspitoisuus. Sisäilman kosteuslisää on vaikea arvioida, koska siihen liittyy esimerkiksi henkilökuormitus, hetkelliset kosteustuotot, ilmanvaihto ja lämpötila. (Leivo, 1998.)

Suurimmat sisäpuoliset vauriot syntyvät erilaisten vuotojen kautta. Vesi-, viemäri- ja putkivuotojen takia voi syntyä kosteus- ja mikrobivaurioita etenkin silloin, kun vuodot syntyvät rakenteiden sisällä, eikä niitä havaita heti. (Sisäilmayhdistys, 2008.)

Erilaiset käyttövedestä aiheutuvat kosteusrasitukset vaihtelevat tottumusten mukaan. Kosteusrasitusta voi tulla siivouksen, pyykinpesun sekä peseytymisen johdosta. Mikäli käyttäjät ovat huolimattomia veden käytössä ja välinpitämättömiä alkaneiden kosteusvaurioiden suhteen, voi rakennukseen tulla suuriakin kosteus- ja mikrobivaurioita. Julkisissa tiloissa vettä voidaan käyttää suuriakin määriä siivouksen yhteydessä. (Leivo, 1998.)

Sisäpuolisissa kosteusvaurioissa oleellista on kosteusvaikutuksen kestoaika ja sen vaikutus itse materiaaliin. Eri materiaaleilla on erilainen kosteudentietokyky. Puupohjaiset materiaalit reagoivat nopeasti kosteuden muutoksiin, kun taas kivipohjaiset materiaalit kestävät kosteutta paremmin. (Kokko ym. 1999.)

Koska korvausilma otetaan rakennukseen ulkoilmasta, voi sieltä kulkeutua myös mikrobeja sisäilmaan. Toisissa ympäristöissä ulkoilman rasitus voi olla suurempaa, kuin toisessa, esimerkiksi maatalousympäristössä on luonnostaan enemmän mikrobeja. Myös siitepölystä tulee rasitusta sisäilmaan. Tuloilman suodatuksella voidaan hieman vähentää ulkoilmasta tulevia rasituksia. (Kokko ym. 1999.)

### **3 Mikrobit ja mikrobivauriot**

Kosteus- ja mikrobivaurioita esiintyy niin asunnoissa kuin työpaikoillakin. On arvioitu, että päivittäin kosteus- ja homevaurioiden aiheuttamille epäpuhtauksille altistuu 600 000 - 800 000 suomalaista. (Hometalkoot, 2011.)

Niin sisä- kuin ulkoilmassa esiintyy mikrobeja, kuten bakteereja, viruksia, homeita ja muita sieniä, ja ne ovat osa luonnollista elinympäristöä. Mikrobeilla on erinomainen lisääntymiskyky ja ne pystyvät muuttumaan ympäristöolosuhteiden mukaan. Mikrobit poikkeavat toisistaan muun muassa siten, että bakteerit ja sienet pystyvät elämään ilman isäntäsolua toisin kuin virukset. Kosteusvaurioituneen rakennuksen mikrobit ovat useimmiten bakteereja ja sieniä. (Leivo, 1998.)

Rakenteet, asumistoiminnot ja ulkoilma ovat sisäilman mikrobilähteitä. Mikrobialtistuksesta tulee ongelmallinen silloin, kun home- ja hiivasieniä tai bakteereja kasvaa



rakennuksen kostuneilla pinnoilla tai rakenteissa. Tällöin ihmisten oleskelutiloihin kulkeutuu mikrobeja, niiden itiöitä tai niiden haitallisia aineenvaihduntatuotteita. Tunnistettaessa sieniä suku- tai ryhmätasolle voidaan arvioida, ovatko mikrobit yleisiä sisäilmassa esiintyviä vai niin sanottuja kosteusvaurioon viittaavia indikaattorimikrobeja. (Asumisterveysopas, 2009.)

Kosteusvaurion kehittyessä alkuvaiheessa rakennuksen pinnoilla alkaa kasvamaan yleisesti ulko- ja sisäilmassa esiintyviä mikrobeja, niin sanottuja primäärivaiheen mikrobeja. Yleisiä sisä- ja ulkoilman mikrobeja ovat etenkin *Penicillium*-, *Aspergillus*- ja *Cladosporium*-sienisuvut (Asumisterveysopas, 2009). Suurina pitoisuuksina myös nämä primäärivaiheen mikrobit voivat aiheuttaa oireita ja sairastumisriskin. Primäärivaiheen homesienet käyttävät ravintonaan sokeryyhdisteitä ja muita lyhytketjuisia hiilihydraatteja. Mikäli rakenne pysyy kosteana pidempään, alkaa rakenteessa kasvamaan sekundäärivaiheen mikrobeja. Sekundäärivaiheen mikrobit käyttävät ravintonaan pitkäketjuisia hiilihydraatteja. Tertiäärivaiheen mikrobeja esiintyy rakenteissa, joissa on pitkään jatkunut kosteusvaurio. Tertiäärivaiheen mikrobit pystyvät hajottamaan puun ligniiniä ja paperin selluloosaa. Pitkälle vaurioituneissa puurakenteissa voi esiintyä lopussa lahottajasieniä, jotka vaikuttavat puun lujuusominaisuuksiin. Tämä on esimerkki mikrobien muuttumista ympäristöolosuhteiden mukaan, eli mikrobisuksessiota. (Husman ym. 2002; Leivo, 1998.)

Mikäli homeen kasvupaikka on lämmin, kostea ja ravinnetta on riittävästi saatavilla, kasvaa sieni paikallaan ja se tuottaa vähän itiöitä. Tämän takia ilmanäytteenotossa voidaan saada hyvinkin pieniä sieni-itiöpitoisuuksia mitatuksi. Kun homeen kasvupaikka alkaa kuivumaan, sieni alkaa tuottamaan runsaasti itiöitä löytääkseen uuden kasvupaikan. Mikäli rakenne taas kastuu uudelleen, alkaa sienikasvusto lisääntymään. Vaurioituneen rakenteen kuivattaminen ei siis poista mikrobivauriota. (Husman ym. 2002).

Ensimmäisen kerran lista kosteusvaurioituneissa rakennuksissa tyypillisesti esiintyvistä mikrobeista julkaistiin vuonna 1992. Kyseessä on niin sanottu Baarnin lista, joka on kansainvälisen tutkijaryhmän laatima. Listaa on tämän jälkeen täydennetty Työterveyslaitoksen ja Terveystieteiden tutkimuskeskuksen (THL) tuloksilla. (Reijula ym. 2012.)

Taulukossa 2 on esitetty yleisesti sisä- ja ulkotiloissa esiintyviä mikrobeja ja tällä hetkellä tiedossa olevia indikaattorimikrobeja. Tähdellä \* merkittyjen mikrobien on todettu tuottavan mahdollisesti myös toksiineja. (Asumisterveysopas, 2009.)

Taulukko 2. Ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyviä sienisukuja ja -ryhmiä sekä kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä. Asumisterveysopas, 2009.

Ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Sisäilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä
Cladosporium *	Penicillium *	Acremonium *
basidiomykeetit	Aspergillus *	Aspergillus fumigatus *
Penicillium *	Cladosporium *	A. ochraceus *
Aspergillus *	hiivat	A. Penicilliodes/A. Restictus
Alternaria		A. Sydowii *
hiivat		A. Terreus *
steriilit **		A. Versicolor *
		Chaetomium *
		Eurotium
		Exophila
		Fusarium *
		Oidiodendron
		Geomyces
		Paecilomyces *
		Phialophora
		Scopulariopsis
		Sporobolomyces
		Sphaeropsidales (Phoma)
		Stachybotryn/Memnoniella *
		Sädesienet *
		Trichoderma *
		Tritirachium/Engyodontium
		Ulocladium
		Wallemia

\*mahdollisesti toksiineja tuottavia mikrobeja

\*\*pesäkkeitä, jotka eivät käytettävillä kasvualustoilla muodosta itiöitä

### 3.1 Mikrobitoksiinit

Joidenkin mikrobien on todettu tuottavan toksiineja, niin sanottuja homemyrkkyjä. Toksiinit ovat joidenkin sienten tai bakteerien aineenvaihduntatuotteita tai soluseinära-

kenteisiin kuuluvia myrkyllisiä yhdisteitä. Sienilaji, sienikanta, lämpötila, kosteus, kasvualue, happi ja hiilidioksidi vaikuttavat toksiinien tuotantoon. Vain osa sienilajeista pystyy tuottamaan toksiineja ja saman sienilajin eri sienikantojen välillä on eroja. (Leivo, 1998.)

Kaikki tutkijat eivät allekirjoita toksiinien syy-seuraussuhdetta ihmisten oireiluun ja sairauksiin. Mikrobivaurioituneista rakenteista on kuitenkin löydetty toksiineja ja niitä tuottavia homesieniä ja bakteereja. Varsinkin näytteenottoon liittyviä menetelmiä ja tulosten analysointia tutkitaan ahkerasti, mutta tähän osa-alueeseen tarvitaan vielä lisätietoa, jotta sitä voidaan käyttää luotettavasti rakennuksen sisäilman toksisuuden arvioimiseen. (Nevalainen ym. 2004.)

Stormin (2010) opinnäytetyössä mikrobi toksisuustutkimuksissa saatiin ristiriitaisia tuloksia. Ristiriitaisuuksia saatiin mikrobi toksisuutta tutkivien laboratorioiden analyyseissa. Tutkimuksessa todetaan, että lisätietoa mikrobi toksisuuden määrittämiseen tarvitaan vielä paljon, ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön viranomaistutkimuksissa.

### 3.2 Mikrobipitoisuuksien ohje-arvoja

Sosiaali- ja terveysministeriön (2003) Asumisterveysohjeessa ja Asumisterveysoppaassa (2009) on asetettu ohje-arvoja sisäilman haittatekijöille. Ohje-arvot perustuvat terveydensuojelulain nojalla julkaistuihin suosituksiin, terveydensuojeluviranomaisten käytännön kokemuksiin ja päätöksiin, kansainvälisiin tieteellisiin tutkimuksiin ja mikrobiologian osalta Kansanterveyslaitoksen (KTL) (nykyisin Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen THL) tutkimuksiin. Näitä ohje-arvoja käytetään etenkin asunnon tai muun oleskelutilan sisäilman terveellisyyttä arvioitaessa.

Se, missä käytössä rakennus on, vaikuttaa siihen, mitä ohje-arvoja sovelletaan. Tällä hetkellä ohje-arvoja löytyy asuntojen lisäksi kouluille ja toimistorakennuksille. Päiväkoti-rakennuksille ei ole luotu omia ohje-arvoja.

Pintanäytteen osalta kuivien ja vauriottomien pintojen sieni-itiöpitoisuudet tulisi olla alle 10 cfu/cm<sup>2</sup>. Asumisterveysoppaan mukaan, mikäli vauriopinnalta otetun näytteen sieni-

itiöpitoisuus on yli 1000 cfu/cm<sup>2</sup> samaan aikaan kun vauriopinnan sieni-itiöpitoisuus on vähintään 100 kertaa niin suuri kuin vertailunäytteen sieni-itiöpitoisuus, voidaan vauriokohdassa katsoa esiintyvän mikrobikasvua. Aktinomykeettien osalta vauriokohdassa voidaan katsoa esiintyvän aktinomykeettikasvustoa, mikäli vauriokohdasta otetun näytteen aktinomykeettipitoisuus on 10 kertaa suurempi, kuin vertailukohdasta otetun näytteen. (Asumisterveysohje, 2003).

Rakennusmateriaalinäytteen tulkinnassa oleellista on huomioida se, mistä näyte on otettu. Maaperän ja ulkoilman kanssa kosketuksissa olevissa rakenteissa voi esiintyä mikrobeja ilman, että kyseessä on kosteusvaurion aiheuttama mikrobikasvu. Myös eri materiaaleissa voi esiintyä hyvinkin erilaisia pitoisuuksia mikrobeja johtuen niiden ominaisuuksista ja koostumuksesta. Mikäli materiaalinäytteen sieni-itiöpitoisuus on 100 kertaa suurempi kuin vertailunäytteen, voidaan näytteessä katsoa esiintyvän sienikasvustoa. Aktinomykeettipitoisuuden ollessa vähintään 100 kertaa suurempi kuin vertailunäytteessä, tulos tulkitaan aktinomykeettikasvustoksi. Mikäli käytössä ei ole vertailunäytettä, voidaan näytteessä katsoa esiintyvän sienikasvustoa, kun sen sieni-itiöpitoisuus on vähintään 10 000 cfu/g. Bakterikasvustoa voidaan katsoa esiintyvän silloin, kun näytteen bakteeripitoisuus on 100 000 cfu/g ja aktinomykeettikasvustoa silloin, kun aktinomykeettipitoisuus on 500 cfu/g. (Asumisterveysohje, 2003).

Kansanterveyslaitoksen julkaisussa (Nevalainen ym. 2007) otetaan kantaa etenkin ilmanäytteen tulosten tulkintaan, kun kyseessä on koulurakennus. Koulurakennuksen sisäilmanäytteen sieni-itiöpitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin asuntojen vastaavat pitoisuudet. Koulurakennuksissa tulee ottaa huomioon tilan käyttö ja ilmatilavuus. Tämän takia näytteitä tulisi ottaa vähintään 10-12 kappaletta. Yksittäisiä tuloksia tarkasteltaessa mikäli näytteen sieni-itiöpitoisuus on 50-200 cfu/m<sup>3</sup>, voidaan tuloksen katsoa olevan poikkeuksellisen suuri ja se voi viitata mikrobivaurioon. Tämän jälkeen tarkastellaan sekä mediaania että pienempiä tuloksia. Vertailurakennusten ilmanäytteiden tulokset ovat keskimäärin alle 12 cfu/m<sup>3</sup>. Pienempien tulosten osalta on havaittu, että vauriottomissa vertailukouluissa niin sanottuja nollatuloksia on noin 25 % näytteistä. Vaurioituneissa rakennuksissa tällaisia näytetuloksia ei tule juuri lainkaan. Taulukossa 3 on esitetty ilmanäytetulosten tulkintaperusteet, jotka koskevat koulurakennuksia.

Taulukko 3. Talviaikaan otettujen ilmanäytteiden tulosten tulkintaperusteet. Nevalainen ym. 2007.

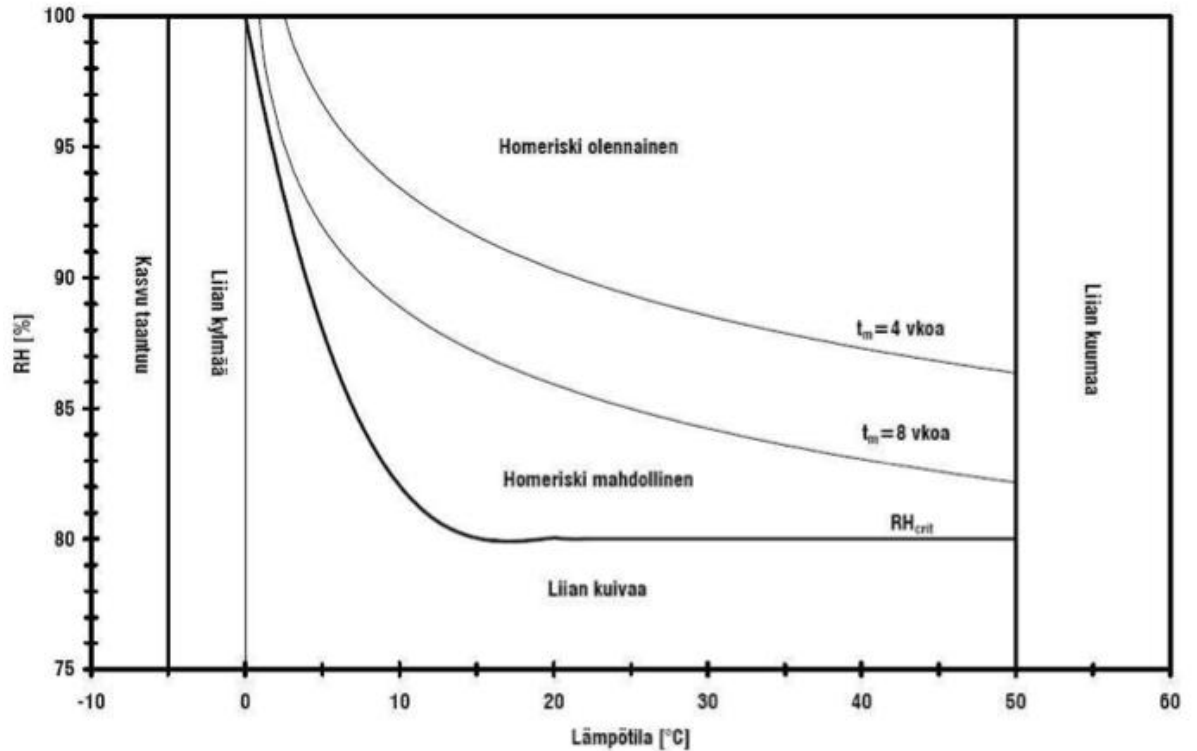
<b>Vaurioton rakennus (näytteiden pitoisuudet)</b>	<b>Viittaa homevaurioon (näytteiden pitoisuudet)</b>
Enintään muutama yli 50 cfu/m <sup>3</sup>	Useita 50-200 cfu/m <sup>3</sup>
Mediaani alle 12 cfu/m <sup>3</sup>	Mediaani yli 20 cfu/m <sup>3</sup>
Useita "nolla"-tuloksia	Harvoja "nolla"-tuloksia

Koulurakennusten pinta- ja materiaalinäytteiden tulosten tulkinnassa voidaan käyttää Asumisterveysohjeen ja -oppaan tulkintaohjeita. (Nevalainen ym. 2007).

### 3.3 Mikrobin kasvuedellytykset

Mikäli kosteusvaurioita ei korjata, on hyvin todennäköistä, että kosteusvaurioituneeseen rakenteeseen syntyy mikrobivaurio. Olosuhteet määrittelevät mikrobikasvun kehittymisen. Joissain tapauksissa kosteusvaurion kehittyessä vauriokohtaan voi ilmaantua home-, hiiva- ja bakteerikasvustoa jo muutaman päivän kuluttua ja toisissa tapauksissa se voi viedä jopa vuosia. Sinistymä- ja lahovikoja voi ilmentyä puurakenteissa, joissa on pitkäaikainen kosteusvaurio. (Asumisterveysopas, 2009.)

Bakteereja ja sieni-itiöitä on aina maaperässä, joten niitä esiintyy luonnostaan myös monissa materiaaleissa, kuten esimerkiksi hiekassa, betonissa ja tasoitteissa (Husman ym. 2002). Jotta mikrobit voivat kasvaa, ne tarvitsevat kosteutta, ravinteita ja sopivan lämpötilan. Kasvuedellytyksiltään monet mikrobit ovat vaatimattomia ja usein ainut rajoittava tekijä mikrobikasvulle on rakenteiden ja pintojen kosteus. Kun rakenteen tasopainokosteus ylittää 80 %, mikrobikasvu alkaa. (Asumisterveysopas, 2009.) Kuvassa 4 on esitetty homeen kasvun riski eri olosuhteissa.



Kuva 4. Homeen kasvun riski. Leivo & Rantala 2002.

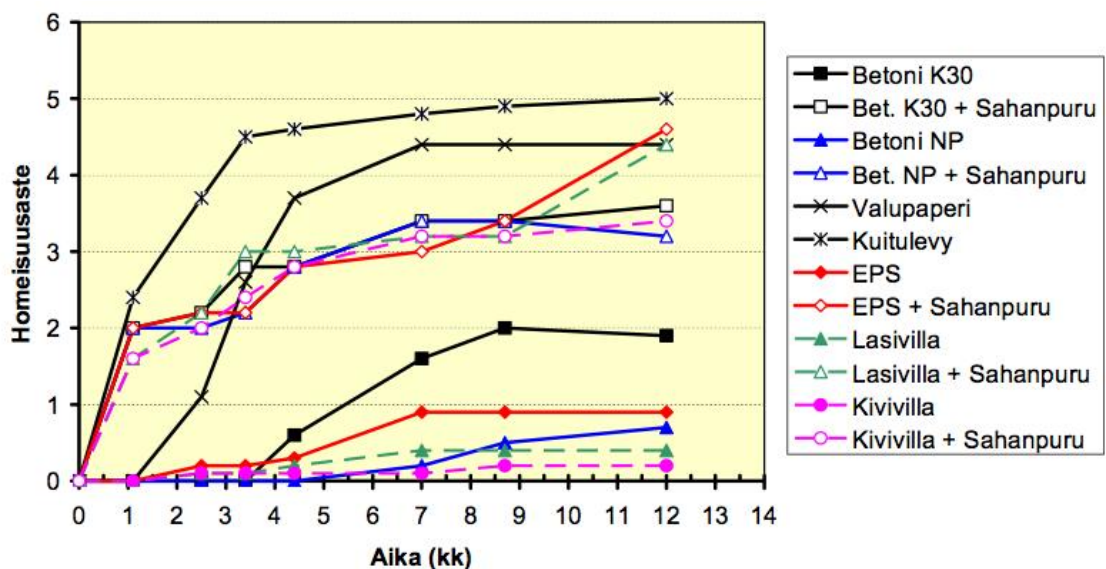
Mitä alhaisempi on lämpötila, sitä korkeampi tulee olla suhteellisen kosteuden, jotta homekasvusto alkaa kasvamaan. Home ei kasva pakkasessa, eikä myöskään yli 50 asteen lämpötilassa. Homeen kasvu on herkimmillään kasvuvaiheessa ja pakkasen voi tappaa rihmaston (Kokko ym. 1999.)

Homeen kasvuedellytyksiä ja -olosuhteita on tutkittu paljon laboratorio-olosuhteissa. Esimerkiksi VTT:llä on kehitetty 1990-luvulla matemaattinen malli, jolla voidaan arvioida homehtumisriskiä muuttuvissa olosuhteissa. Tampereen teknillisen yliopiston ja VTT:n toimesta laskentamallia on pyritty parantamaan ja projekti jatkuu edelleen. Tässä yhteydessä on luotu homeriskimalli, taulukko 4. (Vinha, 2011.)

Taulukko 4. Homeen kasvun laskentamallin homeindeksiluokitus. Vinha, 2011.

Home-indeksi M	Havaittu homekasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhtas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla), Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmillä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

Aiemmissa VTT:n tutkimuksissa oli saatu joidenkin materiaalien osalta homeindeksin kehittyminen, kuva 5.



Kuva 5. Joidenkin materiaalien pintojen homehtuminen, 20 °C:n lämpötilassa ja 98–100 % suhteellisessa kosteudessa. Vinha, 2011.

Homeet voivat kasvaa lähes kaikissa materiaaleissa, mutta organisissa materiaaleissa mikrobikasvu syntyy nopeammin.

VTT:n kokeiden (Kokko ym. 1999) perusteella tiedetään, että homeen kasvu hidastuu, kun koekappaleet altistetaan välillä epäsuotuisille kasvuolosuhteille. Mitä pidempää homekasvusto altistetaan kuivuudelle, sitä hitaampaa on homekasvun alkaminen.

Mikrobien itiöt sietävät hyvin kuivuutta, eikä kostuneen rakenteen väliaikainen kuivuminen tuhoa mikrobikasvustoa. Mikäli mikrobivaurioita ei poisteta, se voi aiheuttaa haittaa tilojen käyttäjille, vaikka materiaali on kuivunut tai kuivatettu. Kun rakenteen kosteus kasvaa uudelleen, osa mikrobeista jatkaa kasvuaan. (Ympäristöministeriö, 1997; Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003.)

Vuodenaika vaikuttaa vahvasti ulkoilman itiöpitoisuuteen. Kylmän talven ja lumipeitteen ansiosta ulkoilmassa ei juuri esiinny mikrobeja. Keväällä, kun maa alkaa sulamaan, nousee ulkoilman itiöpitoisuus. Elo-syyskuussa sienten aktiivisuus on huipussa ja ulkoilman sieni-itiöpitoisuudet ovat tällöin korkeimmillaan. (Leivo, 1998.)

### 3.4 Terveyshaitat

Terveydensuojelulain (763/1994) mukaan terveyshaitalla tarkoitetaan ihmisessä todettavaa sairautta tai sellaisen olosuhteen ilmentymistä, joka voi vaarantaa ihmisen tai väestön terveyden.

Kosteus- ja homevaurioiden terveysvaikutuksia on tutkittu kauan, mutta vieläkin niiden terveydellistä merkitystä ei täysin ymmärretä. Rakenteiden ja materiaalien mikrobikasvustoja sekä niissä kasvavia mikrobisukuja ja -lajistoja pidettiin aiemmin oireiden aiheuttajina. Myöhemmin on todettu, että sisäilman ja materiaalien homesienillä ja bakteereilla ei ole selvää yhteyttä oireisiin ja sairauksiin. (Eduskunta, 2012.)

Putuksen (2010) selvityksen mukaan mikrobisukujen ja -lajien välillä on eroja, kun puhutaan terveysriskeistä. Tämän takia homeita ei tule käsitellä vain ryhminä. Osa mikrosuvuista on allergisoivia, jotkut voivat olla toksisia ja eräät mikrobisuvut voivat aiheuttaa suoran infektion elimistössä. Myös eri mikrobisukujen yhteisvaikutuksella on merkitystä.



Mikrobivaurioista peräisin olevat epäpuhtaudet vaikuttavat tilojen käyttäjien terveyteen, aiheuttaen erinäisiä oireita ja sairauksien riskien lisääntymistä. Tutkimusten mukaan kosteus- ja mikrobivaurioihin voidaan yhdistää hengitysoireita sekä muita yleisoireita, kuten yskää, nuhaa, silmien ärsytystä, kurkkukipua, hengenahdistusta, päänsärkyä ja keskittymisvaikeuksia. (Nevalainen, 2001.)

Henkilöillä, jotka oleskelevat kosteus- ja homevauriorakennuksessa oireet etenevät ja vaihtuvat vaurion iän ja mikrobikannan mukaan. Alkuvaiheessa rakennuksessa koetaan viihtyvyys- ja hajuhaittoja ja vaurion kehittyessä todetaan erilaisia ärsytys- ja yleisoireita. (Putus, 2010.)

Henkilöt, joilla on pohjalla astmaa tai allergiaa, oireilevat useimmiten herkemmin mikrobeille. Tilan käyttäjien oireilun yhdistäminen mikrobivaurioihin voi olla hankalaa, koska jokainen reagoi eri tavalla mahdollisiin vaurioihin ja tavallisimmat yleisoireet voivat esiintyä lapsilla sekä aikuisilla myös muista syistä. Oireet voivat johtua myös esimerkiksi puutteellisesta ilmanvaihdosta, vedosta, kylmyydestä, materiaalipäästöistä tai pölyisyydestä. (Kansanterveyslaitos, 2007.)

Hengitysteiden ärsytysongelmat, kuten nuha, yskä, käheys ja astmaoireet, ovat yleisimpiä mikrobivaurioiden aiheuttamia terveyshaittoja. Muita yleisoireita on väsymys, keskittymisvaikeudet, päänsärky ja kuumeilu. Nämä yleisoireet liittyvät useasti myös puutteellisesta ilmanvaihdosta johtuviin oireisiin. Henkilön oireisiin vaikuttaa esimerkiksi altistumisaika ja ikä. (Kansanterveyslaitos, 2007.)

Ärsytysoireiden jälkeen ilmaantuu toistuvia hengitystieinfektioita ja tulehduskierteitä. Infektiot voivat pitkittyä ja läikehoito auttaa huonosti. Joillain henkilöillä oirekuvaan saattaa tulla astma- ja allergiaoireita. (Putus, 2010.)

Kansanterveyslaitoksen julkaisun (Meklin ym. 2007) perusteella kouluikäisistä lapsista 5-6 %:lla on lääkärin toteama astma. Kosteus- ja homevaurioituneissa kouluissa astmaattikkojen määrä voi olla jopa 2-3 kertaa suurempi kuin vertailukouluissa.

Kun rakennuksen vaurio kehittyy ja tertiäärivaiheen mikrobit ilmaantuvat, voi altistuvilla henkilöillä tulla vakavia yleisoireita, neurologisia oireita sekä kudus- ja elinvaurioita.

Vakavia terveyshaittoja voi tulla henkilöille, joilla on ollut altistumista vuosikausia, jopa 10-15 vuotta. (Putus, 2010.)

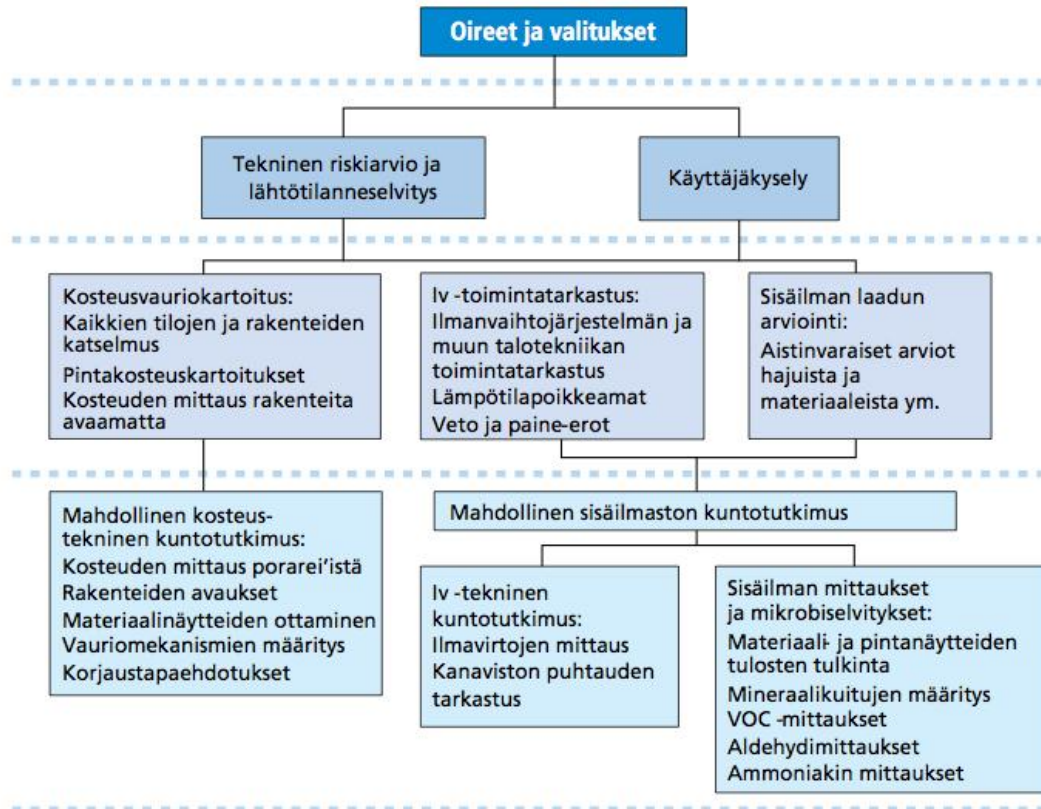
Kouluissa ja päiväkodeissa mikrobivaurioita epäiltäessä, päädytään usein tekemään oirekysely. Oirekyselyjä verrataan useasti vertailukohteen tai normaaliväestön tuloksiin. Tällä pyritään selvittämään, onko kyseessä tavanomainen oireilu vai mahdollisesti sisäilman aiheuttama oireilu. Kyselyillä pyritään selvittämään myös ongelman laajuutta ja mahdollisesti jopa paikantamaan ongelmaa. Yleensä kyselyt osoitetaan henkilökunnalle. Mikäli kyselyjen perusteella huomataan, että jossakin rakennuksen osassa tai esimerkiksi kerroksessa oireillaan enemmän kuin muualla, voidaan tutkimuksia kohdistaa juuri näihin osiin. Oirekyselyt on hyvä toistaa korjausten valmistuttua. (Opetushallitus, 2008.)

Mikrobivaurioiden terveysvaikutuksia on hankala tutkia, koska jokainen ihminen reagoi niihin eri tavalla. Yksilöllinen herkkyys vaikuttaa sairauksien syntyyn ja kehittymiseen. Ihmisten perussairauksilla on merkittävä vaikutus kosteusvaurioaltistumiseen ja siihen liittyvään oireiluun. Mikrobivauriot saattavat myös pahentaa perussairauksien oireita. (Reijula, 2012.)

#### **4 Rakennuksen kunnan selvittäminen**

Kun epäillään rakennuksessa olevan kosteus- tai mikrobivaurio, tulee ensisijaisesti tehdä rakennustekninen arviointi. Arvioinnissa tulee kiinnittää huomiota riskirakenteisiin, riskien todennäköisyyksiin, epäpuhtauksien kulkeutumiseen sekä ilmanvaihtoon. Mikrobivaurioiden tunnistamiseen käytetään mikrobipitoisuuksien ja -lajistojen määrittämistä. (Reijula ym. 2012.)

Opetushallituksen oppaassa ”Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen” (2008) on annettu ohjeet rakennusten kunnan tutkimiseen. Opas on suunniteltu koulurakennusten kunnan selvittämiseen, mutta samoja ohjeita voidaan käyttää myös muidenkin rakennusten kohdalla. Kuvassa 6 on esitetty eri vaiheet rakennuksen kunnan arvioimiseen ja tutkimiseen.



Kuva 6. Rakennuksen kunnon arvioinnin ja tutkimisen vaiheet. Opetushallitus, 2008.

Kuntotutkija tekee lähtötilanneselvityksen haastattelujen, aikaisempien selvitysten, piirustusten ja kohteessa käynnin perusteella. Kohteessa keskitytään epäilyksen alla oleviin rakennusosiin ja tiloihin, laajempia tarkastuksia ei tehdä vielä tässä vaiheessa. Näiden pohjalta kuntotutkija kirjoittaa raportin, jonka pohjalta voidaan jatkaa muita selvityksiä. (Opetushallitus, 2008.)

Mikäli teknisessä riskinarvioinnissa ja lähtötilanneselvityksessä ei löydy selkeää syytä epäilyihin kosteus- ja/tai mikrobivaurioihin, on syytä teettää henkilökunnalla käyttäjäkysely. Parhaimmillaan kyselyn pohjalta saadaan tietoa ongelman laajuudesta ja ongelman paikasta. Käyttäjäkyselyyn on suunniteltu kaavakkeita, esimerkiksi Työterveyslaitoksen oire- ja olosuhdehaittakysely MM-40 (Työterveyslaitos, 2006). Useasti sisäilmastokysely toistetaan, kun korjaukset on tehty. Näin voidaan arvioida korjausten onnistumista ja niiden vaikutusta verrattuna oireiluun. (Opetushallitus, 2008.)

#### 4.1 Kosteusvauriokartoitus

Kosteusvauriokartoitus kohdistetaan riskirakenteisiin lähtötilanneselvityksen ja käyttäjäkyselyn perusteella. Kartoitus kohdistetaan yleensä sisäpuolisten tilojen lisäksi alapohjaan, ullakkotiloihin, vesikatolle ja ulkoseiniin. Riskirakenteisiin tehdään pintakosteusmittaus, joka on aina suuntaa antava. Kosteusvauriokartoituksessa ei avata rakenteita ja sen suorittaa usein kuntotutkija. (Opetushallitus, 2008.)

#### 4.2 Ilmanvaihdon tarkastus

Ilmanvaihdon tarkoitus on huolehtia korvausilman saannista ja poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon toimivuudella on suuri merkitys rakennuksen sisäilmaan, koska se vaikuttaa suoraan tai välillisesti tekijöihin, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa rakennuksen käyttäjille. (Asumisterveysopas, 2009.)

Ilmanvaihdolle on syytä tehdä selvitysvaiheessa toimintatarkastus, jossa selviää järjestelmän kunto, puhtaus ja tekninen taso. Vanhoissa järjestelmissä tulee kiinnittää huomiota etenkin ilmamääriin ja mahdollisiin mineraalikulutalähteisiin. Tarkastuksessa käydään ilmanvaihtokojehuoneissa ja siellä tarkastetaan puhaltimet, suodattimet, äänenvaimentimet ja kammiot sekä kojeiden yleinen puhtaus ja kunto. (Opetushallitus, 2008.)

Paine-eromittauksilla saadaan tietoa ilmamääristä, sekä rakennuksen ulko- ja sisäpuolen välisiä paine-eroja. Mikäli epäillään ilmanvaihdon olevan riittämätön tilan käyttäjiin nähden, voidaan suorittaa hiilidioksidipitoisuuden mittauksia. (Opetushallitus, 2008.)

#### 4.3 Aistinvaraiset arviot

Aistinvaraisella arvioinnilla pyritään paikallistamaan poikkeavia hajuja ja niiden lähteitä. Eri hajuja rakennuksessa voi olla johtuen viemäreistä, homeesta tai esimerkiksi eri materiaaleista. Sisäilman tunkkaisuus viestii puutteellisesta ilmanvaihdosta. Silmämääräisessä tarkastuksessa saadaan selville mahdollisia kattovuotoja pintojen värimuunnoksina tai voidaan arvioida siivouksen tasoa pintojen pölyisyyden kautta. (Opetushallitus, 2008.)

#### 4.4 Kosteustekninen kuntotutkimus

Mikäli kosteusvauriokartoituksen havainnot vaativat lisäselvityksiä, tehdään kosteustekninen kuntotutkimus. Kuntotutkimuksen tavoitteena on löytää piilovaurio ja selvittää syy vaurioitumiseen. Kuntotutkimuksessa joudutaan usein aukomaan rakenteita sekä ottamaan materiaali- ja pintanäytteitä. Kuntotutkimuksen perusteella voidaan laatia korjaustapaehdotus. (Opetushallitus, 2008.)

#### 4.5 Sisäilmaston kuntotutkimus

Tapauksissa, joissa kosteusvaurioita ei ole havaittu tai ne eivät selitä sisäilmasto-ongelmaa, tehdään sisäilmaston kuntotutkimus. (Opetushallitus, 2008.)

Mahdolliset näytteenotot kohdistetaan niille alueille, jotka ovat tulleet ilmi aikaisempien selvitysten ja kyselyn perusteella. Näytteenotossa keskitytään ensisijaisesti materiaalinäytteenottoon, jotta mahdollisten mikrobivaurioiden sijainti saadaan selville. Mikäli näkyviä vaurioita ei ole, voidaan suorittaa sisäilman mikrobipitoisuuden mittauksia. Ilmamittauksilla voidaan saada selville piilossa olevat mikrobivauriot. (Opetushallitus, 2008.)

Näytteiden analysointi perustuu Asumisterveysohjeen (2003) mukaan viljelyyn. Viljelyyn perustuvien menetelmien ongelmia on se, että elatusalustat ovat valikoivia ja ne suosivat tiettyjä nopeakasvuisia lajeja ja sukuja. Viljely perustuu elinkykyisten mikrobin kasvatukseen, joten kuolleita ja vaurioituneita itiöitä ei saada esiin käytetyillä tekniikoilla. Mikrobisoluista, vain noin 1-10 % saadaan esiin viljelyyn perustuvilla menetelmillä. Analyysivastauksen saamiseen menee myös aikaa, joten hitaus on myös viljelyn ongelma. (Putus, 2010.)

Herkkää genotyyppiseen tunnistukseen perustuvaa polymeraasiketjureaktio (qPCR) -menetelmää tutkitaan yhä enemmän. Tällä menetelmällä on etuja verrattaessa sitä viljelyyn perustuviin menetelmiin. PCR-tekniikka on nopeaa ja se havaitsee myös negatiivisten, kuivuneiden ja kuolleiden mikrobisolujen DNA:n. Ongelmia tämän menetelmän kohdalla on se, että se havaitsee vain niitä mikrobeja, joita valitaan tutkit-

tavaksi. Vaikka tutkimusta on tehty jo paljon, tälle menetelmälle ei ole vielä ohje-arvoja. (Eklund, 2012.)

#### 4.5.1 Ilmanäyte

Sienten itiöitä leijuu pääsääntöisesti aina ulkoilmassa. Kovalla pakkasella ja maan ollessa lumen peitossa ei ilmassa ole sieni-itiöitä. Korkeimmillaan ulkoilman sienitiöpitoisuus on loppukesällä ja syksyllä. (Putus, 2010.)

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira (2010) ohjeistaa ilmanäytteenotossa terveydensuojelun valvontaohjeistuksessa. Ohjeen mukaan ilmanäytteitä suositellaan otettavan vain, kun maa on jäässä ja lumen peitossa. Tällöin voidaan olettaa mahdollisten mikrobilöydösten olevan lähtöisin rakennuksesta, ei ulkoilmasta. Mikäli näytettä ei ole mahdollista ottaa talviaikaan, tulee ulkoilmasta ottaa vertailunäyte.

Sisäilmanäytteitä otetaan silloin, kun halutaan selvittää, onko sisäilman mikrobipitoisuus ja -suvusto tavanomainen. Sisäilman mikrobipitoisuuteen vaikuttaa rakennuksen sijainti, rakenteiden kunto, rakennuksen käyttäjät ja vuodenaika. Myös mikrobien kasvualusta ja -olot sekä muut mikrobien ominaisuudet vaikuttavat. (Asumisterveysopas, 2009; Opetushallitus, 2008.)

Sisäilmanäytteen ongelma on sen edustavuus. Koska sisäilman mikrobipitoisuus voi vaihdella eri olosuhteista riippuen, tulisi näytteenottoja suorittaa useana eri kertana ja näytteitä olla tarpeeksi monta. Koulurakennuksissa suositellaan näytteitä otettavan jopa 10-12 kappaletta. Näytteenottoaika on suhteellisen lyhyt, 10-15 minuuttia, joten sillä on melko huono ajallinen edustavuus. On tapauksia, joissa rakennuksessa voi olla suurikin mikrobivaurio, mutta ilmanäytteillä sitä ei saada kuitenkaan todetuksi. (Rantamäki ym. 2000.)

Korttisen (2010) opinnäytetyössä tutkittiin sisäilman mikrobinäytteenoton uusittavuutta ja toistettavuutta. Työssä havaittiin sisäilman mikrobipitoisuuden vaihtelevan suuresti lyhyelläkin aikavälillä ja samasta näytepisteestä otettujen peräkkäisten näytteiden mikrobipitoisuudet erosivat toisistaan. Tutkimuksen mukaan yksi näytetulos ei kuvaa sisäilman mikrobipitoisuutta luotettavasti ja näytteitä tulisi aina ottaa useita.

Asumisterveysoppaassa (2009) on kerrottu menetelmä ilmanäytteen keräykseen. Näytteenotossa suositellaan käytettävän Andersen-keräintä. Näytteen tilavuusvirta tulee olla 28,3 l/min. Näytteenotossa käytetään muovisia maljoja, joiden halkaisija on 9 cm. Impaktorin osat tulee puhdistaa ennen jokaista näytettä 70 %:lla etanolilla ja kuivata huolellisesti. Agarmaljat asetetaan impaktorille ja pumppu asetetaan noin 1-1,5 metrin korkeudelle huoneen keskelle. Suositeltu näytteenottoaika on 10 minuuttia. Vertailunäytettä otettaessa voidaan käyttää hieman pidempää näytteenottoaika ja sulan maan aikana sekä ulkoilmanäytettä otettaessa taas hieman lyhyempää. Jokaisessa näytteenottopisteessä otetaan näytteet sekä sienten, että bakteerien kasvualustoille. Sienille voidaan käyttää kahta eri kasvatusalustaa, M2-agarilla esiintyy suhteellisen kosteassa esiintyvät sienet ja DG18-agarilla suhteellisen kuivassa esiintyvät sienet. THG-agarilla käytetään bakteerien tunnistukseen.

Tilan käyttäjiä tulee ohjeistaa ennen näytteenottoa. Elintarvikkeiden käsittely, korjaustyöt, siivous, tuuletus, polttopuiden käsittely ja esimerkiksi ilmanpuhdistimien toiminta voivat vaikuttaa ilmanäytteen tuloksiin, joten näitä tulee välttää ennen näytteenottoa. (Valvira, 2010.)

Näytteenoton aikana ulko-ovet ja ikkunat tulee olla suljettuina. Jokaista näytettä otettaessa tulee merkitä ylös näytteenottoaika, kellonaika, paikka, vallitseva säätila sekä kuvaus näytteenottopisteestä. Kuvauksessa oleellista on mahdolliset mikrobilähteet sekä mahdolliset tulokseen vaikuttavat tekijät, kuten polttopuut ja huonekasvit. (Asumisterveysopas, 2009).

#### 4.5.2 Materiaalinäyte

Rakenteiden avaukset kohdistetaan riskirakenteisiin ja tiloihin, joissa on koettu oireilua ja/tai poikkeavaa hajua. Näistä kohdista voidaan tapauskohtaisesti ottaa materiaalinäytteitä. Näytteenottokohta tulee harkita tarkkaan, jotta näyte edustaisi mahdollisimman hyvin tutkittavaa aluetta. Tuloksen tulkitseminen helpottuu, kun vastaavasta rakenteesta otetaan vertailunäyte. (Opetushallitus, 2008.)

Ongelmalliseksi materiaalinäytteenotto tulee silloin, kun ei ole tiedossa selvää vauriokohtaa, tai rakenteen aukaisu ei ole mahdollista.

Tulosten tulkinnassa oleellista on myös se, mistä näyte on otettu. Maaperän ja ulkoilman kanssa kosketuksissa olevissa rakenteissa voi esiintyä mikrobeja ilman, että kyseessä on terveyshaitta. Oleellista on, kulkeutuuko todetut mikrobit sisäilmaan.

#### 4.5.3 Materiaalipäästöt

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ovat kemiallisia epäpuhtauksia, joiden lähteitä ovat etenkin rakennus- ja sisustusmateriaalit, maalit, liimat ja lakat. Sisäilmassa voi olla satoja orgaanisia yhdisteitä. Kosteuden vaikutuksesta pitoisuudet saattavat lisääntyä. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan mitata ilmanäytteen avulla mikäli tilojen käyttäjät havaitsevat pistävää hajua tai kokevat oireilua. Yleisimmät oireet ovat silmien ja limakalvojen ärsytys ja päänsärky. (Asumisterveysopas, 2009.)

## 5 Koulu- ja päiväkotirakennusten kunto

Suomessa on tutkittu paljon julkisten rakennusten, kuten esimerkiksi koulujen kosteusvaurioiden esiintymistä ja yleisyyttä. Tutkimusta ovat tehneet muun muassa Kansanterveyslaitos, Teknillinen korkeakoulu ja Kuntaliitto. Selvitysten mukaan kosteus ja homevauriot ovat yleisiä koulurakennuksissa.

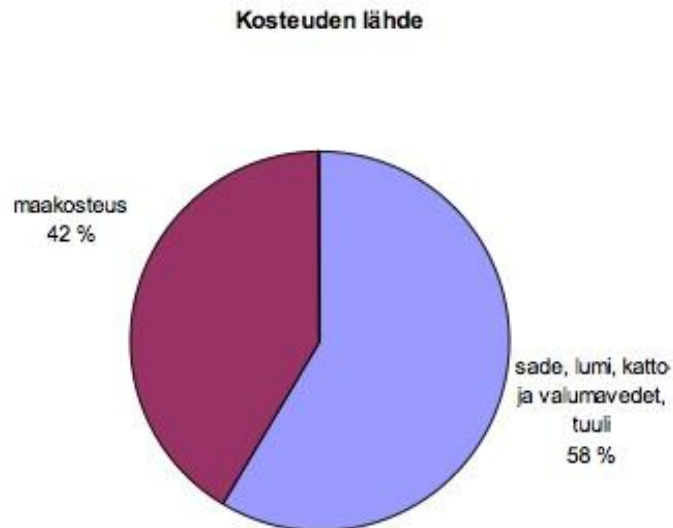
Eduskunnan julkaisun (Reijula ym. 2012) mukaan Suomen päiväkoti- ja koulurakennuksista noin 12–16 prosentissa on arvioitu esiintyvän merkittäviä kosteus- ja homevaurioita. Merkittävimpiä syitä päiväkoti- ja koulurakennusten vaurioihin on säännöllisten tarkastusten vähyyys ja ennaltaehkäisevän kiinteistönhoidon ja -huollon puute. Myös rakennuskannan ikääntyminen ja rakennusten riskirakenteet ovat merkittävä syy rakennusten vaurioitumiseen. Korjauksien ja ennaltaehkäisevän huollon esteenä on usein rahoituksen puute.

Vuosina 2007 ja 2008 STAKES (nykyinen THL) toteutti kyselyn kaikille peruskoulujen rehtoreille. Alakouluista saatiin vastauksia yhteensä 1432 koulusta, mutta tästä poistet-

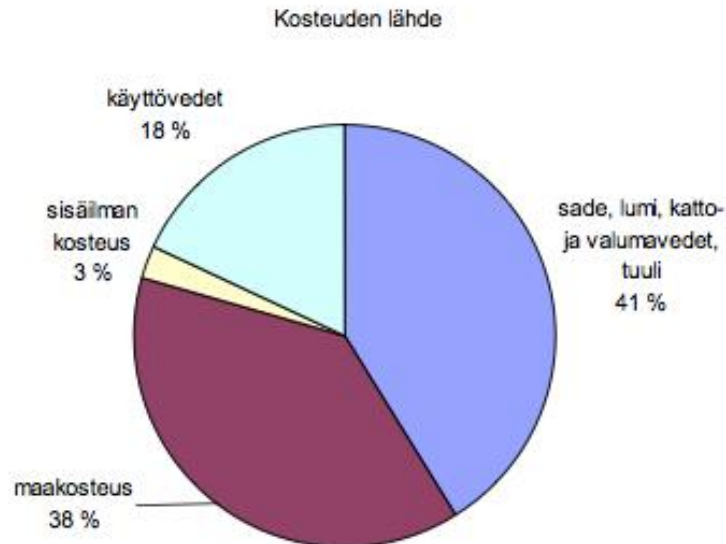


tiin erityiskoulut ja koulut, joissa oli alle 20 luokkien 1-6 oppilasta. Aineistossa oli koulu- ja tämän jälkeen 1346. Yläkouluja aineistossa oli 539. Yläkoulujen tulokset julkaistiin vuonna 2007 (toim. Rimpelä ym.) ja alakoulujen vuonna 2008 (toim. Rimpelä ym.). Kyselyjen perusteella joka toisessa yläkoulussa oli laiminlyöty vuosikorjauksia ja joka kolmannessa koulussa oli kosteusvaurioita. Joka viidennessä koulussa oli rehtorin tiedossa olevaa homealtistusta. Alakoulujen osalta kosteusvaurioita raportoitiin olevan joka neljännessä koulussa ja homevaurioita 15 %:ssa alakouluista. Kyselyjen perusteella kosteus- ja homevauriot olivat yleisimpiä ylä- kuin alakouluissa.

Kuntaliitto on selvittänyt julkisten rakennusten kuntoa vuonna 2005 (Ruokojoki, 2005). Tästä on julkaistu raportti "Kosteus- ja homeongelmien määrä ja syyt kuntien rakennuksissa 2005". Selvitys on tehty kuntien vastaamien kyselyiden pohjalta ja näistä selviää, että kosteus- ja homeongelmien määrät eivät ole vähentyneet verrattaessa tuloksia vuoden 2000 tuloksiin, jolloin Kuntaliitto on tutkinut asiaa edellisen kerran. Kunnat ovat arvioineet suunnitteluvirheiden olevan useimmiten syynä vaurioihin. Kosteuden lähteet vaihtelevat sen mukaan, missä käytössä rakennus on. Kuvissa 7-8 on päiväkotij- ja koulurakennusten kosteuslähteet esitetty piirakkakuviaina.

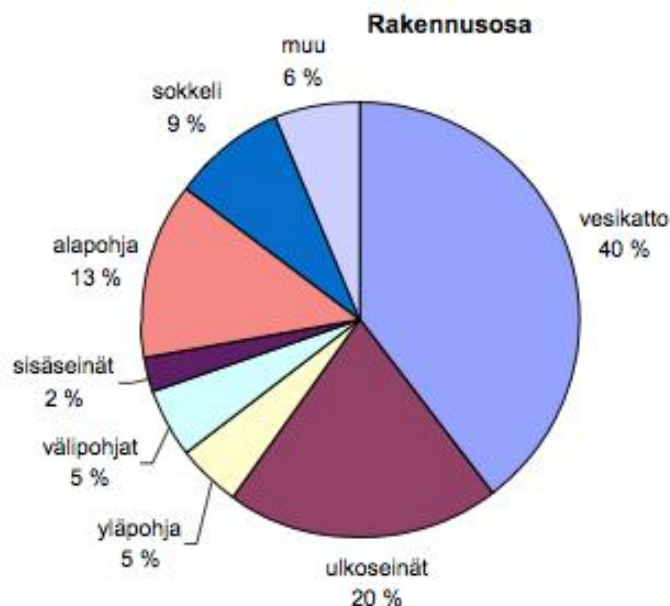


Kuva 7. Kosteuden lähteet päiväkotirakennuksissa. Ruokojoki, 2005.

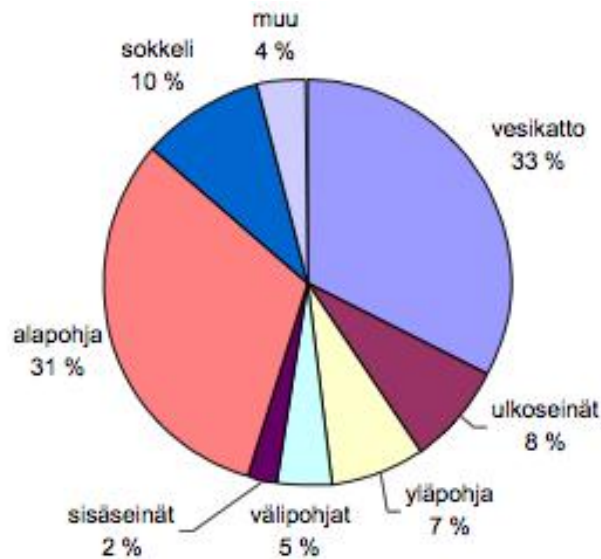


Kuva 8. Kosteuslähteet peruskoulurakennuksissa. Ruokojoki, 2005.

Myös siinä missä vaurio sijaitsee, on eroja, kun vertaillaan päiväkotij- ja koulurakennuksia. Kuvissa 9-10 on esitetty päiväkotij- ja koulurakennusten vaurioiden sijainti rakennusosittain. Vesikaton on havaittu olevan molemmissa rakennustyypeissä yleisin paikka vaurioille, mutta koulurakennuksissa alapohja on lähes yhtä yleinen paikka vaurioille. Päiväkotirakennuksissa toiseksi yleisimmin vaurio sijaitsee ulkoseinissä.

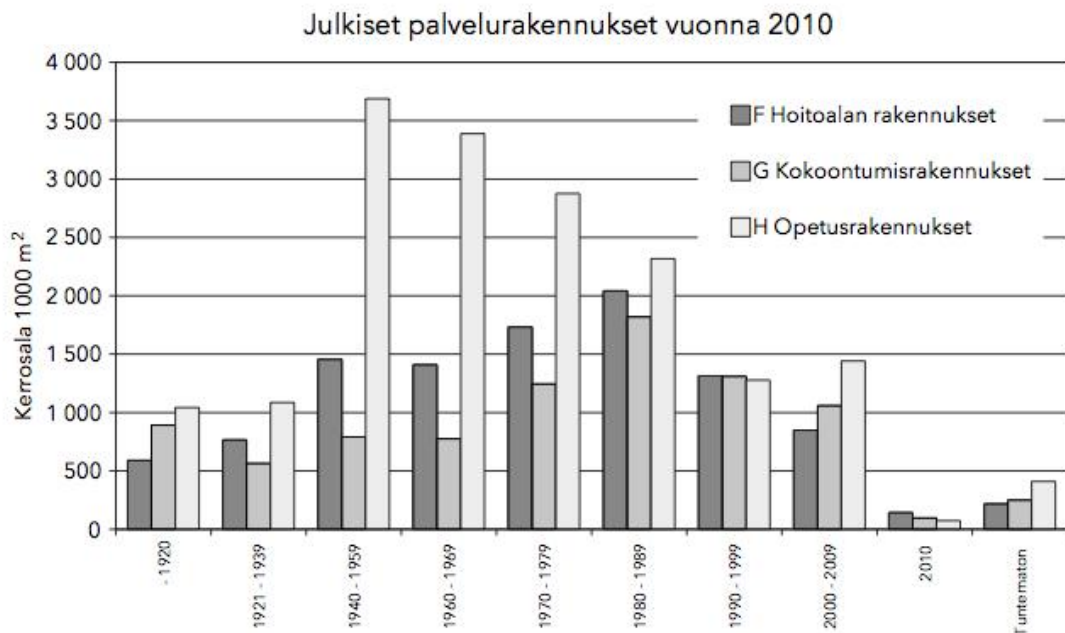


Kuva 9. Päiväkotirakennuksissa esiintyvien vaurioiden sijainti. Ruokojoki, 2005.



Kuva 10. Peruskouluissa esiintyvien vaurioiden sijainti. Ruokojoki, 2005.

Eduskunnan julkaisun (Reijula ym. 2012) kuvan 11 mukaan opetusrakennusten rakennuskanta on vanhaa. Suurin osa kerrosalasta on rakennettu ennen 1970-lukua. 19 % kerrosalasta on rakennettu vuosina 1960–1969 ja 21 % vuosina 1940–1959.



Kuva 11. Rakennusten kerrosala rakennusluokittain ja rakennevuosiluokittain vuonna 2010. Reijula ym. 2012.

Rakennusten elinkaari suunnitellaan hyvin pitkäksi, rakennusosien ikä on yleensä 40-60 vuotta. Huolto ja kunnossapito vaikuttavat oleellisesti rakennuksen tekniseen elinkaareen. (Reijula ym. 2012.)

Opetusrakennusten tekninen kunto on vaatinut huomattavia perusparannuksia ja korjauksia. On rakennuksia, joissa niiden vaatimia korjauksia ei ole tehty ja tämä lisää kuntien korjausvelkaa. Samalla myös rakennusten arvo laskee ja sisäilmaongelmat lisääntyvät. (Pekkola ym., 2011.)

Kuntaliiton tekemän selvityksen mukaan (Hekkanen, 2006) kosteus- ja homevaurioita voidaan ehkäistä vanhojen rakennusten osalta kunnossapidon järjestelmällisemmällä suunnittelulla ja toteutuksella ja peruskorjauksia tehdessä tulee kiinnittää tarkemmin huomiota kosteusasioihin.

## **6 Epäpuhtauksien kulkeutuminen**

Rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välistä paine-eron aiheuttamaa ilman virtausta rakennuksen vaipan läpi kutsutaan ilmavuodoksi. Ilmapitävällä rakennuksella on pieni energiankulutus ja sen ilmanvaihtoa ja ilmanlaatua voidaan kontrolloida paremmin. Rakenteiden ilmapitävyys vaikuttaa epäpuhtauksien kulkeutumisen lisäksi rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen. Jos lämpimään ilmaan sitoutunut kosteus pääsee kulkeutumaan rakennuksen ilmanvuotokohdista sisältä ulospäin, voi se tiivistyessään aiheuttaa kosteusvaurioita. (Aho & Korpi, 2009.)

Oleellista mikrobivaurioituneen rakenteen tutkimisessa on selvittää, kulkeutuvatko rakenteessa olevat mikrobit sisäilmaan. Ulkopuolisissa rakenteissa, kuten esimerkiksi lämmöneristeissä voi esiintyä mikrobivaurioita ilman, että niistä aiheutuu terveyshaittaa. Mikäli rakenne tuulettuu ulospäin ja sisäpuolinen rakenne on tarpeeksi tiivis, ei välttämättä ole tarvetta korjauksille. (Asumisterveysopas, 2009.)

VTT:n tekemässä tutkimuksessa (Kokko ym. 1999) tutkittiin puurakenteiden kosteusteknistä toimintaa sekä tarkasteltiin rakenteiden ja sisäilman vuorovaikutuksia huoneilman kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden kannalta. Tutkimuksessa yhtenä ta-

voitteena oli luoda kriteerit homeen kasvulle rakenteissa ja rakennusvaipassa. Kriteeristön mukaan rakenteilta, jotka ovat kosketuksissa ulkoilman ja maaperän kanssa, ei voida olettaa olevan täysin vaurioitumattomia vaan niiden pinnoilla tulee hyväksyä lievää homekasvustoa. Sisäpuoliset rakenteet on priorisoitu tiukempaan luokkaan ja näkyvää hometta ei saa esiintyä rakenteiden sisäpinnoilla normaalissa kuivissa huonetiloissa.

Suomessa on tutkittu melko laajasti rakennuksen ilmapitävyyttä painekoemenetelmällä. Esimerkiksi Tampereen teknillinen yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu ovat tutkineet puurunkoisten pientalojen, hirsitalojen, kivitalojen sekä kerrostalojen ilmapitävyyttä. Tutkimuksissa on havaittu, että myös taloryhmien sisällä esiintyy hajontaa. Oleellista onnistuneessa tiivistyössä on rakentamisen laatu ja tiivistystyön huolellisuus. (Aho & Korpi, 2009.)

Ahon & Korven (2009) tutkimuksessa pyrittiin paikallistamaan tyypillisimmät ilmanvuotakohdat lämpökamerakuvauksella. Pientaloissa ulkoseinän ja yläpohjan liitoskohdissa sijaitsi suurin osa vuotokohdista. Muita tyypillisiä kohteita ovat ikkunat ja ovet sekä niiden liitoskohdat ulkoseinään, ulkoseinän ja välipohjan liitos ja ilmansulun läpiviennit.

Airaksisen (2003) tutkimuksessa todetaan, että ryömintätalallisissa rakennuksissa alapohjan mikrobien kulkeutumista sisäilmaan on hyvin vaikea hallita. Tutkimuksissa havaittiin, että paine-erolla on eniten merkitystä epäpuhtauksien kulkeutumiseen, ei niinkään reikien tai muiden epätiivelyskohtien esiintyminen. Tutkimusten mukaan rakennuksen ilmanvaihdon tasapainotuksella saadaan parempia tuloksia estettäessä mikrobien kulkeutuminen sisäilmaan, kuin epätiivelyskohtien tiivistyksillä. Ilmanvaihdon tasapainotus voi kuitenkin aiheuttaa muita ongelmia, mikäli kylmän ilman takia rakenteisiin tiivistyy kosteutta kondensaation vaikutuksesta.

Päkkilä (2012) on tutkinut diplomityössään mikrobien kulkeutumista sisäilmaan paineeron vaikutuksesta. Työtä varten on otettu sisäilmanäytteitä normaalissa käyttötilanteessa ja sen jälkeen alipaineistamalla tila -10 Pa ja -20 Pa. Tutkimusten mukaan alipaineistus ei lisännyt sieni-itiöiden lukumäärää sisäilmassa. Alipaineessa otetuissa näytteissä havaittiin kuitenkin enemmän kosteusvaurioon viittaavia lajeja. Alapohjassa

ja kellarissa oli mitattu esiintyvän korkeampia mikrobipitoisuuksia, joten työn mukaan niiden voidaan olettaa kulkeutuneen sisäilmaan sieltä alipaineistuksen takia.

VTT on tutkinut yhdessä Kuopion yliopiston kanssa rakennusten ja rakennusmateriaalien homeita (Rantamäki ym., 2000) ja tutkimuksissa selvitettiin myös alipaineistuksen vaikutusta homeiden kulkeutumiseen. Tutkimuskohteina oli kaksi puurakennuksessa, joissa tiedettiin tapahtuneen vesivahinkoja. Alipaineistus toteutettiin ilmanpitävyyskoelaitteistolla. Koerakennukset eivät olleet tiiviitä ja niissä saavutettiin 28 Pa:n ja 24 Pa:n paine-ero. Tutkimuksissa sieni-itiöiden absoluuttiset pitoisuudet eivät merkittävästi lisääntyneet paineistuskokeiden aikana.

## 6.1 Tiiveyden tutkiminen

Rakennusta tai sen osia voidaan mitata paine-eromenetelmällä. Tässä menetelmässä tutkittavaan tilaan aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähden puhaltimella. Mittauksia tehdään usealla paine-erolla. Paine-eron ylläpitämiseen tarvittava ilmamäärä mitataan. Paineekoemenetelmälle on standardi SFS EN 13829. (Paloniitty, 2012.)

Ilmanvuotokohtia paikannetaan lämpökuvauksella tai merkkisavulla. Lämpökuvauus on tehokas keino paikantaa ilmavuotokohtat ja sillä saadaan tarkka ja luotettava tieto vuotojen sijainnista, laadusta ja laajuudesta. Lämpötilaerot vaikuttavat lämpökuvauksen mittatarkkuuteen. Jos lämpötilaero on liian pieni, ei vuotojen paikannus ole helppoa. Usein lämpökuvauus tehdään kaksivaiheisena, paine-erojen ollessa nolla ja toinen kuvauus, kun tutkittava tila on alipaineinen. Näin voidaan saada tietoa eristeivioista, kosteusvaurioista ja kylmäsilloista. (Paloniitty, 2012.)

Merkkisavun avulla voidaan tutkia etenkin lattian ja seinän vierustoja, katon ja seinän rajakohtia sekä ikkunoiden ja ovien liitoksia. Merkkisavulla tutkitaan tilaa, kun se on vähintään 10 Pa: n alipaineessa. (Paloniitty, 2012.)

Merkkiainekokeella voidaan tutkia rakenteen tiiveyttä. Menetelmässä seurataan pitoisuuden laskua tutkittavassa tilassa. Merkkiaineena käytetään usein ilokaasua (typpioksiduulia) tai rikkiheksafluoridia ja sen liikkumista seurataan kaasuanalysaattorilla. Tutkittavaan tilaan tai rakenteeseen lasketaan merkkiainetta ja kaasuanalysaattorin

avulla havainnoidaan mistä merkkiaine kulkeutuu toiseen tilaan. Kehittyneimmillä laitteistoilla voi seurata useista eri kohdista jälkiaineen pitoisuutta. (Sisäilmayhdistys, 2008.)



Kuva 12. Merkkiaineen havaitseminen kaasuanalysaattorilla. Kuntotutkimusraportti, kohde A, 2012.

Kuvassa 12 on laskettu merkkiainetta yläpohjaan ja sitä havaittiin kaasuanalysaattorilla katon ja kantavan väliseinän liittymästä.

## 6.2 Tiivistykset

Mikäli rakenteissa on mikrobivaurioita, voi sen seurauksena sisäilmaan vapautua mikrobiperäisiä epäpuhtauksia sekä rakennusmateriaaleista lähtöisin olevia epäpuhtauksia. Konvektiovirtausten mukana epäpuhtaudet voivat kulkeutua sisäilmaan. (Opetushallitus, 2008.)

Tiivistyksillä pyritään estämään rakenteiden läpi tapahtuvaa ilmavirtausta. Rakenteiden tiivistykseen päädytään silloin, kun vaurioituneen rakenteen purkaminen ei ole mahdollista. Etenkin maanvastaisten alapohjarakenteiden vauriot ovat hankalia, usein mahdottomia purkaa. (Opetushallitus, 2008.)

Tärkeää on, että kaikki ilmanvuotoreitit vaurioituneesta rakenteesta sisäilmaan saadaan paikallistettua. Yleisimpiä ilmavuotokohtia ovat pysty- ja vaakarakenteiden liittymät sekä erilaiset läpiviennit rakenteissa. Myös ulkoseinän ja ikkunarakenteen liittymäkohdissa voi esiintyä ilmavuotoja ulkovaipan läpi. (Aho & Korpi, 2009.)

Oleellisin asia rakenteen tiivistyksissä on huomioida tiivistyksen pysyminen kiinni ympäröivissä pinnoissa halutun käyttöiän. Rakenteiden raot ovat usein syntyneet eri materiaalien liitoskohtiin, joissa tapahtuu liikettä johtuen sisäilman kosteus- ja lämpötilamuutoksista. Tiivistystapa ja käytetyt materiaalit valitaan ottaen huomioon riittävä muodonmuutoskyky. (Opetushallitus, 2008.)

Myös yksityiskohtaisesti toteutettu tiivistyssuunnitelma ja laadunvalvonta työn aikana ovat avainasemassa tehtäessä tiivistyskorjauksia. Tiivistyssuunnitelmaa laadittaessa suunnittelijan on selvitettävä tarkoin rakennuksen ulkovaipan ilmavuotokohtat. (Opetushallitus, 2008.)

## **7 Kohteet ja kohteissa tehdyt selvitykset**

Kahdessa päiväkotirakennuksessa ja kahdessa koulurakennuksessa suoritettiin mittauksia ja näytteenottoja rakennusten sisäilman laadun selvittämiseksi. Selvitykset teki yksityinen yritys ja jokaisessa kohteessa selvitykset olivat erilaisia riippuen kohteen historiasta. Kolmen kohteen selvitykset ja näytteenoton suoritti sama yritys ja yhdessä koulurakennuksessa yritys oli eri. Kaikkien kohteiden näytteenottoon kuului ilmanäytteenotto sisäilmasta ja rakenteesta.

Kaikkien neljän kohteen kohdalla ilmanäytteet otettiin Andersen-keräimellä. Johtuen työn suorittavasta yrityksestä, välineistö erosi hieman yhden kohteen osalta. Kohteiden A, B ja C osalta ilmanäytteenoton välineistö oli sama. Näissä kohteissa Andersen-keräimeen yhdistettiin halkaisijaltaan 35 mm muoviputki, joka tiivistettiin tiukasti sekä seinään, että keräimeen. Kuvassa 13 on esitetty imuputkien tiivistäminen seinään. Keräimeen liitettiin ilmavirtausmittari, jotta pystyttiin varmistamaan ilmavirtaus jokaisen



keräimen ja pumpun välillä. Kaikkien kohteiden ja näytteiden kohdalla jokaisen näytteenoton jälkeen putket ja maljat desinfioitiin.



Kuva 13. Imuputket tiivistettiin seinään. Kuntotutkimusraportti, kohde A, 2012.

Kohteen D osalta välineistö erosi putken osalta. Käytettävä putki oli eri materiaalia ja halkaisijaltaan pienempi kuin edellisissä kohteissa käytetty. Koska putki oli kapeampaa, sitä ei saatu desinfioitua näytteenottojen välillä. Muutoin näytteenotto noudatti samoja periaatteita.

### 7.1 Kohde A

Kohde on 1-kerroksinen päiväkotina toimiva rakennus, joka on rakennettu vuonna 1974. Rakennus on rakennettu asuinkäyttöön ja vuonna 1985 se on muutettu päiväkotikäyttöön. Rakennus on puurakenteinen ja siinä on tasakatto, julkisivut on pääosin tiiltä, osittain puuta. Alapohja on maanvarainen ja sokkeli on niin sanottu valesokkeli. Valesokkelirakennetta voidaan pitää riskirakenteena ja tässä rakennuksessa puurakenteiset ulkoseinät lähtevät noin 16 cm lattiapintaa alempaa. Pohjalaatan päällä on eriste ja pintalaatta. (Kuntotutkimusraportti, 2012.)



Kuva 14. Kohde A. Kuntotutkimusraportti, 2012.

Julkisivun tiiliverhouksessa on havaittu vesirasitusjälkiä. Näiden syynä ovat todennäköisesti lyhyet vesipellit ja niiden liitosvuodot. Myös lyhyet räystäät mahdollistavat viistosateen aiheuttaman kosteusrasituksen julkisivuun. Rakennuksessa on aiemmin korjattu ikkunavuotojen takia muun muassa sisäpuolisia levytyksiä ja ulkoseinien alaosia. Rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto. (Kuntotutkimusraportti, 2012.)

Rakennuksen kuntoa on selvitetty moneen otteeseen 2000-luvulla. Kohteessa on havaittu kosteus- ja mikrobivaurioita ja näitä on myös korjattu. Keväällä 2012 kohteessa päätettiin tehdä laajempia selvityksiä rakenneavauksineen ja mittauksineen. Selvitysten tarkoitus oli saada selvyyttä rakennuksen kunnosta mahdollista peruskorjausta varten.

Yksi päiväkodin huoneista oli poistettu käytöstä hajujen takia ja tämän huoneen julkisivun vastainen seinä oli aukaistu sisäpuolelta materiaalinäytteenottoa varten. Muutoin päiväkotitoimi oli normaalissa käytössä.

Tutkimukset aloitettiin tutustumalla piirustuksiin ja aiempiin tutkimuksiin. Rakennuksen kuntoa tarkasteltiin aistinvaraisesti ja henkilökuntaa haastateltiin.

Huonetiloista ja rakenteista otettiin ilmanäytteitä Andersen-keräimellä. Näytteet otettiin maaliskuussa 2012, jolloin maassa oli runsaasti lunta. Ulkoilman olosuhteiden johdosta ulkoilmasta ei otettu vertailunäytettä ja sisätiloista analysoitujen mikrobin lähteiden voidaan olettaa olevan rakennuksessa.

Ilmanäytteitä otettiin viidestä eri tilasta ja kolmesta huoneesta näytteet otettiin seinärakenteesta. Näytteet imettiin höyrinsulkumuovin takaa eristekerroksesta. Seinärakenteeseen porattiin rasiaporalla kolme rinnakkaista reikää, joihin liitettiin Andersen-keräimet. Andersen-keräinten päihin liitettiin 35 mm antistaattinen putki, jotka tiivistettiin sekä keräimiin, että seinärakenteeseen. Kuvassa 15 on kuva rakenteesta otettavasta ilmanäytteenotosta.



Kuva 15. Ilmanäytteenotto rakenteista. Kuntotutkimusraportti, 2012.

Näytteenoton suorittava yritys otti ensimmäistä kertaa ilmanäytteitä rakenteista. Ennen näytteenottoa pohdittiin mahdollisten partikkeleiden pääsyä maljoille ja niiden mahdollisia vaikutuksia tuloksiin. Jotta isompien partikkelien pääsy maljoille voitaisiin estää,

laitettiin putkien eteen paperia. Paperi oli hyvin ilmaa läpäisevää ja virtausmittarista tarkastettiin pumpun läpi virtaama ilmamäärä.

Keräysajaksi valittiin testimielessä sekä kaksi minuuttia, että viisi minuuttia. Yhden rakenteen kohdalla näytteenottoaika oli 7 minuuttia. Jokaisen näytteen jälkeen putket desinfoitiin.

Ilmanäytteenoton jälkeen eri puolelle rakennusta tehtiin rakenteiden avauksia materiaalinäytteenottoa varten. Materiaalinäytteen tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Materiaalinäytteen tulokset, kohde A.

Analyyysi	Alapohjan täytösora/takkah.	Yläpohja lasivilla	Alapohjan täytösora/eteinen	Alapohjan sora&villa seinän alaosasta/108	Alapohjan sora/talvipuutarha	yksikkö
Bakteeripitoisuus	11000	3400	4600	2100	310000	kpl/g
Aktinomykeettipitoisuus	10000	alle 100	1600	10000	81000	kpl/g
Sieni-itiöpitoisuus	200	100	100	23000	120000	kpl/g

Alapohjasta otettiin kolmesta kohtaa näyte kuivasta täyttösorasta. Kaikista näytteistä analysoitiin aktinomykettejä. Aktinomykeetit ovat etenkin maaperän mikrobeja, joten niiden esiintyminen näytteessä on normaalia. Merkitseviä löydetyt mikrobit ovat silloin, kun alapohjasta pääsee vuotoilman mukana mikrobeja sisäilmaan. Sieni-itiöpitoisuudet olivat korkeita kahden alapohjasta otetun näytteen osalta.

Näytteenottojen jälkeen tutkittiin rakennuksen ilmanvuotoreittejä merkkiaineen avulla ja sisä- ja ulkoilman painesuhteet tutkittiin viikon mittaisella seurantajaksolla. Ilmanvuotoreittejä oli tarkoitus havainnoida etenkin ylä- ja alapohjan osalta. Kokeita varten laskettiin tutkittavaan tilaan merkkiaineikaasua ja vuotoilmareittejä paikallistettiin ilmaisinkojeen avulla. Yläpohjaan merkkiaineikaasua ohjattiin räystäösotsan läpi viedyn putken avulla eteistilan kohdalle, kuva 16. (Kuntotutkimusraportti, 2012.)



Kuva 16. Merkkiainetta johdettiin yläpohjaan putken avulla. Kuntotutkimusraportti, 2012.

Ilmanvuotoreittejä havaittiin yläpohjasta kantavien väliseinien kohdalta. Koska kohteessa on maanvarainen laatta, tehtiin lattian betonilaattaan ja EPS-eristeeseen porareikä, jotta merkkiainetta saatiin alapuoliseen soratäyttöön. Alapohjasta vuotoreittejä havaittiin ulkoseinän ja alapohjan liittymistä molemmilta sivuilta. (Kuntotutkimusraportti, 2012.)

Paine-eromittauksissa tutkittiin yläpohjan ja huonetilojen välistä, sekä huonetilojen ja ulkoilman välistä paine-eroa. Paine-eroa seurattiin viikon mittaisen seurantajakson ajan. Pääosin tilat olivat alipaineisia ulkoilmaan nähden, mutta mittauksissa havaittiin, että tuulisella säällä huonetilat olivat ajoittain ylipaineisia tai selvästi alipaineisia. Yläpohjaan nähden huonetilat olivat pääosin ylipaineisia. Tuulella oli vaikutusta myös yläpohjan ja huonetilojen välisiin painesuhteisiin. (Kuntotutkimusraportti, 2012.)

## 7.2 Kohde B

Kohde on vuonna 1980-luvulla rakennettu päiväkotirakennus. Rakennus on osittain puurunkoinen ja osittain tiiltä. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 850 m<sup>2</sup> ja siinä on harjakatto. Rakennuksessa on maanvarainen teräsbetonilaatta. Kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. (Kosteusvauriokartoitus-raportti, 2010.)



KUVA 17. Kohde B. Kosteusvauriokartoitus-raportti, 2010.

Kohteen korjaussuunnittelua varten tilassa on tehty vuonna 2010 kosteusvauriokartoitus. Tässä yhteydessä tilat on kierretty kokonaisuudessaan läpi, mutta rakenteita ei ole auottu. Henkilökunta on kokenut rakennuksessa sisäilmaan viittaavia ongelmia ja tiiloissa päätettiin suorittaa jatkotutkimuksia mahdollisen mikrobivaurion selvittämiseksi. Keväällä 2012 suoritettiin vain näytteenottoja.

Aikaisemmassa, vuonna 2010, tehdyssä selvityksessä havaittiin, että lattian ja sokkeli-rakenteen liittymä ei ole tiivis. Tällöin mahdolliset maaperässä ja rakenteissa esiintyvät mikrobit voivat kulkeutua sisäilmaan. Tiiliverhouksessa havaittiin olevan paljon halkeamia ja muutaman ikkunaliittymän kohdalta on valunut vettä sisätiloihin. (Kosteusvauriokartoitus-raportti, 2010.)

Selvityksissä havaittiin myös vesikaton tuuletuksen olevan puutteellinen ja puuosissa oli havaittavissa kosteusjälkiä. Myös yhdessä työhuoneen katossa havaittiin kosteusjälkiä ja pintakosteusilmamaisimella mitattaessa pinnan todettiin olevan märkä. Tällä kohtaa yläpohjassa oli epätiivisyyskohtia höyrynsulussa. (Kosteusvauriokartoitus-raportti, 2010.)



Kohteessa suoritettiin keväällä 2012 ilmanäytteenottoja, VOC-näytteenotto, materiaalinäytteenotto ja kuitunäytteenotto. Ulkoilman ja huoneiden välistä painesuhteita tutkittiin noin viikon ajan paine-eromittauksin.

Huoneen 50 ikkunankarmin puitteen villaeristeestä otettiin materiaalinäyte. Rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän sienikasvustoa, kun sieni-itiöpitoisuus on vähintään 10 000 cfu/g (Asumisterveysopas, 2009). Materiaalinäytteen sieni-itiöpitoisuus ei ylittänyt ohjearvoja, mutta analyysin perusteella näytteessä esiintyi kolmea kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia (*Aureobasidium*, *Geomyces pannorus* ja *Eurotium*). (Tutkimusraportti, 2012.)

Taulukko 6. Materiaalinäytetulos, kohde B.

<b>Analyysi</b>	<b>Ikkunanpuite, villa</b>	<b>yksikkö</b>
sienet/ M2-agar	6700	cfu/g
sienet/DG18-agar	6900	cfu/g
bakteerit/THG-agar	200	cfu/g

VOC-näytteenoton perusteella sisäilmasta ei löydetty poikkeavia pitoisuuksia kemiallisia yhdisteitä. Tutkituissa kuitunäytteissä ei todettu mineraalikuituja. (Tutkimusraportti, 2012.)

Huoneiden 50 ja 52 välistä paine-eroa tutkittiin viikon ajan. Paine-erot olivat pieniä ja vaihtelivat -4 - +2 Pa. Jatkuvassa mittauksessa haluttiin selvittää paine-eroja eri vuorokauden aikoina ja niistä selvisi, että tilat olivat pääsääntöisin alipaineisia ulkoilmaan nähden. (Tutkimusraportti, 2012.)

Kohteessa tehdyt ilmanäytteenotot rakenteista tehtiin samalla välineistöllä ja samalla tavalla, kuin kohteessa A. Sisäilmanäytteitä otettiin kolmesta eri huoneesta ja näistä kahdesta huoneesta otettiin näytteet myös rakenteesta. Rakenteista otettiin sekä 2 minuutin näyte, että 7 minuutin näyte. Ulkoilmasta otettiin verrokinäyte. Seinärakenteena on kipsilevy, höyrynsulkumuovi ja villaeriste. Näytteet otettiin höyrynsulkumuovin takaa.

### 7.3 Kohde C

Kohde C on vuonna 1987 valmistunut koulurakennus, joka on 1-2-kerroksinen. Rakennus on betonirakenteinen ja sen julkisivut on tiiltä. Vesikatto on rivipeltikatteinen aumakatto. Rakennuksen kokonaisala on 6320 m<sup>2</sup>. Vesikatto on vuotanut useana vuonna ja sitä on myös korjattu moneen kertaan. Vesivuotoja oli kuitenkin havaittu taas keväällä 2012. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012.)



Kuva 18. Kohde C. Sisäilmaselvitysraportti, 2012.

Rakennuksen kuntoa on selvitetty useaan otteeseen. Keväällä 2012 oli tarkoitus tutkia tarkemmin sisäilman laatua terveyshaittaepäilyjen takia. Selvitysten tarkoitus oli myös tutkia rakenteiden kuntoa, selvittää kosteusvaurioiden syitä ja esittää mahdolliset korjaustoimenpiteet. Rakennuksen vesikatto on vuotanut useasti, viimeksi keväällä 2012. Vuotoja on paikattu pariin kertaan ja kattomuotoja on pyritty muuttamaan vuotojen estämiseksi. Vuotokorjauksia tehtiin myös keväällä 2012. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012.)

Kohteessa suoritettiin haastatteluja koulun henkilökunnalle. Tällä pyrittiin paikallistamaan tilat, joissa on koettu oireilua. Pintojen kuntoa ja rakenteita arvioitiin aistinvaraisesti ja pintakosteuksia mitattiin pintakosteusilmaisimella. Muutamasta kohdasta suoritettiin porareikämittauksia rakennekosteuksien arvioimista varten. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012.)

Sisäilman painesuhteita mitattiin noin viikon ajan kolmen eri luokan ja ulkoilman välillä. Painesuhteet vaihtelivat ollen välillä yli- tai alipaineisia. Kotitalousluokan havaittiin olevan koko mittausajanjakson aikana reilusti alipaineinen. Alapohjan ilmavirtauksia



sisätilaan on pyritty vähentämään nostamalla lattian muovimattoa seinälle. Ilmanvaihtolaitteita arvioitiin aistinvaraisesti ja ilmamääriä mitattiin paine-eromittarilla sekä siipipyöräänemometrilla. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012.)

Vesikaton kunnan selvittämiseksi keskityttiin lähinnä sisätiloissa havaituille vuotoalueille. Selviä vuotokohtia ei havaittu silmämääräisissä tarkasteluissa. Mahdollisia vuotokohtia arveltiin olevan jiirien sekä sivuräystäiden kohdalla. Myös eräiden läpivientien kohdilla on saattanut olla vesivuotoja. Julkisivun tiiliseinässä havaittiin kartoituksen yhteydessä mahdollisia vesivuotokohtia. Salaojien havaittiin sijaitsevan paikoin melko korkealla alapohjaan nähden. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012.)

Sisäpuoliset tarkastukset kohdistettiin tiloihin, joissa oli koettu oireita tai oli ollut vesivuotoja. Vesivuotoja havaittiin lähinnä katoissa ja paikallisesti myös ulkoseinissä. Ulkoseinien vesivuotojäljet sijaitsivat alueille, joissa havaittiin myös yläpohjassa vuotojälkiä. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012)

Rakenneavauksia ja sisäilmanäytteenottoja sekä rakenteen ilmanäytteenottoja tehtiin tiloissa, joissa oli koettu ongelmia. Kotitalousluokan sisäilmasta ja rakenteesta otettiin ilmanäytteet. Seinärakenne luokassa on lastulevy, höyrynsulkumuovi ja mineraalivilla. Rakenteesta otettava ilmanäyte otettiin höyrynsulkumuovin takaa. Kotitalousluokan rakenneavauksissa ei havaittu silminnähtäviä kosteus- tai mikrobivaurioita. Seinän ja lattian rajaa oli tiivistetty elastisella kitillä. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012.)

Liikuntasalin lattiarakennetta aukaistiin ilmanäytteenottoa varten. Lattian rakenne koostuu puulattia, jonka alla on betonilaatta. Eristeenä rakenteessa on villa. Avauskohdissa ei havaittu silminnähtäviä vaurioita, mutta kosteusmittausten perusteella todettiin kohonneita lukemia maanpaineseinällä. (Sisäilmaselvitysraportti, 2012.)

Sekä kotitalousluokasta että liikuntasalista otettiin ilmanäytteet rakenteista käyttäen kahta keräysaikaa. Näytteenottoajat olivat 2 minuuttia ja 7 minuuttia.

## 7.4 Kohde D

Kohde D on koulurakennus, joka on valmistunut 1980-luvulla. Koulua on laajennettu 1990-luvun lopulla. Rakennus on tasakattoinen ja alapohjasta osa on maanvaraista laattaa ja osa ryömintätilallinen. Osassa rakennusta on kellaritilaa. Ulkoseinät ovat betonielementtiä ja ulkoverhouksena on tiili. Ryömintätilalliseen osaan on laitettu poistoilmanpuhaltimet. (Ilmanvaihdon kuntotutkimusraportti, 2008.)



Kuva 19. Kohde D. Ilmanvaihdon kuntotutkimusraportti, 2008.

Kohteessa ei tehty näytteenottojen yhteydessä laajempia selvityksiä. Tutkimustarpeiden selvittäminen ja terveyshaittojen selvitystä on tehty vuosina 2003 ja 2004. Alapohjaan on todettu kohdistuvan suurta kosteusrasitusta ja ryömintätilallisen osan hiekka on ollut kosteaa. Alapohjasta on todettu olevan myös kapillaarista kosteuden nousua. Tutkimuksissa todettiin myös, että ilmanvaihto aiheuttaa tiloihin alipainetta, jonka seurauksena rakenteista kulkeutuu mikrobeja sisäilmaan. (Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus, 2012.)

Rakennuksen sisäilmaa tutkittiin kevään ja kesän 2012 aikana. Tutkimukset kohdennettiin tiloihin, joissa on koettu oireilua.

Sisäilmasta otettiin mikrobinäytteitä neljästä eri opetustilasta. Näytteet otettiin kahtena eri näytteenottokertana ja ulkoilmasta otettiin vertailunäytteet. Rakenteista otettavat

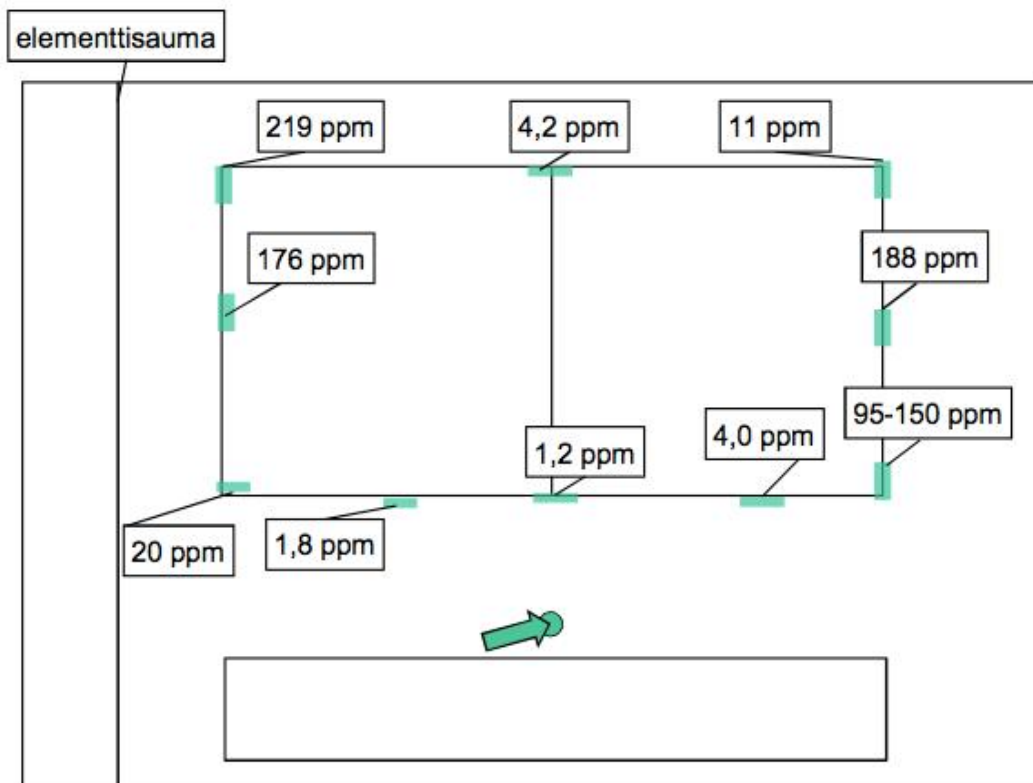
ilmanäytteet otettiin kahdesta eri luokkahuoneesta. Molemmat näytteet otettiin seinärakenteesta, joihin tehtiin porareikämittaukset näytteenottoa varten. Ulkoseinärakenteena oli betoni, eristevilla ja ulkokuori ja näytteet otettiin eristetilasta. Rakenteesta otettavien ilmanäytteiden keräysaika oli 8 minuuttia.

Kahdesta luokkahuoneesta ja voimistelusalista otettiin myös VOC-näyte haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuden määrittämiseksi. Kokonaispitoisuus, eli TVOC oli kaikissa tiloissa melko alhainen. (Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus, 2012.)

Pinnoille laskeutuvia mineraalikuituja tutkittiin kahden viikon aikana tasopinnoille asennettujen keräysalustojen avulla. Pitoisuudet olivat alle ohjeellisen arvon 0,20 kpl/cm<sup>2</sup>. (Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus, 2012.)

Rakennuksen painesuhteita tutkittiin kahden opetustilan kohdalla. Mittauksissa havaittiin luokkahuoneiden olevan ilta- ja yöaikaan lievästi ylipaineisia ja iltapäivällä voimakkaasti alipaineisia. Viikonloppuisin tilat olivat lievästi alipaineisia. (Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus, 2012.)

Rakenteiden ilmatiiveyttä tutkittiin merkkiainekokeen avulla. Kahden luokan osalta tutkittiin yläpohja- ja seinärakenteen ilmatiiveyttä. Huoneen 2 osalta havaittiin ulkoseinä ja väliseinärakenteiden kautta tapahtuvan ilmavuotoja sisäilmaan, kuva 20. Huoneen 2 sisäilmasta sekä rakenteesta otettiin ilmanäytteet. (Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus, 2012.)



Kuva 20. Merkkiainekoe seinärakenteeseen, huone 2. Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus, 2012.

Merkkiainepitoisuuksien tulkinta:

- 0,0-1,0 ppm – pitoisuus vähäinen
- 1,1-10,0 ppm – pitoisuus melko vähäinen
- 10,1-50,0 ppm – pitoisuus suuri
- yli 50,0 ppm – pitoisuus hyvin suuri

(Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus, 2012)

## 8 Tulokset

### 8.1 Kohde A

Kohteen A näytetulokset on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 7. Kohteen A ilmanäytteiden tulokset.

Näyte	M2-agar sieni-itiöpitoisuus cfu/m <sup>3</sup>	DG18-agar	THG-agar bakteerit cfu/m <sup>3</sup>
huone 1	2623	2514	2429
huone 2/rakenne 2 min	105	53	737
huone 3/rakenne 5 min	127	14	*855
huone 4/rakenne 7 min	5	35	*535
huone 5	*33	*37	*4511
huone 5/rakenne 5 min	7	7	85
huone 5/rakenne 2 min	18	-	298
huone 1/rakenne 5 min	*14	-	155
huone 1/rakenne 2 min	35	-	895

\* näytteistä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja

Huoneen 1 tulokset poikkeavat selvästi muista näytteistä. Sisäilmasta otetun näytteen sieni-itiöpitoisuus oli huomattavasti kohonnut, valtalajina näytteissä oli yleisesti sisä- ja ulkoilmassa esiintyvää *Penicilliumia*. Saman huoneen seinärakenteesta otetut näytteet olivat kuitenkin pitoisuuksiltaan paljon pienempiä. Kaksi minuuttia kestävästä ilmanäytteestä analysoitiin hieman suuremmat pitoisuudet mikrobeja, mutta lajisto oli tässä näytteessä tavanomainen. Kun ilmaa imettiin rakenteesta viisi minuuttia, jäi mikrobipitoisuudet pienemmiksi, mutta analyysissä havaittiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (*Engyodontium*). Huoneen 1 osalta voidaan olettaa, että mikrobivaurio on muualla kuin seinärakenteessa, josta ilmanäyte otettiin.

Huoneessa 2 oli jo aiemmin tehty rakenteen avauksia, joten tämän takia sisäilmasta ei otettu näytettä. Rakenteesta otettiin yksi näyte. Tässä näytteessä kokonaispitoisuus on melko korkea, mutta lajisto on tavanomainen. Näyte on otettu eri seinältä, kuin mihin oli tehty rakenteen avauksia.

Myös huoneesta 4 otettiin vain yksi näyte rakenteesta. Näytettä imettiin rakenteesta seitsemän minuutin ajan. Sieni-itiöpitoisuudet olivat tässä näytteessä hyvin pieniä, mutta bakteerien osalta näytteessä analysoitiin pieni määrä aktinomykeettejä.

Huoneesta 5 otettiin ensin näyte sisäilmasta. Tämän jälkeen ikkunanvastaiselta seinältä otettiin kaksi näytettä rakenteesta, näytteenottoajat olivat 5 minuuttia ja 2 minuuttia. Sisäilmanäytteen sieni-itiöpitoisuudet eivät ylittäneet Asumisterveysohjeen mukaisia raja-arvoja, mutta näytteestä analysoitiin useita kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja (*Engyodontium*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus restrictus*). Rakenteesta otetut näytteet olivat sekä pitoisuuksiltaan että lajistoltaan normaaleja. Myös tämän näytteen osalta on mahdollista, että mahdollinen mikrobikasvu on muualla kuin seinärakenteissa.

Merkkiainekokeissa havaittiin vuotoilmareittejä ulkoseinän ja alapohjan liittymissä. Ajoittain rakennuksen havaittiin olevan voimakkaasti alipaineinen, mikä lisää epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan. Tämä vaikuttaa siihen, että ilmanäytteissä havaittuja mikrobeja voi kulkeutua sisäilmaan alapohjasta, ei niinkään seinärakenteesta, josta näytteitä otettiin.

Tehtyjen havaintojen, mittausten ja näytteenottojen perusteella rakennuksen ulkovai-pan todettiin olevan melko huonossa kunnossa. Ulkoseinien eristyskyky on huono sitä rasittavat ulkopuoliset kosteuslähteet. Salaojien todennäköinen puute ja pintavesien huono poisjohtaminen rasittavat alapohjaa ja perustuksia. Rakennuksessa on myös korjaamattomia kattovuotoja. Koska rakenteissa todettiin esiintyvän epätiiveyskohtia ja vaurioituneista rakenteista on myös ilmavuotoja sisäilmaan, on rakenteissa esiintyville mikrobeille altistuminen todennäköistä. Myös sisäilman näytteenotossa havaittiin raja-arvot ylittäviä pitoisuuksia mikrobeja. (Kuntotutkimusraportti, 2012.)

Tutkimusten valmistuttua kiinteistönomistaja päätti luopua rakennuksen käytöstä päiväkotikäytössä.

## 8.2 Kohde B

Kohteen B tulokset on esitetty alla taulukossa.

Taulukko 8. Kohteen B ilmanäytteiden tulokset

Näyte	M2-agar sieni-itiöpitoisuus cfu/m3	DG18-agar	THG-agar bakteerit cfu/m3
huone 1	14	*38	561
huone 1/rakenne 2 min	53	-	474
huone 1/rakenne 7 min	-	-	71
huone 2	-	*11	158
huone 2/rakenne 2 min	*35	-	70
huone 2/rakenne 7 min	151	*216	111
huone 3	*14	12	638
ulkoilma, verrokki	145	*68	11

\* näytteistä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja

Huoneesta 1 otettiin ensin ilmanäyte sisäilmasta, jonka jälkeen rakenteeseen tehtiin reikä rakenteesta imettävää ilmanäytettä varten. Sisäilman sieni-itiöpitoisuus ei ylittänyt Asumisterveysohjeen (2003) antamia raja-arvoja, mutta näytteestä analysoitiin kolmea kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia (*Aspergillus versicolor*, *Aspergillus ochraceus*, *Wallemia sebi*). Tätä tulosta voidaan pitää poikkeavana ja on mahdollista, että rakenteissa on mikrobivaurio. Seinärakenteesta otetuista näytteistä ei analysoitu samoja mikrobeja, vaan lajisto oli tavanomainen. Huoneen 1 osalta on mahdollista, että mikrobipitoisuuksien lähde on jossain muualla, kuin seinärakenteessa.

Huoneen 2 sisäilmasta otettu näyte oli pitoisuuksiltaan tavanomainen, mutta siinä todettiin yhtä kosteusvaurioon viittaavaa mikrobisukua (*Engyodontium*). Rakenteesta otetuista näytteistä analysoitiin useita kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (*Aspergillus versicolor*, *Aspergillus restrictus*, *Eurotium*). *Eurotium*-suvun sientä analysoitiin myös saman huoneen materiaalinäytteestä, joka oli eristevillaa ikkunapuitteesta. Pitoisuudet ja lajisto olivat epätavanomaisempia seitsemän minuuttia kestävässä näytteessä. Sisäilman näytteestä analysoitiin eri mikrobeja, kuin rakenteesta otetuista ilmanäytteistä. Huoneen 2 sisäilmaa arvioitaessa tulisi sisäilmasta ottaa useampia ilmanäytteitä. Huoneen 2 osalta on tärkeää, etteivät rakenteessa olevat mikrobit pääse vuotoilman mukana sisäilmaan.

Huoneesta 3 otettiin vain sisäilmanäyte, jonka pitoisuus oli tavanomainen. Näytteenoton sijoituksessa melko pitkälle kevääseen ja ulkoilman ollessa näytteenoton aikaan niin lämmin, ulkoilmasta päätettiin ottaa vertailunäyte. Ulkoilmapitoisuudet olivat melko matalat ottaen huomioon vuodenajan.

Kohteen B osalta rakenteesta otetut näytteet eivät tuoneet juurikaan lisätietoa rakennuksen kunnosta. Huoneen 1 sisäilmanäytettä voidaan pitää poikkeavana usean kosteusvaurioon viittaavan sienisuvun esiintymisen takia, mutta niiden lähde ei selvinnyt rakenteesta otettujen ilmanäytteiden avulla. Huoneen 2 rakenteesta analysoitiin melko korkeat pitoisuudet sieni-itiöitä, mutta sisäilman pitoisuus oli samalla melko pieni ja se ei sisältänyt samoja sienisukuja. Kohteen B osalta tulisi suorittaa useampia näytteenottoja.

### 8.3 Kohde C

Kohteen C tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa

Taulukko 9. Kohteen C ilmanäytteen tulokset

Näyte	M2-agar sieni-itiöpitoisuus cfu/m3	DG18-agar	THG-agar bakteerit cfu/m3
kotitalousluokka/rakenne 2 min	*477	194	71
kotitalousluokka/rakenne 7 min	*80	*218	131
sali	*35	*32	236
sali /rakenne 2 min	18	88	88
sali /rakenne 7 min	*30	*121	5

Kotitalousluokasta otettiin ilmanäytteet vain rakenteesta. Toisen näytteen keräysaika oli 2 minuuttia ja toisen 7 minuuttia. Molemmista näytteistä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (*Aspergillus fumigatus*). Sisäilman raja-arvoihin verrattaessa pitoisuudet olivat kohonneita. Rakenteissa havaittiin näytteen perusteella mikrobikasvua, mutta oleellinen tieto on, kulkeutuvatko rakenteen mikrobit sisäilmaan. Kotitalousluokasta tulisi ottaa myös sisäilmanäytteitä tämän toteamiseksi.



Rakennuksen liikuntalista otettiin ilmanäytteet sisäilmasta ja lattiarakenteesta. Näytteenottoajat olivat 2 minuuttia ja 7 minuuttia. Ilmanäytteen pitoisuus oli alle Asumisterveysohjeen (2003) raja-arvojen, mutta näytteestä analysoitiin kolmea eri kosteusvaurioon viittaavaa mikrobia (*Engyodontium*, *Aspergillus restrictus*, *Aspergillus versicolor*). Jos tuloksia olisi useampia, voitaisiin niitä verrata KTL:n oppaan (Meklin ym. 2007) raja-arvoihin. Liikuntasalista otettua sisäilmanäytettä voidaan pitää poikkeavana. Myös rakenteesta otetussa näytteessä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (*Aspergillus versicolor*, *Aspergillus restrictus*) ja pitoisuudet olivat melko korkeita. Sekä sisäilmasta, että rakenteesta analysoitiin samoja kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja, *Aspergillus versicoloria* ja *Aspergillus restrictusta*. Kosteusmittausten perusteella liikuntasalin lattiarakenteessa esiintyy kohonneita kosteuspitoisuuksia. Rakenteesta analysoitujen mikrobien voidaan olettaa kulkeutuvan sisäilmaan ja vaurion sijaitsevan lattiassa.

Tehtyjen mittausten, havaintojen ja näytteenottojen perusteella mahdollisia syitä oireiluun on vesikaton vuodot ja vauriot, ilmanvaihdon puutteet sekä epäpuhtauksien kulkeutuminen seinä- ja lattiarakenteiden kautta sisäilmaan.

Kohteessa ei tehty merkkiainekokeita. Niissä tiloissa, missä havaittiin ilmavuotoja, voisivat merkkiainekokeet tuoda lisätietoa epäpuhtauksien mahdollisesta kulkeutumisesta.

## 8.4 Kohde D

Kohteen D tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 10. Kohteen D ilmanäytteen tulokset

Näyte		sieni-itiöpitoisuus cfu/m <sup>3</sup>	bakteerit
huone 1	1.näyte	28	21
	2. näyte	99	*4870
huone 1/rakenne	1. näyte	71	7
	2. näyte	*14	*120
huone 2	1. näyte	50	*1090
	2. näyte	21	180
huone 2/rakenne	1.näyte	900	*18
	2. näyte	*280	*4
huone 3	1.näyte	yli 16 000	*2450
	2. näyte	*60	*500
huone 4	1.näyte	14	810
	2.näyte	*18	230
ulkoilma	1.näyte	*260	*75
	2.näyte	320	*140

Kohteen D osalta näytetulokset on esitetty hieman eri tavalla kuin edellä toisten kohteiden osalta, koska näytteenoton ja analysoinnin on suorittanut eri yritys ja laboratorio. Tämän koulurakennuksen osalta kaikista näytteistä löytyy kaksi tulosta, koska kohteessa käytiin kahtena eri päivänä ja näytetuloksia saatiin näin kaksi samasta tilasta/rakenteesta. Näytteenottojen välillä on noin viikko.

Huoneen 1 osalta tilasta otettiin ensin ilmanäyte, jonka jälkeen seinärakenteeseen tehtiin avauksia rakenteesta imettävää näytettä varten. Ensimmäisellä näytteenottokerralla ilmanäytteen sieni-itiöpitoisuus ja lajisto oli tavanomainen. Toisella näytteenottokerralla sieni-itiöpitoisuus oli huomattavasti kohonnut ja näytteestä analysoitiin aktinomykeettejä. Saman tilan rakenteesta otetut ilmanäytteet rakenteesta oli molemmilla kerroilla pitoisuuksiltaan pienempiä. Toisella näytteenottokerralla näytteestä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (*Aspergillus fumigatus*, aktinomykeetit). Sisäilmanäytteen lajisto oli tavanomainen. Tämän huoneen osalta on mahdollista, että sisäilman mikrobit ovat kulkeutuneet muualta kuin seinärakenteesta.

Huoneen 2 ilmanäytteen pitoisuus ja lajisto oli molemmilla kerroilla tavanomainen. Rakenteesta otettujen ilmanäytteiden pitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin ilmasta otetun ja toisella näytteenotokerralla näytteestä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (aktinomykeetit, *Aspergillus fumigatus*). Sisäilmanäytteissä ei analysoitu samoja kosteusvaurioon viittaavia indikaattorimikrobeja, mutta tiiveyskokeiden perusteella huoneen 2 ulkoseinä ja väliseinärakenteidenliittymien havaittiin olevan epätiivitä.

Huoneista 3 ja 4 otettiin näytteet vain sisäilmasta. Huoneen 3 sisäilmanäytteestä analysoitiin ensimmäisellä kerralla huomattavasti kohonneita sieni-itiöpitoisuuksia raja-arvoihin verrattuna lajiston ollessa tavanomainen. Toisella näytteenotokerralla pitoisuudet olivat pienempiä, mutta näytteestä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavaa sienisukua (*Paecilomyces*). Huoneen 3 sisäilmanäytteitä voidaan pitää poikkeavina ja on mahdollista, että rakenteissa on mikrobikasvua.

Luokkahuoneen 4 ilmanäytetulokset olivat kokonaispitoisuuksiltaan melko pieniä, mutta toisella näytteenotokerralla näytteestä analysoitiin *Fusarium*-suvun sientä, joka on kosteusvaurioiden indikaattorimikrobi. Kuitenkin yksittäisen kosteusvaurioon viittaavan indikaattorimikrobin havaitseminen alhaisena pitoisuutena voi olla sattumaa (Hyvärinen ym. 2009).

Ulkoilmasta otetusta verrokinäytteestä analysoitiin tavanomaisia ulkoilmassa esiintyviä mikrobeja. Pitoisuudet olivat melko korkeat, mutta se on tavallista tähän aikaan vuodesta, kun maa ei ole enää jäässä.

## 8.5 Tulosten analysointi

Asumisterveysohjeessa (2003) ja -oppaassa (2009) esitetyt sisäilmanäytetulosten tulkintaohjeet perustuvat laajaan tutkimusaineistoon, joista on vuosien kokemus ja laaja vertailuaineisto. Ohjeet ovat menetelmäkohtaisia ja niitä voidaan käyttää vain, jos näytteet on otettu ja analysoitu Asumisterveysohjeessa ja -oppaassa esitettyjen ohjeiden mukaan. Mikäli halutaan käyttää jotain muuta menetelmää mikrobimäärityksiä varten, tulee tulkintaa varten kerätä vertailuaineistoa vaurioituneista ja vaurioitumattomista rakennuksista. (Hyvärinen ym. 2009.)

Tälle menetelmälle ei ole virallisia tulkintaohjeita eikä siten Asumisterveysohjeen ja -oppaan ohje-arvoja voida suoraan käyttää rakenteesta otettujen ilmanäytteiden tulosten tulkintaan.

Tämän selvityksen puitteissa rakenteista otettiin yhteensä 19 näytettä 11:stä eri näytteenottokohdasta. Näytteenottoajat olivat joko 2, 5, 7 tai 8 minuuttia. Osa näytteistä on otettu samasta näytteenottokohdasta eri näytteenottoaikaa käyttäen. Suosituksia näytteenottoajaksi ei näiden tutkimusten pohjalta voida antaa, koska osassa tapauksista isommat mikrobipitoisuudet saatiin lyhyemmällä näytteenottoajalla ja toisissa näytteenottokohdissa korkeammat mikrobipitoisuudet analysoitiin näytteistä, joita oli kerätty pidemmän aikaa.

Tämän pohjalta voidaan suositella, että rakenteesta otettavan ilmanäytteen kohdalla näyte otettaisiin ainakin kahta eri näytteenottoaikaa käyttäen.

Vain kohteen D osalta näytteitä otettiin kahtena eri näytteenottokertana. On yleisesti tiedossa, että ilmanäytetulokset voivat vaihdella huomattavan paljon eri näytteenottokertojen välillä. Myös kohteen D kohdalla havaittiin tämä. Voidaan siis suositella, että näytteitä tulisi ottaa useampana näytteenottokertana.

Ennen kuin ryhdytään suorittamaan rakenteesta otettavia ilmanäytteitä, on oleellista tehdä perusteellisia selvityksiä. Ilmavuotojen selvittäminen merkkiainekokein ja painerojen tutkiminen antavat lisätietoa mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumisesta rakenteista sisäilmaan. Näiden mittausten ja selvitysten pohjalta saadaan valittua se rakenne, josta näytteitä kannattaa ottaa.

Kohteen D, huoneen 2, seinärakenteessa todettiin olevan epätiiveyskohtia. Rakenteesta otetuista ilmanäytteistä analysoitiin korkeita pitoisuuksia sieni-itiöitä ja lajistossa oli kosteusvaurioon viittaavia indikaattorimikrobeja. Sisäilman näytteissä ei kuitenkaan analysoitu samoja mikrobeja ja pitoisuudet olivat raja-arvojen alapuolella. Tämän huoneen kohdalla olisi mielenkiintoista suorittaa lisänäytteenottoja, jotta saataisiin kattavampi kuva sisäilman laadusta. Lähtötietojen perusteella voidaan olettaa, että rakenteissa olevat mikrobit pääsevät kulkeutumaan sisäilmaan.

Kohteen A osalta ilmapuotoja havaittiin tulevan alapohjasta. Rakenteesta otettavia näytteitä otettiin kuitenkin vain seinärakenteesta. Rakenteen ilmanäytteenotto tulisi kohdistaa sellaisiin rakenteisiin, joista on todettu olevan ilmapuotoja. Kohteen A osalta rakenneilmanäytteitä olisi tullut ottaa alapohjasta.

Esimerkiksi alapohjarakenteista voi kuitenkin olla haasteellista saada otettua rakenneilmanäytettä. Alapohjan rakenne voi olla sellainen, että siellä ei ole ilmatilaa näytteenottoa varten.

Kohteen C kohdalla salista otettu ilmanäyte sekä rakenteesta otettu ilmanäyte sisälsi samoja kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja. Tämän tilan kohdalla saatiin lisätietoa rakenteessa olevien mikrobien kulkeutumisesta sisäilmaan.

Kosteusvaurioon viittaavia indikaattorimikrobeja analysoitiin yhdestätoista (11) rakenteesta otetusta näytteestä. Kahdeksan näytteen kohdalla lajisto oli tavanomainen.

Jokaisen kohteen osalta ainakin yhdessä rakenteesta otetusta ilmanäytteestä analysoitiin kosteusvaurioon viittaavaa indikaattorimikrobia. Analysoituja mikrobeja olivat:

- *Engyodontium*
- *Eurotium*
- *Aspergillus fumigatus*
- *Aspergillus restrictus*
- *Aspergillus versicolor*.

*Aspergillus fumigatus* analysoitiin useimmiten rakenneilmanäytteistä. Sitä löytyi yhteensä viidestä eri näytteestä. Nämä näytteet oli otettu kahdesta eri koulurakennuksesta.

Suomalaisissa tutkimuksissa on havaittu, että *Aspergillus*-suvun homeet ovat yleisiä kosteusvauriokohteissa. *Aspergillus*-suvun homeet ovat nopeakasvuisia ja niiden suosimisiin kasvuolosuhteisiin vaikuttaa suvun laji. *Aspergillus fumigatus* kasvaa parhaiten

alustalla, jonka vesiaktiivisuus on melko korkea. *Aspergillus versicolor* viihtyy taas kuivemmissä olosuhteissa. (Putus, 2010.)

Rakenteesta otettavia ilmanäytteitä tulisi ottaa myös sellaisista rakennuksista, joissa ei ole tiedossa olevia kosteus- ja homevaurioita. Tämän selvityksen tulosten analysoinnissa ei ollut käytettävissä vertailurakennuksen tuloksia. 19 näytteen tuloksista kahdeksan kohdalla lajisto oli kuitenkin tavanomainen, joten voidaan olettaa, että kaikissa ulkoilman kanssa kosketuksissa olevissa materiaaleissa ei ole kosteusvauriota indikoivia mikrobeja.

## 8.6 Tulosten luotettavuus

Kun otetaan ilmanäytettä rakenteesta, pumpun virtaama tulee tarkastaa. Jos näyte imetään hyvin tiiviistä rakenteesta ja ilmamäärä on liian pieni, jää näytettä edustava pinta-ala hyvin pieneksi. Tämän työn näytteenotoissa pumpun virtaama tarkastettiin jokaisella kerralla.

Vaikka pumpun virtaama tarkastetaan, on mahdollista, että ilma kulkeutuu maljoille niin sanottuna ohivirtauksena muusta, kuin tutkittavasta rakenteesta. Perusteelliset selvitykset rakenteesta ovat välttämättömiä ennen rakenneilmanäytteenottoa.

Tässä tutkimuksessa oli käytettävissä melko pieni otanta näytteitä, joten suoria johtopäätöksiä näistä tuloksista ei voida vetää. Mikrobikasvusta irtoaa itiöitä eri lailla riippuen sen kasvuvaiheesta. Tämän takia myös rakenteista olisi hyvä ottaa näytteitä useampina kertoina. Ilmanäyte ei ole ajallisesti edustava, jos tulos perustuu yhteen näytteenottokertaan. Jokaisen kohteen kohdalla näytteitä olisi tullut ottaa myös vähintään toisena näytteenottopäivänä, kuten kohteen D kohdalla.

Kolmen kohteen näytteiden osalta rakenteesta otettavan näytteen välineistönä oleva muoviputki desinfioitiin jokaisen näytteenoton jälkeen. Kohteen D osalta käytettävä putki oli kapeampaa, joten tätä ei desinfioitu näytteenottojen välillä. Desinfiointin vaikutusta tutkimustuloksiin ei selvitetty näiden tutkimusten kohdalla.

Kohteen A näytteenotossa rakenteeseen menevään putken päähän teipattiin ohutta paperia, jotta näytemaljoille ei kulkeutuisi partikkeleja seinärakenteesta. Kohteen A kohdalla paperi laitettiin jokaiseen näytteenottoon. Myös rakenteesta otetuista näytteistä analysoitiin mikrobeja, joten voidaan olettaa, että paperi ei estänyt mikrobeja kulkeutumasta maljoille. Paperin vaikutusta näytetuloksiin ei kuitenkaan tiedetä. Muissa kohteissa paperia ei kuitenkaan käytetty, koska seuraavan kohteen osalta havaittiin, että maljoille ei kulkeutunut partikkeleita. Tämän perusteella voidaan siis olettaa, että putken päätä ei ole syytä tiivistää paperilla tai muulla materiaalilla, joka estäisi partikkelien pääsyn maljoille.

Ennen kuin menetelmää voidaan käyttää luotettavana apuna arvioitaessa sisäilman laatua, tulee selvittää, millä varmistutaan, että ulkoseinärakenteen lämmöneristeen ulkopuolella olevat mikrobit, jotka ovat tarttuneet pintaan ulkoilmasta, eivät vaikuta näytetuloksiin.

## 9 Johtopäätökset

Rakenteiden kuntoa selvitetessä voidaan eri menetelmiä yhdisteltäessä saada kattava kuva mahdollisesta mikrobivauriosta. Jokaisessa menetelmässä on etunsa ja haittansa mutta eri näytteenotot vievät aikaa ja aiheuttavat kustannuksia. Mikrobiologiset näytteet auttavat kuitenkin homevaurioiden tunnistamisessa sekä vaurion laajuuden selvittämisessä.

Työn tavoitteena oli saada vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Voiko rakenteesta otettavaa ilmanäytettä käyttää apuna tutkittaessa rakennuksen sisäilman laatua?
2. Onko menetelmä käyttökelpoinen?

Jotta menetelmää voidaan käyttää luotettavana apuna arvioitaessa sisäilman laatua, tulee menetelmän näytetuloksille saada ohje-arvot ja ohjeistus näytteenottoon. Tulokset ovat vertailukelpoisia silloin, kun näytteet on otettu yhteisesti sovitulla tavalla ja tietyillä näytteenottomenetelmillä. Vastaavia näytteitä tulee ottaa lisää, jotta saadaan käsitys yleisesti rakenteissa esiintyvien mikrobien määrästä.

Tarpeeksi suuri näytemäärä on ehdoton, jotta tulos on luotettava. Ilmanäytteiden tulosten tulkinnan tukena tarvitaan aina myös muita selvityksiä. Mikäli rakenteista ei ole ilmapirtauksia sisäilmaan, ei rakenteissa oleva mikrobikasvu ole välttämättä terveyshaitta.

Oleellisinta on tutkia ilmanäytteenoton yhteydessä rakenteiden tiiveyttä, esimerkiksi merkkiainekokein ja selvittämällä rakennuksen paine-eroja. Rakenteesta otettava ilmanäyte on käyttökelpoinen silloin, kun se otetaan sellaisesta rakenteesta, josta on todettu olevan ilmavuotoja sisäilmaan.

Työn tarkoituksena oli vertailla rakenteesta otettavia ilmanäytetuloksia keskenään ja pohtia, voiko tällä menetelmällä saada lisätietoa rakenteiden kunnosta. Yhden tilan kohdalla ilmanäytteen ja rakenteesta otetun ilmanäytteen kohdalla havaittiin yhtäläisyyksiä mikrobilajistossa. Näiden näytteiden kohdalla rakenneilmanäyte toi mahdollisesti lisätietoa sisäilman mikrobipitoisuuksien lähteestä. Tämän näytteen pohjalta voidaan siis olettaa, että rakenneilmanäytteellä voidaan saada lisätietoa rakenteessa olevan mikrobikasvun vaikutuksesta sisäilman laatuun.

Ilmanäytteenotto rakenteista voi olla käyttökelpoinen silloin, kun epäillään vaurion sijaitsevan rakenteessa ja pohditaan sen vaikutusta sisäilman laatuun. Tällöin tulee aina ottaa sisäilmanäyte myös tutkittavasta huoneesta ja näytteitä tulee ottaa useana eri näytteenottokertana. Näytetuloksia voi käyttää vain apuna arvioitaessa mikrobivaurion paikkaa ja sen vaikutuksia sisäilmaan. Menetelmälle ei ole ohjearvoja ja tuloksia analysoitaessa oleellista on arvioida mistä näyte on otettu.

VTT:n ja Kuopion yliopiston tutkimuksessa (Rantalainen ym. 2000) ehdotetaan niin sanottua aggressiivisen näytteenottotilanteen järjestämistä, kun epäillään rakennuksen rakenteissa esiintyvää mikrobikasvua. Tällaiseen menettelyyn voitaisiin päätyä, kun materiaalinäytteenotto ei ole mahdollinen. Menetelmässä alipaineistetaan rakennus tai sen osa ja suoritetaan näytteenottoja normaalitilanteessa ja alipaineessa. Tässä menetelmässä pyritään etsimään rakennuksen ilmanvuotoreitit. Koulujen ja päiväkotien kohdalla ongelmaksi tulee rakennuksen käyttö. Lähes aina tutkimuksia joudutaan tekemään niin sanotussa normaalitilassa. Tutkimuksiin ryhdytään usein sen perusteella,



että rakennuksessa oireillaan. Mikäli rakenteissa on mikrobivaurioita, voi tällaisella menetelmällä pahentaa sisäilman laatua huomattavasti ja rakennuksen käyttäjien oleskelu tai työskentely rakennuksessa tulee mahdottomaksi. Tällaisessa tilanteessa rakenteesta otettava ilmanäyte ja ilmanvuotoreittien tutkiminen esimerkiksi merkkiaineen avulla voisi olla toimiva tapa tutkia rakennuksen kuntoa.

Rakenteesta otettavia ilmanäytteitä voisi mahdollisesti käyttää myös muun tyyppisten rakenteiden tutkimisessa. Kylpyhuoneista, välipohjista ja -seinistä otettaessa rakenneilmanäytteitä ei tarvitse pohtia ulkoilman ja maaperän mikrobien vaikutusta. Tällaisten rakenteiden tutkimisessa voitaisiin säästyä isommilta rakenteen avauksilta, jos mikrobivaurion paikka löytyy rakenneilmanäytteiden avulla.

Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla materiaalinäytetulosten ja rakenneilmanäytetulosten vertaaminen keskenään. Rakenneilmanäytteiden oton jälkeen rakennetta aukaistaan ja tämän jälkeen otetaan materiaalinäytteitä. Materiaalinäytteiden avulla saadaan tietoa rakenteessa olevista mikrobivaurioista ja mikrobipitoisuuksista. Rakenneilmanäytteiden tulosten vertaaminen materiaalinäytetulosten pitoisuuksiin kertoo rakenneilmanäytteiden tulosten luotettavuudesta.

## Lähteet

Aho, Hanna & Korpi, Minna (toim.)2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 141.

Airaksinen, Miimu. 2003. Moisture and fungal spore transport in outdoor air-ventilated crawl spaces in a cold climate. Report A7. Helsinki University of Technology. Espoo: Otamedia Oy.

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

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

Eklund, Marjut. 2012. Kvantitatiivisen PCR (qPCR)- ja kasvatusmenetelmien vertailu rakennusten mineraalivillaeriste- ja puumateriaalinäytteiden mikrobimäärityksissä. Opinnäytetyö, Itä-Suomen yliopisto. Kuopio: Kopijyvä Oy.

Hekkanen, Martti. 2006. Kosteus- ja homeongelmien havaitseminen, korjaus ja ehkäisy kuntien rakennuksissa. Helsinki: Kuntaliitto.

Hometalkoot. 2011. Kosteus- ja homevauriokorjaaminen. Verkkodokumentti. <<http://www.hometalkoot.fi/talkootiedot/kosteus-ja-homevauriokorjaaminen.html>> 2011. Luettu 17.10.2011.

Husman, Tuula & Roto, Pekka & Seuri, Markku. 2002. Sisäilma ja terveys – Tietoa rakentajille. Kansanterveyslaitos.

Hyvärinen, Anne & Kauhanen, Eeva & Nevalainen, Aino. 2009. Mikrobitulosten käytännön arviointi. Ympäristö ja Terveys – lehti 4/2009.

Korttinen, Jorma. 2010. Sisäilmamittausten laatuun vaikuttavia tekijöitä, sisäilman mikrobinäytteet. Opinnäytetyö, Mikkelin ammattikorkeakoulu, ympäristöteknologia.

Leivo, Virpi. 1998. Opas kosteusongelmiin – Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan osasto. Julkaisu 95.

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

Leivo, Virpi & Rantala, Jukka. 2002b. Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka. Julkaisu 120.

Leivo, Virpi & Rantala, Jukka. 2006. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Rakennusteollisuus RT Oy. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

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

Kokko, Erkki & Ojanen, Tuomo & Salonvaara, Mikael & Hukka, Antti & Viitanen, Hannu. 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. Valtion Teknillinen tutkimuskeskus.

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

Meklin, Teija & Putus, Tuula & Hyvärinen, Anne & Haverinen-Shaughnessy, Ulla & Lignell, Ulla & Nevalainen, Ulla. 2007. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja 9/2007.

Nevalainen, Aino. 2001. Homekoulut uhkaavat lastemme terveyttä. Verkkodokumentti. <[http://www.ktl.fi/portal/suomi/julkaisut/kansanterveyslehti/lehdet\\_2001/8-9\\_2001/homekoulut\\_uhkaavat\\_lastemme\\_terveytta/](http://www.ktl.fi/portal/suomi/julkaisut/kansanterveyslehti/lehdet_2001/8-9_2001/homekoulut_uhkaavat_lastemme_terveytta/)> 10.1.2004. Luettu 12.12.2011.

Nevalainen, Aino & Husman, Tuula & Hirvonen, Maija-Riitta . 2004. Hankala haitallinen home. Verkkodokumentti. Duodecim. <[http://www.ktl.fi/portal/suomi/terveyden\\_ammattilaisille/ymparistoterveys/hometalot/tutkimustietoa](http://www.ktl.fi/portal/suomi/terveyden_ammattilaisille/ymparistoterveys/hometalot/tutkimustietoa)> Luettu: 24.10.2012.

Opetushallitus. 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.

Paloniitty, Sauli. 2012. Rakennusten tiiveysmittaus. Suomen rakennusmedia Oy. Tampere: Tammerprint Oy.

Pekkola, Vesa & Metiäinen, Pertti & Mussalo-Rauhamaa, Helena & Lönnblad, Petri & Kivi, Ritva & Metsäranta, Erja & Ruokojoki, Jorma & Lappalainen, Sanna & Kujanpää, Rauno. Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Loppuraportti, Kosteus- ja hometalkoot. 30.12.2011.

Pessi, Anna-Mari & Suonketo, Jommi & Pentti, Matti & Rantio-Lehtimäki, Auli. 1999. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Julkaisu 101. Tampere: Rakennustekniikan osasto.

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

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

Rantamäki, Jouko & Kääriäinen, Hannu & Tulla, Kauko & Viitanen, Hannu & Kalliokoski, Pentti & Kesikuru, Timo & Kokotti, Helmi & Pasanen, Anna-Liisa. 2000. Rakennusten

ja rakennusmateriaalien homeet. VTT tiedotteita. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo: Otamedia Oy.

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

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

Rimpelä, Matti & Kuusela, Jorma & Rigoff, Anne-Marie & Peltonen, Heidi (toimittajat). 2007. Hyvinvoinnin edistäminen peruskouluissa – peruseräraportti kyselystä 7.-9. vuosiluokkien kouluille. STAKES selvitys. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Rimpelä, Matti & Kuusela, Jorma & Rigoff, Anne-Marie & Saaristo, Vesa & Wiss, Kirsi. 2008. Hyvinvoinnin ja terveyden edistäminen peruskouluissa 2- peruseräraportti kyselystä 1.-6. vuosiluokkien kouluille. STAKES selvitys. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Ruokojoki, Jorma. 2005. Kosteus- ja homeongelmien määrä ja syyt kuntien rakennuksissa. 2005. Verkkodokumentti. <<http://hosted.kuntaliitto.fi/intra/julkaisut/pdf/p060608140541D.pdf>> 2005. Luettu 4.1.2012.

Seuri, Markku & Reiman, Marjut. 1996. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Rakennustieto Oy. Tampere: Tammer-paino Oy.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki: Edita Prima Oy.

Stormi, Heli. 2010. Koulujen sisäilmatutkimus, sisäilman mikrobit, mikrobitoksisuus ja kuidut. Opinnäytetyö. Ympäristötekniikka. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Sisäilmayhdistys. 2008. Ilmavirtaus ja paine-ero. Verkkodokumentti. <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/ongelmien\\_tutkiminen/rakennustekniset\\_tutkimukset/ilmavirtaus\\_ja\\_paine\\_ero/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/ilmavirtaus_ja_paine_ero/)> 2008. Luettu 29.11.2012.

Terveysturvallisuuslaki 19.8.1994/763.

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

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

Valvira, 2010. Näytteenotto ilman mikrobipitoisuuden määrittämistä varten (6-vaiheimpaktori). NO 9. Ympäristöterveydenhuollon laatuohjeisto: Terveysturvallisuuden laatuohjeisto. Verkkodokumentti. <[http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/ymparistoterveydenhuolto/ymparistoterveydenhuollon\\_laatuohjeisto\\_-\\_terveydensuojelun\\_valvontaohjeisto](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/ymparistoterveydenhuolto/ymparistoterveydenhuollon_laatuohjeisto_-_terveydensuojelun_valvontaohjeisto)> Luettu 18.12.2012.

Viitanen, Hannu. 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homeutumisen kriittiset olosuhteet -betonin homeenkesto. Espoo: VTT.

Vinha, Juha. 2011. Yhteenveto FRAME-projektin tuloksista. 1.12.2011. Tampereen teknillinen yliopisto. Frame 3. yleisöseminaari, Helsinki 1.12.2011. Verkkodokumentti. <<http://www.rakennusteollisuus.fi/frame>> Luettu 29.11.2012.

**Kohteiden raportit (salaisia):**

Kuntotutkimusraportti. 2012. Kohde A.

Kosteusvauriokartoitus-raportti. 2010. Kohde B.

Tutkimusraportti. 2012. Kohde B.

Sisäilmaselvitysraportti. 2012. Kohde C.

Ilmanvaihdon kuntotutkimusraportti. 2008. Kohde D.

Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus. 2012. Kohde D.