

Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Marjut Möttus

Mikrobivaurioiden tunnistaminen ja riskien arviointi peruskorjauskohteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Korjausrakentaminen

Opinnäytetyö

05.05.2022

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Marjut Möttö Mikrobivaurioiden tunnistaminen ja riskien arviointi peruskorjauskohteissa 59 sivua + 2 liitettä 5.5.2022
Tutkinto-ohjelma	Rakennetekniikka
Ammatillinen pääaine	Korjausrakentaminen
Ohjaajat	Varatoimitusjohtaja Joni Sundström Yliopettaja Hannu Hakkarainen
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Insinööritoimisto Konstru Oy:n kanssa. Työllä haluttiin lisätä tietoutta mikrobivaurioista sekä kartuttaa kokemusta sisäilmateknisten kuntotutkimusten toteuttamisesta. Työssä keskityttiin mikrobivaurioiden tunnistamiseen ja laajuuden arviointiin sekä niiden aiheuttamien riskien arviointiin.</p> <p>Työhön kerättiin teoretietoja mikrobeista, niiden elinolosuhteista ja terveydellisistä vaikutuksista. Käytiin läpi riskirakenteita, joiden on todettu kasvattavan riskiä kosteus- ja mikrobivaurioihin sekä kosteusvaurioiden syntymekanismeja ja rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta. Selvitettiin Valviran ja ympäristöministeriön ohjeita ja niissä määritettyjä toimenpiderajoja. Nämä ohjeet ja asetukset ohjaavat kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten tai rakenteiden riskien arviointia.</p> <p>Työssä käytiin myös läpi sisäilmateknisen kuntotutkimuksen toteutustapaa ja sen tukena käytettäviä kuntotutkimusmenetelmiä. Tässä työssä keskityttiin ainoastaan mikrobivaurioiden tunnistamiseen ja niiden terveydellisten vaikutusten toteamiseen. Osana kattavaa sisäilmateknistä kuntotutkimusta on kuitenkin usein hyödyllistä/järkevää selvittää myös rakennuksesta löytyvien muiden haitta-aineiden laajuutta.</p> <p>Osana opinnäytetyötä kirjoitettiin sisäilmatekninen kuntotutkimusraportti eräästä yrityksen peruskorjauskohteesta. Kuntotutkimusraportti kirjoitettiin ainoastaan yrityksen sisäiseen käyttöön. Kuntotutkimusraportin avulla haluttiin kehittää yrityksen toimintamallia rakennuksen sisäilmateknisen toimivuuden kannalta ja rakennusten terveellisyysnäkökulmasta.</p>	
Avainsanat	mikrobit, kosteusvaurio, katselmointi, peruskorjaus

Author Title	Marjut Möttus Recognizing Microbe Damages and Evaluating the Risks in Renovating Targets
Number of Pages Date	59 pages + 2 appendices 05 May 2022
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Building Renovation
Instructors	Joni Sundström, Deputy Managing Director Hannu Hakkarainen, Senior Lecturer
<p>This dissertation has been done in cooperation with Insinööritoimisto Konstru Oy. With the dissertation, we wanted to increase knowledge of the microbe damage and increase the experience of conducting indoor air technical condition surveys. Therefore, the dissertation concentrated on identifying microbe damages, evaluating the damages' scope, and assessing the risks they cause.</p> <p>The study collected theoretical information about microbes, from their living conditions and their health effects. The study listed the most known risk structures, which have increased the risk of moisture and microbe damage. I also cleared out the mechanisms by which the moisture damages are born and the moisture technical functionality of the structures. Finally, I learned about Valvira and the Ministry of the Environment standards and their activity levels. These standards and regulations guide the risk evaluation of buildings and structures with moisture and microbe damage.</p> <p>In the study, I scrutinized the performance of indoor air technical condition surveys and the research methods to support it. The study was centred only on recognizing the damages caused by microbes and discovering the health-related effects they cause. However, as part of a comprehensive indoor air technical condition survey, it is most often useful to declare the possibility and scope of other detrimental elements.</p> <p>Finally, as part of this study, an indoor air technical condition survey report was written from one of the company's renovation targets. This technical condition survey report was written only for internal use of the company. With the condition survey, we wanted to improve the company's operations model in the cases of indoor air functionality.</p>	
Keywords	microbes, moisture damage, inspection, renovation target

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	5
2	Mikrobit	6
2.1	Sienet	9
2.2	Bakteerit	9
2.3	Mikrobilajien tunnistaminen	9
3	Mikrobien vaikutus terveellisyyteen	16
3.1	Huoneilman mikrobipitoisuuksien raja-arvot	16
3.2	Mikrobien allergeenisuus ja niiden aiheuttamat infektiot	17
3.3	Mikrobien toksisuus	18
3.4	Hajuhaitat ja puhdistustyöt	20
4	Riskirakenteet	21
4.1	Kaksoislaattavälipohjat	21
4.2	Valesokkelit	22
4.3	Sisäpuolisesti eristetyt kellarin seinät	23
4.4	Kuorimuuratut julkisivut	24
4.5	Massiivihormirakenteet ja rakenneaineiset ilmanvaihtokanavat	24
4.6	Märkätilat	25
4.7	Orgaaniset materiaalit ja -eristeet	25
5	Kuntotutkimus	26
5.1	Katselmointi ja rakenneavaukset	26
5.1.1	Kapillaarinen vedennousu	30
5.1.2	Painovoimainen vedensiirtyminen	31
5.1.3	Höyrynsulku, kondenssi, tiivistyminen ja muut vuodot	32
5.2	Tukevat tutkimusmenetelmät	34
5.2.1	Pintakosteuskartoitus	34

	2	
5.2.2	Kosteusmittaukset	35
5.2.3	Paine-ero ja tiiveystutkimukset	36
5.2.4	Suora mikroskopointi	38
5.2.5	Materiaalinäytteiden mikrobianalyysit	39
5.2.6	Pitoisuuksien määrittäminen huoneilmasta	41
6	Riskianalyysi	42
6.1	Riskianalyysi vaiheet ja niiden arviointi.	43
7	Case-tutkimus	45
7.1	Lähtötiedot	46
7.2	Havainnot	46
7.3	Materiaalianalyysit	50
7.4	Riskiarvio	51
8	Laadunvalvonnan kehittäminen	52
9	Johtopäätökset	53
10	Yhteenveto	55
	Lähteet	57
	Liitteet	
	Liite 1. Rakennusosakohtainen tarkistuslista	
	Liite 2. Sisäilmatekninen kuntotutkimus (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)	

Käsitteet

Altisteen toimenpideraja

tarkoittaa pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta, jolloin sen, kenen vastuulla haitta on, tulee ryhtyä terveydensuojelulain 27 §:n tai 51 §:n mukaisiin toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi ja tarvittaessa sen poistamiseksi tai rajoittamiseksi. [STM, 2015]

Mikrobivaurio

tarkoittaa bakteerien, homeiden, hiivojen, lahottajien ym. mikrobien haitallista esiintymistä rakennuksessa. [Riutanheimo, 2018]

Sädesieni

eli aktinobakteeri eli aktinomykeetti kasvaa luonnossa maaperässä ja mullassa sekä luonnonvesissä. Ominaista aktinobakteereille on maakellarin haju, joka syntyy niiden muodostaessa geosmiinia. Aktinobakteerit ovat moniin muihin mikrobeihin verrattuna paljon vaatimattomampia ja sopeutuvaisempia, mutta kasvattavat itiöitä ja rihmastoja, muiden sienien tapaan. [Putus, 2017]

Kosteusvaurio

tarkoittaa liiallisesta tai pitkäaikaisesta kosteudesta aiheutuvaa materiaalin tai rakenteen kosteussietokyvyn ylittymistä ja ominaisuuksien muuttumista siten, että rakenne tai rakenteen osa tulee korjata tai vaihtaa. [Riutanheimo, 2018]

Kosteusvaurio indikaattori

on mikrobi, jonka esiintyminen näytteessä viittaa, että rakennuksessa on tai on ollut kosteusvaurio. Kyseessä on mikrobi, jota ei yleensä tavata terveessä, vaurioitumattomassa rakennuksessa myös tavanomainen mikrobikin voi kuitenkin toimia indikaattorina, jos sitä esiintyy otetussa näytteessä suurina pitoisuuksina. Indikaattorimikrobien esiintyminen rakennuksissa on yleensä merkki rakenteiden liiallisesta kostumisesta. [Sisäilmayhdistys, 2008b]

Korjausaste

on prosentuaalinen luku, jossa verrataan korjaustoimenpiteiden kustannuksia uuden rakennuksen hankintahintaan. Suuriksi hankkeiksi

luetellaan korjaushankkeet, joissa korjausasteen lasketaan olevan yli 50 %. [Terveet tilat 2028]

Peruskorjaus tarkoittaa rakennuksen tai sen osan palauttamista uutta vastaavaan kuntoon.

Pmy tulee sanoista pesäkkeen muodostava yksikkö. Ilmanäytteestä mitattua ilman sienipitoisuus ilmoitetaan pmy/m³ ja pintasivelynäytteille pmy/m². Materiaalinäytteiden tulokset ilmoitetaan pmy/g tai materiaalinäytteestä tehdyn suoraviljelyn tulos ilmoitetaan pmy/malja. [Sisäilmäyhdistys 2008g]

Ige-positiivisuus tai IgE-yliherkkyys

tarkoittavat välitöntä allergiaa. Välittömän allergian yleisimpiä oireita ovat mm. kutina, nokkosihottuma, allerginen nuha, allerginen silmätlehdus, allerginen astma, atooppinen ihottuma tai anafylaktinen shokki. [Duodecim 2012]

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on Mikrobivaurioiden tunnistaminen ja riskien arviointi peruskorjauskohteissa. Aiheen opinnäytetyön tekijä sai Insinööritoimisto Konstru Oy:ltä, jossa tekijä on työskennellyt vuodesta 2011. Yritys on erikoistunut korjaussuunnitteluun, ja merkittävä osa korjaussuunnitteluun kuuluvista kohteista on rakennettu 1900-luvun alkupuolella. 1900-luvun alkupuolen rakentamisessa välipohjat ovat usein kaksoislaattavälipohjia, joissa on täyteenä jokin luonnonmateriaali, ja ne sisältävät muottilaudoituksen. Tämän lisäksi rakennuksista löytyy monia muitakin riskirakenteiksi luokiteltuja rakenteita. Työn tavoitteena oli saada aikaan ohjeistus mikrobi- ja kosteusvaurioituneen kohteen riskien arvioinnista ja altistumisen todennäköisyydestä. Ohjeistuksen avulla halutaan jatkossa entistä paremmin pystyä määrittelemään korjauslaajuus ja kohteeseen sopiva korjausmenetelmä.

Työllä halutaan vaikuttaa myönteisesti ylikorjaamisen ja turhien rakenteiden desinfioinnin vähenemiseen, kuitenkin samaan aikaan lisätä tietoisuutta mikrobien vaikutuksesta niin käyttäjien kuin työntekijöidenkin terveyteen. 1900-luvun alkupuolen kiinteistöjä peruskorjataan paljon ja niitä tullaan korjaamaan edelleen paljon. Erityisesti tilaajat, sijoittajat ja kiinteistöjen omistajat ovat huolissaan sisäilmaongelmista. Lienee viimeisen vuosikymmenen aikaansaannosta, että luonnonmateriaalitäytöistä on saatu kasvamaan suuri ongelma sisäilmaongelmista puhuttaessa. Peruskorjausten yhteydessä halutaan useimmiten olla enemmän kuin varmoja, ettei rakenteisiin jää mikrobeja, jolloin rakenteita desinfioidaan ja puhdistetaan, monenlaisin menetelmin. Desinfiointi- ja puhdistusaineita on monia, lisäksi pinnoilta poltetaan mikrobien jäänteitä tai materiaalin pinnasta poistetaan saastunut pinta hiekka-, sooda- tai kuivajääpuhaltamalla.

Korjausrakennuskohteissa tulisi pystyä myös realistisesti arvioimaan sisäilma- ja materiaalinäytteiden analyysituloksia. Korjauskohteet voivat joskus olla niin tiukasti suojeltuja, ettei rakenteita voi avata, eikä edes kapseloiminen tule kysymykseen, koska rakenteita ei voida pinnoittaa. Suojelukohteissa punnitaan riskejä, joita esimerkiksi välipohjarakenteiden täyttöjen säilyttäminen voi aiheuttaa tai onko säilyttäminen todellisuudessa edes riski.

Tosiasia on, että luonnonmateriaalitäytöissä on hyvä kasvualusta mikrobeille; kuitenkin lähes aina näin ei ole. Tarvitaan myös muuten otolliset olosuhteet mikrobien kasvuun, jotta niiden kasvu aktivoituu. Mikrobit vaativat kasvaakseen kosteutta, lämpöä ja happea sekä ravintoa.

Mikrobit voivat kuitenkin olla erityisesti pitkäaikaisen altistuksen takia vakava haitta tilojen käyttäjän terveydelle. Mikrobien aiheuttamia haittoja ihmisten ja eläinten terveydelle on tutkittu vuosisatoja, kun niiden on todettu aiheuttavan laajojakin epidemioita. Pitkäaikaiset tutkimukset todistavat, ettei mahdollisia terveydellisiä haittoja tule missään nimessä aliarvioida ja tietämystä tulee lisätä niin rakennus- kuin terveydenhoitoalallakin. [Putus 2017]

Tärkeää olisi erotella käyttäjille kosteusvaurioitunut rakennus vanhasta rakennuksesta. Ja ehkä vielä tärkeämpää on ymmärtää, että orgaaninen täyttö ei ole sama kuin kosteusvaurioitunut orgaaninen täyttö. Yhtälailla mikrobivaurioita voi syntyä mineraalivillieristetäyttöihin kuin orgaanisiin turvetäyttöihin. [Rakennustietosäätiö, 1999]

Realistisempiin kuntoarvioihin voidaan vaikuttaa lisäämällä omaa tietämystä ja jakamalla sitä asiakkaille pätevän kuntotutkimusraportin muodossa. Asiakkaita kohdatessa ja kuntotutkimuksia tehtäessä on tärkeää korostaa kaikkien rakenneratkaisujen kosteusteknistä toimintaa ja niiden vaikutusta tilojen terveellisyyteen.

Lisäämällä tietoa voidaan karsia pelkoja, jolloin vältetään ylikorjaamiselta.

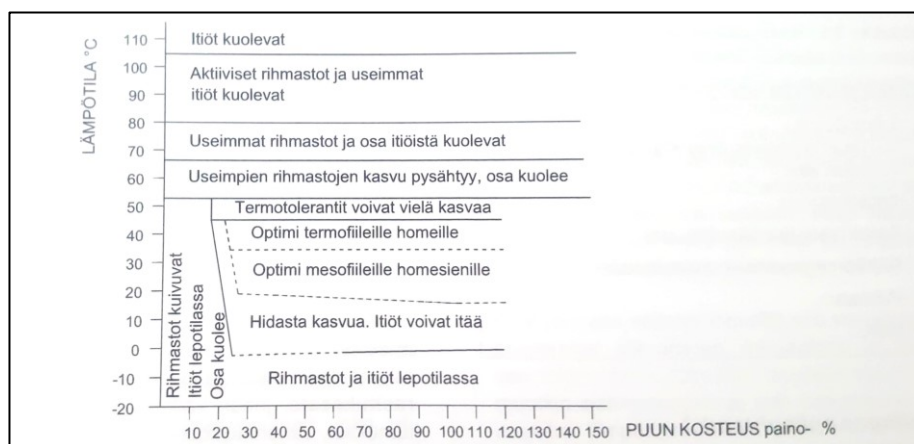
2 Mikrobit

Mikrobit ovat moninaisia, toisistaan poikkeavia eliöitä, joilla on erinomainen lisääntymiskyky. Mikrobeihin luetaan muun muassa virukset, bakteerit, sienet, levät ja alkueläimet. Rakenteissa useimmiten tavattuja mikrobeja ovat bakteerit, levät ja erilaiset sienet. Sienet jaetaan alaryhmissä homeisiin ja hiivoihin. [Salkinoja-Salonen 2002, Sisäilmayhdistys 2008e]

Mikrobit tarvitsevat kosteutta kasvaakseen, sen sijaan itiöt säilyvät elinkykyisinä myös täysin kuivassa ympäristössä. Ei ole olemassa suoraa vastausta, milloin rakenteellinen kosteus on niin korkea, että se altistaa rakenteen kosteusvaurioille. Yhtenä periaatteena voidaan kuitenkin pitää, että kun rakenteeseen siirtyy enemmän kosteutta kuin mitä sieltä poistuu, tällöin kosteutta kertyy rakenteeseen. Rakenteilla, joiden kosteudensitomiskyky on korkea, kestää kuitenkin pidempään ennen kuin kosteus nousee niin korkeaksi, että rakenne alkaa vaurioitua. [Sisäilmayhdistys 2008e]

Puhuttaessa rakenteen kosteudesta tarkoitetaan yleensä rakenteen huokosilman kosteutta. Nyrkkisääntönä pidetään, että ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 70 %, on mikrobikasvu todennäköistä. Mikrobeille suotuisimmat kosteusolosuhteet vaihtelevat kuitenkin laajasti, (ks. kuva 1). Sinistä- ja lahottajasienet vaativat, että $RH > 95\%$. Aktinobakteerit eli sädesienet elävät hyvin kapealla kosteusallalla, joka on $RH = 95\%$. Sen sijaan esimerkiksi homesienet ja hiivat voivat elää rakenteessa, jonka suhteellinen kosteus on $RH = 65\text{...}85\%$ tai sitä korkeampi. Vaikka mikrobit voivat lähteä kasvuun jo puhuttaessa päivistä, on silti todennäköistä, että tilapäinen ja lyhytaikainen kosteusrasitus ei vielä haittaa. [Sisäilmayhdistys 2008d]

Mikrobien kasvuolosuhteisiin rakenteissa vaikuttaa moni tekijä. Kaikkein merkittävin tekijä mikrobien kasvuun lähdössä on kosteus, täysin kuivassa ympäristössä mikrobit eivät kasva. Täysin kuivaksi rakenteeksi katsotaan rakenne, jonka suhteellinen kosteus on alle 30 %. Toinen kasvua voimakkaasti kiihdyttävä tekijä on lämpö. [Torikka 1999]



Kuva 1. Homerihmaston ja itiöiden kasvu ja olotila puussa eri lämpötiloissa ja eri kosteuspitoisuuksilla. Puun kosteus pitoisuus on ilmoitettu painoprosenteina. [Torikka 1999]

Materiaalien mikrobinäytteistä tutkitaan mesofiilisten sienien ja bakteerien määrät. Mesofiiliset bakteerit ja sienet ovat mikrobeja, jotka viihtyvät suhteellisen tasaisissa lämpötila oloissa, optimilämpötila on +30...37 astetta, kuitenkin välillä +25...40 astetta. Kasvatusolosuhteisiin keskitytään tarkemmin luvussa 5.2, jossa perehdytään kuntotutkimusta tukeviin tutkimusmenetelmiin. [Ruokavirasto 2022, Torikka 1999]

Mikrobikasvun edellytys on kuitenkin aina, että materiaalissa tai rakenteessa on mikrobeja, itiöitä tai pieni määrä vanhaa kasvustoa. Mikrobilähde voi olla päätynyt rakenteeseen jo rakennusvaiheessa tai se voi päätyä sinne ilmavirtauksen tai esimerkiksi viemäriveruodon kautta. Mikrobilähde todennäköisesti jää rakenteeseen myös mikrobivauriokorjauksen jälkeen. Paras tapa ehkäistä mikrobivaurioita on pitää rakenne kuivana. [Sisäilmäyhdistys 2008e]

Mikrobien osat voivat selvitä erilaisista olosuhteissa esimerkiksi homeiden rihmastot ja itiöt voivat kuolla, sienestä riippuen, erilaisissa lämpöolosuhteissa. Suotuisammissa olosuhteissa homeet kasvattavat rihmastoa, mutta kun olosuhteet muuttuvat epäsuotuisammiksi, lisääntyy itiöiden tuotanto. Tuula Putus, työterveyshuollon ja ympäristölääketeen professori, on todennut, että terveyshaittoja aiheuttavat myös kuolleet itiöt ja kuolleiden sienten partikkelit, mikä tarkoittaa sitä, että myös kertaalleen kastunut ja kuivunut kosteusvaurio, joka on aiheuttanut mikrobikasvustoa voi olla haitallinen, vaikka mikrobikasvusto olisi jo kuollut. [Torikka 1999, Putus 2017]

Lisäksi mikrobien kehittymiseen vaikuttavat rakenteen ja sen pinnan seuraavat tekijät;

- kosteuspitoisuus,
- lämpötila,
- kasvualustan ravinteet, kemiallinen koostumus ja happamuusolosuhteet (sienten ph-toleranssi on noin 1,4–10,0)
- kaasukoostumus (hapen saanti ei yleensä rajoita kasvua)
- ilmankierto ja valaistusolosuhteet [Torikka 1999]

2.1 Sienet

Kosteusvauriorakennuksissa tavattuja sieniä ovat erilaiset home- ja hiivasienet sekä sivistäjä- ja lahottajasienet. Homeet ovat suvuttomasti lisääntyviä rihmasieniä, ne lisääntyvät itiöiden avulla. Homeiden kasvu ei vaikuta rakennusmateriaalin lujuusominaisuuksiin, sillä ne kasvavat tavallisimmin materiaalin pinnalla. Niin luonnossa kuin rakenteisakin homeet toimivat yleensä alkuvaiheen hajottajina ennen varsinaisia lahottajasieniä. Lahottajasienet sen sijaan käyttävät ravinnokseen selluloosaa ja ligniiniä. Lahottajasienet heikentävät puun lujuusominaisuuksia, sillä ne ”syövät” puuta. [RIL 2020, Sisäilmayhdistys 2008c]

2.2 Bakteerit

Bakteerisolot ovat läpimitaltaan noin 1 µm, ne ovat kooltaan pienempiä kuin sienet. Aktinomykeetit eli aktinobakteerit eli sädesienet ovat bakteereita, jotka poikkeavat muista bakteereista sillä ne kasvattavat jossain elinkierron vaiheessa rihmaston ja muistuttavat siten sieniä. Aktinobakteereihin kuuluvat *Streptomyces*-lajit ovat tällä hetkellä tunnettuja lajinsa edustajia sillä ne liittyvät usein kosteusvaurioihin. Aktinobakteereille on tyyppillistä mullan ja maakellarin hajua. [Sisäilmayhdistys, 2008c]

Materiaalinäytteistä tutkitaan mesofiilisten bakteerien ja sienten määrät. Mesofiiliset bakteerit ovat bakteereja, jotka viihtyvät suhteellisen tasaisissa lämpötila oloissa, noin +37 astetta, kuitenkin välillä +25...40 astetta. [Ruokavirasto 2022]

2.3 Mikrobilajien tunnistaminen

Sisäilmassa tavallisimmin ja runsaimmin esiintyviä sienisukuja ovat *Penicillium*, *Aspergillus* ja *Cladosporium* –sienisuvut. Yleisin näistä on *Penicillium*. Penisilliinin keksimiseen johti aikanaan juuri *Penicillium*-pesäke maljalla. Pesäkkeen huomattiin estävän muiden bakteerien kasvun maljalla; tämä edelleen on johtanut muiden antibioottien löytymiseen. Vaikka edellä mainitut homeet ovat yleisiä sisäilmassa, voivat ne kuitenkin myös kertoa kosteusvaurioista, erityisesti, jos ne esiintyvät suurina määrinä. Eli tavallisinakin pidetyt

sienet voivat olla allergisoivia ja aiheuttaa infektioita päästessään elimistöön. Lisäksi ne myös tuottavat toksineja. [Putus 2017]

Huolimatta *Penicillium*-homeen yleisyydestä, on sillä todettu olevan terveydelle haitallisia vaikutuksia. Se voi allergisoida ja muodostaa toksineja muiden homeiden tapaan. *Penicillium*-hometta ei luokitella kosteusvaurioindikaattoriksi. Siitä huolimatta *Penicillium* on primäärivaiheen home eli se on yksi ensimmäisistä mikrobeista, joka toimii merkinä mikrobivauriosta. *Penicillium*-homeen itiöt jäävät ilmaan pitkäksi aikaa leijumaan, sillä ne ovat hyvin pieniä. Itiöiden pieni koko on merkittävä tekijä, kun mietitään homeelle altistumista. Itiöiden pienen koon vuoksi *Penicillium* myös itiöi voimakkaasti eli muodostaa paljon itiöitä lyhyessä ajassa. Purkutyövaiheessa olisi myös kiinnitettävä enemmän huomiota pölynhallintaan, jos näytteissä on havaittu suuria määriä *Penicillium*-hometta, sillä se pölyää voimakkaasti ja altistaa esimerkiksi purkutyövaiheessa työskenteleviä henkilöitä herkästi ja usein, yleisyytensä vuoksi. *Penicillium* on toisin sanoen nopeakasvuinen home, joka voi myös viljeltäessä peittää alleen hidaskasvuisia homelajeja, ja se näkyy helposti tuloksissa valtalajina. *Penicillium*-homeita ei tunnisteta mikrobinäytteistä lajitasolla, sillä niiden erottaminen toisistaan on lähes mahdotonta. [Putus 2017]

Toinen yleisimmistä homelajeista on *Aspergillus*, joka on erittäin yleisesti tavattu home kosteusvauriokohteissa. *Aspergillus*-homeet ovat erittäin vaarallisia, sillä ne voivat allergisoida, tuottaa mykotoksineja, mutta myös aiheuttaa hengenvaarallisia suoria infektioita. Niiden voimakkaan kyvyn takia aiheuttaa suoria infektioita, ne ovat erityisen vaarallisia herkille potilaille, joten niiden todentaminen sairaalaympäristöissä on tärkeää. *Aspergillus*-homeita esiintyy kaikkialla elinympäristön alueilla, mutta niiden lisääntyminen valtalajiksi viittaa suoraan kosteusvaurioon. Laboratoriotutkimuksissa täytyy kuitenkin huomioida aina käytetty kasvualusta, sillä jotkut tietyt kasvualustat suosivat nopeakasvuista *Aspergillus*-hometta, jolloin se voi peittää muita mikrobilöydöksiä. *Aspergillus*-suvun homeita on indikaattorimikrobien listalla määrällisesti eniten, mutta niiden määrittelyssä on ainakin aiemmin ollut vaikeuksia monilla laboratorioilla. Eri sukujen suosima elinympäristö vaihtelee jonkin verran, mutta yleisesti niiden voidaan todeta viihtyvän liki missä vain – *Aspergillus* voi kasvaa hyvin kosteassa, maalien ja liimojen pinnoilla, kipsilevyillä ja erilaisten paperien pinnoilla, mineraalieristeissä ja muoveissa. Eräässä suomalaisessa tutkimuksessa, joka toteutettiin vauriokohteessa, löydettiin *Aspergillus versi-*

coloria 70 %:ssa otetuista näytteistä ja 90 %:ssa alapohjasta otetuissa näytteissä. *Aspergillus*-lajit aiheuttavat harvemmin yksinään allergiasairauksia, vaan ne ovat todennäköisempiä *Aspergillus* ja *Penicillium* tai *Cladosporium* kanssa yhteisvaikutuksessa. Yksinään esiintyessään yleisempiä ovat IgE-välitteiset yliherkkyydet. [Duodecim 2021, Putus 2017]

Chaetomium-home kuuluu tertiaarimikrobien joukkoon, eli se ilmestyy kosteusvauriokohteeseen vasta pitkän ajan kuluessa. *Chaetomium*-home löytyy indikaattorilistalta ja sen tunnistamien muista homekasvustoista on yleensä helppoa; se saattaa kuitenkin hidaskasvuisena homeena jäädä viljelyalustoilla muiden mikrobikasvustojen peittoon. Se kasvaa yleensä huokoisilla alustoilla, eikä niinkään esimerkiksi maalipinnoilla. *Chaetomium*-home on myös allergisoiva ja voi aiheuttaa hengenvaarallisia tulehduksia esimerkiksi keuhkoissa henkilöillä, joiden immuunipuolustus on alentunut, mutta todennäköisemmin altistuneen henkilön oireet johtuvat homesienen tuottamien toksiinien vaikutuksista. *Chaetomium*-homekasvustojen puhdistaminen pinnoilta on vaikeaa, koska sen itiöt kuolevat ja toksiinit inaktivoituvat lämpö- ja kloorikäsittelyistä huolimatta heikosti muihin homeisiin verrattuna. Kohteissa, joissa havaitaan *Chaetomium*-homekasvustoja, tulee kiinnittää erityistä huomiota purkutyön aikaiseen puhtaudenthallintaan, irtaimiston puhdistukseen sekä valvoa kaikkien puhdistustöiden laatua. [Putus 2017]

Starchybotrys chartarum (*S. atra*)-home on tertiaarivaiheen mikrobi, kuten *Chaetomium*-kin, eli sen kasvu alkaa vasta pitkän ajan kuluessa vaurion synnystä. *Starchybotrys* on myös hidaskasvuinen mikrobi ja sen on arvioitu ajoittain jääneen muiden mikrobien peittoon viljelyissä ja olevan siksi niin harvoin havaittu mikrobinäytteissä. *Starchybotryksen* kasvusto on tummaa, jopa mustaa, sen itiöt ovat suuria ja liman peittämiä, minkä vuoksi ne leijuvat huonosti, eli ne eivät ole ilmanäytteissäkään pitkään havaittavissa. *Starchybotrys* on kosteusvaurioindikaattoriksi luokiteltu mikrobi, jota harvoin havaitaan. *Starchybotrys* kasvaa erityisen köyhillä kasvualustoilla, usein se havaitaan kipsilevyjen tai tapettien materiaalinäytteissä, minkä vuoksi onkin ehdotettu, että *Starchybotrykselle* kehitettäisiin oma kasvualusta, jossa olisi muita enemmän selluloosaa eli paperia. *Starchybotryksen* on todettu aiheuttavan harvinaisen vakavia iho- ja silmäoireita, nenänverenvuotoa ja sisäisiä verenvuotoja sekä paljon muita muidenkin mikrobien aiheuttamia oireita. Tavallista vakavampien oireiden vuoksi on esitetty, että kyseisen homeen koh-

dalla toimenpiderajaksi asetettaisiin 2 cfu/m³ rakennuksissa, jotka eivät kuulu maatalouden piiriin. On myös esitetty, ettei päiväkotij- ja sairaalarakennuksissa käytettäisi ollenkaan kipsilevyrakenteita märkätilojen seinä- ja lattiarakenteissa. [Putus 2017]

Fusarium eli punahome on tuttu maataloudesta ja on siellä yksi yleisimmistä viljaa pilaavista mikrobeista. *Fusarium* on sekundääri- ja tertiaarivaiheen mikrobi, jota on suhteellisen harvoin havaittu mikrobi kosteusvaurion yhteydessä. *Fusarium*-homeiden harvinaisuudesta johtuen, kun niitä havaitaan mikrobinäytteissä, tulee niiden löydöksiin suhtautua erityisen vakavasti. *Fusariumin* tuottamat itiöt ovat suurikokoisia ja niiden kasvutavasta johtuen itiöiden tuotto on vähäisempää verrattuna muihin homeisiin. *Fusariumin* itiöt käyttäytyvät hyvin samalla tavalla kuin *Chaetomiumin* ja *Stachybotryksen* itiöt, ja niiden havaitseminen ilmanäytteistä on poikkeuksellista muualla paitsi maatalousympäristössä. Sen sijaan Evira, nykyinen Ruokavirasto, on tutkinut vuonna 2008 lastenruoissa ja maissivalmisteissa ilmeneviä *Fusarium*-homeiden tuottamia mykotoksiinipitoisuuksia. *Fusarium* on allergisoiva ja on terveudelle hyvin vaarallinen muun muassa aiheuttaessaan infektion immuunivasteeltaan alentuneella henkilöllä tai jo aiemmin *Fusariumille* herkistyneellä henkilöllä. Vuonna 2001 toteutetussa tutkimuksessa [Immonen 2001] *Fusarium*-homeen todettiin olevan toiseksi yleisin homeallergian aiheuttaja koulu- ja päiväkotilaisilla. Sen on todettu olevan terveydelle hyvin vaarallinen, jopa sille altistuneiden tuotantoeläinten käytön kautta. Koska *Fusarium*-löydökset liittyvät niin vahvasti viljan tuotantoon on todettu, että olkea sisältävät rakennusmateriaalit ovat liian korkea mikrobiologinen riski, eikä tällaisten materiaalien käyttöä nykytietämykseen pohjautuen suositella enää. [Putus 2017]

Puutavarassa havaituista mikrobisuvuista tyypillisimpiä ja merkityksellisiä ovat *Trichoderma* eli katkolahottaja, *Acremonium* (toiselta nimeltään *Cephalosporium* ja *Aureobasidium*). Edellä mainituista virallisessa listauksessa kosteusvaurioindikaattoreiksi luokitelluja ovat *Acremonium* ja *Trichoderma*. Myös *Aureobasidium*-sieniä on pidetty joissain tutkimuksissa kosteusvaurioindikaattorina. Sitä ei kuitenkaan ole hyväksytty viralliselle listalle sen vähäisten todistettujen terveysvaikutusten vuoksi. *Acremoniumin* ja *Trichoderman* sen sijaan on todettu aiheuttavan muun muassa sisäelin-, hermo-, iho- ja keuhkovaurioita sekä vaurioittavan immuunipuolustusta. Puutavarassa kasvaa, kosteusvaurioiden yhteydessä, myös paljon muita erilaisia home-, sinistäjä- ja lahottajasieniä. [Putus 2017]

Puutavaran pinnalla on luonnollisesti paljon muun muassa homeita, jotka lähtevät herkästi kasvuun kosteusvaurioiden yhteydessä. Rakenteiden sisään jätetyt rakennusjätteet ja muottilaudat ovat, erityisesti yhdessä, suuri riski, juuri johtuen siitä, että niissä on jo lähtökohtaisesti erittäin runsaasti mikrobilähteitä ja että niiden jätteiden pinnalla kasvuun lähtevät mikrobit voivat tuottaa todella laajakirjoisia ja toksisia aineenvaihduntatuotteita. Mikroaurioiden todennäköisyys kasvaa entisestään, kun on kyseessä rakenne, joka on kosketuksissa maaperän tai betonin kanssa. Vaikka on kyse erityisesti puutavarasta löytyvistä mikrobeista, voivat ne kasvaa kosteusvaurion yhteydessä myös muilla pinnoilla. Olennaista on mikrobien päätyminen rakenteisiin rakentamisen aikana. Erityisen paljon mikrobeja löytyy kostean puutavaran pinnoilta. [Putus 2017]

Sädesienet tunnetaan myös nimillä aktinobakteerit sekä streptomykeetit. Aktinobakteereja on todistettu tutkittu Terveystieteiden tutkimuskeskuksessa jo 1800-luvun lopulla ja Duodecim-lehdessä jo 1900-luvun alkupuolella. Aktinobakteerien aiheuttama tulehdus eli aktinomykeesi-tauti on tiettävästi tunnettu jo 1800-luvun alkupuolella. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osassa IV on annettu omia viitearvoja aktinobakteerien pitoisuuksille sisäilmassa ja materiaalinäytteissä ks. kappaleet 3.1 ja 5.2.5. Aktinobakteerit tuottavat itiöitä ja rihmastoja, kuten sienet ja muistuttavat mikrosieniä. Aktinobakteerit ovat gram-positiivisia eli ne tuottavat eksotoksiineja. Aktinobakteereja löytyy luonnosta paljon, ne kasvavat erilaisissa maaperissä kuten mullassa ja sammalistoissa, niitä löytyy myös luonnonvesistä. Aktinobakteerien kasvuun rakenteissa viittaa usein jo pelkästään maakellarimainen tai mullan haju. Ehkä meidän mieltämämme ”mullan tuoksu” onkin aktinobakteerien aiheuttama? Kyllä, aktinobakteerien aineenvaihduntatuote on geosmiini, joka on yhtä kuin meidän tuntemamme mullan tuoksu. Geosmiini kostuu hiilestä, vedystä ja hapesta. Aktinobakteerit ovat yleisiä myös maatalousympäristöissä. Aktinobakteerit selviävät hyvin erilaisissa ympäristössä niiden sopeutuvaisuuden ja vaatimattoman luonteen vuoksi. Erityisen vaarallisia niistä tekee niiden kyky selvitä alustoilla ja ympäristöissä, joissa muut mikrobit eivät selviä. Aktinobakteereja on löydetty jopa kuumista lähteistä, valtameren syvimmistä osista ja betonista, ne selviävät myös pH:n ääripääolosuhteissa. Koeolosuhteissa ne on saatu kasvamaan jopa pH 10:ssä. Betoni on tuoreena hyvin emäksistä, pH-arvo on alussa noin 13, mutta pH laskee karbonatisoitumisen vaikutuksesta. Kun betonin pH laskee alle arvon 9, alkaa viimeistään terästen korrosio. Erityisen vaarallisia aktinobakteereista tekee niiden kyky tuottaa antimikrobisia ja solu-

toksisia aineita, joiden avulla ne valtaavat elintilaa, varastavat ravintoaineita muilta mikrobeilta tai jopa tappavat muita mikrobeja. Aktinobakteerien on havaittu toisaalta kuitenkin myös elävän symbioosissa tiettyjen mikrosienten kanssa, jolloin aktinobakteerit elävät toisen mikrobin rihmaston pinnalla. [Johansson 2020, Putus 2017, Tiede 2022, Valvira 2020]

Kosteusvaurioituneissa rakenteissa elävät aktinobakteerit ovat osittain samoja kuin maaseutuympäristöissä ja esimerkiksi komposteissa elävät aktinobakteerit suvut. Kosteusvauriokohteissa kuitenkin hyvin harvoin tavataan lämpöhakuisia eli termotolerantteja aktinobakteerisukuja. Näitä esimerkiksi heinäpaaleissa eläviä, korkeammassa lämpötilassa selviytyviä, aktinobakteerisukuja lukuun ottamatta aktinobakteerisukujen on kuitenkin todettu olevan yhteisiä maaseutu- ja kosteusvaurioympäristöissä. [Putus 2017]

Kosteusvaurioindikaattori on mikrobi, jonka esiintyminen näytteessä viittaa, että rakennuksessa on tai on ollut kosteusvaurio. Kyseessä on mikrobi, jota ei yleensä tavata terveessä, vaurioitumattomassa rakennuksessa. Myös tavanomainen mikrobikin voi kuitenkin toimia indikaattorina eli kertoa kosteusvauriosta, jos sitä esiintyy otetussa näytteessä suurina pitoisuuksina. Indikaattorimikrobien esiintyminen rakennuksissa on yleensä merkki rakenteiden liiallisesta kostumisesta. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeeseen on koottu lista kosteusvaurioindikaattoriksi luokitelluista mikrobeista (ks. kuva 2 s.15). [Sisäilmayhdistys 2008b, Valvira 2020]

Kosteusvaurioindikaattorimikrobi / -mikrobiryhmä	Ryhmään kuuluvia sukuja / lajeja	Aiemmin käytetty nimitys
aktinomykeetit	mm. <i>Streptomyces</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Pseudonocardia</i> , <i>Nocardiopsis</i>	aktinomykeetit
<i>Acremonium</i> -sukuryhmä	mm. <i>Sarocladium</i> , <i>Gliocladium</i> , <i>Acremonium</i> ; aiemmat <i>Acremonium</i> -lajit	<i>Acremonium</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i> -lajiryhmä	<i>A. fumigatus</i> ja lähilajit	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Aspergillus ochraceus</i> -lajiryhmä	mm. <i>A. ochraceus</i> , <i>A. westerdijkiae</i> ja lähilajit	<i>Aspergillus ochraceus</i>
<i>Aspergillus restricti</i> -lajiryhmä	<i>Aspergillus</i> sektio <i>restricti</i> mm. <i>A. penicillioides</i> , <i>A. restrictus</i> ja lähilajit	<i>Aspergillus penicillioides</i> / <i>Aspergillus restrictus</i>
<i>Aspergillus versicolores</i> -lajiryhmä	mm. <i>A. jensenii</i> , <i>A. puulaauensis</i> , <i>A. sydowii</i> , <i>A. versicolor</i> ja lähilajit	<i>Aspergillus sydowii</i> , <i>Aspergillus versicolor</i>

<i>Aspergillus terreus</i> -lajiryhmä	<i>A. terreus</i> ja lähilajit	<i>Aspergillus terreus</i>
<i>Aspergillus usti</i> -lajiryhmä	<i>A. sektion usti</i> mm. <i>A. ustus</i> , <i>A. puniceus</i>	<i>Aspergillus ustus</i>
<i>Aspergillus</i> , <i>Eurotium</i> -lajiryhmä	<i>Aspergillus</i> sektion <i>Aspergillus</i> , aiempi <i>Eurotium</i> -suku	<i>Eurotium</i>
<i>Engyodontium</i> -sukuryhmä	<i>Engyodontium</i> ja <i>Parengyodontium</i>	<i>Engyodontium</i>
<i>Chaetomium</i> -sukuryhmä	<i>Chaetomium</i> -tyyppiset homeet, <i>Chaetomiaceae</i> ; mm. <i>Chaetomium</i> , <i>Botryotrichum</i> ja <i>Humicola</i>	<i>Chaetomium</i>
<i>Exophiala</i> -sukuryhmä	<i>Exophiala</i> -tyyppiset homeet; mm. <i>Exophiala</i> , <i>Phaeococcomyces</i> , <i>Rhinocladiella</i> , <i>Ramichloridium</i>	<i>Exophiala</i>
<i>Fusarium</i> -sukuryhmä	<i>Fusarium</i> ja <i>Neocosmospora</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Geomyces</i> -sukuryhmä	<i>Pseudogymnoascus</i> ja <i>Geomyces</i>	<i>Geomyces</i>
<i>Oidiodendron</i>	<i>Oidiodendron</i>	<i>Oidiodendron</i>
<i>Paecilomyces</i> , <i>Purpureocillium</i>	<i>Paecilomyces</i> ja suvusta erotettu <i>Purpureocillium</i>	<i>Paecilomyces</i>
<i>Phialophora</i> -sukuryhmä	mm. <i>Phialophora</i> , <i>Cadophora</i> ja <i>Coniochaeta</i>	<i>Phialophora sensu lato</i>
<i>Scopulariopsis</i> -sukuryhmä	<i>Scopulariopsis</i> ja <i>Microascus</i>	<i>Scopulariopsis</i>
<i>Sporobolomyces</i>		<i>Sporobolomyces</i>
<i>Coelomycetes</i> -sukuryhmä	mm. <i>Didymella</i> ja <i>Phoma</i>	<i>Sphaeropsidales</i>
<i>Stachybotrys</i> , <i>Memnoniella</i>	<i>Stachybotrys</i> ja <i>Memnoniella</i>	<i>Stachybotrys</i>
<i>Trichoderma</i>		<i>Trichoderma</i>
<i>Tritirachium</i>		<i>Tritirachium</i>
<i>Alternaria</i> , <i>Ulocladium</i> -lajiryhmä	<i>Alternaria</i> sektion <i>Ulocladioides</i> , <i>Ulocladium</i> ja <i>Pseudoulocladium</i> ; aiempi <i>Ulocladium</i> -suku	<i>Ulocladium</i>
<i>Wallemia</i>	<i>Wallemia</i>	<i>Wallemia</i>

Kuva 2. Kosteusvaurioindikaattorimikrobit ja sienisystematiikasta johtuvat muutokset ja tarkennukset. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa IV (8/2016, päivitetty 19.2.2020)

Ulkoilman homesienet ovat terveen rakennuksen tärkein mikrobilähde, kun maa on sula. Ulkoilman homeet eroavat kosteusvaurioindikaattoreista siten, että niiden on todettu olevan vähemmän toksisia ja allergisoivia, kuin muut homeet. Ulkoilman homeet kuitenkin ovat niitä homeita, jotka ensimmäisenä lähtevät kasvuun kosteusvauriorakennuksissa kostuneilla pinnoilla. Syksyllä maanpinnalla näkyvien sienten itiöitä nimitetään yhteisnimityksellä basidiomykeetit. [Putus 2017]

Hiivoja tunnetaan mikrobeista huonoimmin, niitä harvoin tunnistetaan edes laji- saati sukutasolla. Kuitenkin hiivat voivat olla myös terveydelle haitallisia, mutta ne eivät tuota

toksiineja. Hiivoja on tavattu lähes poikkeuksetta aina homelöydösten kanssa samanlaisesti, ja hiivat kertovat samalla tavalla kosteusvaurioista, sillä hiivat vaativat elääkseen lämpimämmän ja kosteamman olosuhteen kuin homekasvusto. Hiivoja tavataan usein esimerkiksi uimahallien, kylpylöiden ja sairaaloiden sekä tavallisten keittiöiden ja märkätilojen kosteusvaurioiden yhteydessä. Muita hyviä kasvualustoja hiivoille voivat olla myös akvaariot, terraariot, kukkaistutukset sisätiloissa sekä päiväkotien sisähiekkalaatikat. Hiivat jaetaan tavallisesti ryhmiin värin mukaan, kun niitä jaotellaan. [Putus2017]

3 Mikrobien vaikutus terveellisyyteen

3.1 Huoneilman mikrobipitoisuuksien raja-arvot

Huoneilman mikrobipitoisuuksille on annettu toimenpiderajat, ne määritellään STM:n asumisterveysasetuksessa (545/2015) seuraavasti;

”Toimenpiderajan ylittymisenä pidetään korjaamatonta kosteus- tai lahovauriota, aistinvaraisesti todettua ja tarvittaessa analyysillä varmistettua mikrobikasvua rakennuksen sisäpinnalla, sisäpuolisessa rakenteessa tai lämmöneristeessä silloin, kun lämmöneriste ei ole kosketuksissa ulkoilman tai maaperän kanssa, taikka mikrobikasvua muussa rakenteessa tai tilassa, jos sisätiloissa oleva voi sille altistua. Mikrobikasvu todetaan ensisijaisesti rakennusmateriaalista mikrobien kasvatukseen perustuvalla laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmällä ja mikroskopiomalla tehdyllä analyysillä. Mikrobiaittoa voidaan todeta myös 6-vaiheimpaktorilla otetun ilmanäytteen tai pintasivelynäytteen laimennossarjamenetelmällä tehdyllä analyysillä. Ilmanäytteen osalta on oltava ilman mikrobipitoisuuden lisäksi myös muuta näyttöä toimenpiderajan ylittymisestä.

Rakennuksen mikrobikasvun arviointiin voidaan käyttää laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmän lisäksi myös muuta menetelmää, jos menetelmän luotettavuus on osoitettu 4 §:n 4 momentissa tarkoitetulla tavalla tai menetelmällä saatujen tulosten yhtenevyys laimennossarjamenetelmällä saatuihin tuloksiin on varmistettu.” [Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysasetus 545/2015, 20§. 2015.]

Huoneilman mikrobipitoisuuksiin on otettu tarkemmin kantaa Valviran Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa. Ohjetta käytettäessä tulee kuitenkin pitää mielessä, ettei toimenpideraja ole sama kuin terveysterveysteinen raja-arvo, koska kyseessä ovat allergisoivat aineet, joille ei voida määrittää raja-arvoja. [Putus, 2017]

Huoneilman sienipitoisuuksia suositellaan mitattavaksi talvella ja sulan maan aikaan tehtyjä mittaustuloksia verrataan ulkotilan mikrobipitoisuuksiin. Taajamassa sijaitsevan asunnon huoneilman sienipitoisuudelle on annettu soveltamisohjeessa viitteellinen ohjearvo talviaikaan, joka on 100 pmy/m³. Tulosta 100–500 pmy/m³ voidaan pitää asunnoissa jo poikkeavan korkeana talvisaikaan mitattuna arvona ja yli 500 pmy/m³ pidetään jo mikrobikasvustoon viittaavana. Hyvin korkeiden mikrobipitoisuuksien (>4500 pmy/m³) sen sijaan on todettu viittaavan riittämättömään ilmanvaihtoon tilassa, sen käyttöön nähdessä. Koulurakennusten sisäilman sienipitoisuudet ovat asuntoja alhaisempia, yleensä vain noin 50 pmy/m³ tai vähemmän. [Valvira 2020]

Sulan maan aikaan tehtyjen sisäilman mikrobipitoisuuksien tulosten tulkinnessa tulee verrata saatuja tuloksia ulkoilman mikrobipitoisuuksiin, sekä tulee verrata ulko- ja sisäilman tulosten mikrobilajistoja keskenään. Jos huoneilmasta otetuissa näytteissä esiintyy mikrobilajeja, joita ei esiinny ulkoilmassa, voi tulos viitata mikrobikasvustoon. [Valvira 2020]

Huoneilmasta otettuihin mikrobinäytteisiin vaikuttavat myös tilan käyttö ja sen käyttöön liittyvät toiminnot, jotka voivat aiheuttaa muutoksia sisäilman mikrobipitoisuuksiin ja -suvustoon. Edellä mainittuihin mikrobilähteisiin kuuluvat muun muassa siivoaminen/siivouksen puute, polttopuut, multaiset juurekset, kukkamullat, homehtuneet elintarvikkeet, lemmikkieläimet sekä niiden kuivikkeet ja ruokatarvikkeet. Myös asunnossa asuva henkilö voi tuoda vaatteissaan esimerkiksi maatalousympäristöistä ja talleista tuttuja aktinobakteereja tai *Aspergillus fumigatus* ja *Fusarium*-suvun homeita. [Valvira 2020]

3.2 Mikrobien allergeenisuus ja niiden aiheuttamat infektiot

Ulkoilman homeet ovat heikompia allergeenejä kuin muut homeet. On kuitenkin muistettava, että nämä homeet ovat monesti valtasukuina kosteusvauriokohteissa ja että niille altistuminen alkaa aiemmin, sillä ne alkavat kasvaa ensimmäisenä. Näille homeille allergisoituneet henkilöt oireilevat helposti jatkossakin muun muassa puutarhatöissä ja sienimetsässä. Tärkeimpiä ulkoilman homesukuja ovat *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Botrytis* eli harmaahome, hiivat ja basidiomykeetit. [Putus 2017]

Erikseen tunnettuja mikrobien aiheuttamia sairauksia ovat muun muassa aktinomykoosi ja alveoliitti. Aktinomykoosia eli aktinobakteerien aiheuttamaa infektiota on kuvailtu myös syövän kaltaiseksi sairaudeksi. Aktinomykoosi on tunnettu jo 1800-luvun alkupuolella. Aktinomykoosissa kuitenkin sädesieni kasvattaa sille ominaista rihmastoa elimistön sisällä ja aiheuttaa siten tulehduksen. Monissa lähteissä mainittu alveoliitti eli homepölykeuhko on tunnettu jo 1900-luvun alkupuolelta. Alveoliitissä keuhkorakkuloihin muodostuu allerginen tulehdus, jonka aiheuttajana on home- tai sädesieni-itiö. Tulehdus voi olla krooninen tai akuutti. [Duodecim 2021, Putus 2017]

Hiivat ovat samalla tavalla allergisoivia ja aiheuttavat infektiota limakalvoilla ja kudoksissa, kuten homesienetkin ja bakteerit. Hiivojen allergeenisuus on siitä harmillista, että yhdelle hiivasuvulle allergisoitunut voi suurella todennäköisyydellä saada oireita myös muista hiivasuvuista. Alveoliitteja hiivat aiheuttavat harvemmin, joskin nekin ovat mahdollisia. Sen sijaan hiivojen päästessä syvemmälle elimistöön ja verenkiertoon on niiden aiheuttama tulehdus suuri riski erityisesti niille joiden immuunipuolustus on syystä tai toisesta heikko. Tämän takia hiivojen esiintyminen erityisesti sairaalaympäristöissä voi olla todellinen riski. [Putus 2017]

Oireiden ja kosteusvaurion yhteen liittäminen toisin sanoen altistumisen, todistaminen on vaikeaa. Vaikka altistuminen esimerkiksi tietylle homeelle voitaisiin todistaa IgE ja IgG-vasta-aineiden määritys- eli ihoärsytystestein, on vaikea todistaa, missä altistuminen on tapahtunut. Edellä mainituin testein voidaan usein todeta vain, että kehossa on tapahtunut vasta-ainereaktio. Sisäelinvaurioiden johtumista mikrobivaurioista on luonnollisesti myös vaikea todistaa, mukaan lukien syöpä. Tulehduksien osalta voidaan tutkia näytepaloista tulehduksen aiheuttaja mikrobeja. Ruumiinavausraporteillakin voidaan todistaa yhteyksiä, bakteerien ja homeiden aiheuttamiin infektioiden. Sen sijaan esimerkiksi hiivojen aiheuttamia verenmyrkytyksiä on vaikea todistaa niiden huonon tarkemman tuntemuksen vuoksi. [Putus 2017]

3.3 Mikrobien toksisuus

Mikrobit voivat olla myrkyllisiä toisilleen tai nisäkkäille ja ihmisille. Mikrobia, joka on haitallinen muille mikrobeille, kutsutaan antagonistiksi. Antagonisti erittää ainetta, jota uhri-

mikrobi ei siedä. Sama mikrobi voi tuottaa jopa satoja tällaisia aineita. Aineet ovat pienimolekyylisiä orgaanisia yhdisteitä, kaasuja, vetyperoksidia, entsyymejä tai muita proteiineja. Hyvä esimerkki tällaisesta aineesta ovat antibiootit. Aineet voivat vain häiritä toisten mikrobien elämää tai ne voivat olla niin haitallisia, että toinen mikrobi kuolee pois. [Salkinoja-Salonen 2002]

Näitä mikrobien erittämiä orgaanisia yhdisteitä on nimetty eri tavalla riippuen yhdisteitä tuottavasta mikrobista. Bakteerien tuottamia aineita kutsutaan bakteriosiineiksi. Bakteerien tuottamat toksiinit voivat olla joko endo- tai eksotoksiineja riippuen siitä, erittääkö mikrobi niitä solun/itiön ulkopuolelle vai ovatko ne soluihin sidottuja. Tunnettuja eksotoksiinien tuottajia ovat monet aktinobakteerit. Esimerkiksi *Streptomyces*-sukuun kuuluvat aktinobakteerit tuottavat satoja toksiineja, jotka estävät muiden bakteerien kasvua tai tappavat niitä, sekä estävät sienten kasvua tai ovat myrkyllisiä homeille. Sienten tuottamia myrkkyjä kutsutaan mykotoksiineiksi. Edellä mainittujen toksisten aineiden on osoitettu olevan toksisia myös ihmiselle ja eläimille. Ihminen voi altistua toksiineille esimerkiksi ruuan tai hengitysilman kautta, joiden kautta ne pääsevät ihmisen verenkiertoon. Toksiinit voivat aiheuttaa oireita suoraan nielussa, hengityselimissä, suolistossa, tai päästessään verenkiertoon ne voivat aiheuttaa neurologisia oireita, munuaisten ja sydämen toimintahäiriöitä. [Salkinoja-Salonen, 2002]

Mikrobien toksisuus voi vaihdella alustan mukaan. On myös todettu, että mikrobien toksisuus voi olla korkeampi epäorgaanisella alustalla, kuin esimerkiksi käsittelemättömällä puualustalla. Myös lahottaj sienet voivat olla eläessään toksisia. Mikrobien toksisuus tarkoittaa mikrobien aineenvaihduntatuotteiden toksisuutta. Eri mikrobit voivat eri ympäristöissä olla toksisempia kuin toisessa. Homeiden toksisuutta tutkittaessa on havaittu myös homeiden toksiineilla olevan yhteisvaikutuksia, jolloin niiden toksisuus joissain tapauksissa kasvaa. Mikrobeista vähiten toksisia on todettu olevan ulkoilman homesienet sekä hiivat, jotka eivät tuota toksiineja ollenkaan, kuten aiemmin on mainittu. [Putus 2017]

Enemmän kuin mikrobien toksisuus, tilojen käyttäjiä kiinnostaa sisäilman toksisuus, joka on käytännössä täysin eri asia kuin mikrobien toksisuus. Huoneilman toksisuus eli myrkyllisyys esimerkiksi kosteusvauriosta johtuen on tietenkin ihmisen terveydelle olen-

naista. Se onko toksisuuden mittaaminen järkevää tai perusteltua on THL:n asiantuntijoiden mielestä selvää, ettei näin vielä ole. Toksisuuden mittaaminen on tällä hetkellä vielä todellisuudessa mahdotonta. Asiaa selventää varmasti, kun mainitaan, että huoneilman toksisuuteen vaikuttavat tekijät ovat niin monitahoisia, ettei niitä pystytä mitenkään selvittämään yhdellä toksisuustestillä. Näytteen keräykseen vaikuttavat olennaisesti pintojen puhtauden ohella myös puhdistukseen käytetyt kemikaalit. [THL 2022]

3.4 Hajuhaitat ja puhdistustyöt

Kaikki haitta-aineet voivat tuottaa hajuhaittoja. Mikrobin aiheuttamia hajuhaittoja kuvailaan maakellarin hajua muistuttavaksi tai pistävän hajuisiksi. Hajun luonne on erilainen, riippuen siitä, mikä mikrobilaji on kyseessä ja millaisella kasvualustalla se elää. Hajuhaitat aiheutuvat mikrobin aineenvaihduntatuotteista ja -kaasuista. Haju itsessään ei aiheuta terveyshaittoja, mutta on ikävä haitta. Hajuhaitat voivat myös johtua viemärinvuodosta rakenteeseen päässeistä mikrobeista. [Valvira 2020]

Viemäri vahinkotapauksissa on perusteltua desinfioida rakenteet. Päädyttäessä desinfioimaan rakenteita on kuitenkin muistettava, etteivät desinfiointiaineet pysty tekemään läheskään kaikkia mikrobeja elinkyvyttömiksi. Desinfiointia tärkeämpää onkin siis aina perusteellinen mekaaninen puhdistus ja sen laadunvalvonta pintasively-/teippinäytteillä ennen kuin jatketaan korjaustöitä purku- ja puhdistustöiden jälkeen. [Salkinoja-Salonen 2002, YM 2016]

Korjauksen jälkeen ilmaantuvat hajuhaitat voivat johtua myös huonosta pölyhallinnasta purku- ja puhdistustöiden aikana, jolloin epäpuhtaudet ovat päässeet huoneilmaan tai irtaimiston pinnoille. Puhdistus- ja korjaustöiden jälkeen edelleen vaivaavat hajuhaitat voivat johtua myös saastuneista tiloista tuodusta irtaimistosta ja niihin jääneistä päästöistä. Irtaimiston puhdistaminen on haastavaa, ja ennen puhdistamista on syytä ottaa huomioon mikrobivaurioiden laajuus ja mikrobilöydösten lajisto, jolloin voidaan arvioida, kuinka järkevää irtaimiston puhdistaminen on. [TTL]

Irtaimiston puhdistamisesta ja puhdistustyön laadunvalvonnasta löytyy hyvin kattavia ohjeita muun muassa seuraavista julkaisuista;

- Työterveyslaitos, Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjauksen jälkeen. Helmikuu 2016.
- Itä-Suomen yliopisto, Pölynhallinta korjausrakentamisessa: Epäpuhtauksien hallinta saneeraushankkeissa - Puhdas ja turvallinen saneeraus. Maaliskuu 2013.
- Rakennustieto Oy, Ratu 82-0383 Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku. Kesäkuu 2011.

4 Riskirakenteet

Kosteusvaurioille ja edelleen mikrobivaurioille alttiita rakenteita nimitetään riskirakenteiksi. Merkittävä osa sisäilmateknistä kuntotutkimusta on riskirakenneselvitys, jonka päämääränä on käydä rakennuksen rakenneratkaisut ja löytää riskirakenteet, jotka ovat alttiita kosteus- ja mikrobivaurioille, jos niihin kohdistuu kosteusrasitusta. Riskirakenneselvitykseen kuuluu myös selvitys rakenteiden suunnitelmien mukaisuudesta sekä tilojen oikeanlaisen käytön arvioinnista. [YM 2016]

Ennen kohteessa tehtävää katselmointia kannattaa riskirakenteiden selvittämisessä käyttää apuna ympäristöministeriön opasta Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, jonka pohjalta voidaan koota sopiva rakennusosakohtainen tarkistuslista, kuhunkin kohteeseen sopivaksi, ks. myös liite 1 [YM 2016].

4.1 Kaksoislaattavälipohjat

Kaksoislaattavälipohjat on rakennettu valamalla ensin ja raudoittamalla palkisto. Seuraavaksi on muotitettu palkit ja asennettu mahdolliset välipohjatäytteet, kotelot ovat usein myös tyhjiä, lukuun ottamatta muottilautoja. Välipohjatäyttöjen päälle on tehty ylälaatan alapuolinen muottilaudoitus ja ylälaatan raudoitus, jonka jälkeen on valettu useimmiten samalla kertaa palkisto sekä ylälaatta. Rakenteen riski on kotelorakenne ja siellä oleva orgaaninen täyttö ja muottilaudat, jotka ovat hygroskooppisina materiaaleina imeneet kosteutta itseensä. Pinta-ala kotelorakenteen suuntaan on verrattain suuri sen umpinaisuuteen nähden. Puutavara ja orgaaniset täytteet sisältävät runsaasti erilaisia mikrobi-lähteitä. Käytön aikana rakenteisiin kohdistuu eniten tai todennäköisimmin kosteusra-

tuksia ulkoseinien vierustoilla sekä märkätilojen alapuolella. Lisäksi rakenteisiin on saatettu sijoittaa jo rakennusvaiheessa tai lisätä myöhemmin vesi- ja viemäriputkistoja, joihin voi tulla putkivuotoja. Putkivuodot saattavat kastella rakenteita pidempäänkin, ennen kuin kosteus tulee alapuolisissa tiloissa näkyviin asti. [Mäkiö 1989, YM 2016]

Kaksoislaattarakenteessa, jossa on alalaattapalkisto ja päällä erillinen ylälaatta, alemmat rakenteet ovat mahdollisesti ehtineet kuivua edes osittain, ennen ylempien rakenteiden asentamista ja valua. Joissain tapauksissa palkkien muottilaudat on poistettu. Tämä rakenne on opinnäytetyön tekijän kokemuksen mukaan yleisin yläpohjassa, jossa ylälaatta toimii palopermantona. Yläpohjassa rakenne on kuitenkin alttiina erilaisille kosteusrasituksille ja kylmäsilloille. [Mäkiö 1989]

Täytteenä on molemmissa tapauksissa käytetty muun muassa hiekkaa, turvetta, purua, rakennusjätettä ja niiden erilaisia yhdistelmiä. Rakenteet ovat riskialttiita niiden rakennustavan sekä niiden sisältämien mikrobilähteiden vuoksi. [Mäkiö 1989, YM 2016]

4.2 Valesokkelit

Valesokkelirakenne oli tyypillinen ja hyväksytty rakenneratkaisu 1970-1980-luvuilla. Rakenne oli pääasiassa käytössä pien- ja rivitaloissa. Valesokkeli on ulkoseinärakennetyyppi, jossa sokkeli nousee ulkoseinän kantavaa runkoa ylempäs, jättäen kantavan rungon alapään maanpinnantason alapuolelle. Tyypillinen valesokkelirakenteessa käytetty ulkoseinä rakenne on sisäpuolella kantava puurunko ja ulkopuolella kuorimuuraus. Kuorimuurausten riskeistä kerrotaan enemmän kappaleessa 4.4. Osassa tapauksista myös sisäpuolinen lattiataso on myös puurungon alajuoksua ylempänä, mikä on rakenteen kannalta kaikista epäedullisin tilanne. Olennaista rakenteessa on, että maaperän kosteus siirtyy sokkelin läpi ajan kuluessa puurunkoon ja kosteus kasvaa liian suureksi, jolloin rakenteeseen kehittyy lopulta kosteuden vaikutuksesta mikrobivaurioita. Kosteusrasituksen ollessa vähäistä ja alajuoksun jäädessä lattiantasoon, rakenne saattaa päästä kuivumaan, jolloin mikrobivaurioita ei synny. Höyrynsulkumuovin käyttö oli kuitenkin jo vakiintunut tuohon aikaan, mikä osaltaan huonontaa alajuoksun kuivumista. Lisäksi puutteet höyrynsulun tiiveydessä saattavat omalta osaltaan lisätä puurungon ala-

voi käyttää mitä tahansa suojakäsiteltyä puuta, vaan on selvitettävä suojauskäsittelyn soveltuvuus sisätiloihin. Sisätiloissa voidaan käyttää esim. lämpökäsiteltyä puuta tai mineraalein modifioitua puuta, kauppanimeltään Organo wood. [Puuinfo 2019]

4.4 Kuorimuuratut julkisivut

Vanhoissa kuorimuuratuissa rakenteissa ongelmana ovat usein puutteet tuuletuksessa. Tuuletusrako voi olla hyvin pieni tai sitä ei ole lainkaan. Myös julkisivumuurausten kestävydessä on suuria eroja: tiilen ja laastin pakkasenkestävyys, kestävyys viistosateessa erityisesti meren läheisyydessä. Jos tuuletusrako on pieni ja suojaksi tarkoitettu kuorimuuraus päästää vettä lävitseen, on tilanne huono. Muurauksen takana olevien eristeiden kosteudensietokyky on myös todennäköisesti nykyristeitä huomattavasti huonompi. Tuuletusraon alareunasta saattavat lisäksi puuttua vedenpoistoreiät, jolloin kosteus ei pääse poistumaan myöskään painovoimaisesti rakenteen takaa. Ainoa tapa kosteuden poistumiselle saattaa olla kosteuden siirtyminen ulkoverhouksen pinnalle diffuusiolla ja kosteuden haihtuminen materiaalin pinnalta. [YM 2016]

4.5 Massiivihormirakenteet ja rakenneaineiset ilmanvaihtokanavat

Massiivihormirakenteet muodostavat kanavia painovoimaiselle ja kapillaariselle vedensiirtymiselle vesikatolta rakennuksen sisäpuolelle. Aikojen saatossa vanhoihin piippuihin on lisätty piippuhattuja ja juuripellityksiä, joilla kosteusvaurioita on saatu korjattua. Kosteusvauriota on todettu myös tapauksissa, joissa hormoneja on poistettu käytöstä ja niitä on ummistettu yläpohjan tasolla esimerkiksi pellittämällä, kuitenkin huolehtimatta, ettei vesikatolta pääse sadevesiä jatkossa katkaisun yläpuolelle, jolloin pohjille on kertynyt vettä. [YM 2016]

Kosteuden lisäksi terveysriskejä muodostaa samalla tavalla ilmanvaihto ja viemärin tuuletushormien puhtauden puute. Kiviaineiset pinnat ovat aina epätasaisia, jolloin pinnoille tarttuu muun muassa pölyä ja rasvaa. Hormien puhdistuksen ja huollon laiminlyönti kasvattaa riskejä entisestään. Rakenneaineisia kanavia ei ole aikojen saatossa käytetty ainoastaan painovoimaisen ilmanvaihdon poistokanavina, vaan myös tuloilmakanavina,

joissa on pahimmassa tapauksessa purkutöiden yhteydessä löydetty rakennusajalta peräisin olevaa rakennuspölyä ja likaa. Nämä yhdessä ilman kosteuden kanssa muodostavat huomattavan riskin huoneilman puhtaudelle. [YM 2016]

4.6 Märkätilat

Käsite märkätila on ollut nykyisessä merkityksessään käytössä vasta vuodesta 1999, minkä jälkeen märkätiloissa on vaadittu vedeneristys lattian lisäksi myös seinäpinnoilla. Huomionarvioista on, että edes 1990-luvun alun kylpyhuoneissa ei ole edellytetty seinässä parempaa vedeneristystä kuin sen aikaista siveltävää muoviemulsiokosteussulkuu. Tyypillisimmät vauriokohdat vanhojen wc-, kylpyhuone- ja saunatilojen kohdalla muodostavat läpiviennit ja rakenteiden liittymäkohdat. Vuonna 1975 kylpyhuone määriteltiin kosteaksi tilaksi, ja vuosikymmenen alussa kuvaan olivat astuneet muovipohjaiset vedeneristeet. 1950-luvulla oletettiin, ettei vettä päädy vesikalusteiden reunojen ulkopuolelle, vaikkakin tuohonkin aikaan lattiaan saatettiin jo kuitenkin lisätä kermi tai bitumivälikerros. 1800-luvun lopulla kylpyhuoneet siirrettiin asuntoihin sisälle ja lankkulattian päälle tehtiin asfalttinen pintakerros. Pian siirryttiin kuitenkin lattioissa laatoitusten myötä bitumi- ja kivihiilitervasvälikerroksiin ja niistä edelleen bitumihuopiin. [Korjauskortti 25, Museovirasto 2011]

Riskejä muodostavat niin ikään puurankaiset ja myöhemmin kipsilevyrakenteiset seinärakenteet, joiden alle ei ollut tapana tehdä kiviaineisia sokkelirakenteita, eikä edes kermiä. Pahimmassa tapauksessa seinärakenteet on viety jopa lattiarakenteen betonirakenteiden alapuolelle. Lattian kallistuksissa on aiemmin ollut myös suuria vaihteluja tai kallistukset ovat puuttuneet kokonaan. Myös vanhanaikaisten kosteiden tilojen ilmanvaihto voi puuttua kokonaan tai se on ollut heikkoa. Nykyään tilojen kosteuskuormat ovat niin ikään aivan eri luokkaa kuin esimerkiksi 1900-luvun alussa. Vettä käytetään enemmän ja pyykkiä kuivataan pääasiassa asuin tiloissa. [Korjauskortti 25, Museovirasto 2011]

4.7 Orgaaniset materiaalit ja -eristeet

Yleisimpiä rakenteista löytyviä orgaanisia rakennusmateriaaleja ovat sahanpuru, hake, korkki, turve, hiekka, koksi, puuhiilmurska, Toja-levyt, lastulevyt, insuliitti- ja haltex-levyt

eli huokoiset puukuitulevyt, rakennusjätteet ja muottilaudat. Kaikkein herkimpä ovat prosessoidut puumateriaalit, koska niiden rakenne on rikottu, jolloin ne ovat herkempiä homehtumaan. On hyvä muistaa, että vaikka nämä orgaaniset materiaalit ovat alttiimpia mikrobeille, ovat niissä kasvavat mikrobit kuitenkin yleensä vähemmän toksisia kuin epäorgaanisilla alustoilla kasvavat mikrobit. Kuitenkaan esimerkiksi lastulevyä ei valmisteta pelkästä puhtaasta puusta, vaan siinä käytetään sideaineena erilaisia liimoja, jotka vaikuttavat mikrobien tuottamiin toksiineihin, minkä lisäksi lastulevy on todella herkkä kosteudelle. Vertailun vuoksi voidaan todeta, että esimerkiksi hyvin kuivunut havupuu on hyvin vastuskykyinen erilaisille mikrobikasvustoille. Puurakenteista puhuttaessa on muistettava, että siinä kasvavat erityisesti homesienten lisäksi sinistäjä- ja lahottajasienet, jotka vaikuttavat puun kantokykyyn esimerkiksi puiset lattiapalkit, jolloin vaarana on sortuminen. Hyvässä kosteustasapainossa olevakaan orgaaninen materiaali ei ole suoraan riski. Kuivissa olosuhteissa riski muodostuu itiöiden ja rihmastokappaleiden pääsystä huoneilmaan epätiiveyskohtien kautta ilmavirtausten tai rakenteiden ”värähtelyn” vaikutuksesta. [Sisäilmäyhdistys 2008f, YM2016]

5 Kuntotutkimus

5.1 Katselmointi ja rakenneavaukset

Katselmointi on määritelty Valviran asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa seuraavasti;

”Aistinvarainen havainnointi on pääasiassa silmämääräisten vauriojälkien, rakenteiden ja talotekniikan kunnon ja toimivuuden arviointia sekä mahdollisten homeiden tai muiden hajujen toteamista.” [Valvira 2020]

Paikan päällä tehtävän katselmoinnin tarkoitus on yksinkertaisimmillaan selvittää aiemmin tehdyn rakenneselvityksen mukaisten rakenteiden paikkansapitävyys ja rakenteiden kunto. Rakennetyyppien paikkansapitävyyttä voidaan tarkistaa havainnoilla niin sisäkuin ulkopuoleltakin ja tarvittaessa rakenneavauksilla. Rakenneavauksia suositellaan tehtäväksi joka tapauksessa jo tässä vaiheessa, jos on tietoa mahdollisista kosteusvaurioista tai epäilyjä mikrobivaurioista. Rakenneavauksia on välttämätöntä tehdä myös ta-

pauksissa, jolloin rakenteita ei ole voitu selvittää vanhojen suunnitelmien puutteista johtuen. Vanhoista rakennuksista puhuttaessa on myös yleistä, ettei suunnitelmia löydy ollenkaan tai ne ovat niin huonossa kunnossa, ettei niitä ole mahdollista hyödyntää. Kuntotutkijan on myös otettava huomioon, että rakenteisiin on voitu aikojen saatossa tehdä muutoksia tai korjauksia, joita ei ole viety suunnitelmiin. Mikrobivaurioita voidaan epäillä rakenneselvityksen perusteella, käyttäjän ilmoittamien oireilujen perusteella tai pintarakenteissa havaittujen näkyvien mikrobivaurioiden tai kosteusjälkien perusteella. On tärkeää tunnistaa kaikenlaisia riskirakenteita; riskirakenteiksi voidaan luokitella kaikki riskialttiit rakenteet. Riskirakenteista on kerrottu enemmän luvussa 4. Rakenneavauksia suositellaan tehtäväksi riskirakenteiden osalle, vaikkei näkyviä vaurioita olisikaan havaittavissa. [YM 2016]

Materiaalien tunnistaminen on tärkeä osa katselmointia, jossa selvitetään rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta ja vaurioherkkyyttä. Näin voidaan selvittää rakenteiden rakennusfysikaalista toimivuutta. Perusteellisen sisäilman kuntotutkimuksen kannalta on tärkeää huomioida myös mahdolliset materiaaliemissiot ja haitta-aineet. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan perehdytä näiden määrittelyyn. Kaikki edellä mainitut ominaisuudet kuitenkin yhdessä vaikuttavat rakenneosien korjattavuuteen ja korjaustapaan. Materiaalien tunnistamisessa selvittäviä tekijöitä ovat rakentamisajankohta, materiaalin ulkonäkö ja käyttötarkoitus. Tunnistaminen perustuu kuntotutkijan kokemuksen tuomaan tietämykseen sekä hyviin lähdeteoksiin. Ympäristöministeriön Kuntotutkimusoppaassa on esitelty tyypillisiä vanhoja rakennusmateriaaleja. Uudempien rakennusmateriaalien ominaisuuksiin tutustumisessa hyvänä lähteenä toimii RIL255-1-2014, Rakennusfysiikka I, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. [RIL255-1-2014, YM 2016]

Materiaalit, jotka pystyvät sitomaan kosteutta itseensä kestävät kosteutta paremmin kuin materiaalit, joiden kosteudensitomiskyky on matalampi. Ilmiötä nimitetään materiaalin hygroskooppisuudeksi. Materiaalin kosteuden vastatessa ympäröivän ilman suhteellista kosteutta 0...98 % on materiaali hygroskooppisella alueella. Esimerkiksi jos täysin kuivaan puupohjaiseen materiaaliin syötetään vettä 150–200 g/kg, nousee materiaalin suhteellinen kosteus tasolle RH 80 %. Mineraalivillalla ja kipsilevyllä samalle tasolle nousee jo kun materiaaliin lisätään 10–15 g/kg kosteutta. Mikrobit tarvitsevat käyttöönsä materiaalissa olevaa vapaata vettä eli sitoutumatonta vettä. Materiaalit sitovat enemmän

kosteutta matalammassa lämpötilassa. Tämän takia kosteusmittaukset suositellaan tehtäväksi +15-25 °C:ssa. [YM 2016]

Taulukko 1. Yleisimpien rakennusmateriaalien keskimääräisiä kosteuspitoisuuksia ilman suhteellisen kosteuden ollessa 50 % ja 95 %. [Vinha 2004, YM 2016]

Materiaali	Tiheys [kg/m ³]	Kosteuspitoisuus [kg/m ³]	
		RH = 50 %	RH = 95 %
Kivivilla	37	0,21	0,81
Kipsilevy	850	3,6	19
Rappaus	1 265	4,0	55
Puukuitulevy	300	24	87
Vaneri	427	47	113
Betoni, vss. 0,5	2 300	48	118
Kuusi	455	45	121

Osa rakenteiden kunnon arviointia on eri rakennusmateriaalien homehtumisriskin arviointi. On ymmärrettävä, että eri materiaalit ovat herkempiä kosteudelle kuin toiset. Herkimpiä homeelle ovat puupohjaiset ja lähtökohtaisesti orgaaniset rakennusmateriaalit. Paremmiin homekasvua kestäviin materiaaleihin ovat iso osa kivipohjaisista tuotteista ja parhaiten homekasvua vastaan taistelevat rakennusmateriaalit, joihin on lisätty homeestoaineita. On kuitenkin muistettava, että homekasvuston kehittymiseen vaikuttavat yhdessä kosteus, lämpö materiaaliominaisuuksien kanssa, joten homehtumisherkyyden määrittely ei ole koskaan yksinkertaista. Aiemmin mainittu materiaalin kyky sitoa kosteutta voi suojella muuten homehtumisherkäksi luokiteltua rakennetta. [RIL 2011]

Suomalaisen homemallin avulla voidaan laskea materiaalille tai rakennekerroksen materiaalille homehtumisriski. Riskiarvion laskenta perustuu materiaalin homehtumisherkkyysluokkaan sekä materiaalin pinnalta tai rakenteen sisältä mitattuihin lämpötila- ja kosteusolosuhteisiin, ks. kuva 3, s. 29. Tulokseksi saadaan homeindeksi, joka esitetään ajan funktiona, ks. kuva 5 s. 38. [VTT-TTY 2013]

Homehtumisherkkyyssluokka	Rakennusmateriaali
Hyvin herkkä HHL1	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
Herkkä HHL2	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
Kohtalaisen kestävä HHL3	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni ¹ , kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
Kestävä HHL4	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

¹ Kevytbetoni kuuluu homehtumisominaisuuksiltaan kahteen eri homehtumisherkkyyssluokkaan. Homeen kasvunopeus vastaa homehtumisherkkyyssluokkaa HHL2, mutta homeindeksin maksimiarvo jää homehtumisherkkyyssluokan HHL3 tasolle.

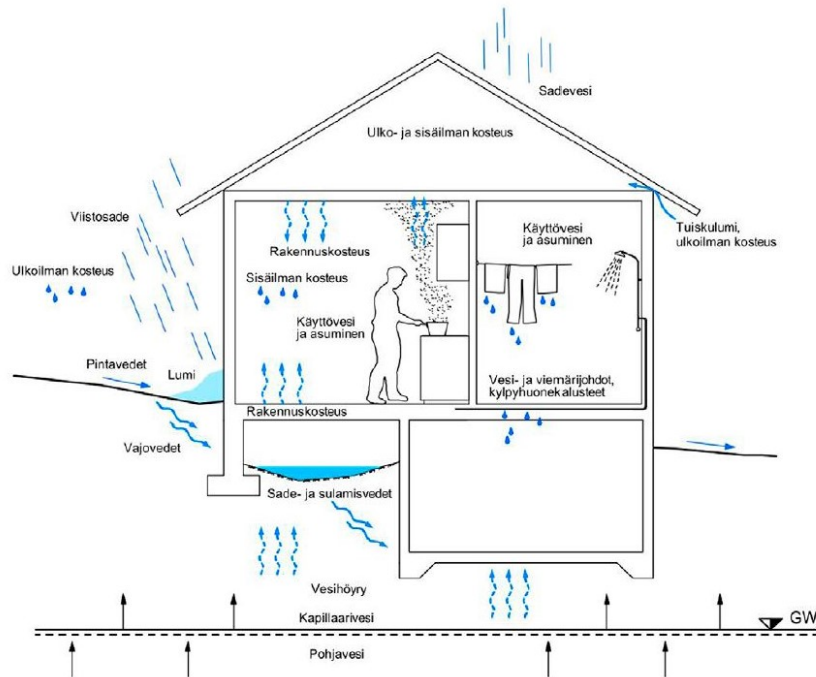
Kuva 3. Rakenteiden homehtumisherkkyyss luokittelu. [RIL 250-2020]

Muita tarkasteltavia seikkoja ovat hajuhaitat, esimerkiksi homeen, maakellarin haju tai viemäreiden aiheuttamat hajuhaitat. Hajuhaitat voivat johtua pelkämästä kosteudesta, huonosta ilmanvaihdosta, erilaisista mikrobivaurioista tai muista haitta-aineista. Ilmanvaihtuvuuden arviointi on myös tärkeä osa katselmointia. Ilmanvaihtuvuutta arvioitaessa tarkistetaan myös ilmanvaihtoventtiilien sijainti ja niiden toiminta. [YM 2016]

Katselmoinnissa arvioidaan myös rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta sekä kosteusrasituksia. Ylimääräisiä kosteusrasituksia tai niiden kohoamista edesauttavat monesti väärät käyttötottumukset. Tilojen käytön ohella niiden oikea ja tarkoituksen mukainen huolto ja kunnossapito ehkäisevät vaurioiden syntyä. Riskialttiimpikin rakenne voi toimia ja olla pitkäikäinen säännöllisen huollon ja kunnossapidon ansiosta. Samoin erinomaisenkin rakenneratkaisu voidaan pilata väärin käytettynä tai huollon ja kunnossapidon laiminlyönnin vaikutuksesta. [YM 2016]

Kosteuden lähteet voivat olla rakennuksen sisä- tai ulkopuolisia kosteuslähteitä. Huoneilman kosteuteen vaikuttavat sisätilojen kosteuslähteet ja ilmanvaihtuvuus. Sisäpuolisia kosteuslähteitä ovat esimerkiksi ihmiset, kasvit, käyttövesi, siivous ja ruoan valmistus. Sisäpuolisiksi kosteuslähteiksi voidaan laskea myös rakennusaikainen kosteus sekä putkivuodot. Ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat sade, lumi, maaperästä nouseva kosteus

ja ulkoilman kosteus. Rakennusaikainen kosteus voi olla peräisin jo valmistusvaiheesta tai sitä voi kertyä materiaaliin varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Rakentamisen yhteydessä kosteutta voi kertyä huonosta sääsuojauksesta tai esimerkiksi betonivalujen yhteydessä. Hyvin toimivista rakenteista rakentamisen aikana kertyneen kosteuden on kuitenkin katsottu kuivuvan pääosin yhden lämmityskauden aikana. Rakennukseen kohdistuvia yleisimpiä kosteuslähteitä on esitetty kuvassa 4, alla. [YM 2016]



Kuva 4. Rakennukseen kohdistuvia yleisimpiä kosteuslähteitä [YM 2016]

Mahdollisesti vaurioituneita rakenteita voidaan havaita myös pistekokeenomaisesti pintalämpötiloja tarkistamalla. Pintalämpöjen tarkastelulla voidaan tarkistaa esimerkiksi rungosta aiheutuvia kylmäsiltoja. Puutteita lämmöneristeissä ja rakenteiden sisäisiä sekä liittymiin syntyneitä ilmavuotoja on myös mahdollista havaita lämpökameralla. [YM 2016]

5.1.1 Kapillaarinen vedennousu

Materiaali on kapillaarisessa tilassa, kun materiaalin kosteus vastaa ympäröivän ilman kosteustasoa 98...100 %. Vesi voi johtua rakenteissa vaaka- ja/tai pystysuuntaan. Vesi

siirtyy kapillaarisessa kosteudensiirtymisessä aina pienemmän huokosalipaineen suuntaan. Mitä pienempiä huokokset ovat, sitä suurempi alipaine on. [YM 2016]

Rakenteiden kapillaariseen kosteuteen vaikuttavat salaojat, niiden puute tai huono kunto. Maaperän kapillaarinen kosteuden nousu voi johtua joko täyttöinä käytettyjen maalajien ominaisuuksista tai pohjaveden korkeudesta. Materiaalin kapillaarisuudesta riippuu, kuinka korkealle kapillaarinen kosteus pääsee nousemaan. Tavallista on tavata kapillaarista kosteutta kellarikerroksissa ja maanpinnan yläpuolisissa kerroksissa rakenteiden alapäässä. Rakenteisiin voi aiheuttaa kausittaista kapillaarista kosteutta myös esimerkiksi roudan sulamisvesien aiheuttama väliaikainen vedenpaine. Väliaikaisia kapillaarisia kosteusrasituksia voi aiheutua myös rakennusaikaisesta kosteudesta. [YM 2016]

Vaikka rakenteet yleisesti suunnitellaan niin, ettei niiden kosteuspitoisuus nouse liian korkeaksi, eikä erityisesti kapillaariselle kosteustasolle, on kuitenkin olemassa poikkeuksia. Osa rakenteista suunnitellaan niin, että niiden tulee kestää jopa kapillaarista kosteutta. Vapaan veden rasituksia kestäviksi rakenteiksi suunnitellaan esimerkiksi käännettyjen kattojen rakenteet, kaikki vedeneristeet, julkisivut ja tietyt perustusrakenteet. Kaikesta huolimatta näissäkin rakenteissa tulee huomioida vedenohjaus, salaojat sekä rakenteiden kuivumismahdollisuudet. [YM 2016]

Kapillaarisen vedennousun vuoksi katselmoitavia rakenteita ja ratkaisuja ovat; salaojat ja pinta- ja sadevesien ohjaus, perusmuurit, kivilademat, alapohjan rakennekerrokset, pohjamaan laatu, alapohjaan liittyvät väliseinät sekä alapohjan alapuolelta tuetut väliseinät. [YM 2016]

5.1.2 Painovoimainen vedensiirtyminen

Painovoimaisessa vedensiirtymisessä kosteusmäärät voivat olla hyvinkin suuria esim., jos vesivuodon aiheuttavat putkivuodot tai rikkoutunut vedeneriste. Veden painovoimaisen siirtymisen ansiosta rakennus pysyy kuivana, kun veden poistuminen on hallittua. Kun veden siirtyminen muuttuu hallitsemattomaksi, aiheuttaa se todennäköisesti suuria vahinkoja. Vesi voi päästä rakenteisiin julkisivussa olevan halkeaman kautta, tai tukkeutunut kaivo padottaa vettä, ja vedenpinta nousee vedeneristeen yläreunan yli ja pääsee sitä kautta rakenteisiin. [YM 2016]

Vanhoista rakennuksista puhuttaessa voi myös olla, että vedeneristeet puuttuvat kokonaan tai ne ovat ylittäneet käyttöikänsä. Tällaisissa tapauksissa kuiviksi suunnitellut rakenteet kastuvat, ja vesi pääsee vuosien saatossa kastelemaan muita rakenteita esimerkiksi kapillaarisesti. Tällaisessa tapauksessa vesi voi valua pääosin kallistusten ansiosta kaivoon, mutta osa imeytyy esimerkiksi betonilaattaan kapillaarisesti, ja pääsee tätä kautta hitaasti aina välipohjatäytteisiin, jotka voivat olla esim. mikrobivaurioille alttiita orgaanisia sahanpuru- tai turvetäyttöjä. Riskit ovat suuria myös siksi, että esimerkiksi kylpyhuoneen kosteuskuorma on muutenkin suuri, ja lämpötilat voivat olla korkeampia, jolloin kaikki mikrobikasvun edellytykset täyttyvät. [YM 2016]

5.1.3 Höyrinsulku, kondenssi, tiivistyminen ja muut vuodot

Diffuusio tarkoittaa vesihöyryn kulkeutumista rakenteisiin ilman vesihöyrypaineen vaikutuksesta. Vesihöyryn osapaine pyrkii aina tasapainoon eli vesihöyryn liike on pienemmästä pitoisuudesta suurempaan päin. Suuremman osan vuodesta tämä aiheuttaakin kosteusliikettä sisältä seinärakenteen läpi ulospäin. Sisäilman suurempi vesihöyryn osapaine johtuu rakennuksen käytön aiheuttamasta kosteustuotosta. Yleisimpiä tai suurimpia kosteuslähteitä on lueteltu luvussa 5.1. Diffuusion merkitys on muita vuodenaikoja suurempi talvella, kun sisä- ja ulkoilman osapaine-ero on suurimmillaan. Kesäaikana kosteus siirtyy sen sijaan ulkoilmasta rakenteen sisään ja edelleen sisäilmaan, riippumatta siitä onko kyseissä rakenteissa höyrinsulku vai ei. Höyrinsulullisessa rakenteissa rakenteen läpi kulkevan kosteuden määrä on kuitenkin kutakuinkin tasapainossa vuositasolla, kun taas höyrinsuluttomassa rakenteissa sisältä ulospäin siirtyvä kosteuden määrä on moninkertainen, jopa kymmenkertainen. [YM2016]

Höyrinsuluttomissa rakenteissa on tärkeää tarkastella rakenteen toimivuutta tapauskohtaisesti. Kosteusvaurioiden riski on suurin kerroksellisissa höyrinsuluttomissa rakenteissa. Kerroksellisuuskaan ei kuitenkaan välttämättä ole ongelma, jos rakenteen vesihöyrynläpäisy kasvaa ulospäin mentäessä ja rakennekerroksilla on hyvä kosteudensitomiskyky. Rakenteen sisäpinnan vesihöyrynläpäisyvastuksen pitäisi olla noin viisinkertainen verrattuna rakenteen ulkopuolisiin materiaaleihin verrattuna. Jos rakenteeseen pääsee sisältä paljon kosteutta, mutta kosteus ei kuitenkaan pääse poistumaan rakenteesta vääränlaisten vesihöyrynläpäisyssuhteiden takia, on todennäköistä, että

rakenteeseen tiivistyy kosteutta, joka aiheuttaa ensin kosteusrasitusta ja ajan kuluessa edelleen kosteus- ja mikrobivaurioita. [YM2016]

Konvektio eli ilman mukana rakenteisiin siirtyvä kosteus on ratkaisevinta halkeilleissa rakenteissa ja höyrynsulussa olevien aukkojen kohdalla sekä rakenteiden tiivistämisen puutteista johtuvien rakojen kohdalla. Kosteus tiivistyy aina kylmän rakenteen sisäpintaan eli esimerkiksi yläpohjan tuuletustilan alapintaan tai ulkoseinällä tuulensuojalevyn sisäpintaan, jolloin vauriot jäävät näkymättömiin. Valitettavasti ilmayhteys on kuitenkin juuri näissä tapauksissa olemassa sisäilmaan. Paine- ja lämpötilaerojen vaihdellessa vuodenaikojen mukaan ilmaa kulkee halkeamasta tai reiästä edestakaisin sisään ja ulos. [YM 2016]

Kondenssikosteutta ilmenee myös, kun kosteus tiivistyy esimerkiksi peltikaton alapintaan ja kattoikkunoiden sisäpintaan tai lämmöneristämättömien putkiläpivientien pintaan esimerkiksi kylmässä ullakkotilassa. Kondenssikosteus aiheuttaa ongelmia, kun se tiivistyy ilmavuotojen kautta rakenteiden sisään, jolloin niitä ei välttämättä havaita pitkiin aikoihin. Näkyvillä ja ”kovilla” pinnoilla kosteus ei sinänsä aiheuta haittaa, kunnes vesi valuu esimerkiksi vanhojen puuikkunoiden lasipinnalta puitteiden pintaan ja alkaa hiljaa kastella niitä, jolloin puu aikojen saatossa pehmenee ja todennäköisesti jopa homehtuu, jos puitteen puuosat eivät pääse kuivumaan tarpeeksi. [YM 2016]

Hyvin erilainen esimerkki kondensoitumisesta on YM 2016 Kuntotutkimusoppaassa;

Hyvänä esimerkkinä rakenteen lämpötilanmuutosten vaikutuksesta kosteuden siirtymiseen on sateella kastuneen tiilijulkisivun kosteustekninen käyttäytyminen suoran auringonsäteilyn vaikutuksesta. Auringonsäteily lämmittää kastunutta seinärakennetta, jolloin tiilimuuraukseen sitoutunut sadevesi vapautuu vesihöyrynä muurauksesta. Ellei tiilijulkisivun tausta tuuleteta hyvin tehokkaasti, siirtyy ilmankosteus sisäpuoliseen lämmöneristekerrokseen ja sisäkuoreen. Kosteuden kulkeutuessa rakenteen sisäosiin, jotka ovat julkisivua huomattavasti viileämpiä, voi kosteus tiivistyä höyrynsulun ulkopintaan. Tällä mekanismilla kosteusvaurioita voi syntyä erityisesti avoimella paikalla olevien, viistosateelle ja auringonsäteilylle alttiiden, tiiliseinien lämmöneristekerrokseen, mikäli tiilijulkisivu on heikosti tuuletettava. [YM 2016]

Liitteessä 1 on esitetty rakennusosakohtainen tarkistuslista, jota voidaan käyttää runkona kosteus- tai mikrobivaurioteknisessä kuntotutkimuksessa. Tarkistuslistan on koostanut opinnäytetyön tekijä Marjut Möttönen tapaustutkimuskohteeseen ympäristöministeriön Kuntotutkimusoppaan pohjalta [YM 2020].

5.2 Tukevat tutkimusmenetelmät

Peruskorjaushankkeessa kuntotutkimuksen tärkein tehtävä on auttaa muodostamaan arvio korjauslaajuudesta ja korjausasteesta. Peruskorjaukset kannattaa jakaa ensin kahden ryhmään, suojeltuihin ja ei suojeltuihin rakennuksiin. Rakennusten kohdalla, jotka eivät ole suojeltuja, voidaan peruskorjauksen tarveselvitys vaiheessa harkita vapaasti kaikkia vaihtoehtoja korjaamisen ja kokonaan uuden rakennuksen rakentamisen välillä. Suojeltujen rakennusten kohdalla kuntotutkimuksella haetaan rakenteiden määrää, jotka pystytään säilyttämään, ja lisäksi mahdollisimman realistista kustannusarviota. Kaikissa tapauksissa korjaustarpeen todellinen määrä on se, jota haetaan. [Terveet tilat 2028, Torikka 1995]

Tukevien tutkimusmenetelmien valintaan vaikuttavat myös olennaisesti kohteen rakenneratkaisut. Puhuttaessa 1900-luvun alun rakennuksista, tärkeimpiä kuntotutkimusmenetelmiä ovat ehdottomasti rakenneavausten ja katselmoinnin lisäksi materiaalinäytteiden mikrobianalyysit sekä kosteusmittaukset. Tuon ajan rakentamiselle luonteenomaista ovat orgaanisten materiaalien käyttäminen täytöissä ja lämmöneristeenä, massiivimuuratut rakenteet, sekä puu- ja teräsbetonirakenteiset väli- ja yläpohjarakenteet. [YM 2016]

5.2.1 Pintakosteuskartoitus

Pintakosteuskartoituksella tarkoitetaan ainetta rikkomattomin menetelmin pintakosteusilmaisimella tehtävää vertailevaa mittausta. Pintakosteusmittauksessa vertaillaan saatuja mittaustuloksia keskenään samasta rakenteesta saatuihin arvoihin. Mittauksesta saatavat tulokset ovat ainoastaan suuntaa-antavia. Alueilla, joilla havaitaan kohonneita arvoja, voidaan suorittaa lisäksi rakennekosteusmittauksissa, jos tarkemmille tuloksille on tarvetta. Tutkimusraporttiin kirjataan aina käytetty pintakosteusilmaisimien ja käytössä ollut tarkastelutaulukko. [YM 2016]

Pintakosteusilmaisimella ei voida lukea materiaalin absoluuttista, eikä suhteellista kosteutta. Ilmaisimen ilmoittama luku perustuu materiaalin sähkönjohtavuuteen, joka on monien tekijöiden summa. Rakenteen sähkönjohtavuuteen vaikuttavat materialin koostumuksen, pintaosien erovaisuuksien sekä rakenteen kosteuden ohella, muun muassa ra-

kenteen sisällä olevat teräkset ja sinne upotetut kaapelit ja vesijohdot. Sähkönjohtavuuden arvoja nostavat esimerkiksi maanvastaisten seinien suolakertymät, ja päinvastoin arvoja alentavasti vaikuttavat esimerkiksi uivat laminaattilattiat. Pintakosteusmittarilla ei myöskään voida päätellä missä syvyydessä rakenteessa kosteutta esiintyy. Pintakosteusmittarin käyttö on yksinkertaista, mutta tulosten tulkinnassa tarvitaan lujaa ammattitaitoa. [YM 2016]

Kartoituksessa on syytä tarkastella vähintään ne ulkovaipan osat, joiden yleisesti on havaittu aiheutuvan kosteusrasituksia. Tällaisia ulkovaipan osia ovat maanvaraiset alapohjat, sokkelit ja ulkosienien alaosat sekä väliseinät, jotka alkavat suoraan perustusten päältä. Ulkoseiniin liittyvien välipohjien osalta kannattaa tarkistaa reuna-alueet siltä osin kuin se on mahdollista. Sisäpuolisessa tarkastelussa tulee tarkistaa myös kaikkien vesipisteiden lähialueet. [YM 2016]

5.2.2 Kosteusmittaukset

Kosteusmittaukset voidaan jakaa kolmeen osaan, tarkkoihin ja suuntaa-antaviin mittauksiin sekä sisäilman kosteus- ja lämpömittauksiin [YM 2016].

Rakenteen tarkkoja kosteusarvoja voidaan selvittää näytepala-, porareikä- ja viiltomittauksin. Näillä menetelmillä mitataan materiaalin rakennehuokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Materiaalin tarkka kosteuspitoisuus voidaan selvittää myös kuivaus-punnitusmenetelmällä. Käytettävän mittausmenetelmän valintaan vaikuttaa mittauksen käyttötarkoituksen lisäksi rakenteen lämpötila. Menetelmän valintaan saattaa vaikuttaa myös vastausten kiireellisyys: viiltomittausmenetelmässä tuloksia päästään parhaimmillaan lukemaan jo 15...20 minuutin kuluttua, näytepalamittauksen tasaantuminen vaatii 5...12 tuntia, ja porareikämittauksen tasaantuminen vie noin 3 vuorokautta. Näytepalamittausta voidaan käyttää, kun tutkittavan rakenteen lämpötila on välillä -20...+80 °C, porareikämittausmenetelmä soveltuu käytettäväksi lämpötilan ollessa välillä +15...+25 °C, ja viiltomittaus on luotettavimmillaan lämpötilan ollessa +20 °C:n lämpötilassa. Näytepalojen ottaminen aiheuttaa rakenteisiin suurimman paikkaustarpeen ja näytteiden ottaminen on työläintä. Viiltomittausta käyttämällä mittauskohdat voidaan paikata lähes huomattomasti ja näytteiden ottaminen on nopeaa. Tarkkoja menetelmiä käytettäessä olennaisen tärkeää on näytteiden ja näytemittausten höyrytiiveys alusta asti. [YM 2016]

Suuntaa antavia mittausmenetelmiä voidaan käyttää, kun mittaustarkkuudesta voidaan joustaa tai tiedetään, ettei ole mahdollista päästä yhtä tarkkoihin mittaustuloksiin. Suuntaa antavia menetelmiä käytettäessä on aina syytä tiedostaa niiden epätarkkuus. Suuntaa antavia mittausmenetelmiä ovat: hetkelliset mittaukset rakenteiden sisältä, putkittamasta porareiästä tehdyt mittaukset tai sen toistaminen useamman kerran samasta porareiästä ja mittausten suorittaminen suositus lämpötilojen ulkopuolella. Mittauksesta voi tehdä suuntaa antavan, kun mittaus suoritetaan porareiästä liian nopeasti poraamisen jälkeen, näytepalamittauksen mittapään asentaminen mittausputken kestävä liian kauan tai näytepalamittauksessa otettu näytemäärä on liian pieni tai syvyys on epätarkka. Hetkellisillä kosteusmittauksilla voidaan mitata esimerkiksi puukoolattujen väli- ja ulkoseinien sekä ala- ja välipohjien eristekerrosten kosteuspitoisuuksia. Mittaus tehdään putkittamattomasta porareiästä, johon mittapää tiivistetään vesihöyrytiivillä massalla. Mittapään tasaantumisaika vaihtelee 15 ja 45 minuutin välillä. Mittauksissa on otettava huomioon ulkovaipan rakenteissa sisäilman ja rakenteen lämpötilan välinen ero. [YM 2016]

Materiaalin kosteus painoprosentteina voidaan mitata joko kuivatus-punnitusmenetelmällä tai piikkimittarilla. Kuivatus-punnitusmenetelmän avulla voidaan selvittää, onko materiaalin kosteus esimerkiksi kapillaarisella alueella. Menetelmää käytetään kuitenkin harvoin kuntotutkimusten yhteydessä, vaan se on yleisempää myöhemmissä vaiheissa. Menetelmää käytettäessä on huomioitava erityisesti, että näyte suljetaan tiiviisti tarpeeksi pieneen astiaan, jottei tulos vääristy kuljetuksen aikana. Piikkimittarilla saadaan tietää suuntaa-antava tulos materiaalin kosteudesta painoprosentteina, joka onkin yleisemmin käytetty menetelmä kuntotutkimusten yhteydessä. Huomioitava on kuitenkin, että esimerkiksi puun kosteuspitoisuutta mitattaessa tulokseen vaikuttaa puun syiden suunta sekä puun sisältämät kyllästysaineet ja puun suolapitoisuus. [YM 2016]

5.2.3 Paine-ero ja tiiveystutkimukset

Erilaisia paine-ero ja tiiveysmittauksia ovat lämpökamerakuvaukset, merkkiainetutkimukset, merkki- ja puhdassavumittaukset, vesitiiveyskokeet eli vesipainekoestus, rakennusvaipan tiiveys ja ilmanvuotoluvun (q_{50}) määrittäminen ja rakennuksen painesuhteiden mittaus [YM 2016].

Lämpökuvauksella voidaan havaita ilmapuotokohtia, lämmöneristeiden puutteita, kylmäsiltoja sekä paikallistaa kosteusrasituksia. Yhdellä sisäpuolelta tehtävällä lämpökuvauksella ei voida yksistään luotettavasti päätellä, mistä lämpötilaerot aiheutuvat. Kaksivaiheisessa kuvauksessa rakennus kuvataan mahdollisimman tasapaineisena sekä voimakkaasti alipaineisena, jolloin ilmapuodot pystytään erottamaan lämmöneristeen puutteista ja kylmäsiltoista. [YM 2016]

Merkkiainetekniikka eroaa merkki- ja puhdassavututkimuksista siten että siinä vuotokohdat havaitaan merkkiaineanalyysointilla, joka havainnoi kaasun liikkumista rakenteissa tai eri tilojen välillä. Merkkiaineanalysoinnissa vaaditaan 5Pa:n alipaine tarkasteltaviin tiloihin verrattuna. Savun avulla tehtävissä kokeissa havainnot ovat aistinvaraisia. Merkkisavulla on järkevää tutkia yksittäisiä liittymiä, kun taas puhdassavulla tehtävissä kokeissa voidaan tarkastella suurempia kokonaisuuksia esimerkiksi laajempaa välipohjarakennetta. Savukokeilla voidaan tutkia myös ilmanvaihdon toimivuutta seuraamalla tuloilman leviämistä tiloissa. [YM 2016]

Vesitiiveyskokeita käytetään erilaisten kermikattojen ja uima-altaiden sekä vedenpaineeristettyjen alapohjien vesitiiveyden tarkasteluun. Samaa menetelmää voidaan käyttää myös vesi- ja viemäriputkistojen vuotokohtien paikallistamiseen. Kaikissa kokeissa tulee kuitenkin huomioida ympäröivät vaurioherkät rakenteet ja rakenteet, joita on vaikea kuivattaa. [YM 2016]

Rakennusvaipan ilmanpitävyyttä voidaan selvittää myös ilmapuotoluvun q50-luvun avulla. Ilmapuotolukua käytetään pääasiassa rakennuksen energiatodistuksen laadintaa varten. Yksistään ilmapuotoluvun perusteella voidaan päätellä vain vähän rakennuksen terveellisyydestä tai sisäilmanlaadusta, mutta kun tueksi otetaan lämpökamera-kuvaus tai merkkisavukokeita, pystytään paikallistamaan ilmapuotoja. [YM 2016]

Rakennuksen painesuhteiden määritykset eli paine-eromittaukset tutkittavan rakenteen yli suoritetaan lähes poikkeuksetta sähköisillä paine-eromittareilla tai nestemanometreillä. Mittalaitteet ovat hyvin tarkkoja, sillä rakennusten paine-erot ovat pieniä, karkeasti ne vaihtelevat 0...50 Pa:n välillä. Paine-eromittauksilla voidaan selvittää esim. epäpuhtauksia sisältävän rakenteen vaikutus sisäilman laatuun. Paine-eroja mitattaessa tulee

ymmärtää ilmansuuntien, tuulen, vuorokauden- ja vuodenaikojen vaikutukset sekä rakennuksen korkeuden eli savupiippuvaikutuksen merkitys. Paine-eroihin vaikuttavat lisäksi ilmanvaihto, lämpötilojen vaihtelut sekä tilojen käyttö. Kuntotutkimuksen yhteydessä voidaan tehdä hetkellisiä paine-eromittauksia, jolloin mittausaika on anturin taantumisaika tai pidempiaikaisia mittauksia, jotka voivat kestää yhdestä vuorokaudesta kahteen viikkoon. Mittaukset voivat olla kertaluontoisia tai niitä voidaan toistaa useina vuodenaikoina. Pitkäaikaismittauksia kutsutaan dataloggeroinneiksi, jolloin voidaan mitata samalla useampia sisäilmaolosuhteita kerralla. [YM 2016, Sisäilmayhdistys 2008a]

Rakennuksen ja/tai rakenteiden tiiveysmittausten tarpeellisuutta voidaan arvioida kohdekohtaisesti, kun on kyseessä peruskorjauskohde. Tiiveysmittausten tarpeellisuuteen vaikuttaa valittu korjausaste. Tutkimusten tarpeellisuutta voidaan kyseenalaistaa, kun on kyseessä kohde, jossa on jo päätetty purkaa kaikki kevyet rakenteet. Sen sijaan kohdeissa, joissa vielä harkitaan korjausastetta, voidaan tiiveysmittauksilla arvioida rakenteiden säilytettävyyttä. Tutkimuksia on kannattavaa tehdä esimerkiksi peruskorjauskohdeissa, joissa harkitaan korjausvaiheessa halkeamien ja uusien läpivientien tiivistystä ja joissa halutaan varmistaa tiiveys vasta korjaustöiden jälkeen.

Paine-ero mittauksin voitaisiin tukea mikrobikorjauksia, ettei esimerkiksi tiloista, joissa on todettu mikrobivaurioita, tule alipaineisia. Paine-erojen minimointiin kerrosten välillä tulee kiinnittää huomiota, jolloin voidaan minimoida, ettei välipohjiin mahdollisesti jääviä mikrobilähteitä kulkeutuisi huonetilaan.

5.2.4 Suora mikroskopointi

Suoramikroskopointi ei sovellu bakteerikantojen havainnointiin, eikä sen käyttö sovellu suoraan huokoisille pinnoille. Sen sijaan muiden mikrobien tunnistamisessa sitä voidaan käyttää joko rakenneavausten yhteydessä kohteessa tai sillä voidaan tukea suoraviljelyn antamia tuloksia. Suoramikroskopioimalla voidaan esimerkiksi varmistaa materiaalin pinnoilta löytyneet silmin havaittavat mikrobikasvustot. Suoramikroskopioimalla voidaan myös löytää kuollut tai kuivunut kasvusto näytteestä, vaikka viljelytulos olisi ollut nolla tai alle määritysrajan. Kaikki viljelynäytteiden puhtaat näytteet tulee aina mikroskopoida vanhojen mikrobikasvustojen pois sulkemisen varmistamiseksi. [Valvira, 2020, YM 2016]

Kokenut ja ammattitaitoinen tutkija voi esimerkiksi suomalaisen homemallin ja materiaalista otetun teippinäytteen avulla arvioida rakenteen vaikutuksia huoneilman terveellisyyteen. Homekasvuston määrän luokitteluun voidaan käyttää myös suomalaisessa homemallin mukaista taulukkoa, ks. kuvat 3 ja 5, s. 29 ja 38. Homekasvuston näkyvyyteen näytteessä vaikuttaa homekasvuston määrän lisäksi käytetty mikroskooppityyppi ja käytetty suurennos. Mikroskoopilla otettava näkymä jaetaan ruudukkoon, ja lasketaan ruudut, joiden alueella esiintyy rihmastoja tai sen kappaleita; jotta tulos olisi luotettava, tulee yhdestä näytteestä tarkastella useampia näkymiä. Toimenpiderajan katsotaan ylittävän, kun rihmastoja sisältävien ruudukoiden määrä ylittää 10 %. [VTT-TTY 2013, YM 2016]

M ¹⁾	Havainto mikroskoopilla	Tulkinta
0	Pinta puhdas	Ei kasvustoa
1	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma	Kasvua (lievä)
2	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta	Kasvua (kohtalainen)
3	Homerihmasto peittää 10–50 % tutkittavasta alasta	Kasvua (selvä)
4	Homerihmasto peittää yli 50 % tutkittavasta alasta	Kasvua (runsas)
5	Homerihmasto peittää yli 50 % tutkittavasta alasta (myös silmin havaittuna)	Kasvua (runsas)
6	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto	Kasvua (erittäin runsas)

Kuva 5. Suomalaisen homemallin mukainen homeindeksiluokitus [VTT-TTY 2013, YM 2016]

5.2.5 Materiaalinäytteiden mikrobianalyysit

Yleisesti käytössä olevia analyysimenetelmiä ovat suoraviljely- ja laimennossarjaviljelymenetelmät. Muita hyväksytyjä analyysimenetelmiä on esitetty standardissa ISO 16000-21:2013. Menetelmät eroavat toisistaan näytteiden käsittelytapojen ja viljelytulosten ilmoitusmuodon osalta. Materiaalinäytteitä tutkittaessa yleisimmin käytössä on suoravilje-

lymenetelmä. Molemmat analyysimenetelmät on esitetty kokonaisuudessaan Mikrobiologisten asumisterveystutkimuksien näytteenotto ja analyysimenetelmien laboratorio-oppaassa [Pessi ja Jalkanen 2018]. Suoraviljely- ja laimennossarjamenetelmän tulkinnan raja-arvot on esitetty Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa, ks. kuvat 6 ja 7, s. 39 ja 40. [Pessi ja Jalkanen 2018, YM 2016].

Molemmissa menetelmissä käytetään pääasiassa samoja viljelyalustoja, THG-alusta bakteereille ja M2- sekä DG18-alustat sienille. DG18- alusta suosii kuivemmassa viihtyviä sieniä. Hagem-alusta on vain suoraviljelyssä käytetty alusta, joka hillitsee nopeakasvuisten homeiden kasvua. [Pessi ja Jalkanen 2018]

Laimennossarjamenetelmän tulokset ilmoitetaan muodossa pmy/g ja siinä on annettu raja-arvot, jolloin ”rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa” [Valvira 2020]. Vaikka tulokset jäisivät raja-arvojen alapuolelle, tulee huomioida, että tulos saattaa silti viitata vaurioon, erityisesti, jos näytteessä esiintyy kosteusvaurioindikaattoreita. [Valvira 2020, YM 2016]

Mikrobilaji	Raja-arvo
Home- ja hiivasienet laajakirjo	> 10 000 pmy/g
Home- ja hiivasienet suppea kirjo	> 5 000 pmy/g
Bakteerit	> 100 000 pmy/g
Sädesienet	> 3 000 pmy/g

Kuva 6. Laimennosviljelymenetelmän tulosten tulkinta asteikko [Valvira 2020]

Suoraviljelyn tulokset ilmoitetaan asteikolla -/+ eli menetelmä on semikvantitatiivinen. Merkki – tarkoittaa, ettei kasvustoa havaittu, +-merkkien määrä kertoo kasvuston runsauden. Tulokset + ja ++ viittaavat tavanomaiseen mikrobipitoisuuksiin ja +++ sekä ++++ viittaavat mikrobikasvustoon. Mikrobilajit ja – suvut tunnistetaan viljelyn valmistuttua mikroskopoimalla. Mikroskopoimalla voidaan myös havaita erilaiset lahottajasienet, joita ei ole mikrobivaurioindikaattorilistalla. Laskennassa huomioidaan home- ja hiivasuvut sekä sädesienet. Muita bakteereja ei erotella, ellei ole kyse näytteestä, johon on kohdistunut

viemärikontaminaatio ja näytteenottaja on ilmoittanut siitä laboratorioon. Vaikka pesäkemäärät olisivat pieniä, voi se kertoa mikrobivauriosta, erityisesti silloin, kun löydettyt mikrobit kuuluvat mikrobivaurioindikaattorilistalle. Tulosten tulkinnassa tulee huomioida mikroskoipoimalla todetut home- ja sienisuvut, tästä enemmän kappaleessa 2.3, jossa on perusteltu mikrobilajien tunnistamisen merkitystä. [Pessi ja Jalkanen 2018, Valvira 2020]

Asteikko	Luokitus
-	0 pesäkettä = ei mikrobeja
+	1-19 pesäkettä = niukasti mikrobeja
++	20-49 pesäkettä = kohtalaisesti mikrobeja
+++	50-199 pesäkettä = runsaasti mikrobeja
++++	>200 pesäkettä = erittäin runsaasti mikrobeja

Kuva 7. Suoraviljelymenetelmän tulosten tulkinta-asteikko [Valvira 2020]

Tapauksissa, joissa epäillään viemärikontaminaatiota, tulee pyytää laboratoriota erikseen tutkimaan ulosteperäisten mikrobien pitoisuus. Epäiltäessä viemärikontaminaatiota tulee ottaa kohteesta myös vertailunäyte paikasta, joka ei varmasti ole altistunut viemärirohingolle. Nämä tulokset ovat vain suuntaa antavia tällä hetkellä, sillä hygieniabakteerien elinkykyä rakenteissa ei tunneta. [Pessi ja Jalkanen 2018, YM 2016]

Tavoitetaso kuntotutkimuksessa määrittelee käytettävän analyysimenetelmän suoraviljelyn- ja laimennossarjaviljelyn välillä. Harvemmin on perusteltua käyttää laimennossarjamenetelmää, joka on kustannuksiltaan jonkin verran suoraviljelymenetelmää korkeampi. Useimmissa tapauksissa riittää suuntaa antava tulos mikrobikasvustojen määristä ja lajien tunnistaminen. [YM 2016]

5.2.6 Pitoisuuksien määrittäminen huoneilmasta

Tärkeintä on, että on muistettava, ettei huoneilman mikrobipitoisuus koskaan yksinään riitä toimenpideperusteeksi. Huoneilmasta mitatuilla mikrobipitoisuuksilla voidaan tukea

kuntotutkimuksen ja muiden analyysimenetelmien tuloksia. Tuloksilla voidaan myös tarkentaa altistumislaajuutta tai niiden avulla voidaan etsiä sisäilman epäpuhtauslähde. Esimerkiksi ottamalla näytteitä eri tiloista ja vertaamalla niitä keskenään, voidaan tulosten perusteella päätellä, missä tilassa epäpuhtauslähde sijaitsee yleensä sen mukaan, minkä tilan näytteen tulokset ovat muiden tilojen tuloksia korkeammat. Huoneilman mikrobipitoisuusmittauksen tulokset riittävät silti perusteeksi asumisterveyden selvityspyynnöön kunnan terveydensuojeluviranomaisille. [Valvira 2020]

6 Riskianalyysi

Riskianalyysi vaatii aina pohjakeseen perusteellisen kuntotutkimuksia ja tutkimustulosten analysointia, jonka perusteella voidaan antaa arvio altistumisesta sisäilman epäpuhtauksille. Tässä opinnäytetyössä keskitytään mikrobivaurioista johtuvien epäpuhtauslähteiden vakavuuden arvioimiseen.

Riskianalyysi koostuu mikrobivaurioiden laajuuden, voimakkuuden ja sijainnin arvioinnista tai toteamisesta. Seuraavaksi arvioidaan mikrobivaurion vaikutusta sisäilmaan, jolloin selvitetään mahdollisia ilmapuotoreittejä epäpuhtauslähteestä huoneilmaan sekä arvioidaan tai mitataan rakennuksen paine-eroja. Näiden tietojen pohjalta annetaan arvio altistumisen todennäköisyydestä, sisäilman epäpuhtauksille, ks. kuvat 8–11, s. 41–44. [Valvira 2020, YM 2016]



Kuva 8. Mikrobikasvuston sisäilmavaikutuksia määrittäviä tekijöitä. Sisäilmavaikutusten määrä kasvaa sitä mukaa, mitä alemmas pyramidin lohkoissa pudotaan. [YM 2016].

6.1 Riskianalyysi vaiheet ja niiden arviointi.

Riskianalyysin tulos määrittelee toimenpiteiden kiireellisyyden yhdessä altistumisen keston ja toistuvuuden toteamisen kanssa. Epäpuhtauslähteen sijaitessa tilassa, jossa oleskellaan jatkuvasti, on altistuminen todennäköisempää, kuin tilassa, jossa oleskelu on vain väliaikaista tai hetkellistä. Altistumisen todennäköisyyteen vaikuttaa myös paine-ero tilojen välillä. Kun tila, jossa epäpuhtauslähde sijaitsee, on ylipaineinen suhteessa muihin tiloihin, on altistuminen todennäköisempää, vaikka tilassa oleskelu olisi vähäistä. Terveysturvallisuuden 27§:n mukaan, jos todetaan, että tiloissa oleskelevalle voi aiheutua terveydellistä haittaa esimerkiksi mikrobeista johtuen, tulee toimenpiteisiin ryhtyä viipymättä. Kiireellisyyttä painotetaan, jos tilojen käyttäjät kokevat tilojen käytön aiheuttavan oireilua ja sairastavuutta. Käyttäjien terveydentilan arviointi kuuluu kuitenkin aina terveydenhuoltoviranomaisille, sillä käyttäjien oireilu ei välttämättä johdu rakennuksen aiheuttamasta terveyshaitasta. Näin siinäkin tapauksessa vaikka rakennuksen olisi todettu altistavan sisäilman epäpuhtauksille. Terveysturvallisuuden viranomaiset voivat myös vaatia kuntotutkimuksia ja antaa velvoitteita tilojen käyttäjien terveyshaittakysymyksissä. Kuitenkin riippumatta siitä, onko tilojen käyttäjillä havaittu terveyshaittoja vai ei, on toimenpiteisiin terveyshaitan poistamiseksi ryhdyttävä aina ilman tarpeetonta viivettä. [TsL 27§, Valvira 2020]

<p>1. Rakenteessa ei ole mikrobivaurioita</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakennuksessa ei ole mikrobivaurioituneita rakenteita. ▪ Rakenteissa on esiintynyt paikallisia kosteusvaurioita, jotka on korjattu ennen kuin mikrobikasvusto on alkanut, esim. akuutti vesivuoto
<p>2. Rakenteessa on helposti rajattavia ja korjattavia mikrobivaurioita</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakennuksessa on yksittäisiä rakenteita, joissa on todettu mikrobivaurioita. ▪ Mikrobivaurioitunut rakenneratkaisu ei esiinny laaja-alaisesti ja korjaukset ovat helposti korjattavissa, esim. märkätilojen alapuoliset välipohjarakenteet.
<p>3. Rakenteessa on laajoja mikrobivaurioita</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakenteissa on laaja-alaisia mikrobivaurioita ja rakenteiden korjauslaajuus on merkittävä ja koskee koko rakennusosaa tai suurta osaa siitä (>50 %), esim. välipohjarakenteet.
<p>4. Rakennuksessa on useita mikrobivaurioituneita rakenteita ja korjauslaajuus on merkittävä useassa rakennusosassa</p>

- Rakennuksessa on useita eri rakenteita, joissa on todettu laaja-alaisia mikrobivaurioita, ja rakenteiden korjauslaajuus koskee useita eri rakennusosia, esim. julkisivut ja välipohjat.

Kuva 9. Mikrobivaurioiden laajuuden arviointi [Valvira, 2020]

<p>1. Ei ilmavuotoreittejä epäpuhtauslähteistä sisäilmaan</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakennuksen paine-erot ovat hallinnassa ympäröiviin tiloihin ja ulkoilmaan nähden. ▪ Rakennuksen tai tilan ilmanpitävyys on hyvä. ▪ Hengittävä rakenne toimii suunnitellusti, eikä siinä ole korjaamattomia kosteus- tai mikrobivaurioita, esim. hirsirakenteet.
<p>2. Yksittäisiä/vähäisiä ilmavuotoreittejä rakenteiden tai ympäröivien tilojen kautta sisäilmaan</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ilmavuotoreitit eivät ole rakenteissa järjestelmällisesti toistuvia, ja ne ovat yksittäisiä talotekniikan läpivientejä tai yksittäisiä tiivistämättömiä rakenneliitoksia. ▪ Ilmanvaihtojärjestelmällä pystytään hallitsemaan tilojen paine-eroja ympäröiviin tiloihin ja ulkoilmaan nähden. ▪ Paine-erot eivät muutu merkittävästi eri aikoina. ▪ Rakennuksen tai tilan ilmanpitävyys on lievästi riskialtis.
<p>3. Ilmavuotoreitit rakenteissa tai epäpuhtauslähteestä huoneilmaan ovat säännöllisiä</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sisäilmaan on ilmavuotoreitti vaurioituneista rakenteista tai tilasta, jossa materiaaleissa tai rakenteissa on todettu mikrobivaurioita. ▪ Rakennuksen paine-erot eivät ole hallinnassa ja tilat ovat ajoittain alipaineisia ympäröiviin tiloihin tai ulkoilmaan nähden. ▪ Rakennuksen tai tilan ilmanpitävyys on riskialtis.
<p>4. Ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä ovat säännöllisiä ja tilat ovat merkittävästi alipaineisia tai rakenteen ilmanpitävyys on erittäin riskialtis, vauriot ovat sisätilassa</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ilmanvuotoreitit rakenteista tai epäpuhtauslähteestä ovat järjestelmällisesti toistuvia ja niitä on useita. ▪ Tilat ovat merkittävästi alipaineisia ympäröiviin tiloihin tai ulkoilmaan nähden. ▪ Rakennuksen tai tilan ilmanpitävyys on erittäin riskialtis.

Kuva 10. Sisäilman ja epäpuhtauslähteen välisten ilmavuotoreittien sekä rakennuksen paine-erojen arviointi. [Valvira, 2020]

<p>1. Haitallinen altistumisolosuhte epätodennäköinen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakennuksessa ei ole todettu mikrobivaurioituneita rakenteita. ▪ Epäpuhtauslähteistä ei ole ilmavuotoreittejä oleskelutiloihin.
<p>2. Haitallinen altistumisolosuhte mahdollinen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakenteessa on helposti rajattavia ja korjattavia mikrobivaurioita, vauriokorjaukset ovat alle 1 m². ▪ Epäpuhtauslähteistä on todettu ilmavuotoreittejä oleskelutilojen sisäilmaan.
<p>3. Haitallinen altistumisolosuhte todennäköinen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakenteissa on laaja-alaisia mikrobivaurioita, korjauslaajuus on merkittävä ja se koskee koko rakennusosaa tai suurta osaa siitä (>50 %), esim. välipohjarakenteet. ▪ Vaurioituneista rakenteista tai epäpuhtaammasta tilasta on säännöllisiä ja useita ilmavuotoreittejä oleskelutilan sisäilmaan. ▪ Sisäilman laadun toimenpiderajat ylittyvät ja sisäilman epäpuhtauslähde on todettu ja paikallistettu.
<p>4. Haitallinen altistumisolosuhte erittäin todennäköinen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rakennuksessa on useita eri rakenteita, joissa on todettu laaja-alaisia mikrobivaurioita ja rakenteiden korjauslaajuus on merkittävä useassa rakennusosassa esim. julkisivut ja välipohjat. ▪ Ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä ovat järjestelmällisesti toistuvia ja niitä on useita. Tilat ovat merkittävästi alipaineisia tai rakenteen ilmanpitävyys on erittäin riskialtis. ▪ Sisäilman laadun toimenpiderajat ylittyvät ja sisäilman epäpuhtauslähde on todettu ja paikallistettu.

Kuva 11. Mikrobivaurion aiheuttamille sisäilman epäpuhtauksille altistumisen todennäköisyyden arviointi. [Valvira, 2020]

7 Case-tutkimus

Tapaustutkimuskohteena on kiinteistö Helsingin ydinkeskustassa. Rakennus on suojeltu asemakaavassa SR-merkinnällä ja lisäksi rakennus on museoviraston suojelema kohde. Peruskorjauskohteissa on tarkoituksen mukaista selvittää kohteesta löytyvät riskirakenteet, olemassa olevat kosteus- ja mikrobivauriot, olemassa olevien rakenteiden kosteus- ja lämpötekniinen toimivuus. Kohteessa on haluttu selvittää mahdollisia sisäilmariskejä aiheuttavat puutteet ja vauriot, jotka korjataan peruskorjauksen yhteydessä.

Kohteen laajuuden vuoksi sen suorittaminen on vaiheistettu kahteen osaan. Kohteen peruskorjauksen ensimmäinen vaihe on jo suoritettu ja se on luovutettu takaisin käyttäjälle. 1-vaiheessa peruskorjattiin rakennuksen vanha puoli eli 1800-luvun alkupuolella valmistunut osa. Nyt on menossa rakennuksen peruskorjauksen toinen vaihe, johon tässä työssä keskitytään. Tähän 2-vaiheeseen kuuluu rakennuksen ns. uusi puoli eli myöhemmin alkuperäiseen rakennukseen lisätty osa; rakennusta laajennettiin noin sata vuotta alkuperäisen osan valmistumisen jälkeen. Rakennuksen edellinen peruskorjaus on suoritettu useassa osassa 25–35 vuotta sitten. Kohteen 2-vaiheen laajuus on noin 10 300 brm².

7.1 Lähtötiedot

Kohteesta löytyi paljon vanhoja rakenne- ja arkkitehtisuunnitelmia. Alkuperäisistä suunnitelmista käytettävissä oli kuitenkin enää vain alkuperäiset arkkitehdin tasokuvat ja rakennesuunnitelmista tasopiirustukset sekä palkkikuvia. Vuosien varrella tehdyistä muutoksista ja edellisestä peruskorjauksesta oli myös käytettävissä suunnitelmia. Lisäksi käytössä oli rakennuksesta tehty rakennushistoriallinen selvitys, joka oli tehty ennen nyt käynnissä olevaa peruskorjausta.

Kohteeseen on tehty myös julkisivujen ja ikkunoiden kuntotutkimuksia peruskorjauksen 1-vaiheessa, joita voitiin myös hyödyntää tässä kuntotutkimuksessa. Lisäksi voitiin hyödyntää soveltuvilta osin 1-vaiheen rakenneavauksia.

7.2 Havainnot

Kohteen vanhojen suunnitelmien pohjalta tehtiin riskirakenneselvitys. Rakenneselvityksen jälkeen kohteessa järjestettyjen katselmointien lisäksi kohteessa tehtiin rakenneavauksia yhteensä 18 kappaletta alapohja-, välipohja- ja yläpohjarakenteisiin.

- Kohteessa havaitut riskirakenteet
 - Maanpaineeseinissä ei ole kapillaarikatkoja. Kapillaarisesta vedennousta ei kuitenkaan havaittu viitteitä katselmointien yhteydessä.

- Alkuperäisten tiiliruukkusalaojien toiminnassa on osittain puutteita, salaojien on todettu kuvausten perusteella olevan osittain tukossa. Salaojista johtuvia ongelmia ei havaittu silmämääräisissä tarkasteluissa, alapohjat ovat silmin nähden kuivia, eikä niissä havaittu halkeamia. Alapohjien ja niiden alapuolisten täyttöjen kunto voidaan varmistaa, kun tehdään roilouksia uusille putkille. Huoltotunnelissa (kallioon louhittua tilaa) havaittiin rakenteille tyypillisiä kosteusrasituksia.
- Alapohjassa on osittain korkkieristettä kahden tb-laatan välissä, korkin ei kuitenkaan todettu aiheuttavan riskejä tilojen käyttäjille, sillä korkkieriste on asennettu bitumisivelyn päälle, jolloin siihen ei kohdistu alapuolelta kosteusrasitusta. Alapohjissa ei myöskään havaittu merkittäviä halkeamia, eikä niissä ollut viitteitä kosteusvaurioista. Kohteeseen lisätään peruskorjauksen yhteydessä olosuhdehallittu tila, jonka suhteellinen ilmankosteus tullaan pitämään korkeammalla kuin normaalikäytössä olevassa tilassa ja lämpötila puolestaan tullaan pitämään matalampana, mikä aiheuttaa rakenteisiin kosteusrasitusta. Olosuhdehallitun tilan alueella tullaan kiinnittämään erityisesti huomiota rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimivuuteen ja tila tullaan toteuttamaan huone huoneessa-periaatteella. Mahdollisen riskin aiheuttaa tilan lattia, jos katsotaan, että kosteusrasitus kasvaa lattian osalla.
- Alapohjarakenne sisäänkäynnin katossa, jossa on orgaaninen turvetäyttö alalaattapalkiston päällä. Rakenteessa ei ole höyrynsulkua, jolloin kosteus pääsee kulkeutumaan rakenteeseen sääolosuhteista riippuen molemmista suunnista. Kesällä kosteusrasitus kohdistuu ulkoapäin ja muun ajan vuodesta kosteusrasitus kohdistuu sisältä ulospäin.

Ulkoseinät

- Yhden tilan osalla havaittiin ulkoseinien ja porrashuoneen seinien osalla halkeamia. Seinien halkeamia seurataan ja ne täytetään molemmin puolin ja pintakäsittelyt uusitaan.

- Ulkoseinien rappauksissa on halkeamia ja kopoa, joiden kautta pääsee epäpuhtauksia ja kosteutta ulkoseinärakenteiden sisään.
- Patterisyvennyksissä on korkkieristeet, joiden päällä 30 mm:n tasoitekerros. Eristeen on todettu olevan rakenteen sisäpinnassa, jolloin eristeet pysyvät kuivina, kun kosteuden tiivistymistä rakennekerrokseen ei tapahdu.
- Ikkunaliittymissä on epätiiveyskohtia, pellityksissä. Tiivistykset ovat pääosin alkuperäisiä pellavarive -tiivistyksiä, joissa on todettu viitteitä mikrobivaurioista peruskorjauksen 1-vaiheessa.
- Sokkelin massiivigraniittiverhoilun saumauksissa on halkeamia ja reikiä.

Välipohjat

- Ylälaatta välipohjissa on kahden betonilaatan välissä hiekkatäyttö. Aula-tiloissa pintarakenne on suojeltu.
- Kaksoislaattavälipohjissa on yläpinnassa kahden betonilaatan välissä hiekkatäyttö. Ontelotilassa on pääosin muottilaudat ja orgaaninen täyttö. Orgaanisen täytön materiaali vaihtelee; sammal, turve, hiekka ja rakennusjäte.
- Alalaattavälipohjien osalla osittain myös ontelotilassa on muottilaudat ja orgaaninen täyttö. Orgaanisen täytön materiaali vaihtelee; sammal, turve, hiekka ja rakennusjäte.
- Märkätilojen kohdilla on lisätty vuosikymmenten aikana erilaisia rakennekerroksia vanhojen rakenteiden päälle. Vanhojen linoleumlattioiden päälle on lisätty esimerkiksi kovalevy ja kevytsorabetonikerroksia. Linoleumin pohjana oleva juuttikangas on herkkä mikrobivaurioille kosteudessaan.

- Teräsbetonirakenteisia IV-kanavia alalaatan tasolla sekä välipohjien päälle rakennettuja kotelorakenteita, joista on ilmayhteys säleikköjen kautta.
- Nykyinen alakatto on kiinnitetty alalaattoihin, kiinnikkeitä on noin 1 kpl/m². Poistettujen kiinnikkeiden kohdalla on alalaatassa reikiä ja alalaatassa on halkeamia.

Yläpohjat

- Rakenneaineisia muurattuja hormeja, joiden tiiveys vaihtelee ja puhtaudessa on puutteita.
- Rästäille aiheutuu kylmäsiltoja, kun julkisivumuuraus nousee yläpohjan lämmöneristeen yläpuolelle.
- Vesikate on ilman aluskatetta.
- Peltikaton alapinta kondensoi ja aiheuttaa kosteusrasitusta yläpohjan rakenteille. Nykyiset mineraalivillaeristeet eivät pysty sitomaan kosteutta, vaan vesi jää vapaasti mikrobien hyödynnettäväksi.
- Yläpohjaan on jäänyt vanhoista turve- ja korkkieristeistä jäämiä. Nämä alkuperäisten täyttöjen jäämät aiheuttavat mikrobilähteen, vanhojen kosteusvaurioiden vuoksi.
- Yläpohjan sisäkuorena toimii vanha alalaatta, jossa on epätiivittä läpivientejä, reikiä ja halkeamia, eikä se näin ollen ole ilmatiivis. Sisäilman kosteus pääsee yläpohjan rakenteisiin, mikä aiheuttaa todennäköisesti suuremman kosteusvaurioriskin yläpohjaan kuin yläpohjan epäpuhtaudet alakattotilojen kautta huonetiloihin. Savupiippuvaikutus aiheuttaa ylimmän kerroksen tiloihin ylipaineisuutta, joka vähentää epäpuhtauksien pääsyä huoneilmaan.

Märkätilat

- Nykyiset vedeneristeet on lisätty 1980-luvun remontissa ja ovat nyt käyttökänsä päässä. 1980-luvun vedeneristeet ovat olleet paljon heikompia kosteussulkuja kuin nykyajan vedeneristeet. Alkuperäisinä vedeneristeinä on ollut kahden betonilaatan välissä oleva bitumisively tai -kermi.

LVI-järjestelmät

- Vesi-, vieri- ja lämpöputkia on kuljetettu rakenteissa. Käyttäjän tiedon mukaan rakennuksessa on ollut putkivuotoja, jolloin vuotovesi on päässyt esimerkiksi kaksoislaattapalkistojen ontelotiloihin.
- Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä on todennäköisesti epätasapainossa. Järjestelmiä saattaa olla useampia rinnakkain. Väliseinien, välipohjien, ulkoseinien ja yläpohjan epätiivyyden vuoksi huoneilmaan pääsee epäpuhtauksia ulkoilmasta sekä rakenteista, eikä asiaa oletettavasti ole huomioitu säädöissä. Luonnollinen savupiippuilmio korostaa ilmiöitä; alempien kerrosten voidaan olettaa olevan alipaineisia ja ylempien kerrosten ylipaineisia.
- Rakenneaineisten kanavien ja kotelotilojen puhtaudelle ei ole ollut vaatimuksia vielä edellisen peruskorjauksen aikana.

7.3 Materiaalianalyysit

Rakenneavauksista otettujen materiaalinäytteiden perusteella 31 % näytteistä sisälsi mikrobeja runsaasti tai erittäin runsaasti. 38 % prosenttia otetuista näytteistä sisälsi kohtalaisesti mikrobeja ja 31 % näytteistä sisälsi mikrobeja niukasti tai ei ollenkaan. 1-vaiheessa otetuista näytteistä 27 % sisälsi mikrobeja runsaasti tai erittäin runsaasti, 15 % prosenttia näytteistä sisälsi mikrobeja kohtalaisesti. 1-vaiheessa niukasti tai ei ollenkaan mikrobeja sisälsi näytteistä 59 %.

Suurimmassa osassa näytteitä havaittiin aktinobakteereja, joita on väistämättä luonnonmateriaaleissa. Aktinobakteerit viihtyvät myös paljalla betonipinnoilla, kun karbonatisoituminen laskee sen pH-arvoa. Löydettyjen mikrobien joukossa oli mm. *A. usti*, *A. versicolor*, *Chaetomium*, *Aureobasidium*, joilla on todettu aktinobakteerien ohella olevan terveyshaittaa mahdollistavia ominaisuuksia. Pääasiallisesti näytteissä löydettiin kohoneita arvoja *Penicillium*-homeesta, mikä myös viittaa mikrobivaurioon.

Materiaalianalyysien tuloksia tulkittaessa tulee ottaa lisäksi huomioon, että materiaalinäytteitä on otettu vain osasta avauksia. Näytteitä ei ole otettu materiaaleista, joiden on havaittu jo silmämääräisesti olevan tummuneita ja lahoja.

7.4 Riskiarvio

Edeltävien vaiheiden perusteella voidaan antaa riskiarvio altistumisen todennäköisyydestä ja vakavuudesta rakennuksessa Valviran asumisterveysasetusohjeen mukaisesti.

Ensimmäiseksi arvioidaan mikrobivaurioiden laajuus. Eritasoisia mikrobivaurioita löydettiin rakennuksesta useista eri rakenteista; ikkunoiden tiivistyksistä, välipohjien täytöissä oli laajoja mikrobivaurioita, yläpohjassa on vähintään alueellisia mikrobivaurioita. Näin ollen mikrobivaurioiden voidaan todeta olevan yhteisvaikutukseltaan laajoja.

Epäpuhtauslähteiden reitit huoneilmaan ovat ilmeisiä. Ilmanvuotoreitit ovat säännöllisiä välipohjissa, yläpohjassa ja ikkunoiden osalla. Julkisivujen ilmanvuotoreitit massiivimuurauksen osalla ovat vähäisempiä, koska merkittävät halkeamat ovat rajoittuneet yhdelle alueelle. Tilat ovat ainakin alemmissa kerroksissa todennäköisesti alipaineisia. Epäpuhtauslähteenä toimivat lisäksi rakenneaineiset ilmanvaihtokanavat ja kotelorakenteiset lattian korotukset, joiden on todettu olevan likaisia.

Altistumisen sisäilman epäpuhtauksille katsotaan olevan todennäköinen. Välipohjissa on laaja-alaisiakin mikrobivaurioita, ja niitä on useissa eri rakenteissa. Muiden rakenteiden osalla vauriot ovat pienempialaisia. Ilmanvuotoreitit vaurioituneista rakenteista sisäilmaan ovat säännöllisiä. Ilmanvaihtokanavien ja koteloiden likaisuudesta ei ole aistinvaraisen havainnon lisäksi muuta näyttöä, joten sen todetaan olevan todennäköistä.

Edellä mainittujen päätelmien pohjalta voidaan todeta, että haitallinen altistumisolosuhde rakennuksessa on todennäköinen. Vaikka tilojen käyttäjät eivät ole tuoneet esille tilojen käytöstä aiheutuvaa oireilua, tulee korjaustoimenpiteisiin ryhtyä ilman tarpeetonta viivettä, sillä tilojen käytön voidaan katsoa aiheuttavan käyttäjille terveydellistä haittaa.

8 Laadunvalvonnan kehittäminen

Yrityksen laatujärjestelmässä voidaan antaa julki yrityksen menettelytavat projekteissa. Joissain hankkeissa tilaaja tai rakennuttaja voi kuitenkin pyytää projektikohtaista laatusuunnitelmaa. [Torikka, 1999]

Ensimmäinen askel kohti sisäilmateknisten kuntotutkimusten laadunvalvontaa on ollut laatia yritykselle tämä toimintaohje kyseisiä kuntotutkimuksia varten. Toimintamallia olisi mahdollista kehittää tulevaisuudessa myös entistä kattavammaksi ohjenuoraksi kosteus- ja mikrobivaurioituneiden kohteiden korjaustöiden valvontaa varten.

Tärkeä osa sisäilmateknisten kuntotutkimusten laadunvalvontaa on käytettyjen kuntotutkimuksen tukimenetelmien valintaperusteiden ja hyötyjen ymmärtäminen. Tukimenetelmien käytön lisäämisen mahdollisuutta tulisi selvittää. Näihin voisivat kuulua paine-eromittaukset ja pintakosteusmittaukset entistä useammassa kohteissa. Rakenneavausten tutkimussuunnitelmien toteutuskäytäntöjä sisäilmakohteissa voitaisiin yhtenäistää entisestään. Merkittävä osa tutkimussuunnitelmaa on materiaalinäytteiden kerääminen johdonmukaisesti, yhtenäisen mallin mukaisesti.

Yrityksen sisäilmateknisten kuntotutkimusten toimintasuunnitelmassa määriteltäviä asioita voisivat olla; avausten kattavuus, näytteiden määrä, sertifioitujen laboratorioden käyttäminen, tutkimustulosten aukikirjoitusmenetelmät, eli jo käytössä olleet malliplaanit, ja lisäksi sisäilmatekninen kuntotutkimusraportti sekä kohteessa käytettävä katselmoinnin tarkistuslista.

Merkkiainekokein ja rakennuksen tiiveysmittauksin voidaan tukea korjaussuunnittelua. Edellä mainittujen tutkimusten avulla voitaisiin valvoa erilaisten epäpuhtauslähteiden

päätymistä huoneilmaan sekä myös mahdollisten epäpuhtauslähteiden kapselointien ja tiivistyskorjausten onnistumista.

Ensimmäinen seurantaväline olisi uv-valo, jolla voidaan tehdä tarkistukset purkupinnoille. Uv-valolla voidaan tarkistaa puhdistuksen taso, johon purkuvaiheessa on päästy. Uv-valolla pystytään havaitsemaan pinnoille puhdistuksen jälkeen jäänyt orgaaninen aines eli esimerkiksi muottilautojen ja orgaanisten täyttömateriaalien jäänteet. Uv-valo ei kuitenkaan kerro, kuinka puhtaita pinnat ovat mikrobilähteistä.

Seuraava seurannan väline olisivat pintasively- ja teippinäytteet purkupinnoilta, joilla voidaan todentaa, kuinka puhtaksi pinnat on saatu mikrobilähteistä. Yrityksellä on ollut jo ohjeistus näiden näytteiden kattavuudesta sekä siitä, miltä pinnoilta näitä näytteitä vaaditaan. Lisäksi tulisi selvittää tehokas toimintamalli, kuka näytteenoton ja näytteiden analysoinnin toteuttaa, ja kuinka analyysien tuloksia voidaan parhaiten valvoa. Ulkoisen toimijan olisi toimitettava puhtausnäytteiden tulokset ja mahdollisesti koonti katselmuksesta rakennesuunnittelijalle, tai rakennesuunnittelijan edustajan tulisi vähintään voida valvoa katselmusten tuloksia.

Ilmanäytteiden käytön mahdollisuutta tulisi tarkastella sellaisten tapausten jälkiseurannan yhteydessä, joissa on todettu huoneilmassa viitteitä epätavallisista mikrobilähteistä. Ilmanäytteiden kerääminen olisi erityisen perusteltua tapauksissa, joissa on tullut tietoon että tilojen käyttäjillä on todettu viranomaisten tai lääkärin taholta oireita.

9 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa ohjeistus mikrobi- ja kosteusvaurioituneen kohteen riskien arvioinnista ja altistumisen todennäköisyydestä. Ohjeistuksen pohjalta piti pystyä määrittelemään korjauslaajuus ja korjaustavat.

Opinnäytetyössä perehdyttiin mikrobiologian perusteisiin ja selvitettiin huoneilman ja materiaalinäytteiden toimenpiderajat. Työssä vertailtiin kosteus- sekä mikrobivaurioituneiden rakennusten kuntotutkimusmenetelmiä, joilla määritetään toimenpiderajan ylittymi-

nen osana kuntotutkimusta. Yhtenä osa-alueena oli tyypillisimpien riskirakenteiden läpikäynti, ottaen huomioon niiden kosteustekninen toimivuus. Työssä käytiin läpi myös koko rakennuksen kosteusteknistä toimivuutta ja siihen kohdistuvia kosteuskuormia.

Tapaustutkimuskohteesta laadittiin kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimusraportti. Raportin laatimisessa käytettiin apuna aiemmin teoriaosiota laadittaessa kerättyä tietämystä kuntotutkimuksen toteutuksesta, mikrobianalyysien tulosten tulkinnasta ja riskianalyysin laadinnasta. Kuntotutkimuksen yhteenvedossa lueteltiin suositeltavat korjaustoimenpiteet.

Toiminnan kehittämisen kannalta ja kuntotutkijoiden toimintatapojen yhtenäistämisen vuoksi tulisi määritellä tarkemmin, kuinka kattavat materiaalinäytteet halutaan eli kuinka paljon näytteitä tulee ottaa, jotta saadaan tarpeeksi kattava otanta riskiarviota varten. Näytteiden otossa tulisi ottaa myös huomioon vertailunäytteiden merkitys.

Materiaalinäytteiden keräämisessä tulisi näytteitä ottaa kattavammin rakennekokonaisuuksista ja eri aikakausien materiaaleista, millä voitaisiin parantaa tulosten tulkintaa. Materiaalinäytteiden otantaa laajentamalla voitaisiin pyrkiä vaikuttamaan ennakkoluuloihin orgaanisia rakennusmateriaaleja kohtaan.

Tapaustutkimuskohteessa ei suoritettu paine-eromittauksia kuntotutkimuksen yhteydessä. Tapauksissa, joissa halutaan selvittää käyttäjien altistumista aistivaraisia tutkimuksia tarkemmin, olisi tärkeää tutkia tilojen painesuhteita paine-eromittauksin. Paineeromittauksen ansiosta olisi mahdollista todeta pahoin mikrobivaurioituneiden rakenteiden kohdalla, etteivät ne ole suurella todennäköisyydellä toimineet epäpuhtauslähteenä tilojen huoneilmalle, jos voidaan todeta, että tilat ovat olleet ylipaineisia. Jos tilat sen sijaan ovat alipaineisia, mikä sekin on hyvin yleistä erityisesti kohteissa, joissa on käytössä painovoimainen ilmanvaihto, voidaan usein todeta, että alipaineinen tila hyvin todennäköisesti vetää ilmavirtojen mukana epätiiveyskohtien kautta epäpuhtauksia suoraan huoneilmaan.

Merkkiainekokeiden ja rakennuksen tiiveysmittausten hyötyjä tulisi käyttää enemmän osana korjaustöiden valvontatehtäviä ja niiden toteutus voisi olla ehtona kohteen luovuttamiselle ja lopputarkastuksen läpisaattamiselle. Tapaustutkimuskohteessa ulkovaipan ilmantiiveysmittaukset oli asetettu RTS-sertifikaatin mukaisissa vaatimuksissa.

10 Yhteenveto

Tutkimus syvensi opinnäytetyön tekijän ymmärrystä rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta, mikrobiologian peruseräiteistä sekä materiaalinäyteanalyysien tulkinnasta ja aihetta määrittävistä toimenpiderajoista. Toimenpiderajojen määrittelyn lisäksi sitä seuraavien toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnissa tulee ymmärtää huoneilman epäpuhtauksien mahdolliset haittavaikutukset käyttäjien terveydelle ja niiden vakavuus.

Työllä myös saavutettiin kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen malli, jonka avulla voidaan antaa riskiarvio huoneilman epäpuhtauslähteille altistumisesta ja sen laajuudesta, mitä työllä haettiin. Mikrobit ja rakennuksensisäilman terveellisyyden arviointi korjausrakentamisessa on kuitenkin osa-alueena todella laaja, ja aiheeseen tulee syventyä jatkossa lisää, millä parannetaan tutkimustulosten tulkintaa. Työstä saadaan kuitenkin jo hyvä mallipohja kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten suorittamiselle. Sisäilmatekniseen kuntotutkimukseen kuuluu mikrobien ohella laaja kirjo muita haitta-aineita, joiden selvitys voidaan helposti liittää mikrobien aiheuttamien epäpuhtauslähteiden rinnalle. Tähän osa-alueeseen opinnäytetyön tekijän yrityksessä löytyy jo kokemusta. Aiheen ollessa hyvin laaja voidaan todeta, että jatkotutkimuksissa voitaisiin perehtyä muun muassa mikrobivaurioiden rakenteiden puhdistustapojen vertailuun ja puhdistustyön laadunvalvonnan kehittämiseen. Aihealueen laajuuden vuoksi tässä työssä ei keskitytty mikrobivaurioiden korjaustöiden suunnitteluun, toteutukseen eikä -valvontaan, vaikka se alun perin oli toiveena.

Jatkossa rakennuksen painesuhteet tulisi ottaa paremmin huomioon jo tutkimusvaiheessa. Painesuhteiden ymmärtäminen ja niiden selvittäminen ja vaikutusten määrittely perustui tapaustutkimuskohteessa ainoastaan aistinvaraisiin huomioihin. Tapaustutkimuskohteen peruskorjauksessa uusitaan kaikki LVISA-järjestelmät ja niille tullaan tekemään Rakennusvalvonnan ja RTS-sertifikaatin mukaiset loppukoestukset.

Työn tekijän näkemys on, että työn avulla on saavutettu oikea suunta, joka edesauttaa sisäilmakorjauksiin liittyvien pelkojen karsimista. Tiedon lisäämistä kaikkien rakentamisen osapuolten keskuudessa tulisi lisätä niin kuntotutkijoiden, suunnittelijoiden kuin työntekijöidenkin keskuudessa.

Lähteet

Duodecim Terveyskirjasto. Kustannus Oy Duodecim. Verkkodokumentti. <<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00561> 30.3.2021 >. Luettu 12.3.2022.

Eduskunnan päätös. Terveysturvallisuuslaki 763/1994. Verkkodokumentti. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763#L7P27>>. Luettu 05.01.2022.

Immonen J, Meklin T, Taskinen T, Nevalainen A, Korppi M. 2001. Skin prick test findings in students from moisture and mould damaged schools: a 3-year follow-up study Paediatr Allergy Immunol. s. 87-94.

Merkiö E, Malinen M, Neuvonen P, Sinkkilä J, Tuunanen A-M, Saarenpää J. 1989. Kerrostalot 1940-1960. Rakennustietosäätiö, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen rakennuslaboratorio ja Rakennuskirja Oy.

Pessi Anna-Mari ja Jalkanen Kaisa. Laboratorio-opas, Mikrobiologisten asumisterveys-tutkimuksien näytteenotto ja analyysimenetelmät. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy. 2018.

Putus, Tuula. Home ja terveys, Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen sekä terveyshaitat. Suomen ympäristö- ja terveysalan kustannus Oy. 2017. s.56, 58, 80.

Puu-lehden erikoisnumero. Marraskuu 2019. Mitä puuta pihalle. Puuinfo Oy. Verkkodokumentti. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Puutava-raopas_2019_netti.pdf>. Luettu 2022.

Rakennustietosäätiö RTS 1999. RT80-10712, Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Joulukuu 1999. Verkkodokumentti. < <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/resource/juha/content/6560#page=1>>. Luettu 28.4.2019.

Raksystems Oy. Verkkodokumentti. < <https://raksystems.fi/talotohtori/valesokkeli/> >. Luettu 12.01.2022.

RIL ry/ Airaksinen Miimu, Viitanen Hannu, Valjus Juha, Pekkala Vilho, Laaksonen Ensio, Siikala Juhani, Siikanen Unto, Seppää Pekka, ja Åström Gunnar. RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011.

RIL ry. RIL 250-2020 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2020. s. 121.

RIL ry. RIL255-1-2014, Rakennusfysiikka I, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014.

Riutanheimo, Janne. Voiko tiivistyskorjaus onnistua? Alakoulun kuntotutkimuksen ja sisäilmakorjauksen arviointi. Opinnäytetyö, Itä-Suomen yliopisto. 2018. s.7, 15. Verkkodokumentti. <http://www.ikaote.fi/documents/10975/11755/181025_final_riutanheimo_julkaisu.pdf/29339694-6490-4540-85c5-86228bd2765f>. Luettu 7.5.2019.

Ruokavirasto. Yleistä mikrobeista. Verkkodokumentti. <<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/ruokamyrkytykset/yleista-mikrobeista/>>. Luettu 02.02.2022.

Salkinoja-Salonen, Mirja toim.. Mikrobiologian perusteita. Gummerus Kirjapaino Oy. 2002. s. 533-557

Sisäilmayhdistys ry, Terveelliset tilat. 2008a. Verkkodokumentti. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Rakennustekniset-tutkimukset/Ilmavirtaus-ja-paine-ero>>. Luettu 13.02.2022.

Sisäilmayhdistys ry, Terveelliset tilat. 2008b. Verkkodokumentti. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Mikrobitutkimukset/Indikaattorit>>. Luettu 8.5.2019.

Sisäilmayhdistys ry, terveelliset tilat. 2008c. Verkkodokumentti. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Katsaus-mikrobeihin>>. Luettu 8.5.2019.

Sisäilmayhdistys ry, terveelliset tilat. 2008d. Verkkodokumentti. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>>. Luettu 17.12.2021.

Sisäilmayhdistys ry, terveelliset tilat. 2008e. Verkkodokumentti. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Kosteusvaurioitumisen-yleisperiaate>>. Luettu 16.12.2021.

Sisäilmayhdistys ry, terveelliset tilat. 2008f. Verkkodokumentti. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Valipohja-ja-valiseinarakenteet>>. Luettu 17.12.2021.

Sisäilmayhdistys ry, terveelliset tilat. 2008g. Verkkodokumentti. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Mikrobitutkimukset/Analysointi-ja-tulkinta>>. Luettu 03.01.2022.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysasetus 545/2015. 2015. 2§, 20§.

THL Terveiden- ja hyvinvoinninlaitos. 2021. Verkkodokumentti. <<https://blogi.thl.fi/sisailman-toksisuuden-testaus-ei-ratkaise-sisailmaongelmia/>>. Luettu 12.12.2021.

Tiede-lehti, Sanoma Media Finland Oy. Verkkodokumentti. <https://www.tiede.fi/artikkelijutut/artikkelit/mika_mullassa_tuoksuu>. Luettu 29.4.2022.

Torikka Kirsi, Hyypöläinen Tarja, Mattila Jussi, Lindberg Ralf, Tampereen teknillinen korkeakoulu. Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. s. 22-24, 65-78. 11.6.1999.

TTL/Työterveyslaitos. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhditukseen kosteus- ja homevauriokorjauksen jälkeen.

Valtioneuvoston kanslia. Terveet tilat 2028. Verkkodokumentti. <<https://tilatjaterveys.fi/toimintamalli/rakentaminen-ja-korjaaminen>>. Luettu 13.2.2022.

Valtioneuvoston kanslia. Terveet tilat 2028. <https://tilatjaterveys.fi/toimintamalli/rakentaminen-ja-korjaaminen/rakennushankkeen-vaiheet/tarveselvitys>. Luettu 15.4.2022.

Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. s. 5-6, 9, 14-17. 8/2016.

Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa IV. Verkkodokumentti. <<https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje+osa+IV.pdf/cdfaaa39-d2e5-4bd6-b9e9-6d9c0f60bff6>>. Luettu 8.5.2019.

Valvira. Ohje asunnon terveyshaitan selvittämiseen, Dnro V/35407/2020. s.21-24, 38-40. 16.10.2020.

Valvira. Verkkodokumentti. 2020. <<https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveyden-suojelu/asumisterveys/mikrobit>>. Luettu 19.03.2022.

Vinha J.. 2007. Wufi Pro 4.2:n materiaalikirjasto, kivivillan arvot.

VTT–TTY homemallin toimintaperiaatteet ja käyttö rakenteiden kosteusteknisen toiminnan tarkasteluissa. Rakennusfysiikka 2013, Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, Seminaarijulkaisu 3, Tampere, 22.–24.10., s. 67-76. Verkkodokumentti. <<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>>. Luettu 30.4.2022.

Ympäristöministeriö. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus-opas. 2016. Hansaprint Oy. Verkkodokumentti. <<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4626-8>>. Luettu 05.01.2021.

LIITE 1, Rakennusosakohtainen tarkistuslista

Perustukset, maanvastaiset alapohja- ja seinärakenteet

Maanvastaisen rakenteen tyypistä riippumattomat tarkastukset:

- Mikä on lattiapinnan korkeusasema ympäröivään maanpintaan ja pohjavedenpintaan nähden?
- Onko rakennuksessa salaojitusta? Onko salaojaverkosto suunniteltu oikein, katkaako se koko kiinteistön? Toimiiko salaojitus?
- Perustustapa? Alapohjan rakennetyyppi?
- Onko ulkotilaan rajoittuvia alapohjia, kuten porttikongit tai katokset?
- Mikä on perusmaan ja täyttömaan laatu?
- Onko maanvastaisissa rakenteissa kapillaarikatkerros? Tässä tapauksessa sepelitäyttö tai bitumi/kermikaista?
- Millainen kosteusrasitus rakenteeseen kohdistuu?
- Onko rakenteiden liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin (ulkoseinät ja väliseinät) toteutettu ilmatiiviisti? Ovatko alapohjalaatan läpi asennetut läpiviennit ilmatiiviitä?

Maanvastaiset alapohjarakenteet:

- Onko alapohjarakenteen pintamateriaalina kosteusrasitusta kestävä lattiapäällyste tai pinnoite? Mikä on lattiapäällysteeseen kohdistuva todellinen kosteusrasitus?
- Onko lattiapäällysteissä havaittavissa kosteusrasitusta, kuten pinnoitteiden kupruilua tai irtoamista alustarakenteesta?
- Onko rakenteessa kapillaarikatkona ja höyrynsulkuna toimiva muovi tai bitumisively? Bitumisively voi olla kahden betonilaatan välissä.
- Onko alapohjan betonilaatan alla lämmöneriste? Onko tietoa kuinka suurelle alueelle lämmöneriste on asennettu?
- Onko alapohjarakenne kerroksellinen ns. kaksoislaattarakenne? Pintabetonilaatan alla voi olla täyttökerros esim. koksikuonaa, kevytsorabetonia tai korkkia. Onko täyttökerrokseen asennettu vesi-, viemäri- tai lämpöputkia, tiedetäänkö niiden kunto? Onko kerrokseen päässyt vuotovesiä? Onko täyttömateriaali kosteus- ja/tai mikrobivaurioitunut?
- Onko alapohjarakenteessa itsessään tai rakenteiden liitoskohdissa ilmavuoto-kohtia? Onko alapohjan betonilaatassa halkeamia? Miten alapohjan liitos ympäröiviin rakenteisiin on toteutettu?

- Onko alapohjarakenteissa putkikanaaleja tai onko rakennuksessa muita kanaali- tai kuilurakenteita? Tapahtuuko näiden kautta hallitsemattomia ilmavirtauksia? Onko kanaaleissa muottilautoja, rakennusjätettä, haitallisia aineita tai kosteus- ja mikrobivaurioita?

Maanvastaiset seinärakenteet

- Miten maanvastaisten seinärakenteiden ja perustusten edellyttämä ulkopuolinen vedeneristys ja kapillaarikatko on toteutettu? Toimiiko vedeneristys?
- Onko sisäpinnoissa havaittavissa kosteusrasitusta, kuten pinnoitteiden kupruilua, suolakiteytyimiä, mikrobikasvua tai siihen viittaavaa hajua?
- Mitkä ovat maanvastaisen seinärakenteen pintarakenteet? Onko sisäpuolella kosteusvaurioituvia materiaaleja, kuten puukoolaus, sementtilastuvillalevyä tai mineraalivillaa? Vai ovatko pintamateriaalit kosteusrasitusta kestäviä ja vesihöyryä hyvin läpäiseviä?
- Onko maanvastaisessa seinärakenteessa sisätilojen puolella veden- tai kosteudeneristys? Vanhemmassa rakennuskannassa on yleisesti käytetty bitumisiveilyä, joka saattaa sisältää asbestia tai haitallisia määriä PAH-yhdisteitä. Onko tiiloissa kreosoottiin viittaavaa hajua?
- Toimiiko maanvastainen seinärakenne lämpö- ja kosteusteknisesti oikein?

Ulkoseinät

- Ovatko ikkunapellitysten kallistukset riittävät ja onko ikkunapellitykset liitetty ympäröiviin rakenneosiin (ikkunarakenteet ja julkisivuverhous) tiiviisti esimerkiksi elastisella tiivistysmassalla?
- Onko julkisivuissa esim. katolta valuvan veden jättämiä jälkiä tai vaurioita?
- Onko rakennuksen seinän yläosassa räystäspellityksen alla vastapelti eli ns. myrskypelti?
- Muodostavatko runkorakenteet kylmäsiltoja?
- Toimiiko ulkoseinärakenne lämpö- ja kosteusteknisesti oikein?
- Onko rakenteessa ilmansulku? Ovatko liittymät liittyviin rakenteisiin tiiviitä? Sisäpinnan rappaus ja sen tiiveys välipohjien kohdalla?
- Onko ulkoseinärakenteiden sisäpinnoissa merkkejä ilmavuodoista tai kylmäsiltoista? Tummumia, pölyä, halkeamia? Muuraussaumojen tiiveys?
- Onko ulkoseinärakenteiden sisäpinnoissa merkkejä kosteusrasituksesta? maali-pinnan kupruilua, rappauksessa kopoa, kosteus koholla pintakosteusmittarilla mitattuna, aistinvaraisesti havaittavaa mikrobikasvustoa?
- Onko ikkunalasin sisäpintaan tiivistynyt kosteutta? Mihin kosteus tiivistyy?

- uloimman lasin ulkopintaan (hyvin lämpöä eristävissä ikkunoissa, otollisissa sääolosuhteissa) Tämä ei aiheuta ongelmia!
- uloimman lasin sisäpintaan (sisäilman kosteus pääsee vuotokohtien kautta lasien väliin ja tiivistyy kylmään pintaan, tämä kertoo huonetilan ylipaineisuudesta)
- sisemmän lasin sisäpintaan (sisätiloissa on poikkeuksellisen kosteaa, ilmanvaihto on riittämätöntä tai ikkunan lämmöneristävyys on huono)
- eristyslaselementin sisälle (asennusvirhe tai valmistusvirhe)

Yläpohja- ja vesikattorakenteet

Katemateriaalista riippumattomat tarkastukset

- Vesikatteen materiaali, milloin se on asennettu? Jäljellä olevan käyttöiän arviointi, jos mahdollista? Onko vesikate ehjä?
- Onko kate vedenpitävä? Onko katemateriaali kattokaltevuudelle sopiva?
- Ovatko läpiviennit vesikatteesta vedenpitäviä? Ovatko ylösnostot ja liittymät toteutettu vedenpitävästi? Lammikoituuko vesikatolle vettä?
- Onko vesikatto- ja yläpohjarakenteella riittävästi kuivumiskykyä? Miten yläpohjan tuuletus on toteutettu? Toimiiko tuuletus? Onko se riittävä?
- Onko vesikaton kantavien rakenteiden pinnoilla kosteusvaurioita? tai puurakenteissa lahoa nähtävissä?
- Onko yläpohjarakenteen lämmöneristävyys riittävä? Mitä materiaalia lämmöneriste on? Onko se kuivaa ja onko sen päällä nähtävissä ulkoilmasta kulkeutunutta pölyä ja likaa? Huom. lämmöneristävyyttä arvioidaan rakentamisaikakaisten määräysten mukaan sekä kosteusteknisen toimivuuden mukaan.
- Onko yläpohjassa eristämättömiä ilmanvaihtokanavia tai muita metallipintoja, joihin ilmankosteus voi kondensoitua? Peltikatteen alapinta.
- Onko IV-järjestelmän kanavat ja tuuletusputket johdettu vesikaton yläpuolelle?
- Onko yläpohjassa tuulen kuljettamia roskia? Tämä viittaa yleensä siihen, että yläpohjaan pääsee myös lunta ja vettä.
- Onko yläpohjan sisäkuori ilmatiivis? ovatko liittymät liittyviin rakenteisiin ilmatiiviitä? Ovatko läpiviennit ilmatiiviitä? Onko sisäkuoressa halkeamia tai muita kiinnikkeiden aiheuttamia vuotokohtia?
- Onko sisätiloissa katto- ja seinäpinnoilla näkyviä kosteusvaurioita tai mikrobikasvustoa? Onko alkuperäinen kattopinta peitetty esim. alakatolla?
- Onko vesikaton sadeveden poisto hallittua? Toteutustapa? Onko sadevedenpoistojärjestelmässä puutteita tai vikoja?

Jyrkät katot, epäjatkuvat vesikatteet: esim. peltikate

- Onko peltikatteen pinnoite ehyt? Ovat saumat tiiviitä?
- Ovatko kiinnikkeiden reiät vesitiiviitä?
- Kattoikkunoiden ja iv-jalustojen korkeus ja liittymien tiiveys?

Pihantasaus, sade- ja pintavesien ohjaus

- Onko sadevesien poisto hallittua? Onko pihalla kaivoja riittävästi? Ovatko kaivot tukossa? Ovatko pihan pinnankallistukset riittäviä?
- Kasteleeko syöksytorvista tuleva vesi sokkeleita? Näkykö sokkeleissa edellä mainitusta aiheutuneita kosteusjälkiä?
- Onko maanpinta rakennuksen kaikilla sivuilla muotoiltu viettämään rakennuksesta pois päin? Lammikoituuko vesi lähelle rakennusta?

Välipohjat

- Mikä on välipohjan rakennetyyppi? Alalaattapalkistoja, kaksoislaattapalkistoja, joissa on muottilautoja? Kappaholveja?
- Onko välipohjissa kerroksellisia rakenteita, joissa on kahden betonilaatan välissä äänen- ja/tai lämmöneristeenä esim. sementtilastulevyä, kevytsoraa tai hiekkaa? Mm. väestönsuojien katot, 1950–60 lukujen koulurakennukset.
- Onko välipohjarakenteina kotelorakenteita? Korotettuja katsomoita tai lavoja?
- Mikä on täyttömateriaalien ja muottilautojen kunto?
- Välipohjarakenteiden liitoskohdat väli- ja ulkoseiniin, ovatko ne tiiviitä? Vai voiko liittymien kautta kulkeutua täyttökerroksista epäpuhtauksia huoneilmaan?
- Ovatko välipohjien läpiviennit tiiviitä? LVISA- ja muut pystykuilut?
- Onko täyttökerroksissa putkiasennuksia? Mikä on niiden kunto? Onko tietoa putkivuodoista tai muista vesivahingoista? Onko vanhat käytöstä poistetut putkivedot tulpattu? Putket kuljettavat tulppaamattomina epäpuhtauksia tilojen ja rakenteiden välillä.
- Onko rakenneaineisia IV-kanavia ja/tai alas laskettuja kattoja?
- Millaisia lattiapäällysteitä välipohjissa on käytetty? Millaisia kosteusrasituksia niihin kohdistuu?

Märkätilat ja suurkeittiöt

- Onko märkätiloissa myöhemmin lisättyjä veden- tai kosteudeneristyksiä? Ovatko tekniset käyttöiät ylittyneet? Vedeneristemateriaali; nestemäinen vedeneriste, muovimatto, bitumikermi tai -sively, jokin muu pinnoite, mikä? Vedeneristeitä voi yrittää havaita lattiakaivojen kautta, kynnyksen kohdalla, ovien peitelisteiden takaa.
- Onko bituminen vedeneriste pinta betonilaatan alla? Tällaisissa tapauksissa pintalaatta on käytännössä aina märkä.
- Onko keraamisissa laatoituksissa vaurioita? Onko laattojen irtoamista tai halkeilua? Huom. Laattojen irtoaminen viittaa yleisemmin alustan kuivumiskutistumiin kuin kosteusvaurioihin.
- Missä kunnossa laatoitus- ja silikonisaumat ovat? Ovatko ne ehjiä? Onko saumauksissa likaa ja/tai hometta näkyvissä? Huom. saumat eivät toimi vedeneristeenä.
- Onko muovimattoja ja/tai -tapetteja? Ovatko muovimattojen ja -tapettien hitsatut saumat vesitiiviitä? Onko muovimatto kiinni alustassaan? Ovatko läpiviennit vedenpitäviä? Nurkkien ylösnostojen vesitiiveys?
- Onko suihkuja? Lävistävätkö putket, niiden kannakkeet tai muut pinta-asennukset seinän pintamateriaalin suihkujen vaikutus alueella?
- Vesijohtojen asennustapa? Rakenteiden sisällä vai pintavetona? Näkyvillä olevien putkien kunto? ruostetta, pinnoite irronnut?
- Lattiakaivojen ja korokerenkaiden liitosten tiiveys? Onko vedeneriste liitetty lattiakaivoon? Onko lattiakaivon rassitulppa paikoillaan?
- Onko lattiankallistukset riittäviä? Onko kallistukset suunnattu kaivolle?
- Onko ilmanvaihto tiloissa riittävä? Tuleeko tuloilma venttiilistä vai oviraon kautta? Millainen poistoilma tiloissa on? Missä poistoilmaventtiili sijaitsee?
- Onko pintakosteusilmaisimella havaittavissa kohonneita lukemia suihkun välittömän läheisyyden ulkopuolella? Laatoituksen takana oleva kosteus ei välttämättä ole viite vauriosta, jos kosteus on vedeneristeen yläpuolella.
- Onko suihkuseinän vastakkaisella puolella kuivassa tilassa havaittavissa kohonneita pintakosteus lukemia?
- Onko vedeneristys toteutettu kynnyksen kohdalla niin, ettei kynnyksen alle kulkeudu vettä?

LIITE 2, Sisäilmatekninen kuntotutkimus (vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)