

Lauri Haahti

# MYCOMETER-AIR-MENETELMÄN KÄYTETTÄVYYS OSANA SISÄILMA- ONGELMAN SELVITYSTÄ

Opinnäytetyö  
Ympäristötekniologia

2019



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Lauri Haahti	Insinööri (AMK), ympäristöteknologia	Toukokuu 2019
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Mycometer-air-menetelmän käytettävyys osana sisäilmaongelman selvitystä		63 sivua 19 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Insinööritoimisto Henrik Himberg		
<b>Ohjaaja</b>		
Henna Kauppi, Henrik Himberg		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Asumisterveyden ongelmien selvitykseen käytettävien pikatestausmenetelmien kysyntä on kasvussa. Tämän vuoksi niiden luotettavuutta ja käytettävyyttä osana sisäilmaongelmien selvitystä on hyödyllistä tutkia. Mycometer-air on pikatestausmenetelmä, jolla määritetään sisäilman sisältämän kokonaishomemassan määrää. Kyseisellä menetelmällä ei ole Suomessa Asumisterveysasetuksessa määritettyä viranomaisten hyväksyntää.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten Mycometer-air-menetelmä soveltuu tutkimusmenetelmänä osaksi sisäilmatutkimusta. Tutkimusprosessi oli laadullinen, jossa aineistona toimi ensisijaisesti toimeksiantajan, Insinööritoimisto Henrik Himbergin tekemät tutkimusraportit. Tämän lisäksi tietoa Mycometer-air-menetelmästä kerättiin haastatteluin Vita Laboratoriolta, sekä Tohtori Morten Reesleviltä, joka on ollut mukana kehittämässä Mycometer-menetelmää Kööpenhaminan yliopistossa.</p> <p>Työn tavoitteena oli osoittaa, soveltuuko Mycometer-air-menetelmä asumisterveysongelmien selvitystyöhön. Tämän yhteydessä selvitettiin, missä vaiheessa tutkimuksia ja minkälaisissa sisäilmatutkimuskohteissa Mycometer-air-menetelmää pystyttiin hyödyntämään. Lisäksi tarkasteltiin, millaisia tietoja erilaisissa kohteissa kyseisellä menetelmällä saatiin tutkimusten kannalta ja miten kyseisiä tietoja pystyttiin hyödyntämään tutkimusten loppupäätelmien osalta.</p> <p>Aineiston pohjalta havaittiin, että Mycometer-air-menetelmää hyödynnettiin useissa kohdetapauksissa muiden tutkimus- ja mittausten tukena. Menetelmää käytettiin tutkimusten alkuvaiheessa, kun lähtökohtana oli käyttäjän/käyttäjien epäily mahdollisesta sisäilmaongelmasta. Lisäksi menetelmää pystyttiin hyödyntämään tarkasteltaessa jälkivahinkojen torjunnan laatua ja onnistumista.</p> <p>Mycometer-air-menetelmä soveltuu muilla tutkimusmenetelmillä tehtyjen päätelmien tueksi. Mycometer-air-menetelmällä ei pystytä korvaamaan tällä hetkellä käytössä olevia tutkimus- ja mittausten menetelmiä. Sen käyttö soveltuu myös hyvin tutkimusten alkuvaiheeseen, jolloin pienin toimenpitein voidaan päätellä, onko rakennuksessa aiheutta epäillä mikrobivauriota ja lähteä tutkimaan tarvittaessa tilannetta tarkemmin. Lisäksi menetelmä soveltuu asunnon korjaustoimenpiteiden ja pölyntorjunnan onnistumisen seurantaan sisäilman homemassan osalta. Nopeasti saatavien tulosten ansiosta havaittuihin ongelmiin pystytään tarvittaessa reagoimaan nopeastikin, jolloin huoneiston käyttäjien altistumisaikaa pystytään vähentämään.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
Mycometer-air-menetelmä, sisäilma, asumisterveys, sisäilmatutkimus		

Author (authors)	Degree	Time
Lauri Haahti	Bachelor of Engineering	May 2019
<b>Thesis title</b> Usability of Mycometer-air in solving indoor air problems		63 pages 19 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Insinööritoimisto Henrik Himberg		
<b>Supervisor</b> Henna Kauppi, Henrik Himberg		
<p data-bbox="164 651 300 683"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="164 723 1441 902">Demand for rapid test methods is increasing with investigations of the health hazards caused by buildings. Therefore, it is meaningful to make researches about these methods and their reliability and usability as part of the indoor air problem inspections. Mycometer-air is rapid test method for measuring mould in air. In Finland the method is not approved by authorities.</p> <p data-bbox="164 947 1465 1160">The objective of this bachelor's thesis was to find out, if the Mycometer-air was a suitable method as a part of indoor air investigations. The research process was qualitative. The research material was collected from Engineering firm Henrik Homborg's investigation reports. Also, some material was collected by interviewing Vita Laboratory and Doctor Morten Reeslev, who had been part of developing the Mycometer method at the University of Copenhagen.</p> <p data-bbox="164 1205 1457 1384">The aim of this thesis was also to show whether the Mycometer-air method would be suitable when inspecting sick building causes. It was executed by finding out at what stage in the indoor air investigations and in what kind of cases Mycometer-air could be a proper method. It was also examined, what kind of information Mycometer gave, and how that data could be used for the final conclusions of investigations.</p> <p data-bbox="164 1429 1441 1574">It was found that Mycometer-air was utilized for supporting other research and measurement methods. The method was used in the early stage of the investigations when suspecting indoor air quality problems by a user or users, and also in cases where the indoor air quality was inspected after repairs.</p> <p data-bbox="164 1619 1441 1895">Mycometer-air appeared a suitable method for supporting other research methods and their conclusions. Mycometer-air can not replace the current research and measurement methods. Mycometer-air's use is well suited to the early stage of research, when can finding with light operations if there is a reason to suspect fungal damage or not, and depending on the results further studies can be made. Also, the method is suitable for monitoring the success of buildings or apartments repairs and dust control with measuring the fungal particles from indoor air. Mycometer's rapid results allow responding quickly to detected problems, if it is necessary and also reducing the exposure time of house users.</p>		
<p data-bbox="164 1899 323 1930"><b>Keywords</b></p> <p data-bbox="164 1935 1090 1966">Mycometer-air, indoor air, housing health, indoor air investigation</p>		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SISÄILMASTO JA SISÄILMA.....	7
2.1	Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät.....	9
2.1.1	Sisäilman kemialliset epäpuhtaudet.....	11
2.1.2	Sisäilman hiukkaset.....	12
2.1.3	Rakennuksen painesuhteiden vaikutus sisäilman laatuun.....	13
2.2	Mikrobit.....	13
2.2.1	Kosteusvauriomikrobit.....	13
2.2.2	Rakennusten mikrobivauriot.....	14
2.3	Sisäilman mikrobiologiset epäpuhtaudet.....	15
2.3.1	Mykotoksiinit.....	16
2.3.2	MVOC.....	17
2.3.3	Mikrobien kulkeutuminen sisäilmaan.....	18
2.3.4	Kosteusvaurioindikaattorit.....	19
3	SISÄILMAONGELMAN SELVITYS JA NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT.....	20
3.1	Sisäilmaongelman tutkiminen.....	20
3.1.1	Aistinvarainen havainnointi.....	21
3.1.2	Tiiveyden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen tutkiminen.....	22
3.1.3	Materiaalinäytteet.....	23
3.2	Näytteet ja mittaukset sisäilmasta.....	24
3.3	Mycometer-air.....	26
3.3.1	Mycometer-air näytteenotto.....	27
3.3.2	Mycometer-air näytteen analysointi.....	31
4	TOTEUTUS JA MENETELMÄT.....	33
5	TULOKSET.....	34
6	TULOSTEN TARKASTELU.....	36
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	38

LIITTEET

Liite 1. Mycometer-air-lähete 1/4

Liite 2. Mycometer-air-lähete 2/4

Liite 3. Mycometer-air-lähete 3/4

Liite 4. Mycometer-air-lähete 4/4

Liite 5. Mycometer-air tulostaporttipohja (koneellinen ilmanvaihto)

Liite 6. Mycometer-air tulostaporttipohja (painovoimainen ilmanvaihto)

Liite 7. Kohteen 1 kuvaus

Liite 8. Kohteen 2 kuvaus

Liite 9. Kohteen 3 kuvaus

Liite 10. Kohteen 4 kuvaus

Liite 11. Kohteen 5 kuvaus

Liite 12. Kohteen 6 kuvaus

Liite 13. Kohteen 7 kuvaus

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä (Sandberg 2016, 60).....	11
Kuva 2. Mikrobikasvustosta irtoavia tuotteita (Seuri & Reiman 1996, 32).....	16
Kuva 3. Akkupuhallin .....	28
Kuva 4. Mycometer-air menetelmään tarvittava mittauslaitteisto mittaushetkellä .....	29
Kuva 5. Näytekasetti .....	30

## TAULUKKOLUETTELO

1. Taulukko. Sisäympäristön tekijät (Seppänen s.a.) .....	8
2. Taulukko. Yleisimpiä sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä (Ympäristöministeriö 2016, 15) .....	10
3. Taulukko. Mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä, joita pidetään kosteusvaurioon viittaavina. (Ympäristöministeriö 2016, 128.) .....	19
4. Taulukko. Aistinvarainen tarkastelu (Ympäristöministeriö 2016, 30-31) .....	22
5. Taulukko. MycoMeter arvojen rajat, painovoimaisen- ja koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän omaavissa kohteissa (Vita Laboratoriot; Liite 5; Liite 6).....	32
6. Taulukko. Tarkasteltavat kohteet .....	34

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö vastaa kysymykseen minkälaisissa tutkimuskohteissa, missä vaiheessa tutkimuksia ja minkä tutkimusmenetelmien tukena Mycometer-air-menetelmää pystytään hyödyntämään selvittäessä sisäilmaongelmaa ja terveys- tai viihtyvyyshaittaa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on osoittaa Mycometer-air-menetelmän vahvuudet ja puutteet tutkimusmenetelmänä asuinhuoneistojen sisäilmaongelmia tutkittaessa.

Aihetta lähdettiin työstämään ja ideoimaan yhdessä Insinööritoimisto Henrik Himbergin kanssa. Insinööritoimisto Henrik Himberg on vuonna 2009 toimintansa aloittanut rakennustekniikan ja asumisterveyden asiantuntijapalveluita tarjoava yritys. Kyseinen yritys suorittaa laajamittaisesti muun muassa rakennusten kuntotarkastuksiin ja kuntotutkimuksiin sisältyviä töitä.

Opinnäytetyön osalta aiheen ideointi keskittyi Mycometerin sisäilmasovelluksen ympärille. Mikrobiologisten pikatestausmenetelmien tarve ja kysyntä ovat kasvussa asumisterveyteen liittyvissä tutkimuksissa (Varjoniemi 2019). Mycometer-air-menetelmä ei ole Suomessa laajalti käytössä, eikä kyseistä menetelmää hyödynnetä juurikaan sisäilmatutkimuksia tehdessä. Sitä ei ole valittu asumisterveysasetuksen mukaiseksi näytteenottomenetelmäksi. Muun muassa Yhdysvalloissa Mycometer-air-menetelmää on käytetty paljon ja se on muun muassa USEPA:n (United States Environmental Protection Agency) varmentama tutkimusmenetelmä, tutkittaessa sienibiomassan määrää sisäilmasta (Aktas 2018). Insinööritoimisto Henrik Himberg on käyttänyt kyseistä Mycometerin näytteenottomenetelmää jo usean vuoden ajan osana sisäilmatutkimuksiaan.

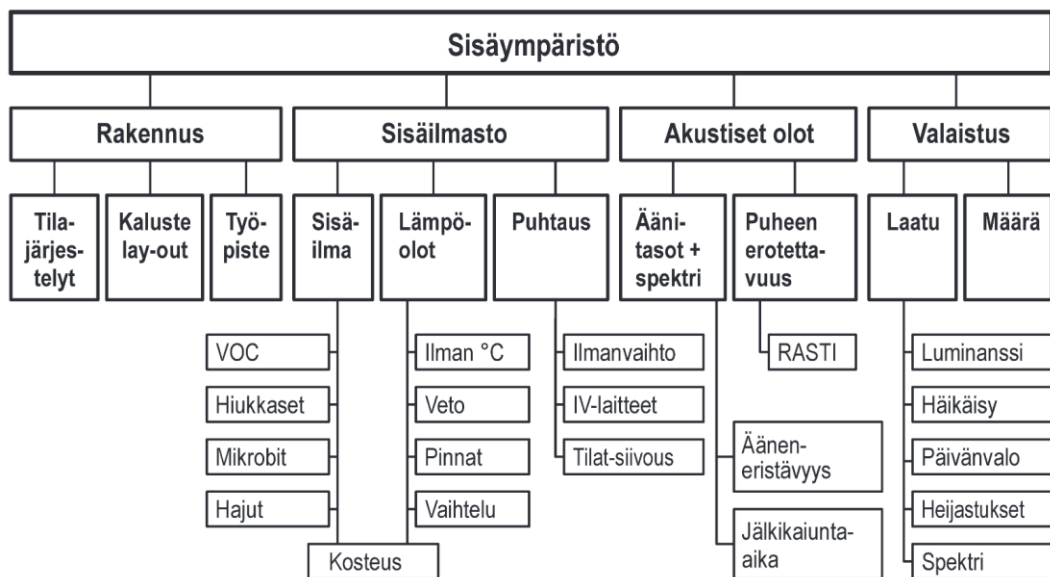
## 2 SISÄILMASTO JA SISÄILMA

Lähtökohtaisesti rakennusten sisätilojen tulisi olla ympäristöjä, joissa on hyvä asua, työskennellä ja oleilla. Sisätiloissa tulisi olla miellyttävä lämpötila, jonne ohjataan riittävästi raikasta ilmaa, kuitenkin aiheuttamatta vetoa. Lisäksi sisäilman epäpuhtauksien määrän täytyy olla vähäinen ja kosteustason sopiva. (Seppänen s.a.)

Sisäilmastoon vaikuttavilla fysikaalisilla-, kemiallisilla- ja mikrobiologisilla tekijöillä on yhteys ihmisten terveyteen ja koettuun viihtyvyyteen sisätiloissa. Ihmiset reagoivat yksilöllisesti sisäilmaston vaikuttaviin tekijöihin. Yleensä haitat kohdistuvat ihmiseen limakalvojen, hengityselinten ja ihon kautta. Näin ollen oireet esiintyvät pääasiassa limakalvoilla ja iholla. (Sisäilmayhdistys ry. 2008. 3.)

Kun puhutaan sisäilmastosta, tarkoitetaan kokonaisuutta, johon vaikuttavat rakennuksen sisällä olevat kemialliset, fysikaaliset ja mikrobiologiset olosuhteet (Ympäristöministeriö 1009/2017. 2.§). Hyvä sisäilmasto edellyttää riittävää ilmanvaihtoa, sekä toimivia rakenteita. Kyseiset seikat huomioimalla pystytään vaikuttamaan suurimpaan osaan sisäilmastotekijöistä. (Sisäilmayhdistys ry. 2008. 2.) Taulukossa 1 esitetään karkeasti mistä tekijöistä sisäilmasto koostuu.

1. Taulukko. Sisäympäristön tekijät (Seppänen s.a.)



Sisäilmasta puhuttaessa tarkoitetaan rakennuksen sisätiloissa olevaa ilmaa, jota hengitetään. Sisäilmaan virtaa ulkoilmaa ilmanvaihtojärjestelmien kautta tai ilmapuotoina rakenteiden raoista. Sisäilma voi sisältää rakennuksesta, ihmisestä tai ihmisen toiminnasta aiheutuvia epäpuhtauksia, kuten kemiallisia yhdisteitä, hiukkasia, mikrobeja, sekä erilaisia määrittämättömiä hajuja. (Seppänen s.a.)

## 2.1 Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät

Rakennusten sisäilman koettuun laatuun on monia tekijöitä. Suomessa rakennuksissa esiintyy suhteellisen yleisesti kosteus- ja mikrobivaurioita. Näillä vaurioilla uskotaan olevan merkittävä rooli sisäilman laatuun vaikuttavana tekijänä. Kosteusvauriomikrobit aiheuttavat ihmisille yleisimmin silmien ja hengitysteiden ärsytysoireita, sekä yleisoireita, kuten väsymystä ja päänsärkyä. (Nordman ym. 2007; Ympäristöministeriö 2016, 14-15.)

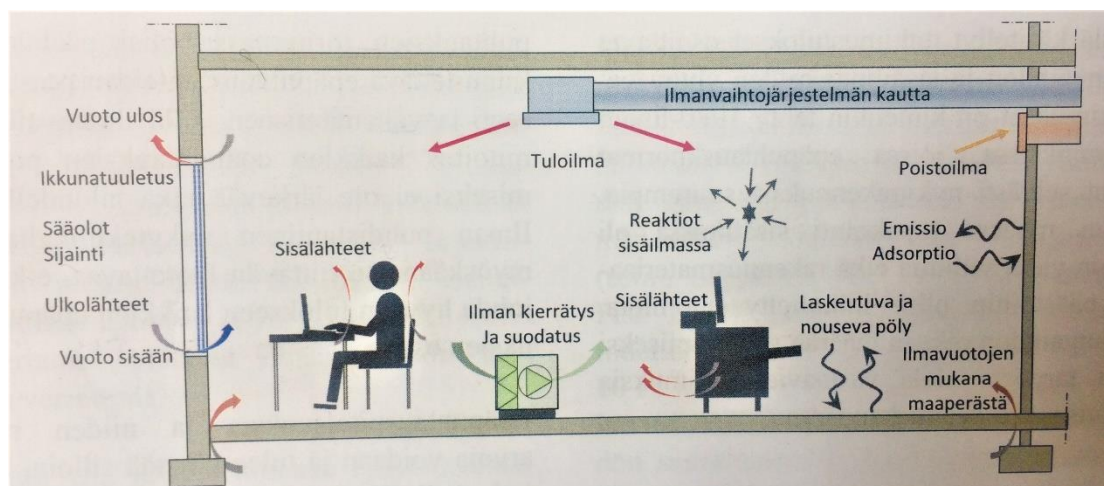
Kuitenkaan kosteus- ja mikrobivauriot eivät ole ainoa tekijä, jotka vaikuttavat heikentävästi sisäilman laatuun. Kyseisiä oireita voi aiheuttaa myöskin muut sisäilmastotekijät kuin mikrobit. Englannin kielessä käytetty termi SBS (sick building syndrome) kuvaa rakennusten aiheuttamia edellä mainittuja oireita, joiden aiheuttava tekijä ei välttämättä ole selvillä. (Nordman ym. 2007; Crook & Burton 2010.) Esimerkiksi huoneilma, joka on liian lämmin ja kuiva, voi aiheuttaa tietyille henkilöille ihon ja limakalvojen ärsytysoireita tai epämukavuuden tunnetta, sekä sairastelun lisääntymistä. Lisäksi muun muassa vetoisuus, puutteet ja epäkohdat ilmanvaihtojärjestelmässä, pölyisyys tai materiaaleista lähtöisin olevat hiukkasmaiset tai kemialliset päästöt sisäilmaan ovat sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä. (Ympäristöministeriö 2016, 14-15.) Taulukossa 2 on esitetty yleisimpiä tekijöitä, jotka heikentävät sisäilman laatua.

## 2. Taulukko. Yleisimpiä sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä (Ympäristöministeriö 2016, 15)

Epäpuhtaus tai muu haittatekijä	Tavanomainen lähde/syy	Haitta / oire
Allergeenit	Koti- ja lemmikkieläimet, siitepölyt, kemikaalit, pöly- ja varastopunkit, mikrobikasvustot	Allerginen nuha, silmä-, astma- ja iho-oireilu
Ammoniakki	Materiaalien kosteusvauriot, viemärit, lemmikkieläimet, tupakointi	Hajuhaitat, ärsytysoireet
Asbestikuidut	Useat eri rakennusmateriaalit	Syöpärisikin kasvu, asbestoosi
Formaldehydi	Lastulevyn ym. materiaalien kosteusvauriot, sisustustuotteet, tekstiilit ja pesuaineet	Hajuhaitat, ärsytysoireet, kosketus-ihottuma, syöpärisikin kasvu.
Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> )	Ihmiset, lemmikkieläimet, heikko ilmanvaihto	Suuri pitoisuus viittaa tilojen käyttöön nähden riittämättömään ilmanvaihtoon. Erittäin korkeissa pitoisuuksissa väsymys, päänsärky.
Hiilimonoksidi (häkä, CO)	Tulisijat, liikenne	Häkämyrkytys, tukehtumiskuolema
Häiritsevät hajut	Materiaalien kosteusvauriot, ilmapuodot rakenteista, materiaalit, kemikaalit, käyttäjät	Ärsytysoireet, epämukavuus
Vähäinen ilmanvaihtuvuus	Heikkotehoinen ilmanvaihto, IV-järjestelmän viat, ilmanjoon puutteet	Epäpuhtauksien kertymisestä aiheutuva oireilu ja epämukavuus
Liiallinen alipaineisuus rakennuksen ulkovaipan yli	Ulkoilmavirtoihin nähden liialliset poistoilmamäärät	Epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista sisäilmaan
Kuiva sisäilma	Kylmä ja kuiva ulkoilma	Ihon ja limakalvojen ärsytysoireet, oireiluerkkyuden kasvu
Lämpötila, liian matala tai korkea, vetoisuus	LVI-järjestelmän puutteet ja säätövirheet, pintasäteily, ilmapuodot	Epämukavuus, sairastavuuden lisääntyminen
Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet	Kosteus- ja mikrobivauriot, ilmapuodot rakenteista, IV-kanaviston epäpuhtaudet kosteissa järjestelmänosissa	Hengitystieärsytys, astma, allergiset sairaudet hengitystieinfektioiden lisääntyminen, yleisoireet
Otsoni	Ilmanpuhdistimet, kopiokoneet	Hengitysteiden ärsytysoireet. Voimistaa allergeenien vaikutusta
PAH-yhdisteet	Vanhat kosteuseristeet, kivihiilipiki, polttotapahtumat	Hajuhaitat, syöpärisikin kasvu
PCB	Rakennusmateriaalit, mm. elementti-saumaussmassat ja maalit, lämmönsiirtonesteet	Syöpärisikin kasvu
Pienhiukkaset	Ulkoilma (teollisuus, liikenne), tupakan savu, kopiokoneet, kosteusvauriot, pienpoltto, kynttilät ja tulisijat	Viihtyvyyshaitat, sydän- ja hengityselinsairaudet, astma
Radon	Maaperä, rakennuksen alustäyttö	Keuhkosyöpärisikin kasvu
Teolliset mineraalivillakuidut	Lämmön- ja ääneneristysmateriaalit rakenteissa ja IV-järjestelmässä	Silmien ja hengitysteiden ärsytysoireet
VOC-yhdisteet (haihtuvat orgaaniset yhdisteet, engl. volatile organic compounds)	Kosteusvauriot, rakennusmateriaalit, sisustusmateriaalit, tekstiilit, pesuaineet, kosmetiikka, ihmiset ja lemmikkieläimet	Ärsytysoireet, astma
Öljyhiilivedyt	Rakennusmateriaalit (mm. valuasfaltti), öljyvahingot rakenteisiin ja maaperään	Hajuhaitat

Useimmiten sisäilmaongelmiin ei löydetä yhtä ja ainoaa selittävää tekijää, vaan koetut haitat ovat seurausta monen tekijän yhteisvaikutuksesta. Muun muassa epätiivii ja vanhat rakenteet ja koneellisen ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero sisäilman ja ulkoilman välillä voivat johtaa ilmapuotoihin epätiivien rakenteiden kautta. Ilmapuotojen mukana huoneilmaan voi päästä kriittisiä määriä epäpuhtauksia vanhoista rakenteista, jotka heikentävät viihtyvyyttä ja

sisäilman laatua. Usein rakennuksissa koetut haitat ovat yhteydessä vanhoihin ja/tai huonosti toteutettuihin, -huollettuihin tai- korjattuihin rakenteisiin ja rakennuksessa toimiviin järjestelmiin. (Ympäristöministeriö 2016, 14-16.)



Kuva 1. Sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä (Sandberg 2016, 60)

Sisäilmaan vaikuttavien epäpuhtauslähteiden päästöt vaihtelevat ajasta riippuen. Kyseisiin päästöihin vaikuttaa ihmisten toiminta ja olosuhdetekijät. (Sandberg 2016, 59.) Kuvassa 1 on havainnollistettu asioita, jotka vaikuttavat sisäilman laatuun.

### 2.1.1 Sisäilman kemialliset epäpuhtaudet

Sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia ovat muun muassa VOC-yhdisteet (volatile organic compounds), eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Lisäksi muita kemiallisia sisäilmahaittoja voivat aiheuttaa tietyt haihtuvat tai puolihaihtuvat yhdisteet, sekä haitta-aineina yleisesti kutsutut kaasu- ja hiukkasmaiset yhdisteet ja materiaalit. Sisäilmassa esiintyviä kaasumaisia epäpuhtauksia ovat muun muassa ammoniakki, kaseiini ja muut proteiinit, formaldehydi, radon ja kloorianisolit. Kaasusta riippuen niiden lähteenä on tyypillisesti tupakan savu, lemmikit, puhdistusaineet, vanhat tasoitteet ja- liimat, sekä vanhat rakennusmateriaalit. (Ympäristöministeriö 2016, 67-76.)

VOC-yhdisteet ovat usein osana normaalia elinympäristöä. Niitä haihtuu muun muassa kosmetiikkatuotteista, rakennusmateriaaleista, kalusteista ja puhdistusaineista. Niiden kiehumispiste on välillä 50-260 °C. VOC-yhdisteitä vapautuu materiaalista sen ympäröivään ilmaan emissiona, usein erityisesti uusista

materiaaleista. (Ympäristöministeriö 2016, 67-68.) VOC-yhdisteet saattavat aiheuttaa ihmisille muun muassa silmien ärsytystä, hajuhaittoja ja päänsärkyä. Viranomaiset eivät ole määrittäneet sisäilman VOC-yhdisteille toimenpiderajoja. (Sisäilmayhdistys ry. 2008. 4.) TVOC:lla (total volatile organic compounds) kuvataan VOC yhdisteiden kokonaispitoisuutta sisäilmassa. VVOC:t (very volatile organic compounds) ovat erittäin haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on 0-50°C:n välillä ja SVOC:t (semi volatile organic compounds) ovat puolihaihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on välillä 240-400°C. MVOC:t (microbial volatile organic compounds) ovat mikrobin tuottamia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Ympäristöministeriö 2016, 67.)

### **2.1.2 Sisäilman hiukkaset**

Osa mikrobiperäisistä epäpuhtauksista kulkee ilmassa hiukkasiin sitoutuneina. Kyseiset epäpuhtaudet liikkuvat rakennuksen sisällä pääasiassa ilmavirtojen mukana. (Ympäristöministeriö 2016, 141-142.)

Sisäilman hiukkaspitoisuutta arvioitaessa hiukkaset voidaan jakaa koon perusteella hengitettäviin hiukkasiin (PM10) ja pienhiukkasiin (PM2,5) (Ympäristöministeriö. 2016, 65-67). Hengitettävillä hiukkasilla tarkoitetaan hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10µm ja pienhiukkasilla hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5µm. Ihmisille sisäilman hiukkaset aiheuttavat muun muassa ärsytysoireita iholle, -hengitysteiden limakalvoille ja -silmiin. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 70.) Ilmassa olevien hiukkasten koko vaikuttaa siihen, kuinka syvälle ne pystyvät tunkeutumaan ihmisen hengitysteihin. Mitä pienempi hiukkanen, sen syvemmälle se saattavat päästää tunkeutumaan. (Andersson 2004, 19.)

Hengitettäviä hiukkasia ja pienhiukkasia kulkeutuu ulkoilmasta sisäilmaan ilmanvaihdon kautta. Niiden lähteitä voivat olla siitepölyt, palamisreaktiot, liikenteen päästöt, energiantuotannon päästöt, tai teollisuuden erilaiset päästöt. Lisäksi sisäilman hiukkaset voivat olla peräisin erilaisista sisälähteistä ja ihmisen toiminnasta, kuten ruuanlaitosta, sisustusmateriaaleista tai rakentamisen materiaaleista (puupöly, betonipöly, eristevillojen kuidut). (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 70; Ympäristöministeriö 2016, 65-67.) Rakentamisesta aiheutuneelle pölylle altistuvat niin työmaalla työskentelevät henkilöt, kuin työmaan aikana ja

sen valmistumisen jälkeen rakennusta käyttävät henkilöt. (Andersson 2004, 7; Säteri s.a.)

### **2.1.3 Rakennuksen painesuhteiden vaikutus sisäilman laatuun**

Rakennusten painesuhteet riippuvat tuulen, savupiippuvaikutuksen, ilmanvaihdon ja käyttäjien toiminnan yhteisvaikutuksesta. Suomessa rakennukset ja niiden sisällä olevat oleskelutilat suunnitellaan alipaineisiksi, ettei kosteuskonvektio vaurioittaisi rakenteita. Paine-erojen vaikutuksesta ilma liikkuu rakennusten sisälle ulkovaipan läpi ja rakennuksen sisällä eri huoneiden välillä. Ilmavirtausten mukana kulkeutuu oleskelutiloista pois muun muassa kosteutta ja sisäilman sisältämiä epäpuhtauksia. (Ympäristöministeriö 2016, 118)

Väärin toimivassa rakennuksessa ilmavirtausten johdosta voi rakennuksen sisäilmaan kulkeutua epäpuhtauksia. Niitä voivat aiheuttaa esimerkiksi:

- Vaurioituneet pintamateriaalit
- Ilmanvaihtojärjestelmän epäpuhtaudet
- Rakenteiden sisällä olevat materiaalit ja muut epäpuhtaudet
- Rakennuksen alla oleva maaperä (mikrobit ja radon)
- Ulkoilman epäpuhtaudet
- Viereisten tilojen epäpuhtaudet

(Ympäristöministeriö 2016, 118)

## **2.2 Mikrobit**

Mikrobeja, sekä niiden itiöitä esiintyy kaikkialla ympäristössä. Ne ovat luonnollinen osa elinympäristöämme. Sisäilmassa oleville mikrobeille on paljon eri lähteitä. Mikrobit voivat olla lähtöisin niin rakennuksen sisä- kuin ulkopuolelta-kin. (Ympäristöministeriö 2016, 65, 127.)

### **2.2.1 Kosteusvauriomikrobit**

Mikrobit ovat eliöitä, joiden ryhmiin kuuluvat virukset, sienet ja bakteerit. Kun puhutaan kosteusvauriomikrobeista, tarkoitetaan tiettyjä bakteereja ja sieniä. Lahottajasienet kasvavat puun sisällä lahottaen ja heikentäen puun rakennetta. Homesienten ja hiivasienten kasvusto taas rajoittuu materiaalien pinnoille. Niiden kasvustojen rakenteet eroavat kuitenkin toisistaan. Aktinomykeetti eli sädesieni on kutsumanimestään huolimatta bakteeri, jota

esiintyy kosteusvauriorakennuksissa. Sen saattaa tunnistaa aistinvaraisesti maakellarimaisesta hajusta. Sädesienellä on toisista bakteereista eroten kyky kasvattaa rihmastoja ja itiöitä. Myös kasvusto ja kasvupaikat ovat enemmän sienten kuin bakteerien kaltaisia, josta kyseinen nimitys juontaa juurensa. (Seuri & Reiman 1996, 18-19; Leivo & Rantala 2006, 9; Ympäristöministeriö 2016, 141-142.)

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen riittävästi kosteutta, tietyn lämpötilan, sekä ravinnetta. Kasvuton laatu riippuu kasvualustan materiaalista, kosteuspitoisuudesta, lämpötilasta sekä muista olosuhdetekijöistä. Tietyt mikrobit saattavat lisääntyä matalammissa kosteusolosuhteissa, jos ravinnetta on runsaasti ja lämpötila on optimaalinen. Eri mikrobilajit vaativat erilaiset kasvuolosuhteet. Yleistäen bakteerit tarvitsevat enemmän kosteutta kuin tietyt hiivat ja homesienet. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008, 146-147.)

Kuivuessaan mikrobit eivät välttämättä tuhoudu. Osa mikrobeista sietää hyvin kuivuutta ja ne jatkavat kasvua, kun olosuhteet sen taas sallivat. Lajista ja olosuhteista riippuen osa mikrobeista pystyy olemaan lepotilassa jopa useita vuosia. Erityisen pitkään elin- ja kasvukelpoisina yleisistä sisäympäristön mikrobeista pysyvät muun muassa *Penicillium* -suvun homeet, hiivat ja sädesienet. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008, 146-147; Ympäristöministeriö 2016, 129-130.)

### **2.2.2 Rakennusten mikrobivauriot**

Kosteus- ja mikrobivauriokohteista puhuttaessa mikrobikasvustolla tarkoitetaan materiaalilla/talon rakenteissa kasvavaa hiiva-, home-, tai bakteerikasvustoa, jonka pystyy silmin havaitsemaan, tai mikrobiologisin analyysin todentamaan. Kasvuston pystyy tunnistamaan pinnoilla olevista värimuutoksista, tai havaittavista kasvurihmastoista, jotka voivat olla olemukseltaan puuterimaisia, pölymäisiä, tai pistemäisiä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008, 145.)

Suurella osalla Suomen rakennuskantaa ilmenee jonkin asteisia kosteus- ja mikrobivaurioita. Vauriot syntyvät rakennuksiin usein pitkällä ajanjaksolla ja

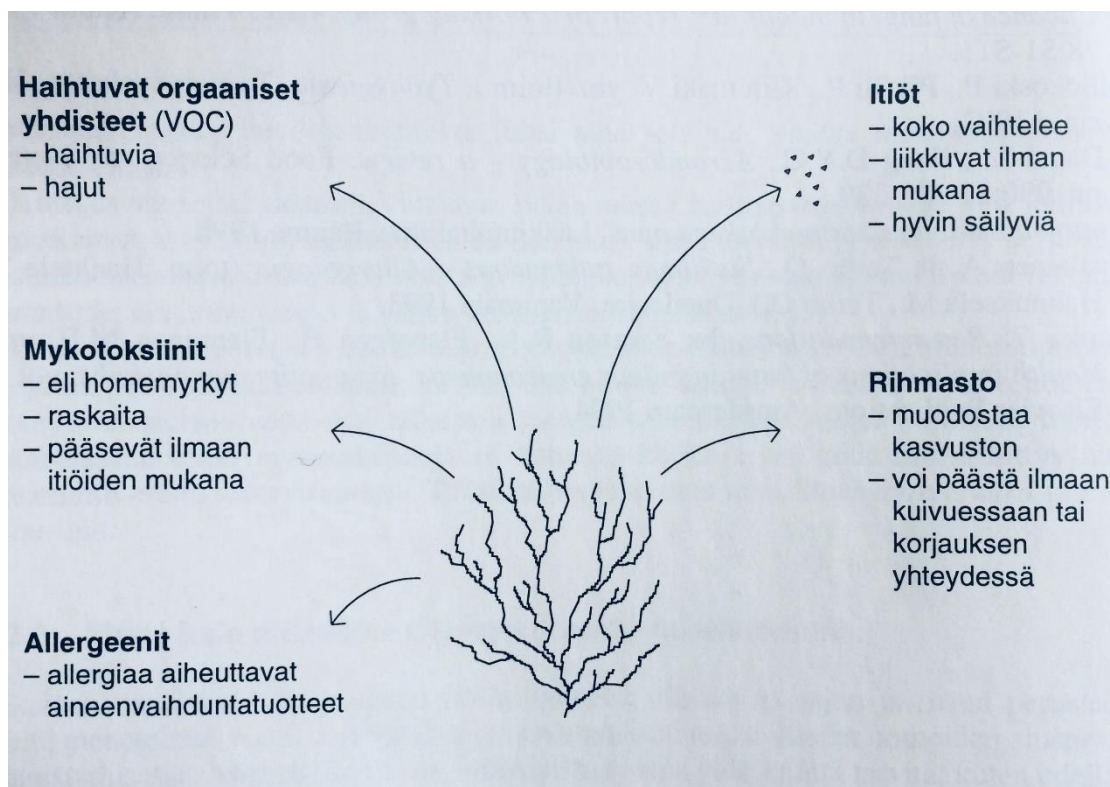
voivat olla seurausta monesta tekijästä. Muun muassa kosteudelle alttiit riskirakenteet, vääränlaiset materiaalivalinnat, suunnittelu- tai rakennusproses- sissa tapahtuneet virheet, osaamattomuus ja vääränlaiset asenteet, sekä rakennusten huollon -ja kunnossapidon laiminlyönti, tai väärän tyyppinen käyttö saattavat olla syinä aiheutuneille kosteus- ja mikrobivaurioille. (Reijula ym. 2012.)

Mikrobeja esiintyy runsaasti ulkoilmassa suurimman osan vuodesta. Tästä syystä niitä on myös rakennusten ulkovaipoissa ja rakenteissa, vaikka kyseessä olisi terve rakennus. (Pirinen 2006,18, 23.) Rakennusten sisällä on paljon mikrobeille luonnollisia kasvupaikkoja. Niiden lähteitä ovat muun muassa ihmiset, eläimet, elintarvikkeet, lahoavat kasvit, maaperä, sekä elävien kasvien pinnat. Mahdolliseen terveyshaittaan johtava mikrobialtistus syntyy siitä, että mikrobikasvustoa on päässyt syntyään jossain osassa rakennusta. (Ympäristöministeriö 2016, 127.)

Arviot näiden kosteus -ja mikrobivaurioiden yleisyydestä Suomen rakennuskannassa vaihtelevat rakennustyyppin, käyttötarkoituksen ja eri tutkimusten välillä. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan tutkimusjulkaisun mukaan kosteus- tai homevauriota esiintyy koulurakennuksista 25%:ssa ja päiväkodeista 10-50%:ssa. Kosteus- ja mikrobivaurioiden aiheuttamien korjausten tai tarkastuksen tarpeessa on pientaloista 55%, kerrostaloista 42-43% ja sairaalarakennuksista 15%. (Reijula ym. 2012, 67-69.) Pelkästään mikrobikasvuston eliminointi ei ole oikea lähestymistapa hoidettaessa mikrobivauriorakennuksia. Sen sijaan on pyrittävä luomaan rakennuksiin olosuhteet, joissa mikrobit eivät pysty lisääntymään. (Seuri & Reiman 1996, 18.)

### **2.3 Sisäilman mikrobiologiset epäpuhtaudet**

Suotuisat olosuhteet voivat käynnistää rakenteissa mikrobikasvun. Tämän seurauksena voi sisäilmaan siirtyä mikrobien aineenvaihduntatuotteita, eli VOC:ja ja toksiineja. Lisäksi mikrobikasvustosta irtoaa hiukkasia (mikrobit, itiöt ja rihmaston kappaleita) sisäilmaan. (Sisäilmayhdistys ry. 2008. 5.)



Kuva 2. Mikrobikasvustosta irtoavia tuotteita (Seuri & Reiman 1996, 32)

Aktiiviset kasvustot tuottavat enemmän kaasuja kuivaan mikrobikasvustoon nähden. Kuiva kasvusto taas tuottaa ympäröivään ilmaan enemmän itiöitä, kuin aktiivinen kasvusto. (Ympäristöministeriö 2016, 141-142)

Kuivuessaan homesienikasvustot itiöivät runsaasti. Kuivumiseen voi myös liittyä lisääntynyttä mikrobitoroksiinien tuottoa, joka tekee irtoavista itiöistä ihmisen terveydelle haitallisempia. Nämä epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmassa ilmajärteiden mukana ja voivat päätyä hengitettävään huoneilmaan. Tarpeeksi kattavaa tietoa ei ole siitä, kuinka kauan haittavaikutuksia kuivunut mikrobikasvusto tuottaa. Tämän vuoksi rakennuksessa olevat kuivuneet ja vanhat mikrobikasvustot tulee myös korjata. (Ympäristöministeriö 2016, 141-144.)

### 2.3.1 Mykotoksiinit

Mikrosienten tuottamia myrkyllisiä yhdisteitä kutsutaan mykotoksiineiksi. Eräät homeet tuottavat näitä toissijaisina aineenvaihduntatuotteina (sekundaarimetaboliittina), mikä tarkoittaa, että homeet tuottavat niitä ainoastaan tietyissä olosuhteissa. Mikrobikasvuston toksiinien tuotto on yleensä vähäistä, kun ravinteita on riittävästi, kun taas ravinteita ja kosteutta on niukasti, myrkkujen tuotanto kasvaa. (Seuri & Reiman 1996, 33; Putus 2017, 88.)

Mykotoksiinit kulkeutuvat yleensä ihmisen elimistöön hiukkasten mukana. Kuitenkin myös haihtuvia mykotoksiineja tunnetaan. Mikrobivaurioituneen rakennuksen sisällä mikrobien aiheuttamille myrkyille altistuminen voi tapahtua ruuansulatuskanavan-, hengityselimistön -tai ihon kautta. (Seuri & Reiman 1996, 33; Putus 2017, 88.)

Sisäilman toksisuutta mittaavat menetelmät mittaavat kaikkien myrkkujen aiheuttajien yhteisvaikutusta. Näin ollen mykotoksiinien lisäksi esimerkiksi huonepölyn sisältämät kemikaalit tai ulkoa kulkeutuneet hiukkaset voivat vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin. Yhtään mittausten menetelmää huonepölyn toksisuuden mittaamiseksi ei ole vielä hyväksytty viranomaisten toimesta. (Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos 2019.)

### **2.3.2 MVOC**

MVOC:t (microbial volatile organic compounds) ovat mikrobien aineenvaihdunnan yhteydessä syntyviä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (Wilkins 2002). Kyseiset yhdisteet tuottavat tyypillisesti aistittavan mikrobiperäisen hajun (Seuri & Reiman 1996, 33). Kasvaessaan rakenteiden pinnoilla mikrobeista lähtee MVOC:ja ympäröivään ilmaan. Tämän lisäksi MVOC:en lähteenä voivat olla rakennus-, eriste -tai sisustusmateriaalit, kuten tietyt kankaat, -vanerit tai -maalit. Kosteuden vaikutus voi edesauttaa MVOC:ien haihtumista materiaaleista. Sisäilmassa vaikuttaessaan ne voivat aiheuttaa ihmiselle päänsärkyä, väsymystä, pahoinvointia, sekä oireita silmissä, ylähengitysteissä ja ihossa. (Sahlberg 2012.)

MVOC:ien tasoa huoneilmassa pystytään mittaamaan eri menetelmillä. Näiden mittausten käyttöä mikrobivauriotutkimuksissa on kuitenkin kritisoitu joutuen siitä, että kyseisiä yhdisteitä emittoituu myös muista materiaaleista. (Sahlberg ym. 2012.) Ympäristöministeriön ympäristöoppaan 2016 (2016, 68) mukaan tällä hetkellä ei MVOC-mittauksilla pystytä saamaan riittävän luotettavia tuloksia mikrobivaurioiden olemassaolosta.

### 2.3.3 Mikrobien kulkeutuminen sisäilmaan

Mikrobikasvustojen vaikutukset sisäilmaan riippuvat paljon niiden sijainnista. Sisäilmaan yhteydessä olevilla materiaaleilla ja rakenteilla ei saisi ilmetä mikrobikasvustoa. Todennäköisyys haitalliselle mikrobialtistukselle on sitä suurempi, mitä lähempänä sisätilojen pintoja kasvusto sijaitsee. Tällöin ilmayhteys oleskelutilojen ja mikrobikasvuston välillä on myös todennäköisempi. Sijainnin lisäksi mikrobikasvuston lajisto, -määrä ja sen levinneisyys, sekä rakennuksessa olevat ilmayhteydet ja painesuhteet ja kasvualustan materiaali vaikuttavat mikrobikasvustosta irtoavien hiukkasten ja kaasujen kulkeutumisessa sisäilmaan, sekä ihmisten epäpuhtauksille altistumisen todennäköisyyteen. (Ympäristöministeriö 2016, 141-142)

Rakenteita purettaessa sisäilmaan vapautuu mikrobeja. Korjattaessa kosteus ja mikrobivaurioituneita kohteita sisäilman mikrobipitoisuus nousee huomattavasti. Myös kohteissa, joissa ei ole aiemmin todettua kosteus- ja mikrobivauriota sisäilman mikrobipitoisuudet nousevat, kun rakenteita puretaan. (Kokkonen 2013, 27.) Muun muassa siksi korjausten onnistumista tulee seurata niiden valmistumisen jälkeen. (Poutiainen 2017, 18.)

Rakennusten alla olevissa maakerroksissa esiintyvä mikrobikasvusto on yleistä ja usein mikrobipitoisuudet ovat siellä korkeita. Jos maa-aineksen sisältämän orgaanisen aineen määrä ei ole suuri, ei siitä aiheudu ongelmia, ellei alapohjasta kulkeudu suuria määriä vuotoilmaa sisätiloihin. (Ympäristöministeriö 2016, 141.) Maanvaraisen alapohjarakenteen osalta lämmitettyjen rakennusten alla olevan täyttömaan lämpö- ja kosteus olosuhteet mahdollistavat mikrobikasvun ympäri vuoden. Täyttömaassa kasvavista mikrobilajeista suuri osa on kosteusvaurioindikaattoreita, sekä toksiineja tuottavia lajeja. Täyttökerosten otolliset kasvuolosuhteet ja mikrobikasvustot eivät tarkoita, että rakennuksessa olisi kosteus- tai mikrobivaurio. Kyseenlaisten seikkojen olemassaolo ja vaikutukset tulee ottaa huomioon rakenteita suunniteltaessa. (Leivo & Rantala 2006, 49-51.)

Rakennuksen ollessa alipaineinen ulkoilmaan nähden, avautuu huonosti tiivistettyjen rakenteiden ja läpivientien kautta maaperässä olevien mikrobien ja

mikrobien aineenvaihduntatuotteiden pääsy rakenteisiin ja sisäilmaan. Väärissä paikoissa olevien korvausilmareittien tiivistäminen estää mikrobien ja aineenvaihduntatuotteiden kulkeutumisen huoneilmaan. On siis tärkeää, että ilmavuodot alapohjasta läpivientien ja rakenneosien liitosten välistä on tukittu mahdollisimman hyvin, ettei mikrobiologiset epäpuhtaudet pääse vaikuttamaan sisäilmaan. (Leivo & Rantala 2006, 51-54.)

### 2.3.4 Kosteusvaurioindikaattorit

Kosteusvaurioituneessa rakenteessa voi kasvaa sellaisia mikrobeja, joiden esiintyminen ulko- ja sisäilmassa on yleistä. Kosteusvaurioindikaattoreiksi kutsutaan sellaisia mikrobilajeja, joiden esiintyvyys merkittävinä pitoisuuksina ulko- ja sisäilmassa ei ole tyypillistä. (Ympäristöministeriö 2016, 128.)

Kosteusvaurioindikaattoreita ei yleensä esiinny terveissä ja vaurioitumattomissa rakennuksissa. Niiden havaitseminen rakennuksissa on yleensä merkki rakenteisiin kohdistuneesta liiallisesta kosteuskuormituksesta. Myös niin sanottuja tavallisia mikrobeja voidaan pitää indikaattorimikrobeina, jos niitä havaitaan suuria pitoisuuksia otetussa näytteessä. (Sisäilmayhdistys 2008. 1.) Taulukossa 4 on esitetty tärkeimmät kosteusvaurioindikaattorimikrobit, sekä ulko- ja sisäilmassa tyypillisesti esiintyviä mikrobilajeja. (Ympäristöministeriö 2016, 128.)

3. Taulukko. Mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä, joita pidetään kosteusvaurioon viittaavina. (Ympäristöministeriö 2016, 128.)

Ulkoilma	Sisäilma	Kosteusvauriot
<i>Cladosporium</i> , basidiomykeetit <sup>1)</sup> , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Alternaria</i> , hiivat, <i>Geotrichum</i> , steriilit <sup>2)</sup>	<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , hiivat, bakteerit	<i>Acremonium</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. penicillioides</i> / <i>A. restrictus</i> <sup>3)</sup> , <i>A. sydowii</i> , <i>A. versicolor</i> , basidiomykeetit <sup>1)</sup> , <i>Chaetomium</i> , <i>Eurotium</i> , <i>Exophiala</i> , <i>Oidiodendron</i> , <i>Geomyces</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Phialophora</i> , <i>Scopulariopsis</i> , <i>Sporobolomyces</i> , <i>Sphaeropsidales (Phoma)</i> , <i>Stachybotrys/ Memnoniella</i> <sup>3)</sup> , sädesienet (mm. <i>Streptomyces</i> ), <i>Trichoderma</i> , <i>Tritirachium/ Engyodontium</i> <sup>3)</sup> , <i>Ulocladium</i> , <i>Wallemia</i>

Mikrobilajiston tunnistaminen on toki tärkeää osana sisäilmatutkimuksia. Kuitenkaan ainoastaan sen perusteella, että näytteestä löytyy indikaattorilaji ei rakennuksen terveellisyydestä tule tehdä liian jyrkkiä päätelmiä. (Valvira 2016, 7)

### 3 SISÄILMAONGELMAN SELVITYS JA NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT

Rakennusten kuntotutkimukseen ryhtymiseen on monia syitä. Lähtökohdat voivat vaihdella akuutista vesivahingosta johtuvasta kosteuskartoituksesta suurten rakennusten monitahoisen sisäilmaongelman selvitykseen. (Ympäristöministeriö 2016, 25.) Tässä opinnäytetyössä käsiteltävien kohteiden osalta ja niissä tehtyjen ennakkoselvitysten perusteella, tutkimusten lähtökohtana on ollut epäily sisäilmaongelmasta.

#### 3.1 Sisäilmaongelman tutkiminen

Jos rakennusta säännöllisesti käytävillä henkilöillä on havaittu oireiluja, jotka viittaavat sisäilmaongelmaan, rakennuksen sisätiloissa esiintyy poikkeavia hajuja, tai jos sisäilmamittausten tuloksissa havaitaan jonkinlaisia poikkeamia, niin tulee ongelmien syy ja laajuus selvittää rakennuksen kuntotutkimuksella. Pätevä lähtökohta tutkimustarpeelle on myös, jos aiemmin havaittu kosteus- tai mikrobivaurio on korjattu, mutta rakennuksen käyttäjien oireet eivät ole poistuneet. (Ympäristöministeriö 2016, 27.)

Syy sisäilman aiheuttamiin oireiluihin ja hajuhaittoihin ei aina välttämättä ole mikrobiperäinen, vaikka yleensä sitä epäilläänkin ensin. Syynä voivat olla myös kemialliset päästöt rakennus- tai sisustus materiaaleista, tai muut haitallisten aineiden päästöt esimerkiksi vanhoista rakennusmateriaaleista tai rakenteiden sisällä olevista muista materiaaleista. Lisäksi usein puutteellinen ilmanvaihdon toteutus, korkea sisälämpötila tai muista huoneista kulkeutuneet hajut voivat olla tekijöinä aistituille hajuille tai oireiluille. (Ympäristöministeriö 2016, 27.)

Sisäilmaongelmien selvitys saattaa vaatia laajamittaisia tutkimuksia ja toimenpiteitä ennen, kun ongelman aiheuttajasta saadaan varmuus ja se voidaan paikallistaa. Aluksi tulee arvioida, minkälaisia mahdollisia riskejä kohteeseen liittyy muun muassa rakenneratkaisujen-, aiempien vahinkojen, niiden korjaustöiden-, ilmanvaihdon -tai rakentamisessa käytettyjen materiaalien osalta. Katavien lähtötietojen perusteella pystytään laatimaan tutkimussuunnitelma ja valitsemaan tarvittava tutkimus ja mittausmenetelmät. Tutkimus ja mittausme-

netelmät saattavat sisältää muun muassa rakennusteknisiä mittauksia, aistinvaraista havainnointia, rakenneavauksia, mikrobitutkimuksia ja ilmanvaihtuvuuden mittauksia. (Ympäristöministeriö 2016, 27-28.)

Tutkimussuunnitelman tarkoitus on hahmotella kokonaiskuva kohteesta, niillä tiedoilla, mitä siinä vaiheessa tutkimuksia on saatavilla. Tutkimussuunnitelma selventää, mitä kohteesta halutaan tutkimuksella selvittää, mitä kohteesta jo valmiiksi tiedetään ja näiden tietojen pohjalta esitetään, mihin tutkimukset kannattaa ensiksi kohdistaa ja mitä tutkimusmenetelmiä kannattaa hyödyntää. (Ympäristöministeriö 2016, 28.)

Ympäristöministeriön ympäristöoppaassa 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (2016, 28) on listattu sisäilmaongelmakohteissa käytettäviä mahdollisia tutkimusmenetelmiä:

- Asukas- ja käyttäjäkyselyt
- Aistinvarainen havainnointi
- Rakennuksen ulkovaipan vesitiiveyden ja ilmatiiveyden tarkastus ja puutteiden havainnointi
- Rakenneavaukset
  - riskikohdat
- Kosteus ja lämpötilamittaukset
  - sisäilmasta
  - ulkoilmasta
  - rakenteiden pinoilta
  - rakenteiden sisältä
  - ryömintätilasta
  - yläpohjan tuuletustilasta
- Rakennuksen sisältä ulkovaipan ilmavuotokohtien toteaminen
- Paine-ero mittaukset, myös mahdollisesti epäpuhtauksia sisältävän rakenteen yli
- ilman vaihtuvuuden määrittäminen
- ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden ja puhtauden tutkiminen
- mikrobitutkimukset materiaalinäyttein
- sisäilman epäpuhtauksien mittaukset
- pintojen ja materiaalien emissiotutkimukset
- sisäilman ja materiaalien haitta-ainetutkimukset

### 3.1.1 Aistinvarainen havainnointi

Kuntotutkimuksissa tehdään aina aistinvaraista tarkastelua kohteesta riippumatta. Aistinvaraisessa tarkastelussa tulee havainnoida rakennusta sekä ulko-

, että sisäpuolelta. Alla olevassa taulukossa on esitetty seikkoja, joita tulisi tutkimuskohteessa tarkastella aistinvaraisesti.

4. Taulukko. Aistinvarainen tarkastelu (Ympäristöministeriö 2016, 30-31)

<b>Aistinvaraisen tarkastelun yhteydessä huomioitavia asioita</b>	
Rakennuksen sisäpuolelta	Rakennuksen ulkopuolelta
<ul style="list-style-type: none"> <li>- pintamateriaalien kunto ja- ikä</li> <li>- homeen haju</li> <li>- muut hajut</li> <li>- näkyvät kosteusvauriot</li> <li>- näkyvät mikrobivauriot</li> <li>- näkyvät lahovauriot</li> <li>- riskialttiit rakenneratkaisut</li> <li>- ilmavuodot ulkovaipan läpi</li> <li>- ilmanvaihtuvuus</li> <li>- ilmanvaihtojärjestelmän toiminta</li> <li>- huoltoa kaipaavat rakenteen</li> <li>- pintalämpötilat</li> <li>- ihmisten käyttötottumukset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vesikaton vesitiiveys</li> <li>- julkisivujen vesitiiveys</li> <li>- sade- ja pintavesien ohjaus</li> <li>- sade- ja salaoja järjestelmän olemassaolo</li> </ul>

Aistinvaraisten tutkimusten tukena voi käyttää esimerkiksi pintamittauksia, merkkisavua tai paine-eromittaria. Lisäksi rakenneavausten yhteydessä aistinvarainen tarkastelu on ensisijainen tapa tarkastaa rakenteen kuntoa. Vastuksen jälkeen tehdään tarvittaessa mittauksia ja näytteenottoja rakenteiden sisältä. (Ympäristöministeriö 2016, 30, 45.)

### **3.1.2 Tiiveyden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen tutkiminen**

Tiiveyden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen tunnistamiseen voidaan käyttää sisäilmaongelman selvityksen yhteydessä muun muassa merkkisavututkimusta, paine-eromittauksia, sekä lämpökuvausta. Kyseisiä menetelmiä käytetään, kun epäillään rakenteiden sisällä olevien epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan liiallisen alipaineen takia, ja/tai epätiivien rakenteiden lävitse. Ilmavuotojen lisäksi kyseisillä tutkimuksilla pystytään havaitsemaan kosteuskonvektion riskikohtia, jotka ovat voineet johtaa mikrobivaurioon. (Ympäristöministeriö 2016, 32, 98.)

Sisäilmaongelmien yhteydessä lämpökamerakuvausta voidaan hyödyntää paikantaessa lämpö- ja ilmapuotoikohtia, sekä joissain tapauksissa jopa kosteusvaurioita. Lämpötila ero sisätilan ja ulkoilman välillä tulee olla tällöin riittävän suuri, jonka vuoksi talvikuukaudet soveltuvat kyseisen menetelmän käyttöön parhaiten. Lämpökuvien tulkinta edellyttää koulutusta ja tietoa rakeneteiden toiminnasta. (Ympäristöministeriö 2016, 32, 59.)

Merkkisavututkimusta käytetään aistinvaraisen tarkastelun tukena. Kyseisellä menetelmällä pystytään paikantamaan rakenteiden läpi tulevien ilmapuotoikoh-  
tia, sekä arvioimaan ilmapuutausten voimakkuuksia ja suuntia, ja havaitsemaan onko tila ali- vai ylipaineinen toiseen tilaan nähden. (Ympäristöministeriö 2016, 32, 60.)

### **3.1.3 Materiaalinäytteet**

Rakenteissa olevaa mikrobikasvustoa arvioidaan aistinvaraisen tarkastelun lisäksi tarvittaessa mikrobianalyysillä näytteistä (Ympäristöministeriö 2016, 49). Asumisterveysasetuksen mukaan materiaalissa oleva mikrobikasvusto todetaan ensisijaisesti mikrobien kasvatukseen perustuvilla laimennossarja tai suoraviljelymenetelmillä, sekä mikroskopoimalla suoritettulla analyysillä. Laimennossarjamenetelmä ja suoraviljelymenetelmä eroavat toisistaan laboratoriossa tehtävän näytteen käsittelyn, sekä tulosten tulkinnan osalta. Kummasakin menetelmässä homesienten osalta kasvatusta kestää 7 vuorokautta ja bakteerien kasvatusta kestää 14 vuorokautta. Laboratorioanalyysissä sienimajoilta lasketaan pesäkkeiden kokonaismäärät, sekä lasketaan ja tunnistetaan eri sukujen pesäkkeet. Bakteerialustoilta lasketaan pesäkkeiden kokonaismäärä, sekä aktinomykeettien määrä. (Valvira 2016, 6-7. Ympäristöministeriö. 2016, 50-51.) Viljelymenetelmillä selvitetään kasvukykyisten mikrobien pituisuudet, sekä suku ja näin ollen kuolleet kasvustot saattavat kyseisillä menetelmillä jäädä huomaamatta (Ympäristöministeriö 2016, 50).

Laimennossarjamenetelmällä materiaalinäytteestä otetaan osanäyte, josta valmistetaan laimennossarjat. Kyseistä liuosta viljellään kasvatusalustoille. Vil-

jelyt tehdään kahdelle sienikasvatusalustalle ja yhdelle bakteerialustalle. Alus-  
tojen inkubointilämpötila on  $+25 \pm 3$  °C. Laimennossarjamenetelmän tulkinnan  
osalta materiaalissa katsotaan olevan mikrobikasvustoa, jos kasvukykyisten  
home- ja hiivasienten määrä on  $>10000$  pmy/g, tai jos bakteerien kokonais-  
määrä on  $>100000$  pmy/g, tai jos aktinomykkeettien määrä on 3000 pmy/g.  
Jos sienikasvustossa havaitaan kosteusvaurioindikaattoreita, saattaa pienem-  
mätkin pitoisuudet viitata tällöin mikrobikasvustoon. (Valvira 2016, 6-8.)

Suoraviljelymenetelmässä materiaalinäyte viljellään suoraan kasvatusalus-  
toille. Materiaalinäytteet hienonnetaan tässä yhteydessä tarvittaessa ja siirre-  
tään kullekin elatusalustalle 0,5 millilitran mittalusikallinen näytettä. Suoravilje-  
lymenetelmässä elatusalustat inkuboidaan myös  $+25 \pm 3$  °C lämpötilassa. Ky-  
seisen menetelmän tulokset ilmoitetaan semikvantitatiivisella asteikolla käyt-  
tään +/- merkintöjä.

-	= ei mikrobeja
+	= 1-19 pesäkettä (niukasti mikrobeja)
++	= 20-49 pesäkettä (kohtalaisesti mikrobeja)
+++	= 50-199 pesäkettä (runsaasti mikrobeja)
++++	≥ 200 pesäkettä (erittäin runsaasti mikrobeja)

Mikrobikasvustoa katsotaan esiintyvän, kun tulos on +++ tai +++++. Myös mi-  
käli tulos on + tai ++ ja lajistossa on havaittu kosteusvaurioindikaattoreita voi-  
vat tulokset viitata mikrobikasvustoon. (Valvira 2016, 6-9.)

### 3.2 Näytteet ja mittaukset sisäilmasta

Sisäilman epäpuhtauksien- ja olosuhteiden mittauksia voidaan käyttää apuna  
selvitettäessä sisäilmaongelmaa. Kyseisillä mittauksilla/näytteenotoilla pyri-  
tään havaitsemaan sisäilman laatuun heikentävästi vaikuttavia tekijöitä. (Ym-  
päristöministeriö 2016, 61.)

Sisäilman olosuhdemittaukset, joissa mitataan suhteellinen kosteus, sekä läm-  
pötila ovat niin sanotusti perusmittauksia, jotka toteutetaan useimmiten myös  
muiden tutkimusmenetelmien rinnalla. Mittauksilla pystytään tarkastelemaan  
sisätilojen kosteuslisän määrää, -lämpöolosuhteita ja taloteknisten seikkojen  
toimivuutta. Mittaukset voidaan toteuttaa tietyn aikavälin seurantamittauksina,  
tai hetkellisenä mittauksena. Seurantamittauksia suoritetaan tietojen tallenti-

mella, eli niin sanotulla dataloggerilla, johon on liitetty haluttua suuretta mittaava anturi. Seurantamittauksilla voidaan tarkastella suhteellisen kosteuden ja lämpötilan lisäksi muun muassa sisäilman hiilidioksidipitoisuutta. (Ympäristöministeriö 2016, 31, 37.)

Hiilidioksidimittauksilla pyritään useimmiten tarkastelemaan rakennuksen ilmanvaihdon riittävyyttä. Rakennuksen hiilidioksidipitoisuus kuvaa hyvin sisätilan tunkkaisuutta ja ihmisistä lähtevien päästöjen määrää. (Ympäristöministeriö 2016, 62.)

Sisäilman mikrobinäytteiden tarkoituksena on tukea muita mittaus- ja tutkimusmenetelmiä. Niillä voidaan saada tietoa sisäilman mikrobiperäisistä epäpuhtauksista ja ne voivat auttaa rajaamaan aluetta vaurion löytymiseksi. (Ympäristöministeriö 2016, 33.) Ainoastaan sisäilmanäytteiden pohjalta ei voida varmistua siitä, etteikö rakenteissa olisi mikrobikasvustoa. Sisäilmanäytteiden tueksi tulee ilmetä muutakin näyttöä toimenpiderajan ylittymisestä. Tällaisia ovat muun muassa homeen haju, näkyvät vauriojäljet, rakenteiden sisällä todetut kosteusvauriot, tai näytteet rakennusmateriaaleista tai pinnoilta, joissa havaitaan mikrobikasvua. (Valvira 2016, 10.)

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen Osan IV (2016, 10-11) mukaan ilmanäytteitä otetaan niistä huoneista, joissa mikrobihaittaa epäillään olevan. Kuitenkin suositeltavaa on ottaa näytteet vähintään kahdesta huoneesta. Sisäilmanäytteitä otettaessa asunnon olosuhteiden tulisi vasta mahdollisimman hyvin normaalia käyttötilannetta. Lisäksi, koska asunnon sisällä mikrobipitoisuudet voivat vaihdella voimakkaasti, tulisi ohjeistuksen mukaan ilmanäytteenotto uusia 2-3 kertaa, jotta saadaan mahdollisimman luotettava tulos.

Andersenin 6-vaiheimpaktori on ainoa Asumisterveysasetuksessa (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015) ja sen soveltamisohjeessa nimeltä mainittu menetelmä, jolla voidaan määrittää sisäilman mikrobipitoisuutta, sekä mikrobien lajeja. Tämän vuoksi Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa sisäilmanäytteenottoa ja näytteiden tulkintaa koskevat ohjeistukset on annettu Andersenin 6-vaiheimpaktorin ominaisuudet huomioiden, eikä muilla menetelmillä saatuja tuloksia

voida tulkita kyseisten ohjeiden mukaan. Myös muita menetelmiä ilmanäytteenotossa voidaan käyttää, mikäli mittausmenetelmä on validoitu sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön vaatimusten mukaan.

Andersenin 6-vaiheimpaktorilla otettu näyte imetään ilmasta elatusalustoille, jotka mahdollistavat sekä sieni-, että bakteerikasvuston havaitsemisen analyysissä. Sienien elatusalustoina käytetään M2 ja DG18 alustoja ja bakteereille THG-alustaa. (Valvira 2016, 11.) Näytteenottoa varten jokaista eri elatusalustaa on 6 kappaletta. Näytteenotto laitteiston avulla eri alustoille kerääntyy erikokoisia itiöitä. (Hometalkoot.fi s.a.)

Näytteenottoaika on yleisesti noin 10-15 minuuttia ja näytteet otetaan 1-1,5 metrin korkeudesta keskeltä huonetta. Kyseiset näytteet suositellaan otettaviksi talviaikaan, jolloin ulkoilman vaikutus sisäilmaan mikrobien osalta ei ole niin suuri. (Valvira 2016, 11.)

Näytteistä lasketaan-, sekä tunnistetaan pesäkkeet samalla tavoin, kuin materiaalinäytteiden kohdalla laimennossarjamenetelmässä. Kokonaismikrobipitoisuus lasketaan kaikilta elatusalustoilta. Sienialustoilta lasketaan myös eri lajien, ryhmien ja sukujen pitoisuudet ja bakteerialustoilta lasketaan kokonaismikrobipitoisuus, sekä aktinomykeettipitoisuus. (Valvira 2016, 12.)

### **3.3 Mycometer-air**

Mycometer on vuonna 1998 perustettu tanskalainen yritys. Yrityksen tavoitteena on ollut tuoda markkinoille nopea, asianmukainen, toistettava ja luotettava mikrobiologinen näytteenottomenetelmä vastapainoksi perinteisille viljelymenetelmille. Mycometerin mittausmenetelmissä käytetty teknologia on kehitetty Kööpenhaminan yliopistossa. (Mycometer s.a.1)

Mycometer analyysimenetelmiä on useita. Eri menetelmiä voidaan käyttää sienien tai bakteerien määrittämisessä mm. pinnoilta, vedestä, huokoisista materiaaleista, hiukkasista, lietteistä tai ilmasta. (Mycometer s.a.2) Rakennusten sisäympäristön kannalta olennaisia mittauksia ovat mikrobimääritykset materiaalista, pinnoilta ja ilmasta. Tässä opinnäytetyössä on käytetty sisäilmanäytteenottoon tarkoitettua Mycometer-air-menetelmää.

Mycometer-air-menetelmällä pystytään määrittämään sisäilmasta kuolleiden ja elävien homeiden kokonaismassa. (Mycometer s.a.4). Mycometerin menetelmä perustuu  $\beta$ -N-asetyyliheksaamidaasi-entsyymiin, eli NAHA-entsyymin aktiivisuuden mittaamiseen (Mycometer s.a.3). NAHA-entsyymin aktiivisuudella on todettu olevan yhteys sienisolubiomassan olemassaoloon, joka mahdollistaa Mycometer-menetelmän toiminnan (Aktas ym. 2018). Työvaiheiden osalta Mycometer-air-menetelmä voidaan karkeasti jakaa näytteenottoon ja näytteen analyysiin.

Mycometer menetelmällä ei pystytä erottelamaan mikrobilajeja toisistaan. Menetelmällä saadaan selville elävän ja kuolleen mikrobimassan kokonaismäärä sisäilmasta. (Mycometer s.a.4.) Se ei kuitenkaan havaitse tiettyjä kosteusvaurioindikaattoribakteereja, kuten aktinomykeettiä, eikä mikrobien tuottamia mykotoksiineja tai MVOC:ja (Reeslev 2019).

Valviran asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen IV mukaan sisäilmanäytteessä olevan kohonneen pitoisuuden perusteella on perusteltua epäillä rakennuksessa olevan kosteusvaurio (Valvira 2016, 13). Asumisterveysasetuksessa (545/2015), eikä sen soveltamisohjeessa ole annettu raja-arvoja Mycometer-air-menetelmän antamille tuloksille. Näin ollen tällä hetkellä Mycometer-menetelmällä ja sillä saaduilla tuloksilla ei ole virallista painoarvoa.

### **3.3.1 Mycometer-air näytteenotto**

Mycometer-air-menetelmän yhteydessä käytetään niin kutsuttua aggressiivista näytteenottomenetelmää, jossa huoneilma laitetaan liikkeelle puhaltimella ennen ilmanäytteen ottamista. Kyseinen toimenpide simuloi tilannetta, jossa tilalla on käyttäjiä ja sillä pyritään luomaan ympäristöön tavanomiset olosuhteet. Näytteenottoa, jossa tila pyritään pitämään häiriöttömänä, kutsutaan passiiviseksi näytteenotoksi. Passiiviseen näytteenottomenetelmään nähden aggressiivisella menetelmällä otettuun näytteeseen ei vaikuta niin suuresti ennen näytteenottoa tai sen aikana tapahtunut ihmisen toiminta. Aggressiivisella menetelmällä otettu näyte on tämän vuoksi helpommin toistettavissa. Lisäksi sillä saadaan mitattua ne mikrobit, joita ei passiivisella menetelmällä mittaustuloksissa näy, mutta jotka kuitenkin nousevat sisäilmaan suuremman ilmavirran

kohdistuessa tilaan. (Reeslev 2017.) Tämän työn näytteenottotilanteiden yhteydessä ilma puhallettiin liikkeelle Makita-merkkisellä akkupuhaltimella (Kuva 1).



Kuva 3. Akkupuhallin

Mycometer-air-näytteenottoa varten tarvittavat välineet ovat ilmanäytteenotto-pumppu, kolmijalka, ilmapuhaltaja, näytekasetti ja tarvittavat henkilösuojaimet. Lisäksi näytteenoton yhteydessä on hyvä olla ajastin käytössä, sekä jatkojohto, mikäli käytössä on verkkovirtaan kytkettävä pumppu.



Kuva 4. Mycometer-air menetelmään tarvittava mittauslaitteisto mittaushetkellä

Kun kohdehuoneessa on laitettu ilma liikkeelle puhaltimella, annetaan olosuhteiden tasaantua 2 minuutin ajan. Näyte kerätään imemällä pumpulla sisäilmaa näytekasetin läpi. Pumpun virtausnopeudeksi tulee säätää 20 litraa minuutissa ja näytteen keruu-aika on 15 minuuttia. Näin ollen yhtä näytettä varten imetään 300 litraa ilmaa. Näytekasetti asetetaan 1,5 metrin korkeuteen kohdehuoneessa. Huoneilmaa imetään näytekasetin läpi, jonka sisällä on 0,8  $\mu\text{m}$  huokoskoon suodatin. Sisäilman mahdolliset sienipartikkelit jäävät suodattimeen. (Mycometer s.a.4. Vita Laboratoriot. 2018, 3.)



Kuva 5. Näytekasetti

Näytekasetista otetaan molemmista päistä korkit pois mittauksen ajaksi. Punaisen korkin pääty asetetaan silikoniletkuun, jonka kautta pumppu imee ilmaa mittauksen ajan näytekasetin sisällä olevan suodatinkalvon läpi. Mittauksen jälkeen korkit asetetaan takaisin paikoilleen ja näyte merkataan huolellisesti.

Tarkemmat Mycometer-air-menetelmää koskevat näytteenotto-ohjeet on esitetty Vita-laboratorion Mycometer®-ilmanäyte lähetteen sivulla 3 (liite 3). Tässä opinnäytetyössä käytetyn aineiston osalta Mycometer näytteenotossa on seurattu kyseistä ohjeistusta. Vita laboratorion Mycometer®-ilmanäyte lähete tulee täyttää huolellisesti näytteenottotapahtuman yhteydessä. Kyseinen lähete on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä 1, 2, 3 ja 4.

Lähteessä kysytään kohdetta koskevia tietoja, jotka vaikuttavat laboratoriossa tehtävän analyysin tulosten tulkintaan. Muun muassa, onko kohteessa painovoimainen vai koneellinen ilmanvaihto, sekä näytteenottoaika ja pumpun imu teho vaikuttavat tulkintaan, joka tehdään laboratoriossa valmistajan määrittämän tulosasteikon mukaan. Muut asiat läheteessä, kuten tieto kohteesta olevista polttopuista, -sisäkasveista, -biojäteastiasta, -eläimistä tai kohteen sijainnista ovat asioita, joita analyysivastauksen vastaanottajan tulee ottaa huomioon tuloksia lukiessaan. (Varjoniemi 2019.) Tämän vuoksi tulosten tulkitsijalla täytyy olla alan asiantuntemusta huomioida kyseiset asiat.

### 3.3.2 Mycometer-air näytteen analysointi

Näytteenottotapahtumassa entsyymejä sisältävät mikro-organismit on kerätty yhteen näytekasetin sisältämän suodattimen avulla. Kun laboratoriossa näyte saatetaan kosketukseen keinotekoisien substraatin kanssa, tapahtuu reaktio, jonka seurauksena vapautuu fluoroforia reaktioliuokseen. Fluoroforin määrä mitataan fluorenssimittarilla, josta pystytään päättämään mikrobimassan määrä. (Mycometer s.a.3.)

Fluorenssimittarilla saadut tulokset muunnetaan MycoMeter-arvoksi (MycoMeter value, MV) valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. MycoMeter-arvo avataan vielä kolmiportaisen asteikon avulla helpommin luettavaksi. Tulokset ilmoitetaan semikvantitatiivisella asteikolla A-C, joka määräytyy MycoMeter-arvon mukaan. Mitä suurempi MV lukema on, sitä suuremman tuloksen fluorenssimittari on antanut tulokseksi näytteen analysoinnissa. (Varjoniemi 2019; Klamer ym. 2004.)

Tulosten ilmoituksessa otetaan huomioon ilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaate. Tulkintatapa perustuu valmistajan kokemukseen, jonka mukaan home-massan taso sisäilmassa on matalampi terveissä rakennuksissa, jotka omaavat koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän, kuin painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän omaavissa terveissä rakennuksissa. Selityksenä on, että sisäilman homepartikkelit poistuvat tehokkaammin sisäilmasta, kun poistoilmaa imetään koneellisesti huoneista. (Reeslev 2019.) Mikäli kyseessä on painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, tulosten tulkintaraja on sallivampi, kuin koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän kohdalla. Tulkintojen raja-arvot on esitetty liitteissä 5 ja 6, sekä taulukossa 5.

5.Taulukko. MycoMeter arvojen rajat, painovoimaisen- ja koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän omaavissa kohteissa (Vita Laboratoriot; Liite 5; Liite 6)

		MV raja-arvot, kun <b>koneellinen</b> ilmanvaihto.	MV raja-arvot, kun <b>painovoimainen</b> ilmanvaihto.
<b>A</b>	Tulos viittaa normaaliin kokonaishomemassan esiintymiseen tutkittavassa ilmanäytteessä	MV<350	MV<900
<b>B</b>	Tulos viittaa hieman normaalista kohonneeseen kokonaishomemassan esiintymiseen tutkittavassa ilmanäytteessä. Voi johtua ilman pölyisyydestä, matalasta sienipitoisuudesta, tai vanhasta sienikasvustosta.	350<MV<450	900<MV<1700
<b>C</b>	Tulos viittaa selvästi kohonneeseen homemassan esiintymiseen tutkittavassa ilmanäytteessä.	MV>450	MV>1700

Yllä oleva taulukko on tehty mukailien Vita Laboratorion analyysivastauksessa esitettyjä tulkintarajoja (liitteet 5 ja 6). Taulukosta näkee, että koneellisen ilmanvaihdon kohdalla MV lukeman ylittäessä 450 tulos viittaa sisäilman kohonneeseen mikrobimassaan. Painovoimaisen ilmanvaihdon kohdalla kyseisen MV lukema on 1700.

Mycometer-arvo helpottaa kolmiportaisen asteikon lisänä tulkintaa rajatapauksien kohdalla. Kyseiset arvot ilmoitetaan Vita laboratorion antamassa analyysivastauksessa (Varjoniemi 2019).

Tuloksiin vaikuttavia virhetekijöitä voivat olla näytteen kontaminoituminen, ohjeesta poikkeava näytteenotto tai mittauksen yhteydessä tapahtuva muu häiriö, fluorenssimittarin virheellinen kalibrointi, vialliset -tai väärän lämpöiset reagenssit, taikka muut vääränlaiset tai vialliset tarvikkeet. (Varjoniemi 2019.)

Mycometer-air-näytteen kenttäanalyysi on myös mahdollinen. Sen hyvänä puolena on vielä nopeampi tulosten saaminen. Kenttämittauksissa mahdollisuus analyysivirheisiin, sekä kontaminaatioon on suurempi, kuin valvotuissa laboratorio-olosuhteissa (Varjoniemi 2019). 15 minuutin näytteenoton lisäksi analyysin reaktioaika on 30 minuuttia, jolloin tulokset on mahdollista saada jopa alle tunnissa. (Lapin Amk. 2017. Mycometer 2012.)

#### 4 TOTEUTUS JA MENETELMÄT

Tämän opinnäytetyön aineistona käytetty materiaali koottiin Insinööritoimisto Henrik Himbergin tekemistä tutkimusraporteista. Läpi käytyjen raporttien pohjalta tehtiin tiivistelmät, joissa tuotiin esille valikoiduissa kohteissa tehtyjä, tutkimuksiin liittyviä toimenpiteitä ja tutkimuksia koskien oleellisimpia asioita. Tiivistelmien pohjalta analysoitiin, miten Mycometer-air-menetelmän käyttö oli vaikuttanut tutkimuksiin ja niiden johtopäätöksiin.

Tässä työssä tutkimusaineistona toimineet tutkimusraportit valikoitiin yli 200 kohteen joukosta, joissa Insinööritoimisto Henrik Himberg oli käyttänyt Mycometer-air sovellusta osana sisäilmatutkimuksia. Koottujen tutkimusten lähtökohtana oli epäily mikrobien aiheuttamasta sisäilmaongelmasta. Lisäksi otantaan otettiin kohteita, joissa oli tehty muutos- tai korjausrakentamisen toimenpiteitä ja joissa oli tarkasteltu jälkivahinkojentorjunnan onnistumista.

Tutkimusaineistoa rajattiin siten, että tutkitut kohteet olivat asuinkäytössä olevia rakennuksia. Näin ollen kohteiden joukossa oli omakotitaloja, kerrostalohuoneistoja, paritalohuoneistoja ja rivitalohuoneistoja. Kohdetapausten joukkoon valikoitiin sekä koneellisella ilmanvaihdolla varustettuja asuntoja, että painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän omaavia kohteita.

Tarkasteluun pyrittiin löytämään mahdollisimman erilaisia kohteita, joissa lopulta havaitut ongelmat ja niiden syyt erosivat toisistaan, jotta pystyttiin hahmottamaan minkälaisissa eri tilanteissa ja kohteissa Mycometer-air-menetelmä olisi perusteltu tutkimusmenetelmä. Lisäksi otantaan pyrittiin saamaan kohteita, joissa tehdyt tutkimusmenetelmät poikkesivat toisistaan, jotta saataisi kuva, mitkä tutkimusmenetelmät tukevat Mycometer-air-menetelmän käyttöä. Kaikkien valikoitujen kohteiden osalta tutkimukset saivat alkunsa asukkaiden oireilusta tai muusta epäilystä, sisäilman laatuun liittyen, tai tarpeesta varmistua jälkivahinkojentorjunnan onnistumisesta.

Mycometer-air-menetelmän analytiikan ja metodiikan osalta tietoa haettiin olemassa olevien tutkimusten ja Mycometerin internet sivuilta saatavan tiedon li-

säksi haastatteluin Vita Laboratoriosta, sekä Mycometer-menetelmän kehittäjältä Tohtori Morten Reesleviltä. Tiedusteluita suoritettiin sekä puhelimitse, että sähköpostikeskusteluina.

## 5 TULOKSET

Tässä luvussa on käyty läpi tuloksia, joita saatiin tarkastelemalla seitsemää erilaista kohdetapausta. Osana kunkin kohteen sisäilmaongelman tutkimusta käytettiin Mycometer-air-menetelmää sisäilman kokonaishomemassan määrittämisessä. Tuloksista määritettiin missä vaiheessa tutkimusta ja minkälaisissa kohteissa kyseistä menetelmää on hyödyllistä käyttää. Lisäksi tarkasteltiin minkä muiden tutkimusmenetelmien kanssa Mycometer-air-menetelmää pystyttiin kohteissa hyödyntämään.

Kohdetapaukset on esitetty tarkemmin liitteissä 7, 8, 9, 10, 11, 12 ja 13. Aineistona olleet tapaukset koottiin ja tiivistettiin Insinööritoimisto Henrik Himbergin tekemistä tutkimusraporteista. Kohteiden esittelyiden yhteydessä todetut seikat pohjautuvat alkuperäisiin tutkimusraportteihin. Yksityisyyden turvaamiseksi tapauksissa ei ole tuotu esille henkilöiden nimiä, eikä kohteiden osoitteita. Kaikkien kohteiden osalta Mycometer-menetelmällä otetut näytteet analysoitiin Vita-laboratorion toimesta.

Kaikki kohteet olivat asuinkäytössä olevia rakennuksia/huoneistoja, joissa oli asuinkerroksia maksimissaan kaksi. Tutkimusten lähtökohtana oli epäily sisäilmaongelmasta, jonka lisäksi kahdessa kohteessa tarkasteltiin korjaustoimenpiteitä jälkivahinkojen torjunnan osalta (kohteet 1 ja 3). Taulukkoon 6 on koottu kohdetapausten osalta keskeisimmät tiedot koskien Mycometerillä otettuja sisäilmanäytteitä.

6. Taulukko. Tarkasteltavat kohteet

Kohde	Talotyyppi	Ilmanvaihtojärjestelmä	Mycometerin käytön ajankohta tutkimuksissa	Tutkimus/mittausmenetelmät	Sisäilman mikrobimassa
1	Rivitalo	Koneellinen	alussa/lopussa (korjausten jälkeen)	Mycometer-air, aistinvarainen	B/C/A*
2	Kerrostalo	Koneellinen	alussa	Mycometer-air, aistinvarainen, materiaalinäyte	B
3	Paritalo	Koneellinen	lopussa (korjausten jälkeen)	Mycometer-air, aistinvarainen, lämpökamera, merkisavu	A

4	Rivitalo	Koneellinen	alussa	Mycometer-air, aistinvarainen, lämpökamera	B
5	Kerrostalo	Painovoimainen	alussa	Mycometer-air, aistinvarainen, loggeri	A
6	Omakotitalo	Painovoimainen	alussa	Mycometer-air, aistinvarainen, rakenneavaus+materiaalinäyte	A
7	Rivitalo	Painovoimainen	alussa	Mycometer-air, aistinvarainen, merkkisavu, rakenneavaus+materiaalinäyte	A

\*mittaukset suoritettu kolmena eri ajankohtana.

Tarkasteltavat kohteet olivat paritalo- ja kerrostalohuoneistoja, sekä omakotitaloja. Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän omaavia kohteita oli neljä ja painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän omaavia kolme.

Taulukosta 6 voidaan nähdä, ettei Mycometer-menetelmää käytetty missään kohteessa ainoana tutkimusmenetelmänä. Sen rinnalla jokaisessa kohteessa tehtiin vähintään aistinvaraisia havaintoja. Kaikissa kohteissa, joissa ei tutkittu jälkivahinkojen torjunnan onnistumista, Mycometerin sisäilmanäytteiden lisäksi otettiin myös muita näytteitä tai tehtiin muita mittauksia. Eniten Mycometer-air-menetelmän tukena aistinvaraisen tarkastelun lisäksi tarkasteltiin ja paikallistettiin rakennuksen ulkovaipan läpi tulevia ilmavuotoja lämpökameraa ja/tai merkkisavua hyväksikäyttäen.

Kohteissa, joissa tarkasteltiin jälkivahinkojen torjunnan onnistumista (kohteet 1 ja 3), Mycometer-air-menetelmän hyöty painottui toimenpiteiden loppuvaiheeseen. Kohteen 1 osalta Mycometer-air-näytteitä otettiin kolmena eri ajankohtana, jolloin pystyttiin seuraamaan sisäilman kokonaishomemassan kehitystä kunnostusprosessin ajan. Kohteissa, joissa lähtökohtana oli asukkaan epämääräisempi epäily sisäilmaan vaikuttavista mikrobiologisista epäpuhtauksista, Mycometer-air näytteet otettiin heti tutkimusten alussa.

Tutkittavien kohdetapausten osalta painovoimaisen ilmanvaihdon omaavissa kohteissa ei havaittu yhdessäkään kohonnutta homemassaa sisäilmassa. Kohteissa, joissa oli koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä kolmessa kohteesta neljästä, havaittiin sisäilman homemassa olevan hieman koholla. Mycometer-air menetelmällä saatujen tulosten tulkintarajat eroavat painovoimaisen- ja koneellisen ilmanvaihdon omaavien kohteiden välillä.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

Kohdetapausten yhteenvetojen osalta Mycometer-air-menetelmää käytettiin sisäilmatutkimusten yhteydessä pääasiassa muiden tutkimusmenetelmien ja niillä saatujen mittaustulosten tukena. Ainoastaan Mycometerin sisäilmanäytteiden pohjalta ei kohteissa oltaisi pystytty tekemään kovinkaan vahvoja päätelmiä. Toisaalta Mycometerillä saatujen tulosten pohjalta pystyttiin useassa kohdetapauksessa vielä suuremmalla varmuudella tukeutumaan muilla tutkimusmenetelmillä tehtyihin havaintoihin ja saatuihin tuloksiin. Lisäksi Mycometer-menetelmää pystyttiin hyödyntämään arvioitaessa sekä jälkivahinkojen torjunnan onnistumista, että mahdollisten lisätoimenpiteiden tarpeellisuutta.

Kaikkien kohdetapausten osalta Mycometerin tuloksia tulkittaessa hyödynnettiin kohteessa aistinvaraisesti tehtyjä havaintoja, kohteiden lähtötietoja, sekä ammattitietämystä rakennusteknisten ja rakennusfysikaalisten tekijöiden osalta. Näiden tekijöiden rooli Mycometerillä saatuja tuloksia tulkittaessa oli keskeisessä osassa jokaisen kohdetapauksen kohdalla.

Aineistona käytetyn materiaalin osalta, tutkimukset lähtivät liikkeelle asukkaiden aloitteesta. Asukkaat olivat joko kokeneet sisäilman huonoksi, oireilleet, tai halusivat varmistua tehtyjen korjausten onnistumisesta. Tällaisissa tilanteissa asukkaat saivat nopeasti vastauksen siihen, onko asunnossa syytä epäillä mikrobiperäisten epäpuhtauksien vaikutusta sisäilmaan vai ei. Näin ollen Mycometer-air-sovelluksen käyttö osana tutkimusta mahdollisti tarvittaessa nopeastikin suoritettavat jatkotoimenpiteet.

Kohteiden osalta talotyypillä ei katsottu olevan merkitystä Mycometerillä otettuihin näytteisiin ja tuloksiin. Sen sijaan minkälainen ilmanvaihtojärjestelmä tutkittavassa kohteessa on vaikuttaa merkittävästi tulosten tulkintaan ja laboratorion saattavaan analyysivastaukseen. Lisäksi muut ympäristössä olevat, mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät (mainittu lähetteessä, liite 4) tulee huomioida tuloksia tulkittaessa.

Kohteiden 3, 4 ja 7 kohdalla Mycometer-menetelmää käytettiin lämpökamera-tutkimusten, sekä merkkiainetutkimusten rinnalla. Kohteet erosivat toisistaan siten, että kohteessa 3 ei havaittu ilmavuotoja rakenteista, eikä kohonnutta mikrobimassaa sisäilmassa, kohteessa 4 havaittiin ilmavuotoja rakenteiden läpi, sekä sisäilman mikrobimassan olevan koholla ja kohteessa 7 havaittiin voimakkaita ilmavuotoja alapohjarakenteista, mutta sisäilman mikrobimassa ei ollut koholla. Kohteiden 3 ja 4 osalta päätelmät olivat selkeät, joiden pohjalta saatiin sekä poissuljettua, että vahvistettua ongelma, sekä rajattua aluetta ongelman paikannusta ajatellen. Molemmissa kohteissa tehtyjä päätelmiä vahvisti osaltaan Mycometer-menetelmällä saadut tulokset, jotka tukivat havaittuja ilmavuotoja rakenteiden läpi. Kahteen muuhun tapaukseen verrattuna kohteen 7 kohdalla jouduttiin loppupäätelmien osalta olettamaan enemmän, sillä Mycometer-menetelmä ei havaitse mikrobien aineenvaihduntatuotteita. Sisäilman mikrobimassan määrät olivat normaalilla tasolla, vaikka rakenteiden kautta tuli ilmavuotoja sisäilmaan. Kuitenkin kohteen osalta pystyttiin Mycometer tulosten avulla poissulkemaan huoneiston sisätilojen kanssa ilmayhteydessä olevien itiöivien homekasvustojen olemassaolo.

Mycometer-menetelmän lisäksi kohteissa 2, 6 ja 7 otettiin materiaalista näytteet, jotka analysoitiin laboratoriossa laimennossarjamenetelmällä. Kohteissa 2 ja 7 Mycometerillä saadut tulokset tukivat materiaalinäytteiden osalta saatuja tuloksia. Kohteessa 6 materiaalinäytteiden ja Mycometer-menetelmällä saatujen tulosten välillä oli selkeä ero. Mycometerillä saadut tulokset osoittivat sisäilman mikrobimassan määrän olevan normaalilla tasolla, kun taas laimennossarjamenetelmällä analysoidut materiaalinäytteet osoittivat kohteessa olevan vakavia mikrobivaurioita laajalta osin. Kyseisessä kohteessa muut käytetyt mittaus- ja tutkimus menetelmät sotiivat Mycometer-air-menetelmällä saatuja tuloksia vastaan. Jälkeenpäin katsottuna voidaan sanoa, että kyseisen kohteen osalta Mycometerillä tehdyt mittaukset osoittautuivat turhiksi, sillä jatkotoimenpiteitä ajatellen kyseisiä mittaustuloksia ei otettu millään lailla huomioon.

Seitsemästä kohdetapauksesta kahdessa tarkasteltiin jälkivahinkojen torjunnan laatua (kohteet 1 ja 3). Molempien kohteiden osalta pystyttiin osoittamaan Mycometer-air-menetelmällä saatujen tulosten perusteella, että jälkivahinkojen torjunta oli ollut riittävää. Näistä toisen kohteen (kohde 1) osalta sisäilman

mikrobimassan määrää pystyttiin arvioimaan koko remontin ajalta, koska ensimmäiset mycometerillä otetut sisäilmanäytteet oli otettu ennen remonttia tehtyjen tutkimusten yhteydessä. Kyseinen seikka osoitti selvästi, kohonneen sisäilman mikrobimassan osalta, että jälkivahinkojentorjunnan toimenpiteet olivat aluksi olleet vajavaiset ja sen, kuinka lopuksi tehty homepölysiivous vaikutti sisäilman mikrobimassan määrään.

Kohteessa 5 Mycometer-air-sovellusta käytettiin sisäilmaloggereiden rinnalla, joilla mitattiin ilman hiilidioksidipitoisuutta, sekä kosteus ja lämpötilaolosuhteita. Yhdessä näiden mittausmenetelmien avulla pystyttiin vahvasti toteamaan, että heikoksi havaitun sisäilman syy ei ollut mikrobiperäinen, vaan syyt olivat mitä luultavimmin riittämättömässä ilmanvaihdossa. Näin ollen jatkotutkimukset, sekä mahdolliset muut toimenpiteet pystyttiin kanavoimaan oikeaan suuntaan.

Mycometer-air-menetelmän käytön epäsuorina hyötyinä voidaan katsoa olevan edullinen hinta ja menetelmän nopeus mittauksen, sekä tulosten saannin osalta. Lisäksi tietyn tyyppisissä kohteissa Mycometer-airin käyttö osana sisäilmaongelman selvitystä saattaa säästää rakenteita, kun tutkimuksen alkuvaiheessa niitä ei lähdetä rikkomaan. Yksittäisen Mycometerin sisäilmanäytteen ja sen laboratorioanalysoinnin voidaan katsoa olevan huomattavasti edullisempi verrattuna esimerkiksi Andersenin 6-vaihe impaktorilla otetun yksittäisen näytteen kokonaiskustannuksiin. Näytteenottoon kuluva ajan osalta ei näillä kahdella menetelmällä juurikaan ole eroa, mutta näytteen käsittelyyn ja tulosten saamiseen kuluva aika poikkeaa huomattavasti. (Valvira 2016, 11. Varjoniemi. 2019.) Mycometerin tulokset on mahdollista saada jo samana päivänä, kun Andersenin 6-vaihe impaktorin tuloksia joutuu odottamaan useita viikkoja (Mycometer 2012; Valvira 2016, 12).

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Sisäilmaongelmien selvityksen yhteydessä Mycometer-air-menetelmällä saadut mittaustulokset toivat vahvuutta loppupäätelmien tueksi, jotka oli tehty lisäksi muita tutkimus ja mittausmenetelmiä käyttäen. Uskottavan ja perustellun

tuloksen saamiseksi Mycometer-menetelmällä tehtävä sisäilman mikrobimassan määrittäminen yksinään ei ole riittävä menetelmä, eikä se yksinään pysty korvaamaan tutkimus- ja mittausmenetelmiä, jotka ovat nykyisin käytössä.

Mycometer-air-menetelmää pystytään kuitenkin hyödyntämään muiden menetelmien rinnalla päätelmiä vahvistavana tekijänä. Mycometerillä saatujen tulosten tukena tulee olla vähintään aistinvaraisesti tehdyt havainnot tutkittaessa jälkivahinkojen torjunnan onnistumista. Laajemmissa tutkimuksissa Mycometer-air-menetelmää pystytään hyödyntämään muiden menetelmien tukemiseksi. Lisäksi tuloksia tulkitsevilla henkilöillä tulee olla tietämystä sisäilmaan vaikuttavista mikrobiologisista tekijöistä, ymmärrystä rakennusteknisistä ratkaisuista, sekä perehdytys kyseisen menetelmän metodiikkaan.

Mittaushetkellä tuloksiin tuo epävarmuutta ympäristössä olevat muut, kuin mikrobikasvustosta peräisin olevat lähteet (kasvit, kotieläimet, ihmiset, yleinen siisteys). Lisäksi puutteena, verrattuna viljelymenetelmiin on, ettei menetelmä erottele mikrobeja lajitasolle, eikä se havaitse sädesientä, jota pidetään vahvana kosteusvaurioindikaattoribakteerina. Toisaalta Mycometer-menetelmän vahvuutena viljelymenetelmiin verrattuna voidaan katsoa olevan se, että Mycometer mittaa myös kuolleen homemassan olemassaolon.

Mycometerin tulosten tulkinta ja analyysi painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon raja-arvojen välillä ei ole tarpeeksi selkeä ja riittävän uskottava. Tulosten tulkinta perustuu tällä hetkellä valmistajan antamiin ohjeistuksiin, jotka on luotu heidän kokemukseensa perustuen (Reeslev 2019). Tällä hetkellä tulosten tulkinnan osalta painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän kohdalla MV lukeman ollessa vähemmän kuin 900 ( $MV < 900$ ) katsotaan sisäilman kokonaisuutena olevan normaalilla tasolla, kun taas koneellisen ilmanvaihdon kohdalla kyseinen tulos viittaisi selvästi kohonneeseen homemassan määrään sisäilmassa (Liitteet 5 ja 6).

Kohdetapauksissa käytettyjen tutkimusmenetelmien osalta aistinvaraisen havainnoinnin lisäksi Mycometer-air sovelluksen tueksi parhaiten soveltuivat ilmapuotokohtien ja rakenteiden lämpötilaerojen paikallistaminen. Lisäksi kohteista saadut lähtötiedot olivat merkittävässä roolissa, muun muassa näytteenotto paikkojen valinnan suhteen.

Mycometer-air osoittautui soveltuvaksi mittausmenetelmäksi etenkin tutkimusten alkuvaiheessa, sekä tilanteissa, joissa tarkastellaan jälkivahinkojen torjunnan onnistumista, tai tarpeellisuutta. Menetelmää voidaan käyttää eräänlaisena esitutkimuksena katselmuksen yhteydessä, kun tutkimuksen lähtökohdiana on asukkaan/käyttäjän epämääräinen epäily sisäilman heikosta laadusta. Tällöin saataisi kevyillä toimenpiteillä heti tutkimusten alkuvaiheessa näyttöä siitä, onko mikrobiperäistä ongelmaa syytä epäillä ja tarvittaessa lähteä tutkimaan ongelmaa tarkemmin.

Korjaustoimenpiteiden ja jälkivahinkojen torjunnan onnistumista tutkittaessa Mycometer-air-menetelmän käyttö soveltui osoittamaan, onko korjausten aikainen pölyntorjunta ja niiden jälkeinen loppusiivous ollut riittävä. Lisää varmuutta tulosten tulkintaan saatiin, kun mittaukset tehtiin korjaustoimenpiteitä ennen ja jälkeen.

## LÄHTEET

Aktas, Y, D. Ioannou, I. Altamirano, H. Reeslev, M. D'Ayala, D. May, N. Canales, M. 2018. Surface and passive/active air mould sampling: A testing exercise in a North London housing estate. Pdf-dokumentti. Science of the Total Environment. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/>. [viitattu: 29.4.2019]

Andersson, T. 2004. Rakennussiivous: Työn aikainen siivous ja loppusiivous osanan rakentamisen puhtauden hallintaa. 1. painos. Mikkeli: AO-paino.

Crook, B. Burton, N.C. 2010. Indoor moulds, Sick Building Syndrome and building related illness. Pdf-dokumentti. Elsevier Ltd on behalf of The British Mycological Society. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/>. [viitattu: 9.4.2019]

Hometalkoot.fi. s.a. 4.2. Näytteenotto mikrobiologisiin analyysiin. Saatavissa: <https://hometalkoot.fi/file/15901.pptx>. [viitattu: 25.3.2019]

Klamer, M. Morsing, E. Husemoen, T. 2004. Fungal growth on different insulation materials exposed to different moisture regimes. Pdf-dokumentti. International Biodeterioration & Biodegradation. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/>. [viitattu: 10.4.2019]

Kokkonen, A. ym. 2013. Pölynhallinta korjausrakentamisessa. Pdf-dokumentti. University of Eastern Finland. Kuopio. Saatavissa: [http://epublications.uef.fi/pub/urn\\_isbn\\_978-952-61-1052-3/urn\\_isbn\\_978-952-61-1052-3.pdf](http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1052-3/urn_isbn_978-952-61-1052-3.pdf). [viitattu: 22.1.2019]

Lapin Amk. 2017. Modernin sisäilmamittausmenetelmän pilotointi yritysyhteistyönä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lapinamk.fi/blogs/Modernin-sisailmamittausmenetelman-pilotointi-yritysyhteistyona/elbc0y4s/203526dd-f110-438c-87d2-cc40824b0a5c>. [viitattu: 10.4.2019]

Leivo, V. Rantala, J. 2006. Maanvaraisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. Pdf-dokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/files/3731536/leivo\\_rantala\\_maanvastaisten\\_rakenteiden\\_mikrobiologinen\\_toimivuus.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/3731536/leivo_rantala_maanvastaisten_rakenteiden_mikrobiologinen_toimivuus.pdf). [viitattu: 7.3.2019]

Mycometer s.a.1. About. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mycometer.com/about/>. [viitattu: 16.1.2019]

Mycometer s.a.2. Products. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mycometer.com/products/>. [viitattu: 16.1.2019]

Mycometer s.a.3. Technology. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mycometer.com/technology/>. [viitattu: 5.2.2019]

Mycometer s.a.4. Mycometer ®Air. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mycometer.com/products/mycometer-air/about-mycometer-air/>. [viitattu: 7.2.2019]

Mycometer. 2012. Mycometer®Air. Pdf-dokumentti. Saatavissa: [https://d1ncpxtjibep50g.cloudfront.net/fileadmin/user\\_upload/Pdf/Mycometer-Air\\_Flyer\\_2012\\_.pdf](https://d1ncpxtjibep50g.cloudfront.net/fileadmin/user_upload/Pdf/Mycometer-Air_Flyer_2012_.pdf). [viitattu: 10.4.2019]

Nordman, H. Uitti, J. Toskala-Hannikainen, E. Kari, O. Piipari, R. 2007. Kosteusvauriomikrobien aiheuttamien sairauksien tutkiminen. Pdf-dokumentti. Suomen Lääkärilehti. Saatavissa: <http://www.epshp.fi/files/2010/Majvik-kosteusvauriomikrobit-2007.pdf>. [viitattu: 9.4.2019]

Pirinen, J. 2006. Pientalojen mikrobivauriot: Lähtökohtana asukkaiden kokeemat terveyshaitat. Pdf-dokumentti. Hengitysliitto. Tampere. Saatavissa: [https://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/oppaat/pientalojen\\_mikrobivauriot\\_vaitoskirja\\_pirinen.pdf](https://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/oppaat/pientalojen_mikrobivauriot_vaitoskirja_pirinen.pdf). [viitattu: 22.1.2019]

Poutiainen, T. 2017. Sisäilmakorjausten onnistumisen varmentaminen. Pdf-tiedosto. Rateko. Helsinki. Saatavissa: <https://www.vahanen.com/app/uploads/2017/06/Taija-Poutiainen-RTA-lopputy%C3%B6-Sis%C3%A4ilmakorjausten-onnistumisen-varmentaminen.pdf>. [viitattu: 30.4.2019]

Putus, T. 2017. Home ja terveys, Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen sekä terveyshaitat. 3. painos. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.

Reeslev. M. 2019. Tohtori. Sähköpostikeskustelu. 2.4.2019. Mycometer A/S.

Reeslev, M. Nielsen, J. Miller, M. Rogers, L. 2017. Aggressive Sampling - Improving the Predictive Value of Air Sampling for Fungal Aerosols. Pdf-tiedosto. Saatavissa: [https://www.isiaq.org/docs/presentations/1050\\_Reeslev.pdf](https://www.isiaq.org/docs/presentations/1050_Reeslev.pdf). [viitattu: 7.2.2019]

Reijula, K. Ahonen, G. Alenius, H. Holopainen, R. Lappalainen, S. Palomäki, E. Reiman, M. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Pdf-dokumentti. Eduskunnan tarkastusvaliokunta. Espoo. Kopijyvä Oy. Saatavissa: [https://www.eduskunta.fi/fi/tietoaeduskunnasta/julkaisut/documents/trvj\\_1+2012.pdf](https://www.eduskunta.fi/fi/tietoaeduskunnasta/julkaisut/documents/trvj_1+2012.pdf). [viitattu: 22.1.2019]

Sandberg, E. 2016. Ilmastointitekniikka, Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. 2. painos. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sahlberg, B. Gunnbjörnsdottir, M. Soon, A. Jogi, R. Gislason, T. Wieslander, G. Janson, C. Norback, D. 2012. Airborne molds and bacteria, microbial volatile organic compounds (MVOC), plasticizers and formaldehyde in dwellings in three North European cities in relation to sick building syndrome (SBS). Pdf-tiedosto. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com>. [viitattu: 13.3.2019]

Seppänen. s.a. Sisäympäristö ja tuottavuus. Saatavissa: <https://docplayer.fi/1552382-Sisaymparisto-ja-tuottavuus-olli-seppanen-professori-teknillinen-korkeakoulu-konetekniikan-osasto-lvi-teknikka.html>. [viitattu 12.3.2018]

Seuri, M. & Reiman, M. 1996. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys ry. 2008.1. Indikaattorit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Mikrobi-tutkimukset/Indikaattorit>. [viitattu: 12.3.2019]

Sisäilmayhdistys ry. 2008.2. Sisäilman tekijät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Sisailman-tekijat>. [viitattu 11.3.2019]

Sisäilmayhdistys ry. 2008.3. Sisäilman vaikutukset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Sisailman-vaikutukset>. [viitattu:11.3.2019]

Sisäilmayhdistys ry. 2008.4. Kemialliset epäpuhtaudet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemi-alliset-epapuhtaudet>. [viitattu: 12.3.2019]

Sisäilmayhdistys ry. 2008. 5. Mikrobin terveyshaitat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Mikrobin-terveyshaitat>. [viitattu 13.3.2019]

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2008. Asumisterveysopas. Pori: Ympäristö ja Terveys-lehti.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje, Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Pdf-dokumentti. Helsinki. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/71398/Opp200301.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [viitattu:14.3.2019]

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 23.4.2015/545.

Säteri, J. s.a. Pölytön työmaa – työntekijän ja rakennuksen käyttäjän etu. Pdf-tiedosto. Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050504.pdf>. [viitattu:22.1.2019]

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2019. Terveyshaitan toteaminen. WWW-dokumentti. Päivitetty: 15.1.2019. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma/hometalo-ja-kosteusvaurio/terveyshaitan-toteaminen>. [viitattu:21.3.2019]

Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa IV, Asumisterveysasetus §20. Saatavissa: <https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje+osa+IV.pdf/cdfaaa39-d2e5-4bd6-b9e9-6d9c0f60bff6>. [viitattu 25.3.2019]

Varjoniemi. T. 2019. Myyntipäällikkö. Sähköpostiviesti. 15.3.2019. Vita Laboratoriot Oy.

Vita Laboratoriot. 2018. Lähete: Sisäilma, Ilmanäyte, Kokonaishomemas-  
samääritys, Mycometer®-ilmanäyte (aggressiivinen näytteenotto).

Wilkins, K. 2002. Microbial VOC (MVOC) in buildings, thier properties and po-  
tential use. Pdf-tiedosto. National Institute of Occupational Health. Kööpen-  
hamina. Tanska. Saatavissa: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB6164.pdf>.  
[viitattu:13.3.2019]

Ympäristöministeriö. 2016. Ympäristöopas 2016: Rakennuksen kosteus- ja si-  
säilmätekninen kuntotutkimus. 2.painos. Helsinki: Hansaprint Oy.



**Lähete:**  
Sisäilma, Ilmanäyte  
Kokonaishomemassamääritys  
Mycometer®-ilmanäyte  
(aggressiivinen näytteenotto)

<b>Lähettäjä, vastausosoite</b>	<b>Laskutusosoite</b>	<input type="checkbox"/> Sama kuin lähettäjä
Yritys: _____	Yritys: _____	
Y-tunnus: _____	Y-tunnus: _____	
Osoite: _____	Osoite: _____	
_____	_____	
Yhteyshenkilö: _____	Yhteyshenkilö: _____	
Puhelin: _____	Puhelin/sähköposti: _____	
Sähköposti: _____	Viite: _____	

**Vastaus toimitetaan aina antamaanne sähköpostiosoitteeseen.**

Haluan vastauksen myös kirjepostilla.

### Tiedot tutkimuskohteesta (Ilmanäyte)

Tutkimuskohde: \_\_\_\_\_

Kohteen osoite: \_\_\_\_\_

Kerääjän malli ja merkki: \_\_\_\_\_

Näytteenottaja: \_\_\_\_\_ Näytteenoton pvm.: \_\_\_\_\_

Näytteet lähetetty pvm.: \_\_\_\_\_ Näytteiden lukumäärä: \_\_\_\_\_

Näytteenottoon liittyvää muuta lisätietoa (esim. muut kuin Vitan maljat):

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Onko kohteessa koneellinen ilmanvaihto?**

Kyllä  Ei

**Onko koneellinen ilmanvaihto toiminnassa näytteenottohetkellä?**

Kyllä  Ei





**Lähete:**  
Sisäilma, Ilmanäyte  
Kokonaishomemassamääritys  
Mycometer®-ilmanäyte  
(aggressiivinen näytteenotto)

## Näytteenotto-ohjeet

### Huomioitavaa ennen näytteenottoa

Ikkunoiden tulee olla suljettuna vähintään kuusi tuntia ennen näytteenottoa. Jos kohteessa on koneellinen ilmanvaihto, saa olla normaalisti toiminnassa ja kohteen tavanomainen käyttö on sallittua. Ilmanvaihdon päällä tai sammuksissa olo merkitään lähelomakkeeseen sille tarkoitettuun kohtaan. Ilmanvaihdon tila huomioidaan tuloksen tulkinnassa.

Valmistajan suosituksen mukainen näytteenottotapa on nk. aggressiivinen ilmanäytteenotto eli tapa, jossa kohdehuoneen ilmamassa aktivoidaan liikkeelle ennen näytteenottoa. Aggressiivisen näytteenoton tavoitteena on saattaa pinnoille laskeutuneet mahdolliset homeitiöt ja niiden osat ilmaan mallintaen sitä tilannetta minkä myös ihmiset huoneessa liikkueensa saavat aikaiseksi. Tämä lisää analyysin luotettavuutta ja parantaa mahdollisen sienikasvuston löytymistä.

### Näytteenottovälineet

Tarvitsette ilmanäytteenottpumpun, kolmijalan, näytekasetin (punainen korkkinen musta purkki), ilmapuhaltajan ja hengityssuojaimen.



### Alkuvalmistelut

Asettakaa pumppu tukevalle alustalle. Kasatkaa kolmijalka, siten että sen yläosa tulee 1,5 m:n korkeuteen kohdehuoneeseen. Kiinnittäkää letku kolmijalan päässä olevaan pitimeen. Poistakaa näytekasetin punainen korkki ja asettakaa kasetti letkun päähän. Muistakaa merkitä näytetunniste näytekasettiin. Kun pumppu sekä kasetti ovat paikoillaan, asetaan ajastin valmiiksi kahteen minuuttiin. Laittakaa hengityssuojain nenän ja suun eteen tiiviisti ja aloittakaa huoneilman puhaltaminen ilmapuhaltajalla. Tarkoituksena on puhaltaa koko huoneen ilma liikkeelle siten, että puhallus tapahtuu noin 2 m:n etäisyydeltä huoneen pinnoilta. Tarkoitus ei ole saada kaikkia mahdollisia hiukkasia ja pölyjä liikkeelle puhaltamalla esim. lämmityspattereiden tai taulujen takaa vaan liikuttaa koko huoneen ilmaa lattiapinnat mukaan lukien. Kun puhallus on suoritettu, käynnistäkään valmiiksi asetettu ajastin ja odotetaan kaksi minuuttia.

### Näytteenotto

Asettakaa ajastimeen 15 min. Avatkaa näytekasetin musta korkki, käynnistäkää ajastin ja pumppu. Säätäkää pumpun virtausnopeus 20 l/min. Näytteenoton loputtua irrottakaa kasetti ja laittakaa korkit (punainen ja musta) kiinni.

Mahdollista kosteusvaurion kokonaisarviointia varten on suositeltavaa kirjata kohteen muut tiedot olosuhdelomakkeen.

**Näyte säilyy tutkimuskelpoisena huoneenlämmössä viikon, mutta on suositeltavaa toimittaa se mahdollisimman nopeasti VITA Laboratorioon.**

**Vita Laboratoriot Oy**  
Laivakatu 5 F, 00150 Helsinki  
Puhelin +358 9 228 80410  
[www.vita.fi](http://www.vita.fi)



**Vitalab**  
17.12.2018  
Sivu 3/4



**Lähete:**  
Sisäilma, Ilmanäyte  
Kokonaishomemassamääritys  
Mycometer@-Ilmanäyte  
(aggressiivinen näytteenotto)

## Olosuhteet näytteenoton aikana

Ilmanäytteiden tulosten tulkintaan vaikuttavat useat eri tekijät, joten suosittelimme olosuhtelomakkeen täyttöä kaikkien kohteiden osalta.

Tiedot tutkimuskohteesta		
Tutkimuskohde: _____		
Kohteen osoite: _____		
<b>Kohteen sijainti</b> <input type="checkbox"/> Taajama <input type="checkbox"/> Maaseutu	<b>Koneellinen ilmanvaihto</b> <input type="checkbox"/> koneellinen <input type="checkbox"/> painovoimainen	<b>Lämpötila</b> Sisällä _____ °C Ulkona _____ °C
<b>Maa kohteen ympärillä</b> <input type="checkbox"/> Lumi- tai jääpeite <input type="checkbox"/> Lumeton maa	<b>Tulisija</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei	<b>Kotieläimiä</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei Mitä _____
<b>Ikkunat</b> <input type="checkbox"/> Auki <input type="checkbox"/> Kiinni	<b>Polttopuita sisällä</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei	<b>Yleinen siisteystaso</b> _____
<b>Kasveja</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei	<b>Bioastia sisällä</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei	<b>Henkilöitä sisällä näytteenoton aikana</b> _____
Muu toiminta (esim. ruoanlaitto, siivous) mittauksen aikana tai 1–2 tuntia ennen? _____ _____		
Onko näkyvää homekasvua? _____		
Onko näkyviä kosteusvaurioita? _____		
Kohteen mahdolliset tiedetyt kosteus- tai vesivauriot? _____		





**Kohde 1**

Kohde 1 oli 1990-luvun alussa rakennettu rivitaloaluoneisto, jossa oli koneellinen poistoilmanvaihto. Kohteessa oli aiemmin tehty laajamittaisia rakennusteknisiä tutkimuksia, joiden yhteydessä sisäilman kokonaismikrobimassaa oli tutkittu Mycometer-air-menetelmällä. Rakennuksessa oli todettu riskialtis ulkoseinärakenne, josta puuttui tuuletusrako. Tuuletusrakojen puuttumisen vuoksi kyseiseen rakenteeseen kohdistunut kosteusrasitus ei ollut päässyt purkautumaan riittävän tehokkaasti. Tutkimusten pohjalta rakennuksessa tehtiin laajamittaisia ulkoseinien korjaustoimenpiteitä, kuten eristevillojen vaihtoa ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden korjauksia.

Remontin jälkeen huoneistossa arvioitiin korjaustoimenpiteiden onnistumista ja jälkivahinkojen torjunnan tarpeellisuutta ottamalla sisäilmasta näytteet Mycometer-air-menetelmällä. Näytteet otettiin samoista paikoista, kuin ennen remonttia. Tuloksia verrattiin ennen remonttia otettujen näytteiden tuloksiin.

Kohteen 1 MycoMeter arvot, koneellinen iv (katso liite 5 tulkintaa varten).

	MV Ennen remonttia	MV Remontin jälkeen	MV Kontrolli 1	MV Kontrolli 2
Olohuone	575	2407	593	107
Makuuhuone	780	344		

Tulokset tulkittiin koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän raja-arvojen mukaan. Tuloksista voitiin todeta, että makuuhuoneen osalta sisäilman kokonaismikrobimassa oli pudonnut korjauksen jälkeen, mutta olohuoneen kohdalla Mikrobimassa oli lähes kolminkertaistunut verrattaessa ennen remonttia saatuihin tuloksiin. Remontin jälkeisten mittaustulosten pohjalta koko huoneistossa suositeltiin tehtäväksi asianmukainen homepölysiivous. Homepölysiivousta suositeltiin, koska remontin jälkeen tehty loppusiivous ei ollut tulosten mukaan ollut olohuoneen osalta riittävä. Homepölysiivouksella saataisi poistettua kaikkialta huoneistosta korjausrakentamisen aiheuttama lika ja pöly, sekä niihin kiinnittyneet mikrobit, sekä niiden aineenvaihduntatuotteet.

Homepölysiivouksen jälkeen noin kaksi viikkoa edellisen mittauksen jälkeen, suoritettiin kontrollinäytteenottoja homepölysiivouksen laadun- sekä kyseisen toimenpiteen riittävyuden varmistamiseksi. 1. kontrollinäytteessä tulokset olivat samaa luokkaa, kuin ennen remonttia. Olosuhteiden päätettiin antaa taasaantua vielä kaksi viikkoa ennen viimeistä kontrollinäytettä.

2. kontrollinäytteen tulosten perusteella pystyttiin toteamaan, että homepölysiivous oli ollut riittävä. Lisäksi voitiin sanoa, että tehdyt korjaustoimenpiteet olivat onnistuneet niiltä osin, ettei sisäilmassa ole havaittavissa poikkeavia määriä homemassaa.

Tämän kohteen tutkimusten kohdalla Mycometer-air-menetelmä osoittautui käytännölliseksi mittausmenetelmäksi korjausrakentamistoimenpiteiden onnistumisen seurannassa. Kyseisen menetelmän nopeasti saatavien mittaustulosten vuoksi tässä tapauksessa pystyttiin ongelmiin reagoimaan- ja tarvittavat toimenpiteet tekemään suhteellisen nopealla aikataululla, joka on tärkeää

etenkin asuinrakennusten kohdalla. Kaikki remontin jälkeen tehdyt mittaukset suoritettiin noin kuukauden sisällä loppuvuodesta. Lisäksi Mycomer-menetelmällä saatujen tulosten pohjalta pystyttiin päättelemään homepölysiivouksen tarpeellisuus kohteessa ja varmistamaan kyseisen siivouksen onnistumisesta.

## Kohde 2

Kohde 2 oli kerrostalohuoneisto, jossa ilmanvaihtoa tehosti talokohtainen huippuimuri. Omistaja oli kokenut sisäilman ajoittain huonoksi ja havainnut selkeää homeen/mikrobien aineenvaihduntatuotteiden aiheuttamaa hajua.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko huoneiston sisäilmassa havaittavissa mikrobiologisia epäpuhtauksia, sekä onko huoneiston rakenteelliset ratkaisut sellaisia, jotka voivat osaltaan asukkaan havaitsemat hajuhavainnot. Aistinvaraisen tarkastelun lisäksi kohteessa otettiin materiaalinäytteitä, sekä sisäilmanäytteitä Mycometer-menetelmällä.

Kohteessa sisäilmasta havaittiin selkeää, mutta lievää mikrobien aineenvaihduntatuotteille ominaista hajua. Materiaalinäytteet päädyttiin ottamaan keittiön, makuuhuoneen, sekä työhuoneen tapeteista, ulkoseinän vastaisista nurkista.

Materiaalinäytteet lähetettiin analysoitavaksi laboratorioon. Materiaalinäytteiden viljelyssä käytettiin laimennossarjamenetelmää, jotta saataisiin mahdollisimman tarkkaan tietää näytteen sisältämä mikrobilajisto, sekä kokonaispesäkemäärä ja onko kyseisessä materiaalissa syytä epäillä terveyteen vaikuttavaa mikrobikasvustoa. Kyseinen menetelmä ja tulosten tulkinta tehtiin Asumisterveysasetuksen (STM 545/2015) ja Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen, osan IV mukaan.

Materiaalinäytteistä ei löytynyt viitteitä kosteus- tai mikrobivaurion olemassa olosta. Sienten kokonaismäärä, sekä kokonaisbakteeri-pitoisuus kasvualustoilla ei viitannut kohonneisiin arvoihin. Myöskään sädesieni-pitoisuudet näytteissä eivät olleet koholla. Lisäksi näytteistä ei löydetty huomattavia määriä kosteusvaurioindikattoreita.

Sisäilmanäytteet Mycometer-menetelmällä otettiin samoista huoneista, kuin materiaalinäytteet oli otettu (makuuhuone, keittiö, työhuone). Ensimmäisellä mittauskerralla huoneistossa ei ollut ilmanvaihtoa päällä, johtuen sen ajastuksesta. Mycometer-menetelmällä tehdyt mittaukset toistettiin noin kuukautta myöhemmin siten, että ilmanvaihto oli toiminnassa.

Kohteen 2 MycoMeter arvot, koneellinen iv (katso liite 5 tulkintaa varten).

	MV 1. mittaus	MV 2. mittaus
Makuuhuone	359	354
Keittiö	295	168
Työhuone	332	232

Tulokset tulkittiin koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän raja-arvojen mukaan. Makuuhuoneen sisäilmasta otetuissa sisäilmanäytteissä havaittiin, sekä ensimmäisellä, että toisella mittauskerralla lieviä viitteitä kohonneesta sisäilman mikrobimassasta. Keittiön ja työhuoneen kohdalla saadut tulokset laskivat huomattavasti, kun ilmanvaihto oli kytketty päälle. Tulokset osoittivat sisäilman mikrobipitoisuuden laskevan koneellisen poiston ollessa käynnissä.

Kohteessa tehdyt tutkimustulokset viittasivat siihen, ettei huoneiston ympäröivissä rakenteissa ollut kosteus-, tai mikrobivauriota. Materiaalinäytteiden tulokset, omistajan havainnot, sekä Mycometer-menetelmällä otetut sisäilmanäytteet viittasivat siihen, että koetut haitat olivat peräisin rakenteellisista ilmapuodoista. Ilmapuodot johtuivat oletettavasti epätiiviestä ulkoseinän ja alavälipohjan välisistä liitoskohdista ja paine-eroista asunnon ja alla olevan tilan välillä.

Huoneiston alapuolisiin tiloihin ei tutkimuksissa ollut pääsyä. Olettaen, että kyseisen tilan ilmanvaihto oli ajoitettu toimimaan samalla syklillä, kuin tutkittavassa huoneistossa. Tällöin, kun tutkittavan huoneiston alapuolisissa tiloissa ilmanpoisto kytkeytyi samanaikaisesti käyntiin, myös kyseisen tilan painesuhteet laskivat tutkittavaan huoneistoon nähden. Näin tutkittavaan huoneistoon pääsi kulkeutumaan vähemmän mikrobipitoista ilmaa rakenteiden läpi

Suosittelaviksi toimenpiteiksi annettiin vuotokohtien tiivistys, sekä asunnon ilmanvaihdon tehostaminen korvausilmaventtiileitä lisäämällä. Näin ollen paineero ulko- ja sisäilman välillä saataisi tasaantumaan ja ilmapuodot rakenteiden läpi vähenisi. Lisäksi huoneiston alapuolisen tilan ilmanvaihtoa oli suositeltavaa tehostaa niin, että alapuolinen tila olisi alipaineinen yläpuolella olevaan asuntoon nähden.

Mycometer-air menetelmällä saadut tulokset tukivat tässä kohteessa otettujen materiaalinäytteiden tuloksia. Näin ollen pystyttiin sulkemaan pois sisäilmaan vaikuttavien mikrobikasvustojen olemassaolo. Kyseinen asia vahvisti rakenteiden läpi tulevien ilmapuotojen merkitystä tutkimuksessa. Lisäksi 1. ja 2. mittauskertojen tuloksia vertaillen pystyttiin sulkemaan pois ilmanvaihdon mahdollisesti aiheuttama kuormitus sisäilmaan mikrobimassan osalta.

### Kohde 3

Kohde 3 oli paritalo, jonka sisätiloissa oli aiemmin tehty laajamittainen remontti. Asunnon omistaja halusi varmistua remontin onnistumisesta ja jälkitoimenpiteiden tarpeellisuudesta. Kohteessa oli koneellinen ilmanvaihto.

Kohteessa tehtyjen tutkimusten tarkoituksena oli selvittää sisäilmanäytteillä, onko huoneiston sisäilmassa viitteitä mikrobiologisten epäpuhtauksien olemassaololle, sekä paikantaa niiden mahdolliset lähteet. Lisäksi kohteessa tutkittiin ulkovaipparakenteiden tiiveyttä ja mahdollisia ilmapuotoja lämpökameralla, sekä merkkiainetutkimuksella.

Sisäilmanäytteet otettiin Mycometer-menetelmää käyttäen neljästä huoneesta. Näytteet otettiin keittiöstä, olohuoneesta, ja yläkerran kahdesta makuuhuoneesta.

Kohteen 3 MycoMeter arvot, koneellinen iv (katso liite 5 tulkintaa varten).

	MV
Keittiö	262
Olohuone	181
Makuuhuone	188
Makuuhuone 2	211

Tulokset tulkittiin koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän raja-arvojen mukaan. Mycometer-menetelmällä mitattujen tulosten perusteella huoneiston sisäilmassa ei ollut viitteitä kohonneesta mikrobimassasta. Hieman kohollaan olleet arvot keittiössä olivat selitettävissä keittiön käytöstä aiheutuvalla kuormituksella.

Lämpökuvissa ei havaittu ulkovaipan läpi merkittäviä ilmapuotoja, eritepuutteita tai kylmäsiltoja. Ainoat huomioitavat vuodot olivat ulko-ovien tiivisteissä. Myöskään merkkiainetutkimusten perusteella huoneistossa ei todettu epätiivittä ulkovaipparakenteita tai ilmapuotoja.

Tehtyjen tutkimusten perusteella voitiin todeta, ettei perusteltuja syitä ollut epäillä huoneiston sisäilmaan kohdistunutta mikrobiologista. Ulkovaipparakenteista ei todettu ilmapuotoja, jotka olisivat osaltaan voineet mahdollistaa maaperästä lähtöisin olevien mikrobien vuotamisen sisäilmaan. Tämän vahvisti myös sisäilmanäytteiden tulokset. Myöskään lämpökuvauksissa ei löytynyt kylmiä, tai muutoin lämpötilaltaan selvästi poikkeavia kohtia, jotka voisivat viitata ilmapuotoihin.

Tässä kohteessa käytetyt tutkimusmenetelmät säästivät asunnon turhilta rakenneavauksilta ja näin ollen lisäkuluilta ja vaivalta. Rakenneavauksissa tehtyjen reikien paikkaukset tulee tehdä asianmukaisesti ja oikeanlaisia menetelmiä käyttäen, jotta rakenne jää tiiviiksi ja toimivaksi. Tutkimusten perusteella pystyttiin toteamaan, että aiemmin tehty remontti ja sen jälkitoimenpiteet olivat onnistuneet ja olleet riittävät. Mycometer-air-menetelmällä otetut sisäilmanäytteet yhdessä lämpökamera -ja merkkiainetutkimuksen kanssa vahvistivat, ettei asunnossa ole syytä epäillä sisäilmassa olevan mikrobiologisia epäpuhtauksia. Pelkästään lämpökamera, sekä merkkiainetutkimuksella ei olisi voinut tehdä yhtä vahvoja päätelmiä. Toisaalta myöskään ainoastaan Mycometer-

menetelmällä otettujen sisäilmanäytteiden perusteella ei olisi voitu varmistua, etteikö huoneiston sisäilmaan olisi mahdollista kohdistua mikrobiologisia epäpuhtauksia ilmapuotojen kautta, sillä mittaustulokset kertovat ainoastaan mitaushetkellä vallitsevista olosuhteista.

## Kohde 4

Kohde 4 oli vuonna 1986 rakennettu rivitalo-ohuoneisto, jossa koneellinen pois-toilmanvaihto. Huoneiston asukas oli oireillut fyysisesti ja halunnut tutkituttaa asunnon sisäilman osalta.

Kohteessa oli tehty vuosien varrella korjauksia muun muassa aiemmin tapahtuneen vesivahingon vuoksi. Lisäksi rakennuksen julkiverhous (materiaalina tiili), oli pesty painepesurilla muutamaa vuotta aiemmin, jonka jälkeen asukkaan oireilu asunnossa oli pikkuhiljaa voimistunut. Asukas oli em. tapahtuneen jälkeen lisäksi erityisesti makuuhuoneessa havainnut epämiellyttäviä hajuja. Makuuhuoneen vastaista ulkoseinää oli tutkittu tämän jälkeen, mutta kyseisen tutkimuksen raportti ei ollut käytettävissä, eikä sen tulosten luotettavuudesta ollut tietoa.

Kohteessa tehtyjen tutkimusten tarkoituksena oli selvittää huoneiston sisäilman laatua ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Rakennuksen perustuksena oli maanvarainen laatta. Todennäköisesti salaojitus puuttui.

Tutkimus sisälsi aistinvaraisen tarkastelun lisäksi mikrobimassan määrittämisen sisäilmasta ja kattavan lämpökuvauksen, jonka tavoitteena oli selvittää ulkovaipan läpi tulevia mahdollisia ilmavuotoja, -kylmäsiltoja ja -eristepuutoksia.

Asunto oli alipaineinen suhteessa ulkoilmaan (-2...-3Pa). Lämpökuvista havaittiin merkittäviä ilmavuotoja, huonosti eristettyjä kohtia ulkovaipassa, sekä kylmäsiltoja. Puutteet ja viat paikallistettiin pääasiassa huoneiston lattian rajasta, sekä katonrajasta ja sisäkatosta. Erityisesti ongelmia havaittiin makuuhuoneen-, sekä työhuoneen ulkoseinän puoleisissa rakenteissa.

Sisäilmanäytteet otettiin Mycometer-menetelmää käyttäen kolmesta huoneesta. Näytteet otettiin makuuhuoneesta, työhuoneesta ja olohuoneesta.

Kohteen 4 MycoMeter arvot, koneellinen iv (katso liite 5 tulkintaa varten).

	MV
Makuuhuone	463
Työhuone	244
Olohuone	378

Tulokset tulkittiin koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän raja-arvojen mukaan. Saatujen tulosten perusteella ainoastaan työhuoneesta mitatut arvot olivat normaalilla tasolla. Makuuhuoneessa arvot olivat selvästi koholla ja olohuoneessa lievästi koholla.

Tutkimuksissa saatujen tulosten, sekä käytössä olleiden taustatietojen pohjalta voitiin muodostaa vahva epäily makuuhuoneen ulkoseinän sisällä piilevästä mikrobivauriosta. Kyseiset kasvustot, sekä ilmavuodot ulkovaipan läpi kuormittivat luultavasti sisäilmaa antaen selityksen Mycometer-menetelmällä saatuihin korkeisiin arvoihin, sekä asukkaan oireiluille.

Jatkotoimenpiteinä kehoitettiin teettämään vielä rakenteita avaavia kuntotutkimuksia, siltä laajuudelta, kuin lämpökamera ja sisäilman kokonaismikrobimäärityksessä saadut tulokset antoivat aihetta epäilyille. Lisäksi samassa yhteydessä suositeltiin ottamaan materiaalinäytteitä siltä laajuudelta, kuin rakeneavausten myötä katsottaisi tarpeelliseksi.

Tämän kohteen tutkimuksissa asukkailta saadut lähtötiedot ja aiemmin tehdyt toimenpiteet tukivat sisäilmasta Mycometer-menetelmällä otettujen näytteiden tuloksia. Myös lämpökamerakuvat antoivat epäilyn sille, että seinän sisällä rakenteissa oli saattanut päästä syntymään mikrobikasvustoa ja rakenteiden läpi pääsi ilmavuotoja, jotka vaikuttivat sisäilmaan. Näin ollen myös lämpökamerakuvat ja Mycometer-menetelmällä saadut tulokset tukivat toisiaan.

## Kohde 5

Kohteessa 5 asunnon omistaja oli kokenut huoneiston sisäilman laadun heikoksi. Kohde oli kerrostalohuoneisto, jossa painovoimainen ilmanvaihto. Huoneiston ikkunoihin oli asennettu aiemmin rakoveintiitit korvausilman saannin parantamiseksi, mutta kyseiset toimenpiteet eivät olleet parantaneet asumisolosuhteita.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää huoneiston fysikaalisia sisäilmasto-olosuhteita, sekä määrittää sisäilman mikrobiologisia olosuhteita. Sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, sekä hiilidioksidipitoisuutta seurattiin 7 vrk:n ajan sisäilmaloggereilla. Mittauslaitteisto asennettiin neljään huoneeseen (keittiö, makuuhuone, olohuone, työhuone), sekä ulos parvekkeelle, jotta tuloksia pystyttiin vertaamaan asumisterveysasetuksessa (STM 545/2015) annettuihin toimenpiderajoihin. Mittausten ajan huoneistoa käytettiin normaalisti.

Loggerilla tehtyjen mittausten perusteella huoneiston lämpötila, sekä suhteellinen kosteus olivat normaalilla tasolla, mutta hiilidioksidipitoisuus nousi huoneistossa päivittäisen käyttökuormituksen aikana poikkeuksellisesti. Loggeritulosten perusteella pystyttiin toteamaan, että huoneiston ilmanvaihto oli alimitoitettu ja hiilidioksidipitoisuudet ylittivät ajoittain asumisterveysasetuksen (STM 545/2015) toimenpiderajat.

Sisäilmanäytteet otettiin Mycometer-menetelmää käyttäen kolmesta huoneesta. Näytteet otettiin työhuoneesta, makuuhuoneesta ja olohuoneesta.

Kohteen 5 MycoMeter arvot, painovoimainen iv (katso liite 6 tulkintaa varten).

	MV
Työhuone	337
Makuuhuone	336
Olohuone	479

Tulokset tulkittiin painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän raja-arvojen mukaan. Mycometer-air-menetelmällä otettujen näytteiden perusteella sisäilman kokonaismikrobimassa oli erittäin alahainen niissä tiloissa, joissa mittaukset suoritettiin. Aistinvaraiset havainnot, sekä loggeritulokset huomioiden myöskään muualla asunnossa ei ollut syytä epäillä mikrobivaurioiden aiheuttamaa sisäilmahaittaa.

Mittausten ja aistinvaraisten tutkimusten pohjalta kyseisessä kohteessa koetun heikon sisäilman syyksi osoittautui riittämätön ilmanvaihto. Kyseiset päätelmät muodostettiin tehtyjen loggerimittausten perusteella, sekä asunnon ilmanvaihdolliset ratkaisut huomioiden.

Aistinvaraiset havainnot ja Mycometer-menetelmällä tehdyt mittaukset kertoivat, ettei asukkaan toimesta heikoksi havaittu sisäilma johdu mikrobiperäisestä ongelmasta. Koska saadut mittaustulokset osittivat sisäilman kokonaismikrobimassa olevan alhainen, ei myöskään jatkotutkimuksille katsottu olevan tarvetta. Näin ollen kohteessa säästyttiin muun muassa kalliilta ja työläiltä rakenneavauksilta ja materiaalinäytteidenotolta.

## Kohde 6

Kohde 6 oli omakotitalo, jossa oli kaksi asuinkerrosta. Rakennuksessa keittiön alla sijaitsi kellari, joka ei ollut asuinkäytössä. Asunnossa oli painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä.

Talon omistajat epäilivät huoneiston sisäilmassa olevan mikrobiologisia epäpuhtauksia. Haitat ilmenivät hajuhaittina sisäilmassa, sekä vaatteisiin tarttuneena tunkkaisena hajuna. Homeen hajua pidetään asumisterveysasetuksen (STM 545/2015) mukaan toimenpiderajan ylityksenä, jonka johdosta tulee ryhtyä toimenpiteisiin mikrobihaitan selvittämiseksi. Omistajat olivat havainneet haitat noin puolta vuotta aiemmin, kun he olivat muuttaneet ostamaansa asuntoon.

Kohteessa tehtyjen tutkimusten tavoitteena oli selvittää, onko asunnon sisäilmassa mikrobiologisia epäpuhtauksia, tai muita rakenteellisia ratkaisuja, jotka selittäisivät asukkaiden oireita. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, onko rakennukseen tarpeen tehdä mittavampia jatkotutkimuksia, tai korjaustoimenpiteitä.

Rakennuksen sisätiloissa ja etenkin alakerrassa oli havaittavissa mikrobiperäistä hajua. Huomio, että hajuhaitta oli havaittavissa selkeämmin alakerrassa, oli osoitus, että mahdollinen ongelma saattaisi olla peräisin kellarista tai maaperästä nousevista epäpuhtauksista.

Sisäilmanäytteet otettiin Mycometer-menetelmää käyttäen kuudesta huoneesta. Näytteet otettiin alakerran olohuoneesta, porrashuoneesta, alakerran makuuhuoneesta, keittiöstä, yläkerran makuuhuoneesta ja yläkerran olohuoneesta.

Kohteen 6 MycoMeter arvot, painovoimainen iv (katso liite 6 tulkintaa varten).

	MV
Alakerta oh.	129
Porrashuone	197
Alakerta mh.	219
Keittiö	255
Yläkerta mh.	181
Yläkerta oh.	137

Tulokset tulkittiin painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän raja-arvojen mukaan. Mycometer-menetelmällä otettujen mittaustulosten perusteella tutkittavien huoneiden osalta näytteenottohetkellä ei ollut viitteitä kohonneesta sisäilman kokonaismikrobimassasta. Aistinvaraiset tutkimukset huomioiden, mahdollista rakenteissa piilevän mikrobivaurion vaikutusta sisäilmaan ei voitu kuitenkaan poissulkea Mycometer-menetelmällä saatujen tulosten pohjalta.

Kohteessa tehdyn katselmuksen yhteydessä havaittiin useita ongelmakohtia rakenteissa. Perusmuuriin ja tässä tapauksessa kellariin todettiin kohdistuvan merkittävä kosteuskuorma, johtuen muun muassa salaojien puuttumisesta, puutteellisesta ja väärin toteutetusta perusmuurin vedeneristyksestä, maan-

pinnan muodoista, jotka kallistuivat paikoitellen kohti rakennusta, sekä kasvillisuudesta, jota ei oltu erotettu perusmuurista. Lisäksi ulkoverhouksen takana oleva umpilaudoitus todettiin osittain lahoksi.

Sisäilmasta otettujen näytteiden perusteella ei ollut viitteitä sisäilman kohonneesta mikrobimassasta. On kuitenkin mahdollista, että talon rakenteissa esiintyi sädesienirihmastoja, tai muita bakteereja, joita Mycometer-menetelmällä ei pystytä havaitsemaan. Hajuhaitat oli mahdollista osittain myös selittää epätiivillä alapohjan ja ulkoseinän välisellä liitoksella, josta saattaa päästä ilmavuotoja ja epämiellyttäviä hajuja kellarista ja rakenteista sisäilmaan.

Kohteessa tehtyjen tutkimusten pohjalta rakenneavauksia ja niiden yhteydessä materiaalinäytteenottoa suositeltiin tehtäväksi alakerran olohuoneen ja keittiön osalta.

Kyseiset jatkotutkimukset suoritettiin kohteessa myöhempänä ajankohtana. Alakerran huoneista (keittiö, olohuone, porrashuone) seinien ja lattian eristämateriaaleista otettiin yhteensä 9 kpl materiaalinäytteitä. Materiaalinäytteet analysoitiin laboratoriossa laimennossarjamenetelmää käyttäen.

Materiaalinäytteiden tulosten pohjalta seinälinjoilla, joista näytteitä otettiin, sekä alapohjarakenteessa oli havaittavissa selkeitä mikrobivaurioita. Kahdeksassa materiaalinäytteestä löydettiin kosteusvaurioindikaattorimikrobeja, lisäksi usean näytteen kohdalla home- ja hiivasienipitoisuudet olivat reilusti yli 10000 pmy/g, jolloin asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osan IV mukaan rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa.

Mycometer-menetelmällä saatujen sisäilmanäytteiden tulosten perusteella tässä kohteessa ei ollut merkkejä kohonneesta mikrobimassasta. Kuitenkin kohteessa oli alun perin havaittavissa selkeää mikrobiperäinen haju ja myöhemmin otettujen materiaalinäytteiden perusteella eristämateriaaleista löytyi alakerrasta lähes koko kerrosalalta mikrobikasvustoon ja kosteusvaurioon viittaavia määriä mikrobeja. Tämä kertoo, ettei Mycometer-air menetelmällä saatiin tuloksiin voida tukeutua täysin. Mycometer-menetelmä ei tunnista mikrobin aineenvaihduntatuotteita, jotka tässä kohteessa luultavasti aiheuttivat havaitut hajuhaitat. Kohteessa aistinvaraisesti koetut hajuhaitat, sekä silmin rakenteista havaitut epäkohdat johtivat lisätutkimuksiin ja näin ollen haitallinen mikrobikasvuston olemassaolo ja niiden paikat saatiin todennettua.

## Kohde 7

Kohde 7 oli rivitaloaluoneisto, jossa painovoimainen ilmanvaihto. Huoneiston asukkaat olivat kokeneet sisäilman huonolaatuisiksi.

Kohteessa tehtyjen tutkimusten tavoitteena oli selvittää, onko huoneiston sisäilmassa merkittäviä mikrobiologisia epäpuhtauksia, sekä arvioida ja paikantaa sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä. Paikan päällä tutkimukset tehtiin aistinvaraisesti havainnoimalla, rakenneavauksin, materiaalinäyteitä ottamalla, merkkiainetutkimuksella, sekä sisäilman kokonaismikrobimassan määrittämällä Mycometer-menetelmällä.

Merkkiainetutkimuksen perusteella todettiin, että alapohjarakenteen ja ulkoseinärakenteen liitoskohta, sekä huoneistojen väliseinän välinen liitoskohta olivat epätiivit. Koska huoneisto todettiin alipaineiseksi ulkoilmaan nähden, pääsi epätiivien rakenteiden kautta alapohjasta jatkuvasti ilmavuotoja vaikuttamaan sisäilmaan.

Rakenneavauksia tehtiin alakerran portaikon alle, sekä olohuoneen päätyseinän ulkonurkkaan. Olohuoneen avauksessa kävi ilmi, että ulkovaippa on purueristetty. Rakenneavausten yhteydessä ei ollut aistinvaraisesti havaittavissa viitteitä mikrobikasvuosta. Portaikon alta eristevillasta päätettiin varmuudeksi ottaa materiaalinäyte, joka lähetettiin laboratorioon analysoitavaksi. Analyysin pohjalta materiaalinäytteessä ei ollut viitteitä mikrobivauriosta.

Sisäilman kokonaismikrobimassaa määritettiin alakerrasta kahdesta huoneesta kolmella näytteellä. Näytteet otettiin olohuoneen ulkonurkasta, olohuoneen sisänurkasta ja keittiöstä.

Kohteen 7 MycoMeter arvot, painovoimainen iv (katso liite 6 tulkintaa varten).

	MV
Olohuone (ulkonurkka)	209
Olohuone (sisänurkka)	233
Keittiö	139

Tulokset tulkittiin painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän raja-arvojen mukaan. Saatujen tulosten perusteella ei ollut syytä epäillä sisäilmassa olevan kohunnutta mikrobimassaa. Kaikki saadut tulokset olivat erittäin alhaiset.

Huoneistossa otettujen sisäilmanäytteiden ja materiaalinäytteen pohjalta ei ollut havaittavissa selkeitä viitteitä ulkovaipparakenteissa piilevästä mikrobivauriosta. Tutkimuksissa kuitenkin havaittiin selkeitä, jopa voimakkaita ilmavuotoja koko huoneiston alalta alapohjan ja ulkoseinän liitoksista. Tämän perusteella todettiin erittäin todennäköiseksi, että huoneiston heikoksi koettu sisäilma ja muut hajuhaitat johtuvat kyseisistä ilmavuodoista. Kyseisten ilmavuotojen mukana oli voinut kulkeutua sisäilmaan rakennuksen alla ja maape-  
rässä olevia epäpuhtauksia, jotka eivät kuitenkaan näkyneet kokonaismikrobimassan määrittämisessä. Tällöin asukkaat saattoivat sisäilman kokea raskaana ja huonolaatuisena, vaikka kokonaismikrobipitoisuus olisikin alahainen.

Korjausehdotuksena kohteeseen annettiin epätiivien rakenteiden tiivistäminen asianmukaisesti niin, ettei tutkimuksissa havaitut ilmavuodot pääse vaikuttamaan sisäilmaan. Lisäksi suositeltiin lisäämään korvausilmaventtiilejä oleskelu ja makuuhuone tiloihin paine-erojen tasaantumiseksi ja rakenteiden kautta tulevien ilmavuotojen minimoimiseksi.

Kohteessa tehtyjen tutkimusten osalta Mycometer-menetelmällä saadut tulokset, materiaalinäytteen analyysitulokset, sekä rakenneavaukset tukivat toisiansa ja osaltaan sitä, ettei asunnon ympäröivissä rakenteissa ole syytä epäillä mikrobikasvustoa, joka vaikuttaisi sisäilmaan luoden terveyshaittaa.