

ULKOILMAN MIKROBIEN KULKEUTUMINEN SISÄILMAAN

Niina Kemppainen

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2010

Laboratorioala
Teknologia





Tekijä(t) KEMPPAINEN, Niina	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 04.06.2010
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi ULKOILMAN MIKROBIEN KULKEUTUMINEN SISÄILMAAN		
Koulutusohjelma Laboratorioala		
Työn ohjaaja(t) VÄRTÖ-NIEMI, Merja		
Toimeksiantaja(t) TOLVANEN, Outi, ISS Proko Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi ISS Proko Oy. Työn tavoitteena oli selvittää ulkoilman mikrobin kulkeutumista sisäilmaan sulan maan aikana. Samalla pohdittiin, voisiko sisäilman mikrobiologiaa tutkimuksia tehdä muulloinkin kuin talvisin.</p> <p>Tutkimus toteutettiin kevään aikana ottamalla ilmanäytteitä sisä- ja ulkoilmasta kerran viikossa kahden kuukauden ajan. Näytteenottokohteena tutkimuksessa oli ISS:n toimitalo Jyväskylässä. Ilmanäytteet otettiin Andersen 6-vaihekeräimellä toimitalon ulkoa parkkipaikalta ja sisältä toimistotyöympäristöstä. Sieni-itiöt kerättiin 2 % mallasuute- ja dikloran-glyseroli-18-kasvatusalustoille (DG18) sekä bakteerit tryptoni-hiivauute-glukoosikasvatusalustalle (THG). Ulkoilmanäytteitä kerättiin 10 minuuttia ja sisäilmanäytteitä 15 minuuttia. Näytteenoton jälkeen homeita kasvatettiin lämpökaapissa (25 °C) 7 vuorokautta ja bakteereja 10 vuorokautta. Kasvatuksen jälkeen homepesäkkeet tunnistettiin ja laskettiin sekä bakteerialustoilta laskettiin aktinomykeetti- (sädesieni-) ja bakteeripesäkkeet.</p> <p>Tulosten mukaan ulkoilmasta kulkeutuu todella vähän mikrobeja sisäilmaan. Sisäilman sieni-itiöpitoisuudet vaihtelivat 0-28 cfu/m³ ja ulkoilman pitoisuudet 39-385 cfu/m³. Tuloksiin vaikutti merkittävästi se, että näytteenottokohteena ollut rakennus on lähes uusi, jolloin koneellinen ilmanvaihto sekä suodattimet ovat puhtaita ja kunnossa.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimustulosten perusteella sisäilmamittauksia voitaisiin tehdä myös sulan maan aikana, jos kohteena on moderni toimistorakennus. Tällöin pitää kuitenkin aina ottaa vertailunäytteitä ulkoilmasta.</p>		
Avainsanat (asiasanat) sisäilma, sisäilmatutkimukset, mikrobi, ilmanäyte		
Muut tiedot		



Author(s) KEMPPAINEN, Niina	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 04.06.2010
	Pages 48	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title TRANSPORT OF MICROBES FROM OUTDOOR AIR INTO INDOOR AIR		
Degree Programme Laboratory Sciences		
Tutor(s) VÄRTÖ-NIEMI, Merja		
Assigned by TOLVANEN, Outi, ISS Proko Oy		
Abstract <p>This thesis was carried out in the indoor air laboratory in ISS Proko Oy. The main aim was to investigate the transport of microbes from outdoor air into indoor air. In addition, in this study it was considered, if microbiological evaluation of indoor air quality could be done during the frost-free season.</p> <p>This study was carried out through taking samples once a week in the course of two months from outdoor and indoor air. The building which was studied was a multipurpose building of ISS. Indoor and outdoor samples of airborne fungi and bacteria were collected with an Andersen 6-stage cascade impactor. The samples were collected onto 2% malt extract agar, 18-dichloranglyserolagar (DG18) and tryptone-glucose-yeast agar (TYG). Malt extract agar and DG18 were suitable growth for fungi and TYG was suitable for bacteria. The sampling time for outdoor air samples was 10 minutes and for indoor air samples 15 minutes. Fungi were incubated at 25 °C for 7 days and bacteria for 10-14 days. After incubation colonies were identified and calculated.</p> <p>According to the results of this study, the transport of microbes from outdoor air into indoor air is minor. The airborne fungi concentrations in indoor air samples were 0-28 cfu/m³ and in outdoor samples 39-385 cfu/m³. There are many factors, which have a big influence on results. One of the factors is that the building studied is almost new, so mechanical ventilation is clean and it works well.</p> <p>The results of this study indicate that it is possible to do microbiological evaluation of indoor air quality also during the frost-free season, but only when the research object is a modern office building. In any case, a reference sample from outdoor must always been taken.</p>		
Keywords indoor air, indoor air investigation, microbe, air sample		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	3
2 SISÄILMA.....	3
2.1 Sisäilma ja sisäilmasto.....	3
2.2 Sisäilmaongelmat.....	4
2.3 Mikrobeista johtuvat sisäilmaongelmat	6
2.3.1 Terveyshaitat.....	6
2.3.2 Rakennuksen mikrobien aiheuttaman terveyshaitan määritelmä.....	7
2.3.3 Mikrobien kasvuedellytykset	7
3 SISÄILMAN TUTKIMINEN MIKROBIOLOGISESTI.....	9
3.1 Tutkimuksiin vaikuttavat tekijät.....	9
3.2 Pintasivelynäyte	12
3.3 Materiaalinäyte.....	13
3.4 Ilmanäyte	14
3.4.1 Näytteenoton ajankohta.....	14
3.4.2 Näytteenotto	15
3.4.3 Käsittely ja analysointi.....	17
3.4.4 Mikrobitulosten tulkinta.....	19
3.5 Yleisimmät ilmassa esiintyvät mikrobilajit.....	27
4 ULKOILMAN MIKROBIEN KULKEUTUMINEN SISÄ-ILMAAN.....	32
4.1 Tutkimuksen tavoitteet	32
4.2 Menetelmät.....	32

	2
4.3 Näytteen analysointi	36
4.4 Tulokset.....	37
5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	43
LÄHTEET.....	45
LIITTEET	

Liite 1. 6-vaiheimpaktorin pesäkemäärien korjaustaulukko

Liite 2. Näytteenottolomake

1 JOHDANTO

Ihminen viettää suuren osan elämästään sisätiloissa. Pelkästään julkisissa tiloissa, esimerkiksi päiväkodeissa, kouluissa, työpaikoilla, kahviloissa ja ravintoloissa, vietetään runsaasti aikaa. Tämän lisäksi kotona oleskellaan huomattavan paljon sisätiloissa, etenkin talvisin. On tutkittu, että länsimaalainen ihminen viettää sisällä keskimäärin jopa 80–90 % elinajastaan. Luonnollisesti tästä oleskelusta halutaan saada mahdollisimman vähän haitallisia vaikutuksia. (Korhonen & Lintunen 2003, 13 - 14.) Koska sisäilmastolla on todettu olevan iso vaikutus ihmisten elämään ja hyvinvointiin, tutkitaan sisäilmaston eri tekijöitä nykyisin paljon.

Sisäilmaa voidaan tutkia hyvinkin yksityiskohtaisesti ja tarkasti, mutta aina tutkimuksia tehdessä pitää ottaa huomioon monia tuloksiin vaikuttavia seikkoja. Esimerkiksi tutkittaessa sisäilman mikrobipitoisuuksia ja -lajistoja merkittävin virhelähde ovat ulkoilmasta sisäilmaan kulkeutuvat mikrobit. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada enemmän tietoa ulkoilman vaikutuksesta mikrobiologiin sisäilmatutkimuksiin sulan maan aikana. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi sisäilmapalveluita tuottava ISS Proko Oy:n kiinteistöjen käytönohjauksen yksikkö Jyväskylässä.

2 SISÄILMA

2.1 Sisäilma ja sisäilmasto

Joskus käytetään rakennuksen sisäilmaa ja sisäilmastoa samaa tarkoittavina sanoina. Tarkasti määriteltynä sisäilmasto on selvästi laajempi käsite kuin sisäilma. Sisäilmaa hengitetään ja se sisältää kaasut, hiukkaset ja mikrobit. Sisäilmasto taas

pitää sisällään ilman laadun lisäksi lämpötilaosuhteet, melun, valaistuksen, psykososiaaliset tekijät ja monet muut tekijät. Hyvässä ja laadukkaassa sisäilmastossa viihtyy, eikä se aiheuta ihmisille oireita, terveyshaittoja tai sairauksia. (Korhonen & Lintunen 2003, 23.) Työpaikoilla hyvän sisäilmaston ansiosta poisolot vähenevät ja samalla työntekijöiden työteho, tuottavuus sekä hyvinvointi lisääntyvät (Lahtinen, Lappalainen & Reijula 2005, 6). Nykyään Suomessa puhutaan paljon sisäilman laadusta ja ihmiset ovat huomanneet sisäilman laadun vaikuttavan heidän hyvinvointiinsa. Tietoisuus sisäilmasta ja sisäilmaongelmista on aiheuttanut myös sen, että jossain ongelmatilanteissa kuvitellaan kaikkien oireiden ja sairauksien johtuvan homeista tai muuten huonosta sisäilmasta.

2.2 Sisäilmaongelmat

Sisäilmaongelmat ovat tavallisia ja syntyvät usein monen tekijän summana. Vaikka sisäilmaa on tutkittu paljon, ovat mittaus- ja arviointimenetelmät edelleen monelta osin puutteellisia. Lisäksi sisäilmassa on monia haittatekijöitä, joita ei vielä ole pystytty tunnistamaan. (Lahtinen ym. 2005, 14.) Toistaiseksi puutteelliset tiedot ovat esimerkiksi mikrobien tuottamista toksiineista eli myrkyistä, joskin niiden tutkimiseen on viime aikoina keskitytty enemmän. Sisäilmaongelmiin liittyy aina myös inhimillinen näkökulma eli psyykkiset tekijät. Kosteusvaurioihin liittyy usein voimakkaasta epävarmuudesta aiheutuvaa psykologista reagointia, joten kaikki oireet eivät mahdollisesti johdu kosteusvaurioista. (Heikkilä 2009.) Koska ihmiset saattavat useinkin reagoida voimakkaasti sisäilmaongelmiin tunteillaan, täytyy inhimillisyys ottaa huomioon aina teknisten näkökulmien rinnalla. (Lahtinen ym. 2005, 15.) Oman vaikeutensa sisäilmaongelmien tutkimiseen tuo joskus taloudellinen tilanne. Sisäilmatutkimukset eivät ole ilmaisia, ja valitettavasti joskus tehdään liian suppeat sisäilmamittaukset rahan vuoksi, jolloin tulokset eivät välttämättä kerro kokonaiskuvaa kohteen tilanteesta.

Perinteisiä sisäilmaongelmien aiheuttajia ovat esimerkiksi lastulevyistä ja liimoista vapautuva formaldehydi, uusista materiaaleista haihtuvat orgaaniset yh-

disteet (VOC), tupakansavu, kosteusvaurioiden seurauksena rakenteissa kasvavat mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet, maaperästä sisäilmaan kulkeutuva radioaktiivinen radon sekä korjaustöihin liittyvät asbesti, lyijy sekä PCP- ja PAH-yhdisteet. (Lahtinen ym. 2005, 10.) Sisäilmaongelmien aiheuttajat voidaan jakaa fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin tekijöihin. Fysikaalisia tekijöitä ovat mm.

- huoneilman lämpötila ja veto
- huoneilman kosteus
- rakennekosteus
- ilman vaihtuvuus
- radon
- melu.

Kemiallisia tekijöitä, jotka aiheuttavat sisäilmaongelmia, ovat

- ammoniakki
- asbesti
- formaldehydi
- hiilidioksidi
- hiilimonoksidi eli häkä
- PAH-yhdisteet
- styreeni
- haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)
- sisäilman hiukkaset
- tupakansavu.

Biologisia tekijöitä sisäilmaongelmien aiheuttajina ovat mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet. Mikrobeilla tarkoitetaan bakteereja sekä home- ja hiivasieniä. (Asumisterveysopas 2009, 145.)

2.3 Mikrobeista johtuvat sisäilmaongelmat

2.3.1 Terveyshaitat

Kun rakennuksessa oleskelevat ihmiset alkavat oireilla, saattaa se viitata mikrobien aiheuttamaan terveyshaittaan. Silmien, ihon ja hengitysteiden limakalvojen ärsytysoireet ovat tyypillisiä mikrobien aiheuttamia oireita. Limakalvojen ärsytysoireita ovat esimerkiksi nenän tukkoisuus ja nuha, äänenkäheys, yskä, toistuvat nenänverenvuodot ja hengitysvaikeudet. Lisäksi voi esiintyä monia yleisoireita, kuten kuumeilua, päänsärkyä, väsymystä ja pahoinvointia. Jos oireet lievenevät tai häviävät, kun rakennuksesta ollaan poissa, se kertoo oireiden liittyvän todennäköisesti sisäilmaan. Pahimmillaan poikkeuksellinen mikrobialtistus voi johtaa pitkäaikaissairauksien, kuten kroonisen keuhkoputkentulehduksen, astman, ihottuman tai alveoliitin, kehittymiseen. (Asumisterveysopas 2009, 152.)

Mikrobit kuuluvat ihmisen elinympäristöön. Sisäilmassa on normaalisti aina jonkin verran mikrobeja. Lisäksi ulkoilmasta kulkeutuu usein mikrobeja sisäilmaan. Home- ja hiivasienet pääsevät kasvamaan rakennuksen pinnoilla ja rakenteissa, jos niiden kosteus on sopiva. Mahdollisia terveyshaittoja tulee, jos mikrobeja, itiöitä tai haitallisia aineenvaihduntatuotteita kulkeutuu ihmisten oleskelutiloihin. (Asumisterveysopas 2009, 146.)

Terveyshaittoja aiheuttavat myös mikrobien tuottamat toksiinit. Tutkimusten mukaan esimerkiksi useat kosteusvauriomikrobit tuottavat toksiineja. Toksiinien hävittämistä vaikeuttaa se, että toksiinit ovat kestäviä kemiallisia yhdisteitä, joita ei saa hajoamaan pesu- eikä desinfektioaineilla tai keittämällä. Lisäksi toksiinit ovat useimmiten hydrofobisia eli vettä karttavia, joten ne saattavat imeytyä voimakkaasti esimerkiksi muovipintoihin eivätkä lähde vesipesulla pois. Useista

kosteuden vaurioittamista rakennusmateriaaleista on löydetty monia erilaisia toksiineja, joilla jokaisella on oma vaikutusmekanisminsa solussa. Mikrobin tuottamat toksiinit aiheuttavat monenlaisia terveyshaittoja, jotka saattavat vielä voimistua toksiinien yhdistyessä mikrobin soluseinien osien kanssa. (Heikkilä 2009.) Esimerkiksi hometaloista löydettyjen *Streptomyces*-suvun aktinobakteerien tuottaman valinomysiinin myrkyllisyys monikymmenkertaistuu, kun siihen yhdistyy sienten soluseinien osia. Valinomysiinin yksinäänkin on todettu olevan toksinen ihmisen immuunijärjestelmälle, mutta yhteisaltistus sienten soluseinästä irtoavan beetaglukaanin kanssa aiheuttaa paljon voimakkaamman toksisuuden. (Salkinoja-Salonen 2009.)

2.3.2 Rakennuksen mikrobin aiheuttaman terveyshaitan määritelmä

Rakennuksen pinnoilla tai rakenteissa oleva home-, hiiva- tai bakteerikasvusto, joka on silminnähtävää tai joka on varmistettu mikrobiologisilla analyyseillä, ei aina tarkoita terveyshaittaa. Vasta siinä tapauksessa voidaan puhua terveyshaitasta, kun mikrobikasvustoa on esimerkiksi asunnon sisäpinnoilla, sisäpuolisissa rakenteissa, lämmöneristeissä sekä sellaisissa tiloissa tai rakenteissa, joista pääsee kulkeutumaan vuotoilmaa sisätiloihin. Terveysturvallisuuden määritelmä terveyshaitasta perustuu siihen, että mikrobikasvustosta irtoaa itiöitä, aineenvaihduntatuotteita sekä muita hiukkasia sisäilmaan. Koska mikrobihiukkaset ovat pieniä, ne pysyvät ilmassa pitkiä aikoja ja samalla tilassa olevat henkilöt altistuvat niille ihon ja hengitysteiden välityksellä. (Asumisterveysopas 2009, 147-148.)

2.3.3 Mikrobin kasvuedellytykset

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen sopivan lämpötilan, ravinteita ja etenkin kosteutta. Jotkut sieni- ja bakteerilajit kasvavat todella vaatimattomissakin olosuhteis-

sa. Esimerkiksi betonin tai teräksen pinnalla oleva pöly voi sisältää tarvittavat ravinteet mikrobin kasvuun. Täysin kuivissa olosuhteissa ei kasva mikään mikrobi, mutta itiöt voivat säilyä elinkykyisinä. Rakennus- ja pintamateriaalien paikallisella kosteudella on paljon suurempi merkitys mikrobin kasvuun kuin rakennuksen sisäilman suhteellisella kosteudella. (Mikrobikasvun edellytykset 2008.) Kasvun kosteusvaatimukset ovat mikrobikohtaisia. Lisäksi ravinne- ja lämpötilaolosuhteet vaikuttavat mikrobin kasvun vaatimaan kosteuteen. Kun ravinne- ja lämpötilaolot ovat optimaaliset, mikrobin on mahdollista kasvaa alhaisemmilla kosteusolosuhteilla. Kun kosteus- ja lämpötilaolosuhteet vaihtelevat, mikrobikasvu hidastuu. (Asumisterveysopas 2009, 146.) Taulukossa 1 on esitetty eri mikrobiryhmien kasvun minimikosteusvaatimukset kasvualustoilla lämpötila-alueella 10–40 °C.

TAULUKKO 1. Eri mikrobiryhmien minimikosteusvaatimukset kasvulle (Asumisterveysopas 2009)

Mikrobiryhmä	Kasvualustan tasapainokosteus (%)
Homesienet, hiivat ja aktinomyketit	65–85 %
Muut bakteerit	95 %
Sinistäjä ja lahottajasienet	95 %

Tarvittavat ravinteet mikrobit saavat helposti kasvualustastaan. Esimerkiksi suomalaisissa rakennuksissa paljon käytetyt puu, kipsilevy, tapetti ja muut selluloosapitoiset materiaalit sopivat mikrobin ravinnoksi oikein hyvin. Useille lajeille riittää pelkkä huonepöly ravinteiden saantiin.

Monien mikrobin optimi kasvulämpötila on 20–25 °C, mutta useat homesienet pystyvät kasvamaan melko laajallakin lämpötila-alueella, jopa -5 – 35 °C. Alle -5 °C:n tai yli 60 °C:n lämpötiloissa mikään homesieni tuskin kasvaa, mutta pakasasteet eivät tuhoa kasvustoa. (Homeet ja sienet 2007; Mikrobikasvun edellytykset 2008.) Mikrobin kasvuun vaikuttavat kosteuden, lämpötilan ja ravinteiden

den lisäksi myös monet muut tekijät. Näitä ovat esimerkiksi kasvualustan pH sekä ympäristön happi- ja valo-olosuhteet.

3 SISÄILMAN TUTKIMINEN MIKROBIOLOGISESTI

3.1 Tutkimuksiin vaikuttavat tekijät

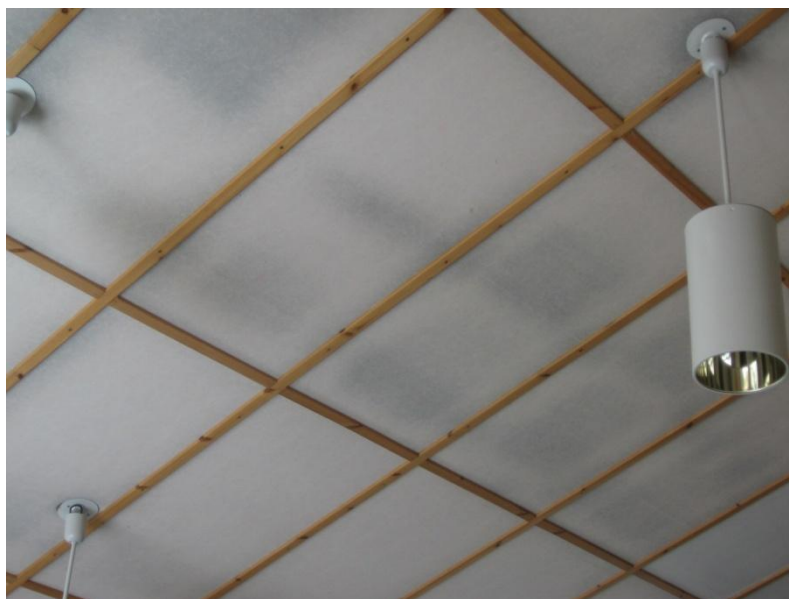
Suomessa mikrobipitoisuudet ilmassa vaihtelevat huomattavasti eri vuodenaikojen mukaan. Talvisin, kun maa on lumen peitossa, ilmassa on hyvin vähän mikrobeja. Suurimmat mikrobilähteet ulkoilmassa ovat maaperä, kasvit, pistemäiset lähteet, vesi ja kaukokulkeumat. (Mikrobikasvun edellytykset 2008.) Sisäilman lähteitä ovat mm. monet kodin jokapäiväiset askareet, esimerkiksi polttopuiden käsittely, multaisten juuresten peseminen, leipominen, biojätteiden säilytys ja huonekasvien käsittely ja jopa kellarin oven aukaiseminen. Sisäilman lähteinä toimivat myös lemmikit ja ihminen itse. Rakennuksien sisäilmaan vaikuttavat sisälähteiden lisäksi olennaisesti ulkoilmasta kulkeutuneet mikrobit. (Lehtonen, Reponen & Nevalainen 1993).

Sisäilman mikrobimittaukset ovat tarpeellisia silloin, kun halutaan vahvistaa tai sulkea pois rakennuksen mikrobivaurio. Mikrobivaurioepäilyn syynä voivat olla rakennuksen käyttäjillä esiintyvät oireet tai rakenteissa ja pinnoilla havaittavat vauriot. Mikrobikasvusto voi näkyä rakenteissa tai rakennuksen sisäpinnoilla esimerkiksi värinmuutoksena materiaalissa tai pistemäisenä, puuterimaisena tai pölymäisenä kasvustona. Kuviossa 1 näkyy tilan sisäpinnoilla (seinissä ja lattiasa) mikrobikasvustoa.



KUVIO 1. Mikrobikasvustoa tutkittavan tilan seinissä ja lattiassa (ISS Proko Oy)

Joskus rakenteissa oleva kosteus saattaa aiheuttaa materiaalin pinnassa muutoksia, mikä voi näyttää mikrobikasvustolta, muttei kuitenkaan sitä ole. Esimerkiksi suolakertymät tiilen tai betonin pinnalla sekä ilmavuodon aiheuttama eristeen tummuminen saattavat vaikuttaa mikrobivauriolta. Tämän vuoksi mikrobikasvusto pitää yleensä aina varmistaa mikrobiologisella analyysillä pinta- tai rakennusmateriaalinäytteistä. Kuviossa 2 näkyy mikrobikasvuston sijaan ilmavuodon aiheuttamaa kattomateriaalin tummumista. Mikrobimittauksia ilmasta tehdään silloin, jos kosteusvauriokohdasta ei ole varmuutta tai jos pitää osoittaa mikrobin leviäminen oleskelutilaan muualla rakennuksesta olevasta kasvustosta. (Asumisterveysopas 2009, 148–154.)



KUVIO 2. Ilmavuodon aiheuttamaa materiaalin tummumista (ISS Proko Oy)

Sisäilman mikrobipitoisuuksiin ja siten myös mikrobiologisten mittausten tuloksiin voivat vaikuttaa myös ilmanvaihdon tehokkuus sekä ilman suhteellinen kosteus (Pasanen, Pasanen, Jantunen & Kalliokoski 1991). Pasanen, Pasanen, Jantunen ja Kalliokosken tekemän tutkimuksen mukaan ilmasta otetuista näytteistä ei välttämättä löydy merkittäviä sieni-itiöpitoisuuksia, vaikka tilan pinnoilla olisi silmännähtävää mikrobikasvustoa. Tutkimuksessa todettiin, että sisäilmassa tavallisimmat homelajit, *Penicillium*, *Aspergillus* ja *Cladosporium*, reagoivat selvästi tehostettuun ilmanvaihtoon sekä ilman suhteellisen kosteuden lisäykseen. Ilman nopeuden ollessa 1 m/s ja suhteellisen kosteuden ylittäessä 12 % itiöitä vapautui merkittävästi enemmän kuin kuivemmassa ja seisovammassa ilmassa. Eniten itiöiden vapautumista huomattiin ilman nopeuden ollessa 1–1,5 m/s ja ilman suhteellisen kosteuden 12–42 %. (Pasanen ym. 1991.) Edellä mainitut ilman nopeudet eivät normaalitilanteissa toteudu, sillä ilmanopeus ei tilasta riippuen saisi ylittää nopeutta 0,2–0,3 m/s (RakMkD2. 2002).

3.2 Pintasivelynäyte

Sisäilmaa tutkitaan mikrobiologisesti yleensä pintasively-, materiaali- tai ilmanäytteillä. Pintanäytteenotto soveltuu kaikille kovalle materiaaleille, kuten betoni-, muovi-, kaakeli- ja puupinnoille sekä maali- ja tapettipinnoille (Asumisterveysopas 2009, 155). Usein pintasivelynäytteen avulla tutkitaan pölyjä, jotka ovat laskeutuneet hengitysvyöhykkeelle tai sitä korkeammille pinnoille, esimerkiksi lampunvarjostimien ja kirjahyllyjen päälle. Tästä pölystä saadaan kuva hengitysvyöhykkeellä leijuneen pölyn laadusta. Tilanteessa pitää myös ottaa huomioon mahdollisuuksien mukaan tutkittavan tilan edellinen siivouskerta. (Salkinoja-Salonen 2002, 705). Pintasivelynäyte voidaan viljellä kohteessa suoraan kasvatusalustalle tai laimennossarjana laboratoriossa.

Näyte tasopinnoilta otetaan yleensä 10 cm x 10 cm:n kokoiselta alueelta, jonka voi varmistaa käyttämällä desinfioitua mittakehystä. Jos näyte otetaan muulta alueelta, täytyy sivelyala arvioida ja merkitä muistiin. Pintanäyte otetaan steriilillä pumpulipuikolla, joka on kastettu laboratorion saatuun steriiliin laimennosliuokseen. Pumpulipuikolla sivellään tutkittava pinta huolellisesti, minkä jälkeen pumpulipuikko laitetaan 5 ml laimennosliuosta sisältävään korkilliseen koeputkeen ja lähetetään laboratorioon laimennossarjan valmistamista varten. (Asumisterveysopas 2009, 156.) Toinen, nopeampi ja yksinkertaisempi tapa on sivellä näyte pumpulipuikolla suoraan kasvatusalustalle, tällöin kyseessä on niin sanottu pintasivelynäytteen suoraviljely.

Laimennossarjan valmistamiseen ja viljelyyn löytyy tarkat ohjeet Asumisterveysoppaan 3. painoksesta. Sekä laimennossarja että suoraviljely tehdään kahdelle sienialustalle (2 % mallas ja DG18) ja yhdelle bakteerialustalle (THG). Maljat kasvatetaan ylösalaisin 25±3 °C:ssa kohdepoistolla varustetussa inkubointikaapissa. Bakteerialustoja kasvatetaan yhteensä 14 vuorokautta ja sienialustoja 7 vuorokautta. (Asumisterveysopas 2009, 161.)

3.3 Materiaalinäyte

Rakennusmateriaalinäytteitä kannattaa ottaa muun muassa silloin, kun halutaan osoittaa materiaalin kosteusvaurio tai tarkentaa korjausalueen laajuus (Näytteenotto 2008). Näytteenottokohdat valitaan vaurion alueesta ja materiaaleista riippuen. Jos kasvustoa epäillään olevan eri materiaalien pinnoilla, otetaan kustakin materiaalista vähintään yksi näyte. Yksi tärkeä seikka materiaalinäytteen otossa on materiaalin määrä. Näytettä kannattaa mieluummin ottaa liikaa kuin liian vähän. Sopiva määrä näytettä on 3–10g. Näytteiden analysoinnissa voidaan käyttää useita menetelmiä. Näytettä voidaan esimerkiksi mikroskopoida suoraan materiaalista tai siitä teipillä otetusta näytteestä. (Asumisterveysopas 2009, 156–160.) Yleisempää on kuitenkin tehdä materiaalista suora- tai laimennossarjaviiljely, joista suoraviiljely on nopeampi ja vaatii vähemmän laboratoriovälineistöä kuin laimennossarjaviiljely. Suoraviiljely antaa lisäksi täsmällisemmän kuvan näytteen lajistosta. Suoraviiljelymenetelmässä tutkittava materiaali hienonnetaan ja levitetään tasaisesti suoraan kasvualustalle. Näytemäärä mitataan lusikalla, jonka tilavuus on noin 0,5 ml, mikäli materiaalin mittaaminen lusikalla onnistuu. Kaikkia materiaalia, esimerkiksi mineraalivillaa, ei kyetä siirrostamaan lusikalla vaan siirrostuksessa käytetään steriilejä pinsettejä. Materiaalin tiheys vaikuttaa näytteen painoon siten, että esimerkiksi 0,5 ml mineraalivillaa painaa 35 mg, sahanpurua 60 mg, paperin ja kartongin seosta 75 mg sekä tasoiteaineita 280 mg. (Reiman, Haatainen, Kallunki, Kujanpää, Laitinen & Rautiala 1999.) Viiljelyn jälkeen suoritetaan inkubointi samalla tavoin kuin pintasivelynäytteissä. Laimennossarjaviiljelyn ohje löytyy Asumisterveysoppaan (3. korjattu painos, 2009) sivulta 161.

3.4 Ilmanäyte

3.4.1 Näytteenoton ajankohta

Sisäilmanäytteitä tulisi ottaa silloin, kun kosteusvauriosta tai mikrobikasvuston kohdasta ei ole varmuutta. Mittauksissa pyritään selvittämään, ovatko tutkittavan tilan mikrobipitoisuudet ja -lajisto tavanomaisia, jolloin voidaan arvioida mikrobien siirtymistä mahdollisesta vauriokohdasta oleskelutiloihin. Mikrobi-tutkimuksia tehtäessä, etenkin sisäilmamittauksissa, pitää ottaa huomioon rakennuksen sijainti, ikä ja vuodenaika. Paras vuodenaika ottaa sisäilmanäytteitä on talvi, jolloin maa on lumen peitossa ja ulkoilman mikrobipitoisuudet alhaisia. (Asumisterveysopas 2009, 154–159).

Kun sisäilmanäytteitä otetaan, pitää ajankohdan olla mahdollisimman lähellä normaalia käyttötilannetta. Esimerkiksi siivous, lemmikkieläimet, polttopuut ja elintarvikkeet voivat nostaa merkittävästi mikrobipitoisuuksia ja samalla vääristää tuloksia. (Asumisterveysopas 2009, 157.) Toisaalta olisi hyvä mm. asunnoissa suorittaa kunnollinen siivous joitakin päiviä ennen mittauksia, jotta pinnoille kertynyt pöly ja muu lika ei vaikuta tuloksiin. Lisäksi normaaliin käyttötilanteeseen ei kuulu myöskään se, että huonekasvit, eläimet ja biojätteet siirretään asunnosta pois, mitä kuitenkin suositellaan sisäilmamittauksen ajaksi. Tutkittavassa tilassa ei saisi oleskella 1–2 tuntiin ennen mittauksia virhelähteiden vähentämiseksi. Lisäksi ovet ja ikkunat pitäisi pitää suljettuina sekä ilmanvaihdon tulisi toimia normaalisti. (Asumisterveysopas 2009, 157).

Jos sisäilmamittauksia suoritetaan muulloin kuin talvella tai silloin, kun maa on vain osittain lumen peitossa, pitää aina ottaa ulkoilmanäyte. Tällöin saadaan selville ulkoilmassa mittaushetkellä oleva mikrobipitoisuus ja -lajisto. Sisäilman tuloksia verrataan ulkoilman mikrobituloksiin.

3.4.2 Näytteenotto

Kaikissa mikrobiologisissa tutkimusmenetelmissä on tärkeää ottaa vertailunäytteet ns. puhtaista materiaaleista, pinnoista ja ulkoilmasta. Mikrobiologisia tutkimuksia, lähinnä ilma- ja pintanäytteitä, käytetään myös korjausten jälkiseurannassa. Kaikkien mikrobinäytteiden ottaminen on tarkkaa asiantuntijatyötä, mutta myös kiinteistön hyvin tunteva henkilö voi ottaa näytteitä tutkimuslaboratorios- ta saatujen ohjeiden tai asumisterveysohjeen mukaisesti. (Mikrobitutkimusten käyttö 2008.)

Kasvualustoina sisäilman mikrobimittauksissa suositellaan käytettävän kolmea eri kasvualustaa. 2-prosenttinen mallasuuteagar on tarkoitettu kosteissa rakenteissa esiintyville sienilajeilla ja dikloran-glyseroli-18-agar (DG18) kuivemmilla alustoilla viihtyville eli kserofiilisille sienilajeille. Bakteerit kasvatetaan tryptoni-hiivauute-glukoosiagarilla (THG). (Asumisterveysopas 2009, 154–155.)

Yleensä ilmanäytteitä otetaan siitä tilasta, jossa mikrobihaitan epäillään olevan. Näiden lisäksi suositellaan otettavan näytteitä muistakin tiloista. Yksittäinen näyte ei anna riittävästi tietoa tutkittavan rakennuksen mikrobipitoisuuksista. Kun näytteitä otetaan useampia, saadaan todenmukaisempi kuva tilanteesta.

Suosittelavin ja yleisimmin käytetty keräin ilman mikrobien näytteenottoon on 6-vaiheimpaktori. Myös muita sellaisia keräysmenetelmiä, joissa kerätyn ilman tilavuus tunnetaan, voidaan käyttää. Jatkossa käyn läpi mikrobiologista ilmanäytteenottoa Andersen 6-vaiheimpaktorilla. Andersen-keräimestä ja pumpusta on kuva kuviossa 3. Pumppuun saa liitettyä kolme keräintornia, joten yhdellä näytteenottokerralla saa näytteet kaikille kolmelle kasvatusalustalle.



KUVIO 3. Andersen 6-vaiheimpaktoreita ja pumppu (ISS Proko Oy)

Ennen näytteenottoa impaktorin tilavuusvirta tarkastetaan ja tarvittaessa säädetään arvoon 28,3 l/min. Lisäksi kaikki keräintornien osat irrotetaan, puhdistetaan 70-prosenttisellä etanolilla ja kuivataan ennen näytteen keräystä (purettu torni kuviossa 4). Tornit puhdistetaan jokaisen näytteenoton jälkeen. Agarmaljat asetetaan keräintorneihin ja maljojen kannet jätetään puhtaasti alustan päälle alaspäin.



KUVIO 4. Purettu Andersen-keräin (ISS Proko Oy)

Paikan ja ajankohdan mukaan näytteenottoaika voi olla 10–15 minuuttia, tärkeintä on kuitenkin kirjata tarkasti näytteenottoaika. Tavallisesti sisäilmanäytettä imetään 12–15 minuuttia ja sulan maan aikana ulkoilmanäytettä 10 minuuttia. Näyte otetaan huoneen keskeltä 1–1,5 metrin korkeudelta. Kun näytteenotto on käynnissä, täytyy keräintorneista pysytellä vähintään puolen metrin etäisyydellä ja mielellään siirrytään mitattavasta huoneesta kokonaan pois. Jokaisesta näytteenottokohdasta otetaan näytteet 2-prosenttiselle mallasagarille, DG18-agarille sekä THG-agarille. Heti näytteenoton jälkeen tornit puretaan ja saman tornin maljat niputetaan sekä merkitään tutkimuslaboratorion antamien ohjeiden mukaisesti. (Asumisterveysopas 2009, 156–159). Aina on huolehdittava, että näytteet eivät pääse jäätymään tutkimuslaboratorioon toimittamisen aikana. Jäätymistä voidaan hidastaa muun muassa lähettämällä näytteet styrox-laukussa. Näytteen analysoinnin kannalta on tärkeää merkitä muistiin ainakin seuraavat asiat:

- tilan suhteellinen kosteus ja lämpötila
- näytteenottopäivämäärä ja mittauksen kesto
- kohteen käyttötarkoitus (toimisto, asunto, koulu, jne.)
- mahdollisimman tarkat tiedot näytteenottokohteesta (rakennusvuosi, koneellinen/painovoimainen ilmanvaihto)
- mittausten aikana paikalla olleiden henkilöiden ja eläinten lukumäärä
- mahdolliset huonekasvit ja biojätteet
- näytteenottaja.

3.4.3 Käsittely ja analysointi

Keräimellä otettuja ilmanäytteitä ei tarvitse laboratoriossa enää millään tavalla käsitellä, koska näytteet otetaan suoraan bakteeri- ja homemaljoille. Tutkimusla-

boratoriossa saapuneet näytteet kirjataan ja numeroidaan, minkä jälkeen näytteet inkuboidaan.

Pinta-, materiaali- ja ilmanäytteiden analysoinnissa pesäkkeet lasketaan ja tunnistetaan samalla tavalla. THG- eli bakteerimaljoilta lasketaan 7 vuorokauden inkuboinnin kuluttua bakteeripesäkkeiden kokonaislukumäärä, minkä jälkeen kasvatusta jatketaan vielä toiset seitsemän vuorokautta. 14 vuorokauden inkuboinnin jälkeen lasketaan vielä erikseen aktinomykeetti- eli sädesienipesäkkeiden lukumäärä. (Asumisterveysopas 2009, 161). Homemaljoja (mallas- ja DG18-maljoja) kasvatetaan 7 vuorokautta, minkä jälkeen eri home- ja hiivapesäkkeet lasketaan ja homeet tunnistetaan.

Pesäkkeiden laskenta maljoilta on luotettavinta silloin, kun pesäkemäärä sienimaljoilla on alle 150 ja bakteerimaljoilla alle 250. Jos pesäkkeet kasvavat päällekkäin tai viljelyn epäonnistumisen vuoksi pesäkkeitä kasvaa vain tietyllä alueella maljaa, on malja hylättävä. Rinnakkaisnäytteiden ja viljelyjen käyttö lisää analyysin luotettavuutta, sillä rinnakkaismaljoilla pystytään varmistamaan näytteenoton ja viljelyn onnistuminen. (Asumisterveysopas 2009, 163.)

Kosteusvauriorakennuksissa saattavat ilman mikrobipitoisuudet olla pieniä, mutta mikrobisto voi poiketa tavanomaisesta. Tämän vuoksi lajiston tunnistaminen on todella tärkeää mikrobi tutkimuksissa. Ilma-, pinta- ja materiaalinäytteistä tunnistetaan normaalin mikrobiston lisäksi kosteusvaurioindikaattorit ja mahdolliset toksiinintuottajat.

Mikrobipitoisuudet ilmoitetaan pesäkkeen muodostavana yksikkönä (pmy) tai yksikkönä colony forming unit (cfu). Laimennossarjamenetelmän tulos esitetään materiaalinäytteille yksikössä cfu/g ja pintanäytteille yksikössä cfu/cm². Suoraviljelymenetelmissä mikrobipitoisuus sekä materiaali- että pintanäytteille ilmoitetaan yksikössä cfu/malja ja ilmoitetaan tuloksen perusteella suhteellisella asteikolla. Ilmanäytteille tulos ilmoitetaan yksikössä cfu/m³. Kasvatuksellisten menetelmien hyvä puoli on se, että mikrobit voidaan tunnistaa. Puutteena on, että esille saadaan vain ns. elävät ja valituilla kasvatusalustoilla kasvavat itiöt. (Analysointi ja tulkinta 2008.)

Ilmanäytteet

Kuusivaihe-impaktorilla otettujen ilmanäytteiden pesäkemäärien laskennassa täytyy ottaa huomioon todennäköisyys, että näytteen keräyksen aikana samasta tornin siivilätason reiästä on iskeytynyt maljalle useampi kuin yksi mikrobi, mutta vain yksi mikrobi on muodostanut pesäkkeen. Ensin vaiheilta 3–6 lasketut pesäkemäärät siis korjataan muunnostaulukon mukaisesti. Muunnostaulukko on liitteenä 1. Tämän jälkeen voidaan laskea mikrobipitoisuus seuraavalla tavalla:

$$\text{Mikrobipitoisuus} = \frac{\text{vaiheiden pesäkemäärien summa}}{\text{ilmanäytteen tilavuus}} = \frac{\text{cfu}}{\text{m}^3}$$

Kaikkien vaiheiden pesäkemäärien summa koostuu siis 1. ja 2. siivilätasojen pesäkemääristä sekä 3.-6. siivilätasojen korjatuista pesäkemääristä. Ilmanäytteen tilavuus saadaan, kun kerrotaan tilavuusvirta (28,3 l/min) näytteenottoajalla (min) ja muutetaan se kuutioiksi jakamalla 1000:lla.

3.4.4 Mikrobitulosten tulkinta

Mikrobitulosten tulkinta on vaativaa asiantuntijatyötä. Hyvin monet tekijät vaikuttavat pitoisuuksiin, ja ne pitää osata ottaa huomioon. Talvisin ja lämpötilan ollessa pakkasen puolella on luotettavin aika ottaa näytteitä. Kuitenkin pitää huomioida myös pinnoille laskeutuneet pölyt, jotka ovat kerääntyneet tavallisten toimintojen, kuten elintarvikkeiden ja huonekasvien käsittelyn, seurauksena. Näistä laskeutuneista pölyistä saattaa irrota sieni-itiöitä sisäilmaan ilmavirran mukana, jonka esimerkiksi huonetilassa liikkuminen aiheuttaa. Jos edellä mainittuja normaaleista sisälähteistä peräisin olevia mikrobeja päätyy näytteisiin, ne saattavat tutkimuksien mukaan kohottaa mikrobipitoisuuksia hetkellisesti merkittävän paljon ja vääristää tuloksia. (Lehtonen ym. 1993.)

Tärkeä seikka tulosten tulkinnassa on ottaa huomioon rakennuksen tyyppi ja tarkoitus. Samoja raja- ja viitearvoja ei voida sellaisenaan käyttää esimerkiksi asuntojen, toimistojen ja koulujen sisäilmanäytteiden tulkinnassa. Nykyisin on kuitenkin käytettävissä kohtalaisen hyvin viitearvoja erilaisille tutkimuskohteille. Tutkimuslaboratorioiden tulosten tulkintaa helpottavat Työterveyslaitoksen ja sosiaali- ja terveysministeriön asettamat viitearvot (Asumisterveysopas 2009) mikrobipitoisuuksille eri materiaali-, pinta- ja ilmanäytteissä. Jokaiseen tutkimukseen perehdytään silti tapauskohtaisesti, eikä tulkinnassa tuijoteta pelkästään taulukoita. Yksi tulkinnoissa käytetty apuväline on niin sanottu Baarnin lista (taulukko 2), joka on luettelo kosteusvaurioon viittaavista indikaattorimikrobeista ja laadittu vuoden 1992 tiedon perusteella. Kosteusvaurioindikaattoriksi kutsutaan mikrobia, jota ei yleensä löydetä terveessä ja vaurioitumattomassa rakennuksessa. Jos kosteusvaurioindikaattorimikrobia löytyy rakennuksesta otetussa näytteessä, viittaa löydös siihen, että rakenteessa on tai on ollut kosteusvaurio. Kosteusvaurionindikaattorimikrobien esiintymisessä näytteessä pitää kuitenkin ottaa huomioon myös niiden määrä, muutama pesäke ei ole vielä merkitsevä. Indikaattorimikrobeina pidetään lisäksi joitain tavanomaisia mikrobeja, jos niitä esiintyy näytteissä suurina pitoisuuksina. (Indikaattorit 2008.)

TAULUKKO 2. Baarnin lista kosteusvaurioindikaattorimikrobeista (Indikaattorit 2008)

Runsasta kosteutta vaativat (RH > 90 ...95%)	Kohtalaista kosteutta vaativat (RH 85...90%)	Suhteellisen kuivassa viihtyvät mikrobit (RH < 85%)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Aspergillus versicolor</i> *	<i>Aspergillus versicolor</i> *
<i>Exophiala</i>		<i>Eurotium</i>
<i>Fusarium</i> *		<i>Wallemia</i>
<i>Phialophora</i>		☒ <i>Penicillium</i> -lajeja (esim. <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Penicillium aurantogriseum</i> *)
<i>Stachybotrys</i> *		
<i>Trichoderma</i>		
<i>Ulocladium</i>		
Sädesienet= <i>Streptomyces</i> =aktinomykeetit, nykyisin aktinobakteerit		
Hiivat (<i>Rhodotorula</i>)		
Useita gram-negatiivisia bakteereita (esim. <i>Pseudomonas</i>)		
*tuottaa toksiineja		

Monet tutkimus- ja asiantuntijalaboratoriot ovat laatineet tutkimuksien ja koke-
muksien perusteella kosteusvaurioindikaattoriluetteloita, joiden perustana on
Baarnin lista. Esimerkiksi Työterveyslaitoksen ympäristömikrobiologian labora-
torio on laatinut listan, jota käytetään yleisesti tulkinnoissa apuna. Kosteusvauri-
oindikaattorimikrobilista on taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Kosteusvaurioindikaattorimikrobit (Työterveyslaitoksen ympäristömikrobiologian laboratorio 2008)

* kosteusvaurioindikaattorimikrobi	
** mahdollinen toksiinin tuottaja	
° indikaattorimerkitys vielä avoin	
<i>Acremonium</i> ^{*, **}	<i>Absidia</i> [°]
<i>Aspergillus fumigatus</i> ^{*, **}	<i>Aspergillus flavus</i> ^{°, **}
<i>Aspergillus ochraceus</i> ^{*, **}	<i>Aspergillus niger</i> ^{°, **}
<i>Aspergillus penicillioides</i> / <i>A. restrictus</i> [*]	<i>Aspergillus ustus</i> ^{°, **}
<i>Aspergillus sydowii</i> ^{*, **}	<i>Aureobasidium</i> [°]
<i>Aspergillus terreus</i> ^{*, **}	basidiomykeetit [°]
<i>Aspergillus versicolor</i> ^{*, **}	<i>Botrytis</i> [°]
<i>Chaetomium</i> ^{*, **}	<i>Chrysonilia</i> [°]
<i>Engyodontium</i> [*]	<i>Chrysosporium</i> [°]
<i>Eurotium</i> [*]	Mucor [°]
<i>Exophiala</i> [*]	punaiset hiivat
<i>Fusarium</i> ^{*, **}	<i>Rhinocladiella</i> [°]
<i>Geomyces</i> [*]	<i>Rhizopus</i> [°]
<i>Memnoniella</i> ^{*, **}	
<i>Oidiodendron</i> [*]	
<i>Paecilomyces</i> ^{*, **}	
<i>Phialophora</i> [*]	
<i>Phoma</i> [*]	
<i>Scopulariopsis</i> [*]	
Sphaeropsidales [*]	
<i>Sporobolomyces</i> [*]	
<i>Stachybotrys</i> ^{*, **}	
<i>Streptomyces</i> ^{*, **}	
<i>Trichoderma</i> ^{*, **}	
<i>Tritirachium</i> [*]	
<i>Ulocladium</i> [*]	
<i>Wallemia</i> [*]	

Pintanäytteiden tulkinta

Ilmassa ja pinnoilla on normaalisti aina yksittäisiä mikrobeja, joten ns. puhtailta vertailupinnoiltakin löytyy yleensä mikrobeja. Vaurioitumattoman pintojen sieni-itiöpitoisuudet ovat tavallisesti alle 10 cfu/cm². Kosteissa tiloissa, kuten pesu- ja kylpyhuoneiden sekä kellareiden pinnoilta, otetuissa näytteissä pitoisuudet ovat suurempia kuin kuivissa tiloissa. Tulosten tulkinnassa onkin tärkeää vertailla vauriopinnalta ja vertailupinnalta otettujen näytteiden mikrobipitoisuuksia ja -lajeja. Jos vauriokohdan pinnalta otetussa näytteessä on sieni-itiöpitoisuus yli 1000 cfu/cm² ja vähintään 100 kertaa suurempi kuin vertailunäytteessä, voidaan sanoa vauriokohdassa olevan sienikasvustoa. Kun näytteessä kasvaa sädesieniä enemmän kuin 5 cfu/cm² ja vaurionäytteen pitoisuus on 10 kertaa suurempi kuin vertailunäytteessä, voidaan vauriokohdassa katsoa esiintyvän sädesienikasvustoa. (Asumisterveysopas 2009, 166–168).

TAULUKKO 4. Työterveyslaitoksen viitearvot pintasivelynäytteille toimistorakennuksissa (Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa tavanomaisissa toimistoympäristöissä 2009)

Työterveyslaitoksen viitearvot pintasivelynäytteille toimistorakennuksissa	
Sieni-itiöpitoisuus	<p><10 cfu/cm²</p> <p>Puhtailta pinnoilla sieni-itiöpitoisuus on yleensä alle 10 cfu/cm².</p> <p>>1000 cfu/cm²</p> <p>Poikkeava pitoisuus jos pitoisuus on samalla vähintään 100 kertaa suurempi pitoisuus kuin ns. vertailunäytteessä.</p>
Aktinobakteeripitoisuus	<p>Aktinobakteeri-itiöpitoisuus katsotaan poikkeavaksi, jos pitoisuus on 10 kertaa suurempi kuin vertailupinnalla. Jos rakenteen pinnalla on tällaista poikkeavaa mikrobikasvua, voidaan terveyshaittaa pitää todennäköisenä.</p>

Materiaalinäytteiden tulkinta

Rakennusmateriaaleissa, etenkin rakennuksen uloimmissa rakenteissa, on aina mikrobeja. Alapohjan ja ulkoseinän materiaaleissa, jotka ovat kosketuksissa maaperän kanssa, voi esiintyä suuria pitoisuuksia mikrobeja. Suuret pitoisuudet eivät kuitenkaan viittaa välttämättä mikrobikasvuston aiheuttamaan terveyshaittaan. Jos alapohjassa ja ulkoseinän materiaaleissa esiintyvän mikrobikasvuston itiöt ja aineenvaihduntatuotteet pääsevät kulkeutumaan sisätiloihin esimerkiksi alapohjasta asuntoon pääsevän ilman mukana, voidaan tätä pitää terveyshaittana. (Asumisterveysopas 2009, 168.)

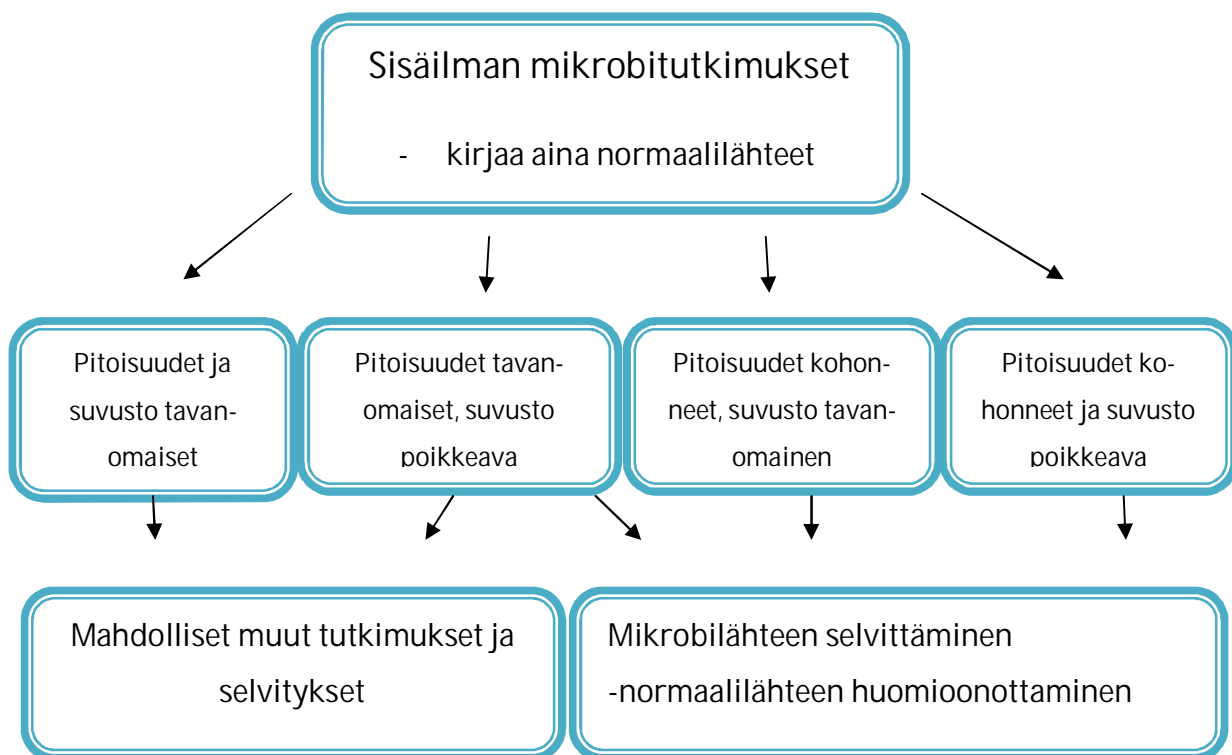
Rakennusmateriaalissa esiintyy sienikasvustoa, jos näytteen sieni-itiöpitoisuus on yli 10 000 cfu/g tai vähintään 100 kertaa suurempi kuin vertailunäytteessä. Bakteeripitoisuuden ollessa vähintään 100 000 cfu/g materiaalinäytteessä, viittaa se bakteerikasvustoon. Sädesienipitoisuuden ylittäessä 500 cfu/g, se kertoo näytekohteen sädesienikasvustosta. Työterveyslaitoksen asettamat viitearvot materiaalinäytteille ovat taulukossa 5. Myös materiaalinäytteiden tulkinnassa on hyvä käyttää vertailumateriaalinäytteitä, jolloin se helpottaa tulkintaa sekä lisää luotettavuutta. (Asumisterveysopas 2009, 169.)

TAULUKKO 5. Työterveyslaitoksen viitearvot toimistorakennusten materiaalinäytteille (Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa tavanomaisissa toimistoympäristöissä 2009)

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

3.4.3.3 Ilmanäytteiden tulkinta

Riippuen tutkimuskohteesta mikrobipitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti, joten tarkkoja ohjearvoja ei ole voitu antaa. Rakennuksessa on mahdollista olla home- tai lahovaurio, vaikka sisäilman mikrobipitoisuudet olisivat normaaleja. Jos kosteusvaurioita epäillään, pitää aina tarkastella myös pitoisuuksien lisäksi mikrobisuvustoa. Kuviossa 5 on esitetty kaaviona mikrobipitoisuuksien ja suvuston huomioon ottamisesta näytteiden tulkinnessa.



KUVIO 5. Mikrobipitoisuuksien ja suvuston huomioiminen ilmanäytteiden tulkinnassa (Asumisterveysopas 2009)

Eri näytteenotto kohteiden normaalipitoisuudet vaihtelevat, joten samoja tulkintaohjeita ei voi käyttää esimerkiksi asuntojen, toimistojen ja koulujen näytteiden tulkintaan. Asunnoissa on yleensä aina suuremmat pitoisuudet kuin muissa rakennuksissa. Taulukossa 6 on esitetty Työterveyslaitoksen viitearvoja toimistorakennusten ilmanäytteille. Näytteitä tulkittaessa mahdolliset kohonneet pitoisuudet tulkitaan vaurioon viittaaviksi, jos muut mikrobilähteet voidaan sulkea pois. Eri tiloista otetut näytteet tulkitaan aina erikseen ja jos useasta tilasta otetuissa näytteissä on kohonneet pitoisuudet, se vahvistaa tulkintaa mikrobivauriosta.

TAULUKKO 6. Työterveyslaitoksen viitearvot toimistorakennusten ilmanäytteille talviaikaan (Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa tavanomaisissa toimistoympäristöissä 2009)

Työterveyslaitoksen viitearvot toimistorakennusten ilmanäytteille (talviaikana)	
Homeet	>50 cfu/m ³ Kohonnut sieni-itiöpitoisuus, viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen (mikrobikasvuston esiintyminen rakenteissa todennäköistä)
Bakteeripitoisuus	>600 cfu/m ³ Kohonnut bakteeripitoisuus, viittaa riittämättömään ilmanvaihtoon tai sisäilman epätavanomaiseen sisäilman mikrobilähteeseen
Aktinobakteeripitoisuus	>5 cfu/m ³ Kohonnut pitoisuus, viittaa sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen

3.5 Yleisimmät ilmassa esiintyvät mikrobilajit

Eri puolilla maailmaa tehdyissä ilman mikrobilajistotutkimusten tuloksissa on selviä yhtäläisyyksiä. Esimerkiksi *Cladosporium*-home on huomattu olevan yleisin homesuku ulkoilmassa sekä sisäilmassa ympäri maailmaa kaikkina vuodenaikoina. Muita yleisesti esiintyviä homesukuja sisäilmassa ovat tutkimusten mukaan *Penicillium*, *Aspergillus* ja hiivat. Bakteerilajienkirjo sisäilmassa on runsas. Tavanomaisimmat bakteerilajit sisäilmassa kuuluvat *Micrococcus*- ja *Staphylococcus*-ryhmiin. Sisäilmassa esiintyvät bakteeripitoisuudet ja -lajistot ovat yleensä peräisin rakennuksen käyttäjistä. Tärkeimmät vaikuttavat tekijät sisäilman bakteeripitoisuusiin ovat ihmisten määrä sisätiloissa sekä ilmanvaihdon tehokkuus. (Salonen 2009, 26–29.)

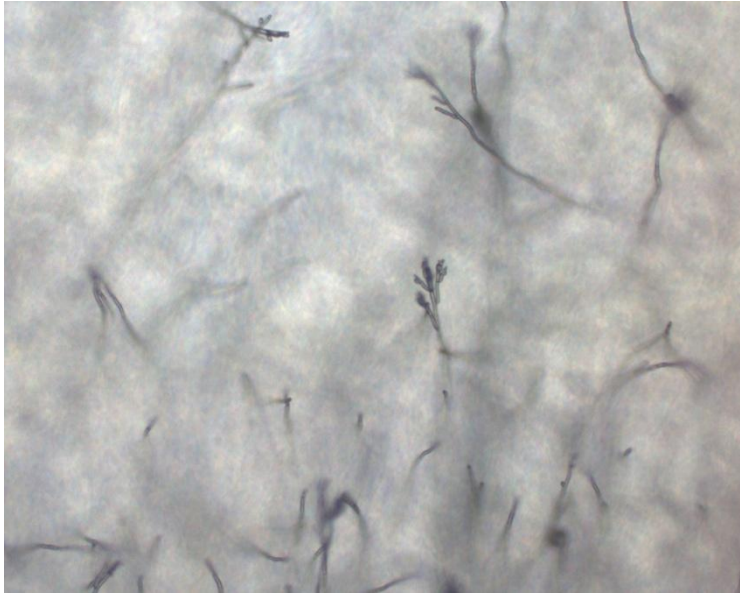
Ulkoilman homepitoisuuksiin ja -lajistoon vaikuttavat merkittävästi vuodenaajat, etenkin sellaisilla ilmastoalueilla, joissa vuodenajoilla on selviä eroja. Suurimmat

pitoisuudet ovat luonnollisesti kesäisin ja matalimmat talvisin. Sama pätee myös sisäilman homepitoisuuksiin. (Salonen 2009, 26–29.)

Penicillium

Penicillium on tavallisin sisätiloista löytyvä home. Sitä todetaan pieninä pitoisuuksina lähes kaikissa rakennuksissa. Kosteusvaurion yhteydessä se voi kasvaa runsaammin rakenteissa, jolloin se voi myös aiheuttaa terveyshaittaa. *Penicilliumia* pidetään ensilinjan eli primaarivaiheen mikrobina, joka viittaa siis tuoreeseen kosteusvaurioon. *Penicillium*-suvun lajit käyttävät ravinnokseen hajottamaan pienimolekyylisiä hiilihydraatteja ja tärkkelystä, joita löytyy hyvin esimerkiksi rakennusmateriaaleista. *Penicillium*-lajeja tunnetaan jo yli 500, joista useita on hyvin vaikea tunnistaa ja erottaa toisistaan pelkästään mikroskooppin perusteella. DNA:n analysointiin perustuvien menetelmien käyttö, esimerkiksi PCR-menetelmä, saattaisi helpottaa lajien tunnistusta.

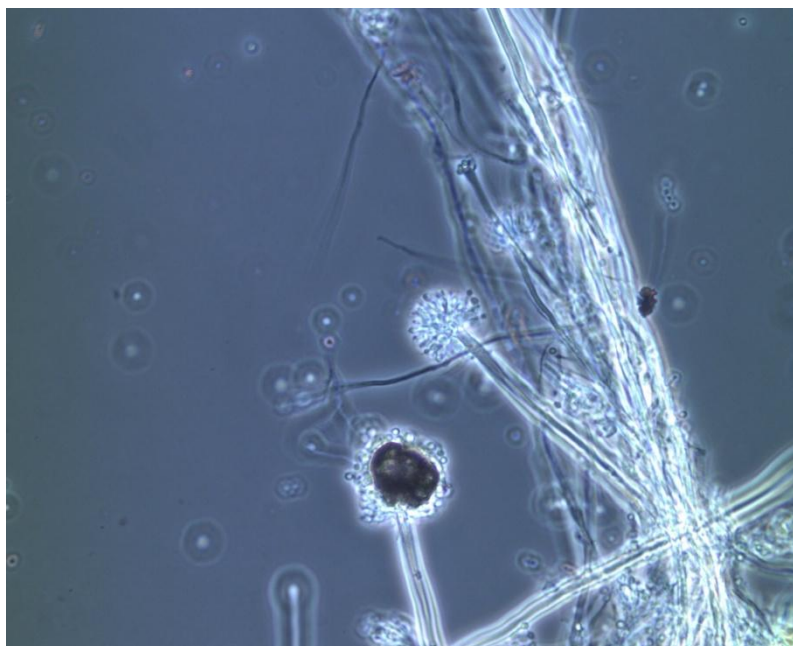
Penicillium on allergisoiva home, jolla on myös toksiineja tuottavia lajeja. *Penicillium*-suvun tuottamista toksiineista tunnetaan ainakin 15 eri molekyyliä, esimerkiksi citriniini, patuliini, rubratoksiini ja sekalonihappo. (Homeet 2009.) Monet *Penicillium*-lajit, mm. *Penicillium expansum*, tuottavat patuliini-toksiinia (Adams & Moss 2000, 292). Patuliinia on tutkittu aiheuttavan tuhoa DNA:ssa ja kromosomeissa, mutta kuitenkin niin lievästi, ettei sitä ole luokiteltu genotoksiiseksi myrkyksi. Tavallisimmin patuliini pilannuttaa hedelmiä, lähinnä omenia. Monissa maissa onkin asetettu lievän toksisuuden takia raja-arvot patuliinipitoisuuksille omenoissa. (Hopmans 1997.) Citriniinitoksiinia tuottaa esimerkiksi *Penicillium citrinum*. Ennen kuin citriniini todettiin toksiseksi, sitä käytettiin antibioottina (Adams & Moss 2000, 292). Nykyisin tiedetään kuitenkin citriniinin aiheuttavan muun muassa munuaisvaurioita. *Penicillium*-lajien tuottamista muista toksiineista esimerkiksi rubratoksiini on vaarallinen maksalle ja sekalonihappo voi aiheuttaa sikiövaurioita. (Homeet 2009.) Kuviossa 6 on mikroskooppikuva *Penicilliumista*.



KUVIO 6. Penicillium-home (ISS Proko Oy)

Aspergillus

Aspergillus-homeita esiintyy joka puolella elinympäristössä. *Aspergillus*- ja *Penicillium*-homeet ovat yleisimpiä lajeja sisäilmanäytteissä, mutta *Aspergilluksen* ollessa valtalajina näytteissä se viittaa kosteusvaurioon. Ravinnon *Aspergillus*-lajit saavat kasvualustastaan, joka useimmiten on keraaminen tuote, maali tai liima. Lisäksi *Aspergillus*-homeet ovat yleisiä myös puu-, kipsilevy- ja mineraalieristemateriaaleissa. (Putus, 2009.) *Aspergillus*-lajeja on löydetty useita kymmeniä, joista yleisimmät ovat *Aspergillus fumigatus*, *A. versicolor*, *A. flavus*, *A. niger* ja *A. parasiticus* (Homeet 2009). *Aspergilluksen* eri lajeja ei aina pystytä selvittämään. Jos kyseessä on vakavien terveyshaittojen selvitys, pitää lajitason tunnistus pyrkiä tekemään. Kuviossa 7 on mikroskooppikuva *A. sydowiistä*.



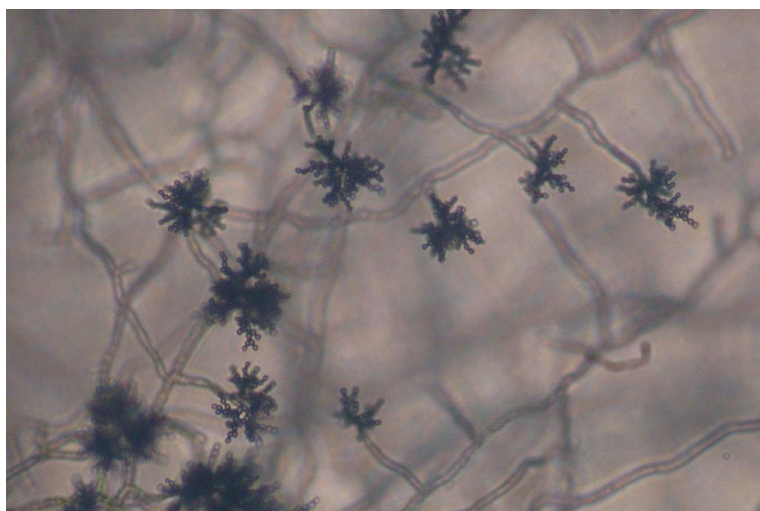
KUVIO 7. *Aspergillus sydowii* (ISS Proko Oy)

Aspergillus-suvun homeet aiheuttavat allergiasairauksia, suoria infektiota sekä tuottavat toksineja. *Aspergillus*-homeiden tuottamilla toksineilla on monia eri terveyshaittoja. (Putus, 2009.) *Aspergillus*-lajeista ainakin *A. flavus* ja *A. parasiticus* tuottavat aflatoksiineja, jotka aiheuttavat syöpää ihmisillä sekä koe-eläimillä. Okratoksiini A vaurioittaa munuaisia ja saattaa tutkimusten mukaan aiheuttaa myös munuaissyöpää. Okratoksiini A:ta tuottaa *Aspergillus ochraceus*. (Adams & Moss 2000, 285.) Suoran infektion *Aspergillus*-home voi aiheuttaa elimistössä kasvamalla esimerkiksi keuhkoputkissa, poskionteloissa, luussa tai leikkaushaavassa. *Aspergillus*-infektioista vakavimpia ovat ABPA (allerginen broncopulmonaari aspergilloosi) ja invasiivinen aspergilloosi, joka on aiheuttanut korkeaa kuolleisuutta hoidoista huolimatta. (Putus, 2009.)

Cladosporium

Cladosporium-homeet ovat yleisiä sekä ulko- että sisäilmassa. *Cladosporium*-suvun homelajeja on noin 40, joita esiintyy tavallisimmin maaperässä ja lahoavissa kasveissa. *Cladosporium*-lajit ovat myös kasvien taudinaiheuttajia. Sisätiloissa *Cladosporium*-homeet kasvavat yleensä kostuneen rakennusmateriaalin pinnalla, esimerkiksi kipsilevyn, puun, tapetin ja mattojen pinnalla. Yleisimmät

Cladosporium-suvun homeelajit ovat *C. herbarum*, *C. sphaerospermum*, *C. cladosporioides* ja *C. macrocarpum*. *Cladosporium*-suvun homeet eivät ole ihmispato-geenisia, paitsi henkilöille, joilla on heikentynyt immuunijärjestelmä. Allergisia reaktioita voi altistumisesta kuitenkin ilmetä, ja pitkäaikaisesta altistumisesta voi kehittyä krooninen allergia tai astma. *Cladosporium*-homeet tuottavat muutamia toksineja, ainoat tunnetut ovat cladosporiini ja emodiini, joista molemmat ovat vain lievästi myrkyllisiä. Kuviossa 8 on mikroskooppikuva *Cladosporium*-homeesta.



KUVIO 8. *Cladosporium*-home (alkuperäinen kuva: *Cladosporium* sp, Wikimedia commons)

4 ULKOILMAN MIKROBIEN KULKEUTUMINEN SISÄILMAAN

4.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksessa selvitettiin mikrobien, lähinnä sieni-itiöiden kulkeutumista ulkoilmasta sisäilmaan sulan maan aikana. Oletuksena oli, että tutkimuskohteessa ei ole kosteusvaurioita, joten mahdolliset sieni-itiöt ovat peräisin jostain muualta. Jos sisälähteitä mikrobeille ei ole mittaushetkellä ollut, sisäilmanäytteistä mahdollisesti löytyvien homeiden oletetaan kulkeutuneen ulkoilmasta. Tutkimus suoritettiin ottamalla ilmanäytteitä 6-vaiheisella Andersen-keräimellä kerran viikossa kahden kuukauden ajan toimistotilasta sekä saman rakennuksen pihalta.

4.2 Menetelmät

Näytteenottokohde

Näytteenottokohteena toimi ISS:n toimitalo. Ulkoilmanäytteet otettiin rakennuksen pihasta pysäköintialueen reunalta ja sisäilmanäytteet ISS Proko Oy:n toimistotiloista. ISS:n toimitalo sijaitsee teollisuusalueen reunalla Jyväskylässä. Rakennuksessa on koneellinen tulo-poisto-ilmanvaihto, jossa on myös lämmöntalteenotto. Lisäksi rakennuksen toimistotiloissa on jäähdytys. Ilmanvaihdon tuloilman suodattimet ovat suodatusluokaltaan EU7 ja ennen lämmöntalteenotto-laitetta oleva poistoilman suodatin EU6. Ikkunatuuletusta ei ole, sillä avattavia ikkunoita ei ole. ISS toimitalon rakennustyö alkoi talvella 2007–2008 ja rakennus valmistui lokakuussa 2008. Talvi oli vähäluminen, mutta kesä melko sateinen. Valtaosa rakennuksen vaipasta on tehty eri tehtaissa hallituissa olosuhteissa, mutta erityisiä suojauksia työmaalla ei ollut. Ennen pintamateriaalien asennusta

suoritettiin kosteusmittauksia pinnoitettavuuden selvittämiseksi. Osassa ensimmäisen kerroksen lattioita jouduttiin nopeuttamaan kuivumista koneellisesti.

Rakennus on liitetty kaukolämpöverkkoon ja lämmönjako tapahtuu vesikiertoisin patterein. ISS:n toimitalon runko on tehty betonielementeistä. Runkotyyppinä on pilari-palkkirunko. Väli- ja yläpohjan kantavana osana ovat ontelolaatat ja ns. tt-laatat. Ulkoseinät ovat kevyitä ns. paroc-elementtejä, missä kahden peltikuoren välissä on mineraalivillaeristys. ISS:n toimitalossa on useita erityyppisiä tiloja, mm. suljettuja sekä avotoimistotiloja, neuvottelutiloja, halleja, varastoja ja laboratorio.

Näytteenotto

Ilmanäytteet otettiin 6-vaiheisella Andersen-keräimellä kerran viikossa kahden kuukauden ajan (16.4.2009 – 4.6.2009). Jokaisella näytteenottokerralla ulko- ja sisäilmasta otettiin kaksi näytettä peräkkäin. Näytteet otettiin yhtä aikaa kolmelle eri kasvualustatyypille: mallasuuteagarille, DG18-agarille ja THG-agarille. Kasvatusmaljat oli valmistettu Asumisterveysoppaan ohjeiden mukaisesti ISS Prokon sisäilmalaboratoriossa. Pumpun tilavuusvirta oli 28,3l/min ja se tarkistettiin jokaisen näytteenoton alussa. Kuviossa 9 näkyy näytteenottotilanne ulkoa.



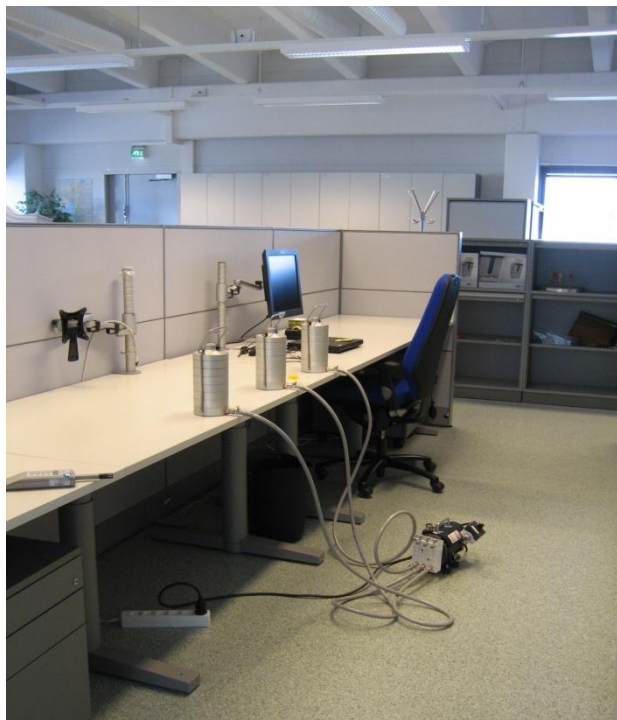
KUVIO 9. Ilmanäytteenotto ulkoa 16.4.09 (vasemmalla) ja sadekelillä 4.6.09 (ISS Proko Oy)

Ulkoilmanäytteiden otto tapahtui noin kymmenen metrin päästä rakennuksesta ja mittauskorkeus oli 130 cm. Viimeisenä mittauspäivänä ulkoilmanäytteet jouduttiin ottamaan rakennuksen sisäänkäynnin luota sateisen sään vuoksi (kuvio 9, oikea). Pysäköintialueen reuna valittiin näytteenottokohdaksi siksi, että tasaiselle asfaltille oli hyvä asetella näytteenottolaitteet ja pihan reunalla mittaus ei häirinyt normaalia kulkua pysäköintialueella. Ulkoilmanäytteiden näytteenottoaika oli joka kerta 10 minuuttia. Jokaisen näytteenoton aikana kirjattiin muistiin sää, ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila. Olosuhteet näytteenottojen aikana on esitetty taulukossa 7. Yksi näytteenottolomakkeista, johon tiedot näytteenotosta kirjattiin, on liitteenä 2.

TAULUKKO 7. Olosuhteet näytteiden oton aikana

pvm	ULKOILMA			SISÄILMA		
	RH (%)	LT (°C)	Sää	RH (%)	LT (°C)	Henkilöitä paikalla
16.4.2009	30	4,7	tyyntä	12	22,5	10
23.4.2009	60	3,1	heikko tuuli	18,2	22,9	9
30.4.2009	49,1	4,3	heikko tuuli	16,3	22,3	6
8.5.2009	32,9	12,2	tuulee	20,8	22,9	7
14.5.2009	50,1	7,2	tuulee paljon	19,1	22,4	3
20.5.2009	56,6	13	tyyntä	29,5	23,6	1
28.5.2009	55,9	11,7	tuulee	27,6	23,7	9
4.6.2009	62,6	8,2	tuulee ja sataa (näyte katoksesta)	25,2	23	5

Sisäilmanäytteet otettiin avotoimistosta, jossa ei ole erillisiä työhuoneita. Näytteenottotilanne sisätiloissa näkyy kuviosta 10. Sisäilmanäytteiden näytteenottoaika oli 15 minuuttia. Sisäilmanäytteissä kirjattiin näytteenottotilassa olevien henkilöiden lukumäärä, lämpötila, ilman suhteellinen kosteus sekä mahdolliset poikkeavat tapahtumat. Sisäilmanäytteidenotossa mittauskorkeus oli 90 cm ja paikalla olevien henkilöiden lukumäärä vaihteli eri mittauspäivinä nollan kymmenen välillä. Näytteenoton aikana kukaan ei työskennellyt mittauspisteen työpöydän ääressä.



KUVIO 10. Ilmanäytteenotto sisältä 30.4.2009 (ISS Proko Oy)

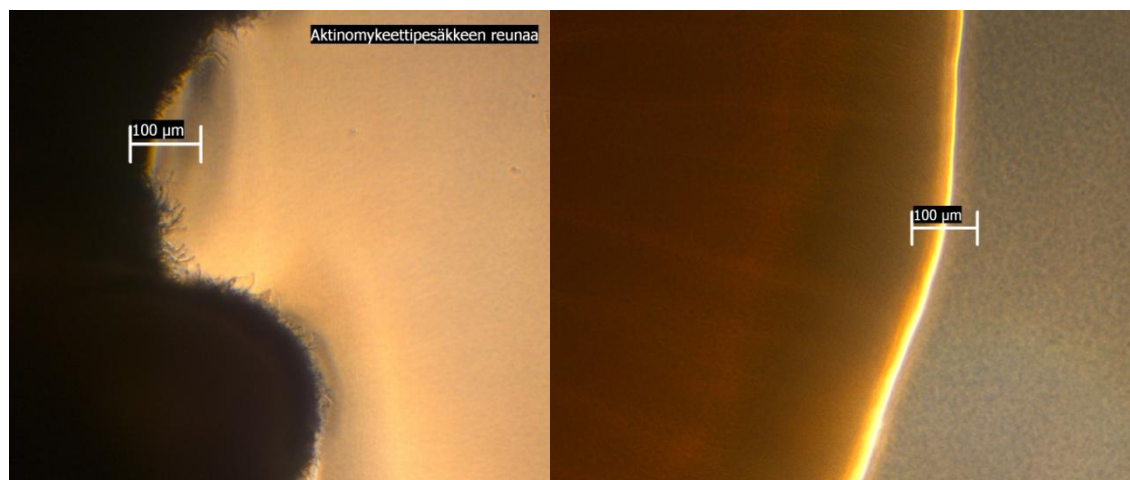
Jokaista näytteenottoa ennen tornit purettiin ja desin fioitiin 70-prosenttisella etanolilla. Kun näytteet oli otettu, ne kirjattiin järjestelmään, numeroitiin ja vietiin erilliseen kasvatushuoneeseen inkubointikaappiin. Näytteet kasvatettiin inkubointikaapissa omissa pusseissaan, jotta home-itiöiden leviämistä näytteestä toiseen ei tapahtuisi (kuvio11). Inkubointikaapin lämpötila on 25 °C.



KUVIO 11. Näytteet inkubointikaapissa (ISS Proko Oy)

4.3 Näytteiden analysointi

THG-kasvatusalustoilta laskettiin bakteerit ja aktinomykeetit (sädesienet) hie-
man Asumisterveysoppaan ohjeista poiketen. Asumisterveysoppaassa ohjeena
on, että maljoja kasvatetaan ensin 7 vuorokautta, minkä jälkeen lasketaan bak-
teeripesäkkeiden kokonaismäärä. Tämän jälkeen kasvatusta jatketaan vielä toi-
set 7 vuorokautta, minkä jälkeen lasketaan aktinomykeettipesäkkeiden lukumää-
rä. (Asumisterveysopas, 2009, 161.) ISS Prokon sisäilmalaboratoriossa molem-
mat, bakteerien kokonaismäärä sekä aktinomykeetit, laskettiin samalla kertaa
10–14 vuorokauden kasvatuksen jälkeen. Kuviossa 12 näkyy aktinomykeetti-
pesäkkeen ja bakteeripesäkkeen ero mikroskoopilla katsottuna. Pesäkkeet erot-
taa parhaiten siitä, että aktinomykeettipesäkkeet muodostavat rihmastoja ja bak-
teeripesäkkeet eivät, joten bakteeripesäkkeen reunus näyttää sileältä.



KUVIO 12. Aktinomykeetti- (vas.) ja bakteeripesäkkeen (oik.) reunaa (ISS Proko Oy)

2-prosenttinen mallasuute- ja DG18-kasvatusalusoilta laskettiin ja tunnistettiin homepesäkkeet Asumisterveysoppaan mukaisesti. Seitsemän vuorokauden kasvatuksen jälkeen laskettiin maljoilta homepesäkkeiden kokonaismäärä ja samalla laskettiin hiivapesäkkeet ja tunnistettiin eri homesuvut ja -lajit. Homeiden ja hii-vojen erotettiin ja tunnistettiin mikrokoopilla, joka oli kohdepoistolla varustetussa kaapissa. Homelajit tunnistati asiantuntija. Taitojeni mukaan autoin ja olin mukana pesäkkeiden laskemisessa ja tunnistuksessa.

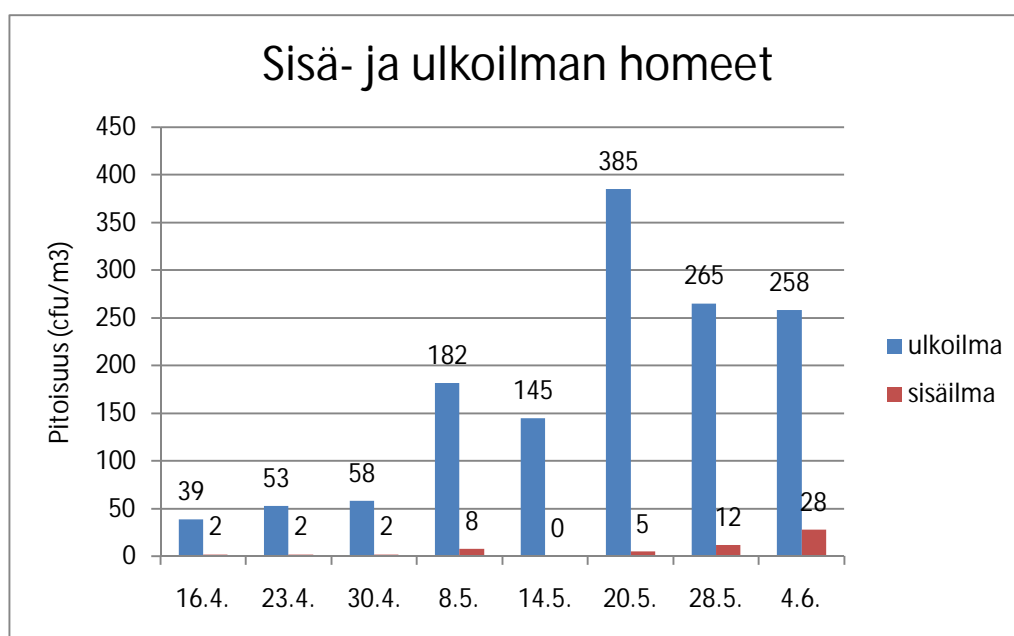
4.4 Tulokset

Tutkimuksen sisä- ja ulkoilmanäytteiden mikrobipitoisuudet eri kasvatusalustoilla (pienin ja suurin arvo) eri mittauspäivinä on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Sisä- ja ulkoilman mikrobipitoisuudet

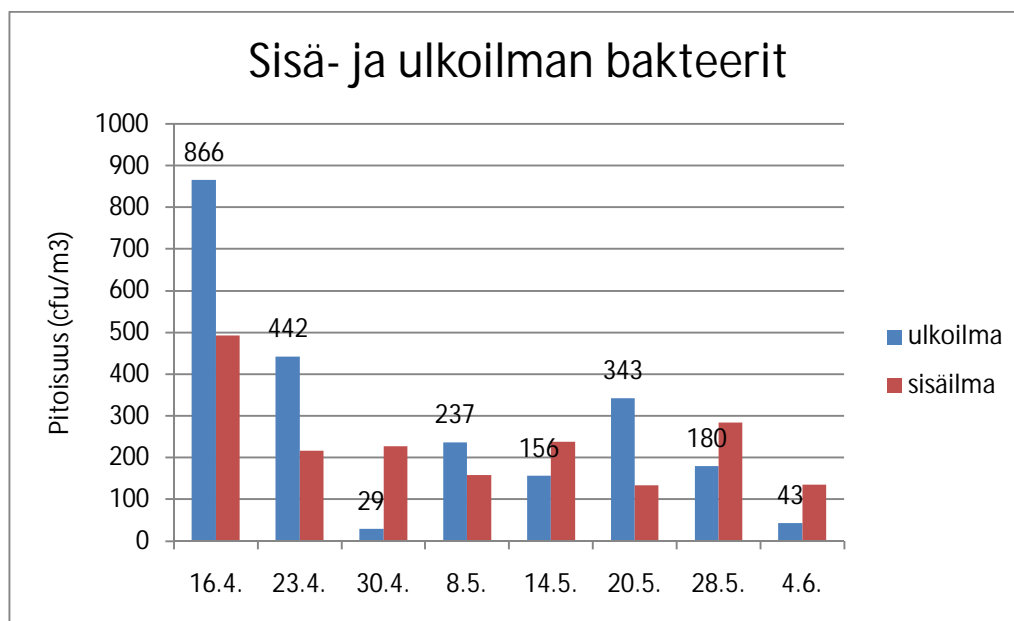
Mittauspvm	Sisäilma pitoisuudet cfu/m ³ (vaihtelu- väli)			Ulkoilma pitoisuudet cfu/m ³ (vaihtelu- väli)		
	2% mallas	DG18	THG	2% mallas	DG18	THG
16.4.2009	0	2	405-580	33-60	22-42	749-983
23.4.2009	0	2	168-266	50-78	33-50	280-604
30.4.2009	0	2	184-271	82-89	29-32	11-46
8.5.2009	0-4	0	151-165	213-248	106-162	205-269
14.5.2009	0	0	231-245	138-177	103-163	149-163
20.5.2009	0-9	0-5	125-141	569-689	132-150	276-410
28.5.2009	0-2	5	226-342	296-367	155-240	166-194
4.6.2009	7-9	5-7	130-141	220-295	258	39-46

Sisäilman homepitoisuudet olivat todella pieniä verrattuna ulkoilman homepitoisuuksiin. Bakteeripitoisuuksissa ei kovin suuria eroja ollut sisä- ja ulkoilman välillä. Kuvioissa 13 ja 14 on esitetty sisä- ja ulkoilman home- ja bakteeripitoisuudet kaaviona eri mittauspäivinä.



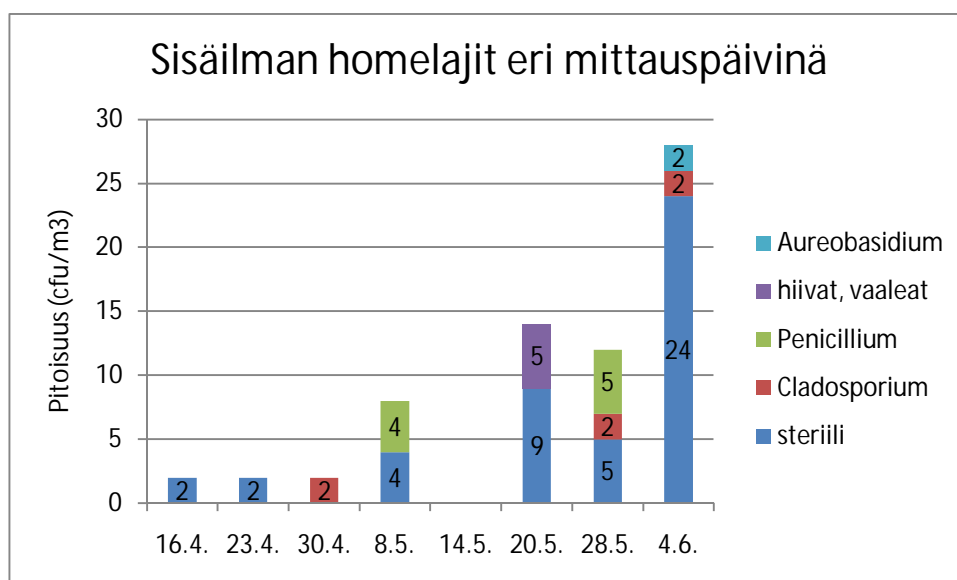
KUVIO 13. Sisä- ja ulkoilman homepitoisuudet

Suurin homepitoisuus sisäilmassa oli viimeisenä mittauspäivänä (4.6.2009), jolloin se oli 28 cfu/m³ (kuvio 13). Edellä mainittu pitoisuus on kuitenkin todella pieni verrattu saman mittauspäivän ulkoilman homepitoisuuteen, joka oli tuolloin 258 cfu/m³ (kuvio 13).

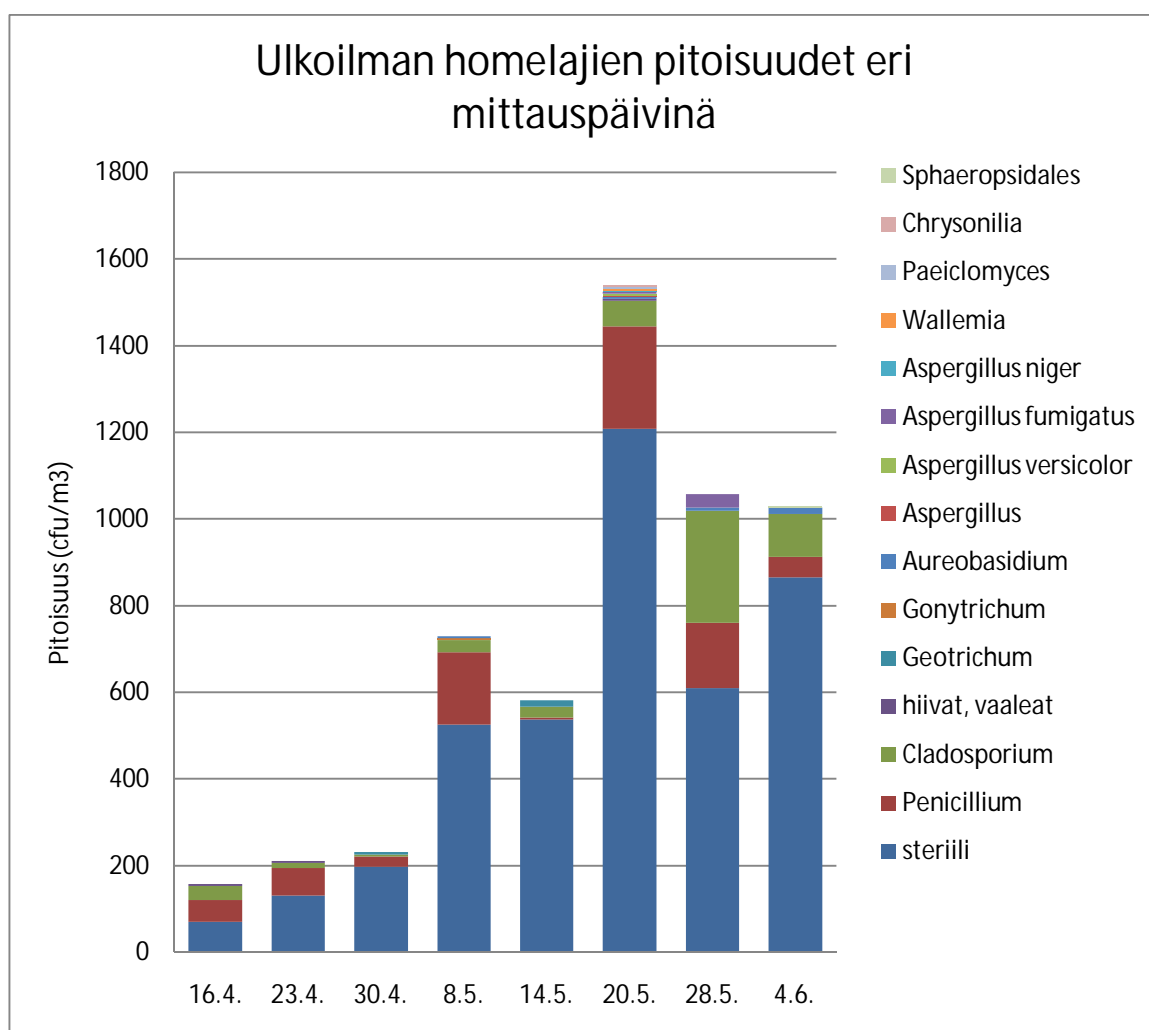


KUVIO 14. Sisä- ja ulkoilman bakteeripitoisuudet

Sisäilman bakteeripitoisuuksiin ulkoilman pitoisuudet eivät varsinaisesti vaikuta, koska sisällä oleskelevat ihmiset ovat suurin bakteerilähde. Ei ole siis mikään ihme, että muutamina mittauspäivinä bakteeripitoisuudet ovat sisäilmassa suurempia kuin ulkoilmassa (kuvio 14, päivät: 30.4, 14.5, 28.5 ja 4.6). Sisäilman bakteeripitoisuudet olivat normaaleja (< 600 cfu/m³), mikä kertoo ilmanvaihdon olevan hyvä ja riittävä näytteenottokohteena toimineessa toimistotyöympäristössä. Kuvioissa 15 ja 16 on sisä- ja ulkoilmanäytteistä löytyneet homelajit ja niiden pitoisuudet eri mittauspäivinä. Kuviossa 15 ja 16 on esitetty homelajien lisäksi "steriilien" pitoisuus. Steriili tarkoittaa sientä, joka ei itiöi käytetyllä kasvu- alustalla, jolloin sitä ei voi myöskään tunnistaa.

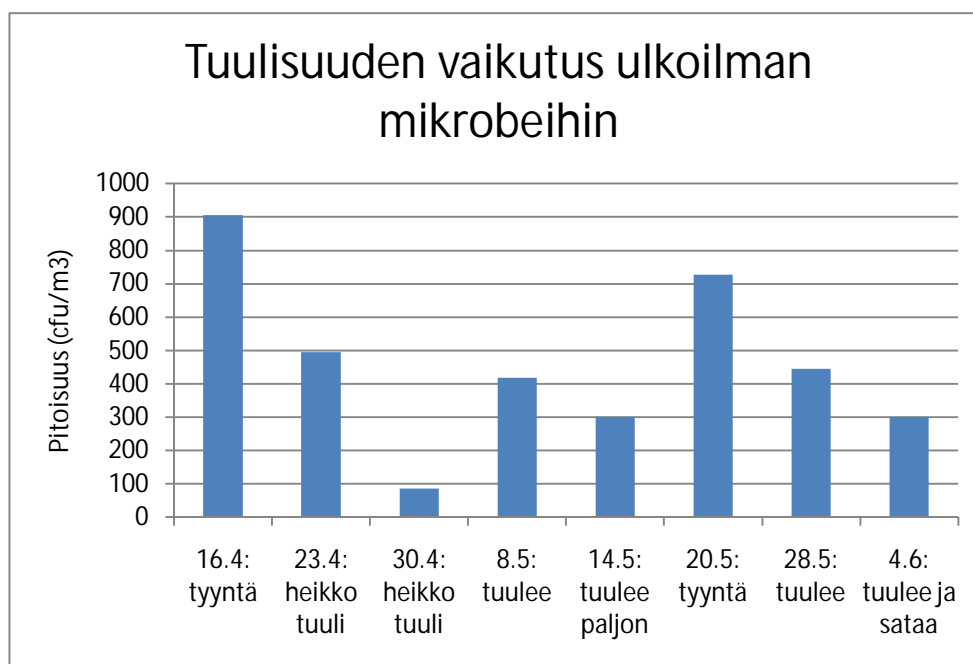


KUVIO 15. Sisäilman homelajien pitoisuudet



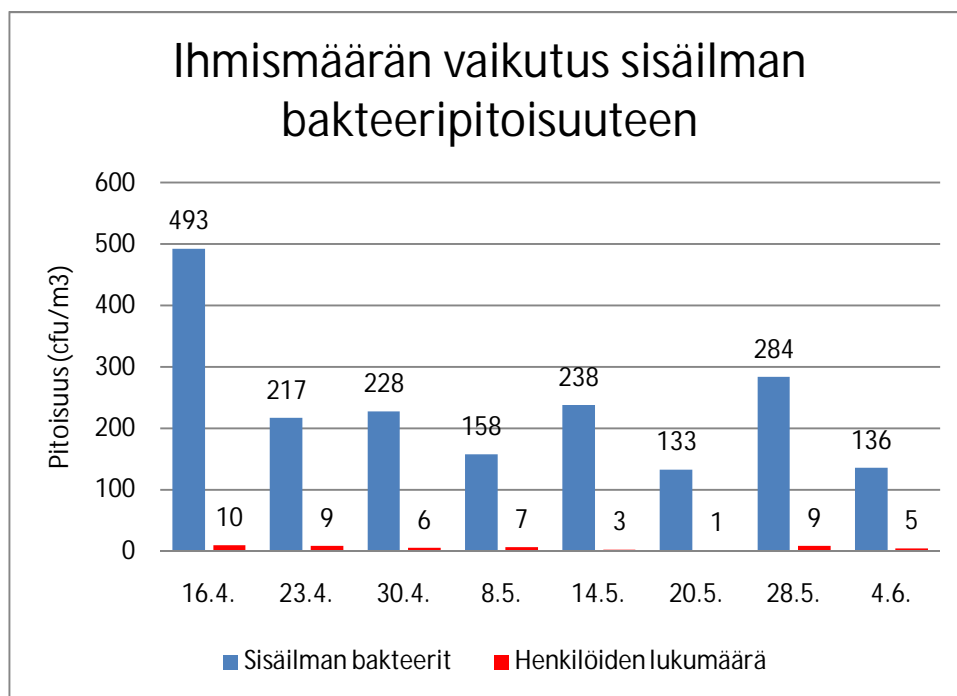
KUVIO 16. Ulkoilman homelajien pitoisuudet

Homeitiöiden kulkeutumista ulkoilmasta sisäilmaan jonkun verran on, sillä samana mittauspäivänä otetuissa sisä- ja ulkoilmanäytteissä esiintyi samoja lajeja. Esimerkiksi 28.5.2009 otetuissa sisäilmanäytteissä esiintyy runsaimmin *Penicillium*-hometta, samoin kuin ulkoilmanäytteessä (kuviot 15 ja 16). Lisäksi 4.6.2009 otetuista sisäilmanäytteistä löytyi kaksi pesäkettä *Aureobasidium*-hometta ja samana päivänä ulkoilmassa oli suurin pitoisuus kyseistä lajia koko mittausaikana (kuviot 15 ja 16). Edellä mainitut esimerkit kertovat kulkeutumista olevan, mutta pitoisuudet sisällä toimistotilassa eivät ole lähelläkään sisäilman mikrobipitoisuuksille annettuja raja-arvoja (taulukko 6). Näytteenottotilanteen olosuhteiden vaikutuksesta mikrobien pitoisuuksiin on esitetty kuvioissa 17 ja 18. Kuvioista 17 näkyy tuulisuuden vaikutus ulkoilman mikrobipitoisuuksiin ja kuvioista 18 ihmismäärän vaikutus sisäilman bakteeripitoisuuksiin.



KUVIO 17. Tuulisuuden vaikutus ulkoilman mikrobipitoisuuksiin

Kuvioista 17 voi havaita sen, että tyynellä säällä pitoisuudet ovat olleet korkeimmat (16.4. ja 20.5.). Tuulisella säällä mikrobit eivät samalla tavalla pääse leijumaan ilmassa kuin tyynemmällä kelillä.



KUVIO 18. Ihmismäärän vaikutus sisäilman bakteeripitoisuuksiin

Korrelaatiota ihmismäärän ja bakteeripitoisuuksien välillä on jonkin verran (kuvio 18). Ensimmäisen mittauspäivänä (16.4.2009) on suurin bakteeripitoisuus, jolloin paikalla on myös eniten ihmisiä. Kuitenkin 8.5.2009 otetuissa sisäilmanäytteissä on pitoisuus melko korkea, vaikka ihmisiä ei ole kuin kolme. Selkeää korrelaatiota ihmismäärän vaikutuksesta tilan bakteeripitoisuuteen tuloksissa ei siis näy.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ulkoilman mikrobien kulkeutumista sisäilmaan sulan maan aikana. Tulosten perusteella kulkeutuminen on todella vähäistä. Tulokset olivat melko ennalta-arvattavat eikä yllätyksiä ilmennyt eli homeitiöiden kulkeutumista ulkoilmasta ei tapahtunut juuri ollenkaan. Homeitiöiden vähäiseen kulkeutumisen ulkoilmasta sisäilmaan on varmasti useita eri syitä. Tärkein syy on todennäköisesti se, että tutkimuskohteena ollut ISS:n toimitalo on lähes uusi, jolloin oletettavasti koneellinen ilmanvaihto ja siihen liittyvät suodatimet ovat moitteettomassa kunnossa. Tällöin ilmanvaihdon mukana itiöiden ei ainakaan pitäisi päästä sisätiloihin. Myös rakennuksen ilmanvaihtokanavien puhautaudella on merkitystä sisäilman laatuun. Normaalisti IV-kanavat puhdistetaan noin 10 vuoden välein, joten siinä ajassa ehtii kanaviin kertyä paljonkin epäpuhtauksia. ISS:n toimitalon uutuuden takia IV-kanavat ovat melko puhtaita, mikä osaltaan selittää sisäilman alhaisia homepitoisuuksia. Sisäilman näytteenottopiste sijaitsi avotoimistotilassa, johon työntekijät yleensä kävelevät ulkovaatteissa ja -kengissä, joten pienet homepitoisuudet toimistotilassa ovat täysin normaaleja. Avotoimistotilassa työskentelee useita henkilöitä, jotka tekevät rakennusten kuntoarvioita ja -kartoituksia sekä käyvät ottamassa mm. sisäilmatutkimuksiin liittyviä näytteitä kohteissa. Kosteusvaurioisesta kohteesta suoraan työpaikalle saapunut henkilö voi hyvinkin mahdollisesti tuoda mukanaan joitain itiöitä myös toimistoon.

Sisäilmanäytteiden pitoisuudet olivat normaaleja, kuten ei-kosteusvaurioituneessa toimistorakennuksessa kuuluukin. Näytteistä löytyneet homelajit ja mikrobipitoisuudet ovat samoja mitä vastaavanlaisissa tutkimuksissa on löytynyt. Esimerkiksi Helsingin ja Kuopion Työterveyslaitoksen tekemän tutkimuksen mukaan yleisimmät homesienet kosteusvaurioisissa toimistorakennuksissa sekä niin sanotuissa puhtaissa vertailukohteissa olivat *Penicillium*, hiivat, *Cladosporium*, steriilit sienet ja *Aspergillus versicolor*. (Salonen, Lappalainen, Pasanen, Riuttala, Lindroos, Harju & Reijula 2008.) Samat homesuvut olivat yleisimpiä myös ottamissani näytteissä. Suurin osa edellä mainitun tutkimuksen

näytteenottokohteista olivat ISS:n toimitilarakennuksen kaltaisia, betonirunkoisia, tasakattoisia, monikerroksisia sekä koneellisella ilmanvaihdolla varustettuja. Saman tutkimuksen tulokset osoittivat, että moderneissa, kosteusvaurioitumattomissa toimistorakennuksissa on vähän mikrobilähteitä ja ilmanvaihtuvuus tehokasta.

Eräässä toisessa Suomessa tehdyssä tutkimuksessa (Salonen 2009) koskien toimistorakennusten ilman epäpuhtauksia löydettiin myös samoja lajeja ja samansuuntaisia pitoisuuksia. Yleisimmät sisäilmassa esiintyneet sienet olivat *Penicillium*, *Cladosporium* sekä steriilit sienet. Samat lajit olivat yleisimpiä sukuja niin homevaurioituneissa kuin vertailutoimistorakennuksissa. Pitoisuudet olivat vertailurakennuksissa toki todella pieniä verrattuna kosteusvaurioituneeseen toimistorakennukseen. 90 % vertailutoimistorakennuksissa homepitoisuudet olivat alle 15 cfu/m³, korkeimman arvon ollessa 45 cfu/m³. Bakteeripitoisuudet 90 % vertailurakennuksissa olivat alle 309 cfu/m³. (Salonen 2009, 82–83.) ISS:n toimitaloa voitaisiin ajatella myös edustavan niin sanottua puhdasta vertailutoimistotyöympäristöä. Tutkimuksessani sisäilman homepitoisuus jäi myös pitoisuuden 15 cfu/m³ alle 90 % näytteistä (kuvio 13) ja korkein arvo oli 28 cfu/m³. Lisäksi lähes 90 %:a sisäilmanäytteiden bakteeripitoisuuksista, samoin kuin edellä mainitussa tutkimuksessakin, jäi pitoisuuden 309 cfu/m³ alle (kuvio 14).

Sisäilman mikrobiologisia mittauksia voisi tutkimuksen mukaan teoriassa tehdä myös lumettomaan vuodenaikaan, jos tutkimuskohteena on ISS:n toimitilaa vastaava moderni toimistorakennus. Lisäksi tuolloin täytyy aina ottaa ulkoilmanäytteitä sekä vertailla ulko- ja sisäilmanäytteiden mikrobipitoisuuksia ja -lajistoa. Tulevaisuudessa todennäköisesti edelleen sisäilman mikrobiologiset mittaukset painottuvat talviaikaan tulosten paremman luotettavuuden vuoksi. Tutkimusta ulkoilman mikrobien kulkeutumisesta sisäilmaan voisi jatkaa monellakin tapaa. Ensinnäkin näytteitä voisi ottaa keväästä talveen saakka ja näytteiden määrää lisätä. Lisäksi mielenkiintoista olisi tehdä vastaavanlainen tutkimus, kun näytteenottokohteena olisi vanhempi toimistorakennus ilman tehokasta koneellista ilmanvaihtojärjestelmää. Tulokset olisivat todennäköisesti hyvin erilaiset kuin opinnäytetyön tutkimuksessa.

LÄHTEET

Adams, M.R. & Moss, M.O. 2000. Food Microbiology. Second edition. Cornwall, UK: MPG Books Ltd.

Analysointi ja tulkinta. 2008. Sisäilmayhdistys. Viitattu 18.4.2010. www.sisailmayhdistys.fi/, terveelliset tilat, ongelmien tutkiminen, mikrobitutkimukset, analysointi ja tulkinta.

Asumisterveysopas. 2009. 3. korjattu painos. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Cladosporium sp conidia. n.d. Wikimedia commons. Viitattu 7.5.2010. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cladosporium_sp_conidia.jpg

Cladosporium. n.d. Mold and Bacteria consulting Laboratories. Viitattu 7.5.2010. www.moldbacteria.com/, Learn more, Mold in homes, Cladosporium.

Heikkilä, M. 2009. Homeista viis, ongelmatalossa sairastuttaa toksiini. Artikkelitiedelehden sivustolla. Viitattu 6.5.2010. http://www.tiede.fi/artikkeli/1067/homeista_viis_ongelmatalossa_sairastuttaa_toksiini#1067

Homeet. 2009. IndoorAid. Home ja terveys. Viitattu 7.5.2010. <http://indooraid.com/homejaterveys/>, homeet.

Homeet ja sienet. 2007. Ympäristöministeriö. Viitattu 9.4.2010. www.ymparisto.fi/, Maankäyttö ja rakentaminen, rakennuksen terveellisyys, homeet ja sienet.

Hopmans, E.C. 1997. Patulin: a Mycotoxin in Apples. Department of Food Science & Technology. Perishables Handling Quarterly Issue 91, 5–6.

Indikaattorit. 2008. Sisäilmayhdistys. Viitattu 10.4.2010. www.sisailmayhdistys.fi/, terveelliset tilat, terveelliset tilat, ongelmien tutkiminen, mikrobitutkimukset, indikaattorit, Baarnin indikaattorilista.

Korhonen, H. & Lintunen, M. 2003. Hyvä sisäilma. Helsinki: Like Kustannus Ltd.

Lahtinen, M., Lappalainen, S. & Reijula, K. 2006. Toimintamalli vaikeiden sisäilmaongelmien ratkaisuun. Helsinki: Työterveyslaitos.

Lehtonen, M. Reponen, T. & Nevalainen, A. 1993. Everyday Activities and Variation of Fungal Spore Concentrations in Indoor Air. International Biodeterioration & Biograduation 31, 1, 25–39.

Mikrobikasvun edellytykset. 2008. Sisäilmayhdistys. Viitattu 10.4.2010. www.sisailmayhdistys.fi/, terveelliset tilat, kosteusvauriot, mikrobit, mikrobikasvun edellytykset.

Mikrobitutkimusten käyttö. 2008. Sisäilmayhdistys. Viitattu 12.4.2010. www.sisailmayhdistys.fi/, terveelliset tilat, ongelmien tutkiminen, mikrobitutkimukset, mikrobitutkimusten käyttö.

Näytteenotto. 2008. Sisäilmayhdistys. Viitattu 15.4.2010. www.sisailmayhdistys.fi/, terveelliset tilat, ongelmien tutkiminen, mikrobitutkimukset, näytteenotto.

Pasanen, A.-L. Pasanen, P. Jantunen, M. J. & Kalliokoski, P. 1991. Significance of air humidity and air velocity for fungal spore release into the air. *Atmospheric Environment* 25A, 2, 459–462.

Putus, T. 2009. Mikrobisukujen ja -lajien terveysriskit: Aspergillus-suvun homeet. *Ympäristö ja Terveys-lehti* 40, 4, 82–85.

RakMkD2. 2002. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Reiman, M. Haatainen, S. Kallunki, H. Kujanpää, L. Laitinen, S. & Rautiala, S. 1999. Laimennossarja- ja suoraviljelymenetelmien käyttö rakennusmateriaalinäytteiden mikrobipitoisuuksien ja mikrobiston määrittämisessä. Sisäilmastoseminaari 1999. Sisäilmayhdistyksen raportti 13, 337-342.

Salkinoja-Salonen, M. 2002. Mikrobiologian perusteita. Helsinki: Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos.

Salkinoja-Salonen, M. 2009 Mikrobitoksiinit sisätiloissa. Sisäilmastoseminaari 2009. Sisäilmayhdistyksen raportti 27, 19–23.

Salonen, H. 2009. Indoor air contaminants in office buildings. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health. Kuopio: Department of Environmental Science.

Salonen, H. Lappalainen, S. Pasanen, A.-L. Riuttala, H. Lindroos, O. Harju, R. & Reijula, K. Homeet ja bakteerit homevaurioituneissa ja ei-vaurioituneissa toimistotyöympäristöissä pääkaupunkiseudulla. Sisäilmastoseminaari 2008. Sisäilmayhdistyksen raportti 26, 19–23.

Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa tavanomaisissa toimistoympäristöissä. 23.9.2009. Työterveyslaitos. Viitattu 17.4.2010. www.ttl.fi/, työympäristö, sisäilma ja sisäympäristö, ohjeet ja lomakkeet, pdf.

LII TE 1. 6-vaiheimpaktorin pesäkemäärien korjaustaulukko

HUOM! Vain vaiheiden 3-6 pesäkemäärät korjataan

LP = laskettu pesäkemäärä

KP = korjattu pesäkemäärä

LP	KP	LP	KP	LP	KP	LP	KP	LP	KP	LP	KP	LP	KP	LP	KP
0	0	51	55	102	118	153	193	204	285	255	406	306	579	357	892
1	1	52	56	103	119	154	194	205	287	256	409	307	584	358	902
2	2	53	57	104	120	155	196	206	289	257	411	308	588	359	911
3	3	54	58	105	122	156	198	207	292	258	414	309	592	360	921
4	4	55	59	106	123	157	199	208	294	259	417	310	597	361	931
5	5	56	60	107	125	158	201	209	296	260	420	311	601	362	942
6	6	57	61	108	126	159	203	210	298	261	423	312	606	363	952
7	7	58	63	109	127	160	204	211	300	262	426	313	610	364	963
8	8	59	64	110	129	161	206	212	302	263	429	314	615	365	974
9	9	60	65	111	130	162	208	213	304	264	432	315	620	366	986
10	10	61	66	112	131	163	209	214	306	265	434	316	624	367	998
11	11	62	67	113	133	164	211	215	308	266	437	317	629	368	1010
12	12	63	69	114	134	165	213	216	311	267	440	318	634	369	1023
13	13	64	70	115	136	166	214	217	313	268	443	319	639	370	1036
14	14	65	71	116	137	167	216	218	315	269	447	320	644	371	1050
15	15	66	72	117	138	168	218	219	317	270	450	321	649	372	1064
16	16	67	73	118	140	169	220	220	319	271	453	322	654	373	1078
17	17	68	75	119	141	170	221	221	322	272	456	323	659	374	1093
18	18	69	76	120	143	171	223	222	324	273	459	324	664	375	1109
19	19	70	77	121	144	172	225	223	326	274	462	325	670	376	1125
20	21	71	78	122	146	173	227	224	328	275	465	326	675	377	1142
21	22	72	79	123	147	174	228	225	331	276	468	327	680	378	1160
22	23	73	81	124	148	175	230	226	333	277	472	328	686	379	1179
23	24	74	82	125	150	176	232	227	335	278	475	329	692	380	1198
24	25	75	83	126	151	177	234	228	338	279	478	330	697	381	1219
25	26	76	84	127	153	178	236	229	340	280	482	331	703	382	1241
26	27	77	86	128	154	179	237	230	342	281	485	332	709	383	1263
27	28	78	87	129	156	180	239	231	345	282	488	333	715	384	1288
28	29	79	88	130	157	181	241	232	347	283	492	334	721	385	1314
29	30	80	89	131	159	182	243	233	349	284	495	335	727	386	1341
30	31	81	91	132	160	183	245	234	352	285	499	336	733	387	1371
31	32	82	92	133	162	184	246	235	354	286	502	337	739	388	1403
32	33	83	93	134	163	185	248	236	357	287	506	338	746	389	1438
33	34	84	94	135	165	186	250	237	359	288	508	339	752	390	1476
34	36	85	96	136	166	187	252	238	362	289	513	340	759	391	1518
35	37	86	97	137	168	188	254	239	364	290	516	341	766	392	1565
36	38	87	98	138	169	189	256	240	367	291	520	342	772	393	1619
37	39	88	99	139	171	190	258	241	369	292	524	343	779	394	1681
38	40	89	101	140	172	191	260	242	372	293	527	344	786	395	1754
39	41	90	102	141	174	192	262	243	374	294	531	345	793	396	1844
40	42	91	103	142	175	193	263	244	377	295	535	346	801	397	1961
41	43	92	105	143	177	194	265	245	379	296	539	347	808	398	2127
42	44	93	106	144	179	195	267	246	382	297	543	348	816	399	2427
43	45	94	107	145	180	196	269	247	384	298	547	349	824	400	
44	47	95	108	146	182	197	271	248	387	299	551	350	832		
45	48	96	110	147	183	198	273	249	390	300	555	351	840		
46	49	97	111	148	185	199	275	250	392	301	559	352	848		
47	50	98	112	149	186	200	277	251	395	302	563	353	857		
48	51	99	114	150	188	201	279	252	398	303	567	354	865		
49	52	100	115	151	190	202	281	253	400	304	571	355	874		
50	53	101	116	152	191	203	283	254	403	305	575	356	883		

Lähde: Asumisterveysopas 2009

Liite 2. Näytteenottolomake

Kohde: ISS:n toimisto / opinnäytetyön tutkimus

Näytteenottaja: Niina Kemppainen

Näytteenottopäivä: 16.4.09

Projektinnumero:

Näyte- numero:	Mittauspiste:	Lisätietoja (ei raportoida):	Näytteenott aika, min.	Suhteellinen kosteus, RH %	Lämpötila, °C
1.	ulkoilma, toimiston piha (ks. kuva)	n. klo 10 --> mittauskorkeus 130 cm	10 min	30,7 %	+ 3,7 °C
2.	ulkoilma, toimiston piha (ks. kuva)	n. klo 10.40 --> mittauskorkeus 130 cm	10 min	31,3 %	+ 5,7 °C
3.	ISS Prokon toimisto	n. klo 11.45 --> mittauskorkeus 90 cm paikalla n. 10 henkilöä	15 min	12,0 %	+ 22,4, °C
4.	ISS Prokon toimisto	n. klo 12.15 --> mittauskorkeus 90 cm paikalla n. 10 henkilöä	15 min	12,0 %	+ 22,5 °C

Ulkoilma:

Sää:

- puolipilvistä, aurinko paistaa

Mittauspiste:

- parkkipaikan reuna
- asfaltti parkkipaikalla sulana melkein kokonaan
- sivummalla vielä lumipenkköjä, myös mittauspisteen vieressä
- mittauskorkeus noin 130 cm