

Gina-Carola Meder

Sisäilman laatu Metropolian Myyrmäen ja Leppävaaran toimipisteissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Laboratorioanalyttikko (AMK)

Laboratorioala

Opinnäytetyö

2.12.2013

Alkulause

Aluksi haluan osoittaa sydämelliset kiitokset puolisolleni Veikko Rahikaiselle, kaikesta avusta ja tuesta minkä annoit koko työni ja opiskelun ajan, autoit jaksamaan ja kestit kanssani vaikeimmat ajat.

Patrik Paxalia kiitän uskomattomasta kärsivällisyydestä ja tarjoamastasi ammattiosaamisesta, ilman sinua moni asia olisi jäänyt toteutumatta.

Jarmo Palmia, ohjaavaa opettajaani, kiitän mahdollisuudesta päästä tekemään tätä opinnäytetyötä ja tuesta, jota tarjosit läpi koko työn. Kuin myös toista ohjaavaa opettajaani Miika Kuivikkoa, joka autoit näytteiden käsittelyssä ja tulosten ymmärtämisessä.

Laura Lahtela ja Heikki Tähtinen, olitte läsnä ja muutitte näytteenkeräysvalmistelut hauskoiksi tapahtumiksi.

Merja Rantalaa kiitän avusta työni viimeistelyssä ja opastit seminaaria varten.

Helsingissä 2.12.2013

Gina Meder

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Gina-Carola Meder Sisäilman laatu Metropolian Myyrmäen ja Leppävaaran toimipisteissä 52 sivua + 9 liitettä (15 s.) 2.12.2013
Tutkinto	Laboratorioanalyttikko (AMK)
Koulutusohjelma	Laboratorioalan koulutusohjelma
Ohjaajat	Lehtori Jarmo Palm Lehtori Miika Kuivikko
<p>Opinnäytetyössä määritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran ja Myyrmäen kampusten kemiallista ja biologista sisäilman laatua EU:n CIP-puiteohjelman (Competitiveness and Innovation framework Programme) rahoittamassa Smart Campus -hankkeessa. Opinnäytetyössä tarkastellaan sisäilmaongelmia, jotka johtuvat mikrobeista, haihtuvista orgaanisista yhdisteistä ja hiukkasista. Teoriaosuudessa käsitellään sisäilman mikrobeja ja mikrobien identifiointimenetelmiä, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ja niiden lähteitä sekä hiukkasia.</p> <p>Opinnäytetyöprojekti aloitettiin mittauspisteiden kartoituksella, joka suoritettiin henkilökunnan haastattelulla ja rakennusten ongelmakohtien määrittämisellä käymällä tilat henkilökohtaisesti läpi. Mittauspisteet suunniteltiin kuvastamaan mahdollisimman laajasti koulun sisäilmaa. Asumisterveysoppaan ja Terveystieteiden ja hyvinvointilaitoksen (THL) Koulurakennusten kosteus- ja homevaurio -oppaan mukaisesti koulujen tiloista kerättiin ja analysoitiin mikrobiinäytteet sisäilmasta ja pinnoilta sekä määriteltiin VOC-pitoisuuksia. Hiukkasmittaukset suoritettiin kehittämisprojektina eri opiskelijan toimesta.</p> <p>Sisäilmanäytteiden mikrobipitoisuuksista tarkasteltiin em. THL:n ohjeiden mukaisesti vertaamalla homesieni-itiöpitoisuuksien mediaania, suurimpia ja pienimpiä pitoisuuksia keskenään, sekä bakteereista aktinomykeettien pitoisuutta homesienipitoisuuksiin. Kummankaan kampuksen tiloista otetuista näytteistä ei käynyt ilmi sellaisia mikrobipitoisuuksia, jotka yksistään viittaisivat home- tai kosteusvaurioon. Nämä tulokset eivät kuitenkaan poissulje kosteusvaurion mahdollisuutta. Homesientien tunnistusta ei suoritettu. Aktinomykeettien pitoisuudet olivat alhaisia tai niitä ei ollut ollenkaan. Tiloissa ei havaittu haitallisia pitoisuuksia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä VOC-mittausten perusteella, vaan ne jäivät merkittävästi alle kirjallisuudessa annettujen arvojen.</p>	
Avainsanat	sisäilma, VOC, näytteenkeräys, kosteusvaurio, mikrobit, sisäilmaongelma

Author Title Number of Pages Date	Gina-Carola Meder Indoor air quality in Metropolia's Myyrmäki and Leppävaara campuses 52 pages + 9 appendices December 2, 2013
Degree	Bachelor of Laboratory Sciences
Degree Programme	Laboratory Sciences
Instructors	Jarmo Palm, Senior Lecturer Miika Kuivikko, Senior Lecturer
<p>This thesis was done in the Smart Campus -project, funded by the CIP (Competitiveness and Innovation framework Programme) of the European Union. The goal was to analyse the biological and chemical indoor air qualities in the two of the Metropolia campus premises, Myyrmäki and Leppävaara. In the theory part of this thesis we go through the general indoor air factors in microbiological, physical (particles) and chemical (volatile organic compounds) point of view as well as the identification procedures of the microbes.</p> <p>The study was started by interviewing personnel and examining the premises to detect the indications of indoor air problems. Measurement points were chosen to present the quality of the air in the campuses as comprehensive as possible. Sample collection from the air and surfaces as well analyses were executed by the guidelines of the books Asumisterveysopas and THL's Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Particle analyses were done by other student in different project.</p> <p>By the instruction given in the THL's Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot -guidebook the fungi were observed as highest, lowest and median concentration and were compared between each other and with the concentration of actinomycetes. The microbe concentrations in neither of the Myyrmäki- or Leppävaara-campus were not any higher than it is usual in schoolpremises. However these results do not exclude the possibility of waterdamage in the premises. Actinomyces concentrations were low or absent and bacteria concentrations were below alarming rate. The volatile organic compounds were significantly below guideline concentrations, which indicate that the sampling procedure might have not worked correctly.</p>	
Keywords	indoor air, volatile organic compounds, microbes, actinomycetes

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sisäilman laatu ja Terveysturvallisuuslaki	2
3	Sisäilman mikrobit	3
3.1	Indikaattorimikrobit ja toimenpiderajat	4
3.1.1	<i>Cladosporium</i>	5
3.1.2	<i>Aspergillus</i>	6
3.1.3	<i>Chaetomium</i>	8
3.1.4	<i>Stachybotrys</i>	9
3.1.5	Aktinomykeetit	9
3.2	Normaalit mikrobit ja niiden pitoisuudet	11
3.2.1	<i>Penicillium</i>	11
3.2.2	Hiivat	12
4	Sisäilman ja pintojen mikrobien tunnistusmenetelmät	12
4.1	Viljelymenetelmä	12
4.2	Mikroskopiaan perustuvat menetelmät	13
4.3	DNA-pohjaiset sovellukset	13
4.4	OmniLog (Biolog)	15
4.5	Immunologiset testit	17
5	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sisäilmassa	18
6	Sisäilman hiukkaset	20
Menetelmät ja materiaalit		
7	Mittauspisteiden kartoitus	22
7.1	Myyrmäki	22
7.2	Leppävaara	23
8	Mikrobiologiset määritykset	24
8.1	Sisäilmanäytteet	25
8.2	Pintasivelynäytteet	26

9	Sisäilman kemialliset analyysit	27
9.1	VOC-näytteen keräys ja käsittely	27
9.2	VOC-näytteiden analysointi kaasukromatografi-massaspektromerillä	28
9.3	Standardien valmistus	29
10	Sisäilman fysikaaliset analyysit	30
11	Tulokset ja tulosten käsittely	31
11.1	Mikrobinäytteiden määritysrajat	31
11.2	Myyrmäen sisäilmamikrobit	32
11.3	Myyrmäen pintasivelynäytteet	36
11.4	Leppävaaran sisäilmamikrobit	37
11.5	Leppävaaran pintasivelynäytteet	41
11.6	TVOC-näytteet	42
12	Loppupäätelmät	48
	Lähteet	49

Liitteet

Liite 1. Myyrmäen ongelmakohteet ja mittauspisteet

Liite 2. Leppävaaran ongelmakohteet ja mittauspisteet

Liite 3. Myyrmäen sisäilmanäytteiden pitoisuusvertailu

Liite 4. Leppävaaran sisäilmanäytteiden pitoisuusvertailu

Liite 5. Laimennosliuoksen ja kasvatusalustojen valmistusohjeet

Liite 6. Näytteenottolomake

Liite 7. Korjaustaulukko 1-impaktorille (Andersen 400)

Liite 8. Määritysrajan laskeminen VOC-tuloksille

Liite 9. Valomikroskooppipreparaatin valmistus

Lyhenteet

VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)
TVOC	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus
MVOC	Mikrobien haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Microbial volatile organic compounds)
VVOC	Erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VVOC (very volatile organic compounds))
SVOC	Puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet (Semi-volatile organic compounds)
POM	Hiukkasiin sitoutuneet orgaaniset yhdisteet (Particulate organic matter)
cfu	Colony forming unit. Pesäkkeen muodostava yksikkö, pmy. Tarkoittaa mikrobin itiötä, solua, soluryhmää tai rihmaston osasta, joka muodostaa kasvualustalle pesäkkeen.
TSP	Kokonaisleijuma (Total suspended particulate)
PM ₁₀	Hengitettävät hiukkaset (Particulate Matter)
PM _{2,5}	Pienhiukkaset (Fine Particulate Matter)
PCR	Polymeraasiketjureaktio (Polymerase chain reaction)

1 Johdanto

Vuonna 2012 syksyllä käynnistyi Metropolia Ammattikorkeakoulussa Euroopan unionin CIP-puiteohjelman (Competitiveness and Innovation framework Programme) rahoittama Smart Campus-hanke. Smart Campus perustettiin kehittämään muun muassa kampusalueiden energiatehokkuutta ja oppimisympäristöjä tuottamalla palveluja ja logistisia toimintoja, joiden tavoitteena oli parantaa opiskelijoiden ja kampusten henkilökunnan hyvinvointia. Smart Campus on 2,5 vuotta kestävä hanke, jonka kokonaisbudjetti on noin 4,6 miljoonaa euroa. Hankkeen partnerit ovat Suomesta, Italiasta, Portugalista ja Ruotsista. Suomen puolesta hankkeessa on osallisena Metropolian lisäksi Aalto-yliopisto ja Enoro Oy. [1]

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli analysoida kampusten sisäilmaa yhtenä Smart Campus-hankkeen osaprojektina ja antaa mahdollisia kehitysehdotuksia ennen tulevaa kampusten yhdistymistä. Analysointia varten käytössä oli useita oppaita ja tutkimuksia, joista tärkeimmät olivat Asumisterveysopas (2009) ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL, ent. Kansanterveyslaitos KTL) opas Koulurakennusten kosteus- ja homevaurioiden selvittämiseen (2007). Sisäilmasta analysoitiin mikrobien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden eli VOC-aineiden pitoisuudet. Huoneilman mikrobinäytteet kerättiin sisäilmasta yksivaiheisella Andersen-keräimellä ja pinnoilta otettiin pintasivelynäytteet. VOC-näytteet kerättiin absorptiomenetelmällä ja desorpoitiin analysoitavaan liuottimeen.

Suomessa rakennusten homeongelmista ollaan oltu tietoisia 1900-luvun alkupuolesta lähtien ja lukuisia tutkimuksia on tehty erilaisissa ympäristöministeriön kehittämishankkeissa. Vuonna 2002 päästiin sisäilmatutkimuksien määrien huippuun ja vuosi nimitettiin sisäilmavuodeksi. 2000-luvun puolesta välistä tähän päivään on ollut käynnissä ympäristöministeriön Kosteus- ja hometalkoot, jonka tavoitteina on vaurioiden ennaltaehkäisy ja korjaaminen. [2] Yleisestä käsityksestä huolimatta sisäilmaongelma käsitteenä on monimuotoinen, eikä sitä voida tarkastella vain yhdeltä kannalta. Sisäilmaongelmat voivat johtua mikrobien lisäksi haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (VOC) ja hiukkasista. Näiden lähteinä ovat usein rakennuksen omat materiaalit ja asukkaat, mutta toisaalta myös mikrobit, niiden tuottamien aineenvaihduntatuotteiden ja irtoavien osien vuoksi. [3, s. 139–140, 146–154; 4, s. 124]

2 Sisäilman laatu ja Terveysuojelulaki

Home- ja kosteusvaurioiden ennaltaehkäisy alkaa rakennuksen suunnitteluvaiheessa ja jatkuu käytön aikana ja käyttäjien toimesta. [2] Rakentamista ja maankäyttöä määrittellään Maankäyttö- ja rakennuslain (132/99) 117 c -pykälässä, jossa kerrotaan rakennuttajan vastuu ottaa huomioon tulevan rakennuksen ympäristö ja tekniset vaatimukset, joiden puitteissa valmis rakennus tulisi olla terveellinen ja turvallinen. Pykälässä vaaditaan rakennushankkeeseen ryhtyvän suunnittelemaan rakennus hyväksi elinympäristöksi terveellisuuden, taloudellisuuden ja ekologisuuden kannalta.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 117 c §

Terveellisyys

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi.

Terveysuojelulaki (763/94) määrittelee terveyshaitattoman sisäilman puhtaaksi, kun sisätiloissa oleskelevalle ei aiheudu fysikaaliskemiallisilta ja mikrobiologisilta näkökannoilta haittaa tai häiriötä. [3, s.9.] Terveysuojelulaki on tehty määrittämään toimia ja tavoitteita, joilla pyritään vähentämään väestön ja yksilön epäterveellisyttä.

Terveysuojelulaki 1§

Tämän lain tarkoituksena on väestön ja yksilön terveyden ylläpitäminen ja edistäminen sekä ennalta ehkäistä, vähentää ja poistaa sellaisia elinympäristössä esiintyviä tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa (terveysuojelu).

Tässä laissa tarkoitetaan terveyshaitalla ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyttä.

Terveyshaitalla tarkoitetaan sairautta tai muuta oiretta, joka on aiheutunut ympäristössä olevasta tekijästä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että ihminen on asunut hometalossa tai oleskellut mikrobivaurioisessa tilassa, jossa altistunut mikrobikasvustolle ja siitä peräisin oleville soluille tai niiden aineenvaihduntatuotteille ja sairastunut tyypillisiin oirein. [3, s. 10.]

Terveyshaitta on määritelty Terveydensuojelulain 26 §:ssä myös vaatimuksena pitää sisäilma mahdollisimman puhtaana. Sisäilmassa ei saa olla vahingollisia pitoisuuksia mikrobeja tai muita aineita, orgaanisia tai epäorgaanisia, ja että rakennuksen valaistus tai lämpötila olisi normaalilla tasolla.

Terveydensuojelulaki 26 §

Lakisäädös on asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisille vaatimuksille. Asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa.

Asunnossa ja muussa oleskelutilassa ei saa olla eläimiä eikä mikrobeja siinä määrin, että niistä aiheutuu terveyshaittaa.

Terveydensuojelulain 32§:ssa on 26§:ää tarkempi määräys terveydellisistä olosuhteista, ja tätä on sovellettu Asumisterveysohjetta laatiessa. [3, s. 9.]

3 Sisäilman mikrobit

Sisäilmassa ja pinnoilla on aina normaalisti mikrobeja. Vasta rakenteissa kasvavat mikrobit muuttuvat haitallisiksi mikrobikasvuston muodostamien epäpuhtauksien, kuten itiöiden ja MVOC-yhdisteiden (Microbial volatile organic compounds) eli mikrobien haihtuvien orgaanisten kaasujen (homeen ja maakellarin haju) vuoksi. [3, s. 151; 5, s. 13-14]

Tavallisimmin sisäilma- ja pintasivelynäytteissä voi esiintyä useimpia homesieniä, tavallisesti ulkoilmasta sisälle kulkeutuneita *Penicillium*-, *Cladosporium*- ja *Aspergillus*-homeita sekä hiivoja, joista *Penicillium*-homeita on sisäilmassa eniten. [3, s. 172; 5, s. 27]. Näistä homeista yksikään ei ole erityisen haitallinen, elleivät ne kasva pinnoilla ja rakenteissa, joissa on homeiden kasvuun riittävä kosteus. [5, s. 13; 6, s. 5] Harvinaisten kosteusvaurioindikaattoreiksi (taulukko 1) lueteltujen homeiden, esim. *Stachybotrys*-, *Fusarium* ja *Chaetomium*, vähäinenkin esiintyminen on epänormaalia ja kosteusvaurioon viittaavaa. [3, s.172-173]

Sisäilmassa on useita erillaisia bakteereita, gram-negatiivisia ja -positiivisia, useimmiten *Micrococcus*-, *Staphylococcus*-, *Bacillus*- ja *Pseudomonas*-sukujen edustajia. Näitä on sekä terveissä että kosteusvauriorakennuksissa. Vain aktinobakteerit on yhdistetty kosteusvaurioon, koska näitä ei ole esiintynyt vaurioitumattomissa vertailurakennuksissa. [7; 8, s. 27]

Normaalilähteinä sisäilmamikrobeille ovat rakennuksen normaaliin käyttöön liittyvät tilanteet ja toiminnot sekä vuodenaika. Homesienistä *Aspergillus fumigatus* ja *Aspergillus fusarium* sekä aktinomykeeteistä pääosin *Streptomyces* viittaavat rakenteiden mikrobikasvustoon, mutta esimerkiksi hevostallirakennuksessa näitä ei voida pitää indikaattorimikrobeina. Kosteina vuodenaikoina ulkoilman mikrobipitoisuudet ovat kohonneita ja tämä vaikuttaa myös sisäilman pitoisuuksiin. Näytteitä kerätessä ja tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon näytteenottoaika, rakennuksen mikrobilähteet ja näytteenottotilanne, mitkä tulee kirjata tarkasti ylös. [3, s. 173; 5, s. 15]

3.1 Indikaattorimikrobit ja toimenpiderajat

Kosteusvaurioindikaattori on mikrobi, jonka kasvu sisäilmanäytteissä viittaa rakenteiden mahdolliseen kosteusvaurioon ja mikrobikasvuun. Normaalisti kosteusvaurioindikaattorimikrobeja ei yleensä tavata vaurioitumissa eli terveissä rakennuksissa, mutta indikaattorimikrobeiksi luetellaan myös sisäilman normaaleja mikrobeja, kun niitä esiintyy näytteissä suurina pitoisuuksina. [9, s. 51] Esimerkiksi *Cladosporium*-homeiden kohonnut pitoisuus talvella otetuissa näytteissä viittaa kosteusvaurioon tai homekasvustoon rakennuksessa [3, s. 172]. Kosteusvaurioindikaattorit on luokiteltu mikrobien kasvuolosuhteiden ja rakennuksia vaurioittavien ominaisuuksien perusteella, esim. lajottajasiiniin. Osalla on myös selkeitä terveysriskejä aiheuttavia ominaisuuksia, mutta niiden spesifejä terveysvaikutuksia ei vielä tunneta riittävästi. [6, s. 56; 10, s. 70-71] Sekä kosteusvaurio- että vertailunäytteissä harvoin esiintyviä mikrobeja ei ole vielä tällä hetkellä luokiteltu indikaattorimikrobeihin, eikä niiden merkitystä ihmisten terveyteen vielä täysin ymmärretä. Tästä syystä luokittelut tulevat vielä muuttumaan tiedon kertyessä ja analyysimenetelmien kehittyessä. [3, s. 172-173; 9, s. 71.]

Taulukkoon 1 on koottu Asumisterveysopasta (2009) ja Home ja Terveys -kirjaa (2010) mukaillen viimeisimpien tutkimusten perusteella listatut indikaattorimikrobit, jotka ovat tunnetusti terveydelle haitallisia, allergisoivia, ärsyttäviä tai toksiineja tuottavia.

Taulukko 1. Kosteusvaurion indikaattorimikrobit [3, s. 172; 10, s. 74]

Indikaattorimikrobit ja niiden kosteusvaatimukset		
Runsaassa kosteudessa	Kohtalaisessa kosteudessa	Vähäisessä kosteudessa
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Aspergillus versicolor</i>
<i>Exophiala</i>	<i>Oidiodendron</i>	<i>Penicillium</i>
<i>Phialophora</i>	<i>Scopulariopsis</i>	<i>Engyodontium</i>
<i>Trichoderma</i>	<i>Verticillium</i>	<i>Wallemia</i>
<i>Ulocladium</i>		<i>Tritirachium</i>
<i>Stachybotrys</i>		<i>Memnoniella</i>
<i>Fusarium</i>		
<i>Phoma</i>		
<i>Sporobolomyces</i>		
Hiivat (esim. <i>Rhodotorula</i>)		
Aktinomykeetit		
Gram-negatiiviset bakteerit		

3.1.1 *Cladosporium*

Cladosporium-homesuvun edustajat maaduttavat luonnossa orgaanista ainesta mutta sisätiloista sitä löytyy huonon ilmastoinnin yhteydessä epäpuhtaista jääkaapeista ja kosteista ikkunapuitteista. Ilmassa leijuvista homesienien itiöistä eniten on *Cladosporium*-homeiden itiöitä, mistä syystä se on yleisin herkistäjä, joka aiheuttaa IgE-vasta-aineen tuoton, ja herkistymisoireita erityisesti astmaatiikoilla. *Cladosporium*-homeille raja-arvo on Asumisterveysoppaan asettama homesienien määritysraja eli 4 cfu/m³. *C. cladosporioides* ja *C. sphaerospermum* ovat yleisimmät sisäilman *Cladosporium*-suvun edustajat. Tunnusomaista *Cladosporium*-homeille on kasvukaudet, jolloin itiöiden määrä ilmassa kasvaa merkittävästi. [3, s. 172; 4, s. 248; 10, s. 60; 11, s. 152].

Cladosporium-homeen esiintyminen sisäilmanäytteissä yksittäisinä pesäkkeinä ei vielä ole merkki sisäilmaongelmasta. Vasta pitoisuuksien ollessa korkeita erityisesti talvella otetuissa näytteissä, voidaan kasvustoa pitää normaalista poikkeavana. [3, s. 172].

3.1.2 *Aspergillus*

Aspergillus-suvun edustajat hallitsevat sisäilman homepopulaatiota *Penicillium*-homeen kanssa ja ovat ensisijainen allergiaoireiden aiheuttaja astmaatikoilla (*A. fumigatus*) sekä usein aiheuttaa välitöntä IgE-välitteistä yliherkkyyttä [10, s. 22]. Allergia- ja herkistysominaisuus muodostuu sen tuottamasta entsyymistä, allergeenista, mutta monet *Aspergillus*-suvun homeet tuottavat itiöissään myös mykotoksiineja, joiden mahdollinen vaikutustapa on hermostollinen, sisäelimiä ja kudoksia vaurioittava tai syöpää aiheuttava. Koska *Aspergillus*-homeet yksinään aiheuttavat monia oireita ja sairauksia, on kyseisen homeen aiheuttamia sairauksia alettu kutsua aspergilloosiksi. [6, s. 10; 10, s. 25]

Taulukkoon 2 on kirjattu *Aspergillus*-lajeja, jotka indikoivat kosteusvauriota sekä mitä toksiinia ne mahdollisesti muodostavat [10, s. 24].

Taulukko 2. *Aspergillus*-homelajien toksiinien tuotto [10, s. 24]

<i>Aspergillus</i>-laji	Indikoi kosteusvauriota	Toksiinin tuotto
<i>A. fumigatus</i>	Kyllä	Kyllä
<i>A. versicolor</i>	Kyllä	Kyllä, sterigmatokystiini
<i>A. ochrateus</i>	Kyllä	Kyllä, okratoksiini A
<i>A. sydowii</i>	Kyllä	Kyllä
<i>A. terreus</i>	Kyllä	Kyllä
<i>A. penicilloides</i>	Kyllä	Kyllä
<i>A. flavus</i>	Kyllä	Kyllä, aflatoksiini ja sterigmatokystiini
<i>A. niger</i>		Kyllä
<i>A. parasiticus</i>		Kyllä, aflatoksiini ja sterigmatokystiini

Aflatoksiiniä, okratoksiiniä ja sterigmatokystiiniä muodostuu homeiden aineenvaihdunnassa ja ne on todettu karsinogeenisiksi. Tremorgeeni, jota myös moni *Aspergillus*-laji tuottaa, on hermomyrky ja se aiheuttaa riittävän suurina pitoisuuksina mm. kouristelua ja vapinaa. Toksiinien tehokkuuteen vaikuttaa annoksen suurus, altistus aika ja mitä kautta toksini pääsee elimistöön. Taulukossa 3 käsitellään edellä mainittujen mykotoksiinien tällä hetkellä tunnettuja vaikutuksia. [9, s. 52; 10, s. 22–25]

Taulukko 3. *Aspergillus*-lajien tuottamat toksinit ja niiden vaikutustavat [10, s. 24 – 25.]

Toksiini	Vaikutustapa ja -kohde
Aflatoksiini	Maksasyöpä, haittaa immuunijärjestelmää ja luuytimen toimintaa, toksinen hermokudokselle, aiheuttaa maksavaurioita ja sikiövaurioita sekä vaikuttaa lisääntymisterveyteen
Okratoksiini	Syöpä, häiritsee immuunijärjestelmää ja luuytimen toimintaa, vaurioittaa munuaisia ja aiheuttaa sikiövaurioita.
Sterigmatokystiini	Aiheuttaa syöpää.
Tremorgeeni	Neurotoksiini, aiheuttaa vapinaa, lihasnykintää ja kouristelua

Toimenpiderajaksi *Aspergillus fumigatus* -homeelle on asetettu 10 cfu/m³, muille *Aspergillus* -suvun indikaattorihomeille 2 cfu/m³ [9, s. 28]. *Aspergillus* -suvun kuroumaitiön väri vaihtelee värittömästä vihreään, sinisen vihreästä ruskeaan tai mustaan. Jotkut *Aspergillus* -lajit muodostavat paksuseinäisiä soluja (Hülle-solut) tai sclerotioita. Tämän suvun lajit kasvavat yleisimmin kosteissa pinnoissa ja alustoissa. Mikroskooppisessa tarkastelussa *Aspergillus* -suvun edustajilla voidaan todeta tyypillinen itiöiden kasvu sienirihmaston päähän, jolloin ne näyttävät kukkamaisilta. [4, s. 245] Esimerkkinä *Aspergillus flavus* kuvassa yksi.



Kuva 1. Mikroskooppikuva *Aspergillus flavus* -homesienestä. [24]

3.1.3 *Chaetomium*

Chaetomium-homeita on pidetty Suomessa kosteusvaurioindikaattoreina vuosikymmenen ajan, ja niiden kasvua stimuloi toinen indikaattorimikrobi, *Aspergillus fumigatus*, joka tuottaa sille sopivaa ravintoainetta. *Chaetomium*-suvun lajeja löytyy luonnosta komposteissa, maaperässä ja puutavarassa, joten sitä saattaa kulkeutua sisäilmaan ulkoa esimerkiksi polttopuun mukana. Mieluiten *Chaetomium*-home kasvaa selluloosapitoisissa materiaaleissa, kuten paperilla ja kartongilla. [4, s. 248; 6, s. 10; 9, s. 30–31] Erityispiirre *Chaetomium*-homeille on niiden itiöinti voimakkaimmin happamissa kasvuympäristöissä, vaikka sen optimikasvu-pH on neutraali. [10, s. 32]

Chaetomium-homeet tuottavat useita toksiineja, mm. chaetomiinia, chaetoglobosiinia sekä sterigmatokystiiniä, joita on homeen muodostamassa pölyssä, mikrobin pinnalla ja siitä vapautuvissa partikkelissa. Mykotoksiinien muodostuminen on riippuvainen kasvualustasta. Sterigmatokystiini on teratogeeninen ja karsinogeeninen, sekä toksinen keuhkokudokselle. Riskiryhmään kuuluvat lapset, raskaana olevat naiset ja immuunijärjestelmältään heikentyneet ihmiset, kuten nivelreumaa sairastavat, varsinkin ollessaan kortisonipainotteisessa lääkehoidossa. *Chaetomium*-home aiheuttaa altistuksessa IgG-vasta-aineen tuoton. [10, s. 33] *Chaetomium*-homeille on asetettu toimenpiderajaksi 10 cfu/m³ asunnoissa ja tiloissa, joissa liikkuu paljon lapsia, ja käyttökieltopitoisuusraja on 1000 cfu/m³ [10, s. 35].

3.1.4 *Stachybotrys*

Tunnetuin *Stachybotrys*-homesuvun edustaja on *Stachybotrys chartarum*, jota tavataan vain kosteusvaurioisissa rakennuksissa. *Stachybotrys*-homeet suosivat paperisia kasvualustoja, kuten kipsilevyn kartonkia ja tapettia, joihin ne kasvavat oliivin vihreän tai mustan värisinä pesäkkeinä. [4, s. 258; 6, s. 11; 10, s. 46] *Stachybotrys*-homeet ovat hidaskasvuisia ja niiden itiöitä peittää limakalvo, joka hidastaa itiöiden irtoamista ilmaan. [3, s. 173; 10, s. 46] Usein hidaskasvuisuutensa vuoksi *Stachybotrys*-homeet jäävät nopeammin kasvavien homeiden alle, jolloin niiden keräämiseen on käytettävä erityistekniikoita, kuten selluloosapitoisia kasvualustoja. [10, s. 47]

Koska *Stachybotrys*-homeet tuottavat vakavia terveyshaittoja (sisäinen verenvuoto, sisäelin- ja sydänvauriot) aiheuttavaa trikotekeeni-mykotoksiinia, sen itiöiden suositusarvo on 0 cfu/m³. Itiöpitoisuuden yltäessä 500 cfu/m³, rakennus tulisi laittaa käyttökieltoon, erityisesti jos tätä pitoisuutta on tukemassa henkilöiden oireilut verisenä yskänä tai allergiana. [10, s. 51] Trikotekeeni-toksiini häiritsee muun muassa immuunipuolustusta ja luuytimen toimintaa, estää proteiinisynteesiä, sekä aiheuttaa iho-, keuhko-, maksa-, munuais- ja hermovaurioita [10, s. 48].

3.1.5 Aktinomykeetit

Aktinomykeetit eivät kuulu kaupunkitaloissa normaaliin terveeseen sisäilmaan ja ovat usein yhdistetty kosteusvauriorakennuksiin, mistä syystä ne on luokiteltu kosteusvaurioindikaattoreihin. Nämä gram-positiiviset bakteerit muistuttavat homesieniä samankaltaisten rakenteiden, kuten rihmaston ja itiöiden muodostuksen vuoksi. Homesienien tapaan aktinomykeetit kasvavat kiinteillä pinnoilla, kuten kostuneilla betoniseinillä. Sisätiloissa kasvuston huomaa aktinomykeettien muodostamasta tyypillisestä maakellarimaisesta hajusta, jota aiheuttaa mikrobille tyypillinen VOC-aine geosmiini. [8, s. 53; 12; 7; 13, s. 36]

Kosteusvaurion yhteydessä yleisimmin kasvava aktinomykeetti on *Streptomyces*-suvun edustajat, joita voidaan kutsua yleisnimikkeellä streptomykeetit. Streptomykeetit allergisoivat voimakkaammin kuin homesienet, muodostavat toksiineja ja hengitysteitä ärsyttäviä VOC-aineita sekä saattavat kasvaa limakalvoilla tuumorimaisina kasvustoina. Kosteusvaurioisissa rakenteissa streptomykeetit ja homesienet vaikuttavat synergistisesti niiden ollessa yhteisvaikutukseltaan haitallisempia kuin yksistään. Aktinomykeettien itiöt pääsevät pienen kokonsa vuoksi keuhkoihin aiheuttamaan mahdollisesti myös vakavia allergiaoireita, kuten allergista alveoliittia eli homepölykeuhkoa. [7; 14, s. 4-5; 13, s. 39] Aktinobakteereista myös mykobakteerit ovat kasvaneet kosteusvauriorakennuksista otetuissa sisäilmanäytteissä. Mykobakteerit kasvavat vain erikoismaljoilla, mistä syystä niitä ei usein saada normaalein menetelmin esiin. [7; 13, s. 40]

Sisäilma-analyyseissä streptomykeettejä kasvatetaan kaksi kertaa pidempään kuin homesieniä ja muita bakteereita. [13] Kasvatusalustalla streptomykeetit kasvavat usein valkoisena, kovana ja kuivana pesäkkeenä, jota on vaikea irrottaa maljalta. Kasvusto saattaa olla rengasmainen tai kukanmuotoinen, mikä auttaa erottamaan ne homesienistä (kuva 2). Aktinomykeettien raja-arvo talviaikaan mitattuna on Asumisterveysoppaan mukaan $> 10 \text{ cfu/m}^3$, tämän ylittävä pitoisuus viittaa sisäilman terveyshaittaan. Mikäli aktinomykeettejä ei näytteissä ole mutta bakteeripitoisuus on tilassa korkea, $> 4500 \text{ cfu/m}^3$, on ongelma puutteellisessa ilmanvaihdossa. [3, s. 171, 173; 4, s. 124; 5, s. 28]



Kuva 2. Aktinomykeettipesäke THG-maljalla (kuva: Gina Meder)

3.2 Normaalit mikrobit ja niiden pitoisuudet

Taulukkoon 4 on koottu sisä- ja ulkoilman yleisimmät mikrobit. Ulkoilmassa on kovia pakkas- ja lumikelejä lukuun ottamatta aina itiöitä ilmassa, ja siksi suositeltavin näytteenkeräysajankohta on talvi, jolloin ulkoilmasta tulevat itiöt eivät vaikuta tuloksiin. Suomessa ulkoilman itiömäärät vaihtelevat talven nollostä kevään ja syksyn satoihin, jopa tuhansiin cfu/m³. [3, s. 157; 10, s. 58]

Taulukko 4. Yleisimmät sisä- ja ulkoilmassa esiintyvät sienisuvut ja -ryhmät. [3, s. 58]

Ulkoilman yleisiä sienisukuja ja ryhmiä		Sisäilman yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä
<i>Cladosporium</i>	<i>Geotrichum</i>	<i>Penicillium</i>
<i>Penicillium</i>	<i>Botrytis</i>	<i>Cladosporium</i>
<i>Aspergillus</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Aspergillus</i>
<i>Alternaria</i>	Hiivat	Hiivat

3.2.1 *Penicillium*

Penicillium -home on yleisin ja runsaimmin sisäilmassa esiintyvä nopeakasvuinen sienisuku, johon moni on päässyt tutustumaan esimerkiksi leivän homehtuessa. *Penicillium*-homeita esiintyy sekä vaurio- että vauriottomissa kohteissa, ja se kuuluu ensilinjan eli primäärivaiheen homesukuihin. Primäärivaiheinen kasvaa aina ensimmäisenä, pilaa elintarvikkeita ja kasvaa nopeasti kosteusvaurioissa sekä kestää erittäin hyvin kosteusvaihteluita. *Penicillium*-homeet itiöivät helpommin kuin esim. *Aspergillus versicolor*. [10, s. 16-17] Asumisterveysoppaan asettaman raja-arvon ylittyessä (100 - 500 cfu/m³) ja *Penicilliumin* ollessa valtalajina, tulee mikrobilähde poistaa. *Penicillium* on helppo määrittää sukutasolla, mutta lajitunnistus on haastavaa, vaikka se olisi tärkeää joidenkin lajien kasvaessa erityisesti kosteusvaurion yhteydessä. [3, s. 171; 4, s. 255; 10, s. 20]

3.2.2 Hiivat

Hiivoja esiintyy rakennusten kosteissa tiloissa, kuten suihkutiloissa, sillä ne vaativat kosteutta ja lämpöä. Rakennusmateriaaleista löydettyä ne indikoivat kosteusvaurioita ja niitä löytyykin runsaasti vauriokohteista. Hiivoja esiintyy harvoin ilman homeita mutta homeita voi esiintyä ilman hiivoja. Hiivoille ei ole tällä hetkellä määritetty raja-arvoja. [10, s. 64–67]

4 Sisäilman ja pintojen mikrobien tunnistusmenetelmät

4.1 Viljelymenetelmä

Sisäilmanäytteet kerätään suoraan maljalle, jolloin primääritunnistus tulee pesäkkeiden morfologiasta. Viljelymenetelmä voi olla selektiivinen tai ei-selektiivinen riippuen kasvatusalustasta ja inkubointilämpötilasta. Selektiivinen on sopiva tapauksissa, joissa tutkittavaa mikrobia kasvaa huomattavasti vähemmän suhteessa muihin näytteen mikrobeihin ja tavoitteena on mikrobin tunnistus. Selektiivisyys voidaan luoda kasvatusalustassa lisäämällä siihen tiettyä ravintoainetta, joka suosii tutkittavaa mikrobia tai antibioottia samalla estäen kilpailevan mikrobin kasvun. Sisäilma-analyseissä käytettiin selektiivisiä alustoja, jotta voitiin selvittää homesienien ja bakteerien lukumäärät. Määritys voitiin tehdä kvantitatiivisesti (määrällinen), jolloin osoitetaan mikrobien lukumäärä sisäilmassa tai kvalitatiivisesti (laadullinen), jolloin määritetään sisäilmasta löytyvien mikrobien perusteella mahdollista kosteusvauriota. [15, s. 142–143]

4.2 Mikroskopiaan perustuvat menetelmät

Mikroskooppinen tarkastelu on ensisijainen menetelmä tutkia ja tunnistaa mikrobeja, myös kuolleita, jotka jäisivät huomaamatta pelkkään viljelyyn perustuvassa menetelmässä, DNA-pohjaisten menetelmien vielä kehittyessä. Näytteistä voidaan mikroskopoimalla antaa saman tien arvio onko pinoilla runsaasti homesienien itiöitä ja tehdä sukutason tunnistus, mikä toimii jatkotoimenpiteiden arvioinnissa. Lajitunnistus vaatii vuosien kokemuksen, mistä syystä usein tyydytään sukutason tunnistukseen. [3, s. 170]

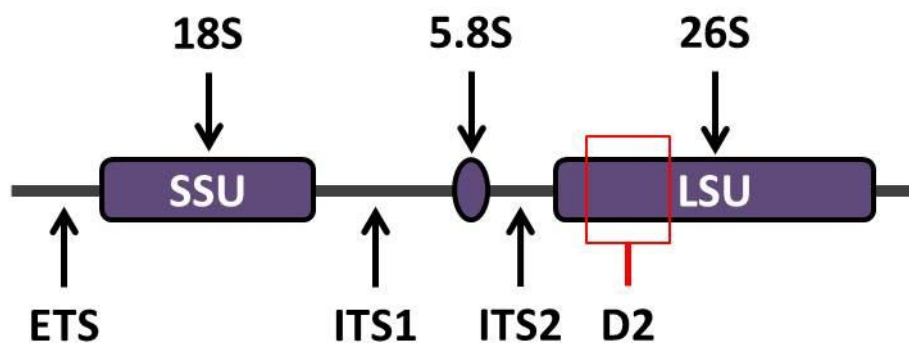
Suoramikroskopointinäyte voidaan valmistaa ottamalla pinnalta teippinäyte, sivelynäytteenä preparaattilevyille tai pesäkenäytteenottona suoraan sisäilmanäytemaljalta. Homesienien osalta voidaan laskea tietyn suuruisesta näytetilavuudesta tai -pinta-alasta otettujen itiöiden määrä. [4, s. 81, 93, 95; 16, s. 4]

4.3 DNA-pohjaiset sovellukset

Eri eliöiden DNA:han on tullut evolutiivista muuntelua, esimerkiksi mutaationa, ja suvullisesti kaukaisemmat lajit eroavat merkittävästi toisistaan. DNA-pohjaiset menetelmät perustuvat organismien perimäaineksen samankaltaisten jaksojen, kohdegeenien, analysointiin. Sukulaisuutta ja lajia määritettäessä valitaan kohdegeeniksi DNA-sekvenssi, joka vaihtelee vähiten lajiryhmän sisällä. [9, s. 23; 17, s. 27]

Tunnetuin on PCR (Polymerase chain reaction) -menetelmä, joka perustuu templaatin eksponentiaaliseen monistukseen. Monistus alkaa alukkeen tunnistamassa näytteessä vastaavan DNA-sekvenssin ja kiinnittyessä siihen. PCR-tuotetta eli amplikonin on reaktion lopussa usein miljardin kertainen määrä alkutilanteen templaattien määrään nähden. Sekvensointia ja tunnistusta varten PCR-menetelmä yhdistetään geelielektroforeesiin, jossa monistetut tuotteet erotellaan kokonsa perusteella kokostandardien kanssa. [3, s. 174; 17, s. 27] Pelkällä PCR-menetelmällä ei voida pitoituksia arvoida, vain tietyn mikrobin läsnäolo.

Kvantitatiivisessa PCR-menetelmässä (qPCR) tuotteen muodostumista mitataan joka syklillä PCR-reaktion aikana. Monistustuotteen määrää mitataan fluoresenssin intensiteetillä, joka saadaan aikaan värjäämällä templaatti fluoresoivalla värillä tai käyttämällä leimattuja alukkeita. Kvantitatiivinen tulos eli pitoisuus saadaan vertaamalla monitustuotteen määrää tunnettuihin standardeihin. [17, s. 28-29] Kohdegeeneinä toimivat bakteerien, kuten streptomykeettien, 16S rDNA, johon on kehitelty 16S rRNA-geenispesifisiä alukkeita [9, s. 17, 23]. Homesienten identifiointiin on käytetty ribosomaalisia ITS1- ja ITS2-alueita (ITS Ribosomal Internal Transcribed Spacer), jotka on havainnollistettu kuvassa 3 homesienen ribosomaalisessa RNA-operonissa [18].



Kuva 3. Homesienien ribosomaalinen RNA-operoni, jossa D2-alue rajattu punaisella. [18].

qPCR-menetelmän vahvuutena on analyysin riippumattomuus soluaineksen viljelykelpoisuudesta, koska menetelmä tunnistaa kuolleet ja elävät mikrobisolujen DNA:n. Tästä syystä qPCR-menetelmällä saadut tulokset ovat olleet jopa 10-100 kertaisia viljelymenetelmiin verrattuna. [3, s. 174; 17, s. 29; 19, s. 26] Käytettäessä viljely- ja qPCR-menetelmiä rinnakkain on tulkintaristiriitojen synty väistämätöntä, koska viljelymenetelmille soveltuvat tulkintaohjeet eivät sovellu suoraan qPCR-menetelmällä saaduille tuloksille. [3, s. 174]

PCR-menetelmään perustuvassa MicroSeq-järjestelmässä tunnistukseen käytetään homesienien 26S-alayksikön D2-sekvenssiä (kuva 3, punaisella rajattu alue) ja bakteerien 16S rRNA-geeniä. MicroSeq-järjestelmässä käytetään PCR-monistusta yhdistettynä PCR-tuotteen syklistiseen sekvensointiin. Menetelmässä PCR-tuote puhdistetaan ja monistetaan uudelleen, muodostuneet ekstensiotuotteet ajetaan geelielektroforeesissa ja sekvensoidaan MicroSeq-sekvensointilaitteistolla (esim. 3000 DNA sequencing instrument). Laitteiston ohjelma vertaa sekvensointitulosta laajaan rRNA-tietopankkiin (MicroSeq® ID Analysis Software). Tällä menetelmällä ei kuitenkaan voida arvioida näytteissä esiintyvien bakteerien ja homeiden pitoisuuksia. [20; 21; 22; 23]

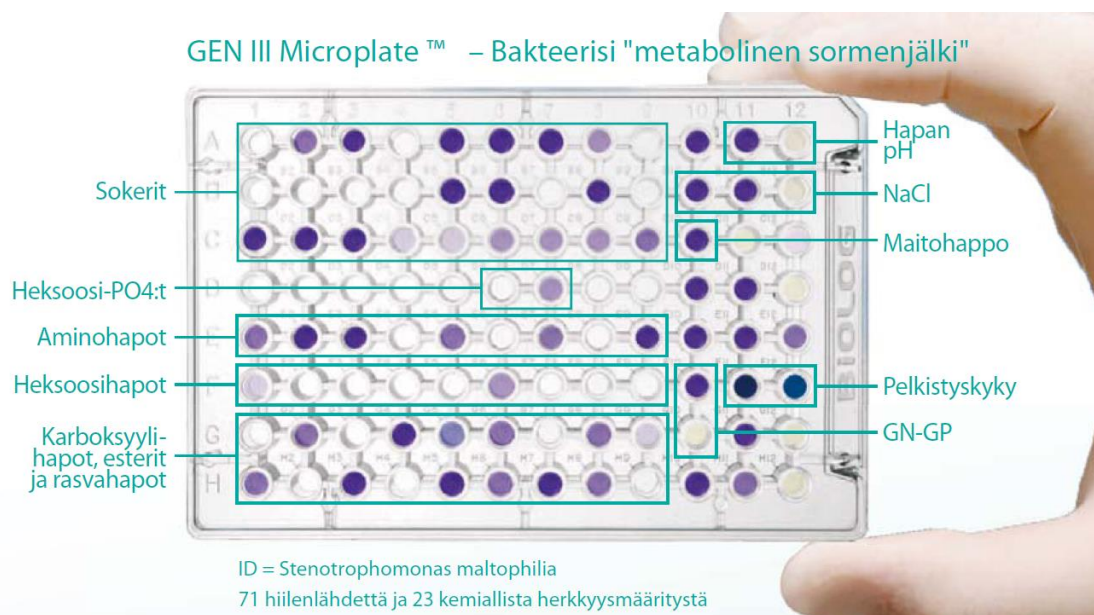
PCR-analyysiin perustuvia menetelmiä yksinään ei voida vielä käyttää sisäilman terveydensuojelulain määrittämän terveystaitan toteamiseen, koska menetelmät ovat vielä validointivaiheessa eikä hyväksytyjä yhdenmukaistettuja tulkintaohjeita vielä ole. [3, s. 174; 19, s. 26] PCR-menetelmiä ja sen sovelluksia voidaan kuitenkin käyttää mikrobien tunnistamiseen ja korjaustoimenpiteiden seuraamiseen, kun näytteet kerätään ennen ja jälkeen korjauksen samasta paikasta samoilla menetelmillä. PCR-menetelmä yhdistettynä viljelymenetelmiin olisi tällä hetkellä tehokkaampi tapa analysoida sisäilman mikrobeja. Tällä tavalla menetellessä saataisiin kerättyä tarvittavat tausta-aineistot sekä määritettyä menetelmien spesifisyys. [3, s. 174]

4.4 OmniLog (Biolog)

MicroStation™ ID System ja OmniLog® ID System (Biolog) ovat mikrobien identifiointilaitteistot aerobisille ja anaerobisille bakteereille, hiivoille ja homeille. Menetelmä perustuu mikrobien aineenvaihdunnan hapetusreaktioiden aiheuttamien väri- ja kasvun sameusreaktion mittaamiseen. [24; 25]

Bakteerien identifioinnissa käytetään 96 kuopan GEN III MicroPlate-levyjä, joissa jokaisen kuopan on pohjalla kuivattu väriaineeseen sekoitettu hiilenlähde eli substraatti. Homesienille on käytössä FF MicroPlate, jossa väriaineena on puna-oranssiksi pelkistyvä INT-violetti (Iodo-Nitro-Tetrazolium). [24]

Menetelmässä valmistetaan puhtasviljelmästä ympäi Inoculation Fluid -nesteeseen, jonka tiheys mitataan turbidimetrisesti. Valmis ympäi pipetoidaan GEN III MicroPlate-kuoppalevyille, joka inkuboinnin jälkeen analysoidaan INT-violetin värimuutos ja nesteen tiheys (sameus) aallonpituuksilla 490 nm ja 750 nm manuaalisesti MicroStation™ ID System - tai automaattisesti OmniLog® ID System -laitteistolla, joissa on mikrobien tunnistusohjelma (esimerkiksi OmniLog® DataCollection). [24] Kuvassa 4 havainnollistetaan GEN III MicroPlate-levyllä tapahtuvia värireaktioita, joihin tunnistus perustuu.



Kuva 4. Biolog-tulosten tulkinta [25]

GEN III MicroPlate -kuoppalevyanalyysi antaa luotettavan tuloksen vain puhtaista viljelmistä ja tunnistaa vain tietokannassa olevien lajien jäseniä. Tietokannan ulkopuolelle jäävät ja epätyypilliset kannat ohjelma raportoii tunnistamattomiksi. Lopullinen tunnistus tehdään kirjaston avulla, joka sisältää makroskooppiset ja mikroskooppiset kuvat eri homesienistä. [26, s. 7]

4.5 Immunologiset testit

Sisäilmaongelmiin ja homeallergiaan liittyvät usein vasta-aineet IgE ja IgG, joista IgG-vasta-ainemääriä käytetään mikrobialtistuksen määrittämiseen ja IgE-vasta-aineita herkistymistä homesienisuvun tietyille lajille. IgG-vasta-aineen kliininen merkitys on vielä epäselvä eikä sitä suositella käytettäväksi yksilön terveydentilan tai rakennuksen korjaustoimien onnistumisen arvioimiseen. [3, s. 152-153; 27, s. 659]

Seerumin IgE-vasta-aineiden analyysinä on käytetty IgE-välitteisen allergian määrittämiseen sekä herkistymisen osoittamiseksi. Herkkänä menetelmänä positiivinen tulos voi tulla mikrobispesifisessä testissä, vaikka kokonais-IgE-pitoisuus olisi normaali. [3, s. 153; 28; 29; 30, s. 22]

Tunnetuimmat ovat ehkä prick- ja intrakutaanitestit, jotka suoritetaan iholle. Prick-testi suoritetaan laittamalla pisara allergeenia (esim. homeuutetta) iholle, usein kyynärvarren sisäpinta, ja ihoon tehdään pieni haava lansetilla, jolloin allergeeni pääsee kosketuksiin kehon omien vasta-aineiden kanssa. Reaktiosta voidaan arvioida tuottaako elimistö histamiinia ja näin herkkyys saada oireita kyseisestä mikrobista. Intrakutaanitestissä allergeeni injektoidaan ihon alle, mutta periaate on muuten sama kuin prick-testissä. [31; 32] Taulukossa 5 on koottu homealtistuksessa käytettävät testit.

Taulukko 5. Homealtistuksessa suoritettavat vasta-ainetutkimukset

Testit	
Ihotestit	Prick- ja intrakutaanitestit
Vasta-ainetestit	mikrobispesifiset IgE- ja IgG-vasta-aineet seerumista
ELISA	Enzyme-linked Immunosorbent Assay

Vasta-ainemäärissä on yksilövaihteluja, eikä tutkimuksissa saada välttämättä yksiselitteisiä tuloksia altistuksesta huolimatta. Yksilöiden herkkyys reagoida homeisiin ja mikrobin aineenvaihdutatuotteisiin vaihtelevat tapauskohtaisesti. Mikäli rakennustutkimuksissa todetaan kosteusvaurioindikaattorimikrobeja ja henkilöt oireilevat, voidaan aloittaa tutkimukset prick-testeillä sekä määrittää IgE-luokan homevasta-aineet. IgG sopii mikrobeille altistumisen indikaattoriksi. [10, s. 6-8; 28; 29]

5 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sisäilmassa

Sisäilmassa on useita haihtuvia orgaanisia yhdisteistä eli VOC-aineita, joita muodostuu rakenteiden materiaaleista ja käyttäjistä. Taulukossa 6 on esitetty yleisimmät sisäilman VOC-lähteet ja niistä muodostuvat yhdisteet.

Taulukko 6. Sisäilman VOC-yhdisteitä ja niiden lähteet [33]

Mahdolliset lähteet	VOC-yhdiste
Hygieniatuotteet, kuten deodorantti	D5 (dekametyylisyklo-pentasiloksaani)
Polyuretaani- ja polystyreenivaaho	mono- ja diklooribentseeni
Liimat	Klooratut ja alifaattiset hiilivedyt
Kiillotusaineet	Limoneeni ja pineeni
PVC-matot	2-metyylipropanihapon 1-(1,1-dimetyylietyyli)-2-metyyli-1,3-propanidiyyliesteri
Kosmetiikkatuotteet	Asetoni
Alkoholit (etanoli, isopropanoli)	Puhdistusaineet

Useimmat sisäilmaan pääsevistä VOC-päästöistä ovat lyhytaikaisia eivätkä näin ollen vaikuta sisäilman laatuun. Usein tehostamalla ilmanvaihtoa, saadaan suurin osa poistettua sisäilmasta ja näin pidettyä sisäilman laatu hyvänä. Sisäilmaongelmia aiheuttavat pitkäaikaiset VOC-päästöt, joita voivat olla huonolaatuinen PVC-matto, joka hajotessa alkaa muodostaa pehmitinaineita sisäilmaan. [3, s. 137; 33]

Myös mikrobit tuottavat kosteusvaurioiden yhteydessä aineenvaihdutatuotteinaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita kutsutaan MVOC-yhdisteiksi. MVOC-aineita tuottavat homesienet ja streptomykeetit, joiden läsnäolon usein huomaakin maakellarimaisesta hajusta, jota aiheuttaa geosmiini-niminen yhdiste. Geosmiimia on maaperässä ja useimmissa juureksissa, joka saa aikaan mullassa maan hajun. Muita mikrobien tuottamia aineita ovat borneoli (2-metyyli-isoborneoli), oktenoli (1-okten-3-oli) ja 3-oktanoli. [5, s. 14; 9, s. 53, 56; 13, s. 19, 36]

VOC-aineet ärsyttävät suurina pitoisuuksina limakalvoja ja aiheuttavat hengitysoireita. Joissain kosteusvauriorakennustapauksissa henkilöillä on tullut oireita ilman allergiaa ja tällöin on epäilty että MVOC-aineet olisivat olleet oireiden syynä. Sisäilman kokonais-VOC-ainepitoisuudesta MVOC-aineet käsittävät vain pienen osan, joten varmaa yhteyttä ei ole kyetty osoittamaan. Kosteusvaurioindikaattoreina MVOC-aineita ei vielä kyetä käyttämään, koska MVOC-aineiden varmaa alkuperää ei kyetä osoittamaan muiden VOC-aineiden kanssa jakamien samankaltaisuuksien vuoksi. MVOC-aineet ovat periaatteessa samoja kuin kemikaaleista lähtöisin olevat ketonit, aldehydit ja alkoholit. [5, s. 29; 9, s. 53; 13, s. 19]

Sisäilmassa esiintyvien satojen orgaanisten kaasumaisten yhdisteiden kiehumispisteet vaikuttavat yhdisteiden haihtuvuuteen. Alhaisemman kiehumispisteen omaavat kemikaalit kaasuuntuvat nopeammin materiaaleilta ja aineista. [3, s. 137] VOC-aineet jaetaan neljään ryhmään kiehumispisteen perusteella [3, s. 136]:

- VVOC = erittäin haihtuvat yhdisteet, kiehumispiste $>0\text{--}50\text{--}100$ °C, esim. formaldehydi ja pentaani
- VOC = haihtuvat yhdisteet, kiehumispiste $50\text{--}100\text{--}240\text{--}260$ °C, esim. styreeni, tolueni, ksyleeni
- SVOC = puolihaihtuvat yhdisteet, kiehumispiste $240\text{--}260\text{--}380\text{--}400$ °C, esim. PAH-yhdisteet
- POM = partikkeleihin sitoutuneet yhdisteet, kiehumispiste >380 °C, esim. pestisidit eli torjunta-aineet. [3, s. 136; 33]

Sisäilman kaikkia VOC-aineiden kokonaismäärää kutsutaan TVOC-aineiksi, joka usein analysoidaan yksittäisten VOC-aineiden sijaan. Sisäilma-analyseissa käytettävä TVOC-mittaus on usein epätarkka eikä tulosta näin ollen voida käyttää yksistään terveyshaitan arvioinnissa. TVOC-analyysiä voidaan kuitenkin käyttää yksittäisten VOC-aineiden tutkimustarpeen arvioimiseen. [3, s. 136] TVOC-aineille on määritetty arvoja, joissa altistuneille henkilöille alkaa ilmaantua oireita [27]:

- < 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Ei oireilua
- 200...3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Oireilua voi esiintyä
- > 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Epämiellyttävä olo
- > 25000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Myrkytysoireita

Sisäilman TVOC-pitoisuus on Asumisterveysoppaan mukaan yleensä 200-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mutta esimerkiksi 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ indikoi kohonnutta TVOC-pitoisuutta, jolloin yksittäisten VOC-aineiden analysointi olisi suositeltavaa. [3, s. 136] Toisin kuin sisäilman mikrobien vaikutukset, VOC-aineet vaikuttavat altistumisajan ja lähteen poistamisen jälkeen oireet häviävät [33].

6 Sisäilman hiukkaset

Sisäilmassa on sekä orgaanisia että epäorgaanisia hiukkasia, jotka jaotellaan kokonsa puolesta kokonaisleijumaan (TSP), hengitettäviin hiukkasiin (PM_{10}) ja pienhiukkasiin ($\text{PM}_{2,5}$) [3, s. 139].

Kokonaisleijuma käsittää kaikki ilmassa leijuvat ja massaltaan suuret hiukkaset, joita syntyy ihmisten toiminnasta ja liikenteestä, katupölystä sekä luonnosta, ja joista raskaimmat laskeutuvat sisätiloissa pinnoille [3, s. 139; 5, s. 29]. Terveydellinen merkitys TSP-hiukkaisille muodostuu niiden sisältämisestä epäorgaanisista aineista, kuten mineraalivillakuiduista, ja orgaanisista epäpuhtauksista (homeitiöt, bakteerit ja virukset). Ihokosketuksessa TSP-hiukkaset saattavat aiheuttaa ärsytysoireita tai hengitettynä kuormittavat hengitysteiden limakalvoja ja silmiä. [3, s. 139; 34]

Hengitettävät hiukkaset ovat halkaisijaltaan $>10\ \mu\text{m}$ ja pienhiukkaset $>2,5\ \mu\text{m}$. Näitä muodostuu muun muassa ulkoilmassa palamisreaktioista, liikenteestä ja teollisuuden päästöjen kaukokulkeutumasta. Sisälähteinä toimivat ruoanlaitto sekä ihmisistä ja huonekaluista irtoava huonepöly. PM_{10} - ja $\text{PM}_{2,5}$ -hiukkaset ovat vaarallisimpia, sillä pienen kokonsa vuoksi ne pääsevät tunkeutumaan syvälle hengityselimiin asti ja ne sisältävät usein karsinogeenisia polysyklisiä aromaattisia yhdisteitä (PAH). [3, s. 139; 27] Sisäilmastoluokitus 2000:ssa näille on määritetty enimmäispitoisuudeksi $20\text{--}50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ [33]. Näiden hiukkasten on todettu lisäävän oireita lapsilla ja astmaatikoilla, sekä aiheuttavan sairaalaanottoja ja kuolemia hengitys- ja sydänsairaiden keskuudessa. [3, s. 139] Toisaalta vain osa ilmaan nousevasta pölystä on hengitettävää kokoa [13, s. 25].

Sisäilman hiukkasiin lukeutuu luonnollisesti myös homesienten ja aktinomykeettien itiöt ja fragmentit, joiden koot ovat väliltä $1\text{--}120\ \mu\text{m}$ [28]. Itiöt, joiden koko on $> 5\ \mu\text{m}$, pysähtyvät ylähengitysteissä aiheuttaen nuha- ja astmaoireita ja $< 5\ \mu\text{m}$:n kokoiset itiöt pääsevät pienimpiin keuhkorakkuloihin ja voivat aiheuttaa mm. homepölykeuhkon. [4, s. 124; 27] Kosteusvaurioiden yhteydessä tavattujen homesienien hiukkaskoot ovat olleet $1,1\text{--}4,7\ \mu\text{m}$ väliltä [13, s. 20]. Suomessa tehdyissä tutkimuksissa sisäilmassa leijuvista homesienihiukkasista 70–95 % todettiin olevan hengitettävän kokoisia ($<4,7\ \mu\text{m}$), suurin osa olivat halkaisijaltaan $2,1\text{--}3,3\ \mu\text{m}$ [13, s. 42].

Vielä ei ole kyetty määrittämään pitoisuusrajaa, jonka alapuolella ei herkistyneille tulisi oireita. Kokonaisleijumalle ja hengitettäville hiukkasille on määritelty Asumisterveysoppaassa enimmäispitoisuudet [3, s. 140]:

- Kokonaisleijuma (TSP) max $120\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 h ka, $20\ ^\circ\text{C}$, 1 atm)
- Hengitettävät hiukkaset (PM_{10}) max $70\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 h ka, $20\ ^\circ\text{C}$, 1 atm)

Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$) ei toistaiseksi ole määritettyä enimmäispitoisuutta. Hengittävien hiukkasten ja pienhiukkasten ollessa vaarallisimpia, tulee sisäilmamäärityksissä keskittyä niiden pitoisuuden mittaamiseen. [3, s. 140]

Menetelmät ja materiaalit

7 Mittauspisteiden kartoitus

Käytännön työ aloitettiin baseline-tutkimuksella, jossa näytteenkeräyskohteet määritettiin tutustumalla tiloihin ja haastatteleamalla henkilökuntaa. Sisäilma- ja pintasivelynäytteidenotto otettiin tiloista, joissa oli ollut vesivaurioita sekä henkilöiden oireilua. VOC-mittaukset kohdennettiin tiloihin, joissa huomattiin hajuhaittoja. Kartoituksessa ilmenneet asiat kirjattiin liitteiden 1 ja 2 taulukoihin. [35]

Sisäilma- ja pintanäytteitä kerättiin kaksi kertaa kahden viikon välein luotettavan mikrobien pitoisuusjakauman saamiseksi ja vertailun vuoksi [3, s. 158; 5, s. 17-18].

7.1 Myyrmäki

Myyrmäen toimipisteessä tilat on jaettu A- ja B-puoliin. Koulutusohjelmat ovat jaoteltu rakennuksen puolien mukaisesti, A-puolella on kemian-, mikrobiologian ym. laboratoriot ja B-puoli painottuu enemmän tietokonehuoneisiin ja projektitiloihin.

Myyräessä ovat seuraavat koulutusohjelmat, joissa todennäköisesti käytetään sisäilmaan vaikuttavia kemikaaleja:

- Bio- ja elintarviketekniikka
- Kemiantekniikka
- Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
- Environmental Engineering

Koulun tiloissa on myös tavattu useita kosteusvaurioita ja samanaikaisesti sisäilman kuivuutta. Työntekijöillä on haastattelujen perusteella hengitystieongelmia mm. yskää sekä kurkunpään- ja poskiontelontulehduksia.

Laboratorioissa on ollut kosteus- ja sisäilmaongelmia, mutta työterveyteen nähden kriittisimmät mittauspisteet olivat toimistotilat, joiden käyttäjillä on esiintynyt hengitystieinfektioita ja pitkäaikaista yskää. Taulukossa 7 on listattu Myyrmäen toimipisteen tilojen näytteenkeräyspisteet sekä mitä näytteitä tiloista kerättiin.

Taulukko 7. Myyrmäen toimipisteen näytteenkeräyskohteet

Huone/Tila	Näytteenkeräys	Huone/Tila	Näytteenkeräys
B324	Mikrobit	A109.2	TVOC ja mikrobit
B320	Mikrobit	B115	Mikrobit
A146	TVOC ja mikrobit	A201	Mikrobit
Kirjastotyöhuone	Mikrobit	A238	TVOC ja mikrobit
A119	Mikrobit	A127	TVOC
A135	TVOC ja mikrobit	A136	TVOC
A142	TVOC ja mikrobit		

7.2 Leppävaara

Leppävaarassa, kuten Myyrmäessäkin, koulun tiloja on laajennettu ja osa ulkorakenteista muutettu sisärakenteiksi. Mittauspisteet valikoitiin potentiaalisista ongelmakohteista, joilla koettiin olevan suurin vaikutus sisäilman laatuun. Taulukkoon 8 on listattu Leppävaaran toimipisteen näytteenkeräyskohteet.

Opinto-ohjelmista merkittävin hiukkaslähde oli mediatekniikka, johon liittyy painotalo ja paperilaboratorio. Mittauspisteeksi valittiin painolaboratorio, johon oli sijoitettu oleskelutila sohvineen ja televisioineen. Mittausajankohta pyrittiin sijoittamaan aktiivisen käyttöajan paikkeille mahdollisimman realistisen tuloksen saamiseksi. Liikuntasalissa oli varastotila, jossa porraskoriste näkyy osana kattoa. Porraskoristeeseen oli kehittynyt näkyvä kosteusvaurio, joka näkyi maalin hilseilynä ja seinärakenteen halkeamana. Liikuntasalin seinässä oli maalinalainen kosteusvaurio ja suihkutiloissa oli näkyvää leväkasvustoa. Kattorakenteissa sijaitsevilla ilmastointijärjestelmissä oli merkkejä kosteudesta, mikä näkyi ruosteena ja valkoisena sakkana.

Taulukko 8. Leppävaaran toimipisteen näytteenkeräyskohteet

Huone/Tila	Näytteenkeräys
1.230 Auditorio	Mikrobit
1.122	Mikrobit
1.119 (ATK-tila käytävällä)	Mikrobit
Urheiluhalli	TVOC ja mikrobit
Pukuhuone	Mikrobit
0.155 (HelpDesk)	TVOC ja mikrobit
1.180 (Painolaboratorio)	TVOC ja mikrobit
Iv-tila	TVOC ja mikrobit

8 Mikrobiologiset määritykset

Sisäilman mikrobit määritettiin sisäilmasta ja pinnoilta Asumisterveysoppaan ohjeistuksen mukaisesti. Sisäilmanäytteet otettiin tiloista, joissa työskenteli oireilevaa henkilöstöä ja pintasivelynäytteet otettiin paikoista, joissa oli selviä kosteusvaurion merkkejä kuten valumajälkiä, ruostetta tai maalin hilseilyä. Näytteitä kasvatettiin 25 °C:ssa 7-14 vuorokautta valituilla kasvatusalustoilla [3, s. 158; 9, s. 90; 13, s. 31]:

- Yleisalusta homesienille: 2 % mallasagar (MA2)
 - Mallasuute MC023 Lab M
 - Agar no2 Bacteriological MV006 Lab M
- Kuivemmissä oloissa viihtyville homesienille: dikloran-glyseroli-18-agar (DG18), tällä kasvavat esimerkiksi *Wallemia*- ja *Eurotium*-homeet [5, s. 27]
 - Dikloraaniglyseroli (DG-18) agar-alusta Acumedia
 - Glyseroli Code: G/0650/17 Fischer Chemicals
- Yleisalusta bakteereille ja aktinomykeeteille: tryptoni-hiivauute-glukoosiagar (THG)
 - Tryptoni MC005 Lab M
 - Hiivauute MC001 Lab M
 - Dekstroosi MC013 Lab M
 - Agar no2 Bacteriological MV006 Lab M

Kosteusvauriotutkimuksissa yleisenä käytäntönä on käyttää vähintään kahta eri kasvatusalustaa määrittämään homesienien ja bakteerien pitoisuus. Tässä työssä käytettiin homesienille kahta erillaista kasvatusalustaa, joista mallasuuteagar suosii kosteammassa ja DG-18 kuivemmissä elinolosuhteissa eläviä homesieniä. Asumisterveysopas suosittelee kasvualustaksi mallasuuteagaria, jolla useimmat sisäilman homesienet kasvavat. Kahta homesienialustaa käyttämällä tavoiteltiin laajempaa käsitystä sisäilman homesienistä. Bakteereille soveltuu tavallinen ravinneagar, joista THG-alusta on yleisimmin käytetty. [3, s. 154; 9, s. 90-91]

8.1 Sisäilmanäytteet

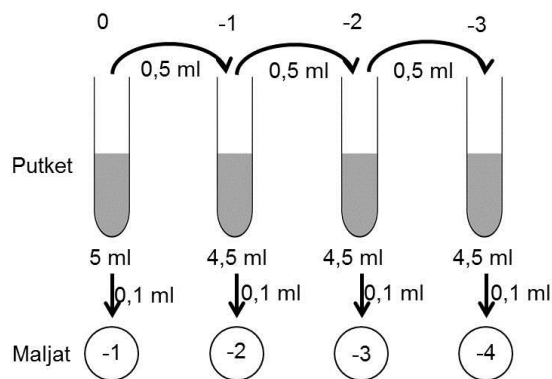
Sisäilmanäytteet kerättiin yksivaiheimpaktorilla eli Andersen-keräimellä (400 reikäinen, Biostage Impactor, SKC Inc.), johon kasvatusalusta aseteltiin ja ilmapumpulla (High Volume Sampling pump, SKC BioLite) imettiin ilmaa maljalle. Impaktorin tilavuusvirta oli 24,3 l/min ja näytteenottoaika 10 min. Näytteenkeräys suoritettiin kaikille kolmelle maljalle mahdollisimman keskellä huonetta 70 %:sella etanoliliuoksella puhtaaksi pyyhityllä pöydällä. Olosuhteet näytteenkeräyksen aikana kirjattiin samalla kerralla näytteenottolomakkeeseen (liite 7). [3, s. 155, 158–159]

Näytteitä inkuboitiin 7 vuorokautta +25 °C:ssa, minkä jälkeen laskettiin homesienien ja bakteerien pesäkkeiden lukumäärät. Bakteerimaljojen inkubointia jatkettiin vielä 7 vuorokautta +25 °C:ssa, jonka jälkeen laskettiin aktinomykeettipesäkkeiden lukumäärä. Lopullinen tulos korjattiin korjaustaulukolla (liite 8), jolloin otettiin huomioon, että impaktorin reiästä olisi kulkeutunut useampi kuin yksi hiukkanen. [3, s. 165]

Tulokset ilmoitettiin pesäkkeen muodostavaa yksikköä kuutiometriä kohden (pmy/m^3 tai cfu/m^3), koska usein alustalla kasvaa useammasta kuin yhdestä mikrobista tai itiöstä muodostuneet pesäkkeet. Pesäkkeet voivat olla lähtöisin yksittäisistä tai toisiinsa takertuneista mikrobeista tai itiöistä, sienirihmaston palasesta tai kantajahiukkasessa tulleista mikrobeista. [9, s. 91-92] Tässä työssä mikrotulokset analysoitiin pääasiallisesti kvantitatiivisesti ja homesienien identifiointia ei suoritettu sen vaativuuden takia.

8.2 Pintasivelynäytteet

Näytteet otettiin laimennusliuokseen (liite 5) kostutetulla steriilillä pumpulipuikolla mittakehyksen avulla 10 cm x 10 cm kokoiselta alueelta. Vertailunäyte otettiin kontaminaation välttämiseksi ensimmäiseksi mahdollisimman kaukana olevalta samankaltaiselta vaurioitumattomalta pinnalta, jolloin vaurioituneelle pinnalle saatiin mikrobien taustapitoisuus. Näytteet säilyivät suojakotelossa pumpulipuikossa kuljetuksen ajan. [3, s. 156]



Kuva 5. Laimennossarjan valmistus [3, s. 160]

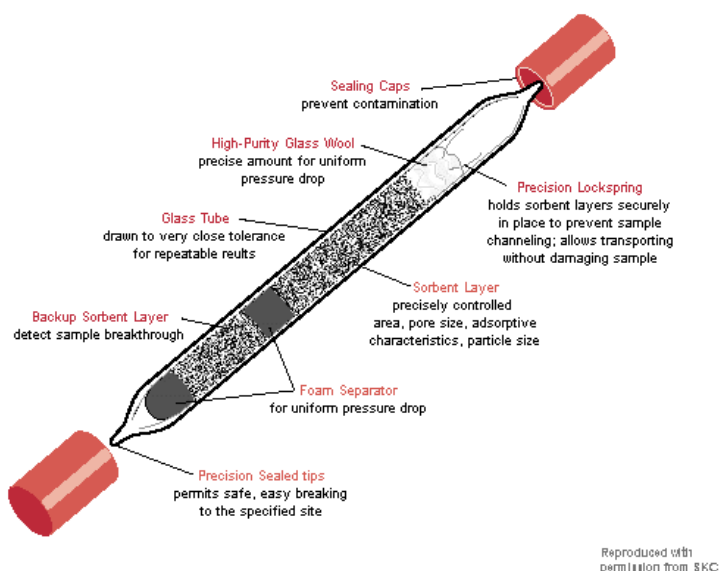
Aseptisesti näytelaimennossarjan 10^0 -laimennos valmistettiin katkaisemalla pumpulipuikko putkeen, jossa oli 5 ml laimennosliuosta ja vorteksoitiin kunnolla. 10^0 liuoksesta valmistettiin laimennossarja 10^{-1} – 10^{-3} kuvan 5 mukaisesti. Jokaisesta laimennoksesta pipetoitiin kaikille kolmelle kasvatusalustalle 100 μ l rinnakkaisina pintalevitysmenetelmällä. [3, s. 160]

9 Sisäilman kemialliset analyysit

9.1 TVOC-näytteen keräys ja käsittely

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet määritettiin sisäilmasta soveltamalla NIOSH-ohjetta (HYDROCARBON, BP 36–216 °C: METHOD 1500) [29], jota oltiin käytetty aikaisemmin samankaltaisessa Metropolian opiskelijan sisäilmanäytteenotossa. METHOD 1500 –ohjetta käsitellään näytteenottoa ja mittausparametrejä. Asumisterveysopasta ja sen suosittelemaa standardia ISO 16017-2:2003 käytettiin teorian osalta. [3, s. 137]

Näytteenkeräys tehtiin Casella SP15 -ilmapumpulla (Labtronic Oy), johon absorbenttiputki asetettiin. Absorbenttiputkena käytettiin Solid sorbent tube (SKC), jonka sisältämiin hiilipartikkeleihin kaasumainen näyte imeytyi ja tarttui kiinni (kuva 6). Absorbenttiputken päät katkaistiin esimerkiksi pinseteillä asettamalla putken pää pinsettien väliin ja vääntämällä napakasti. Ilmapumpun näytteenottonopeus oli 190 ml/min ja 50 min näytteenkeräysajalla näytettä kerättiin 9,5 litraa. Näytteenkeräyksen jälkeen absorbenttiputkiin aseteltiin tulpat, jotta niihin ei menisi kuljetuksen aikana ilmaa ja jotta kerätty näyte ei haihtuisi pois.



Kuva 6. Absorbenttiputki TVOC-mittauksia varten [36]

Sisäilmasta kerätyt TVOC-aineet saatiin absorbenttiputken materiaalista desorptiolla. Laboratoriossa vetokaapissa absorbenttiputket laitettiin 3ml:n koeputkiin 15 ml:n falcon-putkissa ja lisättiin 2,5 ml:aa 0,1mg/ml bifenyylä sisältävää desorptioluosta sisäisenä standardina (ISTD). Koska bifenyylillä on korkea kiehumispiste (kp 256 °C), sen määrä pysyy vakiona ja sitä voitiin käyttää liuostilavuuden vaihteluvuudesta johtuvien virheiden korjaamiseen laskuissa. Korkitetut putket laitettiin ultraäänihauteeseen, jolla mahdollisesti nopeutettiin näytekomponenttien desorptiota rikkihiileen. Valmiit näyteliuokset pipetoitiin näytepulloihin, joissa oli insertit näytteen säästämiseksi.

9.2 VOC-näytteiden analysointi kaasukromatografi-massaspektromerillä

Näytteet analysoitiin GC-MS-laitteella (QP 2010, Shimadzu), jolla näytteen sisältämät komponentit voitiin myös tunnistaa. Hiilivetystandardina toimivat heksaani-heksadekaani, joiden kiehumispisteiden välille erottuvien yhdisteiden pinta-alat integroitiin ja tolueeniekvivalentilla laskettiin pitoisuus. Tolueeniekvivalenttia käytetään tulosten yhdenmukaistamiseksi ja vertailun helpottamiseksi, tulosta verrattiin tolueenistandardin pitoisuuteen ja laskettiin tämän perusteella TVOC-pitoisuudet [3, s. 138].

Injektoriasetukset (AOC-20i+s):

- 3 huuhtelua liuottimella (ennen ajoa)
- 5 huuhtelua liuottimella (ajon jälkeen)
- 3 huuhtelua näytteellä

Kaasukromatografiasetukset (Inj. port: SPL1 / Inj. heat port: INJ1):

- kolonniuunin lämpötila 40 °C
- Injektiolämpötila 250 °C
- Injektiotila: jakoinjektio (splitless) 1:50 jakosuhteella
- Kantokaasu He (5,6)
 - lineaarinen virtaus, nopeus 36,1 cm/s
 - paine 49,5 kPa
 - Kokonaisvirtaus 50 ml/min
 - kolonnivirtaus 1,00 ml/min

Massaspektrometriasetukset (GCMS-QP2010):

- Ionilähteen lämpötila 250 °C
- Välitilan lämpötila 290 °C
- Analyysialue 35-500 m/z

Kolonnin parametrit (ZB-5Msi, sarjanumero: 236085):

- paksuus 0,25 µm
- pituus 30,0 m
- läpimitta 0,25 mm
- Lämpötilarajat: max 360/370 °C, min -60 °C.

TVOC-mittaukset suoritettiin taulukon 9 kaasukromatografian lämpötilaohjelmalla. Näytteet injektioitiin analysaattoriin käyttäen 0,1 µl injektioilavuutta.

Taulukko 9. GC-MS -analyysin mittausparametrit

Näytteenottoaika 1,00 min		
Nopeus (ml/min)	Loppulämpötila	Pittoaika (min)
-	40	0,50
3	45	1,00
7	250	1,00
Kokonaisajoaika		33,45

Detektori käynnistettiin 2,5 min kohdalla, jolloin CS₂:n pääsy detektorille estyi ja vältettiin detektorin ylikuormittumista.

9.3 Standardien valmistus

Tolueenistandardi:

Tolueenistandardi valmistettiin käyttämättömästä absorbenttiputkesta. Absorbenttiputki katkaistiin ja tyhjennettiin 3 ml:n koeputkeen, johon pipetoitiin 1,5 ml tolueeniliuosta (0,87 mg/ml). Rikkihiilen haihduttua putkessa oli tolueenia 1,3 mg. Desorptio tehtiin samalla tavalla kuin näytteet ISTD:lla, jolloin tolueenistandardin tolueenipitoisuudeksi tuli 0,52 mg/ml.

Hiilivetystandardi ja ISTD valmistettiin liitteen 5 mukaisilla ohjeilla. Hiilivetystandardia käytettiin suoraan ilman desorptiota, koska sitä tarvittiin vain kiehumispisteiden integrointia varten.

10 Sisäilman fysikaaliset analyysit

Laboratorioanalyttikko-opiskelija Petri Jalovaara teki mittaukset kehittämissprojektinaan yliopettaja Liisa Pirjolan ohjauksessa.

Myyrmäen tiloissa suoritettiin ensin karkea seulonta seuraavilla mittalaitteilla:

- EEIpi 7 - 10 nm (pitoisuus + koko)
- DustTrak B < 2,5 μm (massapitoisuus mg/m^3)

Karkea seulonta suoritettiin tiloissa A119, B115, vahtimestarien työtila, A136, A202, B324, B222 ja automaation laboratorio. Vertailunäyte kerättiin ulkoilmasta.

Myyrmäen mittauspisteet valikoitiin tulosten perusteella tilat A119, B115, automaatiolaboratorio ja A222. Leppävaarassa näytteitä kerättiin painolaboratoriosta, sen ollessa todennäköisin hiukkaslähte. Vuorokauden kestäneet näytteenkeräykset suoritettiin seuraavilla laitteilla:

- EEIpi 7 - 10 nm (pitoisuus + koko)
- DustTrak A < 1 μm (massapitoisuus mg/m^3)
- DustTrak B < 2,5 μm (massapitoisuus mg/m^3)
- CPC 1-2,5 μm (hiukkaseen määrä/ cm^3)

Alustavissa tulostenkäsittelyissä ei ilmennyt poikkeavia eikä selkeitä hiukkaslähteitä.

11 Tulokset ja tulosten käsittely

11.1 Mikrobinäytteiden määritysrajat

Sisäilmanäytteiden ja pintasivelynäytteiden tulosten analysointiin käytetään Asumisterveysoppaan (2009) ja KTL:n Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot -oppaan (2007) tulosten analysointimenetelmiä. Taulukon 10 tulkintaperusteet sisäilmanäytteille on suunniteltu koulurakennusten näytteiden tulkintaan ja koskevat vain homesieni-itiönäytteitä.

Taulukko 10. Tulkintaperusteet talvella otetuille sisäilman homesieninäytteille (THL:n opas) [5, s. 24]

VAURIOTON RAKENNUS	VIITTAA HOMEVAURIOON
Enintään muutama yli 50 cfu/m ³	Useita 50 – 200 cfu/m ³
Mediaani alle 12 cfu/m ³	Mediaani yli 20 cfu/m ³
Useita 0 cfu/m ³	Harvoja 0 cfu/m ³

Sisäilmanäytteistä homesieni-itiöpitoisuuksia analysoidaan määritysrajan (4 cfu/m³), näytteiden suurimpien ja pienimpien pitoisuuksien sekä mediaanin - keskimmäisen pitoisuuden - perusteella [5, s. 23-24]. Näitä yhdessä aktinomykeettien pitoisuuden (>10 cfu/m³) kanssa käytetään kosteusvaurion määrittämiseen. Bakteerinäytteet ilmoitetaan pelkästään pesäkemäärinä (cfu/m³). Mikäli yhden tilan sisäilmanäytteen bakteeripitoisuus on korkea (>4500 cfu/m³) mutta aktinomykeetti- ja homesienipitoisuudet ovat matalia, viittaa tulos puutteelliseen ilmastointiin, eikä mikrobivaurioon. [3, s. 161–166, 170–171; 5, s. 23–29]

Pintasivelynäytteiden tulosten tulkintaan käytettiin Asumisterveysopasta, jossa määritysrajaksi on asetettu 2 cfu/cm². Maljoilta pesäkkeiden lukumäärä ilmoitetaan näytteenottopinta-alaa kohden cfu/cm² ja tulokset tulkittiin vertailemalla näytteiden mikrobipitoisuuksia kontrollipinnan mikrobipitoisuuksiin. [3, s. 166–167]

Pinnalla voidaan todeta esiintyvän sienikasvustoa, kun näytteen sieni-itiöpitoisuus on yli 1000 cfu/cm² ja vähintään 100 kertaa suurempi verrattaessa kontrollinäytteen pitoisuuteen. Aktinomykeettien näytteen pitoisuuden tulisi olla 10 kertaa suurempi kuin kontrollipinnan pitoisuus, jotta voidaan todeta pinnalla kasvavan aktinomykeettejä. Bakteereille ei ole Asumisterveysoppaassa annettu vauriopintapitoisuutta, mutta sitä voidaan käyttää vaurion määrittämiseen, mikäli lajisto selvitetään. [3, s. 167]

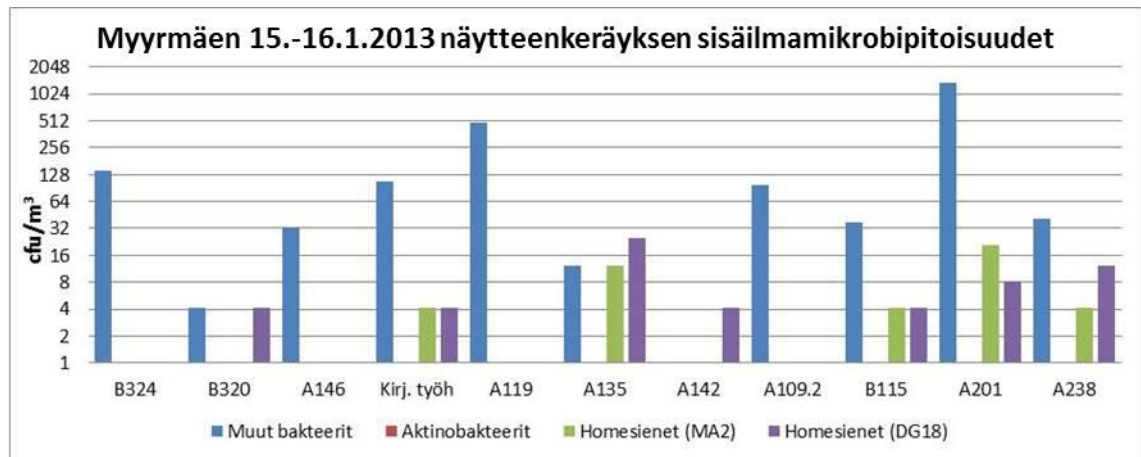
11.2 Myyrmäen sisäilmamikrobit

Myyrmäen 15.–16.1.2013 näytteenkeräys:

Myyrmäessä kerättiin sisäilmanäytteitä 11 tilasta (n=11), jotka koostuivat laboratorioista ja työhuoneista. Mikrobipitoisuudet on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Myyrmäen 15.-.16.1.2013 näytteenkeräyksen mikrobipitoisuudet

Tila	Bakteerit (cfu/m ³)	Aktinomykeetit (cfu/m ³)	Homesienet MA2 (cfu/m ³)	Homesienet DG18 (cfu/m ³)
B324	106	0	4	4
B320	63	0	4	0
A146	12	0	0	4
Kirj.TH	72	0	4	4
A119	21	0	0	4
A135	42	0	8	13
A142	8	0	4	4
A109.2	302	0	12	4
B115	441	0	4	0
A201	383	0	54	16
A238	187	0	0	0



Kuva 7. Myyrmäen ensimmäisen näytteenottokerran tulokset

Kuvasta 7 voidaan todeta, että näytteissä kasvaa bakteereita ilman aktinomykeettejä. Homesienipitoisuudet ovat matalia tai homesieniä ei kasvanut näytteissä ollenkaan. Homesienipitoisuuksia tarkasteltiin tarkemmin taulukko 10 mukaisesti.

Taulukko 12. Homepesäkemäärät suuruusjärjestyksessä tulostentulkintaa varten

Pitoisuus cfu/m ³											
MA2	21	13	4	4	4	0	0	0	0	0	
DG18	26	13	9	4	4	4	4	0	0	0	0

Mallasagarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 12):

- Suurin pitoisuus 21 cfu/m³ (alle 50 cfu/m³), kaikki muut pienempiä
- Mediaani 2 cfu/m³ (alle 20 cfu/m³)
- Nollatuloksia 0 cfu/m³ yhteensä 5 kappaletta (alle 4 cfu/m³ määräysrajan)

Mediaani oli alle 20 cfu/m³, useita nollatuloksia ja suurin pitoisuus oli 21 cfu/m³. Nämä yhdessä aktinomykeettipesäkkeiden puuttumisen kanssa viittaavat vaurioitumattomaan rakennukseen.

Dikloran-glyseroli-18-agarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 12):

- Suurin pitoisuus 26 cfu/m³, kaikki muut pienempiä
- Mediaani 4 cfu/m³ (alle 20 cfu/m³)
- Nollatuloksia 0 cfu/m³ yhteensä 4 kpl (alle 4 cfu/m³ määräysrajan)

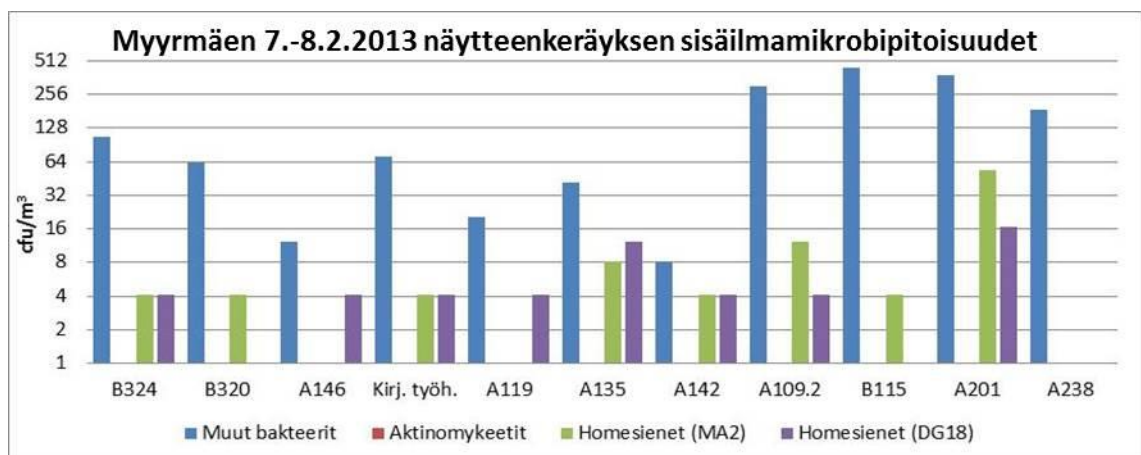
DG18-agarillakin tulos viittaa vaurioitumattomaan rakennukseen.

Myyrmäen 7.-8.2.2013 näytteenkeräys:

Toisella näytteenottokerralla (taulukko 13) tulokset olivat samankaltaiset kuin ensimmäisellä kerralla (n=11). Kasvatusalustoilla kasvoi bakteereita ilman aktinomykeettejä ja homesienipitoisuudet olivat matalat.

Taulukko 13. Myyrmäen toisen näytteenottokerran mikrobipitoisuudet kasvatusalustoilla

Tila	Bakteerit (cfu/m ³)	Aktinomykeetit (cfu/m ³)	Homesienet MA2 (cfu/m ³)	Homesienet DG18 (cfu/m ³)
B324	142	0	0	0
B320	4	0	0	4
A146	33	0		0
Kirj.Th	106	0	4	4
A119	490	0	0	0
A135	12	0	12	25
A142	0	0	0	4
A109.2	98	0	0	0
B115	37	0	4	4
A201	1351	0	21	8
A238	42	0	4	12



Kuva 8. Myyrmäen toisen näytteenottokerran tulokset

Kuvasta 8 voidaan todeta, että homesienipitoisuudet ovat matalia, vaikka niitä kasvoi useammassa näytteessä ensimmäiseen näytteenottoon verrattuna. Näytteissä kasvaa bakteereita, mutta ei yhtään tunnistettua aktinomykeettejä.

Taulukko 14. Homepesäkemäärät suuruusjärjestyksessä tulostentulkintaa varten

Pitoisuus cfu/m ³											
MA2	54	12	8	4	4	4	4	4	0	0	0
DG18	16	13	4	4	4	4	4	4	0	0	0

MA2-agarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 14):

- Suurin pitoisuus 54 cfu/m³ (yli 50 cfu/m³), kaikki muut pienempiä (alle 50 cfu/m³)
- Mediaani 4 cfu/m³ (alle 20 cfu/m³)
- Nollatuloksia 0 cfu/m³ 3 kappaletta (alle 4 cfu/m³ määrittäysrajan)

Mediaani on alle 20 cfu/m³, useita nollatuloksia ja suurin pitoisuus oli 54 cfu/m³. Vaikka yhdessä näytteessä pitoisuus ylittääkin homevauriorakennukselle asetetun pitoisuusrajan (50 cfu/m³), useat nollatulokset, matala mediaani ja aktinomykeettien puuttuminen viittaavat kokonaisuudessaan vaurioitumattomaan rakennukseen.

DG18-agarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 14):

- Suurin pitoisuus 16 cfu/m³, kaikki muut pienempiä (alle 50 cfu/m³)
- Mediaani 4 cfu/m³ (alle 20 cfu/m³)
- Nollatuloksia 0 cfu/m³ 3 kappaletta (alle 4 cfu/m³ määrittäysrajan)

Tulokset ovat selkeästi homevauriottomaan rakennukseen viittaavia kummallakin näytteenkeräyskerralla.

Verrattaessa mikrobien pitoisuuksia eri näytteenottokerroilta (liite 3) voidaan todeta, että pitoisuudet eivät eroa merkittävästi toisistaan. Bakteeripitoisuudet pysyivät samanlaisina, eivätkä ne nousseet yhdessäkään näytteessä yli 4500 cfu/m³, eikä tiloissa tavattu aktinomykeettejä. Homesienipitoisuudet pysyivät matalina tai homesieniä ei kasvanut ollenkaan.

11.3 Myyrmäen pintasivelynäytteet

Pintasivelynäytteitä kerättiin neljältä pinnalta (n=4), jotka valittiin kosteuden muodostamien muutosten vuoksi, joita kuvaillaan tarkemmin liitteessä yksi.

Pintasivelynäytteissä kasvoi vain bakteereita ja kontrolleilla ei kasvua havaittu lainkaan. Taulukkoon 15 on koottu pintanäytteiden bakteeripitoisuudet eri pinnoilta.

Taulukko 15. Myyrmäen pintasivelynäytteiden bakteeripitoisuudet

Näyte	Pitoisuus (cfu/cm²)
Tulostinseinä (näyte)	158
Tulostinseinä (kontrolli)	0
Automaatilaboratorion seinä (näyte)	3
Automaatilaboratorion seinä (kontrolli)	3

Homesieniä ja aktinomykettejä ei kasvanut ollenkaan, jolloin niiden pitoisuudet ovat alle määrittäysrajan (2 cfu/m³). Pinnoilla ei ollut näillä näytteenottomenetelmin havaittavia homevauriosta indikoivia pitoisuuksia homesieniä tai aktinomykettejä. Vauriot tulisi korjata mahdollisen mikrobivaurion ehkäisemiseksi ja tulostinseinän pinta puhdistaa bakteerien poistamiseksi.

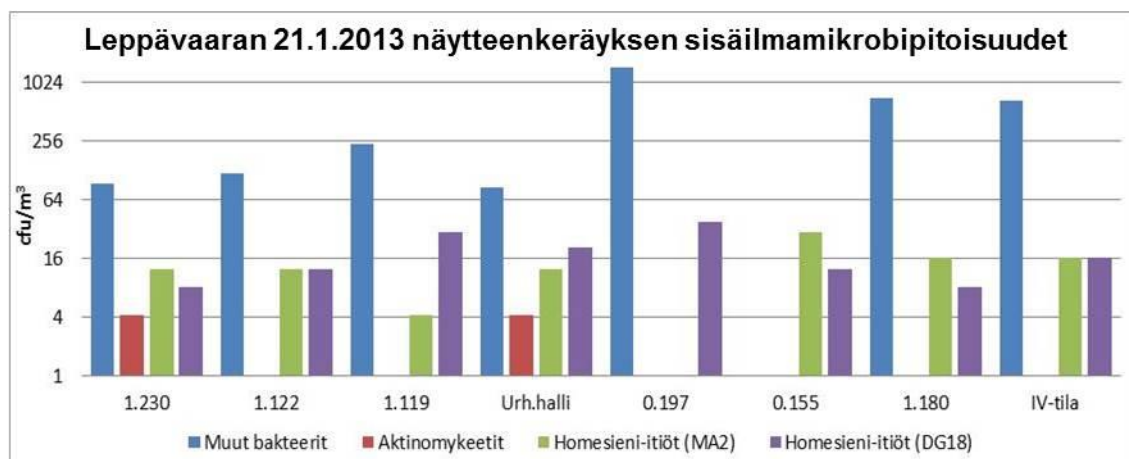
11.4 Leppävaaran sisäilmamikrobit

Leppävaaran 21.1.2013 näytteenkeräys:

Mikrobinäytteitä kerättiin 8 tilasta (n=8), joihin lukeutui liikuntasali, IV-tila, laboratorio ja työhuoneita. Taulukkoon 16 on koottu Leppävaaran ensimmäisen näytteenkeräyksen mikrobipitoisuudet.

Taulukko 16. Leppävaaran ensimmäinen näytteenottokerran mikrobipitoisuudet eri maljoilla

Tila	Bakteerit (cfu/m ³)	Aktinomykeetit (cfu/m ³)	Homesienet MA2 (cfu/m ³)	Homesienet DG18 (cfu/m ³)
1.230	93	4	12	8
1.122	119	0	12	12
1.119	239	0	4	29
Urh.halli	84	4	12	21
0.197	1438	0	0	37
0.155	0	0	29	12
1.180	703	0	16	8
IV-tila	653	0	16	16



Kuva 9. Leppävaaran ensimmäisen näytteenottokerran tulokset

Kuvasta 9 voidaan todeta, että tiloissa esiintyy bakteereita mutta vain kahden tilan näytteissä kasvoi aktinomykeettejä. Aktinomykeettipitoisuudet jäivät kuitenkin alle määrittäysrajan (10 cfu/m^3). Homesieniä kasvaa kaikkien tilojen näytteissä mutta pitoisuudet ovat matalia.

Taulukko 17. Homepesäkemäärät suuruusjärjestyksessä tulostentulkintaa varten

Pitoisuus cfu/m^3								
MA2	29	16	16	12	12	12	4	0
DG18	37	29	21	16	12	12	8	8

Mallasagarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 17):

- Suurin pitoisuus 29 cfu/m^3 , (alle 50 cfu/m^3)
- Mediaani 12 cfu/m^3 (alle 20 cfu/m^3)
- Yksi nollatulokset 0 cfu/m^3 (alle 4 cfu/m^3 määrittäysrajan)

Tulosten mediaani on alle 20 cfu/m^3 , yksi nollatulokset ja suurin pitoisuus on selkeästi alle 50 cfu/m^3 . Aktinomykeettejä kasvaa vain kahden tilan näytteissä ja näiden pitoisuudet olivat alle 10 cfu/m^3 (tämän ylittävät pitoisuudet viittaavat kosteusvaurioon). Tulokset viittaavat homevauriottomaan rakennukseen.

Dikloran-glyseroli-18-agarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 17):

- Suurin pitoisuus 37 cfu/m^3 , kaikki muut ovat pienempiä
- Mediaani 14 cfu/m^3 (alle 20 cfu/m^3)
- Pienin pitoisuus on 8 cfu/m^3 (ylittää 4 cfu/m^3 määrittäysrajan)

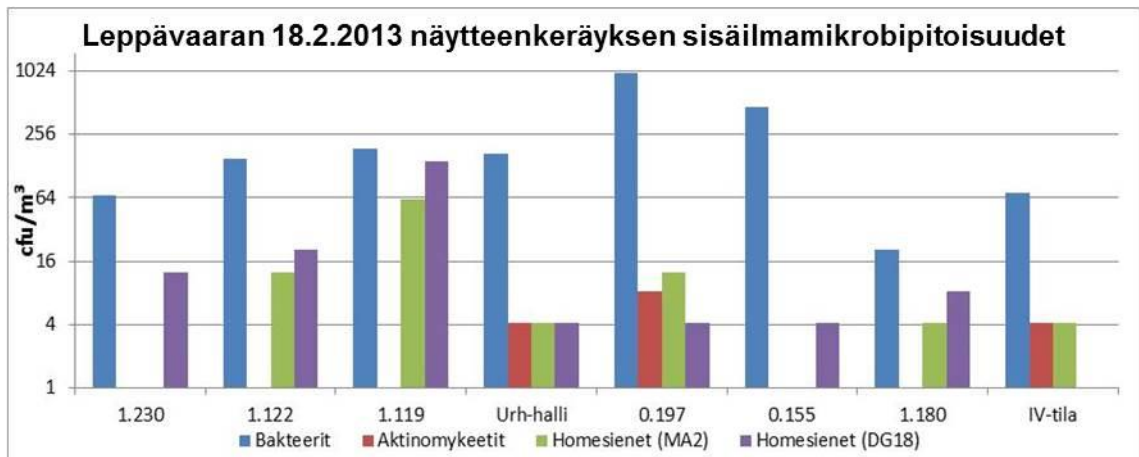
DG18-agarilta saadut tulokset vatt samankaltaiset kuin mallasagarilla kasvaneet, eivätkä tulokset viittaneet kosteusvaurioon rakennuksessa.

Leppävaaran 18.2.2013 näytteenkeräys:

Taulukkoon 18 on koottu Leppävaaran toisen näytteenkeräyksen mikrobipitoisuudet (n=8). Muutamissa tiloissa homesienipitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin ensimmäisellä kerralla vaikka muissa tiloissa mikrobipitoisuus näytti laskeneen.

Taulukko 18. Leppävaaran toisen näytteenottokerran mikrobipitoisuudet eri maljoilla

Tila	Bakteerit (cfu/m ³)	Aktinomykeetit (cfu/m ³)	Homesienet MA2 (cfu/m ³)	Homesienet DG18 (cfu/m ³)
1.230	67	0	0	12
1.122	151	0	12	21
1.119	187	0	63	142
Urh.halli	169	4	4	4
0.197	992	8	12	4
0.155	468	0	0	4
1.180	21	0	4	8
IV-tila	72	4	4	0



Kuva 10. Leppävaaran toisen näytteenottokerran tulokset

Kuvaajasta 10 voidaan todeta, että bakteerinäytteiden pitoisuudet ovat hieman matalammat kuin edellisellä näytteenottokierroksella. Kolmen tilan näytteissä kasvoi aktinomykeettejä, joiden pitoisuudet jäivät kuitenkin alle määritysrajan. Yhden tilan näytteissä homesienipitoisuudet ylittivät 50 cfu/m^3 , muissa tiloissa pitoisuuden pysyvät selvästi matalampina.

Taulukko 19. Homepesäkemäärät suuruusjärjestyksessä tulostentulkintaa varten

Pitoisuus cfu/m^3								
MA2	63	12	12	4	4	4	0	0
DG18	142	21	12	8	4	4	4	0

Mallasagarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 19):

- Suurin pitoisuus 63 cfu/m^3 (yli 50 cfu/m^3), kaikki muut ovat huomattavasti pienempiä
- Mediaani 4 cfu/m^3 (alle 20 cfu/m^3)
- Kaksi nollatulosta 0 cfu/m^3 (alle 4 cfu/m^3 määritysrajan)

Mediaani on alle 20 cfu/m^3 , nollatuloksia kaksi ja suuria pitoisuuksia vain yksi (yli 50 cfu/m^3). Aktinomykeettejä kasvoi kolmen tilan näytteissä, joista vain yhden pitoisuus ylittää melkein kosteusvauriorajaan ($> 10 \text{ cfu/m}^3$). Tulokset viittaavat vaurioitumattomaan rakennukseen.

Dikloran-glyseroli-18-agarilla kasvaneet homesienipesäkkeet (taulukko 19):

- Suurin pitoisuus 142 cfu/m^3 , kaikki muut pienempiä
- Mediaani 6 cfu/m^3 (alle 20 cfu/m^3)
- Nollatuloksia yksi ja loput 4 cfu/m^3 (määritysrajan suuruinen)

Nollatuloksia on yksi kappale, jota suuremmat pitoisuudet ovat määritysrajan suuruisia. Mediaani on selkeästi alle 20 cfu/m^3 , vaikka yhdestä näytteestä tullut suurin pitoisuus ylittää reilusti 50 cfu/m^3 , koska muut ovat selkeästi alhaisempia. Aktinomykeettejä kasvaa kolmessa näytteessä, joista yhden pitoisuus on 8 cfu/m^3 (alle 10 cfu/m^3). Tulokset viittaavat kosteusvauriottomaan rakennukseen.

Liitteessä neljä verrataan mikrobien pitoisuuksia eri näytteenottokerroilta ja tuloksista voidaan todeta, ettei tehtyjen analyysien perusteella tiloissa kasvanut kosteusvaurion kannalta merkittävästi mikrobeja. Bakteeripitoisuudet eivät vaihdelleet kuin tilassa 0.155, jonka ensimmäisen näytteenottokerran maljat hylättiin epätasaisen kasvun vuoksi. Urheiluhallin aktinomykeettipitoisuudet olivat samanlaiset kummallakin kerralla ja ne pysyivät alle 10 cfu/m^3 , kuten muissakin tiloissa. Homesienipitoisuudet MA2- ja DG18-maljoilla olivat hyvin samankaltaiset, eikä niissä havaittu kosteusvaurioituneeseen tilaan viittavia homesienipitoisuuksia.

11.5 Leppävaaran pintasivelynäytteet

Leppävaarasta kerättiin pintanäytteitä neljältä pinnalta (n=4). Näytteenottopinnat valittiin kosteuden aiheuttamien pintamuodostumien vuoksi. Pintojen vaurioista kerrotaan tarkemmin liitteessä kaksi. Pintojen mikrobipitoisuudet ovat kirjattu taulukkoon 20.

Taulukko 20. Leppävaaran pintasivelynäytteiden mikrobipitoisuudet

Tulos (cfu/cm ²)	IV-tila (kontr)	IV-putki (1)	IV-putki (2)	Välinevarasto
Bakteerit	0	2	65	2
Aktinomykeetit	0	0	0	0
Homesienet MA2	0	0	5	1
Homesienet DG18	0	0	1	0

Tulokset ovat koottu taulukkoon 20, josta nähdään että pintasivelynäytteiden kontrollissa ei kasvanut ollenkaan mikrobeja. Homesienien ja aktinomykeettien pitoisuudet jäivät alle määrittäysrajan (2 cfu/cm^2). Vauriopintojen näytteissä homesienipitoisuudet ovat alhaisia ja vain IV-putki (2) näytteissä homesienien pitoisuudet ylittivät määrittäysrajan mutta jäivät selvästi alle sienikasvustosta indikoivan pitoisuuden (1000 cfu/cm^2) eikä pitoisuus ollut kuin viisi kertaa suurempi kuin vertailukohteen. Vain IV-putki (2) kasvoi bakteereita.

11.6 TVOC-näytteet

TVOC-näytteitä kerättiin Leppävaarasta viidestä (n=5) ja Myyrmäestä seitsemästä (n=7) tilasta mikrobinäytteenkeräyksen yhteydessä. Taulukoon 21 on kirjattu tilat, joista näytteet kerättiin analyysijärjestyksessä.

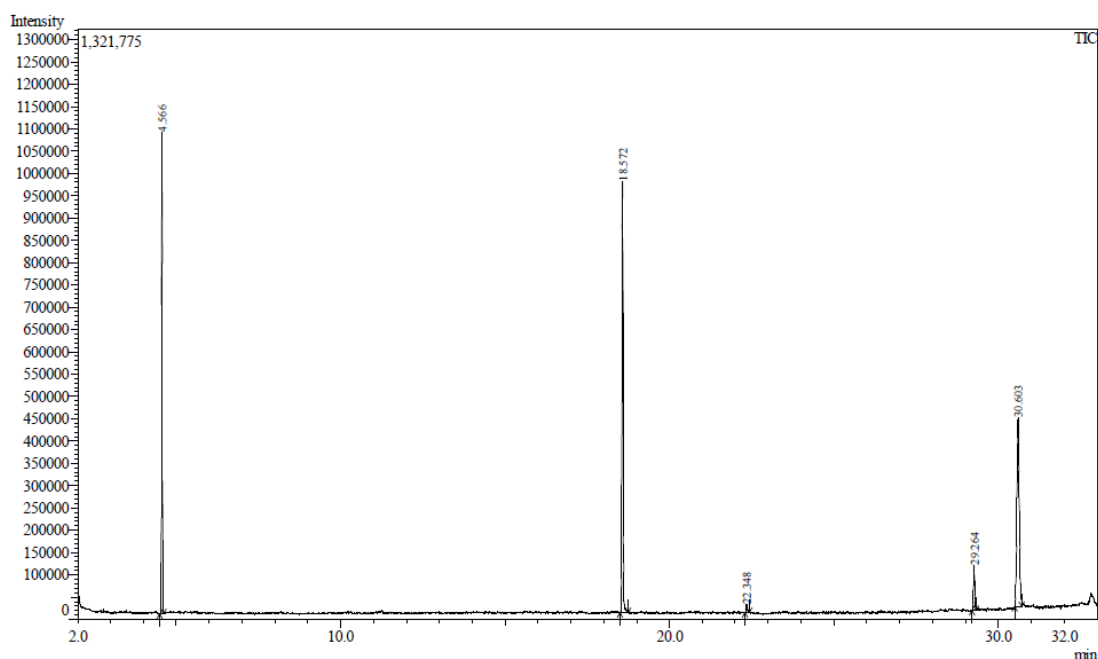
Taulukko 21. TVOC-näytteenkeräystilat.

	Leppävaara		Myyrmäki
1	0.155 (helpdesk)	1	A109.2 (Työhuone)
2	1.180 (Painolaboratorio)	2	A127 (Työhuone)
3	IV-tila	3	A135 (Pintatek. lab.)
4	Urheiluhalli	4	A136 (FTIR-huone)
		5	A142 (Kemian lab.)
		6	A146 (Biotekn. lab.)
		7	A238 (Autom. lab.)

Näytteenkeräyspaikat valikoitiin huoneissa esiintyneiden hajuhaittojen ja herkistymisoireiden perusteella, joista tarkemmat kuvaukset ovat liitteissä yksi ja kaksi. Osassa tiloista näytteenkeräys tehtiin mikrobinäytteiden yhteydessä mutta osassa huoneista kerättiin vain TVOC-näytteet. Taulukoissa 7 ja 8 kerrotaan mistä huoneista kerättiin vain TVOC-näytteet.

VOC-analyysit aloitettiin standardien mittauksella. Näytteet analysoitiin viimeistään näytteenkäsittelyä seuraavana päivänä, koska VOC-aineet säilyvät vain lyhyen aikaa liuottimessa. Kromatografiassa liuoksen komponentit eluoiuivat kiehumispistejärjestyksessä, jolloin matalimman kiehumispisteen omaava aine tulee ensimmäisenä detektorille ja saa pienimmän retentioajan.

Tolueenistandardille saatiin kromatogrammi (kuva 8). Tolueenin kiehumispiste on 110,6 °C ja detektori havaitsi sen 4,6 min kohdalla.



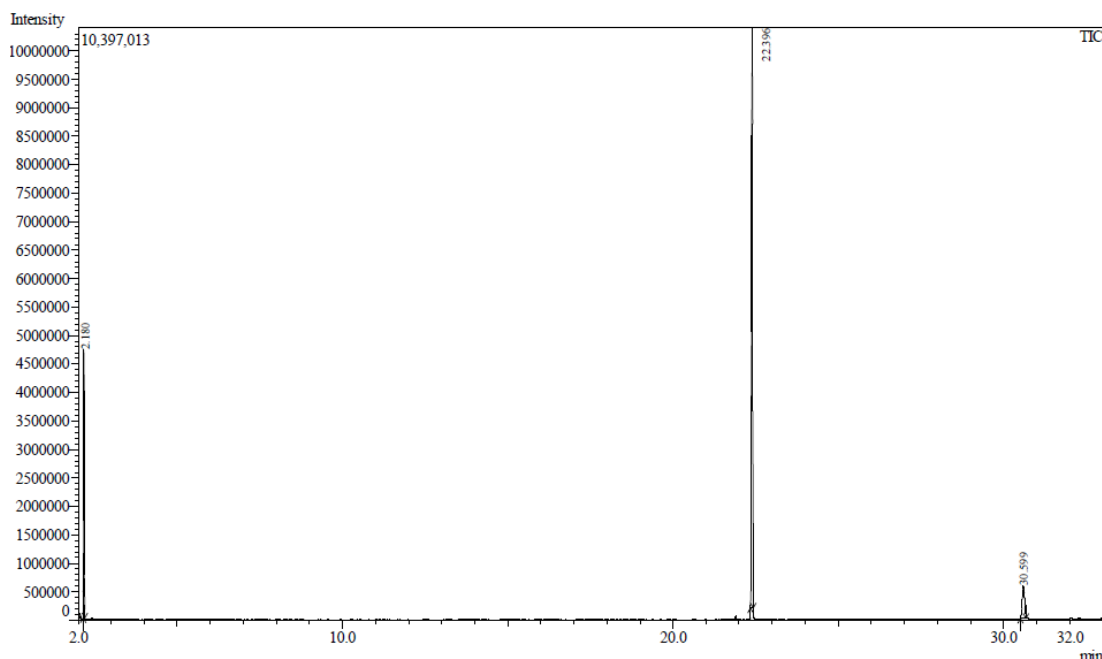
Kuva 11. Tolueenistandardin kromatogrammi

Taulukko 22. Tolueenistandardin kromatogrammin käyräraportti.

Piikki #	Ret-aika (min)	Pinta-ala	Yhdisteen nimi (engl.)
1	4,566	1905399	Toluene
2	18,572	2185401	Biphenyl
3	22,348	50130	Diethyl phthalate
4	29,264	268858	Cyclic octaatomic sulfur
5	30,603	2042899	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
	SUM	6452687	

Kuvassa 11 on tolueenistandardin analysoinnissa esiin tulleet viisi tunnistettua piikkiä, jotka on kirjattu taulukkoon 22. Tolueeni antoi pinta-alaksi 1905399, joka korjattiin jakamalla bifenyylin pinta-alalla. Ekvivalentti laskettiin korjatulla tolueenin pinta-alalla (laskukaavat liitteessä 8). Kummatkin ftalalaatit ovat todennäköisesti lähtöisin näytteenkäsittelyssä käytössä olleiden välineiden muoviosien muovinpehmittimistä.

Määrittäminen saatiin analysoimalla hiilivetystandardi, heksaani-heksadekaani (kuva 10).



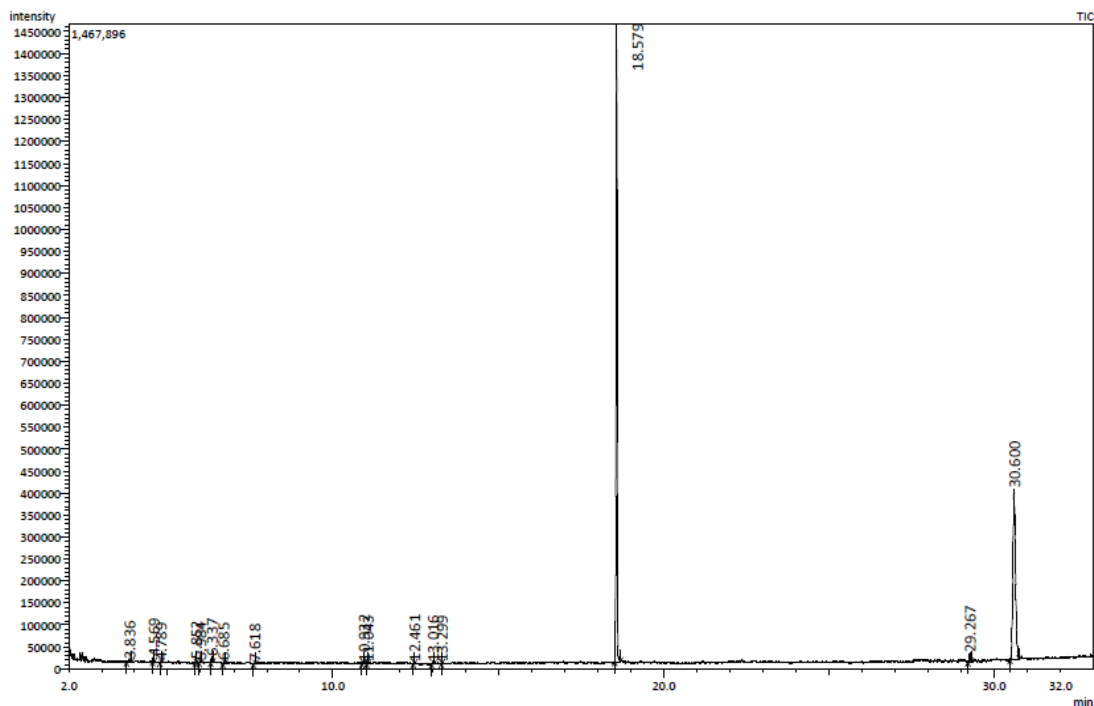
Kuva 12. Hiilivetystandardin kromatogrammi

Taulukko 23. Hiilivetystandardikromatogrammin käyräraportti

Piikki #	Ret-aika (min)	Pinta-ala	Yhdisteen nimi (engl.)
1	2,18	5278760	n-Hexane
2	22,396	22704374	Hexadecane
3	90,599	2789244	Bis(2-ethyhexyl) phthalate
	SUM	30772378	

Kuvassa 12 hiilivetystandardin kromatogrammi, josta nähdään kummatkin heksaani ja heksadekaani. Taulukosta 23 voidaan todeta että heksaani (kp. 69 °C) tuli matalan kiehumispisteisten vuoksi ensimmäisenä detektorille retentioajalla 2,18 min. Seuraavaksi kromatogrammissa näkyy 22,40 minuutin kohdalla heksadekaani (kp. 287 °C), tämän jälkeen tulevat yhdisteet ovat mittausalueen ulkopuolella. Myös hiilivetystandardin kromatogrammiin piirtyi ftalaattipiikki, joka on mahdollisesti lähtöisin näytepullojen muovitulpasta. Hiilivetystandardilla määritettiin mittausalueeksi läpötilaväli 69-287 °C.

Standardien jälkeen ajettiin näytteet, joissa yhdessäkään ei tullut esiin korkeita TVOC-ainepitoisuuksia. Esimerkkinä Leppävaaran painolaboratoriosta 18.2.2013 otetun näytteen antama kromatogrammi (kuva 13).



Kuva 13. Leppävaaran painolaboratorion (18.2.2013) näytteen kromatogrammi

Taulukossa 24 on näytekromatogrammin (kuva 10) komponentit, retentioajat ja pinta-alat. Sisäisen standardin bifenyylin (kp. 256 °C) antaa retentioajaksi 18,579 min. Määritysalueen ulkopuolella näkyy ftalaattipiikki (kp. 385 °C, retentioaika 30,6 min), joka todennäköisesti on lähtöisin näytepullon kumitulpan tai näytteenottohuoneiden muovimattojen muovinpehmittimistä. Mikäli näytteessä olisi ollut VOC-aineita, näiden antamat pinta-alat olisi korjattu käyttämällä bifenyylin pinta-alaa.

Taulukko 24. Leppävaaran painolaboratorion (18.2.2013) näytteen käyräraportti

Piikki #	Ret-aika (min)	Pinta-ala	Yhdisteen nimi (engl.)
1	3,836	12860	
2	4,569	17675	Heptane
3	4,789	4395	
4	5,852	15032	Hexane
5	5,984	6067	
6	6,337	24380	Heptanal
7	6,685	9628	
8	7,618	6284	
9	10,932	7607	
10	11,043	3939	
11	12,461	5598	
12	13,016	9805	
13	13,299	1469	
14	18,579	3185159	Biphenyl
15	29,267	64202	
16	30,6	2116733	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
	SUM	5490833	

Taulukossa 24 on avattuna kuvan 10 piikit, jotka saatiin tunnistettua. Nämä tulivat esille kaikissa näytteissä, myös käyttämättömstä absorbenttiputkesta valmistetusta näytteestä, jota ei oltu käytetty sisäilmanäytteenottoon. Käyttämättömän absorbenttiputken tarkoitus oli olla absorbenttiputkien baseline-näytteenä. Kaikkien näytteiden kromatogrammit olivat samankaltaisia, yhdessäkään ei tullut ilmi VOC-aineita.

Tolueeniekvivalenttia käyttämällä voidaan laskea näytteen sisältämien komponenttien pitoisuudet, jotka ilmoitetaan mikrogrammaa kuutiometriä ilmaa kohden ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Koska näytteenottohuoneista ei havaittu tällä menetelmällä selvästi koholla olevia sisäilman VOC-aineita, käytettiin painolaboratoriosta otetun näytteen antaman kromatogrammin taustan pohjapiikkinen yhteenlaskettua pinta-alaa (= 67652) analyysin määrittämissä laskemisessa. Pinta-alat korjattiin bifenyylin pinta-alalla ja ekvivalenttia käyttämällä laskettiin määrittämissä 1,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Laskukaavat: Liite 9).

Analyysien perusteella Myyrmäen tai Leppävaaran tilojen TVOC-aineiden pitoisuudet jäivät selkeästi alle sisäilman normaalin pitoisuuden. Yhtäkään VOC-ainetta ei saatu tunnistettua. Asumisterveysopissa normaalipitoisuus on määritelty 200-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Määrittämissä alle menevät tulokset olisi merkitty määrittämissä suuruiksi ja hyväksyttävien tulosten pitoisuus olisi tullut ylittää se. Taulukossa 25 on VOC-mittausten huonekohtaiset tulokset.

Taulukko 25. VOC-mittausten tulokset

Leppävaara	Pitoisuus	Myyrmäki	Pitoisuus
0.155 (helpdesk)	1,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	A109.2 (Työhuone)	3,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1.180 (Painolaboratorio)	1,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	A127 (Työhuone)	3,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
IV-tila	2,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	A135 (Pintatek. lab.)	1,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Urheiluhalli	2,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	A136 (FTIR-huone)	3,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		A142 (Kemian lab.)	2,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		A146 (Biotekn. lab.)	2,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		A238 (Autom. lab.)	3,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tulokset eivät viittaa haitallisiin VOC-pitoisuuksiin, mutta koska ne jäävät reilusti alle kirjallisuudessa annettujen pitoisuuksien, on mahdollista että näytteenkeräys tai -käsittely ei toiminut kunnolla ja menetelmä vaatii jatkokehittämistä.

12 Loppupäätelmät

Koulurakennusten sisäilman mikrobiologiseen laatuun vaikuttavat vuodenajan ja sääolosuhteiden lisäksi rakennuksen ikä ja toiminnot sekä käyttäjät. Mittaushetkellä tilassa olevien henkilöiden vaikutus näytteisiin on väistämätöntä näytteenottohetken ollessa tilojen aktiivien käytön paikkeilla. Myös rakennuksessa tapahtuvat toiminnot, johon kuuluu oppilaiden liikkuminen ja siivous, nostavat laskeutuneen pölyn takaisin sisäilmaan hengitettäväksi ja näytteenkeräykseen. Toisaalta koulurakennusten suuri koko vaikuttaa laimentavasti näytteiden mikrobipitoisuuksiin, mitä kyettiin kompensoimaan ottamalla näytteitä mahdollisimman laajasti eri puolilta rakennusta ja suorittamalla mittaukset useampaan kertaan. Silti tulosten tulkinta voi olla hankalaa.

Koulujen tiloissa analysoidut bakteeripitoisuudet olivat selkeästi alle ilmastointiongelmasta indikoivan pitoisuuden (4500 cfu/m³). Aktinomykeettien pitoisuudet olivat matalia tai niitä ei havaittu ollenkaan. Myös tilojen homesienipitoisuudet olivat alhaisia, eikä korkeita pitoisuuksia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä havaittu näillä menetelmillä.

Kosteusvaurion mahdollisuutta ei voida sulkea pois vaikka näytteiden homesieni- ja aktinomykeettipitoisuus olivat matalia. Asumisterveysopissa suositellaan tarkastelemaan homesienien pitoisuuden lisäksi lajistoa ja vertaamaan indikaattorimikrobien määrää muihin mikrobeihin. Tässä työssä ei ryhdytty tunnistamaan mikrobeja, tunnistuksen ollessa erityisen vaativaa ja luotettavaa vain harjaantuneen henkilön tarkastelemana.

Hajuongelmat ja henkilöiden oireilu ovat sisäilma-analyysien tuloksista huolimatta todellisia ja saattavat johtua myös ilmastoinnin ongelmista. Oireilu saattaa johtua altistumisesta sisäilman mikrobien kaasumaisille tai toksisille aineenvaihduntatuotteille tai jollekin muulle kuin homesienille. Havaitut oireet eivät välttämättä korreloi sieni-itiöpitoisuuksien kanssa, ja oireita saattaa olla, vaikka sisäilman mikrobipitoisuudet ovat tavanomaisissa arvoissa. Henkilöt saattavat olla herkistyneitä ja reagoida pienillekin määritysmenetelmällä huomaamatta jääneille pitoisuuksille. Joten olisi suositeltavaa tarkastaa ilmastointi; ilmanvaihdon riittävyys, ilmastointikanavien ja suodattimien kunto. Vaurioituneet pinnat tulisi korjata ja ehkäistä mikrobien pääsy rakenteisiin.

Lähteet

- [1] Smart Campus. 2013. Smart Campus Helsinki.
<<http://smartcampus.metropolia.fi/projekti/>> Luettu 28.9.2012
- [2] Tarkastusvaliokunnan mietintö 1/2013 vp. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat.
TrVM 1/2013 vp - M 5/2013 vp. Luettu 12.8.2013
- [3] Ympäristö ja Terveys-lehti. 2009. Asumisterveysopas. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (ATM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas.
Luettu 30.9.2012
- [4] Yang, C. S. Heinsohn, P. 2007. Sampling and Analysis of Indoor Microorganisms.
Wiley-Interscience. Luettu 8.10.2012
- [5] Meklin, T., Putus, T., Hyvärinen, A. ym. 2007. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Opas ongelmien selvittämiseen. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja 9/2007. Luettu 19.10.2012
- [6] Väänänen, Elina. 2012. Sisäilman mikrobit toimistossa ja asunnoissa. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Luettu 12.8.2013
- [7] IndoorAid. Aktinomykeetit. Verkkodokumentti. <http://indooraid.com/?page_id=14>
Luettu 28.2.2013
- [8] Rintala, H. 2003. Streptomyces in indoor environments – PCR based detection and diversity. Kuopion yliopisto. Väitöskirja. <<http://wanda.uef.fi/uku-vaitokset/vaitokset/2003/isbn951-740-336-4.pdf>> Luettu 10.3.2013
- [9] Leivo, Virpi. 1998. Opas kosteusongelmiin – Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Julkaisu 95 Talonrakennustekniikka. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Luettu 12.8.2013
- [10] Putus, T. 2010. Home ja terveys. Kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveyshaitat. Suomen Ympäristö- ja terveysalan Kustannus Oy. Luettu 8.10.2012
- [11] Flannigan, B. Samson, R. A. Miller, J. D. 2011. Microorganism in Home and Indoor Work Environments. Diversity, Health Impacts, Investigation and Control. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press. Luettu 18.1.2013
- [12] Reponen, T. A., Gazonko S. V., Grinshpun S. A., Willeke, K. & Cole, E. C. 1998. Characteristics of Airborne Actinomyceete Spores. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY s. 3807-3817. American Society for Microbiology. 13.8.2013

- [23] Applied Biosystems. MicroSeq® D2 LSU rDNA Fungal Identification Kit. PDF. <http://tools.lifetechnologies.com/content/sfs/manuals/CMS_045401.pdf > Luettu 28.9.2012
- [24] Biolog. 2012. FF identification with Biolog System. Webinar. PDF < Webinar 06Nov2012_FF identification with Biolog System-1.pdf> Luettu 28.9.2012
- [25] Vuolanto, M. Labema Oy, Biolog-esitys 28.9.2012. Myyrmäki.
- [26] Biolog. 2008. GEN III MicroPlate™ Käyttöohjeet PDF. Luettu 28.9.2012
- [27] Suomen Lääkärilehti. 2007. Terveysthuolto. Majvik II -suosituksesta ohjeita kosteusvaurioiden selvittelyyn. PDF. < <http://personal.inet.fi/koti/tyhosa/majvik2.pdf>> Luettu 4.11.2013
- [28] Reijula, K., Palomäki, E. & Lappalainen, S. Rakennusten kosteus- ja homevauriot. Tietokortti 5. pdf. <http://www.ttl.fi/fi/tietokortit/Documents/Tietokortti%2005_paivitetty.pdf> Luettu 15.6.2013
- [29] Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim. 1996. Kosteus- ja homevauriorakennuksien aiheuttamat terveystriskit ja sairauksien diagnostiikka. Duodecim 1996;112(15):1390. Artikkelin tunnus: duo60295 (96151390). < http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/haku?p_p_id=Article_WAR_DL6_Articleportlet&p_p_lifecycle=0&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_hakusana=reijula&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_p_frompage=haku&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_viewType=viewArticle&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_tunnus=duo60295> Luettu: 14.8.2013
- [30] Putus, T. 2013. Ympäristö ja Terveys –lehti 5:2013, 44 vsk. Mikrobispesifit vasta-ainemääritykset. Luettu 14.8.2013
- [31] WebMD. Allergies Health Center. Verkkodokumentti. <<http://www.webmd.com/allergies/allergy-tests>> Luettu 28.9.2012
- [32] Leading the fight against allergy. Skin Prick Testing. ><http://www.allergyuk.org/diagnosis--testing-of-allergy/skin-testing>> Luettu 16.10.2013
- [33] Sisäilmayhdistys Ry. 2008. Kemialliset tutkimukset. Verkkodokumentti. < <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/ongelmien-tutkiminen/muut-sisailmatutkimukset/kemialliset-tutkimukset/>> Luettu 10.3.2013
- [34] Sisäilmayhdistys. 2008. Verkkodokumentti. Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. < <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/hiukkasmaiset-epapuhtaudet/>> 2008. Luettu 10.3.2013

- [35] CDC. HYDROCARBONS, BP 36°-216 °C 1500. 2003 NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition. Verkkodokumentti <www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1500.pdf>. Luettu 17.1.2013
- [36] University of Cape Town. Faculty of Health Sciences. Module 1: Occupational Hygiene - Section 3: Evaluation of Airborne Contaminants. OH3.3: Sampling Equipment. Sampling media. <<http://www.oerafrica.org/FTPFolder/Website%20Materials/Health/Occ%20Health/Module%201%20%28OH%29/occhyg/OHair3.htm>> Luettu 21.12.2012

Myyrmäen kiinteistö ja mittauspisteet

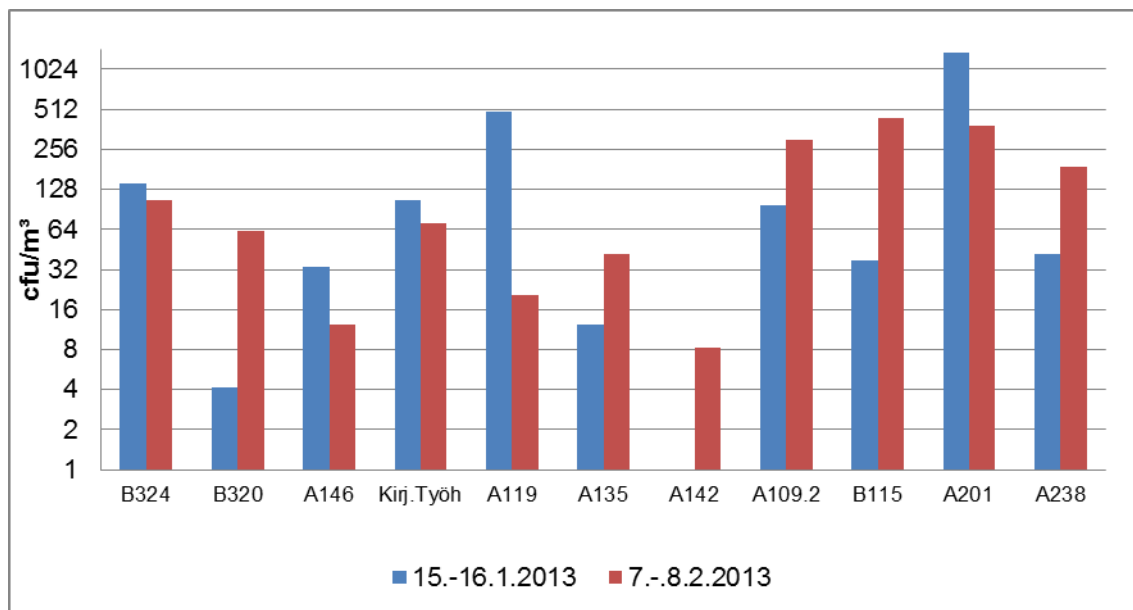
Tila	Havainto
Aulahissi (ruokalan vieressä)	Ulostemainen haju.
A109.2 (toimisto)	Kuiva, pölyisen tuntuinen huone.
A119 (opintotoimisto)	Kuiva ja pysähtynyt ilma.
B115 (Työhuone)	Kuiva ja tunkkainen ilma, tuntuu kuivattavasti hengitysteissä.
B126 (työhuone materiaali- ja pintakäsittelylaboratorion yhteydessä)	Mätä, kananmunamainen haju.
B320 (työhuone)	Kylmä ja kuiva huone, ilmastointi ei ehkä toiminnassa tai toimi tarpeeksi tehokkaasti.
B321 (työhuone)	Huoneessa kuiva ilma ja lämpötila huomattavan viileä.
Käytävä (B32X puolella, tulostimet)	Vakava kosteusvaurio (kondensaatiovettä), ollut tulostimet aikanaan poissa käytöstä veden takia.
B324 (työhuone käytävän kosteusvaurion vieressä)	Todella huono ilma, näkyvä vesivaurio seinässä (käytävän kosteusvaurion kanssa yhtenevä). Ollut ennen ATK-luokka, haju sen mukainen. Seinässä halkeama/kosteusvaurio maalin alla.
B222 (työhuone)	Huono ilma.
B231 (henk.kunnan WC)	Ollut paha haju, nyt ilmastointi päällä.
A202 (vanha opintotoimisto)	Aikoinaan ollut kosteusvaurioita, maalattu vain päälle. Ilmastointi ei vaikuta olevan toiminnassa. Huone pölyinen, mikä johtuu mahdollisesti kuivasiivouksesta.
A250	Viereisellä seinällä kosteusvaurio
A246 (työhuone)	Kuiva ja kuuma ilma, joskus ollut jopa +30 kun ulkona -30 astetta.
Automaatiolaboratorio	Koko laboratorioita käsittelevä: <ul style="list-style-type: none"> - laaja kosteusvaurio seinällä kaappien tms takana - katto vuotanut ja vielä on kipot vesiä varten paikallaan - tietokoneseinässä vesivaurio
Tavarahissi	Aikaisemmin ollut kellarimainen haju.
A151 (laboratorio? heti ulko-oven vieressä)	Vesipiste seinässä vuotanut seinää pitkin, ja putken seinästä ulostuloreikä näyttää rapistuneen.

Päävesiputki hajonnut joskus 10-15 vuotta sitten ja kyseinen vesivahinko käsitti tilat 143-148.	
A148 (epäorg. reagenssit)	Aikoinaan vesivahinkojen aikaan vedet tullut läpi.
A147	Vesiputket hajonneet ja korjattu liittämällä uusi pala väliin mutta jätetty vanhaa putkea päihin. Vanhoista putkista näkee kuinka kosteus on saanut maalipinnan rapistumaan. Viimeksi muutama kk sitten ollut kosteutta.
A146	Kosteusvaurio seinässä.

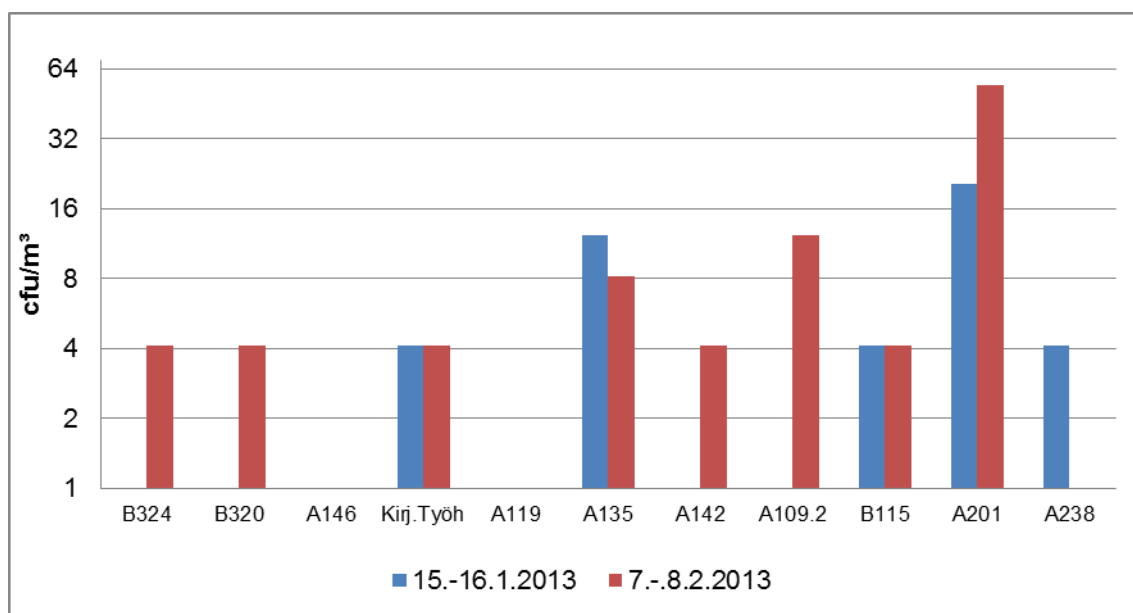
Leppävaaran ongelmakohteet ja mittauspisteet

Tila	Ongelma
B-osan käytävä	Tukipilarin takana halkeama - vesivaurio? - Rakenteiden liikkuminen?
Käyväovi rappusille	Liitoskohta katonrajassa haljennut
1.122 (työhuone)	Mahdollisesti ilmastoinnin aiheuttamaa humina. Huoneessa on korjattu kosteusvaurio.
1.230 Auditorio	Näkyvä kosteusvaurio tukipilarissa ja katossa
Sosiaalitila	Sosiaalitilaan menevä ilmastointiputki kosteusvaurioinen; vettä valunut joskus lattialle ja myös takaosa putkesta
Ilmastointiputki - 'opetustilat'	Ruostetta ja kalkkeumaa
Ilmastointiputki - 'aula'	Ruostetta ja kalkkeumaa
Välinevarasto liikuntasalissa	Porrusrakenne näkyy ja maali hilseilee kosteusvaurioisesti. Ei tiedetä on kondensaatiokosteutta ja materiaalin läpi tullutta ulkoilman kosteutta tai vettä.
Liikuntasali	Seinässä, katonrajassa reikä ja kosteusvaurio, jossa maali kuprulla.
0.201.2 suihkutila	Levää suihkukoppien listoilla, jatkuvasti kostea ilma.
Pukuhuone	Katto puupanelia ja sen alla filmivaneria.
ATK-luokat	Olleet pölyisiä.
0.155 Helpdesk	Kosteusvaurioita, katossa lievä jälki. Säännöllisesti ulosteen kaltainen haju. Kts. 0.155.4-kohta.
0.155.3 ryömintätila helpdeskissä	Paljon sälää ja pölyä pohjalla, putkia keskellä tilaa.
0.155.4 viemäriputket	Pelkkät viemäriputket, ei iso tila. Nämä joskus posahtanut ja näistä vettä päässyt rakenteisiin.
Painolaboratorio	Heti ruokalan vieressä. Ei havaittavia kosteusvauriota. 30 % alhaisempi ilmastointi ulos, jolloin muodostuu alipaine, mikä syystä ulkopuolelta tulevia hiukkasia pääsee laboratorioon.
ETYA2.109	Kosteusvauriokorjauksia tehty.
Riskitekijät talvella on katolle kertyvä lumimassa.	

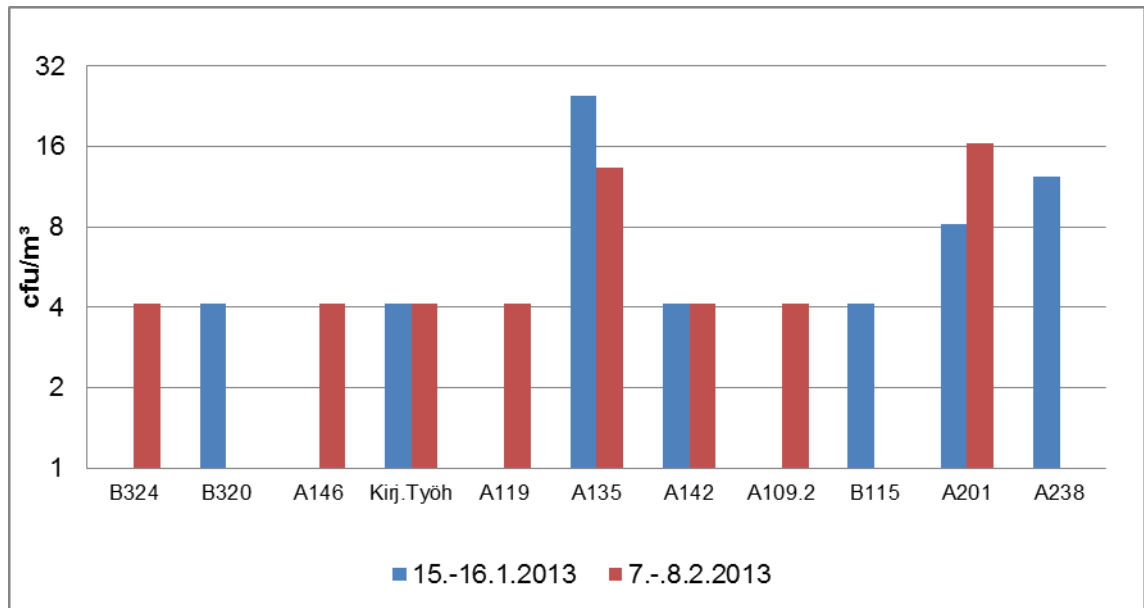
Myyrmäen sisäilmanäytteiden pitoisuusvertailu



Kuva 1. Bakteeripitoisuuksien vertailu THG-maljoilla

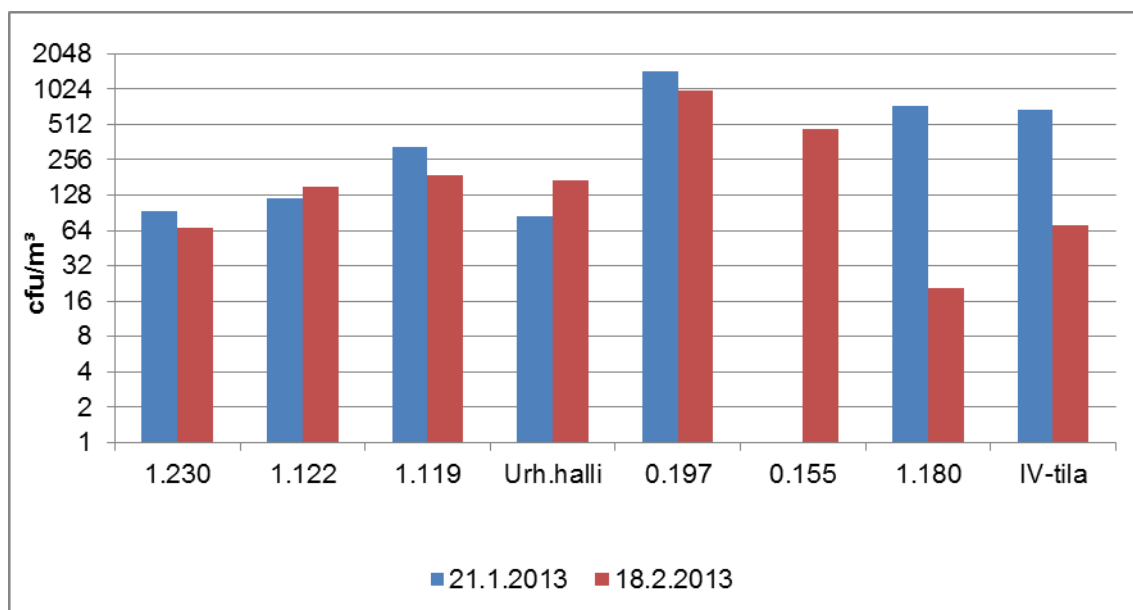


Kuva 2. Homeitiöpitoisuuksien vertailu MA2-maljalla

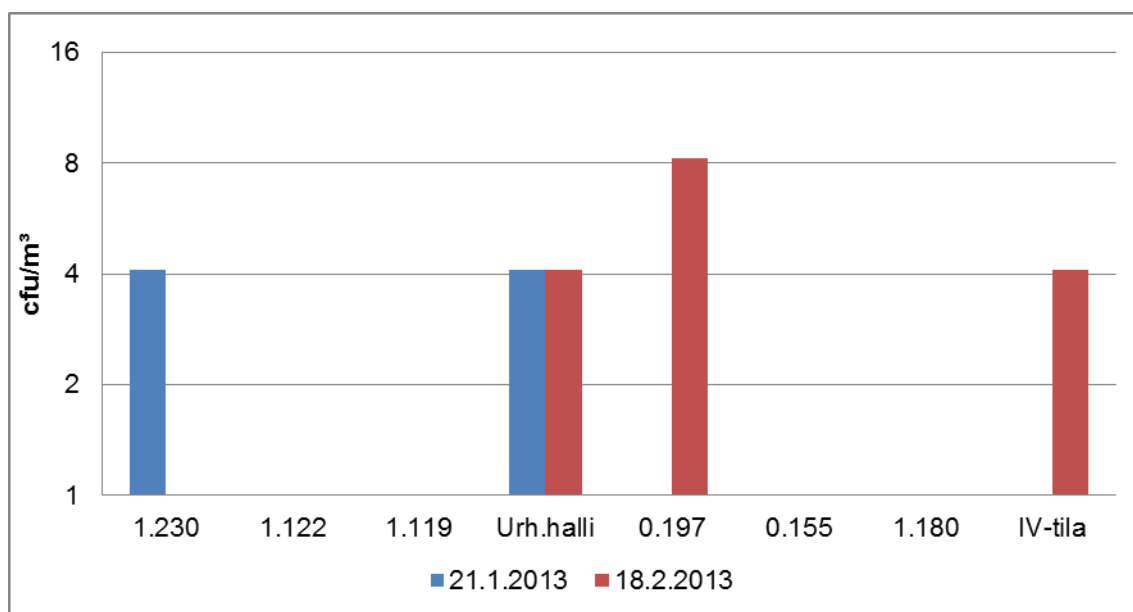


Kuva 3. Homeitiöpitoisuuksien vertailu DG18-maljalla

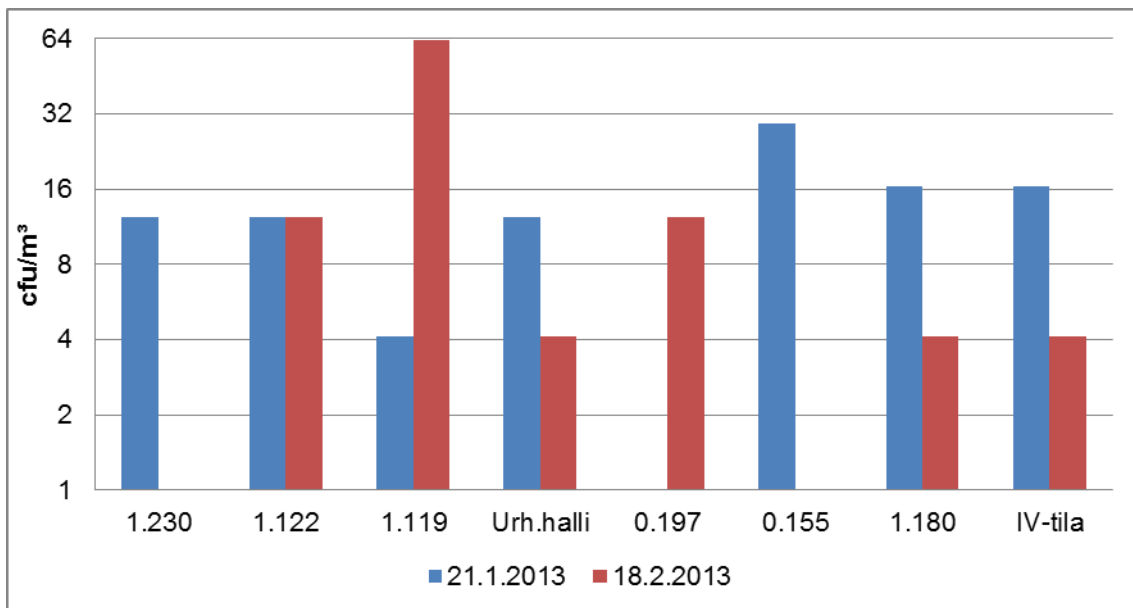
Leppävaaran sisäilmanäytteiden pitoisuusvertailu



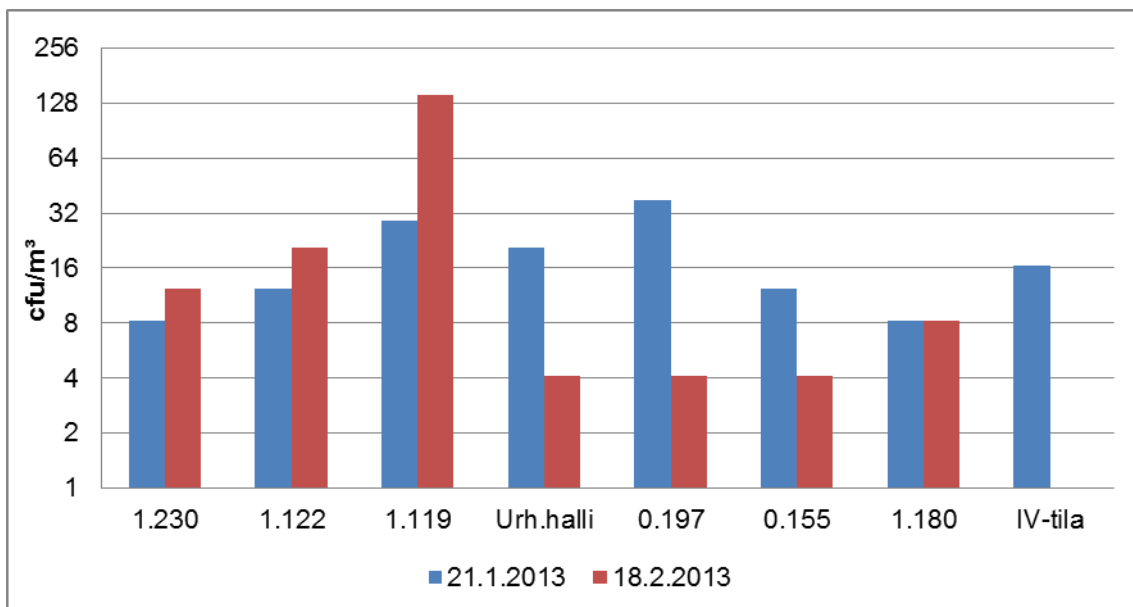
Kuva 1. Bakteeripitoisuuksien vertailu THG-maljoilla



Kuva 2. Aktinomykeettipitoisuuksien vertailu THG-maljalla



Kuva 3. Homeitiöpitoisuuksien vertailu MA2-maljalla



Kuva 4. Homeitiöpitoisuuksien vertailu DG18-maljalla

Laimennosliuoksen ja kasvatusalustojen valmistusohjeet

Laimennosliuos

0,0425 g kaliumvetyfosfaattia (KH_2PO_4)

0,25 g magnesiumsulfaattia ($\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$)

0,008 g natriumhydroksidia (NaOH)

1000 ml laboratoriovettä

pH $7,0 \pm 0,2$

pH:n säädön jälkeen lisätään 0,2 ml Tween 80 detergenttiä

Autoklavointi 15 min $121\text{ }^\circ\text{C}$

THG-kasvualusta (bakteereille ja aktinomykeeteille)

5,0 g tryptonia

2,5 g hiivauutetta

1,0 g glukoosia

15,0 g agaria

1000 ml laboratoriovettä

Autoklavointi 15 min $121\text{ }^\circ\text{C}$.

Autoklavoinnin jälkeen lisätään natamysiiniä (antibiootti homesieniiä vastaan) valmiina ampullina, johon lisätään vettä 80 % ampullin tilavuudesta, kun kasvualusta on jäähtynyt $50\text{ }^\circ\text{C}$. Sekoitetaan kunnes nesteessä ei näy selviä natamysiiniraitoja ja valetaan välttämättä kuplia.

2 % mallasagar MA2 (homesienille)

20 g mallasuutetta

15 g agaria

1000 ml laboratoriovettä

Lisätään kloramfenikolia (antibiootti bakteereita vastaan) jo ennen autoklavointia, lisäämällä ampulliin asetonia 10 ml:aa.

Autoklavointi 15 min $121\text{ }^\circ\text{C}$.

Dikloran-glyseroli-18-agar DG18 (homesienille)

31,5 g DG-18 agar-jauhetta

220 g glyserolia

1000 ml laboratoriovettä

Lisätään kloramfenikolia (antibiootti bakteereita vastaan) jo ennen autoklavointia, lisäämällä ampulliin asetonia 10 ml:aa.

Autoklavointi 15 min 121 °C.

VOC-näytteiden liuokset:

Tolueeniliuos (0,867 mg/ml):

10 µl tolueenia (kp 111 °C)

10 ml rikkihiiltä CS₂ (kp 46 °C)

Hiilivetystandardi:

10 µl heksaania (kp 68,7 °C)

10 µl heksadekaania (kp 271-291 °C)

10 ml rikkihiiltä

Desorptioliuos (iSTD):

10 mg bifenyylä

100 ml rikkihiiltä

Näytteenottolomake (Asumisterveysopas)

OLOSUHTEET SISÄILMANMITTAUSTEN AIKANA

Kohteen nimi:

Mittauspäivä:

Näytteenotto- menetelmä					
Huone					
Näytetunnus					
Mittaajat (lkm/nimi)					
Näkyvän homekasvun määrä ja paikka					
Näyte otettu klo					
Näytteen- ottoaika (min)					
Näytteen- ottokorkeus					
Lämpötila °C					
Suhteellinen kosteus %					
Ilmanvaihto (toiminnassa/ suljettu)					
Ikkuna auki/kiinni					
Muut läsnäolevat henkilöt (lkm)					
Toiminta mittauksen aikana					
Ulkoilma (lt/lunta)					
Muuta					

Suositeltavat näytteenottoparametrit (Asumisterveysopas s. 158):

- tilavuusvirta 24,3 l/min
- näytteenottoaika 10 min
- keskeltä huonetta 1-1,5 m korkeudelta
- ei välittömässä läheisyydessä mittauslaitetta (> 0,5 m)

Korjaustaulukko 400-reikänen impaktorille

Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 50(11):561-568 (1989)

4085

Positive-Hole Correction of Multiple-Jet Impactors for Collecting Viable Microorganisms

JANET M. MACHER

California Indoor Air Quality Program, Air and Industrial Hygiene Laboratory, California Department of Health Services,
2151 Berkeley Way, Berkeley, CA 94704

TABLE III
Positive-Hole Correction Table to Adjust Colony Counts from a 400-Hole Impactor
for the Possibility of Collecting Multiple Particles through a Hole

i ^A	ii ^B	iii ^C	i	ii	iii	i	ii	iii	i	ii	iii
1	1.0	0.0	51	54.6	2.0	101	116.4	4.3	151	189.6	7.2
2	2.0	0.1	52	55.7	2.0	102	117.8	4.4	152	191.2	7.3
3	3.0	0.1	53	56.8	2.0	103	119.1	4.4	153	192.8	7.4
4	4.0	0.1	54	58.0	2.1	104	120.4	4.5	154	194.4	7.4
5	5.0	0.2	55	59.2	2.1	105	121.8	4.5	155	196.1	7.5
6	6.0	0.2	56	60.3	2.2	106	123.2	4.6	156	197.7	7.6
7	7.1	0.2	57	61.5	2.2	107	124.5	4.6	157	199.4	7.7
8	8.1	0.3	58	62.6	2.3	108	125.9	4.7	158	201.0	7.7
9	9.1	0.3	59	63.8	2.3	109	127.2	4.7	159	202.6	7.8
10	10.1	0.3	60	65.0	2.3	110	128.6	4.8	160	204.4	7.9
11	11.1	0.4	61	66.2	2.4	111	130.0	4.8	161	206.0	7.9
12	12.2	0.4	62	67.4	2.4	112	131.4	4.9	162	207.6	8.0
13	13.2	0.5	63	68.6	2.5	113	132.8	4.9	163	209.4	8.1
14	14.2	0.5	64	69.7	2.5	114	134.2	5.0	164	211.0	8.1
15	15.3	0.5	65	70.9	2.6	115	135.6	5.1	165	212.8	8.2
16	16.3	0.6	66	72.1	2.6	116	137.0	5.1	166	214.4	8.3
17	17.4	0.6	67	73.3	2.7	117	138.4	5.2	167	216.2	8.4
18	18.4	0.6	68	74.5	2.7	118	139.8	5.2	168	217.9	8.4
19	19.4	0.7	69	75.7	2.7	119	141.2	5.3	169	219.6	8.5
20	20.5	0.7	70	77.0	2.8	120	142.7	5.3	170	221.4	8.6
21	21.6	0.8	71	78.2	2.8	121	144.1	5.4	171	223.1	8.7
22	22.6	0.8	72	79.4	2.9	122	145.6	5.4	172	224.8	8.7
23	23.7	0.8	73	80.6	2.9	123	147.0	5.5	173	226.6	8.8
24	24.8	0.9	74	81.8	3.0	124	148.4	5.6	174	228.4	8.9
25	25.8	0.9	75	83.0	3.0	125	149.9	5.6	175	230.2	9.0
26	26.8	0.9	76	84.3	3.1	126	151.4	5.7	176	231.9	9.0
27	28.0	1.0	77	85.5	3.1	127	152.8	5.7	177	233.7	9.1
28	29.0	1.0	78	86.8	3.2	128	154.2	5.8	178	235.5	9.2
29	30.1	1.1	79	88.0	3.2	129	155.8	5.9	179	237.3	9.3
30	31.2	1.1	80	89.2	3.3	130	157.2	5.9	180	239.1	9.3
31	32.2	1.1	81	90.5	3.3	131	158.7	6.0	181	241.0	9.4
32	33.4	1.2	82	91.8	3.3	132	160.2	6.0	182	242.8	9.5
33	34.4	1.2	83	93.0	3.4	133	161.6	6.1	183	244.6	9.6
34	35.6	1.3	84	94.3	3.4	134	163.2	6.2	184	246.4	9.7
35	36.6	1.3	85	95.6	3.5	135	164.6	6.2	185	248.4	9.7
36	37.8	1.3	86	96.8	3.5	136	166.2	6.3	186	250.2	9.8
37	38.8	1.4	87	98.1	3.6	137	167.8	6.3	187	252.0	9.9
38	40.0	1.4	88	99.4	3.6	138	169.2	6.4	188	254.0	10.0
39	41.0	1.5	89	100.6	3.7	139	170.8	6.5	189	255.8	10.1
40	42.2	1.5	90	102.0	3.7	140	172.3	6.5	190	257.8	10.2
41	43.2	1.5	91	103.2	3.8	141	173.8	6.6	191	259.6	10.2
42	44.4	1.6	92	104.6	3.8	142	175.4	6.7	192	261.6	10.3
43	45.5	1.6	93	105.8	3.9	143	177.0	6.7	193	263.5	10.4
44	46.6	1.7	94	107.2	3.9	144	178.5	6.8	194	265.4	10.5
45	47.8	1.7	95	108.4	4.0	145	180.1	6.9	195	267.4	10.6
46	48.8	1.7	96	109.8	4.0	146	181.6	6.9	196	269.4	10.7
47	50.0	1.8	97	111.1	4.1	147	183.2	7.0	197	271.3	10.8
48	51.2	1.8	98	112.4	4.1	148	184.8	7.0	198	273.3	10.9
49	52.2	1.9	99	113.8	4.2	149	186.4	7.1	199	275.3	10.9
50	53.4	1.9	100	115.0	4.2	150	188.0	7.2	200	277.3	11.0

Määrittysrajan laskeminen:

Taulukko 1. Tolueenistandardin tulokset

Retentioaika	Area	Yhdisteen nimi
4,566	1905399	Tolueeni
18,572	2185401	Bifenyylim
22,348	50130	Dietyyli ftalaatti
29,264	268858	Syklinen okta-atominen rikki
30,603	2042899	Bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti

Taulukko 2. Hiilivetystandardin tulokset

Retentioaika	Area	Yhdisteen nimi
2,18	5278760	n-Hexaani
22,396	22704374	Heksadekaani
30,599	2789244	Bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti

Taulukko 3. Yhden näytteen esimerkkitulokset

Piikki	Retentioaika	Area	Yhdisteen nimi
1	3,836	12860	
2	4,569	17675	Heptaani
3	4,789	4395	
4	5,852	15032	Heksaani
5	5,984	6067	
6	6,337	24380	Heptanaali
7	6,685	9628	
8	7,618	6284	
9	10,932	7607	

10	11,043	3939	
11	12,461	5598	
12	13,016	9805	
13	13,299	1469	
14	18,579	3185159	Bifenyylä
15	29,267	64202	
16	30,6	2116733	Bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti
	Summa:	67652	Ei sisällä piikkejä 2, 4, 6, 14 ja 16

iSTD otettaa huomioon haihtuneen liuottimen ja sen aiheuttaman mittaustuloksen muuttumisen: bifenyylä ei haihdu liuottimen mukana ja pysyy samana kuin iSTD:n valmistuksessa.

Tolueenistandardin tolueenipitoisuus oli 0,52 µg/µl ja mittaustilavuus 1 µl, jolloin mitattavassa tolueenistandardissa oli 0,52 µg tolueenia. Taulukosta 14 voitiin todeta että 0,52 µg tolueenia antoi pinta-alaksi (area) 1905399 ja iSTD:n (bifenyylä) pinta-alaksi tuli 2185401. Korjattu pinta-ala saatiin jakamalla tolueenin pinta-ala iSTD:n pinta-alalla:

$$\frac{1905399}{2185401} = 0,871876145$$

Ekvivalentti saatiin jakamalla edellä laskettu tolueenin korjattu pinta-ala tolueenin määrällä, jolla kyseinen pinta-ala saatiin:

$$\frac{0,8719}{0,52 \mu\text{g}} = 1,6767/\mu\text{g}$$

Näytteen mittaustuloksesta otettiin 10 taustapiikkia, jotka kirjattu taulukkoon 16. Nämä lasketaan yhteen ja korjataan jakamalla näytteen iSTD:n antamalla bifenyylin pinta-alalla:

$$\frac{67652}{3185159} = 0,02124$$

Määritysrajan massa saatiin jakamalla näytteen antama pinta-ala ekvivalentilla:

$$\frac{0,02124}{1,6767/\mu\text{g}} = 0,0127 \mu\text{g}$$

Keräysnopeus = 190 ml/min

Näytteenottoaika = 50 min

Näytteenottotilavuus = 9,5 l = 0,0095 m³

Määrittämissrajan pitoisuus saatiin jakamalla massa näytteenottotilavuudella:

$$\frac{0,0127 \mu\text{g}}{0,0095 \text{ m}^3} = \underline{1,33 \mu/\text{m}^3} \text{ Määrittämissraja}$$

Valomikroskooppipreparaatin valmistus

- 1 Preparaattilasille pipetoitiin vettä tai väriliuosta. Sopiva väriliuos voi olla 1 g aniliinisini-väriliuosta/1 litra 85 % DL-maitohappoa.
- 2 Pienipala tarkasteltavaa pesäkettä agarin kanssa asetellaan preparaattilasille liuokseen. Runsaasti itiöitä sisältävät näytteet on hyvä huuhdella pisaralla etanolia, joka saa itiöt kulkeutumaan nestepisaran laitamille.
- 3 Painetaan peitinlasi näytteen päälle ja kuumennetaan preparaattia bunsenliekissä pari sekuntia kerrallaan, kunnes agar on sulanut. Varottava näytteen palamista.
- 4 Mikroskoopin alla tarkastellaan sienirihmastoja ja yritetään tunnistaa homesieni.