

Heli Stormi

KOULUJEN SISÄILMATUTKIMUS
Sisäilman mikrobit, mikrobitoksisuus ja kuit-
dut

Opinnäytetyö
Ympäristötekniologia


Marraskuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 19.11.2010
Tekijä(t) Heli Johanna Stormi		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Nimeke Koulujen sisäilmatutkimus; Sisäilman mikrobit, mikrobitoksisuus ja kuidut		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia koulujen sisäilman mikrobien, mikrobitoksiinien ja teollisuuskuittujen esiintyvyyttä helsinkiläisillä ala-asteilla. Työ tehtiin Helsingin ympäristökeskukselle ja opinnäytetyön tutkimuskohteena olleet 2 koulua valittiin ympäristökeskukselle tulleiden sisäilmaongelmia koskevien tutkimuspyyntöjen perusteella. Lisäksi otettiin vertailunäytteitä yhdestä koulusta, jossa ei ollut havaittu aiemmin sisäilmaongelmia.</p> <p>Työssä käsitellyt näytteet otettiin viiden luokan sisäilmasta ja laskeumapölystä sekä talvella että keväällä. Sisäilman mikrobinäytteet kerättiin kahden viikon jaksoissa Andersenin keräimellä ja laskeumapölylevyillä. Lisäksi otettiin kuitu- ja mikrobitoksisuusnäytteitä muun muassa pyyhkimällä erilaisia pintoja. Näytteet analysoitiin Metropolilab Oy:n, Mikrofocus Oy:n ja InspectorSec Oy:n tutkimuslaboratorioissa.</p> <p>Tutkimuksen perusteella voitiin todeta, että vuoden- ja vuorokauden ajat vaikuttavat mikrobipitoisuuksiin, kuten on aiemmin oletettakin. Näytteiden mikrobipitoisuuksien ja aiempien tutkimusten perusteella todettiin myös, että yhdessä tutkitussa koulussa oli kosteusvaurio ja koulu päätettiin sulkea vuoden 2010 syksyllä seinärakenteiden korjaustoimenpiteiden ajaksi. Teollisuuskuittuja ei kouluista tutkimuksen aikana löydetty. Mikrobitoksisuutta tutkineiden laboratorioden tutkimuslosteita tarkasteltaessa voitiin todeta että laboratorioden tulokset olivat keskenään ristiriitaiset. Tämä osaltaan osoittaa, että sisäilman mikrobitoksisuuden määrittämiseen kaivataan vielä paljon lisätietoa, -tutkimuksia ja tutkimusmenetelmien kehitystyötä sopivien raja-arvojen löytämiseksi.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Mikrobit, toksiinit, sisäilma, pitoisuus, näytteenotto, kuidut		
Sivumäärä 45 s. + 5 s.	Kieli suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Martti Pouru		Opinnäytetyön toimeksiantaja Helsingin ympäristökeskus

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 19.11.2010	
Author(s) Heli Johanna Stormi		Degree programme and option Environmental technology	
Name of the bachelor's thesis Indoor air-survey of the schools; Microbes, microbetoxins and industrial fibres in indoor air			
Abstract <p>In this thesis the aim was to study microbes, microbetoxins and industrial fibres in indoor air of primary schools in Helsinki. The thesis was made for Environment Centre of Helsinki and the schools were selected based on the requests to study the quality of the indoor air. For comparing the results, one school was selected which had not had any complains of the indoor air quality.</p> <p>The samples were taken from the indoor air of five classrooms during both winter and spring. In the sampling, different techniques were used to get extensive results and the samples were analysed by laboratories of MetropoliLab Ltd, Microfocus Ltd and InspectorSec Ltd.</p> <p>Based on the research it was found out that the time of the year and the day have an effect on the concentrations of the microbes. One of the schools had to be closed down during the autumn 2010 due to the earlier researches and the high concentrations of the microbes which were found during the winter and the spring. No industrial fibres were found in the schools. The results of the concentrations of microbetoxins were inconsistent which shows that there is still a lot to do in order to find out the reasonable limiting concentrations for microbetoxins.</p>			
Subject headings, (keywords) Microbes, microbetoxins, indoor air, sampling, industrial fibres, concentration			
Pages 45 pages + 5 pages	Language finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Martti Pouru		Bachelor's thesis assigned by City of Helsinki, Environment Centre	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ASUNTOJEN JA MUIDEN TILOJEN TARKASTUS.....	2
2.1	Lainsäädäntö ja ohjeet	2
2.2	Helsingin kaupungin ympäristökeskus	3
3	TERVEYSHAITTA	4
4	TERVEYSHAITAN AIHEUTTAJAT JA NIIDEN TUTKIMINEN.....	5
4.1	Kosteus- ja mikrobivauriot	5
4.2	Mikrobitoksiinit	6
4.3	Kuidut	8
4.4	Muut terveyshaittaa aiheuttavat tekijät	9
4.5	Yleiset näytteenottomenetelmät.....	10
4.5.1	Mikrobi- ja kosteusvaurion tutkiminen.....	10
4.5.2	Kuitujen näytteenottomenetelmät	10
4.5.3	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteenottomenetelmät.....	11
4.5.4	Ilmanvaihdon mittausmenetelmät	11
4.5.5	Lämpötilan mittausmenetelmät.....	11
4.5.6	Melumittaus	12
4.5.7	Tupakansavun tutkimusmenetelmät.....	12
5	SISÄILMATUTKIMUS.....	12
5.1	Käytetyt näytteenottomenetelmät.....	12
5.1.1	Andersenin keräin	12
5.1.2	Laskeumapölykeräys	15
5.1.3	Mikrobitoksisuus testi.....	15
5.1.4	Kuitunäytteet	16
5.2	Tutkimussuunnitelma	17
5.3	Kohteet.....	19
5.3.1	Koulu 1.....	19
5.3.2	Koulu 2.....	20
5.3.3	Koulu 3.....	21
6	TULOKSET	22

6.1	Luokkien sieni-itiöpitoisuudet talvella 2010	22
6.2	Luokkien aktinomykeetti-pitoisuudet talvella 2010	26
6.3	Luokkien bakteeripitoisuudet talvella 2010.....	27
6.4	Kuitunäytteet talvella 2010.....	28
6.5	Luokkien sieni-itiöpitoisuudet keväällä 2010.....	29
6.6	Luokkien aktinomykeettipitoisuudet keväällä 2010.....	31
6.7	Luokkien bakteeripitoisuudet keväällä 2010	33
6.8	Luokkien toksisuustulokset talvella ja keväällä 2010.....	34
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	35
7.1	Sisäilman mikrobit.....	35
7.2	Kuidut	37
7.3	Mikrobitoksisuustesti.....	38
8	LÄHTEET	40

Keskeiset sanat ja lyhenteet

Aktinomykeetit: Eräs kosteusvaurion indikaattoribakteeri, jolla on kyky muodostaa itiöitä ja rihmastoja. Kutsutaan myös sädesieneksi.

DG 18-agar: Dikloranglyseroli (18 %) -alusta. Mikrobiviljelyssä käytetty kasvualusta, jolla kasvatetaan vähempään kosteuteen tottuneita homeita, indikaattorisieniä ja mykotoksiinien tuottajia.

EC₅₀ (effective concentration)-arvo: Mikrobitoksisuustestissä se uutteen pitoisuus, joka pysäyttää liikkeen 50 prosentista siittiöitä etanolilla altistettuihin siittiöihin verrattuna.

Kuidut: Tässä työssä kuiduilla tarkoitetaan lähinnä teollisuuskuituja, jotka aiheuttavat sisäilmassa esiintyessään terveyshaittaa.

Mikrobit: Pieneliöt, joita ovat muun muassa levät, bakteerit, homeet, hiivat ja virukset. Tässä työssä keskitytään sisäilman mikrobeihin eli bakteereihin ja homeisiin.

Mikrobitoksiinit: Mikrobitien myrkylliset aineenvaihduntatuotteet.

MVOC (microbial volatile organic compound): Mikrobitien aineenvaihdunnasta peräisin olevat orgaaniset yhdisteet.

Terveyshaitta: Asuinympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutuva sairaus tai sairauden oire.

THG: Tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar. Mikrobiviljelyssä käytetty kasvualusta bakteereille.

Mallas-agar: Mikrobiviljelyssä käytetty kasvualusta homeille, indikaattorisienille ja mykotoksiinien tuottajille.

PCR (polymerase chain reaction): Polymeraasiketjureaktio. Menetelmä, joka perustuu polymeeraasi-entsyymien kykyyn kopioida DNA:ta. PCR-menetelmää voidaan käyttää sisäilman mikrobien pitoisuuksien määrittämiseen ja analysointiin.

Petrialja: Mikrobien viljelyyn tarkoitettu astia, joka täytetään agarilla mikrobien kasvatusta varten.

PMY (pesäkkeen muodostava yksikkö): Käytetään mikrobipitoisuuksien ilmoittamiseen. Englanniksi CFU eli colony forming units.

VOC (volatile organic compound): Yhteisnimitys haihtuville orgaanisille yhdisteille, joita ovat muun muassa bentseeni, ksyleeni, ja styreeni.

1 JOHDANTO

Sisäilmaongelmat, niiden tutkiminen ja toteaminen kuuluvat normaaliin ympäristötarkastajan arkeen. Sisäilmaongelmista tulee kysymyksiä ja tarkastuspyyntöjä jatkuvasti viranomaisille, jotka ensisijaisesti ovat vastuussa asuntojen ja muiden oleskelutilojen tarkastuksista. Aihealue on haastava, sillä sisäilmaongelmien syitä ja aiheuttajia on monia, ja myös tilojen käyttäjien kokemat ongelmat ovat yksilöllisiä. Tarkastuksia ja tutkimuksia hankaloittaa myös se, että oleskelutiloja on monenlaisia ja ne poikkeavat paljon toisistaan. Aihe on kuitenkin erittäin mielenkiintoinen, sillä uusia tutkimuksia tehdään jatkuvasti, ja jokaisella tutkijalla on aiheesta omat mielipiteensä.

Tällä hetkellä koulujen ja päiväkotien sisäilmaongelmat ovat ajankohtainen aihe, ja ongelmiin pyritään puuttumaan heti, jos tilojen käyttäjät kokevat sisäilman aiheuttamaa ärsytysoireilua. Tällaisia tekijöitä ovat muun muassa kemialliset haihtuvat yhdisteet, riittämätön ilmanvaihto, kuidut, mikrobit ja niiden itiöt sekä myrkylliset aineenvaihduntatuotteet (STM 2009, 9–10). Tässä, Helsingin kaupungin ympäristökeskukselle tehdyssä opinnäytetyössä, tavoitteena oli tutkia koulujen sisäilmaongelmia mikrobi-, mikrobitoksiini- ja kuitupitoisuuksien osalta. Työssä lähestyttiin kokeellisesti koulujen käyttäjien kokemia, mikrobeista ja kuiduista aiheutuviksi epäiltyjä sisäilmaongelmia kolmessa eri koulussa Helsingin alueella. Ennen varsinaista tutkimusta tutustuttiin mittausten menetelmiin ja ympäristötarkastajan tehtäviin seuraamalla asuntotarkastuksia kentällä ja harjoittelemalla erilaisten laitteiden käyttöä muun muassa työelämäohjaajan ja tutkimusavustajan avustuksella.

Opinnäytetyötä varten otettiin useita näytteitä kattavan kuvan saavuttamiseksi eri olosuhteissa kahdesta koulusta, joista oli tullut ympäristökeskukselle tutkimuspyyntöjä sisäilmaongelmia koskien. Lisäksi otettiin vertailunäytteitä koulusta, jossa ei ollut havaittu aiemmin sisäilmaongelmia. Näytteenottojaksoja oli kaksi, ensimmäinen talvella ja toinen keväällä, jolloin pystyttiin vertailemaan myös vuodenaikojen vaihtelun merkitystä mikrobipitoisuuksissa. Näytteitä otettiin laskeumapölystä ja sisäilmasta. Kenties tutkimuksen mielenkiintoisin osa-alue oli mikrobien myrkylliset aineenvaihduntatuotteet eli mikrobitoksiinit.

2 ASUNTOJEN JA MUIDEN TILOJEN TARKASTUS

2.1 Lainsäädäntö ja ohjeet

Tällä hetkellä tärkein sosiaali- ja terveysministeriön antamista ja terveydensuojeluviranomaisten käyttämistä ohjeista on Asumisterveysohje (Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1), joka koskee asuntojen terveydellisiä oloja. Se tuli voimaan 1.5.2003 ja korvaa vuonna 1997 ilmestyneen Sisäilmaohjeen (2/97). Asumisterveysohjeen soveltamisoppaana käytetään Asumisterveysopasta. (STM 2009, 3.)

Asumisterveysohjeessa on määritelty terveydensuojelulakia mukailleen (763/94) fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset olosuhteet ja niihin liittyvät tarkastustoimenpiteet. Terveydensuojelulain (763/94) 26 §:n mukaan: ”Asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa. Asunnossa ja muussa oleskelutilassa ei saa olla eläimiä eikä mikrobeja siinä määrin, että niistä aiheutuu terveyshaittaa.” (terveydensuojelulaki 763/1994, 26 §, STM 2009, 9.)

Asunnossa ja muussa oleskelutilassa olevista fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista tekijöistä voidaan antaa myös säännöksiä terveydellisiin perusteisiin terveydensuojelulain muutoksen (20.12.2002/1223) voimaantulon jälkeen 1.1.2003 sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (tsl 32 §). (STM 2009, 10.)

Terveydensuojelulain (763/94) 7 §:ssä mainitaan, että kunnan terveydensuojeluun kuuluvista tehtävistä huolehtii kunnan määräämä lautakunta tai muu monijäseninen toimielin, ja kunnan valvontatehtäviä hoitaa kunnallinen viranhaltija, jolla on tehtäviin soveltuva tutkinto (terveydensuojelulaki 763/1994, 7 §, STM 2009, 10). Terveydensuojeluviranomainen vastaa muun muassa asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olojen valvonnasta, jossa noudatetaan terveydensuojelulainsäädännön lisäksi hallintolakia (434/2003). Uhkasakkolain (1113/90) säännöksiä sovelletaan, jos terveydensuojeluviranomainen joutuu tehostamaan antamaansa kieltoa tai määräystä (tsl 53 §). (STM 2009, 10.)

Kunnan terveydensuojeluviranomainen käyttää asumisterveysohjetta apuna erityisesti asunnontarkastuksessa, mutta soveltuvin osin myös muiden oleskelutilojen, kuten päiväkotien ja koulujen tarkastuksissa. (STM 2009, 11.) Koulujen, erityisesti mikrobiologisten olosuhteiden, tarkastuksissa käytetään apuna myös Asumisterveysohjeesta sovellettua Kansanterveyslaitoksen julkaisemaa ”Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot opas ongelmien selvittämiseen” -opasta (KTL 2008, 4). Kyseenomainen opas toimi pitkälti tämän opinnäytetyön, Koulujen sisäilmatutkimus, ohjenuorana muun muassa mikrobipitoisuuksia ja niiden vaihtelevuutta tarkasteltaessa. Koulurakennusten kosteus- ja homevaurioiden selvittämiseen on julkaistu oma opas, sillä esimerkiksi niiden koko, käyttötarkoitukset sekä rakennus- ja talotekniset ratkaisut ovat erilaiset muihin rakennuksiin verrattuna. (KTL 2008, 4.)

2.2 Helsingin kaupungin ympäristökeskus

Helsingin kaupungin alueella kouluissa ja päiväkodeissa tehtävistä tarkastuksista vastaa ympäristövalvontayksikköön kuuluva asuin ympäristövalvonnan vastuualue, johon kuuluu noin 15 työntekijää. Ympäristövalvontayksikkö on yksi Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen yksiköistä, jotka pyrkivät huolehtimaan omalta osaltaan kaupungin asukkaiden viihtyvyydestä ja hyvinvoinnista. (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2010.)

Helsingin kaupungin ympäristökeskus on vuonna 1991 perustettu virasto, joka tuottaa ympäristöpalveluja eri tahoille ja pyrkii toiminnallaan muun muassa kehittämään ympäristöä terveellisemmäksi ja ekologisesti kestävämmäksi Helsingin alueella. Ympäristökeskuksen päätöksenteosta vastaa ympäristölautakunta, jonka tarkoituksena on huolehtia elinympäristön terveellisyydestä, turvallisuudesta ja viihtyvyydestä edistämällä, ohjaamalla ja valvomalla ympäristönsuojelua sekä vastaamalla elintarvike-, kulutustavara- ja kemikaalivalvonnasta. Helsingissä asuvien ihmisten hyvinvoinnin lisäksi ympäristölautakunta huolehtii myös kaupungin eläinlääkintähuollosta ja eläinsoojelusta. (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2010.)

Ympäristölautakunnan alaisuudessa toimii ympäristöjohtajan valvomia yksiköitä, muun muassa ympäristövalvontapäällikön johtama teollisuus-, maaperä- ja asuin ympäristövalvonnasta vastaava ympäristövalvontayksikkö, terveys-, ja elintarvikevalvon-

taa suorittava ympäristöterveysyksikkö sekä ympäristönsuojelu ja -tutkimusyksikkö, joka arvioi ympäristövaikutuksia ja huolehtii ympäristökasvatuksesta. Lisäksi ympäristökeskukseen kuuluu hallintoyksikkö, jossa hoidetaan tietohallinto- ja hallintopalvelut sekä vastataan asiakaspalvelusta ja viestinnästä. (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2010.)

3 TERVEYSHAITTA

”Terveydensuojelulain 1 §:ssä terveyshaitalla tarkoitetaan esimerkiksi asuinympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutuvaa sairautta tai sairauden oiretta.” (STM 2009, 10.) Terveyshaitan voidaan olettaa liittyvän huonoon sisäilman laatuun, jos oireet lievittyvät tai häviävät, kun ollaan poissa rakennuksesta. Tyypillisimpiä oireita ovat erilaiset ärsytysoireet silmissä, iholla tai hengitysteissä. Tällaisia ärsytysoireita ovat muun muassa yskä, nenän tukkoisuus, pitkittynyt nuha ja kurkkukipu. Ärsytysoireiden lisäksi kosteusvauriorakennuksessa oleskelevilla voi esiintyä yleisoina päänsärkyä, kuumeilua, väsymystä ja pahoinvointia. Pitkäaikainen altistuminen esimerkiksi homesienille voi saada aikaan toistuvia infektioita, esimerkiksi välikorvan-, poskiontelo- ja keuhkoputkentulehduksia, ja pahimmassa tapauksessa altistuneelle henkilölle voi kehittyä pitkäaikaissairaus, esimerkiksi krooninen keuhkoputkentulehdus, allerginen nuha, astma, ihottuma tai alveoliitti. On myös mahdollista, että mikrobien myrkylliset aineenvaihduntatuotteet, mikrobitoksiinit, edesauttaisivat esimerkiksi reumasairauksien puhkeamista, sillä ne saattavat edesauttaa autoimmuunisairauden puhkeamista geneettisesti alttiilla henkilöillä. Pitkäaikasella mikrobitoksiinialtistuksella voi olla myös yhteys diabetekseen ja tulehduksellisiin suolistosairauksiin. (Putus 2010, 8–11; STM 2009, 152; WHO 2009.)

Bakteereihin kuuluvien sädesienten aiheuttamat terveyshaitat tunnetaan puutteellisesti, mutta tiedetään, että ilman välittäminä ne voivat aiheuttaa harvinaisia ja vakavia tulehdustauteja vastustuskyvyltään heikentyneille henkilöille (Pönkä 2002, 103). Useiden homesienten on havaittu tuottavan tyypin I ja III allergeeneja. Allergeeneille altistuneiden henkilöiden elimistö reagoi tavallista herkemmin tuottamalla IgE-vastaineita. Tällaisten allergisten sairauksien oireet ilmenevät usein astmana, allergisena nuhana, silmien sidekalvon tulehduksina tai atooppisena ihottumana. (WHO 2009.)

4 TERVEYSHAITAN AIHEUTTAJAT JA NIIDEN TUTKIMINEN

Terveyshaitan aiheuttajia sisäilmassa ovat suurina pitoisuuksina esiintyessään muun muassa teollisuuskuidut, mikrobit ja niiden tuottamat toksiinit. Myös tupakan haju, puutteellinen ilmanvaihto, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, melu ja lämpötila saattavat aiheuttaa terveyshaittaa. Yllä mainituista ihmisten terveyttä heikentävistä tekijöistä on kerrottu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

4.1 Kosteus- ja mikrobivauriot

Kosteusvauriot johtuvat puutteellisesta kosteuden hallinnasta (Työsuojeluhallinto 2010). Kosteusvauriot rakennuksissa pääsevät yleensä syntymään esimerkiksi rakennuksen tai rakenteiden puutteellisen tuuletuksen, vesikattovuotojen, suunnittelu- tai rakennusvirheiden seurauksena. Kosteus rakenteissa taas mahdollistaa mikrobikasvustojen syntymisen, jolloin on mahdollista, että rakennukseen syntyy sisäilmaongelmia. Mikrobikasvua voi ilmetä rakennuksessa myös, jos materiaalit tai rakenteet ovat päässeet kastumaan jo rakennusvaiheen aikana. Pintojen ja rakenteiden kosteus voidaan määrittää asiantuntijan tekemillä mittauksilla, jolloin apuna käytetään muun muassa kosteudenilmaisimia ja kosteusmittareita. (STM 2009, 149–150.) Vakava kosteusvaurio voidaan usein havaita jo aistinvaraisesti pintojen väri- tai rakennemuutoksista. Vaurioituneessa rakennuksessa saattaa myös aika-ajoin esiintyä tunnistettavaa maakellarimaista hajua, joka johtuu mikrobien aineenvaihdunnasta peräisin olevista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (MVOC, *Microbial volatile organic compounds*). Näitä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä tuottavat useat mikrobilajit ja mikrobikasvua voidaankin tutkia myös määrittämällä muutamille lajeille tyypillisiä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (STM 2009, 151; WHO 2009.)

Erilaisia mikrobeja, joita ovat esimerkiksi hiivat, homeet ja bakteerit, esiintyy kaikkialla elollisessa luonnossa. Ulkoilma on yleensä tärkein sieni-itiöiden lähde ja normaalioloissa, terveissä rakennuksissa sisätilojen kuivuus ehkäisee mikrobipitoisuuksien kasvua. Kosteusvauriotapauksissa sisäilman suhteellinen kosteus (noin 80 %) ylittää normaalin sisäilman suhteellisen kosteuden, joka on välillä 50–60 %. Kosteus, lämpö-

tilan, hapen ja ravinteiden kanssa, mahdollistaa mikrobeille sopivat elinolosuhteet ja lisääntymisen sisätiloissa. Mikrobipitoisuuksille on pyritty määrittelemään ohje-arvoja, joita on sovellettu koskemaan erilaisia rakennuksia ja tiloja ottaen huomioon niiden käyttötarkoitukset. Esimerkiksi normaaliolosuhteissa koulurakennuksessa sisäilman sieni-itiöpitoisuudet ovat alle 50 pmy/m³ ja bakteereihin kuuluvien sädesienten eli aktinomykeettien pitoisuudet ovat alle 10 pmy/m³. Vaurioituneessa tilassa taas talviaikaan otettujen näytteiden sieni-itiöpitoisuudet ovat usein välillä 50–500 pmy/m³ ja yli 10 pmy/m³ aktinomykeettipitoisuus viittaa mikrobikasvuun. (KTL 2008, 27–32.) Kohonneen kokonaisbakteeripitoisuuden (yli 4500 pmy/m³) perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä mikrobivaurioiden esiintymisestä tutkitussa rakennuksessa. Sen sijaan yli 4500 pmy/m³:n bakteeripitoisuus viittaa useimmiten puutteelliseen ilmanvaihtoon. (Sisäilmayhdistys 2010a; STM 2009, 151; WHO 2009.) Suomessa on laadittu lista kosteusvaurioindikaattorimikrobeista ns. Baarnin indikaattorilistan pohjalta laboratorien kokemusten perusteella. Alla on lueteltu kosteusvaurioindikaattorit Kuopion aluetyöterveyslaitoksen Ympäristömikrobiologian laboratorion tutkimus- ja palveluaineiston perusteella:

Absidia, Acremonium, Aspergillus flavus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus ochraceus, Aspergillus penicillioides, Aspergillus sydowii, Aspergillus terreus, Aspergillus versicolor, Aureobasidium, basidiomykeetit, Botrytis, Chaetomium, Chrysonilia, Chrysosporium, Engyodontium, Eurotium, Fusarium, Exophiala, Geomyces, Memnoniella, Mucor, Oidiodendron, Paecilomyces, Phialophora, Phoma, Rhinocladiella, Rhizopus, Rhodotorula, Scopulariopsis, Sporobolomyces, Sphaeropsidales, Stachybotrys, Streptomyces, Trichoderma, Tritirachium, Ulocladium, Wallemi. (Sisäilmayhdistys ry 2010b.)

4.2 Mikrobitoksiinit

Mikrobien aineenvaihdunnasta peräisin olevat myrkyt, eli mikrobitoksiinit ovat kestäviä kemiallisia yhdisteitä, joita ei pystytä hajottamaan desinfioimalla tai keittämällä. Ne ovat myös useimmiten rasvaliukoisia ja vettä karttavia, eli hydrofobisia, minkä seurauksena ne imeytyvät voimakkaasti esimerkiksi muovipintoihin, eivätkä lähde pois pesemällä. Rasvaliukoisuutensa ansiosta mikrobitoksiinit voivat kulkeutua elimistöön muun muassa ihon, silmien ja hengityselinten kautta. (Heikkilä 2009; Salkinoja-Salonen 2009; Seppälä 2008.)

Mikrobitoksiineja on tutkittu paljon pilaantuneista elintarvikkeista ja eläinten homehtuneista rehuista. Ne heikentävät immuunipuolustusta tai ohjaavat sitä väärään suuntaan. Saastunutta viljaa syöneille tuotantoeläimille mikrobitoksiinien on havaittu aiheuttavan muun muassa lisääntymisvaikeuksia, sisäisiä verenvuotoja ja syöpäkasvaimia. Monilla mikrobitoksiineilla on havaittu olevan myös maksaa ja munuaisia vaurioittavia ja hermosto-oireita aiheuttavia ominaisuuksia. (Sisäilmayhdistys ry 2010b; Putus 2010; Salkinoja-Salonen 2009.)

Mikrobitoksiinien määrittämiseen on käytetty vesikirppujen elävyyteen perustuvaa Limulus-tekniikkaa sekä 1990-luvulla kehitettyä sian siittiösolujen liikkuvuuden inhibitioon perustuvaa tekniikkaa. Vesikirppujen ja sian siittiösolujen lisäksi indikaattorisoluina mikrobitoksisuuden toteamiseen on käytetty muun muassa kissan keuhkosoluja, hiiren insulinoamaa ja neuroblastoomaa sekä ihmisen paksusuolen epiteeli-, keuhko- ja kurkunpään solulinjoja. (Salkinoja-Salonen 2009; Putus 2010.)

Mikrobitoksiineja on etsitty ja yritetty määrittää useiden tutkimusryhmien toimesta myös sisäilmasta ja rakennusmateriaaleista, mutta löydetyillä pitoisuuksilla ei ole ollut eroa vaurioituneiden ja terveiden rakennusten välillä tai mikrobitoksiineja ei ole löytynyt lainkaan (Salkinoja-Salonen ym. 2010). Toisaalta taas on myös rakennuksia, joissa ihmiset oireilevat, mutta mitatut mikrobimäärät eivät ylitä ministeriön ohje-arvoja, tai toisinpäin (Heikkilä 2009). Syy edellä mainittuihin tapauksiin saattaa olla se, että mikrobien tuottamista kymmenistä tuhansista erilaisista aineista vain muutamista sadoista on tutkimustietoa ja rakennuksissa esiintyvät mikrobituotteet saattavat olla aivan muita tuotteita kuin nämä tunnetut aineet (Salkinoja-Salonen ym. 2010).

Sisäilman mikrobitoksiinipitoisuuksiin vaikuttavat mikrobien elinolosuhteet ja niiden tuottoa lisää esimerkiksi rakennusmateriaalien korkea kosteus (STM 2009, 151–152). On mahdollista, että sisäilman mikrobit käyttäisivät toksiineja eräänlaisina kommunikaatiovälineinä esimerkiksi taistellessaan ravinteista ja vedestä kosteassa rakennusmateriaalissa. Tämä on havaittu eräässä tutkimuksessa, jossa paljastui, että kosteusvauriorakennuksissa esiintyvien mikrobien haitalliset ominaisuudet voimistuivat, kun ne kasvoivat yhdessä. Kosteusvaurion ollessa esimerkiksi asuinrakennuksessa, asukkaat joutuvat mikrobien ”taistelutantereelle” ja altistuvat suurelle määrälle mikrobien

toksiineja. (Heikkilä 2009.) Sisäilman mikrobitoksiineja tuottavia bakteereja ovat muun muassa aktinomykeetit sekä jotkin *Bacillus cereus* -kannat, jotka tuottavat maailman myrkyllisintä bakteerin tuottamaa stabiilia toksiniä, kereulidia. Kereulidi kuljettaa kaliumioneja (K+) tehokkaasti biologisten kalvojen läpi, mikä tekee siitä myrkyllisimmän stabiilin mikrobimyrkyn (Horppu 2008, Salkinoja-Salonen 2009.)

Yleisimmät, mahdollisesti toksineja tuottavat, mikrobisuvut, -lajit ja -ryhmät ovat seuraavat: aktinomykeetit, *Acremonium*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus sydowii*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus versicolor*, *Bacillus cereus*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Memmoniella*, *Oidiodendron*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Stachybotrys*, *Streptomyces*, *Trichoderma* (STM 2003, 82; STM 2009, 172; Sisäilmayhdistys ry 2010b).

4.3 Kuidut

Erikokoisia, -muotoisia ja eri lähteistä peräisin olevia hiukkasia leijaillee ilmassa aina. Hiukkasten koosta käytetään yksikköä mikrometri (= μm), koska suurin osa hiukkasisista on niin pieniä, ettei niitä pysty silmin havaitsemaan. Suuret hiukkaset, esimerkiksi katupöly ja maaperän materiaalit, ovat yleensä kooltaan yli 10 μm , kun taas pienistä, hengitettävistä hiukkasisista pienimmät ovat alle 0,1 μm . Suuret hiukkaset likaavat ympäristöä ja aiheuttavat tämän vuoksi lähinnä viihtyvyyshaittaa, mutta myös ärsytysoireita, kuten nuhaa, yskää sekä kurkun ja silmien kutinaa ja kirvelyä, saattaa ilmetä. Hengitettävät hiukkaset, taas saattavat aiheuttaa terveyshaittaa pienen ja helposti keuhkoputkiin ja keuhkorakkuloihin pääsevän kokonsa vuoksi. (Hengityслиitto Heli ry 2005; STM 2003, 70.)

Sisätiloihin erilaisia hiukkasia pääsee sekä ulkoilmasta että ihmisen omasta toiminnasta sisätiloissa. Sisäilman hiukkaspitoisuuksia lisäävät esimerkiksi tupakan poltto, ruuan valmistus ja huonepöly. (STM 2003, 70.) Jokapäiväiseen elämään liittyvien toimintojen lisäksi sisäilmaan saattaa päästä hiukkasia, erilaisten teollisten kuitujen muodossa. Tällaisia kuituja ovat muun muassa eristeinä ja äänenvaimentimina käytetyt, halkaisijaltaan 0,1–8 μm , mineraalivillakuidut, keräyslasista valmistetut lasikuidut ja villat sekä pääasiassa emäksisistä kiviaineista valmistettu vuorivilla. (Haahtela 2009; Sisäilmayhdistys ry 2010c.) Sisäilmassa kuituja saattaa esiintyä joko leijuvina tai pin-

noille laskeutuvina huolimattoman asennustyön tai ilmapuotojen seurauksena tai ilmanvaihtokanavien kautta. Normaaliolosuhteissa mineraalivillakuituja saattaa esiintyä usein pyyhityillä pinnoilla pari, kolme kappaletta neliösenttimetrin suuruisella alueella. (Sisäilmayhdistys ry. 2010c; 2010d.) Jotta voitaisiin välttyä tällaisten teollisten kuitujen aiheuttamilta ärsytysoireilta, kuitujen lukumäärän tulisi olla usein pyyhityillä pinnoilla alle $0,2 \text{ kpl/cm}^2$ ja toimenpiteisiin, esimerkiksi siivouksen tehostamiseen, on ryhdyttävä, jos harvoin siivottujen pintojen kuitupitoisuudet ovat yli 10 kpl/cm^2 . (Sisäilmayhdistys ry. 2010c; 2010d.)

4.4 Muut terveyshaittaa aiheuttavat tekijät

Terveyshaittaa sisäilmassa voivat aiheuttaa suurina pitoisuuksina myös haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ja tupakan haju sekä puutteellinen ilmanvaihto, melu ja lämpötila. Erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisäilmassa on paljon, vaikka niiden kokonaispitoisuus onkin melko pieni, noin $10\text{--}600 \mu\text{g/m}^3$. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet aiheuttavat lähinnä sisäilmassa viihtyvyyttä heikentäviä hajuhaittoja, mutta terveyshaitaksi ne muodostuvat silloin, kun niiden tiedetään olevan peräisin terveydelle haitallisista yhdisteistä. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tiedetään aiheuttavan esimerkiksi erilaisia silmien, limakalvojen ja ihon ärsytysoireita. (STM 2003; Kallinen 2010.)

Puutteellinen ilmanvaihto, liian korkea tai matala lämpötila ja melu aiheuttavat viihtyvyyshaittaa. Pitkäaikainen veto saattaa muodostua terveyshaitaksi ja lämpötilan ohjearvojen pysyvä välttävän tason alittuminen voi aiheuttaa terveyshaittaa. Myös ilmanvaihto väärin suunniteltuna tai toteutettuna voi aiheuttaa terveyshaittaa. Esimerkiksi ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa sisäilma saattaa vaikuttaa tunkkaiselta ja tiiloissa oleskelevat ihmiset voivat kärsiä muun muassa päänsärystä, väsymyksestä ja keskittymiskyvyn alenemisesta. (STM 2003; STM 2009.)

Meluun ihmiset reagoivat yksilöllisesti ja tilanteesta riippuen. Sen aiheuttamat reaktiot ilmenevät muutoksina elintoiminnoissa ja käyttäytymisessä. Pysyvän kuulovamman aiheutumista voidaan pitää melun vakavimpana vaikutuksena terveyteen. Pysyvä kuulovamma voi syntyä jo hetkellisestä altistumisesta kipukynnyksen ylittävälle (n. 130

dB(A)) melulle tai pitkäaikaisesta altistumisesta 75–85 dB(A) ylittävälle melulle. (STM 2003.)

Sisäilman terveyshaittana voi olla myös ulkoa tai muualta kulkeutuva tupakansavu, jossa on yli 4000 yksittäistä yhdistettä. Näistä yhdisteistä yli sata on ihmiselle haitallisia ja noin neljäkymmentä karsinogeenisiä eli syöpää aiheuttavia. Tupakansavun sisältämät hiukkaset ovat haitallisia pienen kokonsa vuoksi, mikä mahdollistaa hiukkasten kulkeutumisen keuhkoihin. (STM 2003.)

4.5 Yleiset näytteenottomenetelmät

Yllä kuvattujen terveyshaittaa aiheuttavien tekijöiden, mikrobitoksiineja lukuunottamatta, tutkimiseksi on olemassa terveydensuojeluviranomaisten yleisessä käytössä olevat, Asumisterveysohjeessa ja -oppaassa suositellut, näytteenotto- ja mittausmenetelmät. (STM 2009.)

4.5.1 Mikrobi- ja kosteusvaurion tutkiminen

Rakenteiden kosteuden selvittämiseen käytetään sähköiseen havainnointiin perustuvaa kondensaattoria ja mikrobinäytteet voidaan kerätä sisäilmasta tai rakenteista ottamalla pinta- tai materiaalinäyte. Sisäilmanäytteiden keräyksessä suositellaan käytettäväksi 6- tai 2-vaiheimpaktoria, jonka sisään asetettuihin agarmaljoihin näyte kerätään pumpun avulla. Kerätyt näytteet viedään laboratorioon, jossa niistä analysoidaan tietyn viljelyajan kuluttua agarmaljoilla kasvavat mikrobit ja niiden pitoisuus näytteissä. (STM 2009, 48, 154–160.)

4.5.2 Kuitujen näytteenottomenetelmät

Sisäilmassa olevat teollisuuskuitupitoisuudet voidaan selvittää keräämällä näytettä steriiliin-pussiin tietynkokoiselta alueelta tai esimerkiksi imuroimalla pölyä etukäteen punnittuun pussiin tai suodattimelle, joka punnitaan myös näytteenoton jälkeen. Lisäksi kuitupitoisuuksia voidaan tutkia esimerkiksi tietyn pituisen jakson ajalta, jolloin tutkittavaan tilaan voidaan asettaa esimerkiksi vaseliinilla päällystetty lasilevy näyt-

teen keräämistä varten. Näytteet tutkitaan laboratoriossa mikroskooppisesti. (STM 2009, 140.)

4.5.3 Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteenottomenetelmät

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) voidaan tutkia sekä lyhyt- että pitkäaikaisilla näytteenottomenetelmillä. Lyhytaikaiset näytteenotot suoritetaan keräämällä näytettä pumpun avulla adsorptiomateriaalilla pakattuun putkeen useamman tunnin ajan. Pitkäaikaisilla näytteenottomenetelmillä näytteenkeruu-aika on muutamia viikkoja ja näytteet kerätään ns. passiivikeräimillä. Kerätyt näytteet analysoidaan laboratorioissa esimerkiksi kaasukromatografilla tai massaspektrometrillä. (STM 2009, 136–138.)

4.5.4 Ilmanvaihdon mittausmenetelmät

Ilmanvaihdon tehokkuutta tutkitaan esimerkiksi kuumalanka-anemometrillä, jolla voidaan mitata poistoilmavirrat poistoilmaventtiilistä. Ilmavirtauksia voidaan määrittää myös pitot-putkella tai kuumaelementti-anemometrillä ilmanvaihtokanavassa, lähinnä kerrostalojen koneellista ilmanvaihtoa tutkittaessa. Merkkiaineilla voidaan selvittää ilmanvaihdon tehokkuus, kun ilmasta mitataan siihen sekoittuvan kaasumaisen merkkiaineen pitoisuus. Paine-eroja esimerkiksi ulkoilman ja porraskäytävän välillä taas voidaan selvittää mekaanisella tai sähköisellä manometrillä standardin SFS 5512 mukaisesti. (STM 2009, 58–64.)

4.5.5 Lämpötilan mittausmenetelmät

Lämpötila tulisi mitata kylmänä vuodenaikana ja lämpötilan mittaukset tulee suorittaa standardien SFS 5511 kohtien 4, 5 ja 6 mukaisesti. Huoneilman lämpötila voidaan mitata sähköisellä anturilla. Operatiivinen, eli ihmisen lämpöaistimusta kuvaava, lämpötila mitataan pallo-, kuutio- tai ellipsilämpömittarilla ja pintalämpötilan mittaamiseen käytetään infrapuna- tai, pinta-anturilla varustettua, kosteuslämpömittaria. Mahdollisen vedon toteamiseksi voidaan tehdä merkkisavukokeita. (STM 2009, 40–44; Haarala 2009.)

4.5.6 Melumittaus

Melulle ei ole pystytty määrittämään sellaista yksikäsitteistä raja-arvoa, jonka ylittyessä melu aiheuttaisi varmuudella aina niin suurta haittaa, että terveysvalvonnan tulisi edellyttää melun tai melualtistuksen vähentämistä. Melulle on kuitenkin määritetty ohje-arvot, joiden ylittyessä melu saattaa aiheuttaa terveyshaittaa. Melua voidaan mitata äänitasomittareilla ja melun aiheuttaman terveyshaitan arvioimiseen voidaan käyttää apuna laskennallisia menetelmiä. (STM 2009, 88–94.)

4.5.7 Tupakansavun tutkimusmenetelmät

Tupakan savua sisätiloissa voidaan tutkia aistinvaraisesti esimerkiksi polttamalla savupatruuna tupakansavun oletetussa lähtöpaikassa. Kahden tilan välisten vuotokohtien tutkimiseen voidaan käyttää merkkiaineita ja kaasuanalysaattoreita ja nikotiinipitoisuuden määrittäminen tapahtuu aktiivikeräyksenä, jossa ilmaa imetään pumpulla kiinteään adsorptiomateriaaliin noin 100–600 minuutin ajan. (STM 2009, 141.)

5 SISÄILMATUTKIMUS

5.1 Käytetyt näytteenottomenetelmät

Koska tutkimuksen tarkoituksena oli saada mahdollisimman kattava kuva tutkittavien koulujen sisäilman laadusta, keskityttiin tutkimuksessa eri sisäilmaongelmien aiheuttajiin ja käytettiin eri näytteenottomenetelmiä. Näytteenottojen yhteydessä kirjattiin muistiin muutamia fysikaalisia olosuhteita, kuten lämpötila ja kosteus sekä sisällä että ulkona.

5.1.1 Andersenin keräin

Sisäilman mikrobikantojen ja niiden pitoisuuksien selvittämiseen käytettiin 6-vaiheimpaktoria, eli niin kutsuttua Andersenin keräintä, jota käytetään yleisesti niin asuntojen kuin muidenkin oleskelutilojen sisäilman mikrobipitoisuuksien tutkimiseen.

(KTL 2008, 21–22.) Andersenin keräimellä pyritään selvittämään, onko sisäilmassa mikrobeista johtuvaa terveyshaittaa, vaikka varsinaista näkyvää kasvustoa ei olisikaan havaittu (STM 2009, 157–159). Näytteenotto Andersenin keräimellä perustuu sisäilman virtaukseen impaktorin läpi, jolloin sisäilmassa olevat mahdolliset mikrobit kulkeutuvat ilman mukana impaktoriin ja jäävät impaktoriin asetettuihin kasvatusalustoihin (STM 2009, 157–159).

Ennen näytteenottoa keräin puhdistettiin 70-prosenttisella etanolilla ja kalibroitiin niin, että sen tilavuusvirta oli 28,3 litraa minuutissa. Tämän jälkeen agar-kasvualustalla täytetyt petrimaljat asetettiin paikoilleen impaktorin eri vaiheisiin ja aloitettiin varsinainen näytteenotto (kuvat 1 ja 2). Sosiaali- ja terveysministeriön antaman ohjeistuksen mukaan näytteenottoaika on normaalisti 10–15 minuuttia ja Helsingin ympäristökeskuksella on vakioitunut käytäntö käyttää näytteenottoon 10 minuuttia, joka oli myös tutkimuksen sisäilmanäytteenottoaika. (Österholm 2010; STM 2009, 157–159.)

Sisäilmanäytteenotolle suotuisin ajankohta on talvi, jolloin maa on lumen peitossa. Tällöin ulkoilman sieni-itiöiden ja aktinomykeettipitoisuudet ovat mahdollisimman vähäisiä, eivätkä ne oletettavasti vaikuta sisäilman mikrobipitoisuuksiin. Jos taas näytteenotto on suoritettava kesäaikaan tai leutona talvena, tulee ottaa näyte myös ulkoilmasta, noin 1,5 metrin korkeudelta ja vähintään 5 metrin etäisyydeltä sekä tutkittavasta että muista rakennuksista. Tämän tutkimuksen aikana talven näytteenottojaksolla ei tarvittu ulkoilma-näyteitä, koska vuoden 2010 talvi oli runsasluminen, eli mikrobien lähteet luonnossa oli siten minimoitu. (KTL 2008, 21–25; STM 2009, 157–159.)

Näytteenotto suoritettiin ajankohtina, jotka vastasivat kohteiden normaaleja käyttötilanteita. Siivoojia pyydettiin välttämään siivousta luokissa noin kahta tuntia ennen näytteenottoja. Lisäksi näytteenoton aikana pyrittiin siihen, että samassa tilassa oleskeli mahdollisimman vähän ihmisiä ja ikkunat ja ovet pidettiin suljettuina. (KTL 2008, 21–25; STM 2009, 157–159.) Näytteet tutkittiin Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten omistamassa elintarvike-, vesi- ja ympäristönäytteitä tutkivassa laboratoriossa, MetropoliLab Oy:ssä.



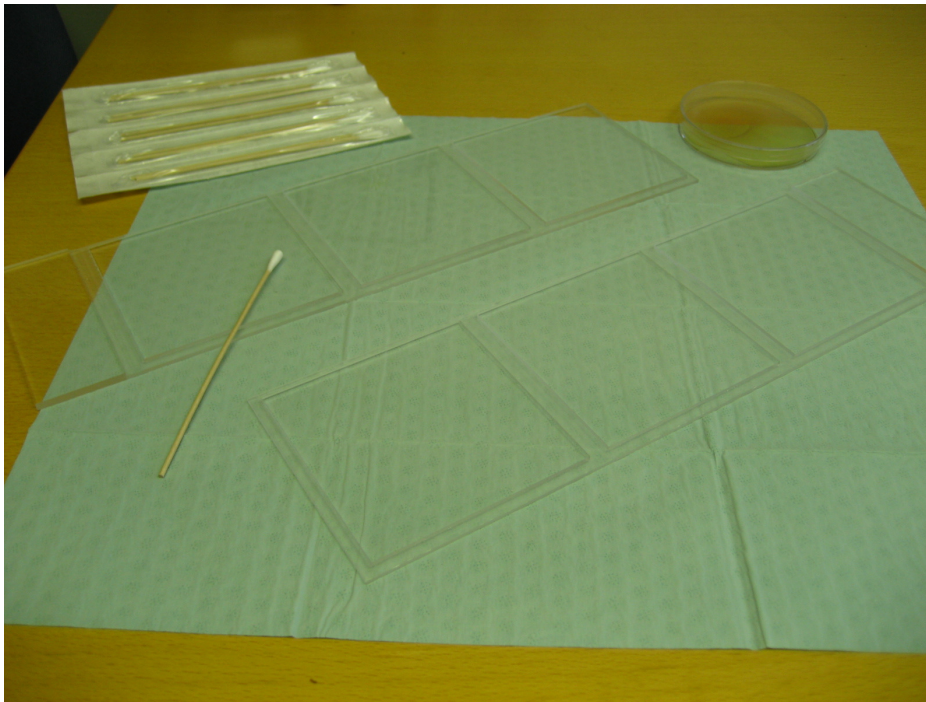
KUVA 1. Kaksi Andersenin keräintä puhdistusvaiheessa ennen näytteenottoa.



KUVA 2. Sisäilmanäytteenotto Andersenin keräimillä (näytteenottoaika 10 min).

5.1.2 Laskeumapölykeräys

Andersenin keräimellä saatujen mikrobinäytteiden lisäksi määritettiin mikrobipitoisuuksia ja -kantoja myös laskeumapölystä asettamalla tutkittavaan tilaan 10 x 30 senttimetrin kokoisia polykarbonaattilevyjä (kuva 3). Levyjen annettiin olla paikoillaan kaksi viikkoa, minkä jälkeen niiden pinnoille kerääntynyt pöly kerättiin steriilissä liuoksessa kostutetuilla pumpulipuikoilla ja siveltiin DG-18-, TGY- ja mallas-agar-maljoille. Mahdollisten mikrobien annettiin kasvaa maljoilla parin viikon ajan laboratoriossa. Laskeumapölynäytteitä otettiin muun muassa sen vuoksi, että sillä saatiin näytteitä pidemmän jakson ajalta Andersenin keräimellä otettuihin näytteisiin verrattuna. Lisäksi DG-18-agarin avulla oli mahdollista selvittää sisältääkö näyte esimerkiksi kuivemmissa olosuhteissa viihtyviä mikrobeja. (Österholm 2010; Hernesmaa 2010.) Näytteet tutkittiin Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten omistamassa elintarvike-, vesi- ja ympäristönäytteitä tutkivassa laboratoriossa, MetropoliLab Oy:ssä.



KUVA 3. Laskeumapölykeräykseen tarkoitettut polykarbonaattilevyt.

5.1.3 Mikrobitoksisuustesti

Sisäilman mikrobitoksisuustesti on kehitetty Helsingin yliopiston kemian ja mikrobiologian laitoksella ja sen avulla voidaan selvittää löytyykö esimerkiksi sisätiloihin kerääntyneestä pölystä mikrobitoksiineja. Mikrobitoksisuusnäytteet lähetettiin tutkitta-

viksi sekä MetropoliLab Oy:n laboratorioon että Oululaiselle myrkyllisyystutkimuslaboratoriolle, Inspector Sec Oy:lle. MetropoliLab Oy:n menetelmä ja antama ohjeistus on kuvailtu tarkemmin tässä luvussa.

Testiä varten tutkimuksessa kerättiin pölyä steriileillä kankailla (n. 15 cm x 20 cm), jotka toimitettiin laboratorioon tutkittaviksi. Kankaista mahdolliset toksiinit uutettiin etanoliin ja liuos konsentroidiin haihduttamalla. (Kalso 2010a.) Uutteen toksisuus määritettiin käyttäen testiorganismina karjun siittiösoluja, joita on helposti saatavilla ja joiden liikkuvuus on suoraan verrannollinen solujen mitokondrioiden, eli solujen energiantuotantoelinten, toimintaan (Laakso ym. 2001, 11). Sian siittiötesti on EU:n säädöksiin perustuva solutoksikologinen, eli *in vitro* testi, johon ei kuulu eläinkokeita (Salkinoja-Salonen ym. 2010, 97). Ennen siittiösolutestiä siittiöiden liikkuvuus testataan altistamalla solut etanolille ja tarkistamalla niiden liikkuvuus mikroskopoimalla. Kun siittiöistä yli 50 prosenttia ui vilkkaasti, ne soveltuvat käytettäväksi testissä. Toksisiksi näytteiksi voidaan luokitella uutteen, jotka pysäyttävät karjun siittiöiden uintiliikkeen pienissä pitoisuuksissa. Tulokset ilmoitetaan EC_{50} -arvona, jossa EC_{50} (effective concentration) on se uutteen pitoisuus, joka pysäyttää liikkeen 50 prosentista siittiöitä etanolilla altistettuihin siittiöihin verrattuna. (Laakso ym. 2001, 1, 3.)

Mikrobien toksiinien tutkiminen sisäilmanäytteistä on kuitenkin vaikeaa muun muassa sen vuoksi, että toksiineja on lukuisia ja tutkimustietoa on vielä vähän. Tällä hetkellä toksisuustestiä voidaan lähinnä käyttää mahdollisen toksisuuden läsnäolon arvioimiseen oleskelutilan sisäilmassa, ei myrkyllisten yhdisteiden tunnistamiseen. (Kalso 2010a; 2010b; Työterveyslaitos 2010.) Massaspektrometriaan perustuvilla menetelmillä on kuitenkin pystytty määrittämään muutamia mikrobitoksiineja ja niiden pitoisuuksia, mutta menetelmien kehitystyö on vielä kesken. Esimerkiksi työterveyslaitos ja ympäristökeskus eivät vielä suosittele toksisuustestin käyttöönottoa sisäilmaongelmien tunnistamiseen ja terveyshaitan arviointiin ennen kuin saadaan lisää tutkimustuloksia. (Työterveyslaitos 2010.)

5.1.4 Kuitunäytteet

Sisäilman mahdolliset teollisuuskuitupitoisuudet määritettiin ottamalla pintapyyhintänäytteitä noin 30 x 30 senttimetrin suuruiselta alueelta nurinpäin käännettyllä Minigrip-

pussilla. Näytteenoton jälkeen pussi käännettiin oikein päin, suljettiin tiiviisti ja vietiin Mikrofokus Oy:n laboratorioon analysoitavaksi. Kouluissa pyyhittäväksi pinnaksi valittiin pulpetin pinta ja pattereiden taustat. (Sisäilmayhdistys ry 2010d.) Laboratoriossa pyyhintämenetelmällä kerättyjen kuitujen pitoisuus selvitettiin huuhtelemalla pussin sisältö tislattulla vedellä, joka laskettiin suodattimen läpi. Tämän jälkeen suodattimesta valmistettiin preparaatti, jota tarkasteltiin sekä elektronimikroskoopilla että röntgenanalysaattorilla. (STM 2009, 140; Sisäilmayhdistys ry 2010d; Mikrofokus Oy 2010.)

5.2 Tutkimussuunnitelma

Varsinaisia sisäilman mikrobinäytteitä oli alustavasti tarkoitus ottaa Andersenin keräimellä kaksi kahden viikon jaksoa talvella ja keväällä 2010. Jaksojen aikana näytteitä olisi otettu aamulla, ennen koulun alkua, sekä iltapäivällä-illalla, koulun päätyttyä kolmesta eri koulusta, joista jokaisesta oli tarkoitus valita kaksi luokkaa tutkimusta varten. Alkuperäiseen näytteenottosuunnitelmaan tuli kuitenkin lieviä muutoksia. Näytteitä otettiin kyllä kahdessa jaksossa, mutta jaksoista vain ensimmäinen, talvijakso, kesti kaksi viikkoa ja jälkimmäinen, kevätjakso, lyhennettiin viikon pituiseksi.

Näytteidenottojaksot ajoitettiin niin, että näytteitä saatiin sekä helmikuussa (talvijakso), maan ollessa lumen peitossa, että huhtikuussa (kevätjakso), maan ollessa jo osittain sulaa. Kuten oli suunniteltukin, talvijakson aikana otettiin sisäilmanäytteitä maanantaina, keskiviikkona ja perjantaina Andersenin keräimellä aamulla, ennen koulun alkua, sekä iltapäivällä koulun loputtua kaikista kolmesta koulusta. Luokkien lukumäärää vähennettiin, joten tutkimukseen valittiin yhteensä viisi luokkaa, yksi verrokkikoulusta (Luokka 1.1) ja kaksi kummastakin tutkittavasta koulusta. Koska koulurakennukset ovat laajoja tutkimuskohteita, luokat valittiin eri puolilta rakennusta. Kevätjaksolla vertailtiin enää yhtä ongelmakoulua verrokkikouluun.

Sisäilman mikrobinäytteiden lisäksi molemmilla tutkimusjaksoilla tutkittaviin luokkiin oli tarkoitus asettaa polykarbonaatti-levyt laskeumapölykeräystä varten kahdeksi viikoksi ovien päälle. Laskeumapölykeräyksen alkuperäiseen suunnitelmaan jouduttiin kuitenkin tekemään pieniä aikataulullisia muutoksia, sillä Koulun 2 luokissa (2.1 ja 2.2), joista näytteet otettiin, oli päivittäin kekseliästä nuorisoa, jonka ansiosta las-

keumapölylevyt tippuivat ovenkarmien päältä lattialle muutaman kerran tutkimusjaksojen aikana. Vahingosta viisastuneena luokkiin asetettiin levyt myös hyllyjen päälle nuorison ulottumattomiin ja näytteenottojakso aloitettiin välittömästi alusta laskeumapölylevyjen osalta kyseenomaisessa koulussa.

Toksisuusnäytteet otettiin talvella MetropoliLab Oy:n menetelmällä, kaikista viidestä tutkittavasta luokasta, keräämällä pölyä kangasliinoilla. Keväällä toksisuusnäytteitä otettiin kangasliinakeräyksen lisäksi Inspector Sec Oy:n menetelmällä. Kevätjaksolla toksisuusnäytteet otettiin vain Koulujen 1 ja 2 luokista.

Tutkimuksessa haluttiin myös selvittää, onko sisäilmaan päässeillä kuiduilla vaikutusta ihmisten kokemaan ärsytysoireiluun ja jos on, kuinka paljon. Alla on luetteloitu tarkemmin toteutettu näytteenottoaikataulu ja sen toteutus.

Sisäilmanäytteenotto Andersenin keräimellä:

- näytteet otettiin joka toinen päivä, viikoilla 5 ja 6 sekä 15
- näytteiden otto suoritettiin kaksi kertaa päivässä, ennen koulun alkua ja koulun päätyttyä.

Laskeumapölykeräys:

- levyt asetettiin paikoilleen ensimmäisen sisäilmanäytteenotto-jakson alussa maanantaina (1.2.2010), eli viikolla 5
- Koulun 2 luokan 2.2 laskeumapölylevy oli pudonnut, sitä oli pyyhitty ja se oli nostettu paikoilleen väärinpäin, joten näytteenotto aloitettiin alusta luokan osalta ja kaksi uutta levyä vietiin luokkaan keskiviikkona (17.2.2010), eli viikolla 7
- ensimmäisen jakson laskeumapölynäytteet kerättiin maanantaina (15.2.2010) viikolla 6 lukuun ottamatta luokkaa 2.2, josta kerättiin näytteet keskiviikkona (3.3.2010) viikolla 9
- kevään laskeumapölylevyt asetettiin paikoilleen perjantaina (9.4.2010) viikolla 14
- Koulun 2 luokan 2.1 laskeumapölylevy oli pudonnut ja asetettu paikoilleen väärinpäin tiistaina (13.4.2010) viikolla 15, levy laitettiin oikeinpäin paikoilleen maanantaina (19.4.2010) viikolla 16, kun sisäilmanäytteenotto-jakso alkoi Andersenin keräimellä

- kaikki levyt poistettiin ja niistä kerättiin näytteet sisäilmanäytteenotto-jakson viimeisenä perjantaina (23.4.2010), eli viikolla 16.

Toksisuusnäytteet:

- ennen näytteenottoja pyydettiin siivoojia välttämään pölyjen pyyhkimistä pään yläpuolella olevilta pinnoilta
- näytteet kerättiin yllä mainituilta siivoojien kanssa sovituilta pinnoilta viikkojen 6 ja 16 perjantaina (23.4.2010 ja 12.2.2010).

Kuitunäytteet:

- näytteet kerättiin patterin taustoilta ja pulpettien pinnoilta vain perjantaina (12.2.2010) viikolla 6.

5.3 Kohteet

Tätä opinnäytetyötä varten valittiin Helsingin alueelta kaksi koulua, joista oli tullut ympäristökeskukselle ilmoituksia henkilökunnalta tai oppilaiden vanhemmilta erilaisista sisäilman ärsytysoireista. Vertailukohteena oli koulu, jossa ei ollut raportoitu sisäilmaongelmaa. Ihanteellisin tilanne olisi ollut se, että kaikki tutkimuksessa mukana olleet koulut olisivat olleet suunnilleen samanikäisiä ja -kokoisia, mutta kolmen ominaisuuksiltaan toisiaan vastaavan koulun löytäminen saman kaupungin alueelta oli aikataulullisesti mahdotonta.

5.3.1 Koulu 1

Koulu 1 on valmistunut elokuussa 2001 ja sen tiloissa toimii sekä ala-aste että päiväkotikoti. Päiväkodissa on 47 päivähoitopaikkaa ja ala-aste on mitoitettu kymmenelle perusopetusryhmälle, yhteensä noin 270 oppilaalle. Rakennus on kaksikerroksinen, sen tilavuus on 22 800 m³ ja pinta-ala 3 400 m², josta ala-asteen pinta-alan osuus on 2 712 m². (Poikkilaakson ala-aste 2001; Päättöluettelonote 2001.) Koulun ilmanvaihto on koneellinen, jota suunniteltaessa on pyritty siihen, että järjestelmä olisi luonnonmukainen, terveellinen, vedoton ja äänetön. Ilmanvaihtojärjestelmä ohjaa ilmavirtoja tarkoituksenmukaisesti, se on lisäksi energiataloudellinen ja helppo puhdistaa ja huoltaa. (Poikkilaakson ala-aste 2001.) Kyseisellä ala-asteella ei ole todettu minkäänlaisia si-

säilmaongelmia ja se valittiin tutkimuksen verrokkikouluksi (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2009).



KUVA 4. Koulu 1

5.3.2 Koulu 2

Ala-aste on otettu käyttöön vuonna 1967 (Myllypuron ala-aste 2010). Kouluisännän mukaan oppilaita koulussa on noin 220 ja sen pinta-ala on 3 422 brm² ja tilavuus 13 175 m³ (kuva 2). Koulun automaattinen ilmanvaihto on pääsääntöisesti päällä koulupäivän ajan noin klo 06.00–18.00.



KUVA 5. Koulu 2

5.3.3 Koulu 3

Ala-aste on vuonna 1978 valmistunut kaksikerroksinen, tasakattoinen, rakennus, jonka alapohjana on maavarainen laatta ja ulkoseinät ovat pääosin puhtaaksimuurattuja tiilivilla-tiili-seiniä. Kouluisännän mukaan koulun hyötyala on 5835 m² ja tilavuus 23795 m³, oppilaita koulussa on yhteensä 430 ja henkilökuntaa 60. Koulun ilmanvaihtojärjestelmä on koneellinen ja automatisoitu niin, että se on päällä klo 06.00–16.00. Elokuussa 2008 tehdyn kuntotutkimuksen perusteella havaittiin rakennuksessa olevan puutteita muun muassa ilmanvaihtojärjestelmässä, jonka koneisto oli pääosin alkuperäinen, 1970-luvulla asennettu. Kuntotutkimuksen mukaan ilmanvaihtokoneet olivat huonokuntoisia ja rakennus oli ylipaineinen. Ala-asteella on havaittu aiemmin myös joissakin tiloissa homeen hajua ja tunkkaisuutta. Kuntotutkimuksissa ja muissa tarkastuksissa havaittuja ilmanvaihtojärjestelmän ja rakenteiden puutteita ja vikoja on korjattu ja osaan luokista on asennettu uusia ilmanvaihtolaitteita.



KUVA 6. Koulu 3

6 TULOKSET

6.1 Luokkien sieni-itiöpitoisuudet talvella 2010

Tämän hetkisen tietämyksen mukaan terveistä koulurakennuksista otettujen sisäilmanäytteiden sieni-itiöpitoisuudet ovat yleensä alle 50 pmy/m^3 ja vaurioituneissa kohteissa talviaikaiset pitoisuudet ovat noin $50\text{--}500 \text{ pmy/m}^3$. Lisäksi ilmanäytteistä saatujen itiöpitoisuuksien mediaanin on oltava yli 20 pmy/m^3 ja näytteissä saa olla vain harvoja määritysrajan alittavia arvoja, eli niin kutsuttuja ”nolla”-tuloksia. Tulosten tulkinta ei kuitenkaan ole näin yksinkertaista vaan yksittäisen näytteen pitoisuus saattaa satunnaisesti olla muita suurempi, mikä voi johtua luokkatiloissa oppilaiden liikkumisesta sekä ulkona että sisällä tai esimerkiksi luonnonmateriaalien käsittelystä. Jotta voidaan varmasti todeta, että rakennuksessa on kosteusvaurio, tarvitaan aina myös rakennusteknisiä selvityksiä. (KTL 2008, 27–29.)

Helmikuussa 2010 otettujen sisäilmanäytteiden tulosten tarkastelussa havaittiin, että Koulun 2 luokan 2.1 sieni-itiöpitoisuudet olivat muihin tutkittuihin luokkiin ja ohje-

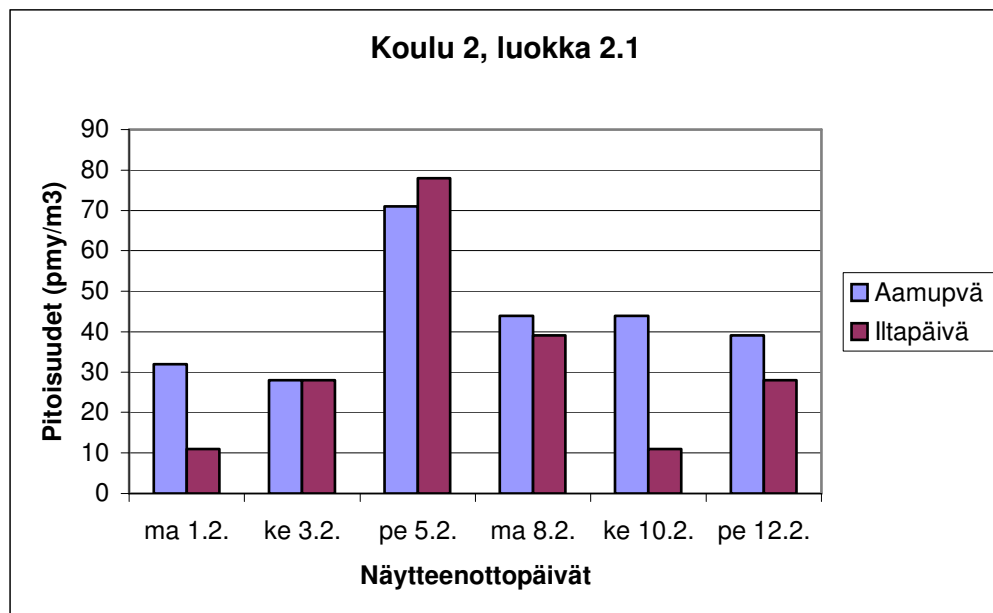
arvoihin verrattuna koholla sekä aamuisin, että iltapäivisin. Luokan itiöpitoisuuksien mediaani oli $35,5 \text{ pmy/m}^3$, mikä viittaa mikrobivaurioon. Luokan 2.1 näytteistä ei myöskään löytynyt lainkaan ”nolla”-tuloksia, mikä lisäsi edelleen kosteusvaurioepäilyjä (taulukko 1 ja kuva 7a).

Muissa kouluissa ja luokissa oli havaittavissa vain muutamia muiden lajien yksittäisiä pesäkkeitä (kuvat 7b, 7c, 7d ja 7e). Tästä syystä voitiin tutkimuksesta jättää jatkossa kokonaan pois Koulu 3, jossa tulosten perusteella ei voitu osoittaa puutteita. Huomatavaa oli se, että sieni-lajeja tarkasteltaessa löydettiin kosteusvaurioihin viittaavia sieni-lajeja Koulun 2 luokan 2.1 lisäksi myös verrokkikoulusta. Suurin osa verrokkikoulun näytteistä löytyneistä sieni-itiöistä kuului tyypillisesti sisäilmassa esiintyvään *Penicillium*-sukuun. Kahtena iltapäivänä, maanantaina ja perjantaina, viikolla 5, sekä yhtenä aamupäivänä viikolla 6 otetuissa näytteissä esiintyi kuitenkin kostuneilla rakennusmateriaaleilla viihtyviä *Aspergillus*-lajin sieni-itiöitä sekä *Paecilomyces variotiin* pesäkkeitä muodostavia yksiköitä (4 pmy/m^3) (taulukko 2). Maanantaina otetuissa näytteissä 34 % kaikista näytteen pesäkkeistä oli *Eurotium*-sienipesäkkeitä ja perjantaina 14 prosenttia otetun näytteen pesäkelukumäärästä oli hyvin yleisesti maaperässä ja mädäntyvässä materiaalissa viihtyvän *Aspergillus flavus*-suvun sieni-itiöitä (The University of Adelaide 2010).

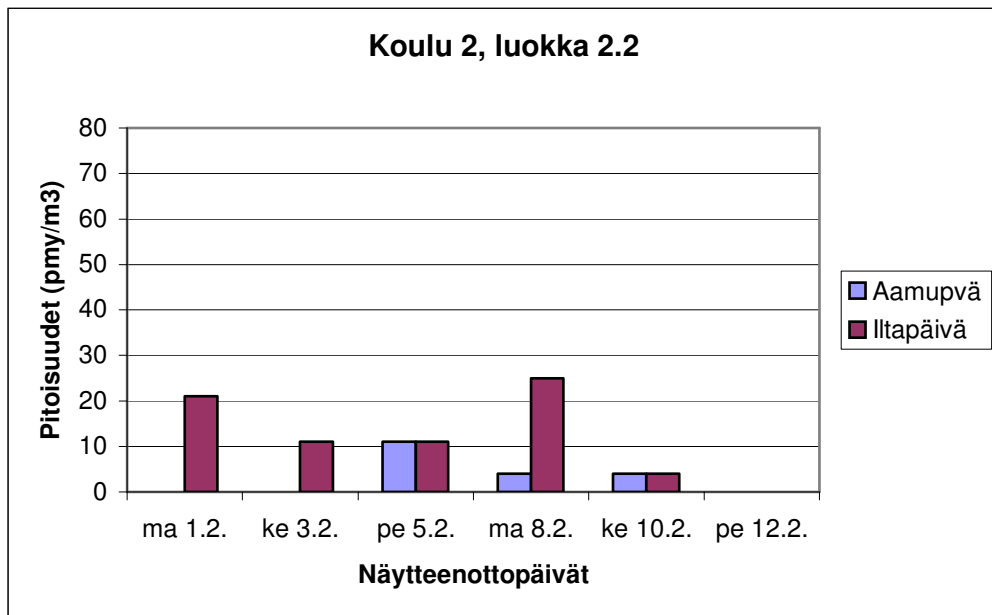
TAULUKKO 1 Sieni-itiöpitoisuudet talvella 2010 sekä aamupäivällä (ap) että iltapäivällä (ip).

Sieni-itiöpitoisuudet (pmy/m ³)					
päivä	Koulu 1	Koulu 2		Koulu 3	
	luokka 1.1	luokka 2.1	luokka 2.2	luokka 3.1	luokka 3.2
ap ma 1.2.	0	32	*	0	0
ap ke 3.2.	0	28	0	0	0
ap pe 5.2.	0	71	11	0	0
ap ma 8.2.	0	44	4	0	0
ap ke 10.2.	0	44	4	0	0
ap pe 12.2.	4	39	0	0	0
ip ma 1.2.	11	11	21	7	0
ip ke 3.2.	7	28	11	0	0
ip pe 5.2.	0	78	11	0	0
ip ma 8.2.	25	39	25	4	0
ip ke 10.2.	0	11	4	0	0
ip pe 12.2.	0	28	0	4	4
Mediaani	0	35,5	4	0	0
Nollatuloksia	8	0	3	9	11
Keskiarvo	4	38	8	1,3	0,3

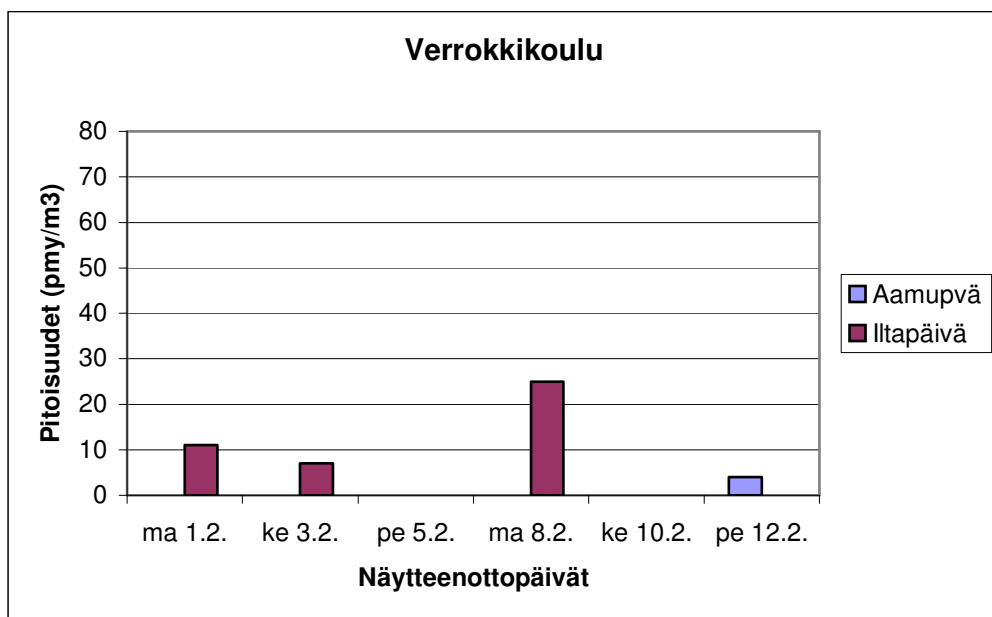
* Luokan 2.2 näyte maanantai-aamuna 1.2. jäi ottamatta, sillä tunti oli jo ehtinyt alkaa.



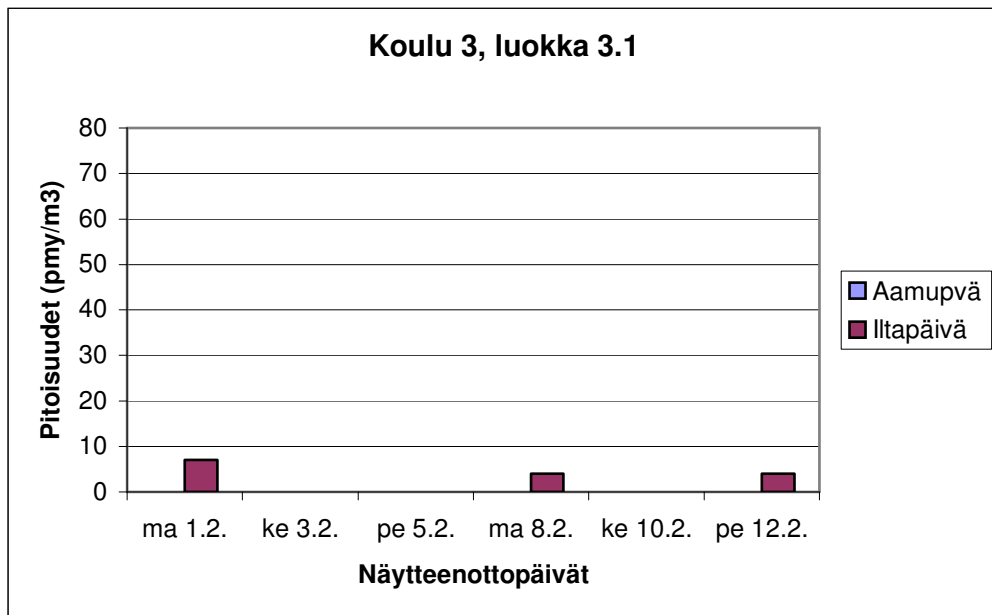
KUVA 7a. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot.



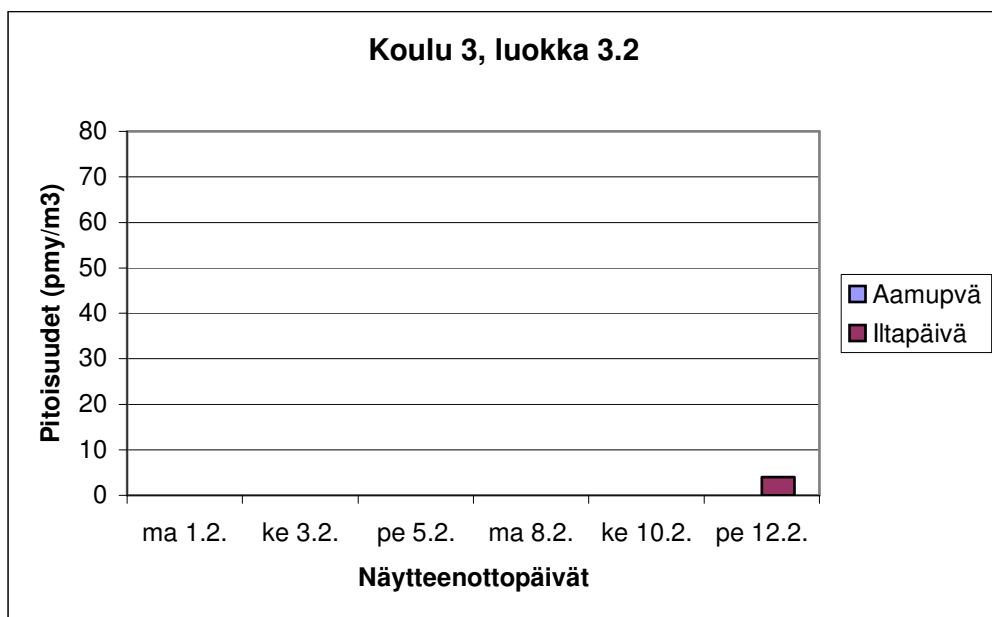
KUVA 7b. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot.



KUVA 7c. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot verrokkikoulussa eli Koulussa 1.



KUVA 7d. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot.



KUVA 7e. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot.

6.2 Luokkien aktinomykeetti-pitoisuudet talvella 2010

Sieni-itiöpitoisuuksien lisäksi Koulun 2 luokista (2.1 ja 2.2) löytyi aktinomykeettejä näytteistä, jotka oli kerätty sekä Andersenin keräimellä että laskeumapölylevyillä (taulukko 2). Aktinomykeettipitoisuudet olivat kuitenkin pääosin pieniä, alle raja-arvon, 10 pmy/m³.

TAULUKKO 2. Talvella Andersenin keräimellä (A) ja laskeumapölystä (L) luokista kerätyistä näytteistä löytyneet sienisuvut sekä aktinomykeetit.

	Luokka 1.1	Luokka 2.1	Luokka 2.2	Luokka 3.1	Luokka 3.2
Aspergillus sp.		A			
Aspergillus niger*	L				
Aspergillus flavus*	A				
Cladosporium sp.		L A	L A	A	
Eurotium sp.*	L A				
Geotrichum sp.	L				
Mycelia sterilia	A	A	L A	A	
Paecilomyces variotii*	A	A			
Penicillium sp.	A	A	L A	A	A
Penicillium spp.		L A			
Trichoderma sp.*				L	
Aktinomykeetit*		A	L		

* Kosteusvauriota indikoiva mikrobilaji/-suku.

6.3 Luokkien bakteeripitoisuudet talvella 2010

Bakteeripitoisuudet olivat yleensä tutkittavissa kohteissa kohonneet selvästi iltapäivällä aamupäivän näytteisiin verrattuna. Tämä on luonnollista, sillä jo ihmisen iholla elää 10 000 bakteeria/cm², jotka pääsevät kulkeutumaan sisätiloihin ihmisten mukana (Pelczar ym. 1986, 678–679). Bakteeripitoisuudet olivat satunnaisesti yllättävän korkeita Koulun 2 luokassa 2.1 jo aamupäivällä, mikä johtui siitä, että luokassa oli käynyt opettaja ja oppilaat hieman ennen näytteenottoa. Bakteeripitoisuudet eivät ylittäneet sisäilmalle annettua raja-arvoa, 4500 pmy/m³. Pitoisuudet olivat kuitenkin usein iltpäivällä korkeammat verrokkikoulusta otetuissa näytteissä kuin muiden koulujen näytteissä (taulukko 3). Kohonneet bakteeripitoisuudet saattavat johtua ilmanvaihtojärjestelmän keskittämisestä koulun aulatilaa sekä siitä, että koulun oppilasmäärä on kasvanut hieman aiemmin suunnitellusta oppilasmäärästä, jolloin ilmanvaihtojärjestelmän

tehokkuus on henkilömäärään verrattuna heikentynyt. Bakteripitoisuuksien selvään kohoamiseen verokkoulussa iltapäivällä saattoi olla syynä myös ilmanvaihdon automatisointi ja sen pyrkiminen energiatehokkaaseen toimintaan. Tällöin ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia hitaammin pakkasella lämpimämpiin sääolosuhteisiin verrattuna.

TAULUKKO 3. Bakteripitoisuudet aamupäivällä (ap) ja iltapäivällä (ip) talvella 2010.

Bakteripitoisuudet (pmy/m ³)					
päivä	Koulu 1	Koulu 2		Koulu 3	
	luokka 1.1	luokka 2.1	luokka 2.2	luokka 3.1	luokka 3.2
ap ma 1.2.	4	25	*	0	7
ap ke 3.2.	7	140	7	7	7
ap pe 5.2.	18	1400	4	7	18
ap ma 8.2.	60	53	0	4	13
ap ke 10.2.	18	610	0	4	4
ap pe 12.2.	18	750	0	11	0
ip ma 1.2.	1200	140	60	110	78
ip ke 3.2.	1700	85	170	35	18
ip pe 5.2.	300	100	270	4	11
ip ma 8.2.	2800	360	270	140	9
ip ke 10.2.	550	53	340	22	4
ip pe 12.2.	71	4	240	0	4

* Luokan 2.2 näyte maanantai-aamuna 1.2. jäi ottamatta, sillä tunti oli jo ehtinyt alkaa.

6.4 Kuitunäytteet talvella 2010

Talvijakson lopussa otettujen kuitunäytteiden analysointitulosten perusteella voitiin todeta, ettei missään tutkimuskohteessa ollut havaittavissa terveyshaittaa aiheuttavia teollisia kuituja. Näytteiden kuidut tunnistettiin lähinnä tekstiili- ja paperikuiduiksi. Koska tulosten mukaan kouluissa ei ollut mineraalikuiduista johtuvaa haittaa, kuitunäytteitä ei enää jatkossa otettu.

6.5 Luokkien sieni-itiöpitoisuudet keväällä 2010

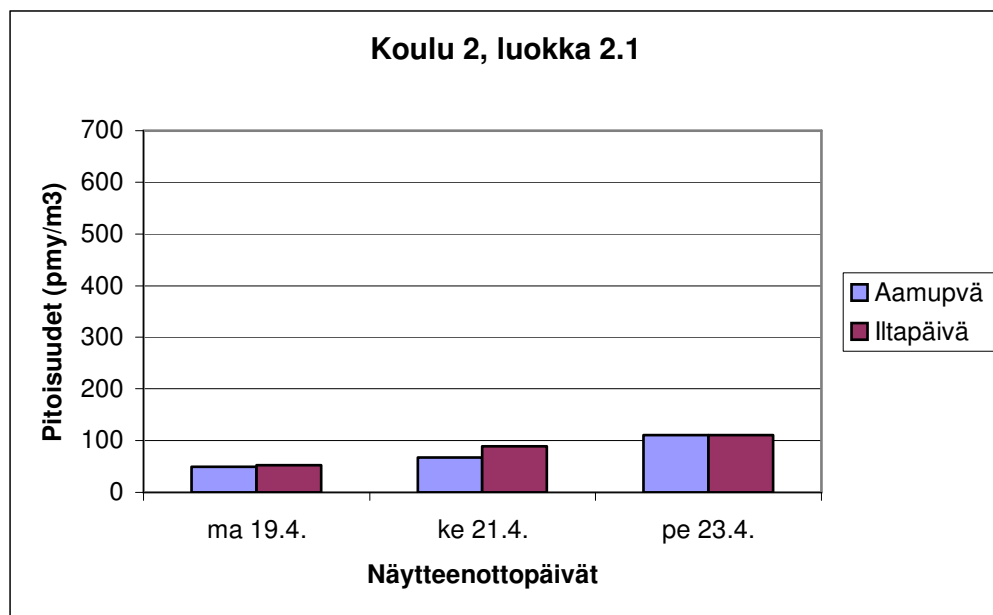
Kevään näytteenottojakso kohdistettiin ongelmakouluun, eli Kouluun 2, jonka pitoisuuksia verrattiin verrokkikouluun. Koulu 3 jätettiin pois tutkimuksesta, koska näytteenoton perusteella sen sisäilmasta ei löydetty poikkeavia mikrobipitoisuuksia talvijaksolla.

Keväällä otettujen näytteiden sieni-itiöpitoisuudet olivat kaikissa kolmessa tutkitussa luokassa koholla verrattuna talviaikaisiin pitoisuuksiin. Koulujen kosteus- ja homevaurio-oppaassa annettujen ohje-arvojen mukaan kosteusvauriottomassa rakennuksessa voi olla vain muutamia näytteitä, joiden pitoisuus ylittää talviaikana 50 pmy/m^3 . Kevätjakson näytteistä ohje-arvon ylittivät useat näytteet sekä verrokki- että tutkitussa koulussa (kuvat 8a, 8b ja 8c). Kuten kuvasta 8a voidaan havaita, pitoisuudet olivat useita satoja pesäkkeitä muodostavia yksiköitä yhdessä kuutiometrissä (pmy/m^3), erityisesti Koulun 2 luokassa 2.2 (kuva 8a). Sulan maan aikaan sieni-itiöiden lähteenä toimii myös ulkoilma. Kevätjakson aikana otettuun ulkoilmanäytteeseen, jonka sieni-itiöpitoisuus oli 88 pmy/m^3 , verrattuna pitoisuudet luokassa olivat kuitenkin selvästi korkeat (taulukko 4). Kuten taulukosta 4 voidaan havaita, jokaisen tutkitun luokan sieni-itiöpitoisuuksien mediaani oli reilusti yli 20 pmy/m^3 , eikä nollatuloksia löytynyt lainkaan. Koulun 2 luokassa 2.2 pitoisuudet ylittivät useampaan otteeseen jopa 500 pmy/m^3 . Epäilyt vauriosta Koulussa 2 vahvistuivat luokista löytyneitä sieni-sukuja tarkasteltaessa. Sekä Andersenin keräimellä että laskeumapölylevyillä kerätyistä näytteistä löytyi kosteusvauriota indikoivia sukuja ja lajeja, muun muassa *Aspergillus flavus* ja *Eurotiumia*, kuten voidaan myös nähdä taulukosta 5.

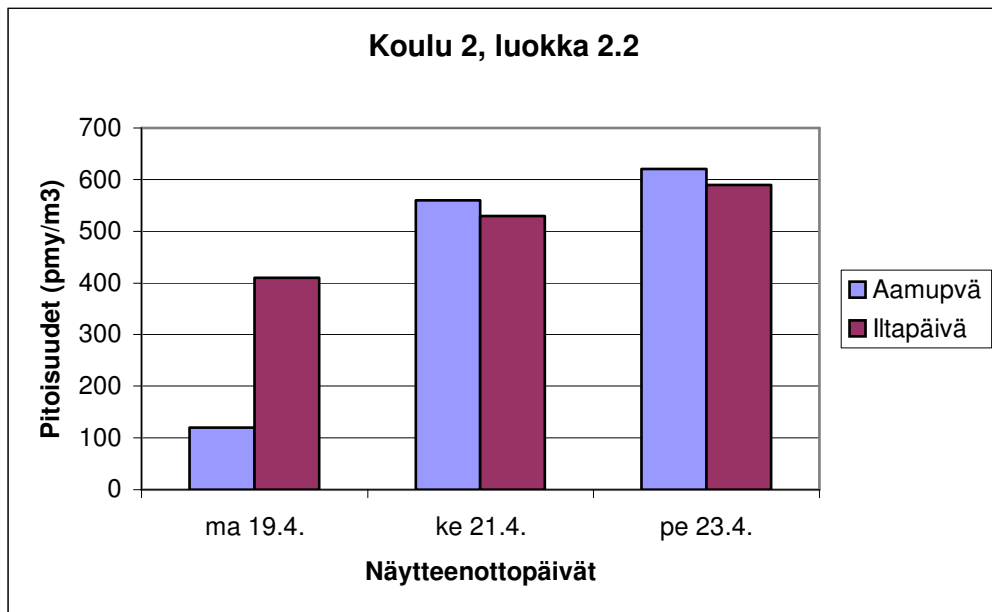
TAULUKKO 4. Luokkien sieni-itiöpitoisuudet aamupäivällä (ap) ja iltapäivällä (ip) keväällä 2010.

Sieni-itiöpitoisuudet (pmy/m ³)			
päivä	Koulu 1	Koulu 2	
	luokka 1.1	luokka 2.1	luokka 2.2
ap ma 19.4.	71	50	120
ap ke 21.4.	64	67	560*
ap pe 23.4.	150	110	620*
ip ma 19.4.	35	53	410
ip ke 21.4.	57	89	530*
ip pe 23.4.	46	110	590*
Mediaani	60,5	78	545
Nollatuloksia	0	0	0
Keskiarvo	71	80	472

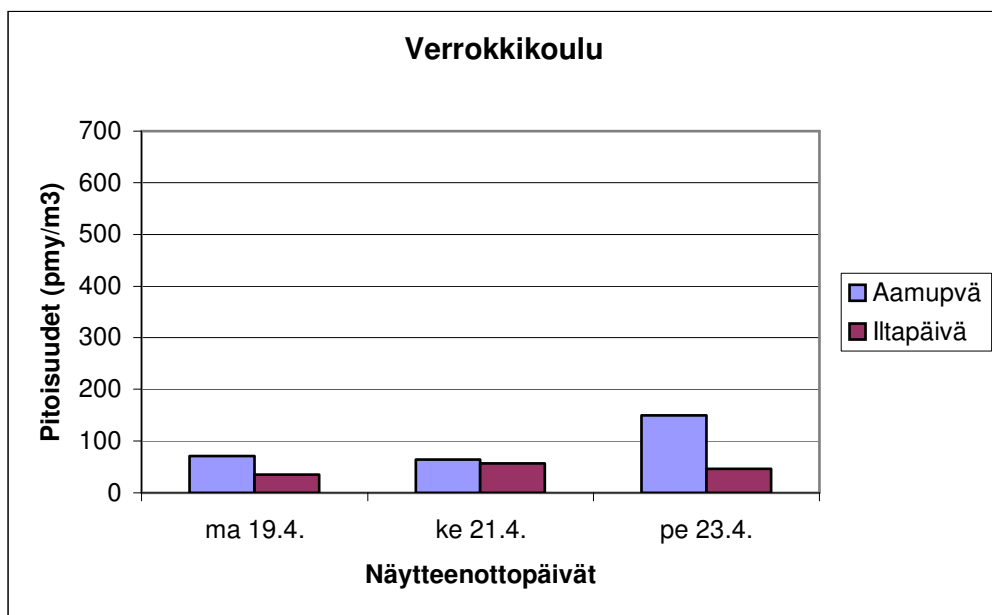
* Pitoisuus ylitti kyseisen arvon



KUVA 8a. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot.



KUVA 8b. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot.



KUVA 8c. Luokkakohtaiset aamu- ja iltapäivän pitoisuuserot.

6.6 Luokkien aktinomykeettipitoisuudet keväällä 2010

Aktinomykeettejä löytyi muutamia kaikista tutkituista luokista sekä laskeumapölykeräyksellä että Andersenin keräimellä kerätyistä näytteistä. Ohje-arvon 10 pmy/m³ ne ylittivät kaksi kertaa Koulun 2 luokassa 2.1, jolloin niiden pitoisuudet olivat 14 ja 39 pmy/m³ (taulukko 6).

TAULUKKO 5. Keväällä Andersenin keräimellä (A) ja laskeumapölystä (L) luokista kerätyistä näytteistä löytyneet sienisuvut sekä aktinomykeetit.

	Luokka 1.1	Luokka 2.1	Luokka 2.2
Aspergillus sp.		A	
Aspergillus flavus*			L A
Aureobasidium sp.	L A	A	
Chrysonilia sp.			A
Cladosporium sp.	L A	A	A
Eurotium sp.*			A
Geotrichum sp.	A	A	L A
Mycelia sterilia	L A	L A	L A
Penicillium sp.	A	L A	A
Penicillium spp.	L A	L A	L A
Rhizopus sp.*			A
Aktinomykeetit*	A	A	A

* Kosteusvauriota indikoiva mikrobilaji/-suku.

TAULUKKO 6. Aktinomykeettipitoisuudet aamupäivällä (ap) ja iltapäivällä (ip) keväällä 2010.

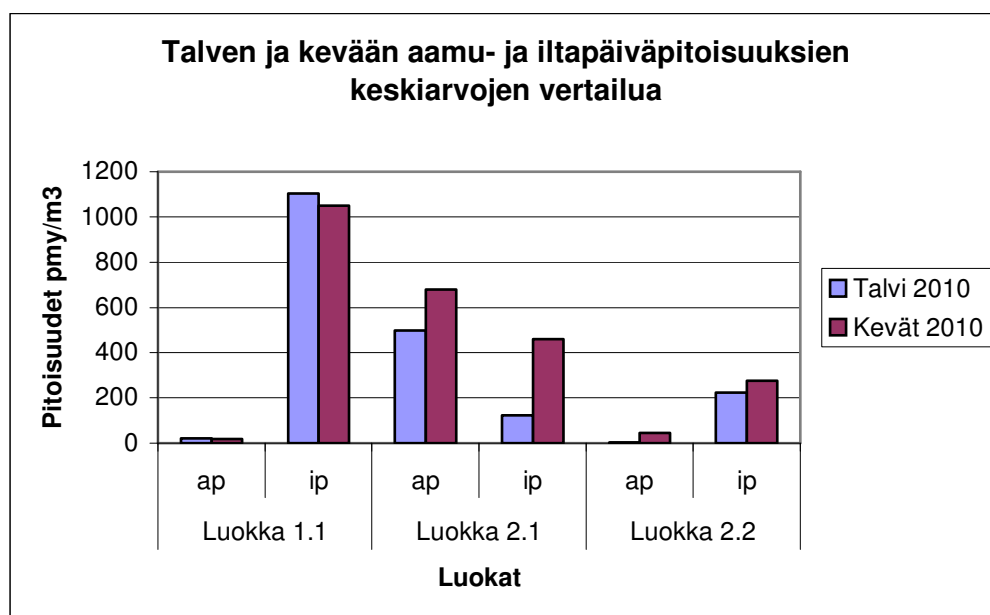
Aktinomykeettipitoisuudet (pmy/m ³)				
päivä	Koulu 1		Koulu 2	
	luokka 1.1	luokka 2.1	luokka 2.1	luokka 2.2
ap ma 19.4.	4	0	4	4
ap ke 21.4.	0	0	0	0
ap pe 23.4.	0	14	0	0
ip ma 19.4.	0	4	0	0
ip ke 21.4.	0	39	0	0
ip pe 23.4.	0	4	0	0

6.7 Luokkien bakteeripitoisuudet keväällä 2010

Bakteeripitoisuudet kaikissa kolmessa luokassa olivat pääosin pieniä verrattuna raja-arvoon 4500 pmy/m³ (taulukko 7). Korkeimmat pitoisuudet löytyivät verrokkikoulusta ja Koulun 2 luokasta 2.1. Korkea pitoisuus keskiviikkona aamupäivällä Koulun 2 luokassa 2.1 selittyi mitä todennäköisimmin sillä, että luokassa oli ollut oppilaita ja opettaja ennen näytteenottoa. Edellä mainittua poikkeusta lukuun ottamatta, pitoisuudet olivat matalampia aamu- kuin iltapäivällä, kuten talvinäytteenotossakin (kuva 9).

TAULUKKO 7. Bakteeripitoisuudet aamupäivällä (ap) ja iltapäivällä (ip) keväällä 2010.

Bakteeripitoisuudet (pmy/m ³)			
päivä	Koulu 1	Koulu 2	
	luokka 1.1	luokka 2.1	luokka 2.2
ap ma 19.4.	11	85	46
ap ke 21.4.	18	1800	39
ap pe 23.4.	25	150	50
ip ma 19.4.	1500	1200	230
ip ke 21.4.	1500	92	400
ip pe 23.4.	150	89	200



KUVA 9. Luokkien bakteeripitoisuuksien keskiarvojen vertailua talven ja kevään aamu- (ap) ja iltapäivien (ip) välillä.

6.8 Luokkien toksisuustulokset talvella ja keväällä 2010

Toksisuustestiä varten näytteet kerättiin talvella MetropoliLab Oy:n menetelmällä ja keväällä MetropoliLab Oy:n menetelmän lisäksi myös Inspector Sec Oy:n menetelmällä. MetropoliLab Oy:n analyysin mukaan näytteissä ei ollut havaittavissa selvää toksisuutta keväällä eikä talvella, koska pitoisuus 5 µg/ml ei aiheuttanut siittiöissä liikkumattomuutta. Korkeammissa pitoisuuksissa havaittu liikkumattomuus johtui näytteen analysoijan mukaan näytteen kiintoaineesta, ei sen toksisuudesta (taulukko 8). Inspector Sec Oy:n tutkimustulosten perusteella taas kahdessa keväällä tutkitussa luokassa oli havaittavissa hyvin voimakasta toksisuutta ja yhdessä luokassa toksisuuden määrä ei ollut merkittävä (taulukko 9). Näiden keskenään erilaisten ja ristiriitaisien tulosten perusteella ei voida arvioida, onko sisäilmassa ollut toksiinien aiheuttamaa sisäilmaongelmaa.

TAULUKKO 8. MetropoliLab Oy:n toksisuustulokset sekä kevät- että talvijaksolta. Taulukossa on esitetty siittiösolujen liikkuvuus niiden altistuttua näyteliuokselle 2 vuorokauden ajan. +-merkit osoittavat siittiösolujen liikkuvuuden.

Pitoisuus µg/ml	Luokka 1.1		Luokka 2.1		Luokka 2.2		Luokka 3.1	Luokka 3.2
	talvi	kevät	talvi	kevät	talvi	kevät	talvi	talvi
5	+++	+++	+++	+++	+++	++++	+++	+++
25	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++
50	+	++	+++	+++	+++	++	++	+
100	+	++	+++	+	+++	+	++	+

0 kaikki solut liikkumattomia

+ noin 10 % liikkuu

++ 20–40 % liikkuu

+++ 50 % liikkuu

++++ 75 % liikkuu

HUOM. Kun näyteliuoksen pitoisuus on yli 5 µg/ml, kiintoaine voi vaikuttaa liikkuvuuden heikkenemiseen.

TAULUKKO 9. Inspector Sec Oy:n toksisuustulokset kevätjaksolta 2010. Taulukossa on esitetty näyteliuoksen pitoisuus, jossa siittiösolujen altistus on saavutta-

nut EC₅₀-arvon, eli pitoisuuden, joka vaurioittaa puolta altistetuista siittiösoluis-
ta.

Luokka 1.1	Luokka 2.1	Luokka 2.2
25–12,5 µg/ml*	6,25–3,125 µg/ml**	6,25–3,125 µg/ml**

* Näytteessä ei merkittävää solumyrkyllisyyttä

** Näyte hyvin solumyrkyllinen

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

7.1 Sisäilman mikrobit

Talvi- ja kevätjakson aikana otettujen näytteiden analysoinnin perusteella todettiin, että mikrobipitoisuudet vaihtelevat huomattavasti vuoden- ja vuorokauden aikojen välillä. Luokkatiloissa oleskelevien ihmisten vaikutus erityisesti Andersenin keräimellä saatuihin bakteeripitoisuuksiin oli selvä ja sieni-itiöpitoisuudet kasvoivat, kun säätila muuttui leudommaksi.

Kummallakin tutkimusjaksolla havaittiin aktinomykettejä ja korkeita sieni-itiöpitoisuuksia Koulussa 2. Tämän ja aikaisempien tarkastusten perusteella voitiin päätellä, että Koulun 2 rakenteissa on mikrobivaurio, eikä tilojen käyttöä tämän hetkessä tilassaan suositella enää käytettäväksi. Toki aina on mahdollista, että normaalista poikkeava toiminta, esimerkiksi ulkoa tuotujen kasvien käsittely, nostaa sisätilojen sieni-itiöpitoisuuksia, mutta jos näytteenotokertoja on useampia, kuten tutkimuksen aikana, ja pitoisuudet ovat jatkuvasti korkeat, voidaan päätellä, että itiöiden lähde on koulun rakenteissa. Todennäköisin syy vaurioon Koulun 2 kohdalla on seinärakenteet, joissa tiilestä rakennetun ulkoseinän ja eristeenä käytetyn villan väliin ei ole jätetty tuuletusaukkoa. Tällöin kosteus pääsee suoraan seinästä villaan ja mahdollistaa mikrobikasvun. Talviaikaisissa näytteissä mikrobikasvua ei havaittu yhtä suurina pitoisuuksina kuin kesällä johtuen todennäköisesti siitä, että pakkasella seinärakenne on kuivunut. Koulu 2 päätettiin sulkea vuoden 2010 syksyllä ja tarkoituksena oli uusien ulkorakenteet kokonaan.

Mikrobipitoisuudet aiheuttivat hämmennystä myös verrokkikoulun kohdalla. Ala-aste oli rakennettu vuonna 2001 ja sen rakenteiden ja ilmanvaihdon oli tarkoitus olla käytännöllisiä ja hyvin toimivia. Tutkimuksen aikana kuitenkin havaittiin, että sisäilman bakteeripitoisuudet kohosivat koulussa muihin kouluihin verrattuna päivän aikana. Tähän saattaa olla syynä oppilaiden lukumäärän kasvu yli alkuperäisten suunnitelmien (270:stä 292:een). Ilmanvaihdon tehostamiseen on kiinnitettävä aina huomiota henkilömäärän lisääntyessä.

Talvella verrokkikoulusta löytyi normaalista poikkeavia mikrobeja, *Aspergillus flavus* ja *Eurotium*. Kevätjakson pitoisuudet ja talvella löydetty kosteusvaurioista kertovat sieni-suvut saattavat viitata kosteusvaurioon, mutta toisaalta koulussa ei ole tullut oppilaiden tai opettajien puolelta yhteydenottoja sisäilmaongelmista tai niihin liittyvästä oireiluista. Mikrobien esiintyminen näytteissä saattaa johtua tällöin esimerkiksi siitä, että jonkun luokassa oleskelleen kotona on kosteusvaurio ja itiöt ovat kulkeutuneet luokkaan tällaisen henkilön vaatteissa. Näytteenottaja on saattanut kantaa mikrobeja myös itse tietämättään vaatteissaan verrokkikouluun tai keräin on puhdistettu huolimattomasti edellisen kerran jälkeen (tosin löydettyjä sukuja ei löytynyt talvijakson aikana muista kouluista). On myös mahdollista, että luokassa on käsitelty luonnontuotteita tai näytteenottojakson alussa olleiden huonekasvien ruukuissa, lasten leikeissä käytetyssä matossa tai luokan huonekaluissa oli jostain syystä *Eurotium*-itiöitä. Kyseisen lajin itiöt kasvavat esimerkiksi kostuneissa tekstiileissä ja nahassa tai hartsilla, pihkalla tai lakalla päällystetyissä materiaaleissa. (The University of Adelaide 2010; EMLab P&K 2010; STM 2009.)

Tutkimuksessa yhdestä kohteesta otettujen näytteiden lukumäärä oli kattava verrattuna normaaleihin ympäristökeskusten näytteenotokäytäntöihin. Lukumäärältään suppeampien näytteiden sisältämät mikrobipitoisuudet saattavat johtaa tulosten tarkastelijan väärin johtopäätöksiin eikä siksi pelkästään ilmanäytteistä löydettyjen mikrobipitoisuuksien perusteella voida tehdä suunnitelmia mahdollisista jatkotoimenpiteistä. Näytteitä otettaessa on myös kiinnitettävä huomiota näytteenottojärjestykseen varsinkin, kun käytävissä on vain kaksi Andersenin keräintä, kuten tässä tutkimuksessa. Pääsääntönä on, että näytteiden otto aloitetaan verrokkikoulusta ja lopetetaan ongelmakouluun, jolloin minimoidaan keräimen kontaminoituminen. Kaikkien näytteenottojen välissä keräin puhdistetaan ja vältetään koskemasta sormin sen sisäosiin. Jokaisella

näytteenottajalla on kuitenkin omat menettelytapansa ja inhimilliset virheet ovat mahdollisia, mikä tulee ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa. Tulosten tulkintaa ja mahdollisten virheiden minimointia helpottaa tarkat merkinnät sekä koulun käyntiin että näytteenottoon liittyvästä toiminnasta. (KTL 2008; STM 2009.)

Andersenin keräin ei myöskään ole aina se parhain vaihtoehto näytteiden ottoon. Sillä voidaan esimerkiksi tutkia vain huoneilmassa olevia eläviä mikrobeja, jolloin kuolleet tai heikentyneet mikrobit jäävät huomioimatta. Tästä syystä keräimellä voidaan havaita vain noin 0,001–15 % näytteiden mikrobeista (Valkonen ym. 2010). Tämä on kuitenkin yleisesti tiedossa ja huomioitu raja-arvoa asetettaessa. Esimerkiksi luokan 2.2 kohdalla sisäilmaongelmaa ei ollut havaittavissa talvella otetuissa näytteissä, mutta kevätjakson aikana sieni-itiöpitoisuus oli kohonnut huomattavasti. Tutkimuksen perusteella voitiin pohtia, onko talvi ihanteellisimman näytteenottoajankohta Andersenin keräimen käyttöön. Andersenin keräimen lisäksi kehitellään jatkuvasti myös muita sisäilman tutkimusmenetelmiä. Uusi, polymeraasiketjureaktioon perustuva PCR (polymerase chain reaction)-analyysi, joka mittaa mikrobien elävän DNA:n lisäksi myös kuollutta DNA:ta, voisi tulevaisuudessa olla hyödyksi sisäilmaongelmien selvittämisessä (KTL 2008, 32–33, Valkonen ym. 2010). PCR-menetelmällä määritetyt mikrobipitoisuudet saattavat olla korkeampia kuin Andersenin keräimellä saadut viljelynäytteiden pitoisuudet ja menetelmä on toiminnaltaan huomattavasti nopeampi viljelyyn verrattuna. Lajispesifiselle PCR-menetelmälle ei kuitenkaan vielä ole käytettävissä viitearvoja vaurioitumattomista vertailukohteista. Sillä on myös mahdollista määrittää vain tiettyjä mikrobilajeja, joita se tunnistaa, ja sen tehokkuus voi kärsiä, jos näytteessä on useita määriä erilaisia homeita. Tällä hetkellä käytössä olevat PCR-menetelmät tunnistavat lähinnä vain tauteja aiheuttavia lajeja ja esimerkiksi hiivojen toteamiseen menetelmiä on vain vähän. (Heilimo 2010; Putus 2010; Rintala ym. 2008.)

7.2 Kuidut

Talvijakson aikana otettujen kuitunäytteiden perusteella tultiin siihen tulokseen, että minkään tutkitun luokan sisäilmaan ei ollut päässyt teollisia kuituja esimerkiksi ilmanvaihtokanavien kautta. Tällä tiedolla voitiin sulkea pois mahdolliset teollisuuskuitujen aiheuttamat sisäilmaongelmat ja työssä keskityttiin mikrobeihin ja mikrobitoksiineihin.

7.3 Mikrobitoksisuustesti

Tätä opinnäytetyötä varten tehty mikrobitoksisuustutkimus oli ensimmäinen Helsingin kaupungin ympäristökeskuksessa tehty sisäilman mikrobitoksisuustutkimus. Tutkimuksen aikana huomattiin, että tekemistä mikrobitoksiinien ja niiden testauksen parissa riittää vielä paljon ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön ympäristökeskuksessa. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset olivat keskenään ristiriitaiset. Toinen laboratorio ilmoitti näytteiden olevan toksisia tai erittäin toksisia, kun taas toisen tulosten perusteella näytteet eivät olleet ollenkaan toksisia. Tämä on mielenkiintoista, kun kummasakin laboratorioissa mikrobitoksisuutta testataan altistamalla sian siittiösoluja näyteliuokselle.

Tutkimuksen tulosten tarkastelua vaikeutti myös se, että tutkimuksessa käytettyjen siittiöiden altistusajat näyteliuokselle olivat tutkimuselosteiden mukaan eripituiset. Tämä saattaa myös vaikuttaa tulosten huomattavaan poikkeavuuteen laboratorioiden välillä. MetropoliLab Oy:n tutkimuksessa altistusaika oli 2 vuorokautta kun taas Inspector Sec:illä altistusaikana käytettiin 3 vuorokautta. Pidempi altistusaika voi vaikuttaa heikentävästi siittiöiden liikkuvuuteen, kuten arveltiin MetropoliLab Oy:n tutkimuselosteessa. Tämän johdosta on mahdollista, etteivät Inspector Sec Oy:n toimesta tutkitut näytteet olleet todellisuudessa toksisia tai erittäin toksisia. Toisaalta taas toksisuustestin kehittäjien (Helsingin yliopisto) suorittamissa tutkimuksissa altistusaikana on pidetty 3 vuorokautta, mikä viittaisi siihen, että MetropoliLabin käyttämä 2 vuorokauden altistusaika olisi ollut liian lyhyt ja näytteet olisivatkin olleet toksisempia kuin mitä analyysin perusteella voitaisiin päätellä. (Kalso 2010a; Laakso ym. 2001; Salkinoja-Salonen ym. 2010.)

Toksisuustulosten tulkintaa tutkimuksessa hankaloitti myös toksisuusnäytteiden pieni lukumäärä, mikä vaikeutti tulosten luotettavuuden tai epävarmuuden arviointia. Kahden laboratorion tulosten vertailu keskenäänkin oli ongelmallista, koska niiden analysointi- ja raportointimenetelmät poikkesivat toisistaan. Jonkin asteista verrannollisuutta oli havaittavissa Inspector Secin ja erityisesti laskeumapölykeräyksen tuottamien tulosten kesken. Kyseenomaisten tulosten perusteella toksisuus lisääntyisi sienitiöpitoisuuksien pienentyessä. Verrattaessa taas toksisuutta Andersenin keräimellä

saatuihin bakteeripitoisuuksiin, oli havaittavissa hieman positiivista korrelaatiota, mikä merkitsisi sitä, että toksisuus lisääntyisi bakteeri-pitoisuuden kasvaessa. Otettujen näytteiden perusteella, ei kuitenkaan voida todeta mitään varmaksi, sillä näytteistä saatiin vain hyvin pieni otos. Toksisuuden ja mikrobipitoisuuksien korrelaation tutkimiseksi tarvittaisiin kattavampi näytteenotto-sarja.

Mikrobien myrkyllisiin aineenvaihduntatuotteisiin, eli toksiineihin löytyy lähes jokaiselta tutkijalta niin Suomessa kuin muualla maailmassakin eriäviä mielipiteitä aiheeseen liittyen. Eriävät mielipiteet taas tuovat varmasti jokaiselle uusia näkökulmia asiaan, jolloin kenties joskus löydetään menetelmä, millä voidaan saada luotettavaa tietoa mikrobitoksiineista, niiden esiintyvyydestä ja vaikutuksista. Matka on kuitenkin vielä pitkä ja mutkainen, mikä voitiin havaita myös tämän tutkimuksen aikana. Mikrobitoksisuuden määrittämiseen kaivataan vielä paljon lisätietoa, -tutkimuksia ja tutkimusmenetelmien kehitystyötä ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön tukemaan muita menetelmiä viranomaistutkimuksissa. (Työterveyslaitos 2010; Valvira 2010.)

Kehitystyö mikrobitoksiinien määrittämiseksi kuitenkin etenee jatkuvasti. Mikrobitoksiinien on havaittu sitoutuvan pieniin hiukkasiin, mikä on mahdollistanut kehittää tekniikoita niiden tehokkaaseen keräämiseen myös suoraan sisäilmasta. (Sisäilmayhdistys ry 2010b; Putus 2010; Seppälä 2008.) Tällaista ”pyydystys” -menetelmää käytettiin muun muassa Helsingin Kemian ja Mikrobiologian laitoksella tehdyssä tutkimuksessa, Boar spermatozoa as a biosensor for detecting toxic substances in indoor dust and aerosols. Tutkimuksessa mikrobitoksiineja pyydystettiin elektrostaattisilla suodattimilla, joiden läpi tutkittava ilma virtasi $400\text{m}^3\text{h}^{-1}$ noin 30 päivän ajan. Menetelmän etuna on esimerkiksi se, että sillä on mahdollista saada ilmasta enemmän etanoliluikoista näytettä muihin tällä hetkellä tiedossa oleviin menetelmiin verrattuna. Menetelmän yleisen käyttöönoton hidasteeksi taas voi joissain tilanteissa koitua pitkä näytteenotto-aika. (Andersson ym. 2010; Seppälä 2008.)

Kuten edellisistä kappaleista ja niissä esitetyistä havainnoista voidaan huomata, mikrobien toksisuus ja sen määritysmenetelmät ovat mielenkiintoinen tutkimusaihe, mutta myös erittäin haastava monimutkaisuutensa vuoksi. Mikrobeja on monia erilaisia, joten voidaan olettaa, että mikrobien tuottamia toksiineja on vielä paljon enemmän. Kaikkia mikrobeja ja niiden aineenvaihduntatuotteita ei välttämättä tulla koskaan edes

löytämään, mutta onneksemme meidän ei välttämättä tarvitsekaan. (Salkinoja-Salonen ym. 2010; Salkinoja-Salonen 2009; Heikkilä 2009.)

8 LÄHTEET

Andersson, M., Mikkola, R., Rasimus, S., Hoornstra, D., Salin, P., Rahkila, R., Heikkinen, M., Mattila, S., Peltola, J., Kalso, S. & Salkinoja-Salonen, M. 2010. Boar spermatozoa as a biosensor for detecting toxic substances in indoor dust and aerosols. *Toxicology in Vitro*. Helsingin yliopisto. Käsikirjoitus.

EMLab P&K 2010. Eurotium sp. WWW-dokumentti. <http://www.emlab.com>. Päivitetty 08/2010. Luettu 20.03.2010.

Haahtela, Tari 2009. Sisäilman asbesti ja mineraalivillakuidut. WWW-dokumentti. <http://www.terveyskirjasto.fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 01.03.2010.

Haarala, Anna 2009. Sisäilmatutkimus Tampereen ammattikorkeakoulussa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Heikkilä, Mari 2009. Homeista viis, ongelmataloissa sairastuttaa toksiini. *Tiede* 6, 41–43.

Heilimo, Sara 2010. PCR-tekniikalla tutkitaan muunto-geenisyyttä, allergeenejä ja patogeenejä. *Kehittyvä elintarvike*. WWW-dokumentti. <http://kehittyvaelintarvike.fi>. Päivitetty 26.10.2010. Luettu 02.11.2010.

Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2010. WWW-dokumentti. <http://www.hel.fi>. Ei päivitystietoa. Luettu 05.02.2010.

Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2009. Tarkastus Poikkilaakson ala-asteen koulussa. Tarkastuspöytäkirja.

Hengitysliitto Heli ry 2005. Hiukkasia ilmassa. WWW-dokumentti.

<http://www.hengitysliitto.fi>. Päivitetty 02.02.2005. Luettu 22.03.2010.

Hernesmaa, Anne 2010. Henkilökohtainen neuvonanto. 12.01.2010. Ympäristötarkastaja. Helsingin kaupungin ympäristökeskus.

Horppu, Teija 2008. Hometaloissa hengitetään myrkyllistä ilmaa. Kemia-lehti. Verkko-lehti. http://www.kemia-lehti.fi/pdf/kem608_home.pdf. Päivitetty 03.10.2008. Luettu 22.03.2010.

Kalso, Seija 2010a. Siittiötesti. Tutkimusohje. 10.02.2010. Toimitusjohtaja. Metropolilab Oy.

Kalso, Seija 2010b. Tapaaminen. 15.01.2010. Toimitusjohtaja. Metropolilab Oy.

Kallinen, Mikko 2010. Mikrobi- ja hajuvaurioituneen arkistomateriaalin puhdistamisen onnistumisen arviointi. Aducate Reports and Books 4/2010. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.

KTL C2/2008. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Helsinki: Yliopistopaino.

Laakso, Tuula, Peltola, Joanna, Kalso, Seija, Vartiala, Timo & Ahonen, Seppo 2001. Asuntojen rakennusmateriaalien sekä niiden ja sisäilman mikrobien myrkyllisyys karjun siittiötestissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 15/2001. Helsinki.

Mikrofokus Oy 2010. Analyysilausunto. Helsinki.

Myllypuron ala-aste 2010. WWW-kotisivut. <http://www.hel.fi/hki/mylpa>. Ei päivitystietoja. Luettu 30.08.2010.

Pelczar, JR, Michael J., Chan, E.C.S., Krieg, Noel, R. Microbiology. McGraw-Hill International editions. Singapore.

Poikkilaakson ala-aste 2010. WWW-dokumentti.

<http://www.poikaa.edu.hel.fi/rakennus.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 25.01.2010.

Putus, Tuula 2010. Home ja terveys. Ympäristö- ja terveyslehti. Pori.

Päätösluettelonote 16.11.2001. Helsingin ympäristökeskus.

Pönkä, Antti 2002. Terveystieteiden tutkimus, 3. painos. Jyväskylä: Gummerrus kirjapaino Oy.

Rintala, Helena, Pietarinen, Veli-Matti, Lignell, Ulla, Hyvärinen, Anne, Kärkkäinen, Päivi & Nevalainen, Aino 2008. Kvantitatiivisen PCR-menetelmän ja viljelyn vertailu määrittäessä mikrobeja rakennusmateriaaleilta. Sisäilmastoseminaari, Espoo 05.03.2008.

Salkinoja-Salonen, Mirja, Mikkola, Raimo, Andersson, Maria, Alenius, Harri, Matikainen, Sampsa, Salin, Pekka, Rasimus, Stiina & Mattila, Sampo 2010. Solumyrkyllisiä aineita työpaikkailmassa. Sisäilmastoseminaari, Espoo 17.03.2010.

Salkinoja-Salonen, Mirja 2009. Mikrobitoksiinit sisätiloissa. Sisäilmastoseminaari, Espoo 18.03.2009.

Seppälä, Pauli 2008. Supermyrkyt – Hometalojen synkkä salaisuus? Verkkolehti. <http://www.asuntokiinteisto.fi>. Päivitetty 15.11.2008. Luettu 02.11.2010.

Sisäilmayhdistys ry 2010a. Analysointi ja tulkinta. WWW-dokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi>. Päivitetty 19.08.2010. Luettu 19.08.2010.

Sisäilmayhdistys ry 2010b. Katsaus mikrobeihin. WWW-dokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 11.10.2010.

Sisäilmayhdistys ry 2010c. Mineraalikitupäästöt. WWW-dokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi>. Päivitetty 19.08.2010. Luettu 19.08.2010.

Sisäilmayhdistys ry 2010d. Tutkimusmenetelmät. WWW-dokumentti.

<http://www.sisailmayhdistys.fi>. Päivitetty 19.08.2010. Luettu 19.08.2010.

STM 2003. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriö. Edita. Helsinki.

STM 2009. Asumisterveysopas, 3. painos. Ympäristö- ja terveyslehti. Pori.

Terveydensuojelulaki 763/1994. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi>. Ei päivitystietoa. Luettu 12.02.2010.

The University of Adelaide 2010. Aspergillus flavus. WWW-dokumentti. <http://www.mycology.adelaide.edu.au>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.03.2010.

Työsuojeluhallinto. Home- ja kosteusvauriot. WWW-dokumentti. <http://www.tyosuojelu.fi/>. Ei Päivitystietoja. Luettu 23.08.2010.

Työterveyslaitos 2010. Työterveyslaitoksen kannanotto mikrobiksiineistä työpaikoilla. WWW-dokumentti. <http://www.ttl.fi/fi/uutiset>. Päivitetty 28.06.2010. Luettu 23.08.2010.

Valkonen, Maria, Kärkkäinen, Päivi, Hyvärinen, Anne, Nevalainen, Aino & Rintala, Helena. Huonepölyn bakteeripitoisuudet-analyysimenetelmien vertailu. Sisäilmasto-seminaari 2010. Espoo.

Valvira 2010. Toksiinimenetelmien käyttö terveydensuojelulain mukaisissa viranomaistutkimuksissa. Ohje viranomaisille. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 07.10.2010.

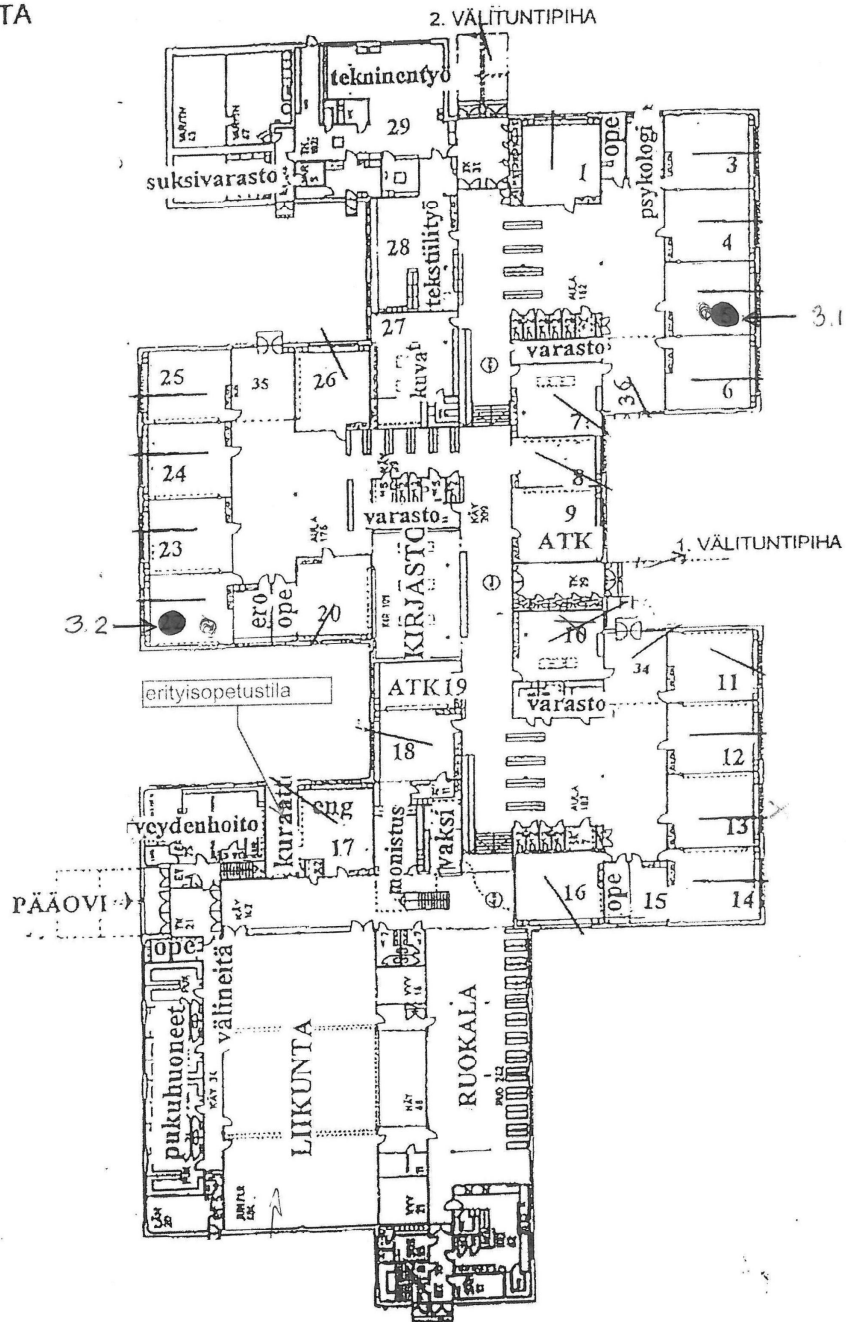
Österholm, Juha 2010. Henkilökohtainen neuvonanto. 12.01.2010. Tutkimusavustaja. Helsingin ympäristökeskus.

WHO 2009. Dampness and mould. WHO guidelines for indoor air quality. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen. Denmark.

LIITE 2(1). Koulun 3 pohjapiirros

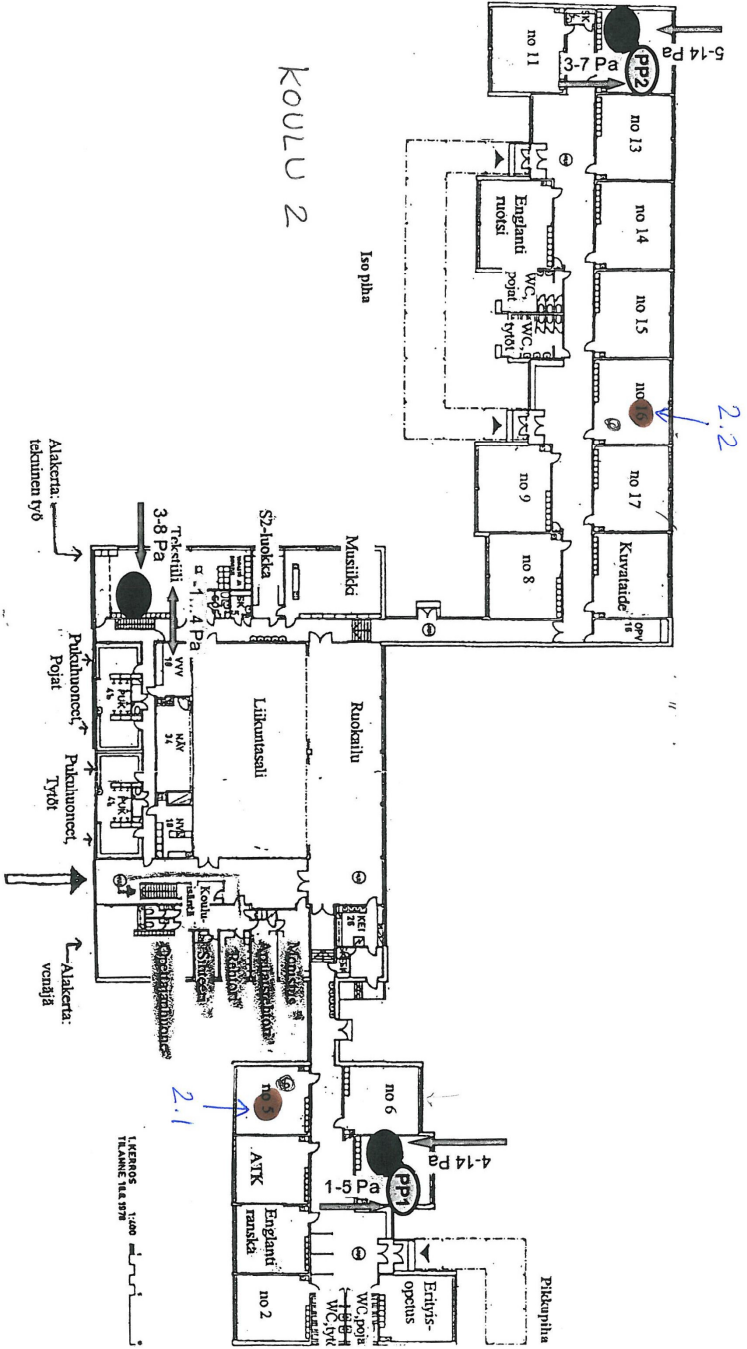
ALAKERTA
KOULUN 3

Liite 1



LIITE 2(2). Koulun 2 pohjapiirros

alkuperäinen pohjapiirustus



MERKKIEN SELITYKSET: (PP) PINNOILLE LASKEUTUVA PÖLY

SISÄILMAN SUHTEELLINEN KOSTEUS
 LÄMPÖTILA JA HILJIDIOKSIDIPITOISUUS
 (seurantamittaus)

0-1 Pa PAINE-ERO JA
 ILMAVIRTAUKSEN SUUNTA

Päsisääntävynti

Alakerä: vettä
 Alakerä: takainen työ

Alakerä: vettä

1:400
 TILANNE TILANNE

Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy	Myllypuroon ala-aste, päätärakennus Yrjänäkatu 6, 00920 Helsinki	1. krs	0027/3106 29.5.2006	TL	LIITE 2.1
---------------------------------------	---	--------	------------------------	----	-----------

LIITE 3. Metropolilab Oy:n toksisuusanalyysi

YMPÄRISTÖVALVONTAYKSIKÖN HELI STORMIN PROJEKTI 2010

TOKSISUUSTESTAUKSEN TULOKSET

Menetelmä:

Pyyhkeet asetettiin etanoliin (99,5 % yli yön) rasvaliukoisten toksiinien uuttamiseksi. Uutteesta eroteltiin liukenematon ainesosa sentrifigoimalla/suodattamalla.

Uute haihdutettiin kuiviin +50 asteessa ja haihdutusjäännös liuotettiin uudelleen niin, että uutteen pitoisuus oli 10 mg/ml eli 10µg/µl.

Pölyn etanoliliukoiselle osuudelle suoritettiin karjun siittiösolutesti käyttäen siittiöinä etanolinkestäviä soluja (ROMA-karju).

EC₅₀ –arvo määritetään siten, että katsotaan, mikä on se pitoisuus uutteen sisältämää näytteestä peräisin olevaa ”ainetta” millilitrassa siittiösoluja, joka saa aikaan sen, että puolet siittiösoluista lamaantuu.

Kaupallisessa siittiösolunesteessä on ilmoitettu olevan noin 27 milj. solua/ml.

Tässä tutkimuksessa siittiöitä altistettiin 1 % etanolipitoisuudelle. Siittiöiden kunnan seuraamiseksi käytettiin kontrollia, jossa siittiöt altistettiin näyteuutetta vastaavalle määrälle etanolia.

EC₅₀ –arvon määrittäminen:

Näytteen etanoliuutetta 2 ml:ssa siittiösoluja	µl	µg	Toksisen aineen pitoisuus µg/ml siittiösoluja
	1	10	5
	5	50	25
	10	100	50
	20	200	100

Voidaan myös käyttää eri laimennoksia kuin esimerkissä.

Seuraavissa testauksissa altistusaika on ollut 2 vrk (3 vrk:n altistuksessa kontrollinäytteen liikkuvuus heikkeni).

Näyte

Pyyhe 2 L3.2 IP, 12.2.2010	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	+++
	25	++
	50	+
	100	+

Näyte

Pyyhe 3 L3.1, 12.2.2010	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	+++
	25	+++
	50	++
	100	++

Näyte		
Pyyhe 2 L2.1, 12.2.2010	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	+++
	25	+++
	50	+++
	100	+++

Näyte		
Pyyhe 5 L2.2, pinnat 12.2.2010	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	+++
	25	+++
	50	+++
	100	+++

Näyte		
Pyyhe 4 L1.1 IP, pinnat	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	+++
	25	++
	50	+
	100	+

Näyte		
Pyyhe 1, L2.1, 23.4.2010	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	+++
	25	+++
	50	++
	100	+

Näyte		
Pyyhe 2, L2.2, 23.4.2010	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	++++
	25	+++
	50	++
	100	+

Näyte		
Pyyhe 3, L1.1, 23.4.2010	Pitoisuus µg/ml siittiösoluja	Liikkuvuus
	5	+++
	25	+++
	50	++
	100	++

Liikkuvuus:

0	kaikki solut liikkumattomia
+	noin 10 % liikkuu
++	20-40 % liikkuu
+++	50 % liikkuu
++++	yli 75 % liikkuu

Kontrollit: siittiösolut ilman altistetta samoissa olosuhteissa kuin näytteet
valinomysiini positiivinen kontrolli
etanolin vaikutuksen testaaminen

Toksisena pidetään uutetta, jonka EC₅₀ -arvo on ehkä 1-5 µg/ml. Tarvittaessa näyteuutetta laimennetaan arvon löytämiseksi.

LIITE 4. Näytteenottolomake

Näytteenottaja: Heli Stormi

Kohde:	Päivämäärä:
Osoite:	

Mitattavat luokkatilat:

Näytteenottoaika mikrobit (min) 10 min (sis)

Kellonaika: Luokka _____ Luokka _____

Laskeumapölynäyte: aloitus(pv) _____ lopetus(pv) _____

Olosuhteet sisällä:

T: _____ °C **RH:** _____ %

Olosuhteet ulkona: _____ °C

Aistinvarainen havainto haju:

Muut mittaukseen vaikuttavat tekijät:

--