

Anni Laitinen

ILMANPUHDISTIMEN KYKY  
POISTAA VOC-KAASUJA  
SISÄILMASTA  
JA  
SISÄILMAN LAATU ERÄÄSSÄ  
SANEERAUSKOHTEESSA

Opinnäytetyö  
Ympäristötekniologia


Toukokuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  3.5.2012	
<b>Tekijä(t)</b> Anni Laitinen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Ympäristötekniologia	
<b>Nimeke</b> Ilmanpuhdistimen kyky poistaa VOC-kaasuja sisäilmasta ja sisäilman laatu eräässä saneerauskohteessa			
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Ihminen viettää suuren osan elämästään sisätiloissa. Sisäilmaongelmista ja homevaurioista puhutaan nykyisin paljon. Ongelmat ulottuvat kouluista ja päiväkodeista aina yksityisten ihmisten omistamiin omakotitaloihin. Home- ja kosteusvaurioiden ohelle on kuitenkin tullut uusi kiistan aihe, muovimaton kemiallisesta hajoamisreaktioista syntyvä VOC-yhdiste, 2-etyyli-1-heksanoli.</p> <p>2-Etyyli-1-heksanoli on ongelmana niin uusissa kuin vanhoissakin rakennuksissa, mutta sille ei ole kuitenkaan vielä pystytty asettamaan kiinteitä raja-arvoja. Aine ärsyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä oireinaan muun muassa ihon ja silmien punoitusta sekä kipua, yskää, huimausta ja päänsärkyä.</p> <p>Opinnäytteessä tutkittiin erään ilmanpuhdistimen kykyä poistaa 2-etyyli-1-heksanolia sisäilmasta. Tutkimus suoritettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun laboratoriossa fotoionisaatiodektoirin (PID) avulla. Käytännön kokemusta sisäilmamittauksista sekä ilmanpuhdistimen vaikutusten testausta oikeassa kohteessa haettiin Case-tutkimuksen avulla, jossa erään päiväkodin sisäilman laatua selvitettiin hiukkas-, mikrobi- sekä VOC-näytteenottojen avulla.</p> <p>Ilmanpuhdistimen testauksesta ilmeni, että kyseinen ilmanpuhdistin poistaa tehokkaasti 2-etyyli-1-heksanolia sisäilmasta. Tämän testauksen perusteella on mahdotonta sanoa, poistaako ilmanpuhdistin kaiken 2-etyyli-1-heksanolin sisäilmasta. Ilmanpuhdistinta voisi mahdollisesti käyttää väliaikaisena ratkaisuna ongelmakohteissa.</p> <p>Case-tutkimuksessa ei löytynyt poikkeavan suuria pitoisuuksia mitatuista epäpuhtauksista. Ilmanpuhdistin vähensi mittausten perusteella sisäilman mikrobien sekä hiukkasten määrää. VOC-pitoisuuksissa ei näkynyt selvää muutosta ilmanpuhdistimen vaikutuksesta. Kohteen sisäilmasta ja muovimaton pinnalta otetuista VOC-näytteistä löytyi 2-etyyli-1-heksanolia, mutta pitoisuudet olivat kohtalaisen vähäisiä verrattuna aiheesta tehtyjen muiden tutkimusten pitoisuuksiin.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Sisäilma, VOC, 2-etyyli-1-heksanoli, ilmanpuhdistin, mikrobi, hiukkaset			
<b>Sivumäärä</b> 79 s.	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Martti Pouru		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Polygon Finland Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  3.5.2012	
<b>Author(s)</b> Anni Laitinen		<b>Degree programme and option</b> Environmental Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> The capacity of an air cleaner to remove VOC gases from indoor air and indoor air quality in a renovation building			
<b>Abstract</b> <p>People spend most of their life inside. Inside air problems and mould damages are quite common talking subjects. These kinds of worries don't just concern public buildings like schools and kindergartens. Private houses suffer from same worries. Along with mould and moisture damages there has become a new disagreement about VOC compound called 2-Ethyl-1-hexanol (=2-ethylhexanol). 2-Ethylhexanol is a decomposition product from chemical reaction in a plastic carpet.</p> <p>2-Ethylhexanol creates problems both in new and old buildings. The health authorities haven't been able to set any firm threshold value for this compound. This substance may irritate eyes, skin and respiratory organs causing for example redness and pain for skin and eyes, cough, dizziness and headache.</p> <p>An air cleaner's capability to remove 2-ethylhexanol from indoor air was the main study in the thesis. The search was made in a laboratory of Mikkeli University of Applied sciences with photoionization detector (PID). Practical experience from indoor air measurements and air cleaner's impacts for indoor air were tested in a public building. This case study was made in a kindergarten and the indoor air quality was tested with the help of particle-, microbe- and VOC-sampling.</p> <p>Test results for air cleaners showed that the air cleaner removes effectively 2-ethylhexanol from indoor air. Based on this study it is impossible to say if the air cleaner removes all 2-ethylhexanol from indoor air. The air cleaner could be used for temporary solution in buildings with indoor air quality problems.</p> <p>No abnormal concentrations of measured impurities were found in the case study. Based on this study the air cleaner reduced microbe- and particle concentrations. VOC-concentrations didn't show any clear reactions for the impact of the air cleaner. In the case study, 2-ethylhexanol was found both in indoor air samples and from the plastic carpet but the concentrations were quite low in comparison of concentrations in other studies made of same subject.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b> Indoor air, VOC, 2-ethyl-1-hexanol, air cleaner, microbes, particles			
<b>Pages</b> 79 p.		<b>Language</b> Finnish	
<b>URN</b>			
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Martti Pouru		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Polygon Finland Ltd.	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	SISÄILMAN LAATUA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET .....	2
2.1	Terveystensuojelulaki ja -asetus.....	2
2.2	Asumisterveysohje.....	3
2.3	Maankäyttö- ja rakennuslaki.....	3
2.3.1	Maankäyttö- ja rakennusasetus .....	4
2.3.2	Suomen rakentamismääräyskokoelma.....	4
2.4	Rakennustieto .....	5
2.5	Sisäilmastoluokitus 2008 .....	5
2.5.1	Sisäilmastoluokat .....	6
2.5.2	Rakennusmateriaalien päästöluokat.....	7
2.6	EU:n rakennustuotedirektiivi.....	9
2.7	Työturvallisuuslaki .....	10
3	OHJE- JA VERTAILUARVOJA SISÄILMAN KEMIALLISTILLE EPÄPUHTAUKSILLE .....	10
3.1	Ulkomaisia ohjearvoja .....	10
3.2	Kotimaisia ohjearvoja .....	11
3.3	Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet ja rakentamismääräyskokoelma D2.....	11
3.4	Tutkimustuloksia .....	13
4	SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET .....	14
4.1	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC).....	14
4.1.1	Terveyshaitat.....	17
4.1.2	Ulkoisten olosuhteiden vaikutus sisäilman kemiallisiin epäpuhtauksiin .....	17
4.1.3	2-Etyyli-1-heksanoli kemikaalina.....	18
4.2	Mikrobit .....	19
4.2.1	Kasvuedellytykset ja toksiinit.....	19
4.2.2	Sienilajisto ja indikaattorimikrobit .....	20
4.2.3	Ohjearvoja.....	21
4.2.4	Terveyshaitat.....	21
4.3	Hiukkaset .....	22
4.3.1	Lähteet.....	23

4.3.2	Terveyshaitat.....	23
5	MUOVIMATTO LATTIAPÄÄLLYSTEENÄ .....	24
5.1	PVC-muovimatto.....	24
5.2	Materiaaliemissio.....	25
5.3	2-Etyyli-1-heksanoli materiaaliemissiona muovimatosta.....	26
5.4	Tutkimustuloksia .....	27
5.5	Maanvarainen laatta.....	27
6	MITTAUSMENETELMÄT .....	28
6.1	VOC-näytteenotto.....	28
6.1.1	Näytteenottomenetelmät .....	29
6.1.2	Näytteen analysointi.....	29
6.1.3	Fotoionisaatiodektektri (PID) .....	30
6.2	Mikrobinäytteenotto .....	31
6.3	Optiset hiukkaslaskurit .....	32
6.3.1	TSI P-Trak 8525 .....	34
6.3.2	TSI Aerotrak 8220 .....	35
6.4	Ilmanpuhdistin Hilma .....	36
6.4.1	Toimintaperiaate .....	36
6.4.2	Purafil suodatus.....	37
7	KÄYTETTY MITTAUSMENETELMÄT .....	38
8	ILMANPUHDISTIMEN TESTAUS.....	39
8.1	Mittausmenetelmä.....	39
8.2	Tulokset .....	42
8.3	Tulosten tarkastelu ja mittausepävarmuus.....	50
9	CASE-TUTKIMUS.....	51
9.1	Kohteen perustiedot .....	51
9.2	VOC-näytteenottojen tulokset .....	53
9.3	Mikrobinäytteenotot .....	57
9.3.1	Tulokset.....	57
9.3.2	Homeiden tunnistus .....	59
9.4	Hiukkasnäytteenottojen tulokset.....	61
9.5	Tulosten tarkastelu ja mittausepävarmuus.....	70
9.5.1	VOC .....	70
9.5.2	Mikrobit .....	71

9.5.3	Hiukkaset .....	72
9.6	Pohdinta .....	74
10	YHTEENVETO .....	75
	LÄHTEET .....	76

## 1 JOHDANTO

Sisäilma voi aiheuttaa terveyshaittaa ihmisille monella eri tapaa. Kemiaalisia epäpuhtauksia voi joutua sisäilmaan muun muassa rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kosteuden vaurioittamista rakenteista, ihmisen toiminnoista tai asunnon ja muun oleskelutilan ulkopuolelta, kuten rakennuksen muista tiloista tai lähiympäristön teollisuudesta ja liikenteestä. Kemiaalliset epäpuhtaudet voivat olla hiukkasmaisia tai kaasumaisia aineita, jotka voidaan vielä jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Kemiaallisten epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttaa sisäilmassa monet asiat, kuten sääolot, ihmisen toiminta, sisäilman lämpötila, kosteus sekä ilmanvaihto. Kaasumaisilla orgaanisilla yhdisteillä on todennäköisesti yhteys erityisesti asumisviihtyvyyttä vähentäviin tuntemuksiin, mutta myös terveys- ja hajuhaittoihin, kuten silmien ja limakalvojen ärsytykseen sekä päänsärkyyn. (STM 2009a, 128.)

Viime vuosien aikana sisäilmaongelmien tutkimus on saanut uuden kohteen, 2-etyyli-1-heksanolin eli 2-etyyliheksanolin, joka on haihtuva orgaaninen yhdiste (VOC). Tutkijat taloussanomien artikkelissa ovat erimielisiä siitä, millaiset pitoisuudet aiheuttavat haittaa tai oireita ihmisen terveydelle. Erimielisiä tutkijat ovat myös siitä, onko 2-etyyliheksanoli mikrobi-indikaattoriyhdiste eli voiko sen ilmeneminen sisäilmassa kertoa mikrobivauriosta rakennuksen rakenteissa. Yksimielisiä tutkijat ovat siitä, että korkeina pitoisuuksina 2-etyyliheksanoli on haitallista terveydelle. Yhdisteelle ei ole kuitenkaan asetettu vielä kiinteitä raja-arvoja. (Taloussanomien 2011.) 2-Etyyliheksanolia käytetään siis pehmittimien, pinnoitteiden, liimojen sekä erikoiskemikaalien tuotannossa. Sisäilmaan 2-etyyliheksanolia voi vapautua PVC-muovimaton pehmittimen dietyyliheksyyliftalaatin (DEHP) ja liimojen akrylaattikopolymeerien hajoamisen seurauksena (sekundääriemissio), mutta myös pieniä määriä muun muassa vaurioitumattomista PVC-materiaaleista (primääriemissio). (Työterveyslaitos 2011b.)

Tässä opinnäytetyössä on ensisijaisesti keskitytty sisäilman kemiallisiin epäpuhtauksiin ja niiden mahdolliseen poistamiseen eräänlaisen ilmanpuhdistimen avulla. Tämä opinnäytetyö on osa Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan koulutusohjelman insinööritutkintoa. Työ on suunniteltu ja toteutettu yhteistyössä Polygon Finland Oy:n kanssa. Polygon on kansainvälinen

kiinteistövahinkojen torjunnan ja kunnostuksen sekä tilapäisten kuivaus- ja lämmityspalvelujen toimittaja (Polygon).

Opinnäytetyön kokeellinen osuus koostuu siis kahdesta tutkimuksesta. Ensisijaisena tutkimuksena oli ilmanpuhdistimen testaus ja toissijaisena Case-tutkimus, joka suoritettiin eräässä päiväkodissa. Ilmanpuhdistimen kykyä poistaa sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia testattiin Mikkelin ammattikorkeakoulun laboratoriossa ja kemikaalina käytettiin 2-etyyliheksanolia, joka siis kuuluu sisäilman haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (VOC). Case-tutkimuksen tavoitteena oli testata ilmanpuhdistinta ja sen vaikutuksia normaalin käyttökohteen sisäilmaan. Tutkittavasta kohteesta mitattiin kemiallisten epäpuhtauksien lisäksi myös muita sisäilman epäpuhtauksia, kuten sisäilman mikrobeja ja hiukkasia. Mittaukset suoritettiin sekä ilmanpuhdistimen kanssa että ilman ilmanpuhdistimen vaikutusta.

## **2 SISÄILMAN LAATUA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET JA OHJEET**

Tässä luvussa käsitellään sisäilman laatua koskevia määräyksiä ja ohjeita, joita Suomessa tulee noudattaa. Aihetta on käsitelty yleisellä tasolla lakien ja asetusten avulla. Lisäksi on kerrottu opinnäytetyön aiheeseen liittyen rakentamiseen ja rakennusmateriaalien käyttöön liittyviä määräyksiä sekä ohjeita, joilla on merkittävä vaikutus muun muassa kemiallisten aineiden pitoisuuksiin sisäilmassa.

### **2.1 Terveydensuojelulaki ja -asetus**

Terveydensuojelulaki (763/94) ja -asetus (1280/94) sisältävät muun muassa vaatimuksia asunnon ja oleskelutilan terveydellisyydelle sekä määrittelee erilaisia terveyshaittoja. Terveydensuojelulain 7 luvun 26 pykälän mukaisesti 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 myöskään olla eläimiä eikä mikrobeja siinä määrin, että niistä aiheutuisi terveyshaittaa. Terveydensuojelulain pykälän 27 mukaan terveydensuojeluviranomainen voi velvoittaa sen, jonka menettely tai toimenpide on syynä terveyshaittaan, ryhtymään toimenpiteisiin tällaisen poistamiseksi tai rajoittamiseksi. (Terveydensuojelulaki 763/1994.)



## **2.2 Asumisterveysohje**

Terveysuojelulain 32 §:n nojalla sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohje voi antaa tarkempia määräyksiä ja tietoa asuntojen sekä muiden oleskelutilojen fysikaalisista, kemiallisista ja mikrobiologisista tekijöistä. Asumisterveysohje on Sosiaali- ja terveysministeriön opas 2003:1. (STM 2003, 11.)

Ohjeessa on mainittu kemiallisten ja mikrobiologisten epäpuhtauksien määrää tai fysikaalisia oloja kuvaavia lukuja, mutta ne eivät ole luonteeltaan sitovia. Nykykäsityksen mukaan terveyshaittaa ei yleensä aiheudu, kun mitatut olosuhteet asunnossa tai muussa oleskelutilassa ovat niiden mukaisia. Ohjearvoja sovellettaessa on kuitenkin muistettava ottaa huomioon paikalliset olot ja mahdollisuuksien mukaan myös altistuneiden ihmisten yksilölliset erot. (STM 2003, 11.)

## **2.3 Maankäyttö- ja rakennuslaki**

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/99) tavoitteeksi mainitaan muun muassa alueiden käyttö ja rakentaminen siten, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle. Pykälän 12 mukaisesti rakentamisen ohjauksen tavoitteena on edistää muun muassa hyvän ja käyttäjien tarpeita palvelevan, terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sekä sosiaalisesti toimivan ja esteettisesti tasapainoisen elinympäristön aikaansaamista kuin myös rakennetun ympäristön ja rakennuskannan suunnitelmallista ja jatkuvaa hoitoa ja kunnossapitoa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.)

Lain rakentamiselle asetettaviin vaatimuksiin kuuluu, että rakennuksen tulee täyttää sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla rakenteiden lujuuden ja vakauden, paloturvallisuuden, hygienian, terveyden ja ympäristön, käyttöturvallisuuden, meluntorjunnan sekä energiatalouden ja lämmöneristyksen perusvaatimukset (olennaiset tekniset vaatimukset). Rakennuksen tulee olla myös tarkoitustaan vastaava, korjattavissa, huollettavissa sekä muunneltavissa. Muutostyöt eivät saa vaarantaa käyttäjien turvallisuutta eivätkä heikentää heidän terveydellistä oloaan. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.)

### **2.3.1 Maankäyttö- ja rakennusasetus**

Maankäyttö- ja rakennusasetus (895/99) määrittelee pykälässä 50 rakennuksen olennaiset tekniset vaatimukset. Kuten jo laissa määriteltiin, rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sen olennaiset tekniset vaatimukset täytetään ja voidaan tavanomaisella kunnossapidolla säilyttää rakennuksen suunnitellun käyttöiän ajan. Asetus määrittelee hygieniaan, terveyteen ja ympäristöön liittyvistä seikoista seuraavaa. Rakennuksesta ei saa aiheutua hygienian tai terveyden vaarantumista syistä, jotka liittyvät erityisesti myrkyllisiä kaasuja sisältäviin päästöihin, ilmassa oleviin vaarallisiin hiukkasiin tai kaasuihin, vaaralliseen säteilyyn, veden tai maapohjan saastumiseen tai myrkyttämiseen, jäteveden, savun taikka kiinteän tai nestemäisen jätteen puutteelliseen käsittelyyn taikka rakennuksen osien tai sisäpintojen kosteuteen. (Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999.)

### **2.3.2 Suomen rakentamismääräyskokoelma**

Maankäyttö- ja rakennuslain 13 pykälän mukaan rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat velvoittavia. Kokoelmaan sisältyvät ohjeet eivät kuitenkaan ole velvoittavia, vaan muitakin kuin niissä esitettyjä ratkaisuja on lupa käyttää, jos ne täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset. Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat ainoastaan uuden rakennuksen rakentamista. Määräyksiä sovelletaan rakennuksen korjaus- ja muutostyössä (jollei määräyksissä nimenomaisesti määrätä toisin) vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa edellyttävät. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.)

Rakentamismääräyskokoelman osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto on Ympäristöministeriön antama asetus, jonka uusin päivitys astuu voimaan 1.7.2012 (kumotaan 22.8.2008 annettu asetus). D2-osan määräykset ja ohjeet koskevat siis muun kokoelman mukaisesti ainoastaan uuden rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa. Loma-asuntojen osalta määräykset koskevat vain kokovuotisen tai talviaikaiseen käyttöön tarkoitettuja rakennuksia. (YMa sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2011, 1 ja 3.)

Määräysten mukaisesti rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Ilmanlaatuun liittyviä ohjeita ja ohjearvoja sisäilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi rikkidioksidin, typpidioksidin, hiukkasten, lyijyn, hiilimonoksidin tai bentseenin pitoisuudet ovat yleensä enintään ilmanlaadusta annetun valtioneuvoston asetuksen (711/2001, uusin 38/2011) mukaisia. Ohjeissa on määritelty myös sisäilman laadun suunnittelussa käytettäviä epäpuhtauksien pitoisuusarvoja. (YMa sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta 2011, 7.) Näistä ohjearvoista on kerrottu tarkemmin luvussa 3.

## **2.4 Rakennustieto**

Rakennustieto on rakennusalan tieto- ja mediatalo. Rakennustieto-yhteisö muodostuu Rakennustietosäätiöstä (RTS) ja Rakennustieto Oy:stä. Rakennustiedon tarkoituksena on edistää hyvää rakennustapaa tiedon tuottajana ja välittäjänä. Rakennustietoa löytyy talonrakentamiseen, talotekniikkaan, kiinteistönpitoon sekä maa- ja vesirakentamiseen. Rakennustiedon verkkosivuilta löytyy muun muassa ajankohtaiset rakennusalan säännökset ja ohjeet. (Rakennustieto.)

Rakennustiedon tarjoamiin kortistoihin kuuluvat rakennustiedon esitteen mukaan muun muassa RT-kortisto (Rakennustietokortisto), LVI-kortisto sekä Ratu-kortisto (Rakennustuotantokortisto). RT-kortisto toimii tietolähteenä rakennuttamiseen, suunnitteluun, rakentamiseen, korjaamiseen ja kunnossapitoon. Se toimii kaikkien osapuolten, niin rakennuttajan, suunnittelijan, urakoitsijan kuin rakentamista valvovan viranomaisenkin yhteisenä työkaluna. (Rakennustieto.) RT-kortistoon kuuluvaa Sisäilmastoluokitus 2008:aa on käsitelty tarkemmin seuraavassa luvussa 2.5.

## **2.5 Sisäilmastoluokitus 2008**

Sisäilmastoluokitus 2008 on yksi RT-kortistoon kuuluvista ohjeista, joka sisältää sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Sisäilmastoluokitus 2008 korvaa vuonna 2001 ilmestyneen sisäilmasto 2000:n. (Sisäilmastoluokitus 2008, 1.)

Sisäilmastoluokitusta ei ole tarkoitettu käytettäväksi rakennuksen terveellisuuden arvioinnissa. Luokituksessa esitettyjä tavoitearvoja voidaan käyttää hyväksi sisäilman laadun mittaamisessa ja tarkastamisessa, mutta se on tarpeen vain erityistapauksissa. Luokituksessa on esitetty eri aineille tavoitearvoja, joskin on huomattava, ettei tavoitearvojen alittuminen takaa huoneilman terveellisyyttä, koska pienemmätkin pitoisuudet voivat aiheuttaa oireita herkille ihmisille. Lisäksi nykytietämyksen mukaan tavoitearvojen ylittyminen ei myöskään merkitse välitöntä terveysvaaraa. (Sisäilmastoluokitus 2008, 3.)

### **2.5.1 Sisäilmastoluokat**

Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen: laatuluokat S1, S2 ja S3, joista luokka S1 on paras, mikä puolestaan merkitsee suurempaa tyytyväisten osuutta (Sisäilmastoluokitus 2008, 4). Seuraavissa kappaleissa on kerrottu lisää laatuluokista.

S1 eli yksilöllisestä sisäilmastosta voidaan puhua, kun tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllälämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on lisäksi niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)

S2 eli hyvästä sisäilmasto voidaan puhua, kun tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllälämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)

S3 eli tyydyttävä sisäilmasto on silloin, kun tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista. Tarvittaessa jonkin suureen arvo voidaan määritellä tapauskohtaisesti. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)

Sisäilmastoluokituksen tavoitearvot on pyritty asettamaan siten, että luokka S3 vastaa maankäyttö- ja rakennuslain sekä terveydensuojelulain vaatimuksia. Nykytietämyksen mukaan tämän luokituksen tavoitearvojen toteutuessa ei terveille henkilöille aiheudu terveyshaittaa, jos rakennuksessa on suunnitellulla tavalla toimiva ilmanvaihto eikä erityisiä epäpuhtauslähteitä ole. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)

### **2.5.2 Rakennusmateriaalien päästöluokat**

Rakennus- ja sisustusmateriaaleista vapautuu huoneilmaan erilaisia kemikaaleja, jotka voivat olla peräisin esimerkiksi käytetyistä raaka-aineista, valmistusprosessin virheistä, materiaalien vanhenemisesta tai väärinkäytöstä. Huoneilman pitoisuus määräytyy materiaalien kokonaispäästöjen ja ilmanvaihdon perusteella. Huoneilman pitoisuutta voidaan alentaa kokonaispäästöjä pienentämällä tai ilmanvaihtoa lisäämällä ja ilmanvaihdon tehokkuutta parantamalla. Kokonaispäästöihin tulisi ensisijaisesti vaikuttaa käyttämällä vähäpäästöisiä materiaaleja ja vasta toissijaisesti ilmanvaihtoa lisäämällä. (Sisäilmastoluokitus 2008, 17.)

Rakennusmateriaalien päästöluokitus esittää vaatimukset tavanomaisissa työ- ja asuintiloissa käytettäville materiaaleille hyvän sisäilman laadun kannalta. Vähäpäästöisten rakennusmateriaalien käyttö ei takaa täydellä varmuudella hyvää sisäilmaa vaan ilmanvaihdon tulee olla samanaikaisesti riittävä ja materiaalien käytön tuoteselosteiden mukaista. On muistettava myös, että hyvin harvat materiaalit kestävät vaurioitumatta esimerkiksi kostumista tai kiinnittämistä kosteaan alustaan. Materiaalin tulee olla myös helposti puhdistettavissa. (Sisäilmastoluokitus 2008, 17.)

Rakennusmateriaalien päästöluokitus on kolmiportainen siten, että luokka M1 on paras ja luokka M3 eniten epäpuhtauspäästöjä synnyttävä. Parhaisiin sisäilmastoluokkiin S1 tai S2 pyrittäessä runsaasti päästöjä aiheuttavien materiaalien (luokat M2 ja M3) käyttöä on rajoitettava (Sisäilmaluokitus 2008, 17.). Sisäilmastoluokkien S1 ja S2 tilojen rakennusmateriaaleina tuleekin käyttää pääasiassa luokan M1 materiaaleja. Luokan M2 materiaaleja voidaan käyttää korkeintaan 20 % huoneen sisäpintoista, ei kuitenkaan yli 1 m huoneen lattia-m<sup>2</sup> kohden. Pinnoittamattomia tiili-, luonnonkivi-, lasi- ja metallipintoja, keraamisia

laattoja, sekä käsittelemättömästä puusta (poislukien kovapuulajit) valmistettuja lautoja ja hirsipintoja voidaan puolestaan käyttää vapaasti. (Sisäilmastoluokitus 2008, 10.)

Luokkaan M1 kuuluvat emissiotestatut materiaalit, joiden päästöt täyttävät taulukon 1 vaatimukset. Luokkaan M2 kuuluvat emissiotestatut materiaalit, joiden päästöt täyttävät taulukon 2 vaatimukset. Luokkaan M3 kuuluvat materiaalit, joiden päästöt ylittävät luokan M2 vaatimukset. Testaamattomille materiaaleille ei myönnetä luokitusmerkkiä lainkaan. Mikäli kyseessä on materiaaliyhdistelmä, määräytyy päästöluokka siinä käytetyn huonoimman materiaalin mukaan. Esimerkiksi luokan M1 pinnoitteella pinnoitettu luokan M2 materiaali kuuluu luokkaan M2, kunnes pinnoitetun tuotteen emissiomittauksilla on toisin osoitettu. Materiaalivalmistajalla tulee olla hyväksytty laadunvarmistusjärjestelmä. Materiaalin emissiomittaus on uusittava, kun materiaalin valmistusaineet tai prosessi muuttuu. (Sisäilmastoluokitus 2008, 17.)

**TAULUKKO 1. Luokan M1 vaatimukset (Sisäilmastoluokitus 2008, 17).**

Päästö	Emissio [ $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ]	Huom!
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio (TVOC)	0,2	Yhdisteistä tunnistettava väh. 70 %
Formaldehydi ( $\text{H}_2\text{CO}$ )	0,05	
Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ )	0,03	
IARC:n luokittelun mukaiset luokkaan 1 kuuluvat karsinogeeniset aineet (WHO 1987)	0,005	Ei koske formaldehydiä, sen kriteeri annettu edellä
Materiaali ei haise, hajun hyväksyttävyys kouluttamattomalla paneelilla arvioituna on $> 0,1$ .		
Laastit, tasoitteet ja siloitteet eivät saa sisältää kaseiinia.		

**TAULUKKO 2. Luokan M2 vaatimukset (Sisäilmastoluokitus 2008, 17).**

Päästö	Emissio [mg/m <sup>2</sup> h]	Huom!
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio (TVOC)	0,4	Yhdisteistä tunnistettava väh. 70 %
Formaldehydi (H <sub>2</sub> CO)	0,125	
Ammoniakki (NH <sub>3</sub> )	0,06	
IARC:n luokittelun mukaiset luokkaan 1 kuuluvat karsinogeeniset aineet (WHO 1987)	0,005	Ei koske formaldehydiä, sen kriteeri annettu edellä
Materiaali ei haise, hajun hyväksyttävyys kouluttamattomalla paneelilla arvioituna on 0,1.		
Laastit, tasoitteet ja siloitteet eivät saa sisältää kaseiinia.		

## 2.6 EU:n rakennustuotedirektiivi

EU:n rakennustuotedirektiivin (89/106/ETY) antamat vaatimukset rakennustuotteiden CE-merkinnästä on Suomessa saatettu voimaan maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) sekä rakennustuotteiden hyväksynnästä annettuun lakiin (239/2003) sekä siihen liittyvään asetukseen (1245/2003). Direktiivissä esitetään rakentamiselle konkreettisella ja teknisellä tasolla ns. olennaiset vaatimukset, jotka koskevat mekaanista lujuutta, paloturvallisuutta, hygienia-, terveys- ja ympäristönäkökohtia, käyttöturvallisuutta, meluntorjuntaa, energiataloutta ja ko. ominaisuuksien pysyvyyttä (pitkäaikaiskestävyyttä). Direktiiviä sovelletaan kaikissa rakennustuotteissa, joita käytetään pysyvinä osina rakennuskohteissa. Tuotteella tarkoitetaan niin materiaaleja, elementtejä, esivalmisteisia järjestelmiä kuin laitteistojen komponenttejakin. Tuotekohtaiset vaatimukset eli direktiivin mukaiset CE-merkinnän edellytykset asetetaan eurooppalaisten standardien ja teknisten hyväksyntäohjeiden avulla. (Ympäristöministeriö 2004, 7.)

## **2.7 Työturvallisuuslaki**

Työturvallisuuslain (738/02) tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työntekijöiden työkyvyn turvaamiseksi ja ylläpitämiseksi sekä ennalta ehkäistä ja torjua työtapaturmia, ammattitautoja ja muita työstä ja työympäristöstä johtuvia työntekijöiden fyysisen ja henkisen terveyden haittoja. Laki määrää, että ilman epäpuhtauksien osalta työpaikalla, joissa esiintyy ilman epäpuhtauksia, kuten pölyä, savua, kaasua tai höyryä työntekijää vahingoittavassa tai häiritsevässä määrin, on niiden leviäminen mahdollisuuksien mukaan estettävä eristämällä epäpuhtauden lähde tai sijoittamalla se suljettuun tilaan tai laitteeseen. Ilman epäpuhtaudet on riittävässä määrin koottava ja poistettava tarkoituksenmukaisen ilmanvaihdon avulla. (Työturvallisuuslaki 738/2002.)

## **3 OHJE- JA VERTAILUARVOJA SISÄILMAN KEMIALLISTILLE EPÄPUHTAUKSILLE**

Tässä luvussa on esitetty ulkomaisia ja kotimaisia ohje- ja vertailuarvoja sisäilman kemiallisille epäpuhtauksille. Hieman sivuutetaan myös työpaikkojen sallittuja pitoisuuksia HTP-arvojen avulla sekä usean yhdisteen yhteisvaikutuksen laskemista (rakentamismääräyskokoelma). Lisäksi on kerrottu muutamia tutkimustuloksia koskien erityisesti 2-etyyliheksanolipitoisuuksia sisäilmassa.

### **3.1 Ulkomaisia ohje-arvoja**

Maailman terveysjärjestö WHO on julkaissut Euroopan ilman laadulle ohje-arvoja, joita ei tosin ole eritelty sisä- tai ulkoilmalle. Muutamia WHO:n ohjeessa mainittuja orgaanisten yhdisteiden ohje-arvoja on esitetty taulukossa 3. Orgaanisten yhdisteiden lisäksi WHO on antanut ohje-arvoja myös joillekin epäorgaanisille yhdisteille, klassisille epäpuhtauksille kuten typpidioksidi, otsoni ja hiukkaset sekä sisäilman epäpuhtauksille kuten tupakansavu, radon ja ihmisten valmistamat kuidut. (WHO 2000.)



**TAULUKKO 3. WHO:n antamia ohjearvoja ilman orgaanisille epäpuhtauksille (\*= perustuu hajukynnykseen, WHO 2000).**

Yhdiste	Ohjearvo / altistumisaika
Formaldehydi	0,1 mg/m <sup>3</sup> / 30 min
1,2-dikloorietaani	0,7 mg/m <sup>3</sup> / 24 h
Dikloorimetaani	3 mg/m <sup>3</sup> / 24 h
Styreeni	0,26 mg/m <sup>3</sup> / vko, 70 mg/m <sup>3</sup> *
Tolueeni	0,26 mg/m <sup>3</sup>
Tetrakloorietyleeni	0,25 mg/m <sup>3</sup>

### 3.2 Kotimaisia ohjearvoja

Tavanomaisena sisäilman TVOC pitoisuutena voidaan Asumisterveysoppaan mukaan pitää pitoisuutta 200–300 µg/m<sup>3</sup>, yksittäisen yhdisteen harvoin ylittäessä pitoisuutta 50 µg/m<sup>3</sup> (STM 2009a, 136–137). Eri maissa tehtyjen tutkimusten mukaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet ulkoilmassa ovat 10–40 µg/m<sup>3</sup>, asunnoissa 50–400 µg/m<sup>3</sup>, toimistoissa 50–13000 µg/m<sup>3</sup> sekä kouluissa ja päiväkodeissa 50–300 µg/m<sup>3</sup>. Uusissa rakennuksissa pitoisuudet voivat olla jopa yli 5000 µg/m<sup>3</sup>. (Pönkä 2006, 143.)

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaiseman Asumisterveysohjeen mukaan ammoniakkin tavanomaisena pitoisuutena sisäilmassa voidaan pitää pitoisuutta 10–20 µg/m<sup>3</sup>. Tavanomaista korkeampana pitoisuutena voidaan pitää pitoisuuksia, jotka ylittävät 40 µg/m<sup>3</sup>, hajukynnyksen vaihdella 100–37 000 µg/m<sup>3</sup> välillä. (STM 2003, 63.) Sisäilman formaldehydipitoisuus saa ohjeen mukaan olla enintään 100 µg/m<sup>3</sup>, hajukynnyksen ollessa noin 35 µg/m<sup>3</sup> (STM 2003, 66). Styreenipitoisuus saa puolestaan olla enintään 40 µg/m<sup>3</sup>, hajukynnyksen ollessa 75 µg/m<sup>3</sup>. Styreenin pitoisuus on tavallisesti hyvin pieni, jopa alle 1 µg/m<sup>3</sup>. (STM 2003, 69.)

### 3.3 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet ja rakentamismääräyskokoelma D2

Sosiaali- ja terveysministeriö on julkaissut listan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista (HTP). HTP-arvot ovat tarkoitettu työpaikkojen ilmanlaadun arviointia varten. Kyseiset pitoisuudet ovat kuitenkin vain ohjeellisia raja-arvoja, jotka on lueteltu Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa HTP-arvot 2009. (STM 2009b,

11.) Muutaman mainitakseni on 8 tunnin HTP-arvo styreenille 20 ppm, tolueenille 25 ppm ja formaldehydille 0,3 ppm. Opinnäytetyöhön kuuluvassa tutkimuksessa olevaa 2-etyyliheksanolia ei listalta vielä löytynyt.

Rakentamismääräyskokoelman D2-osassa kerrotaan, että rikkidioksidin, typpidioksidin, hiukkasten, lyijyn, hiilimonoksidin ja bentseenin pitoisuudet saavat olla terveyshaittojen ehkäisemiseksi yleensä korkeintaan valtioneuvoston asetuksen (711/2001, uusin 38/2011) mukaisia. Muiden epäpuhtauksien osalta rakentamismääräyskokoelman mukaan pitoisuus voi tavanomaisissa tiloissa olla yleensä korkeintaan 1/10 työpaikkojen ilman haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista (HTP), kun yksittäisen aineen vaikutus on täysin hallitseva. Usean eri haitallisen aineen esiintyessä katsotaan hyväksyttävän pitoisuuden ylittyneen, jos  $\Sigma_i = (C_i / (HTP)_i) > 0$ , jossa  $C_i$  on mitattu yhden aineen pitoisuus ja  $(HTP)_i$  on kyseessä olevan aineen haitalliseksi tunnettu pitoisuus. Sisäilman laadun suunnittelussa käytettäviä epäpuhtauksien pitoisuusarvoja on esitetty taulukossa 4. Nämä pitoisuusarvot koskevat kuusi kuukautta käytössä ollutta rakennusta, jonka ilmanvaihto on pidetty jatkuvasti käynnissä käyttöajan ilmanvaihdon ilmavirralla. (YMa sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2011, 7.)

**TAULUKKO 4. Sisäilman epäpuhtauksien arvoja rakennuksen sisäilmaston suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi (YMa sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2011, 7).**

<b>Epäpuhtaus</b>	<b>Suunnittelun ohjearvo, Pitoisuus enintään [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
Ammoaniakki ja amiinit	20
Formaldehydi	50
Hiukkaset PM10	50
Styreeni	1

### 3.4 Tutkimustuloksia

Työterveyslaitoksen selvityksen mukaan 2-etyyliheksanolin keskiarvopitoisuus ongelmattomissa toimistoissa oli  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja yhdiste löytyi 59 prosentissa selvityksessä olleista näytteistä. Saksalaisen sisäilma-aineiston mukaan 2-etyyliheksanolin pitoisuus oli keskimäärin  $0\text{--}12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tosin tässä aineistossa oli mukana myös lattiapäätökohteita toisin kuin työterveyslaitoksen selvityksessä. VTT:n sisäilma- ja mittaustietopankin mukaan muutaman vuoden vanhoille rakennuksille pidetään 2-etyyliheksanolille normaalina pitoisuutena alle  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Saman lähteen mukaan FLEC-mittauksena tehdyille muovilattiapäätöille normaali pitoisuus on  $5\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tämän pitoisuuden ylittyessä voidaan puhua selvästi poikkeavasta lattiapäätöstä. Helsingin kaupungin omistamissa asuinkehteissa tehdyissä sisäilmamittauksissa 2-etyyliheksanolipitoisuudet ongelmattomissa huoneissa olivat alle  $3\text{--}13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kun taas lattiaongelmaisissa huoneissa pitoisuudet olivat  $8\text{--}53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Työterveyslaitos 2011 b.)

Taloussanomien artikkelissa Helsingin kaupungin Ympäristökeskuksen ympäristötarkastaja Kaisa Hiltusen mukaan he kehottavat toimenpiteisiin, jos sisäilman 2-etyyliheksanolipitoisuus ylittää  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . VTT:n erikoistutkija Helena Järnströmin mukaan 2-etyyliheksanolin normaaliarvo on sisäilmassa alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -tasolla. Ositumin laboratorion toimialajohtajan Merja Mikkosen mukaan 2-etyyliheksanoli aiheuttaa oireilua jo pienemmissäkin pitoisuuksissa. Mikrobiologian professori Mirja Salkinoja-Salonen puolestaan ei usko, että matala 2-etyyliheksanolipitoisuus vaurioittaisi keskivertoihmisen terveyttä. On myös muistettava että terveyshaitat riippuvat muun muassa altistumisen kestosta. (Taloussanomien 2011.)

Työterveyslaitoksen mukaan voidaan puhua alhaisesta TVOC-pitoisuudesta, jos se jää alle  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tällöin voidaan sisäilmast selvitykset suunnata muihin tekijöihin. Kokonaispitoisuus ei kuitenkaan kerro koko totuutta, vaan pitää keskittyä myös yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksiin ja niiden avulla päästölähteen selvittämiseen. Yksittäisen yhdisteen päästölähde on syytä selvittää, jos sen pitoisuus alkaa olla tuloksissa selvästi vallitseva,  $20\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -tasolla. (Työterveyslaitos 2010.)

TXIB:n keskimääräinen sisäilmapitoisuus on VTT:n sisäilmatietopankin mukaan  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . VTT:n materiaalitietopankin mukaan lattiapinnoitteen keskimääräinen TXIB-emissio on 12 kuukauden ikäiselle rakenteelle  $62 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . (Järnström 2005, 44.) Akkreditoidun tutkimus- ja analyysipalveluja tuottavan Ositum Oy:n mukaan toimistorakennuksissa, kouluissa ym. toimitiloissa TVOC-pitoisuus on noin 30–100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Omakotitaloissa ja muissa vastaavissa asunnoissa TVOC on yleensä noin 50–250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Ositum b.)

## 4 SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET

Tässä luvussa kerrotaan yleistä sisäilman epäpuhtauksista sekä niiden terveyshaitoista. Luvussa on käsitelty opinnäytetyön tutkimuksiin perustuen haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, hiukkasia sekä mikrobeja. Jokaisesta epäpuhtaustekijästä on käsitelty terveyshaitat erikseen. Haihtuvista orgaanisista yhdisteistä on lisäksi etsitty tutkimustuloksia ulkoisten olosuhteiden kuten ilmanvaihdon ja kosteuden vaikutuksista sisäilman pitoisuuksiin. Lisäksi on kerrottu hieman 2-etyyliheksanolista kemikaalina.

### 4.1 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Kemialliset epäpuhtaudet voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Sisäilman kannalta merkittäviä epäorgaanisia kaasumaisia yhdisteitä ovat hiilidioksidi, hiilimonoksidi, otsoni, rikkidioksidi ja muut rikkiyhdisteet sekä typen oksidit ja ammoniakki. (Sisäilmayhdistys 2008a.) Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden joukko puolestaan koostuu muun muassa alifaattisista, aromaattisista ja halogenoiduista hiilivedyistä, aldehydeistä, ketoneista, alkoholeista, terpeeneistä, karboksyylihapoista ja estereistä (Pönkä 2006, 141).

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) tärkeimpiä ja yleisimpiä lähteitä ovat rakennus- ja sisustusmateriaaleihin sisältyvät puu, muovit, kumit, maalit, lakat, liimat ja monet hartsit. Näihin kuuluu sekä luonnon että synteettisiä materiaaleja. Sisäilman orgaaniset yhdisteet voivat olla materiaalien lähtöaineita tai niiden hajoamistuotteita. Myös mikrobien aineenvaihduntatuotteet, jotka voivat olla hyvin myrkyllisiä, ovat orgaanisia kemiallisia yhdisteitä. (STM 2009a, 128.)

Sisäilmassa esiintyvien kemiallisten aineiden kokonaismäärää kuvataan usein haihtuvien orgaanisten aineiden pitoisuuksien määrällä (VOC eli Volatile Organic Compounds), ja mittaustulos ilmoitetaan terminä TVOC (kaikki haihtuvat orgaaniset aineet). TVOC-mittaustulosta ei kuitenkaan voida sellaisenaan käyttää terveyshaittojen arvioinnissa, koska tulos on niin epätarkka. Kohonnut TVOC-pitoisuus (esimerkiksi yli 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) kertoo kuitenkin kemiallisten aineiden epätavallisen suuresta määrästä sisäilmassa, ja tällöin on suositeltavaa tehdä lisäselvityksiä yksittäisten aineiden tutkimiseksi, jotta korkean pitoisuuden syy selviäisi. Tavanomaisena sisäilman pitoisuutena voidaan pitää pitoisuutta 200–300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . (STM 2009a, 136.)

Orgaanisille yhdisteille tärkeä ominaisuus, haihtuvuus, määräytyy yhdisteen kiehumispisteen mukaan. Mitä alhaisempi kiehumispiste yhdisteellä on, sitä haihtuvampi se on, ja sitä nopeammin se kaasuuntuu siitä materiaalista, jossa sitä on. Helposti haihtuvien aineiden poistumista rakennuksesta voidaankin nopeuttaa tehostamalla ilmanvaihtoa ja nostamalla sisälämpötilaa. Orgaaniset yhdisteet on jaettu kiehumispisteen perusteella ryhmiin taulukossa 5. (STM 2009a, 137.)

**TAULUKKO 5. Orgaanisten yhdisteiden ryhmät kiehumispisteen mukaan (STM 2009a, 136).**

Ryhmän englanninkielinen lyhenne	Ryhmä	Kiehumispiste, °C
VVOC	Erittäin haihtuvat yhdisteet	>0...50–100
VOC	Haihtuvat yhdisteet	50–100...240–260
SVOC	Puolihahtuvat yhdisteet	240–260...380–400
POM	Hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet	>380

Sisäilmatutkimuksissa on tutkittu pääasiassa VOC-alueen orgaanisia yhdisteitä. Näiden yhdisteiden lähteitä (taulukko 6) sisäilmassa ovat rakennus- ja sisustusmateriaalit, mutta myös ulkoilma (erityisesti liikenteen pakokaasut) ja ihmisen oma toiminta rakennuksen sisätiloissa (esim. pesu- ja puhdistusaineet). Sisäilmasta on voitu analysoida 50–300 erilaista orgaanista yhdistettä, joista yksittäisen yhdisteen pitoisuus harvoin ylittää 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Materiaaleista vapautuvat kemikaalit voidaan

havaita joskus myös selvänä hajuna sisäilmassa. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tutkimista voidaan hyödyntää hajuhaittoja tutkittaessa myös erityisesti silloin, kun sisätiloissa esiintyvää hajuhaittaa ei ole pystytty muuten selvittämään tai jos ulkopuolelta epäillään leviävän sisätilaan hajuhaittaa aiheuttavia kaasuja (esimerkiksi autotalli, maalaamo). (STM 2009a, 137.)

**TAULUKKO 6. Esimerkkejä eri yhdisteiden päästölähteistä (Rundt ym. 2005).**

<b>Yhdisteryhmä: yhdisteitä</b>	<b>Mahdollisia päästölähteitä</b>
aldehydit: pentanaali, heksanaali, heptanaali, oktanaali, nonanaali	puurakenteet, lastulevy, tapetit, lattiavahat, hajusteet, linoleum, kostea mineraalivilla
bentsaldehydi	pakokaasut, lastu- ja kuitulevyt
alifaattiset ja sykliset hiilivedyt: heksaani, heptaani, oktaani, sykloheksaani, metyyliisykloheksaani	liimat, bensiini, pakokaasut, liuottimet, polyuretaani
nonaani, dekaani, un-, do-, tri-, tetra-, penta- ja heksadekaani	pakokaasut, polttoöljy, dieselöljy
C4-C5-hiilivedyt: butaanit, pentaanit	kylmä-, ponne- ja vaahdotusaineet, nestekaasu(butaani), polyuretaani
alkoholit: propanolit, butanolit, pentanolit	liuottimet, puhdistusaineet, maalit
aromaattiset hiilivedyt: etyylibentseeni, ksyleenit, trimetyylibentseenit, tolueni	maalit, lakat, liimat, pakokaasut, bensiini, liuottimet, seinäpinnoitteet, polyuretaani, puhdistusaineet
bentseeni	bensiini, pakokaasut, tupakka
styreeni	polyesteri(lujitemuovi)hartsit, kumimatot
glykolit: 1-metoksi-2-propanoli, 1-etoksi-2-propanoli	vesiohenteiset maalit, lakat
1,2-propaanidioli, 2-(2-etoksietoksi)etanoli	korkkilaatat
klooratut hiilivedyt: tri- ja tetrakloorieteeni, 1,1,1-trikloorieteeni	liuottimet, kuivapesuaineet, liimat
siloksaanit : mm. dekametyyliisyklopentasiloksaani	saumausaineet, kosteuseristeet, tekstiilien lian hyljintäpinnoitteet
terpeenit: alfa- ja beeta-pineeni, 3-kareeni, limoneeni	puumateriaalit, hajusteet, puhdistusaineet, maalit, liuottimet
muut: TXIB, 2-etyyliheksanoli	muovimatot
1,4-diklooribentseeni	deodorantit, koimyrkyt, ilmanraikasteet

#### 4.1.1 Terveyshaitat

Orgaanisten yhdisteiden terveysvaikutuksista sisäilmassa, varsinkin aineiden alhaisissa pitoisuuksissa, on vähän tietoa käytettävissä (STM 2009a, 137). Haihtuvat orgaaniset yhdisteet aiheuttavat limakalvoja ärsyttäessään nuhaa, kurkun ärtymistä, yskää, silmien kirvelyä, käheyttä ja hengenahdistuksen tuntua sekä hajutuntemuksia, väsymystä ja päänsärkyä. Useat VOC-yhdisteet ovat tai niiden epäillään olevan karsinogeenisia tai mutageenisia. Näihin kuuluvat bentseeni, 1,1,1-trikloorietaani, trikloorietyleeni, diklooribentseenit, metyleenikloridi ja kloroformi. Kuitenkaan ei tiedetä, mikä on VOC-yhdisteiden karsinogeenisuuden ja mutageenisuuden käytännön merkitys. (Pönkä 2006, 142.) Ärsyttävimpiä yksittäisiä VOC-yhdisteitä ovat formaldehydi, pitkäketjuiset alkoholit kuten 2-etyyliheksanoli ja ammoniakki (Pönkä, 2006, 143).

Kemiallisten aineiden enimmäispitoisuuksista asuntojen ja muiden oleskelutilojen sisäilmassa ei ole käytettävissä kansainvälisiä tai kotimaisia viranomaisstandardeja (STM 2009a, 128). Altistuskokeiden avulla on kuitenkin todettu, että yhdisteiden kokonaispitoisuuden alittaessa  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  oireita ei esiinny. Pitoisuuden ollessa  $200\text{--}3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yhdisteet voivat aiheuttaa silmien ärsytystä, nenän tukkoisuutta ja ärsytystä, sekä ylähengitysteiden ärsytystä ja hajuntuntemuksia. Tätä korkeammat pitoisuudet aiheuttavat epämiellyttävää oloa ja myrkytysoireita ilmaantuu pitoisuuksien ylittäessä  $25\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Pönkä 2006, 142.) Tavanomaisena pitoisuutena voidaan pitää pitoisuutta  $200\text{--}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (STM 2009a, 136).

#### 4.1.2 Ulkoisten olosuhteiden vaikutus sisäilman kemiallisiin epäpuhtauksiin

Sisäilman laadun kannalta ilmanvaihto on suuressa roolissa. VOC-yhdisteiden fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi sisäilman TVOC-pitoisuus voi neljässä viikossa pienentyä jopa 60 % ilmanvaihdon kaksinkertaistuessa. (Järnström, 2005, 19.) VTT:n uudisrakennuksiin liittyvän tutkimuksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmällä on merkitystä uudiskohteissa. Luovutusvaiheessa mitatut TVOC-pitoisuudet olivat selvästi pienempiä, kun kohteessa oli koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, verrattuna kohteeseen, jossa oli pelkästään koneellinen poistoilmajärjestelmä. (Järnström & Saarela 2005, 79.) Eräässä tutkimuksessa osoitettiin, että joillain rakennusmateriaaleilla emissiopitoisuudet olivat korkeampia korkeammilla ilman

nopeuksilla. Esimerkiksi ilmapirran nopeuden ollessa 5 ja 9 cm/s PVC-matosta pääsi ilmaan korkeammat pitoisuudet sekä 2-etyyliheksanolia, että fenolia. (Wolkoff 1998.)

Toinen sisäilman yhdisteiden pitoisuustasoihin vaikuttava tekijä on sisäilman suhteellinen kosteus. Suomen vuodenaajat aiheuttavat suhteellisen kosteuden vaihtelua. (Järnström 2005, 19.) Useiden orgaanisten aineiden päästöt materiaaleista lisääntyvät kosteuden noustessa (STM 2009a, 137). Esimerkiksi ammoniakkin ja formaldehydin pitoisuuden on havaittu nousevan, kun sisäilman suhteellinen kosteus kasvaa. (Järnström 2005, 19.) Myös 2-etyyliheksanolin emissio matoista ja tiivisteestä on todettu kasvavan kun sisäilman suhteellinen kosteus kasvaa (Wolkoff 1998). Kuivissa olosuhteissa monet rakennus- ja sisustusmateriaalit kykenevät absorboimaan epäpuhtauksia ja toimimaan täten pitkään epäpuhtauksien ns. toissijaisena lähteenä (STM 2009a, 137).

Lämpötilan nousu aiheuttaa rakenteiden emissioiden lisääntymistä, mikä puolestaan aiheuttaa myös sisäilman pitoisuuksien kasvua. Vuodenajan mukaiset lämpötilavaihtelut yhdessä ilmanvaihdon ja suhteellisen kosteuden kanssa aiheuttavat sisäilman lopullisen pitoisuuden. (Järnström 2005, 19.) Korkea pintalämpötila tai otsoni voi vaikeuttaa joidenkin yhdisteiden mitattavuutta, koska ne saattavat muuttua alkuperäistä reaktiivisemmiksi yhdisteiksi (STM 2009a, 137). Pitoisuudet vaihtelevat myös sen mukaan, asutaanko huoneistossa vai ei, koska pitoisuustasoihin vaikuttavat muun muassa asunnon huonekalut, käytetyt pesuaineet ja hajusteet sekä tupakointi. (Järnström 2005, 19.)

#### **4.1.3 2-Etyyli-1-heksanoli kemikaalina**

2-Etyyli-1-heksanoli eli 2-etyyliheksanoli on palavaa väritöntä nestettä, jolla on tunnusomainen haju. Haju voidaan aistia makeahkona ja imelähkönä, mikäli yhdisteen hajukynnys ylittyy (Ositum a). Aine voi imeytyä elimistöön hengityksen kautta tai nieltynä. Aine ärsyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä oireinaan ihon ja silmien punoitusta sekä kipua, yskää, huimausta, päänsärkyä, kurkkukipua ja heikkoutta. (Kemikaalikortti 2005.) Akuutteja ärsytystyyppisiä oireita voi ilmetä, kun sisäilman pitoisuus on korkeampi kuin kosteusongelmatilanteissa on yleensä todettu (Työterveyslaitos 2011b). Aineelle altistumisesta voi seurata vaikutuksia myös keskushermostossa. Räjähäviä höyry-ilma-seoksia voi muodostua yli 73 °C:en



lämpötilassa. Turvatoimissa tulisi ennalta ehkäistä sumun muodostumisen vaara. Altistumista voidaan ehkäistä ilmanvaihdon, paikallispoiston sekä hengityksensuojainten avulla. HTP-arvoa ei ole tälle aineelle määritelty. Aine liukenee veteen huonosti ja on haitallista vesieliöille. (Kemikaalikortti 2005.) Lisää 2-etyyliheksanolista sisäilmassa luvussa 5.

## **4.2 Mikrobit**

Mikrobit ovat osa ihmisen elinympäristöä. Rakennusten sisällä on siellä tavanomaisesti esiintyvien mikrobien lisäksi luonnollisesti myös ulkoilmasta kulkeutuneita mikrobeja. Terveyshaittaa mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet voivat aiheuttaa kasvamalla kostuneilla pinnoilla tai rakenteissa, joista ne pääsevät kulkeutumaan ihmisten oleskelutiloihin ja hengitettävään ilmaan. (STM 2009a, 146.)

### **4.2.1 Kasvuedellytykset ja toksiinit**

Mikrobien kasvun perusedellytykset ovat sopiva lämpötila, kosteus ja riittävä ravinnon saanti. Mikrobien nopein kasvu tapahtuu lämpötilan ollessa 20–30 °C, mutta ne pystyvät kasvamaan 5–40 °C asteessa. Mikrobikasvu alkaa, kun rakenteen tasapainokosteus ylittää 80 %. Yleisesti ottaen homesienet ja eräät hiivat tarvitsevat vähemmän kosteutta kuin bakteerit (esimerkiksi aktinomykeetit) sekä sinistäjä- ja lahottajasienet. Kaikki kolme kasvuedellytystä kulkevat kuitenkin käsi kädessä ja mikäli muut edellytykset ovat suotuisat, voivat mikrobit kasvaa alhaisemmissakin kosteuksissa. (STM 2009a, 146.)

Rakenteissa esiintyvistä mikrobikasvustosta kertoo yleensä sisäilman homeen tai maakellaria muistuttava haju. Hajua aiheuttavat mikrobien aineenvaihdunnasta peräisin olevat haihtuvat orgaaniset yhdisteet (MVOC). Näitä on sisäilmassa pieninä pitoisuuksina. Useimmilla MVOC- yhdisteillä, kuten eräillä alkoholeilla, ketoneilla ja aldehydeilla, on myös muita lähteitä. Näiden yhdisteiden avulla ei vielä toistaiseksi voida selvittää esiintyykö rakenteissa mikrobikasvustoa. (STM 2009a, 151.)

Eräiden bakteerien ja homeiden tuottamat myrkylliset ja terveydelle vaaralliset toksiinit voivat esiintyä sisäilmassa sitoutuneena muihin pieniin hiukkasiin. Näitä erilaisia aineenvaihduntatuotteita tunnetaan jo useita tuhansia. Homeiden tuottamia

toksiineja ovat esimerkiksi trikotekeenit. Bakteereista esimerkiksi aktinomykeetit tuottavat sekundäärimetaboliitteja ja toksineja. (STM 2009a, 151.) Tutkimusten mukaan rakennusmateriaalien korkea kosteus lisää toksiinien tuottoa (STM 2009a, 152).

#### 4.2.2 Sienilajisto ja indikaattorimikrobit

Sienten tunnistus on erittäin haastavaa ja vaatii korkeaa ammattitaitoa. Tämän vuoksi ne yleensä tunnistetaan vain suku- tai ryhmätasolle poikkeuksena jotkin homelajit, joille lajitunnistuksen teko on helpompaa. (STM 2009a, 171.) Sisäilman yleisin sienisuku on *Penicillium*. *Penicillium* on siten myös sisäilma-, pinta- ja materiaalinäytteiden yleisimpiä sienisukuja yhdessä *Aspergillus*- ja *Cladosporium*-sienisukujen sekä hiivojen kanssa. Voidaan pitää epätavanomaisena, mikäli *Penicillium* ei ole valtalajina sisäilmanäytteissä. Ulkoilman yleisin sienisuku on puolestaan *Cladosporium*, minkä vuoksi sitä luonnollisesti esiintyy yleisesti myös sisäilmassa. *Cladosporium* voi kasvaa myös kostuneilla materiaaleilla, jonka vuoksi sen runsas esiintyminen talvella viittaa mikrobikasvustoon rakennuksessa. (STM 2009a, 172.)

Tutkimusten avulla on voitu nimetä mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä ns. indikaattorimikrobeiksi, joiden esiintymistä sisäilmassa, materiaaleissa tai pinnoilla voidaan pitää merkinä kosteusvauriosta/mikrobikasvustosta. Näitä indikaattorimikrobeja ovat muun muassa *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus versicolor*, *Chaetomium*, *Fusarium*, Sädesienet ja *Trichoderma*. (STM 2009a, 172.) Sisäilmanäytteissä voi esiintyä yksittäisiä homesieni pesäkkeitä, sen olematta epätavanomaista. Kuitenkin esimerkiksi yksittäisen indikaattorimikrobin esiintyminen useissa kohteen eri puolilta otetuista näytteissä voidaan pitää epätavanomaisena. Mikrobitulosten tulkinnassa on kuitenkin otettava huomioon myös muut lähteet, kuten mahdollinen maatalousympäristö, tallit, multaiset juurekset ja polttopuut muutaman mainitakseni. Mikäli epäillään tällaisten seikkojen osuutta näytteenotossa, se tulee uusia. (STM 2009a, 173.)

### 4.2.3 Ohjearvoja

Asumisterveysoppaan mukaan taajamassa sijaitsevien asuntojen sisäilman sieni-itiöpitoisuudet 100–500 cfu/m<sup>3</sup> ovat poikkeavan suuria talviaikana. Mikrobikasvuston esiintyminen on todennäköistä, mikäli näytteiden mikrobisuvusto on epätavanomaista. Yli 500 cfu/m<sup>3</sup> oleva sieni-itiöpitoisuus viittaa mikrobikasvustoon. Jos käytössä on vertailuasunto, on tutkittavan asunnon sisäilman sieni-itiöpitoisuus kohonnut sen ollessa kaksinkertainen vertailuasuntoon nähden. Yli 10 cfu/m<sup>3</sup> oleva aktinomykeetti-itiöiden pitoisuus viittaa mikrobikasvustoon sekä terveyshaittaan rakennuksessa. Suuri bakteeripitoisuus (> 4500 cfu/m<sup>3</sup>) ilman aktinomykeettien esiintymistä, viittaa puolestaan useimmiten puutteelliseen ilmanvaihtoon. Sulan maan aikaan sisäilmanäytteitä verrataan ulkoilmanäytteisiin ulkoilmapitoisuuksien ollessa normaalisti korkeammat. (STM 2009a, 171.)

### 4.2.4 Terveyshaitat

Mikrobien aiheuttama terveyshaitta voi aiheuttaa rakennuksessa oleskeleville henkilöille tyypillisesti silmien, ihon ja hengitysteiden limakalvojen ärsytysoireita, kuten nenän tukkoisuutta ja nuhaa. Yleistä ovat myös äänenkäheys, yskä ja limannousu keuhkoista, toistuvat nenäverenvuodot, hengenahdistus ja hengitysvaikeudet. Myös selittämätöntä kuumeilua, päänsärkyä, väsymystä ja pahoinvointia voi esiintyä. Edellä mainittuja oireita voi kuitenkin aiheuttaa myös muut sisäilmatekijät. Oireet voidaan yhdistää tietyn paikan sisäilman laatuun, mikäli oireet lievittyvät tai häviävät, kun rakennuksesta ollaan poissa. Altistukseen viittaavat myös toistuvat infektiot, kuten hitaasti paranevat flunssat, poskiontelon- ja keuhkoputkentulehdukset ja lapsilla korvatulehdukset. Jatkuvasta, pitkäaikaisesta altistuksesta voi aiheutua jokin pitkäaikaissairaus kuten krooninen keuhkoputkentulehdus, allerginen nuha, astma, ihottuma tai alveoliitti. (STM 2009a, 152.)

Enää ei kuitenkaan pitäisi puhua homeista vain ryhmänä, koska eri mikrobisukujen ja lajien terveysriski on erilainen. Lisäksi altistuvan kohdeväestön ja kohdepaikan ominaisuudet vaihtelevat suuresti (vrt. päiväkotia, sairaala, laitoskeittiö ja konepaja). Osa mikrobisuvuista on allergisoivia, osa myrkyllisiä eli toksisia, ja osa suvuista aiheuttaa suoran infektion elimistössä. Mikrobisukujen välillä, mutta myös

mikrobeilla ja kemiallisilla altisteilla on yhteisvaikutuksia. Lisäksi tietyt mikrobit voivat suojata toisen mikrobikannan haittavaikutuksilta. (Putus 2010, 7.)

Kosteusvauriomikrobit voidaan jakaa primaari-, sekundaari- ja tertiaarivaiheen mikrobeihin. Alkuvaiheen mikrobikanta korvautuu vaurion edetessä toisilla mikrobeilla. Kasvualustan ravinnetilanteen muutosten ja mikrobien keskinäisen kilpailutilanteen vaikutuksesta primaarimikrobien tilalle ilmaantuvat selluloosaa hajottavat sienet, sinistäjä sienet ja lopulta puutavaraa lahottavat sienet, punkit ja hyönteiset. Mikrobistoa muokkaavat myös korjaustyöt, siivous- ja desinfektioaineet, puhdistus- ja kuivausmenetelmät ja rakennuksessa käytetyt rakennusmateriaalit. Desinfektion jälkeen vain vastustuskykyisimmät kannat jäävät jäljelle ja mikrobisto palautuu normaaliksi vasta vähitellen ajan kuluessa. (Putus 2010, 8.)

Kosteus- ja homevauriorakennuksessa oleskelevien oireet etenevät ja vaihtuvat vaurion iän ja mikrobikannan mukaan. Kosteusvaurion jälkeen alkuvaiheessa ilmaantuu viihtyvyys- ja hajuhaittoja, vähitellen todetaan erilaisia epäspesifisiä ärsytysoireita ja yleisoireita. Altistumisen alkuvaiheessa oireiden ajallinen yhteys vaurioituneeseen rakennukseen on selvä, mutta altistumisen jatkuttua pitkään ajallinen yhteys hämärtyy. (Putus 2010, 8.) Ärsytysoireiden jälkeen ilmaantuu aikaisemmin mainittuja toistuvia infektioita ja tulehduskierrettä. Myös astma- ja allergiaoireita saattaa esiintyä. Vakavien yleisoireiden, neurologisten oireiden, kudoksen- ja elinvaurioiden ja autoimmuunitautien ilmaantuminen liittyy usein altistumiseen tertiaarivaiheen mikrobeille ja mikrobitoksiineille. Vakavia terveyshaittoja edeltää kuitenkin usein vuosikausia, jopa 10–12 vuotta jatkunut altistuminen. (Putus 2010, 9.)

### **4.3 Hiukkaset**

Sisäilman hiukkaset voidaan luokitella koon perusteella kolmeen ryhmään: kokonaisleijumaan, hengitettäviin hiukkasiin ja pienhiukkasiin. Kokonaisleijumalla (TSP, total suspended particulates) tarkoitetaan kaikkia ilmassa leijuvia hiukkasia ja suurin osa sen massasta on karkeaa pölyä. Hengitettävät hiukkaset (PM<sub>10</sub>) ovat aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 µm ja pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>) alle 2,5 µm kokoisia hiukkasia. (STM 2009a, 139.)

### 4.3.1 Lähteet

Ulkoilmassa hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset ovat peräisin palamisreaktioista, liikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen kaukokulkeumasta ja katupölystä sekä sisätiloissa ulko-/sisäsiirtymästä, tupakansavusta ja muista sisälähteistä kuten huonepölystä ja ruuanlaitosta. Kokonaisleijuman (TSP) lähteinä ovat ihmisen toiminta sekä ulkoilmasta sisään siirtyvät liikenteen aiheuttamat päästöt, kuten katupöly ja luonnosta peräisin oleva pöly. Sisäilmassa suuret hiukkaset laskeutuvat lattialle ja muille tasopinnoille. Terveydellistä merkitystä on erityisesti laskeutuneen pölyn sisältämällä orgaanisilla hiukkasilla ja mineraalivillakuiduilla. Ärsytysoireet voivat aiheutua suorasta ihokosketuksesta ja hetkellisesti kohonneiden hiukkaspitoisuuksien kuormittaessa hengitysteiden limakalvoja ja silmiä. (STM 2009a, 139.)

### 4.3.2 Terveyshaitat

Sisäilman hiukkasten haitallisuus riippuu olennaisesti niiden koosta. Mitä pienempiä hiukkaset ovat, sitä syvemmälle ne pääsevät hengitysteihin. Yli 10 µm aerodynaamiselta läpimitaltaan olevat hiukkaset laskeutuvat maahan tai pinnoille melko nopeasti. Hengitysteihin joutuessaan ne jäävät kiinni nenän ja nielun limakalvoille eivätkä pääse hengitysteihin. Sen sijaan pienimmät hiukkaset pääsevät keuhkoputkiin ja keuhkorakkuloihin saakka; lisäksi ne leijuvat pitkään ilmassa kulkien lähinnä vain ilmavirtauksien mukana. Erityisen haitallisia ovat alle 1–2µm läpimittaiset hiukkaset, koska ne pääsevät helposti keuhkorakkuloihin saakka ja kuljettavat sinne painoonsa nähden suureen pinta-alaansa adsorboituneita haitta-aineita. Näihin kuuluvat mm. erilaiset hiilivedyt ja metallit. Kaikista pienimmät, alle 0,5 µm läpimittaiset hiukkaset voivat päästä suoraan keuhkorakkuloista vereen. (Pönkä 2006, 75.)

Haitta-aineet voivat siis siirtyä hiukkasista keuhkokudokseen ja veren ja imunesteen välityksellä muualle elimistöön. Hengitysteissä haitat voivat olla joko lyhytaikaisia tai pitkäaikaisia. Lyhytaikaisvaikutuksiin kuuluvat ärsytysreaktiot (yskä, limannousu, jopa hengenahdistus), tulehdusreaktiot tai äkillisten allergisten reaktioiden, lähinnä astmakohtausten esiintyminen sekä edellä mainittujen seurauksena elimistön ylimääräinen kuormittuminen, stressireaktio. (Pönkä 2006, 76.)

Pitkäaikaishaittoihin kuuluvat krooniset eli pitkäaikaiset tulehdukset, allergiset reaktiot ja pahanlaatuiset kasvaimet. Esimerkkejä pitkäaikaisvaikutuksista ovat tupakoinnin aiheuttama krooninen keuhkoputkentulehdus ja kasvaimet, asbestihiukkasten aiheuttamat keuhkofibroosi ja syöpä tai mikrobien aiheuttama homepölykeuhko. Hengitysilman hiukkaset lisäävät myös tuntemattomalla mekanismilla oireita ja kuolleisuutta ennestään sairailta henkilöillä lähinnä lisäämällä sydän- ja verisuonisairauksien oireita johtaen mm. sydän- ja aivoinfarkteihin. (Pönkä 2006, 76.)

Ulkoilman pienhiukkasten on todettu lisäävän lasten ja astmaattikkojen oireita sekä hengitys- ja sydänsairaiden sairaalaanottoja ja kuolleisuutta. Ulkoilman hiukkasten aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ei ole nykyisen tutkimustiedon perusteella määritettävissä pitoisuutta, jonka alapuolella haittoja ei esiintyisi. (STM 2009a, 139.)

## **5 MUOVIMATTO LATTIAPÄÄLLYSTEENÄ**

Tässä luvussa on kerrottu PVC-muovimatosta ja sen käytöstä lattiapäällysteenä. Muovimatosta on kehittynyt uudenlainen ongelma sisäilma-asioissa kun siitä kemiallisen reaktion myötä vapautuvaa 2-etyyliheksanolia on alettu tutkimaan. Tässä luvussa on kerrottu lisää tästä kemiallisesta reaktiosta ja esitetty aiheesta tehtyjen tutkimusten tuloksia. Lisäksi on kerrottu hieman opinnäytetyön Case-tutkimuksessakin esiintyneestä maanvaraisesta laatasta ja sen yhteydestä 2-etyyliheksanoli ongelmaan.

### **5.1 PVC-muovimatto**

Materiaaleista lähtöisin olevat VOC-päästöt voivat olla suhteellisen lyhytaikaisia (maalit ja lakat) tai selvästi pitkäkestoisempia (PVC-muovimatto). Huonolaatuisesta PVC-muovimatosta vapautuu muun muassa pehmitinaineita, erilaisia apuaineita ja hajuja. Märästä betonista vapautuvan kosteuden vaikutuksesta, muovimatoista saattaa vapautua sisäilmaan muun muassa TXIB:tä sekä 2-etyyliheksanolia. TXIB (2,2,4-trimetyyli-1,3 pentaalidiolidi-isobutyraatti) on muovimattojen valmistuksessa käytetty viskositeetin alentaja. 2-Etyyliheksanolia käytetään puolestaan vesiohenteisissa

maaleissa parantamaan kalvonmuodostusta ja maalin pintarakennetta. Molemmat aineet aiheuttavat erilaisia ärsytysoireita (esim. silmä-, nenä- ja kurkkuoireita). Rakennusaikainen kosteus tai muu kosteusvaurio voivat aiheuttaa rakennusmateriaalien kemiallista rakenteen hajoamista ja näin lisätä VOC-pitoisuutta sisäilmassa. (STM 2009a, 137.)

## 5.2 Materiaaliemissio

Materiaaliemissio on materiaalin pinnasta tapahtuva kemiallisten yhdisteiden haihtumisilmiö. Emissio ilmoitetaan massayksikkönä pinta-ala- ja aikayksikköä kohden eli  $\text{mg/m}^2\text{h}$  ( $= 1\,000\ \mu\text{g/m}^2\text{h}$ ) tai vaihtoehtoisesti massayksikkönä massayksikköä kohden eli  $\text{mg/kg}$ . Tilan materiaaleista tapahtuva emissio vaikuttaa suoraan tilan sisäilman koostumukseen. Materiaalista tapahtuvaan emissioon vaikuttaa monta tekijää, kuten pinnan ilmanvaihto, yhdisteiden höyrypaine ja diffuusiokerroin materiaalissa sekä materiaalin tai rakenteen lämpötila ja kosteuspitoisuus. (Järnström & Saarela 2005, 10.) Esimerkkejä rakennustuotteista mitatuista emissioista on esitetty taulukossa 7.

**TAULUKKO 7. Rakennustuotteista mitattuja VOC- yhdisteiden ja yhdisteryhmien emissioita (Järnström 2005, 17).**

Rakennustuote	VOC-yhdiste/yhdisteryhmä
Muovimatto (PVC=polyvinyylikloridi)	Alkaanit, aromaattiset yhdisteet, 2-etyyliheksanoli, TXIB (esteriyhdiste)
Parketti (puu)	C5–C6-aldehydit, terpeenit
Linoleum	C5–C11-aldehydit, alifaattiset hapot, bentsaldehydi
Kumimatto	Asetofenoni, alkyloidut aromaattiset yhdisteet, styreeni
Liima	C9–C11-alkaanit, tolueeni, styreeni
Lakka	Alkaanit, aldehydit
Maali	Alkaanit, glykolit, glykoliesterit, Texanol
Saumausaine	Ketonit, esterit, glykolit, polyklooratut bifenyylit, siloksaani
Lastulevy	Alkaanit, aldehydit, ketonit, butanoli, formaldehydi

VOC-emissioiden määrien selvittämiseksi rakennusmateriaaleista on kehitetty laskentamalleja. Huang ja Haghighat toteavat tutkimuksensa perusteella laskentamallien käytön edellyttävän neljän kriittisen parametrin tuntemusta. Nämä neljä parametria ovat materiaalin diffuusiokerroin, materiaalin ja ilman välinen jakaantumiskerroin, materiaalin paksuus sekä ilman liikenopeus materiaalin pinnalla. (Huang & Haghighat 2003.)

### **5.3 2-Etyyli-1-heksanoli materiaaliemissiona muovimatosta**

2-Etyyliheksanolia käytetään siis pehmittimien, pinnoitteiden, liimojen sekä erikoiskemikaalien tuotannossa. Sisäilmaan 2-etyyliheksanolia voi vapautua PVC-muovimaton pehmittimen dietyyliheksyyliftalaatin (DEHP) ja liimojen akrylaattikopolymeerien hajoamisen seurauksena (sekundääriemissio), mutta myös pieniä määriä muun muassa vaurioitumattomista PVC-materiaaleista (primääriemissio). Sekundääriemissiossa tapahtuva kemiallinen reaktio tapahtuu emäksisessä ympäristössä, mutta myös mikrobitoiminnan seurauksena (esim. mineraalivillan kastuminen). Molemmat vaativat kosteutta tapahtuakseen. Kastuneen betonin pinnalla muovista ja liimasta vapautuva 2-etyyliheksanoli siirtyy diffuusion avulla betonihuokosissa, myös kosteus- ja lämpötilaerot ajavat molekyylejä liikkeeseen. 2-Etyyliheksanolista osa vapautuu sisäilmaan ja osa painuu alas betonihuokosiin. (Työterveyslaitos 2011b.)

Muovimatoissa DEHP:tä voi olla jopa 30 painoprosenttia. Maton kiinnityksessä käytetyn mattoliiman akrylaattipolymeerien hajoamiselle kriittinen pH-alue on 11–13. Useimmiten mattoliimojen pääkomponentteina ovat 2-etyyliheksyyliakrylaatti ja butyyliakrylaatti. Emäksisissä olosuhteissa, alkaalisessa hydrolyysissä, liiman kopolymeeri hajoaa ja lopputuotteena syntyy 2-etyyliheksanolia, 1-butanolia ja muita reaktiotuotteita. Mikrobitoiminnan hajottamasta DEHP:stä muodostuu 2-etyyliheksanolia, 2-etyyliheksanaalia sekä 2-etyyliheksaanihappoa. (Työterveyslaitos 2011b.)



## 5.4 Tutkimustuloksia

VTT:n tekemän tutkimuksen mukaan kemikaalipäästöjä voidaan poistaa betonihuokosista lämpötilakäsittelyllä, kun matto ja irtonainen aines on ensin poistettu betoninpinnasta. Huonelämpötilaa nostetaan 30–35 °C:seen ja samalla tilaa tuuletetaan. Lopuksi uudelleenpinnoitus tehdään M1-testatuilla materiaaleilla. (Järnström 2005, 37.) Tutkimuksen mukaan asuntojen TVOC-pitoisuus oli tavallisesti 12 kuukauden kuluttua korjaustoimenpiteistä sisäilmastoluokituksen S2-luokkaa vastaava eli alle 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . TXIB-pitoisuus oli keskimäärin 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja uuden lattiapinnoitteen emissio korkeintaan 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . 2-Etyyliheksanolipitoisuus oli 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja lattiapinnoitteen emissio noin 25,5  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ . Asukaskyselyjen mukaan korjaustoimenpide vähensi oireita merkittävästi. (Järnström 2005, 4.)

VTT:n toisessa tutkimuksessa todettiin, että valmiista rakenteista syntyy merkittävästi korkeampia ominaispäästöjä kuin yksittäisistä PVC-materiaaleista. Liimat kasvattivat VOC-emissioiden määrää valmiissa rakenteissa. Tuloksien perusteella voidaan sanoa VOC-emissioiden määrään vaikuttavan kolme eri tekijää; PVC:n läpäisevyys VOC-kaasuille, VOC-emissiot liimoista sekä VOC-emissiot PVC-tuotteen takana. Tutkimuksessa kaikki yksittäiset PVC-materiaalit emittoivat 2-etyyliheksanolia. TXIB-pehmennin löytyi sekä yksittäisistä materiaaleista että valmiista rakenteista kuten myös taustalla olevista rakenteista. Tutkimuksen perusteella olisikin suotavaa huolellisesti suunnitella käytettävä PVC:n ja liiman yhdistelmä, mikäli pyritään lattiarakenteen mataliin emissiopitoisuuksiin. (Järnström ym. 2007.)

## 5.5 Maanvarainen laatta

Case-tutkimuksen kohteessakin käytetty 1950-luvulla käyttöön otettu maanvastainen betonilaatta on aiheuttanut vuosina 1960–1990 rakennetuissa rakennuksissa suhteellisen paljon kosteusvaurioita. Ongelmia on ollut muun muassa lattiapinnoitteissa, jotka ovat irronneet, kupruilleet tai värjäytyneet sekä rakenteissa, joista on löytynyt lahoa ja hometta. Pääsyyinä vaurioissa on maassa oleva kosteus. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

Maanvaraisen lattiarakenteen riskejä ovat maanvaraisten lattioiden eristämättömyys, diffuusion aiheuttama kosteuden nousu maaperästä ylöspäin lämpötilaerojen

vaikutuksesta eli lattiaan kertyvä vesi, lattiaan kapillaarisesti nouseva vesi, lattioiden liian aikainen pinnoittaminen sekä muovikalvojen käyttö rakenteessa, joka aiheuttaa paikasta riippuen kosteusvaurioriskin. Tyypillisimpiä vaurioita ovat aiemmin mainittujen lisäksi pintamateriaalin ja tasoitteen mikrobivaurioituminen, kosteuden aiheuttamat emissiot (esim. liimat) sekä materiaalien hajoamisesta muodostuva haju. (Sisäilmayhdistys 2008a.)

## **6 MITTAUSMENETELMÄT**

Tässä luvussa on käsitelty opinnäytetyön tutkimus-osioissa käytettyjä mittausten menetelmiä ja laitteita. Tässä teoriaosuudessa on esitetty myös yleistä tietoa eri mittausten menetelmistä kuten VOC-näytteenoton eri vaihtoehdoista. Tarkemmin juuri tässä opinnäytetyössä käytetyt menetelmät ja laitteet on eritelty luvussa 7.

### **6.1 VOC-näytteenotto**

VOC-näytteenotossa on aina muistettava, että niiden avulla ei voida todeta sisäilman olevan kunnossa. Vaikka VOC-määritykset olisivat sisäilmaluokituksen mukaisessa parhaassa luokassa (S1), sisäilmassa voi olla paljon erilaisia haitallisia tekijöitä ja rakennuksessa sisäilmaongelma. (Sisäilmayhdistys 2008b.)

VOC-näytteenotossa tulee ottaa huomioon, että siinä mitataan rakennuksesta peräisin olevia päästöjä ilman ihmisestä tai sen toiminnasta peräisin olevia päästöjä. Mittaustilan ovet ja ikkunat on pidettävä kiinni edellisestä illasta lähtien ja ne pidetään kiinni mittauksen aikana. Näytteenoton aikana ei ole suotavaa liikkua mitattavassa tilassa, muuten kuin välttämättömät tarkistukset mittalaitteiden toiminnasta. Tilassa ei saa siivota kemikaaleilla tai kosteuspyyhinnällä vuorokautta ennen näytteenottoa ja mahdollisista vahauksista tulisi olla kulunut vähintään 4 viikkoa. Mitattavassa tilassa ei saa olla elintarvikkeita, ruokaa, juomia, leikkokukkia, kukkivia huonekasveja, kemikaaleja ja niin edelleen. Myös mittaajan tulee olla mittauspäivänä ilman hajusteita, käsivoiteita eikä hän saa syödä esimerkiksi purukumia, jotta analyysituloksia kuvaisi mahdollisimman hyvin rakennuksen tilaa. Keräimen tulpat on myös syytä kiristää huolella. Mikrobinäytteenotosta on ilmoitettava VOC-näytettä tutkivalle laboratorioille, mikäli sen yhteydessä on käytetty jotakin etanolilajia. (Työterveyslaitos.)

### 6.1.1 Näytteenottomenetelmät

Lyhytaikaisessa näytteenotossa sisäilman haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kerätään Tenax-hartsiputkeen pumpulla. Näytteen keräysnopeus on 40–200 ml minuutissa, ja näytteen koon tulee olla 4-15 litraa. Näyte voidaan analysoida hartsiputkesta kahdella eri tavalla; desorboidaan termodesorptiolla ja analysoidaan kaasukromatografilla käyttäen massaselektiivistä detektoria ja/tai liekki-ionisaatiodetektoria tai analysoidaan kaasukromatografilla ja massaspektrometrillä. Näytteestä voidaan määrittää haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) sekä tunnistaa ja määrittää yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia. Yksittäisen aineen toteamisraja analyysissä on noin  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ilmamäärästä riippuen. Sisäilmanäyte voidaan kerätä myös passiivisesti Tenax-hartsiputkeen. Tällöin näytteen keräysaika on 1-3 viikkoa. Passiivisesti kerätyn näytteen kvantitatiivinen analyysi on kuitenkin epätarkempi kuin aktiivisella keräysmenetelmällä otetun näytteen analyysi. (STM 2009a, 138.)

### 6.1.2 Näytteen analysointi

VOC-yhdisteiden analysointia voidaan suorittaa joko suoraan luettavilla instrumenteilla tai erotusmenetelmään pohjautuvilla menetelmillä. Suoraan luettavia instrumentteja voidaan käyttää muun muassa ajallisen vaihtelun ja huoneistojen välisten pitoisuuksien osoittamiseen. Lisää suoraan luettavista instrumenteista luvussa 6.1.3. Mikäli tarkoituksena on selvittää yksittäisiä yhdisteitä, on suositeltavaa käyttää VOC-yhdisteiden erotusmenetelmään pohjautuvaa menetelmää. Erotusmenetelmään sisältyy ilmanäytteen keräys, varastointi, siirto analyysilaitteeseen, erottelu sekä havainnointi ja tunnistus. Yleisin keräysmenetelmä on Tenax TA-adsorbentin käyttö. Se on käytössä analysoitaessa WHO:n määrittelemän alueen C6-C16 (heksaani - heksadekaani). Tämän alueen ulkopuolelle jäävien pienimolekyylisten yhdisteiden tunnistamiseen ja määrittämiseen käytetään Tenax GR-adsorbenttia sekä aistinvaraista arviointia. Pienimolekyylliset yhdisteet kuten formaldehydi, asetaldehydi, etikkahappo sekä monet biosidit ovat usein syyllisiä sisäilmassa esiintyviin hajuhaittoihin. (Sisäilmayhdistys 2008b.)

### 6.1.3 Fotoionisaatiodektektori (PID)

Aikaisemmin luvussa 6 mainittuja suoraan luettavina instrumentteina voidaan käyttää liekki-ionisaatiodektektoria (FID), fotoionisaatiodektektoria (PID) tai fotoakustista sensoria (PAS). Suoraan luettavien instrumenttien käyttö on helppoa, mittalaitteet ovat kannettavia ja mittaukset voidaan suorittaa vuorokauden ympäri tapahtuvalla mittauksella. Huonona puolena kuitenkin yksilöllisten yhdisteiden tunnistamattomuus, laitteiden erilaiset keräysalueet ja korkea määrittäysraja, joka saattaa vaihdella 50–300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  välillä. Tulokset on ilmoitettava keräysmenetelmän mukaan, esimerkiksi TVOCFID. (Sisäilmayhdistys 2008b.)

Tutkimuksissa käytettiin Rae Systems:n ppbRae-laitetta (kuva 1), joka on fotoionisaatiodektektori (PID). Käytössä ollut laite mittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ppb-pitoisuudessa (parts per billion).



**KUVA 1. Tutkimuksissa käytetty fotoionisaatiodektektori (Laitinen 2011–2012).**

Laitteen toiminta perustuu ionisaatioon. Laitteen tärkein osa on ultraviolettilähde, UV-lamppu. UV-lamppu tuottaa fotoneita, joiden energia ilmoitetaan elektronivoltteina (eV). Nämä korkeaaenergiset fotonit kulkevat mittauskammion läpi ja elektroni irrottautuu molekyylistä. Ionisaation jälkeen molekyylistä tulee positiivisesti varautunut. (MSA 2005, 2.)

Elektrodien välinen sähkökenttä pakottaa ionit elektrodille. Ionisaation määrä ja sen tuottama virta on suhteessa kaasun pitoisuuteen kammiossa. Näin ollen virran tuottamasta signaalista saadaan pitoisuus yksikössä ppb. (MSA 2005, 2.)

Elektronin irrottamiseen vaadittava energia (ionisaatiopotentiaali, IP) vaihtelee eri yhdisteiden välillä. Ionisaatio tapahtuu ainoastaan niillä yhdisteillä, joiden ionisaatiopotentiaali on pienempi kuin UV-lampun ionisaatioenergia. Useimmiten käytetään 10.6 eV lamppua, koska suurin osa haihtuvista orgaanisista yhdisteistä omaa sitä pienemmän IP:n. (MSA 2005, 2.) Tutkimuksissa käytetyssä laitteessa oli myös kyseinen lamppu.

PID kalibroidaan yleensä isobuteenin avulla, jolloin yksittäisten kaasujen pitoisuudet saadaan erilaisten korjauskertoimien avulla. Useimmat PID-mittarit voivat havaita kaasuja maksimissaan muutamaan tuhanteen ppm ja alimmillaan yhteen tai kahteen ppm. Ulkoisten olosuhteiden kuten lämpötilan ja kosteuden muutokset vaikeuttavat mittaamista. Tulee myös muistaa, että PID on erittäin herkkä laite, ei analysaattori, ja se reagoi helposti ilmassa oleviin yhdisteisiin, oli se sitten mitattavaa ainetta tai ei. (MSA 2005, 3.)

## **6.2 Mikrobinäytteenotto**

Tutkimuksissa käytettiin sisäilman mikrobinäytteenottoon Andersen-tyyppistä 6-vaiheimpaktoria. 6-vaiheimpaktori koostuu nimensä mukaisesti kuudesta tasosta, joiden läpi näytteenottoilma kulkee. Jokaisessa tasossa on 400 reikää, joiden koko pienenee tasoittain. Näytteenotto ilma imetään eri tasojen läpi pumpun avulla. Ilmavirran mukana kulkevat hiukkaset poistuvat ilmavirrasta tasojen väleissä sijaitseville agar-maljoille, mikäli hiukkanen on liian suuri pysyäkseen ilmavirran mukana. Näin ollen pienimmät hiukkaset päätyvät alimmille maljoille ja suurimmat ylimmille. (Andersen 1958.)

Mikrobinäytteet analysoitiin viljelyyn perustuvalla tekniikalla, jossa bakteeri- ja sienimaljoja kasvatettiin kannet alaspäin käännettyinä 7 vuorokautta  $25 \pm 3$  °C:ssa. Bakteerimaljojen kasvatusta jatkettiin vielä toiset 7 vuorokautta (yht. 14vrk) aktinomykeettien kasvun mahdollistamiseksi.

Mikrobinäytteenotossa ja terveyshaitan arvioinnissa tulisi muistaa, että elävien mikrobi-itiöiden ohella oireita voivat aiheuttaa itiöiden sisältä vapautuva hienopöly, rihmaston kappaleet, mikrobien pintarakenteet ja haihtuvat aineenvaihduntatuotteet.

Näiden kaikkien mittaaminen on vaikeaa ja viljelyyn perustuvilla tekniikoilla saadaan esiin vain 1-10 % mikrobisoluista. On myös huomattava, että kuivatus, kuumennus ja desinfektioimet voivat vaurioittaa mikrobisoluja, mutta se ei tarkoita, ettei niitä enää olisi ilmassa, pinnoilla tai rakenteissa. (Putus 2010, 12.)

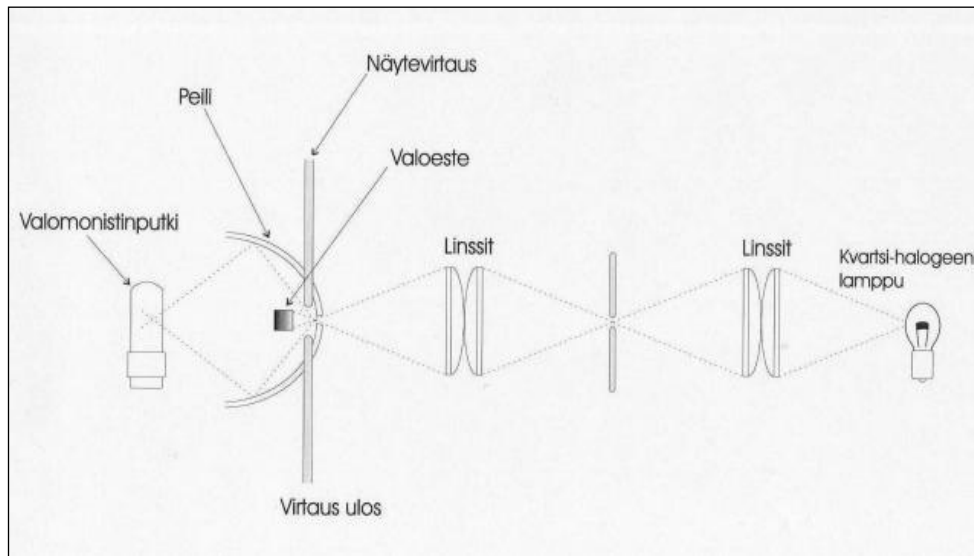
Tuloksien tulkinnassa tulee muistaa, että elatusalustat ovat valikoivia ja suosivat tiettyjä nopeakasvuisia lajeja ja sukuja. Hitaasti kasvavien sienten osoittamiseen tarvitaan erikoistekniikoita. Kuolleet tai vaurioituneet solut eivät tule esiin viljelyssä ja viljely on lisäksi hidasta. Suoraa mikroskopointia voitaisiin käyttää nykyistä enemmän mikrobikasvuston pikadiagnostiikkaan ja korjausvaiheessa vaurioalueen rajaukseen, mutta menetelmä edellyttäisi kokeneen mikroskopijan menemistä kohteeseen. (Putus 2010, 12.)

### 6.3 Optiset hiukkaslaskurit

Tutkimuksissa käytettiin optisiin menetelmiin perustuvia hiukkaslaskureita, joista on kerrottu yksityiskohtaisemmin luvuissa 6.3.1 ja 6.3.2. Optiset mittaamenetelmät ovat herkkiä, lähes reaaliaikaisia, eivätkä vaadi fyysistä kontaktia hiukkaseen. Niitä käytetään aerosolihiukkasten pitoisuuden ja kokojakauman mittaamiseen. Optisten mittalaitteiden käyttöä rajoittaa valon aallonpituus, joka asettaa kokoalueen alarajaksi noin 0,1  $\mu\text{m}$ . Tätä pienempiä hiukkasia voidaan mitata optisesti vain, jos ne kasvatetaan ensin tiivistämällä niiden pinnalle höyryä (kondensaatiohiukkaslaskurit). (Hiukkastieto.)

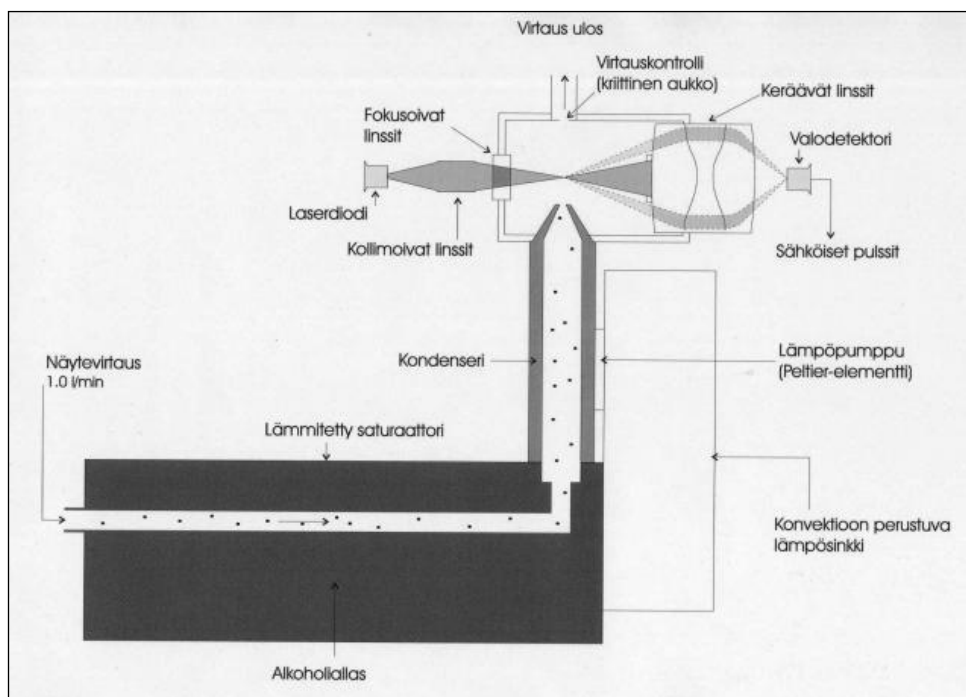
Optinen hiukkaslaskuri (OPC, Optical Particle Counter) mittaa hiukkasten lukumääräpitoisuuden ja koon. Hiukkaset ohjataan kulkemaan yksitellen fokusoidun valonsäteen läpi, jolloin ne sirottavat valoa, minkä jälkeen sironneet valopulssit kerätään ilmaisimelle. Hiukkasten pitoisuus saadaan pulssien saapumistaajuudesta ja koko pulssien korkeudesta. Laservalolla voidaan mitata pienempiä hiukkasia kuin valkoisella valolla, mutta tällöin kokovaste ei enää ole yksiselitteinen. Mittauksen virhelähteinä pidetään taitekertoimien ja muotojen muutoksia. Suurilla pitoisuuksilla virhettä aiheuttaa koinsidenssi, eli useamman hiukkasen saapuminen havaintotilavuuteen yhtäikaa tai liian pienen väliajoin, jolloin ne tulkitaan yhdeksi hiukkaseksi. OPC-menetelmään perustuvat mittalaitteet ovat helppokäyttöisiä ja niitä käytetään yleisesti muun muassa hiukkasten tutkimuksessa, pitoisuuksien valvonnassa

ja puhdastilamonitoroinneissa. Optisen hiukkaslaskurin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2. (Hiukkastieto.)



**KUVA 2. Optisen hiukkaslaskurin toimintaperiaate (Hiukkastieto).**

CPC-menetelmään (Condensation Particle Counter) perustuvissa kondensaatiohiukkaslaskureissa hiukkaset kasvatetaan optisesti havaittaviin kokoihin tiivistämällä niiden pinnalle alkoholi- tai vesihöyryä. Riittävä ylikyllästystila tiivistymiselle saavutetaan muun muassa adiabaattisen laajenemisen avulla, lämpötilaerojen avulla tai sekoittamalla kahta eri lämpötiloissa olevaa höyryä. Hiukkasmäärä lasketaan kasvatuksen jälkeen joko kokonaissironnan perusteella tai yksittäin kuten optisessa hiukkaslaskurissa. CPC-menetelmällä pystytään havainnoimaan parhaimmassa tapauksessa jopa alle 3 nm kokoisia hiukkasia, mutta tällöin hiukkasten alkuperäinen kokoinformaatio yleensä häviää. Kondensaatiohiukkaslaskuria voidaan siis käyttää myös hiukkasten kokonaislukumääräpitoisuuden havainnointiin, mutta usein se yhdistetään sähköiseen liikkuvuusanalysointiin, jolloin saadaan selville hiukkasten lukumääräkokojakauma. (Hiukkastieto.) Kondensaatiohiukkaslaskurin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.



**KUVA 3. Kondensaatiohiukkaslaskurin toimintaperiaate (Hiukkastieto).**

### 6.3.1 TSI P-Trak 8525

P-Trak on teleskooppianturilla varustettu kannettava kondensaatiohiukkaslaskuri (kuva 4) ultrapienien hiukkasten havainnointiin ja hiukkasten alkulähteen paikallistamiseen. P-Trak hiukkaslaskurin mittauseriaatteena on kemikaalikyllästysperustainen laserfotometria. Näyteilman jokaisen hiukkasen pinnalle lauhdutetaan isopropyylialkoholia, jonka avulla pienhiukkaset on mahdollista laskea. Alle yhden mikrometrin pienhiukkasia on perinteisesti ollut vaikea mitata. P-Trak:n mittausalue ulottuu kuitenkin 0,02-1 mikrometrin alueelle. Näin pieniä hiukkasia ei kannata mitata massayksiköissä, vaan mittaussyksiköksi on vakiintunut  $\text{kpl}/\text{cm}^3$ . (Teknocalor.)

P-Trak on tarkoitettu nimenomaan ultrapienien hiukkasten laskemiseen ja paikantamiseen, joita esim. Aerotrak:lla ei pystytä laskemaan. P-Trak on helppokäyttöinen ja sillä voidaan toteuttaa nopeita pikamittauksia, reaaliaika-analyysyjä ja se voidaan helposti asettaa loggaustilaan, jolloin laite kerää automaattisesti näytteitä valitulla aikavälillä. Loggaus-asetuksella saatujen tietojen purku tapahtuu helposti Trakpro- ohjelman avulla tarkempaa analysointia varten. (Teknocalor.)





**KUVA 4. P-Trak hiukkaslaskuri toiminnassa (Laitinen 2011–2012).**

### 6.3.2 TSI Aerotrak 8220

Aerotrak (kuva 5) on optiseen hiukkaskokojaotteluun (OPC) perustuva hiukkaslaskuri. Laite laskee halkaisijaltaan  $0,3\mu\text{m}$ – $10\mu\text{m}$  olevat hiukkaset. Hiukkaset lasketaan kokoluokittain (halkaisijan perusteella), jotka ovat  $0,3\mu\text{m}$ ,  $0,5\mu\text{m}$ ,  $1,0\mu\text{m}$ ,  $3,0\mu\text{m}$ ,  $5,0\mu\text{m}$  ja  $10\mu\text{m}$ . Laitteeseen voi myös liittää ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mittaavan lisäanturin. Laitteen saa asetuksia muuttamalla tallentamaan tietoja valituin aikavälein. Tulokset saadaan siirrettyä Excel-tiedostoksi käyttämällä Trakpro-ohjelmaa. (TSI 2006.)



**KUVA 5. Aerotrak hiukkaslaskuri (Laitinen 2011–2012).**

## 6.4 Ilmanpuhdistin Hilma

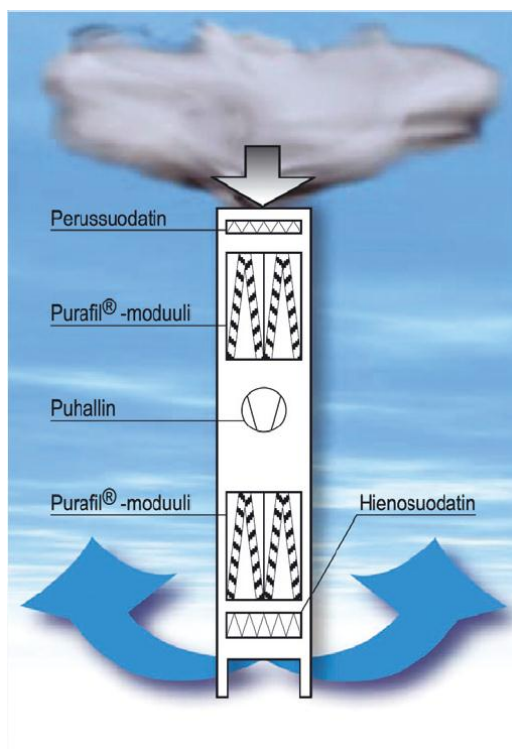
Tutkimuksissa käytettiin F-Suotimien Hilma-ilmanpuhdistuslaitetta (kuva 6). Hilma on omatoiminen ilmaa kierrättävä yksikkö, joka soveltuu erilaisten hajujen, pölyjen, tupakansavujen sekä muiden epämiellyttävien tai haitallisten ilman epäpuhtauksien poistamiseen sisäilmasta. Hilmalle soveltuvia käyttökohteita ovat muun muassa tupakointitilat, neuvotteluhuoneet, laboratoriot, sairaalat, kuntosalit, pukuhuonetilat, koulut sekä päiväkodit. (F-Suotimet Oy.)



**KUVA 6. Hilma-ilmanpuhdistin suodattimet paikoillaan (Laitinen 2011-2012).**

### 6.4.1 Toimintaperiaate

Ilmanpuhdistin voidaan varustaa yksilöllisten vaatimusten ja taustapitoisuuksien mukaan. Ilmanpuhdistus muodostuu kolmesta vaiheesta; perussuodattuksesta, kaksipuolaisesta Purafil- suodattuksesta sekä hienosuodattuksesta (kuva 7). (F-Suotimet Oy.) Käytössä olleessa mallissa ilmanpuhdistus muodostui neljästä eri suodattimesta; F6-suodatin (karkea), kaksipuolainen Purafil -suodatus, F7- suodatin (hieno) sekä H13-suodatin (mikro). Ilmanpuhdistimen puhaltimessa on neljä eri tehotasoa 1-4, joista 1 on matalin ja 4 korkein.



**KUVA 7. HILMA-ilmanpuhdistin imee puhdistettavan ilman ylhäältä ja puhalttaa sen puhdistuksen jälkeen alhaalta pois (F-Suotimet Oy 2006).**

#### **6.4.2 Purafil suodatus**

Ilmanpuhdistin Hilmassa käytettiin Purafil PK-18 suodatinkennoja. Kennot on kehitetty helpottamaan Purafil-massojen asennus- ja vaihtotyötä. Kennot tulevat valmiiksi täytettyinä tehtaalta. Kennojen materiaalina on käytetty 100 % kierrätysmuovia ja kennon erotusaste on yli 98 %. Toimiakseen ilmanvirran otsapintanopeus saa olla maksimissaan 2,54 m/s. Suodatusmassana PK-18 kennossa voidaan käyttää Purafil Select, Purafil CP Select tai Puracarb-massoja. (Climecon Oy.)

Tutkimuksissa käytettiin Purafil CP Select-suodatusmassaa. Kyseinen massa on sekoitemassa, jossa yhdistyvät aktivoitunut alumiinioksidin ja aktiivihiilen parhaat ominaisuudet. Massa on paloturvallinen, myrkytön ja sen avulla suodattimeen saadaan laaja-alaisempi toiminta. CP Select koostuu Purafil Select- sekä ECS-suodatusmassasta sekoitussuhteessa 50/50 %. (Climecon Oy.)

Purafil Select:n rakennemateriaalina toimii alumiinioksidi ja sen kaliumpermanganaattipitoisuus on vähintään 8 % suodatusmassan painosta. Rakeen

nimellishalkaisija on 3,2 mm, pakkaustiheys  $800 \text{ kg/m}^3$  ja kosteussisältö korkeintaan 35 %. ECS-suodatusmassan rakennemateriaalina toimii puolestaan aktiivihiili, josta Hiilitetrakloridia on vähintään 60 %. Rakeen nimellishalkaisija on 4,0 mm, pakkaustiheys  $500 \text{ kg/m}^3$  ja kosteussisältö enintään 5,0 %. CP Select on suunniteltu erityisesti sisäilma-ongelmien ratkaisuihin kuten pakokaasujen, tupakoinnin sekä muiden hajujen ja kaasujen aiheuttamiin ongelmiin. (Climecon Oy.)

## 7 KÄYTETYT MITTAUSMENETELMÄT

Opinnäytetyötä varten tehdyissä tutkimuksissa (ilmanpuhdistimen testaus sekä case-tutkimus) käytettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun mittalaitteita sekä Polygon Finland Oy:ltä testaukseen saatua ilmanpuhdistinta.

Ilmanpuhdistimen testauksessa (maaliskuu 2012) käytettiin F-suotimien Hilma-ilmanpuhdistinta ja Rae Systems:n ppbRae-fotoionisaatiodektoria (PID). Lisäksi tutkimuksessa käytettiin Thermoanometriä ilmavirran nopeuden mittaamiseen sekä erillistä pumppua kaasun haihduttamiseksi. Lisää ilmanpuhdistimen testauksessa käytetystä mittausmenetelmästä luvussa 8 ja tarkemmat tiedot edellä mainituista laitteista luvussa 6.

Case-tutkimuksessa (joulukuu 2011 ja helmikuu 2012) käytettiin VOC-näytteenottoon työterveyslaitokselta saatuja pumppuja (aktiivinen näytteenotto), tenax-absorptioputkia sekä lattianäytteenoton vaatimaa kupua. Lisäksi sisäilman laadun määrittämiseen käytettiin TSI P-Trak 8525 sekä TSI Aerotrak 8220 optisia hiukkasmittareita ja Andersen-tyyppistä 6-vaiheimpaktoria. Lisää Case-tutkimukseen liittyvistä näytteenottomenetelmistä ja mittalaitteista luvuissa 6 ja 9.

VOC-näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen toimesta kaasukromatografisesti käyttäen termodesorptiota ja massaselektiivistä ilmaisinta (TD-GC-MS) (Työterveyslaitos 2012). Työterveyslaitoksen analyysimenetelmä on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima ja se perustuu kansainvälisiin standardeihin ISO 16000-6 ja ISO 16017-2 (Työterveyslaitos 2011a). Yhdisteet tunnistettiin käyttämällä puhtaita vertailuaineita ja/tai Wiley- tai NIST-massaspektritietokantaa. Näytteistä määritettiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) tolueniekvivalenttina n-heksaani ja n-heksadekaanin väliseltä alueelta. Yksittäisten

yhdisteiden pitoisuudet on määritetty joko puhtaiden vertailuaineiden avulla tai tolueeniekvivalenttina. Analyysimenetelmän mittausepävarmuus ilman näytteenottoa (luottamusväli 95 %) on aktiivinäytteille 9-59 % yhdisteestä riippuen, keskimäärin 19 %. Menetelmän määritysraja on yhdistekohtainen ollen keskimäärin  $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $10 \text{ dm}^3$ :n näytteelle. (Työterveyslaitos 2012.)

## 8 ILMANPUHDISTIMEN TESTAUS

Tässä luvussa on esitelty opinnäytetyöhön kuulunut ensimmäinen tutkimus sekä siitä saadut tulokset ja johtopäätökset. Ilmanpuhdistimen puhdistustehokkuutta VOC-kaasuille tutkittiin Mikkelin ammattikorkeakoulun laboratoriossa, jossa VOC-kaasuna käytettiin 2-etyyliheksanolia. Kemikaali oli Aldrich Chemistry:n valmistama ja sen kemiallinen kaava on  $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$ . Lisätietoa kemikaalista löytyy luvuista 4.1.3 ja 5.3. Tutkimus suoritettiin viikoilla 10–12.

### 8.1 Mittausmenetelmä

Tutkimusta varten rakennettiin Hilma-ilmanpuhdistimen ympärille oma mittalaitteisto. Ilmanpuhdistimen tulo- ja poistoilmakanavat tiivistettiin siten, että mittaukset pystyttiin tekemään varmasti kyseisistä paikoista ja halutusta ilmasta (tulo-/poistoilma). Tuloilma rajattiin pahvilaatikon, muovipussin sekä muovisen putken avulla (kuva 8). Poistoilma puolestaan rajattiin muovipussien sekä putken avulla. Poistoilmasta mitattiin VOC-pitoisuuden lisäksi myös ilmavirran nopeutta Thermoanemometrin (Alnor Thermo-Anemometer GGA-65) sekä siihen sopivan mittauspään (Air Flow Rate Detector Head, Alnor AM-300) avulla, jota varten poistoilmaputken päähän piti lisätä levy (kuva 8).



**KUVA 8. Mittalaitteisto kaasunpoistokyvyn selvittämiseksi (Laitinen 2011–2012).**

Kemikaalia saatiin puhdistettavaan ilmaan haihduttamalla sitä imupullosta. Nestemäinen 2-etyyliheksanoli oli imupullon pohjalla, minne puhallettiin ilmaa pumpun avulla. Imupullosta kemikaali saatiin letkujen avulla ilmanpuhdistimeen johtavaan putkeen, josta ilmanpuhdistin siis imi puhdistettavan ilmansa (kuva 9). 2-Etyyliheksanolin pitoisuutta säädeltiin rotametrin avulla, mikä puolestaan sääteli puhalluksen voimakkuutta imupulloon.



**KUVA 9. Ilma puhallettiin lasiputken kautta imupulloon, josta ilmaan haihtunut 2-etyyliheksanoli jatkoi matkaansa letkun kautta ylös putkeen, josta puhdistin imi puhdistettavan ilmansa. (Laitinen 2011-2012.)**

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia eri 2-etyyliheksanolipitoisuuksilla ilmanpuhdistimen poistotehokkuutta VOC-kaasulle ilmanpuhdistimen eri tehoilla testattuna. Ilmanpuhdistimessa itsessään on siis 4 eri tehoastetta, 1-4, joista 1 on pienin ja 4 suurin. Lähtökohtana eri tehojen testaukselle oli, että teorial tietojen mukaan ilman tulee viipyä Purafil- rakeessa tarpeeksi kauan, jotta se voi poistaa kaasun ohi kulkevasta ilmasta.

Tutkimukset aloitettiin testaamalla 7 eri pitoisuutta ilmanpuhdistimen teholla 1. Halutut pitoisuudet olivat 3000 ppb, 2000 ppb, 1000 ppb, 800 ppb, 600 ppb, 400 ppb ja 200 ppb. Todellisuudessa pitoisuudet hieman heittelehtivät haluttujen pitoisuuksien molemmin puolin, koska pitoisuuden säätöä ei saatu tarpeeksi herkäksi tietyn pitoisuuden hakemiselle. Ideana oli testata 1 teholla tiheämmin pitoisuuksia, koska ei tiedetty pystytäänkö kaikki pitoisuudet muodostamaan kun teho koneessa kasvaa. Muilla tehoilla puhdistustehokkuutta testattiin pitoisuuksilla 3000 ppb, 2000 ppb, 1000 ppb, 600 ppb sekä 200 ppb. Tutkimuksessa käytetyn PID:n lukeman annettiin tasaantua n. 10–15 minuuttia jokaisen näytteenoton aikana, jotta lukema kuvaisi vallitsevaa pitoisuutta luotettavammin. Pitoisuutta muutettaessa annettiin lukeman tasoittua vähintään puoli tuntia.

## 8.2 Tulokset

Ennen ensimmäisiä mittauksia tutkittiin mittalaitteiston tiiveys. Tämän tarkoituksena oli tuoda testille luotettavuutta, koska pystytään rajaamaan puhdistimeen menevä ja sieltä poistuva ilma mahdollisimman tarkasti. Mittalaitteiston tiiveyttä tarkkailtiin tutkimuksen edetessä visuaalisesti ja tarvittaessa vuotokohtia paikkailtiin teipillä.

Ilmanpuhdistimen tehon ollessa 1, mitattiin siis puhdistimeen menevän ilman pitoisuudet 3000 ppb, 2000 ppb, 1000 ppb, 800 ppb, 600 ppb, 400 ppb sekä 200 ppb. Tulokset on esitetty taulukossa 8. Jokaiselle mitatulle pitoisuudelle tehtiin 5 rinnakkaisnäytteenottoa (ks. taulukko 8). Ilmanpuhdistimesta poistuvalla ilmapirralla saatiin keskimääräiseksi nopeudeksi 0,98 m/s. Kaksi ensimmäistä pitoisuutta mitattiin 6.3.2012, seuraavat kaksi 7.3.2012, pitoisuus 600 ppb 8.3.2012 ja viimeiset kaksi pitoisuutta 9.3.2012.

PID-mittalaitteen nollatasoa ja ns. taustapitoisuutta pyrittiin määrittämään aktiivihiilisuodattimen avulla. PID ei siis mennyt suodattimenkaan kanssa noltaan, joka on merkittävä epäluotettavuustekijä tutkimuksen tulosten analysoinnissa. Seuraavissa taulukoissa ”PID-tausta” kertoo siis ilmanpuhdistimesta tulevan ilman ja sisäilman taustapitoisuuden erotuksen, jonka avulla on laskettu myös erotustehokkuusprosentit.

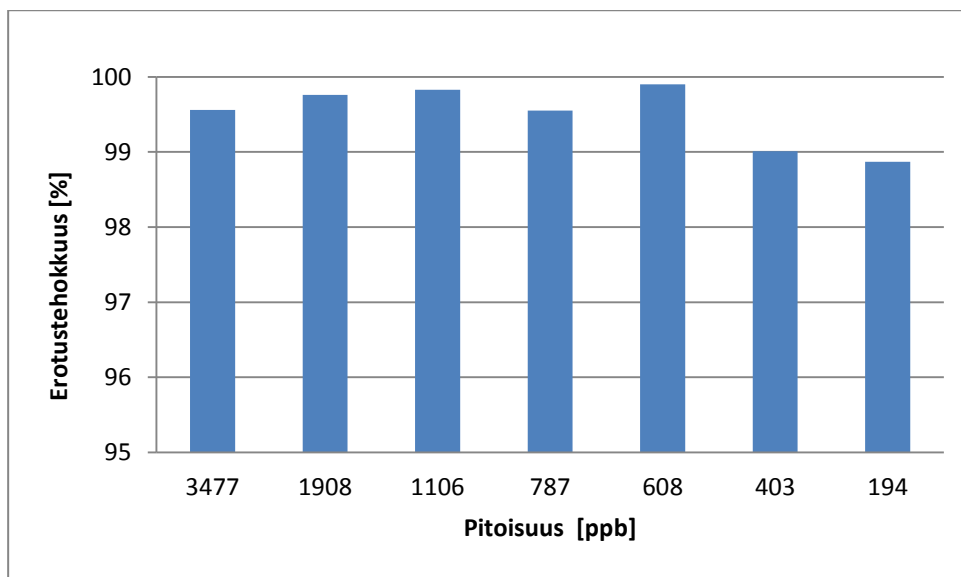
### TAULUKKO 8. Mittaustulokset eri pitoisuuksille ilmanpuhdistimen teholla 1.

TEHO 1					
Pitoisuus ennen suodatinta	3550	3360	3500	3420	3555
PID - tausta	30	20	13	8	5
Erotustehokkuusprosentti	99,15	99,40	99,63	99,77	99,86
Pitoisuus ennen suodatinta	1990	1820	1875	1895	1960
PID - tausta	5	5	8	0	5
Erotustehokkuusprosentti	99,75	99,73	99,57	100	99,74
Pitoisuus ennen suodatinta	1020	1090	1140	1110	1170
PID - tausta	2	5	1	1	0



Erotustehokkuusprosentti	99,80	99,54	99,91	99,91	100
Pitoisuus ennen suodatinta	800	785	800	780	770
PID - tausta	5	3	5	0	5
Erotustehokkuusprosentti	99,38	99,62	99,38	100	99,35
Pitoisuus ennen suodatinta	635	620	625	580	580
PID - tausta	0	0	0	3	0
Erotustehokkuusprosentti	100	100	100	99,48	100
Pitoisuus ennen suodatinta	390	395	410	420	400
PID - tausta	5	0	5	5	5
Erotustehokkuusprosentti	98,72	100	98,78	98,81	98,75
Pitoisuus ennen suodatinta	210	210	190	180	180
PID - tausta	5	0	2	2	2
Erotustehokkuusprosentti	97,62	100	98,95	98,89	98,89

Erotustehokkuuksia teholla 1 on havainnollistettu kuviossa 1. Kaikilla pitoisuuksilla erotustehokkuus oli yli 98 %. Erotustehokkuus oli hieman huonompi pienemmillä pitoisuuksilla. Hajonta erotustehokkuuksissa eri pitoisuuksilla on kuitenkin vähäistä. Kuvioissa 1-4 esiintyvät pitoisuudet ovat mitattujen pitoisuuksien keskiarvoja (5 kpl/pitoisuus). Erotustehokkuudet ovat myös keskiarvoja kullakin pitoisuudella olevista erotustehokkuusprosentteista (5 kpl/pitoisuus).



**KUVIO 1. Erotustehokkuus eri pitoisuuksilla teholla 1.**

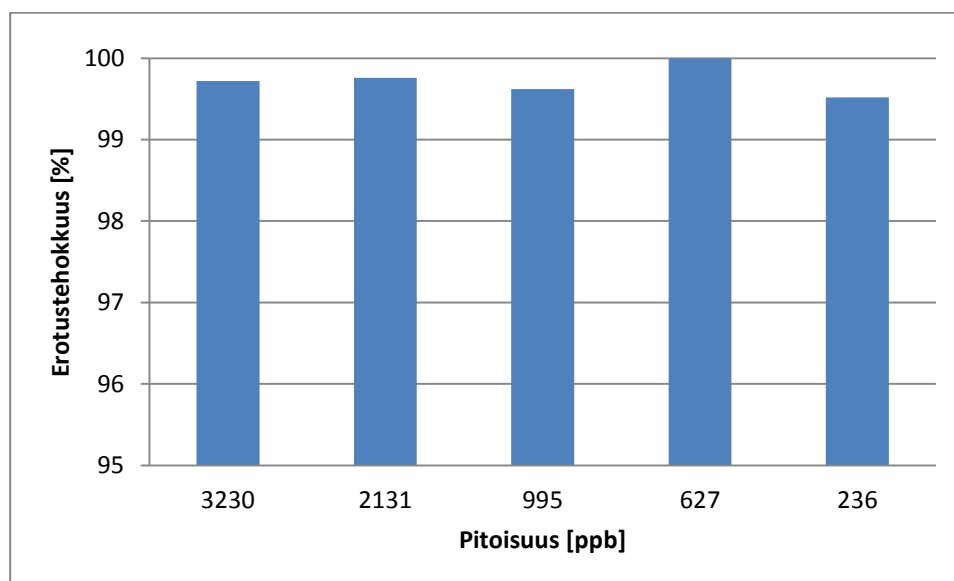
Ilmanpuhdistimen tehon ollessa 2, mitattiin puhdistustehokkuutta pitoisuuksilla 3000 ppb, 2000 ppb, 1000 ppb, 600 ppb sekä 200 ppb. Tulokset on esitetty taulukossa 10. Ilmanpuhdistimesta poistuvalla ilmalla mitattiin nopeudeksi keskimäärin 1,22 m/s, joka on siis hieman teholla 1 mitattua ulostulovirtaa suurempi. Teholla 2 mitattaessa sisäilman pitoisuudet olivat aluksi poikkeuksellisen suuria, yli 100 ppb, joka mahdollisesti vaikutti ensimmäisten mittausten suuriin ulostuloilman pitoisuuksiin. Sisäilman pitoisuus laski kuitenkin pikkuhiljaa ja mitattaessa pitoisuutta 1000 ppb, sisäilman pitoisuus oli enää 60 ppb:n luokkaa. Kolme ensimmäistä pitoisuutta mitattiin 12.3.2012, pitoisuus 600 ppb 14.3.2012 ja pitoisuus 200 ppb 15.3.2012.

**TAULUKKO 10. Mittaustulokset eri pitoisuuksille ilmanpuhdistimen teholla 2.**

TEHO 2					
Pitoisuus ennen suodatinta	3480	3300	3150	3100	3120
PID - tausta	5	10	10	10	10
Erotustehokkuusprosentti	99,86	99,70	99,68	99,68	99,68
Pitoisuus ennen suodatinta	2110	2090	2115	2120	2220
PID - tausta	5	5	5	5	5
Erotustehokkuusprosentti	99,76	99,76	99,76	99,76	99,77
Pitoisuus ennen suodatinta	1060	990	980	995	950
PID - tausta	5	3	3	3	5

Erotustehokkuusprosentti	99,53	99,70	99,69	99,70	99,47
Pitoisuus ennen suodatinta	590	615	650	670	610
PID - tausta	0	0	0	0	0
Erotustehokkuusprosentti	100	100	100	100	100
Pitoisuus ennen suodatinta	240	215	250	250	225
PID - tausta	0	0	3	3	0
Erotustehokkuusprosentti	100	100	98,8	98,8	100

Erotustehokkuuksia teholla 2 on havainnollistettu kuviossa 2. Erotustehokkuudet kaikilla pitoisuuksilla olivat selvästi yli 99 % eli hajonta pitoisuuksien välillä erittäin pieni. Teholla 2 erotustehokkuudet olivat parhaimmat ja sen vuoksi teho 2 soveltuisi VOC-kaasujen erotukseen parhaiten käytännön kohteessa.



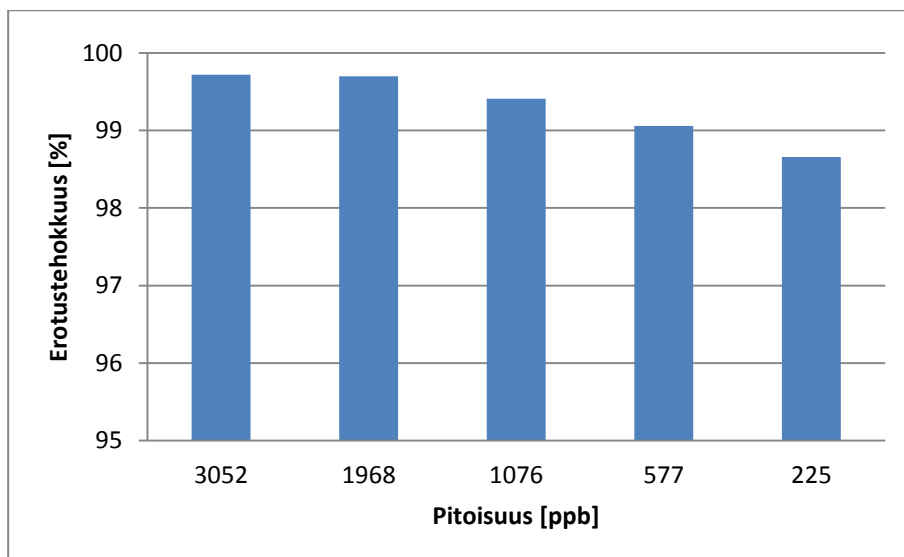
**KUVIO 2. Erotustehokkuus eri pitoisuuksilla teholla 2.**

Taulukossa 9 on esitetty mittaustulokset pitoisuuksille ilmapuhdistimen tehon ollessa 3. Teholla 3 mitattiin samat pitoisuudet kuin teholla 2. Ilmapuhdistimesta poistuvan ilmavirran nopeudeksi saatiin keskimäärin 1,20 m/s, joka on suunnilleen samaa luokkaa kuin teholla 2. Mittaukset suoritettiin kahden ensimmäisen pitoisuuden osalta 16.3.2012, seuraavat kaksi pitoisuutta 19.3.2012 ja viimeinen 20.3.2012.

**TAULUKKO 9. Mittaustulokset eri pitoisuuksille ilmanpuhdistimen teholla 3.**

<b>TEHO 3</b>					
Pitoisuus ennen suodatinta	3080	3180	3030	2980	2990
PID - tausta	10	7	5	10	10
Erotustehokkuusprosentti	99,68	99,78	99,83	99,66	99,67
Pitoisuus ennen suodatinta	2140	1890	1920	1940	1950
PID - tausta	7	5	5	5	8
Erotustehokkuusprosentti	99,67	99,74	99,74	99,74	99,59
Pitoisuus ennen suodatinta	1080	1060	1110	1030	1100
PID - tausta	4	5	10	8	5
Erotustehokkuusprosentti	99,63	99,53	99,10	99,22	99,53
Pitoisuus ennen suodatinta	585	560	610	560	570
PID - tausta	7	5	5	5	5
Erotustehokkuusprosentti	98,80	99,11	99,18	99,11	99,12
Pitoisuus ennen suodatinta	235	240	250	190	210
PID - tausta	0	5	5	5	0
Erotustehokkuusprosentti	100	97,92	98,0	97,37	100

Erotustehokkuuksia teholla 3 on havainnollistettu kuviossa 3. Teholla 3 erotustehokkuus huononi hieman kun pitoisuus pieneni, mutta erotustehokkuudet pysyivät silti yli 98 prosentissa. Tehon 3 kohdalla ilmanpuhdistimen tehon nousu saattoi aiheuttaa ohivirtauksia eli mittalaitteiston tiiveys olisi pitänyt tutkia uudelleen merkkisavun avulla.



**KUVIO 3. Erotustehokkuus eri pitoisuuksilla teholla 3.**

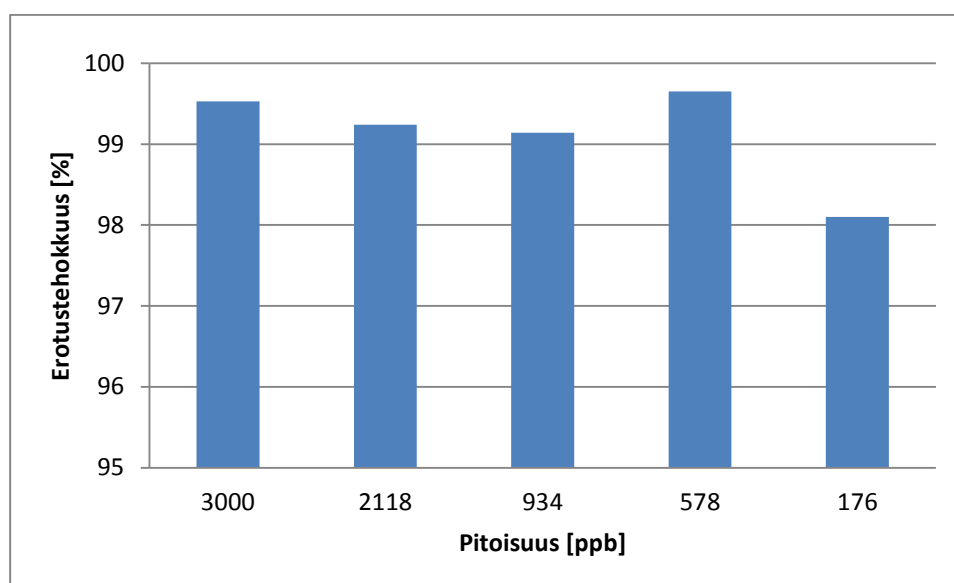
Viimeisenä tutkimuksessa testattiin ilmanpuhdistimen tehoa 4. Tulokset on esitetty taulukossa 10. Ilmanpuhdistimesta poistuvan ilman nopeudeksi saatiin keskimäärin 1,22 m/s, joka on samaa luokkaa kuin tehoilla 2 ja 3. Mittaukset suoritettiin ensimmäisen pitoisuuden osalta (3000 ppb) 22.3.2012 ja loput neljä pitoisuutta 23.3.2012. Pitoisuuden ollessa 620 ppb, PID antoi sisäilman (=tausta) pitoisuudeksi suuremman lukeman kuin mitä ilmanpuhdistimesta tulevalle ilmalle ja tämän vuoksi PID-tausta -arvona on -5. Tämä tulkittiin tuloksissa erotustehokkuudeksi 100 %.

**TAULUKKO 10. Mittaustulokset eri pitoisuuksille ilmanpuhdistimen teholla 4.**

TEHO 4					
Pitoisuus ennen suodatinta	2950	3200	2970	2950	2930
PID - tausta	18	12	13	17	10
Erotustehokkuusprosentti	99,39	99,63	99,56	99,42	99,66
Pitoisuus ennen suodatinta	2010	2100	2150	2130	2200
PID - tausta	15	10	15	20	20
Erotustehokkuusprosentti	99,25	99,52	99,30	99,06	99,1
Pitoisuus ennen suodatinta	960	940	920	940	910
PID - tausta	5	10	5	10	10
Erotustehokkuusprosentti	99,48	98,94	99,46	98,94	98,9

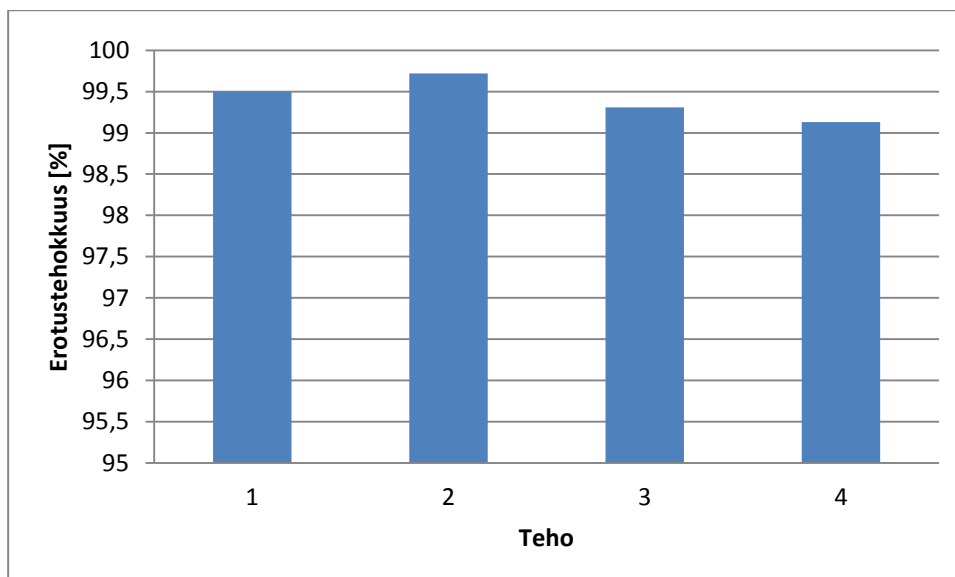
Pitoisuus ennen suodatinta	620	580	560	560	570
PID - tausta	-5	0	0	5	5
Erotustehokkuusprosentti	100	100	100	99,11	99,12
Pitoisuus ennen suodatinta	170	160	180	170	200
PID - tausta	5	5	5	2	0
Erotustehokkuusprosentti	97,06	96,88	97,22	98,82	100

Erotustehokkuuksia teholla 4 on havainnollistettu kuviossa 4. Erotustehokkuudet olivat teholla 4 huonoimmat. Huonoin erotustehokkuus oli pienimmällä pitoisuudella (noin 200 ppb), jolloin erotuskyky oli keskimäärin 98,1 %. Erotustehokkuusprosentit myös vaihtelivat tehon sisällä eniten eli hajonta oli suurin. Puhaltimen tehon nousu saattoi vaikuttaa tuloksiin erotustehokkuuksia heikentävästi.



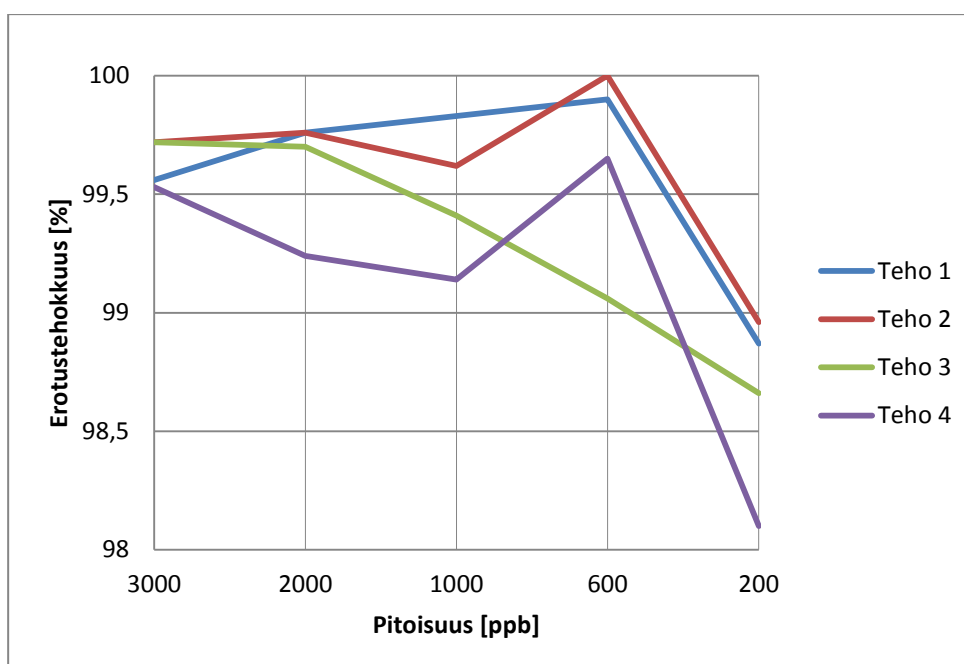
**KUVIO 4. Erotustehokkuus eri pitoisuuksilla teholla 4.**

Tehojen välistä ilman puhdistustehokkuutta on havainnollistettu kuviossa 5. Erotustehokkuusprosentit ovat keskiarvoja kaikkien pitoisuuksien erotustehokkuuksista kullakin teholla. Erotustehokkuudessa ovat pieniä, mutta hieman muita heikommin ilmaa puhdistivat ilmanpuhdistimen suurimmat tehot 3 ja 4. Ilmavirran nopeus koneen sisällä saattoi kasvaa liian suureksi, jolloin purafil rakeet eivät enää pystyneet absorboimaan itseensä kaikkea kaasua. Myös ilman ohivirtausten riski kasvoi eli mittalaitteiston tiiveys saattoi heikentyä puhaltimen tehon noustessa.



**KUVIO 5. Erotustehokkuuskeskiarvot tehoittain, 1-4.**

Erotustehokkuutta eri pitoisuuksilla ja eri tehoilla on havainnollistettu kuviossa 6. Kuvion 6 mukaan heikoimmat erotustehokkuudet ovat pienimmällä pitoisuudella (noin 200 ppb). Yleisesti eri pitoisuuksien erotustehokkuuksissa huonoiten suoriutuu ilmanpuhdistimen suurin teho 4, joka on jokaisessa pitoisuudessa muita tehoja huonompi. Myös tehon 3 erotustehokkuus laskee pitoisuuksien pienentyessä voimakkaammin kuin kahdella ensimmäisellä teholla. Tehot 1 ja 2 puhdistavat ilmaa keskiarvojen mukaan lähes yhtä hyvin.



**KUVIO 6. Tehojen (1-4) erotustehokkuudet pitoisuuksittain.**

### 8.3 Tulosten tarkastelu ja mittausepävarmuus

PID- mittalaitteella tehdyn tutkimuksen tulosten mukaan ilmanpuhdistin poistaa VOC-kaasuja tehokkaasti sisäilmasta, johon oli syötetty eri pitoisuuksia 2-etyyliheksanolia. PID:n epäluotettavuus pienissä pitoisuuksissa korostui, koska laite ei nollannut itseään lainkaan. Tämä saattoi olla selityksenä erotustehokkuuksien heikkenemisenä pienemmillä pitoisuuksilla. Näiden tulosten perusteella sisäilmaan kuitenkin pääsi puhdistimen jälkeen vielä keskimäärin 0-15 ppb:n pitoisuuksia PID:n havaitsemia yhdisteitä. PID on erittäin herkkä ja reagoi siis moniin yhdisteisiin, mikä osaltaan toi epäluotettavuutta juuri 2-etyyliheksanolin puhdistustehokkuuden määrittämisessä.

Tutkimus olisi kannattanut suorittaa suljetussa tilassa, jolloin huoneilman muutoksien vaikutus tuloksiin saataisiin mahdollisimman vähäiseksi. Laboratorion muissa tiloissa käsitellään paljon kemikaaleja ym., jotka saattoivat ajoittain kantautua ilman mukana myös huoneeseen, jossa ilmanpuhdistimen testaus suoritettiin. PID reagoi herkästi huoneilman pitoisuuksien muutoksiin ja sisäilmalle (ilman suodattimia) PID antoiakin pitoisuuksia 10–200 ppb:n välillä. Voi siis olla, että ilmanpuhdistin poisti kaiken 2-etyyliheksanolin, mutta jäljelle jäi muita laboratorion sisäilmassa olleita yhdisteitä. Puhdistustehokkuus vaihtelisi siis sisäilman puhtauden mukaan?

PID:n epäluotettavuuden vuoksi on siis mahdotonta sanoa, poistiko ilmanpuhdistin kaiken VOC-kaasun sisäilmasta, vai suurimman osan. Selvää kuitenkin on, että haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet pienenevät huomattavasti (lähelle nollassa) puhdistimen läpi kulkiessaan. Ilmanpuhdistimen eri tehojen välillä ei esiintynyt suuria eroavaisuuksia. Tämän tutkimuksen perusteella voisi siis todeta, että ilmanpuhdistin poistaa VOC kaasuja kaikilla tehoilla lähes yhtä tehokkaasti. Käyttömukavuudeltaan kuitenkin puhdistimesta lähtevä melu kasvoi tehon kasvaessa. Suuremmilla tehoilla olisi ollut syytä myös testata laitteiston tiiveys uudelleen merkkisavun avulla, koska osa VOC-kaasua sisältävästä ilmasta saattoi päästä puhdistamattomana ohivirtausten avulla (esim. ovien raoista) takaisin sisäilmaan.

Epävarmuutta tuloksiin toi myös mittarin vaatima tasoittumisaika. Koska laitteen loggaus-toiminto ei ollut käytettävissä, piti mittarin vaihtelevien lukemien keskiarvo arvioida itse mittausta tehdessä.



Ilmanpuhdistimesta poistuvan ilman nopeus vaihteli putken ja pussin eri asentojen mukaan, joka tuo epäluotettavuutta ilmavirran nopeuden mittaamiseen. Lisäksi on mahdollista, että suurimmilla tehoilla (tehot 3 ja 4) ohivirtausten määrä kasvoi muun muassa ovien raoista niin suureksi, että ilmavirran nopeus ei näyttänyt kasvavan mittauspisteessä lainkaan. Tämä voi siis myös vääristää erotustehokkuutta.

## **9 CASE-TUTKIMUS**

Tässä luvussa on esitelty opinnäytetyöhön kuulunut toinen tutkimus. Luvussa on kerrottu perustietoja tutkittavasta kohteesta sekä esitetty kaikki kohteen mittauksista saadut tulokset johtopäätöksineen.

### **9.1 Kohteen perustiedot**

Case-tutkimuksen tarkoituksena oli testata ilmanpuhdistinta todellisessa kohteessa laboratoriotestien ohella ja saada käytännön kokemusta VOC-näytteenotosta sekä vahvistaa jo opittua hiukkasmittareiden käyttöä ja mikrobi-näytteenottoa. Kohteena oli eräs 80-luvulla rakennettu päiväkotikoti Mikkelin kaupungin alueella. Kohteessa otettiin VOC-näytteitä sisäilmasta (2kpl) sekä kupumittauksena (kuva 11) lattiapinnalta (1 kpl). VOC-näytteenotossa käytetty kupunäytteenotto ei ole standardoitu mittauksena, vaikka onkin ihan yleinen (Hovi 2012).

Lisäksi kohteesta otettiin sisäilmanäytteitä Andersen-tyyppisellä keräimellä kahtena eri päivänä sekä hiukkasten lukumääriä optisilla hiukkaslaskureilla (Aerotrak ja P-Trak ks. kohta 6.3). Kohteessa oli koneellinen ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmänä suora sähkölämmitys sekä ilmalämpöpumppuja. Alapohjarakenteena oli maanvarainen laatta ja lattiapinta sijaitsi ylempänä kuin ympäröivä maanpinta. Lattiamateriaalina oli käytetty muovimattoa ja seinät olivat maalatut.



**KUVA 11. VOC-näytteenotto kuvun avulla lattiasta. Mittari on tuettu astialla oikealle kohdalle. Sisäilmanäytteenotossa oli samanlainen mittari ja tenax-putki, ilman kupua. (Nenonen 2011.)**

Päiväkodista valittiin kohdehuone, jossa mittaukset suoritettiin. Kyseinen huone toimi lepo/leikkihuoneena. Kaikki mittaukset suoritettiin tästä huoneesta. Mittauksia suoritettiin kohteessa 19., 20. ja 27.12.2011. Kaikilla näytteenottokerroilla mittaukset suoritettiin siten, että kyseisenä päivänä huoneessa ei ollut vielä oleskeltu (lasten kanssa tai henkilökunnan toimesta). Kohteessa oli hiukkasmittari (Aerotrak) myös 7-11.2.2012 välisenä aikana, jotta saatiin vertailutuloksia aiemmille ilmanpuhdistimen käytössä ollessa otetuille mittaustuloksille. Ensimmäisenä mittauspäivänä otimme huoneen sisäilmasta ja lattiapinnasta VOC-näytteet. Lisäksi otettiin Andersen-tyyppisellä keräimellä sisäilman mikrobinäytteitä sekä mitattiin molemmilla hiukkasmittareilla hiukkasten lukumäärää lähtötilanteen kartoittamiseksi. Seuraavana mittauspäivänä (20.12) otettiin sisäilman VOC-näytteelle vertailunäyte ja veimme sisäilmanpuhdistimen paikoilleen lepo/leikkihuoneeseen (kuva 12).

Ilmanpuhdistimen annettiin puhdistaa ilmaa kohteessa viikon ajan, jonka jälkeen 27.12.2011 käytiin ottamassa uusi sisäilman VOC-näyte, Andersen-tyyppisellä keräimellä sisäilman mikrobinäytteitä sekä mitattiin hiukkaslaskureilla hiukkasten lukumäärää ilmanpuhdistimen ollessa käynnissä mittausten aikana.



**KUVA 12. Ilmanpuhdistin toiminnassa lepo/leikkihuoneessa pianon vieressä, Aerotrak hiukkasmittari pianon päällä oikealla (Laitinen 2011–2012).**

## 9.2 VOC-näytteenottojen tulokset

VOC-näytteenotossa pumppu keräsi ilmaa noin  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  ja keräysaika sisäilmanäytteille oli noin 90 minuuttia. Kupunäytteissä näytteenottoaika oli noin 30 minuuttia. Sisäilmanäytteet kerättiin huoneen keskeltä noin 1 metrin korkeudelta lattiasta. Ilma kerättiin Tenax-adsorptioputkeen ja ne analysoitiin Työterveyslaitoksen toimesta (ks. luku 7).

Ensimmäinen VOC-mittaus suoritettiin 19.12.2011 maanantaiaamuna lepo/leikkihuoneen sisäilmasta. Ilmamäärä mittauksessa oli  $9,11 \text{ dm}^3$  ja näyte analysoitiin 28.11.2011 (Työterveyslaitos 2012). Näytteen tarkoituksena on kertoa lähtötilanne, johon ilmanpuhdistimen vaikutusta myöhemmin arvioidaan. Tulokset on esitetty taulukossa 11.

**TAULUKKO 11. Ensimmäisen ilmanäytteen tulokset (Työterveyslaitos 2012).**

<b>Yhdiste</b>	<b>Pitoisuus [µg/m<sup>3</sup>]</b>
<u>Aromaattiset hiilivedyt</u>	
Bentseeni	0,9
Ksyleenit (p,m)	0,5
Tolueeni	1
<u>Terpeenit ja niiden johdannaiset</u>	
a-pineeni	0,5
<u>Yksiarvoiset alkoholit</u>	
2-Etyyli-1-heksanoli	2
<u>Aldehydit</u>	
Heksanaali	0,6
Nonanaali	2
<u>Piiyhdisteet</u>	
Dekametyylisyklopentasiloksaani	0,5
<u>Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)</u>	16

Samalla mittauksella otettiin huoneen lattiasta kupunäytteen, jonka tarkoitus on kertoa lattiamateriaaleista tuleva emissio. Kupunäytteessä ilmamäärä oli 2,94 dm<sup>3</sup> (näytteenottoaika vain 30 minuuttia) ja se analysoitiin 28.11.2011 (Työterveyslaitos 2012). Tulokset tästä näytteenotosta on esitetty taulukossa 12.

**TAULUKKO 12. Kupunäytteen tulokset (Työterveyslaitos 2012).**

<b>Yhdiste</b>	<b>Pitoisuus [µg/m<sup>3</sup>]</b>
<u>Aromaattiset hiilivedyt</u>	
Tolueeni	3
<u>Terpeenit ja niiden johdannaiset</u>	
a-pineeni	2
<u>Yksiarvoiset alkoholit</u>	
1-Butanoli	2
2-Etyyli-1-heksanoli	18
<u>Aldehydit</u>	
Bentsaldehydi	3
Heksanaali	4
Nonanaali	9
Oktanaali	2
<u>Esterit ja Laktonit</u>	
Texanol	4
<u>Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)</u>	70

Seuraavana aamuna 20.12.2011 kävimme ottamassa lepo/leikkihuoneesta vertailunäytteen sisäilmalle. Tässä näytteenotossa ilmamäärä oli 8,91 dm<sup>3</sup> ja näyte analysoitiin 28.11.2011, kuten kaikki edeltävätkin näytteet. 3-Metyleeniheptaani on määritetty tolueeniekvivalenttina ja tunnistettu käyttäen Wileyn tai NISTin massaspektritietokantaa. Tämän aineen pitoisuus on siis semikvantitatiivinen. (Työterveyslaitos 2012). Sisäilman vertailunäytteen tulokset on esitetty taulukossa 13.

**TAULUKKO 13. Vertailunäytteen tulokset (Työterveyslaitos 2012).**

<b>Yhdiste</b>	<b>Pitoisuus [µg/m<sup>3</sup>]</b>
<u>Alifaattiset ja Alisykliset hiilivedyt</u>	
3-Metyleeniheptaani	2
<u>Aromaattiset hiilivedyt</u>	
Bentseeni	0,8
Ksyleenit (p,m)	0,7
Tolueeni	1
<u>Terpeenit ja niiden johdannaiset</u>	
3-Kareeni	0,5
a-pineeni	0,9
<u>Yksiarvoiset alkoholit</u>	
2-Etyyli-1-heksanoli	15
<u>Aldehydit</u>	
Heksanaali	0,5
Nonanaali	3
Oktanaali	0,5
<u>TXIB</u>	0,8
<u>Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)</u>	40

Ilmanpuhdistimen oltua kohteessa 7 vrk, käytiin sisäilmasta ottamassa VOC-näyte vertailuarvoksi ensimmäisille sisäilmamittauksille. Ilmamäärä näytteenotossa oli 9,1 dm<sup>3</sup> ja näytteet analysoitiin 4.1.2012. Tuloksissa 2-Butanoni kuuluu TVOC-alueen ulkopuolelle. (Työterveyslaitos 2012.) Tulokset on esitetty taulukossa 14.

**TAULUKKO 14. Sisäilmanäytteen tulokset ilmanpuhdistimen jälkeen (Työterveyslaitos 2012).**

<b>Yhdiste</b>	<b>Pitoisuus [µg/m<sup>3</sup>]</b>
<u>Aromaattiset hiilivedyt</u>	-
Bentseeni	0,3
Tolueeni	2
<u>Yksiarvoiset alkoholit</u>	-
2-Etyyli-1-heksanoli	1
<u>Aldehydit</u>	-
Heksanaali	0,5
Nonanaali	2
<u>Ketonit</u>	-
2-Butanoni	0,4
<u>Piiyhdisteet</u>	-
Dekametyylisyklopentasiloksaani	1
<u>Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)</u>	10

### 9.3 Mikrobinäytteenotot

Sisäilman mikrobinäytteenotoissa Andersen-tyyppisellä keräimellä näytteenottoaika oli 10 minuuttia ja impaktorin tilavuusvirta noin 28,3 l/min. Ensimmäiset näytteet otettiin 19.12.2011, jonka jälkeen ilmanpuhdistin oli kohteessa 7 vrk. Toiset näytteet otettiin 27.12.2011 ilmanpuhdistimen ollessa käynnissä. Näytteenotto toistettiin kaksi kertaa molemmilla näytteenottokerroilla eli saatiin rinnakkaisnäytteet molemmilla näytteenottokerroilla. Kasvualustoina käytettiin bakteereilla Tryptoni-hiivauute-glukoosiagar ja sienillä/hiivoilla 2 % mallasuuteagar. Ensimmäisen näytteenoton maljoja kasvatettiin poikkeuksellisesti 8 vrk tapaninpäivän vuoksi.

#### 9.3.1 Tulokset

Taulukossa 15 on esitetty tulokset ensimmäiseltä näytteenottokerralta 19.12.2011. Kuusivaiheimpaktorilla otettujen näytteiden vaiheilta 3-6 lasketut bakteeri- ja sieni-itiönäytteiden pesäkemäärät on korjattu asumisterveysoppaan liitteen 5 muunnostaulukon mukaisesti. Aktinomykeettejä ei kasvanut kummallakaan näytteenottokerralla 14 vuorokauden kasvatuksen jälkeen.

**TAULUKKO 15. Tulokset 19.12.2011 näytteenotosta ennen ilmanpuhdistinta.**

Malja nro.	Bakteerit: 8 vrk:n luku/korjattu pesäkemäärä		Sieni-itiöt: 8 vrk:n luku/korjattu pesäkemäärä	
1)	2	6	2	-
2)	4	6	1	-
3)	4/4	5/5	4/4	1/1
4)	5/5	7/7	6/6	5/5
5)	14/14	32/33	2/2	2/2
6)	2/2	6/6	-/-	-/-

Taulukon 15 tulosten perusteella on laskettu seuraavat pitoisuudet asumisterveysoppaan mukaisesti:

**Mikrobipitoisuus:** 1. mittaus 163 cfu/m<sup>3</sup>, 2. mittaus 336 cfu/m<sup>3</sup>

**Bakteeripitoisuus:** 1. mittaus 110 cfu/m<sup>3</sup>, 2. mittaus 223 cfu/m<sup>3</sup>

**Sieni-itiöpitoisuus:** 1. mittaus 53 cfu/m<sup>3</sup>, 2. mittaus 28 cfu/m<sup>3</sup>

Taulukossa 16 on esitetty tulokset 27.12.2011 suoritetusta näytteenotosta. Huomioitavaa tässä näytteenotossa oli, että ilmalämpöpumppu puhalsi välillä voimakkaasti pöydälle, jonka päällä impaktorin levyt putsattiin ja maljoja availtiin. Kuusivaiheimpaktorilla otettujen näytteiden vaiheilta 3-6 lasketut bakteeri- ja sieni-itiönäytteiden pesäkemäärät on korjattu asumisterveysoppaan liitteen 5 muunnostaulukon mukaisesti.

**TAULUKKO 16. Tulokset 27.12.2011 suoritetusta näytteenotosta ilmanpuhdistimen ollessa käynnissä.**

Malja nro.	Bakteerit: 7 vrk:n luku/korjattu pesäkemäärä		Sieni-itiöt: 7 vrk:n luku/korjattu pesäkemäärä	
1)	3	-	-	-
2)	2	1	-	1
3)	3/3	-/-	1/1	1/1
4)	2/2	-/-	4/4	5/5
5)	2/2	1/1	3/3	5/5
6)	-/-	-/-	-/-	1/1



Taulukon 16 tulosten perusteella on laskettu seuraavat pitoisuudet asumisterveysoppaan mukaisesti:

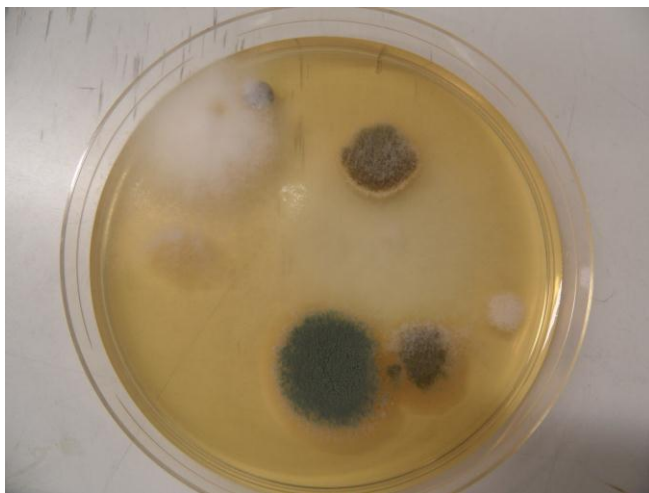
**Mikrobipitoisuus:** 1. mittaus 71 cfu/m<sup>3</sup>, 2. mittaus 53 cfu/m<sup>3</sup>

**Bakteeripitoisuus:** 1. mittaus 42 cfu/m<sup>3</sup>, 2. mittaus 7 cfu/m<sup>3</sup>

**Sieni-itiöpitoisuus:** 1. mittaus 28 cfu/m<sup>3</sup>, 2. mittaus 46 cfu/m<sup>3</sup>

### 9.3.2 Homeiden tunnistus

Homeiden tunnistusta tehtiin aistinvaraisesti erilaisiin kuviin vertaamalla sekä mikroskopoinnin avulla. Ensimmäisellä (19.12) ja toisella (27.12) mittaukskerralla esiintyi pitkälti samoja homeita. Kuvassa 13 on havainnollistettu maljoilla kasvaneita *Penicillium*-pesäkkeitä, vaaleaa hattaramaista homeetta, jonka tunnistus osoittautui liian haastavaksi. Vaalean homepesäkkeen alta löytyi kova tumma homepesäke, josta ei saatu sellaista näytettä, jonka avulla tunnistus olisi ollut mahdollista. Edellisten lisäksi ensimmäisen näytteenoton maljoilta löytyi yksi hiiva-pesäke. Näytteiden yleisin home oli *Penicillium* ja toiseksi yleisin oli tämä epäselväksi jäänyt vaalea home. Molempia löytyi usealta maljalta.



**KUVA 13. Esimerkkejä ensimmäisen näytteenoton homeista (Laitinen 2011–2012).**

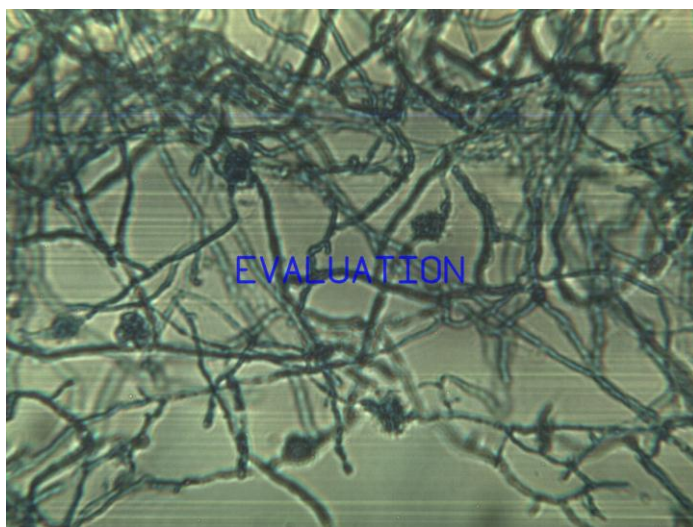
Toisessa näytteenotossa hiivoja ei esiintynyt ja homeetkin olivat ulkomuodon ja mikroskopoinnin perusteella samoja kuin aikaisemmalla näytteenotokerralla. Jälleen yleisimpänä *Penicillium* ja seuraavaksi yleisin oli jälleen epäselväksi jäänyt vaalea home. Lisäksi löytyi kaksi samankaltaista tummaa kovaa pesäkettä (kuten aikaisemmassakin näytteenotossa), joista sopivaa näytettä ei saatu. Kuvassa 14 on

havainnollistettu maljoilla esiintyneet homeet (*Penicillium*, vaalea home sekä pieni tumma home).



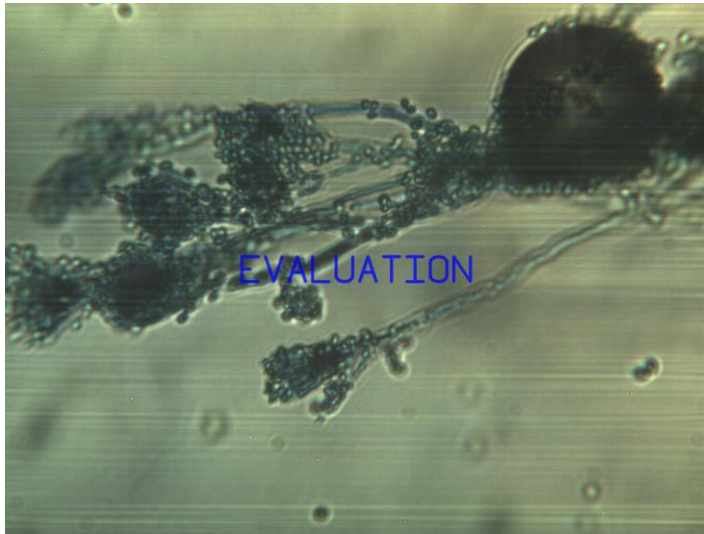
**KUVA 14. Toisella näytteenottokerralla esiintyneet homeet (Laitinen 2011–2012).**

Mikroskoopin preparaattien valmistelu suoritettiin käyttämällä Cotton Blue-väriliuosta. Vertailun ja kokeilun vuoksi testattiin myös teipillä otettua näytettä mikroskooppiin, mutta väriliuoksen käyttö osoittautui paremmaksi tunnistuksen osalta. Kuvassa 15 on esitetty mikroskooppilla otettu kuva epäselväksi jääneestä vaaleasta homeesta, joka muodostui lähinnä rihmoista ja epämääräisistä sykeröistä, jotka voisivat olla kasaantuneita rihman osia.



**KUVA 15. Mikroskooppikuva 50-kertaisella suurennoksella vaaleasta homeesta, jota esiintyi usealla maljalla (Laitinen 2011–2012).**

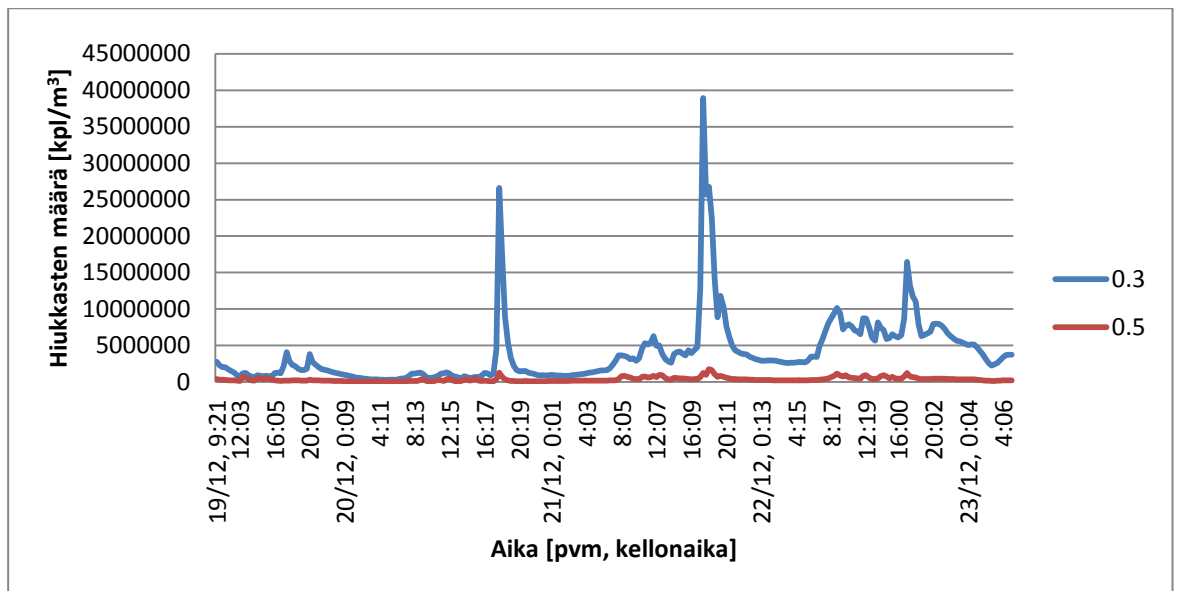
Mikroskoppinnilla varmistettiin myös ulkonäön perusteella vahvasti *Penicillium*-homeeksi epäiltyjä pesäkkeitä (kuva 16). Kuvassa 16 on havainnollistettu *Penicillium*-homeelle tyypillistä pensselimäistä rakennetta.



**KUVA 16.** Mikroskoopin 50-kertainen suurennos *Penicillium*-homeeksi määritellyistä pesäkkeistä (Laitinen 2011–2012).

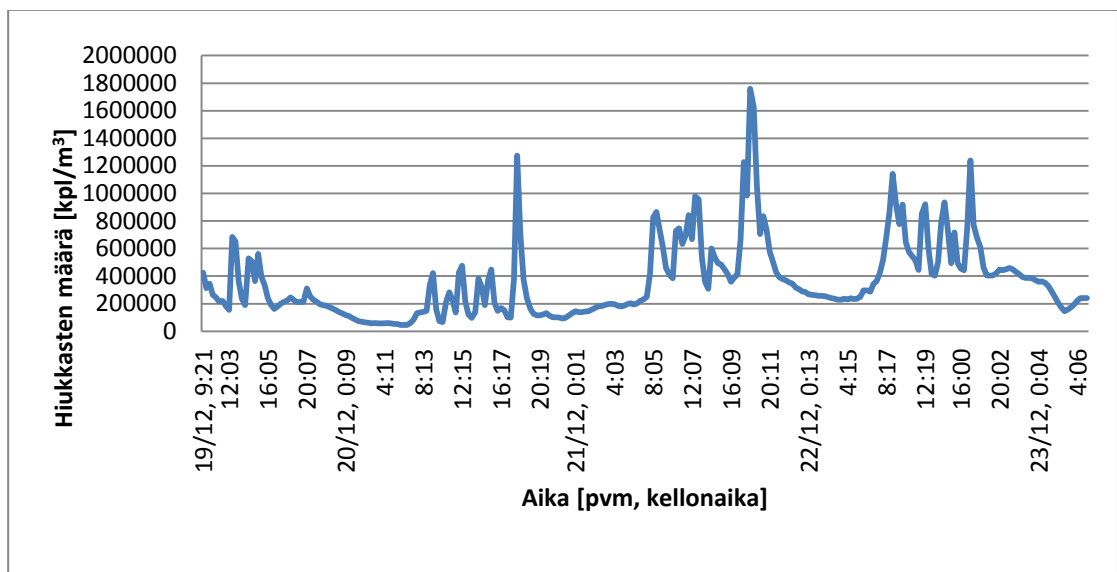
#### 9.4 Hiukkasnäytteenottojen tulokset

Hiukkasnäytteenottoa P-Trak:n ja Aerotrak:n avulla suoritettiin siis 19–23.12.2011, 27.12.2011 sekä 7–11.2.2012. Kuviossa 7 on esitetty ensimmäisessä mittauksessa tapahtuvaa hiukkasten lukumäärien muutosta 19–23.12.2011 kokoluokissa 0,3  $\mu\text{m}$  ja 0,5  $\mu\text{m}$ . Ensimmäisenä mittauspäivänä (19.12) kohteessa ei vielä ollut ilmanpuhdistinta vaan se tuotiin seuraavana (20.12) aamuna. Mittausajanjakso hiukkasille oli maanantaista perjantaihin. Kuvion 7 mukaan hiukkaspitoisuudet kasvavat työpäivän aikana ihmisten läsnäolon vaikutuksesta ja laskevat yön aikana kuormituksen vähentyessä. Poikkeuksellista on kuitenkin erittäin suuret pitoisuudet 20. ja 21. päivä klo 16 jälkeen, vaikka päiväkotia on silloin jo kiinni. Kuvio 7 osoittaa, että 0,5  $\mu\text{m}$  kokoisia hiukkasia on huomattavasti vähemmän kuin 0,3  $\mu\text{m}$  hiukkasia ja sama hiukkasten lukumäärän lasku jatkuu myös suurempiin hiukkasiin mentäessä.



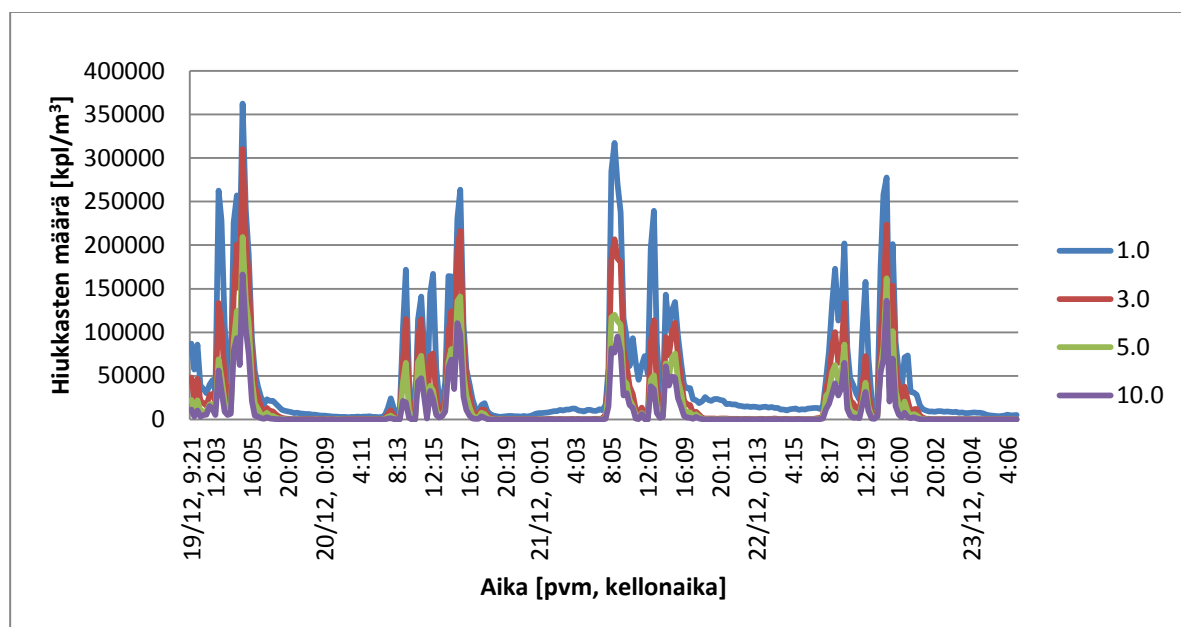
**KUVIO 7. Hiukkasten lukumäärät 19–23.12.2011 kokoluokissa 0,3 µm ja 0,5 µm.**

Pienempien hiukkasten vuorokausirytmien selventämiseen auttaa kuvio 8, jossa on esitetty myös edellisessä kuviossa olevat 0,5 µm kokoiset hiukkaset. Edellisen kuvion suuret piikit pitoisuuksissa eivät tuo esiin selkeää vuorokausirytmien näkymistä ja lukumäärien muutoksia. Edellisessä kuviossa on havainnollistettu kuitenkin kahden hiukkaskokoluokan välinen suuri ero lukumäärissä. Kuvio 8 havainnollistaa kuinka pienemmät hiukkaset eivät poistu sisäilmasta heti kuormituksen poistuttua, vaan hiukkasten lukumäärä laskee vasta klo 20 maissa minimitasolleen.



**KUVIO 8. Kokoluokan 0,5 µm hiukkasten lukumäärät 19–23.12.2011.**

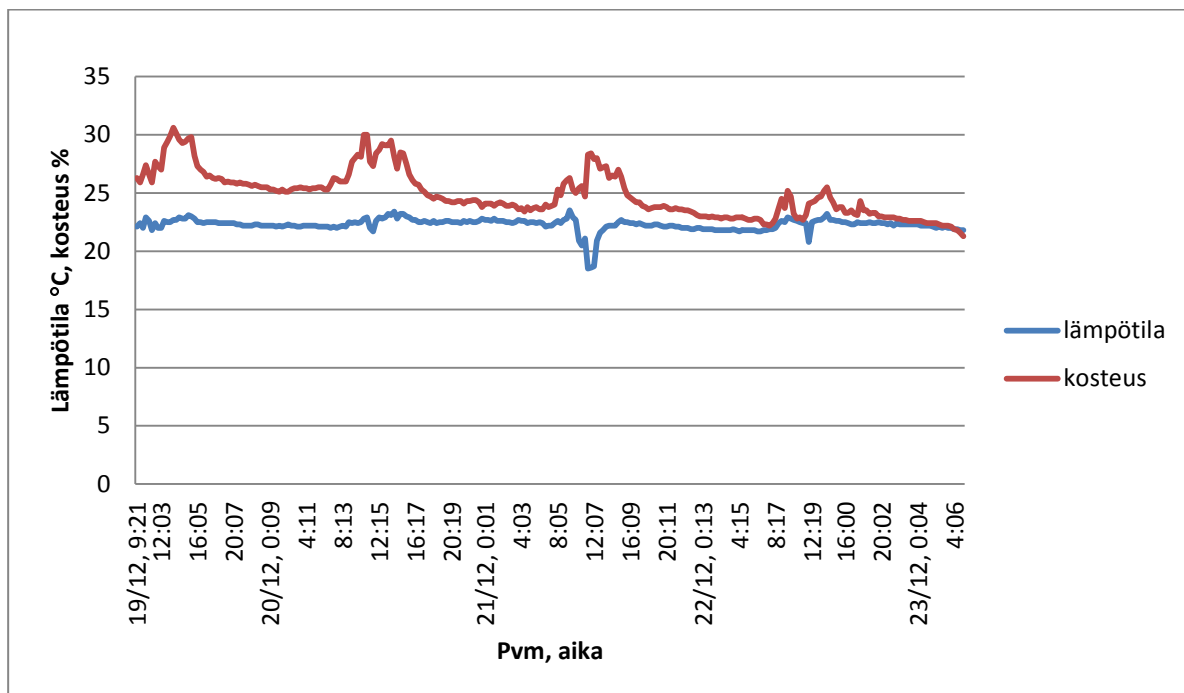
Kuviossa 9 on esitetty samalta mittausajalta halkaisijaltaan suurempien hiukkasten lukumäärävaihtelu. Näissä kokoluokissa työpäivän aikana näkyvä ihmisten aiheuttama kuormitus on selkeämpi kuin pienemmän kokoluokan hiukkasilla. Kuormitus eli hiukkasten lukumäärän kasvun aiheuttama toiminta tapahtuu selvästi aikavälillä 8-16, jolloin huone/päiväkoti on käytössä. Lukumäärät pysyvät tasaisina joka päivä ja maanantain hieman korkeammat pitoisuudet voivat johtua siitä, ettei ilmanpuhdistinta vielä ollut kohteessa tai siitä, että viikonloppuna ilmanvaihto on voinut olla alhaisempi. Suuremman kokoluokan hiukkasia on luonnollisesti moninkertaisesti vähemmän pienemmän kokoluokan hiukkasiin verrattuna. Mitä suurempi hiukkanen on halkaisijaltaan, sen pienempi pitoisuus. Suuremman kokoluokan hiukkaset myös laskeutuvat pinnoille nopeammin lähteen (ihmisten) poistuttua ja samalla pois mittarin ulottuvilta.



**KUVIO 9. Hiukkasten lukumäärä 19–23.12.2011 kokoluokissa 1,0 μm, 3,0 μm, 5,0 μm ja 10 μm.**

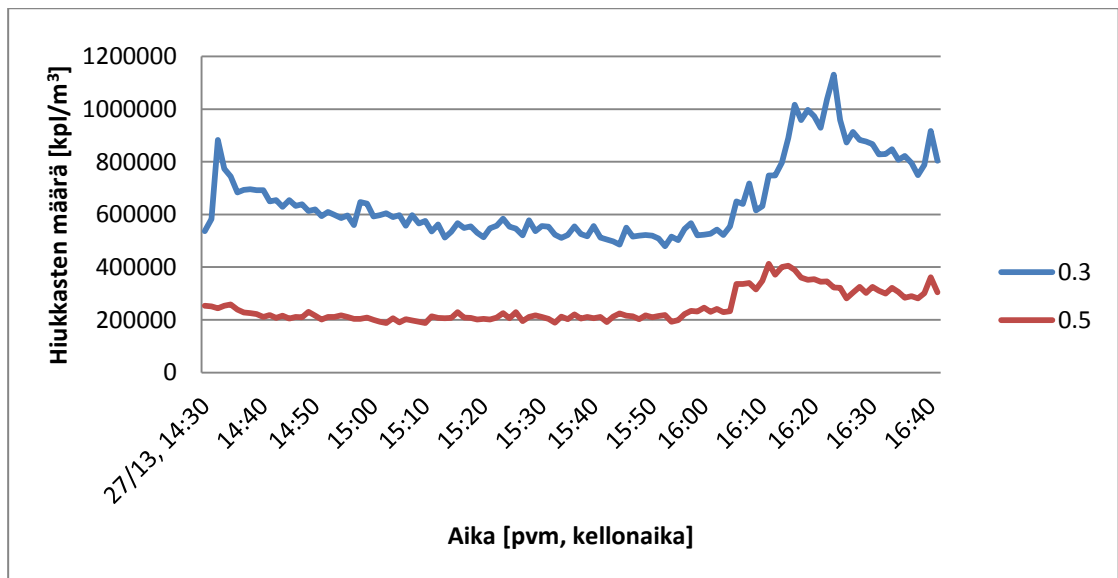
Hiukkasten lukumäärän ja kokojakauman lisäksi mitattiin huoneen lämpötilaa ja suhteellista kosteutta aikavälillä 19–23.12.2011 (kuvio 10). Lämpötilan keskiarvo oli 22,3 °C ja suhteellinen kosteus keskimäärin 24,9 %. Lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat korkeammat kuin myöhemmin helmikuussa tehdyssä toisessa hiukkasmittauksessa. Tämä selittyy helmikuussa olevalla kylmemmällä säällä, jolloin ilma on kuivempaa kuin alkutalvella ja lämmitysjärjestelmäkin joutuu kovemmalle käytölle kuin tässä joulukuisessa mittauksessa. Mittauskohteena toimiva

huone sijaitti myös lähellä ulko-ovea ja pukutilaa, mikä voi osaltaan tuoda enemmän kylmää ilmaa lepo/leikkihuoneeseen talvella. Sisäilman suhteellinen kosteus kuitenkin vaihtelee normaalisti ihmisten päivärytmin mukaisesti hiukkasten tavoin. Lämpötila pysyy suhteellisen vakiona, tehden kuitenkin havaittavissa olevia notkahduksia päivällä klo 11–12 aikaan. Eniten lämpötila laskee 21.12.2011, ollen alimmillaan 18,5 °C. Nämä pienet lämpötilan laskut voivat johtua esimerkiksi hetkellisestä tuuletuksesta huoneessa.



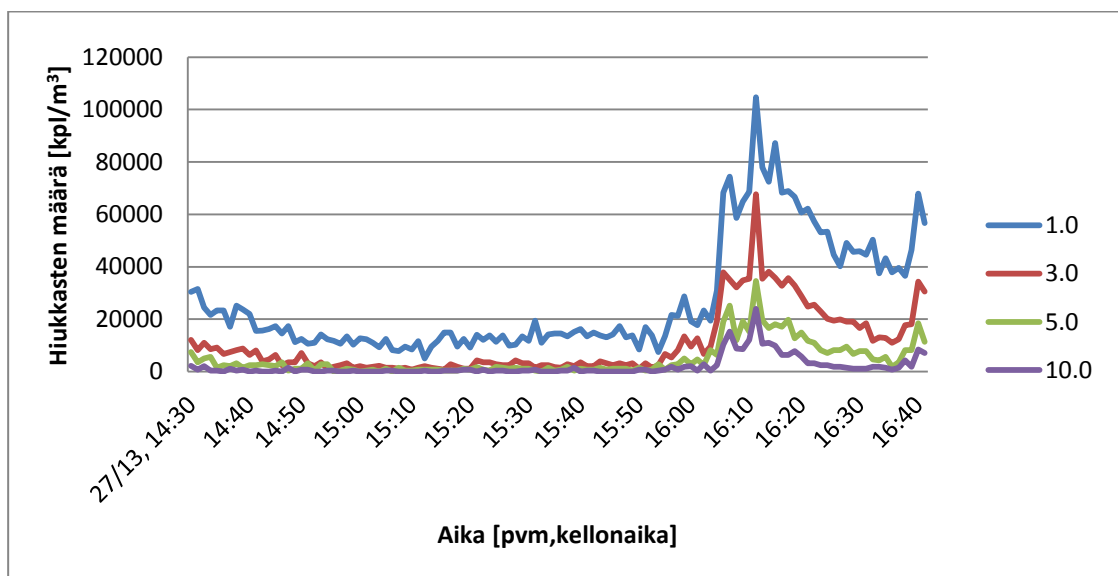
**KUVIO 10. Huoneen lämpötila ja suhteellinen kosteus 19–23.12.2011.**

Koska Aerotrak oli sammunut itsestään jo 23. päivä, se laitettiin uudelleen päälle, kun saavuimme ottamaan uusia näytteitä 27. päivä, ilmanpuhdistimen oltua kohteessa 7 vrk. Seuraavissa hiukkaskuvioissa ilmanpuhdistin oli siis vielä käynnissä. Kuvioista 11 on havainnollistettu ne pitoisuudet, jotka huoneessa on ilman kuormitusta ilmanvaihdon ja ilmanpuhdistimen vaikutuksesta. Kohteessa tai huoneessa ei ollut käynyt useampaan päivään kukaan ennen mittausta ja sen aikanakin ovi aukaistiin vain muutaman kerran. Halkaisijaltaan 0,3 µm kokoisia hiukkasia on alkutilanteessa noin 600 000 kpl/m<sup>3</sup> kun taas 0,5 µm kokoisia noin kolme kertaa vähemmän, 200 000 kpl/m<sup>3</sup>. Pitoisuuksien kasvu noin klo 16 lähtien selittynee lisääntyneellä liikkumisella huoneessa kun VOC-mittalaitteet purettiin pois ja alettiin mitata Andersen-tyyppisellä keräimellä sisäilman mikrobeja.



**KUVIO 11. Hiukkasten lukumäärä 27.12.2011 kokoluokissa 0,3 µm ja 0,5 µm.**

Isompien hiukkasten (kuvio 12) määrän vaihtelut vastaavat pienempien hiukkasten määriä, siinä suhteessa, että pitoisuus on tasainen kunnes liikehdintä huoneessa kasvaa klo 16 jälkeen. Pitoisuudet ovat luonnollisesti huomattavasti pienemmät (yli 10 kertaa pienemmät kokoluokasta riippuen) koska hiukkasten kokoluokka kasvaa. Suurempien hiukkasten (5 µm ja erityisesti 10 µm) määrä käy välillä jopa nollassa asti.

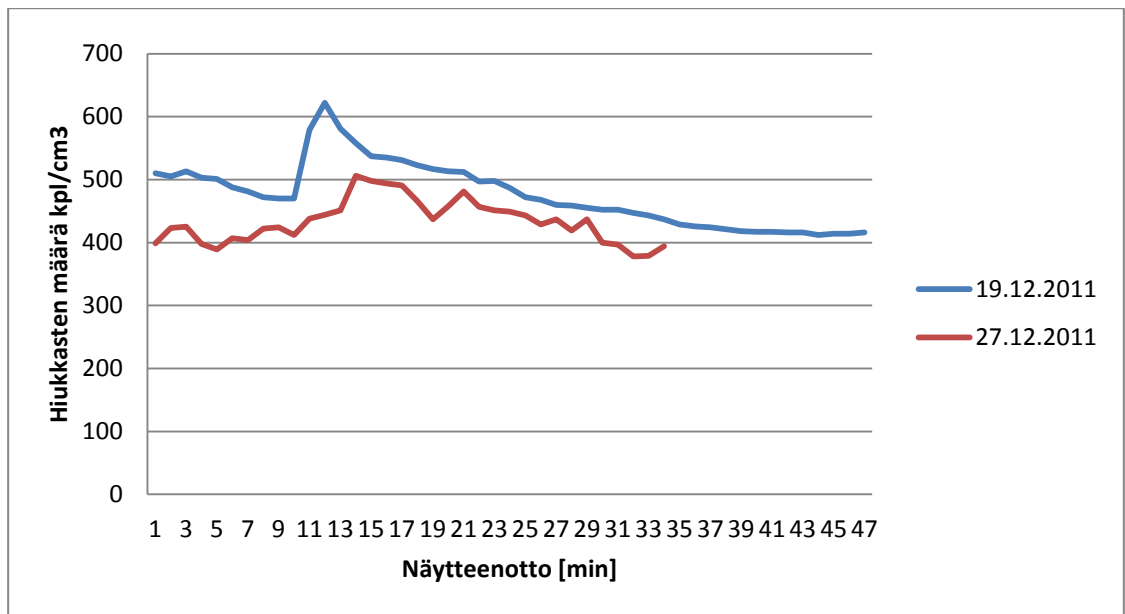


**KUVIO 12. Hiukkasten lukumäärä 27.12.2011 kokoluokissa 1,0 µm, 3,0 µm, 5,0 µm ja 10 µm.**

AeroTrakin lisäksi mitattiin ultrapieniä hiukkasia P-Trakin avulla (kuvio 13). Ennen varsinaista mittausta mitattiin teleskooppivarren avulla yksittäisenä/hetkellisenä mittauksena ulkona vallitseva ultrapienien hiukkasten pitoisuus ikkunasta, tuloilman pitoisuus ilman tulokanavan alta sekä poistoilman pitoisuus ilman poistokanavan alta. Ensimmäisellä mittauksella 19.12 ulkoa saatiin pitoisuudeksi  $1600 \text{ kpl/cm}^3$ , tuloilmasta  $440 \text{ kpl/cm}^3$  ja poistoilmasta  $450 \text{ kpl/cm}^3$ . Toisella mittauksella ilmanpuhdistimen jälkeen saatiin ulkoilman pitoisuudeksi  $851 \text{ kpl/cm}^3$  tuloilmasta  $457 \text{ kpl/cm}^3$  ja poistoilmasta  $322 \text{ kpl/cm}^3$ . Ulkoilman pitoisuuseroja selittävät osaltaan lämpötilaerot ja muut olosuhte muutokset. Ensimmäisen mittauksen korkea ulkoilmapitoisuus selittynee lämpötilan liikkumisella nollan tuntumassa, ehkä hieman plussankin puolella, jolloin ulkoilmassa liikkuu enemmän epäpuhtauksia kuin kylmemmällä säällä.

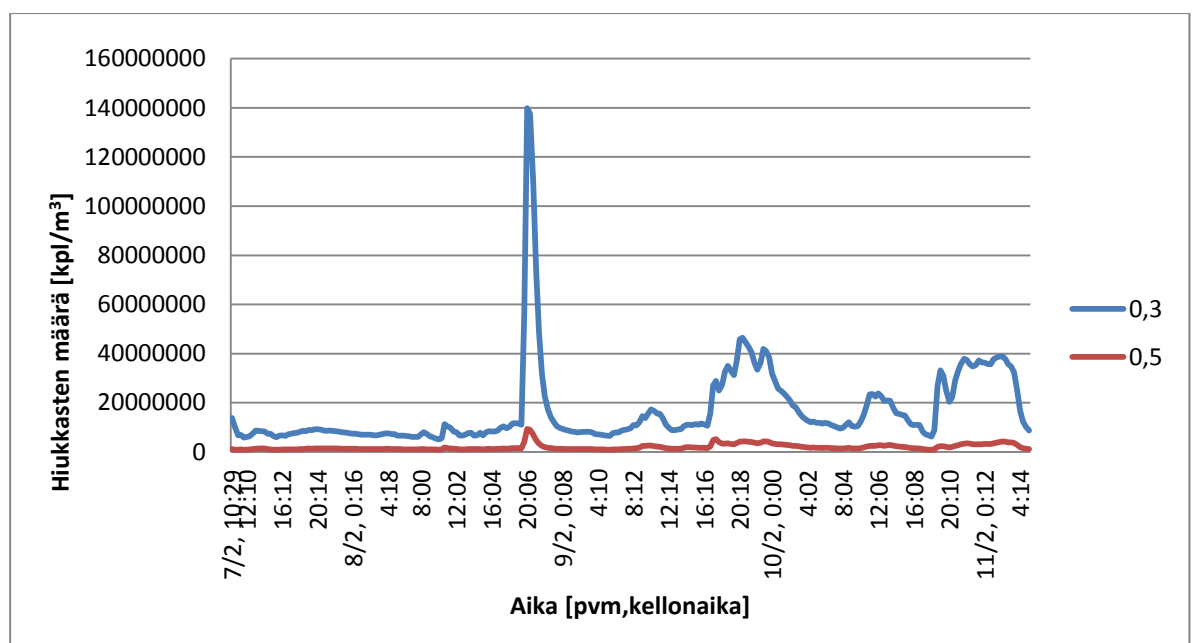
P-Trak:lla pystyttiin mittaamaan vain lyhyet ajanjaksot, koska sitä ei voitu pitää käynnissä VOC-näytteenoton aikana (olisi vääristänyt VOC-tulosta laitteen sisältämän kemikaalin vuoksi), eikä sitä voi jättää keräämään tietoa pitkäksi aikaa, koska se pitäisi kalibroida isopropyylillä muutaman tunnin välein. Näytteenotto kesti ensimmäisellä kerralla noin 45 minuuttia ja toisella kerralla noin 30 minuuttia. Näytteenotot suoritettiin hieman eri aikaa vuorokaudesta, mutta molemmissa näytteenotoissa tilaa ei ollut käytetty aamulla ennen mittausta. Näytteenottoon vaikuttivat muun muassa ihmisten käyminen huoneessa sekä erityisesti mikrobinäytteenotto samanaikaisesti, joka mahdollisesti kasvattaa ultrapienien hiukkasten ( $0,02\text{--}1\mu\text{m}$ ) määrää ilmassa. Kuviosta 13 nähdään kuitenkin, että jälkimmäisellä kerralla pitoisuudet ovat jatkuvasti häiriötekijöistä huolimatta alhaisemmat, mikä selittynee ilmanpuhdistimen vaikutuksella tai luonnollisella ilmanlaadun vaihtelulla.





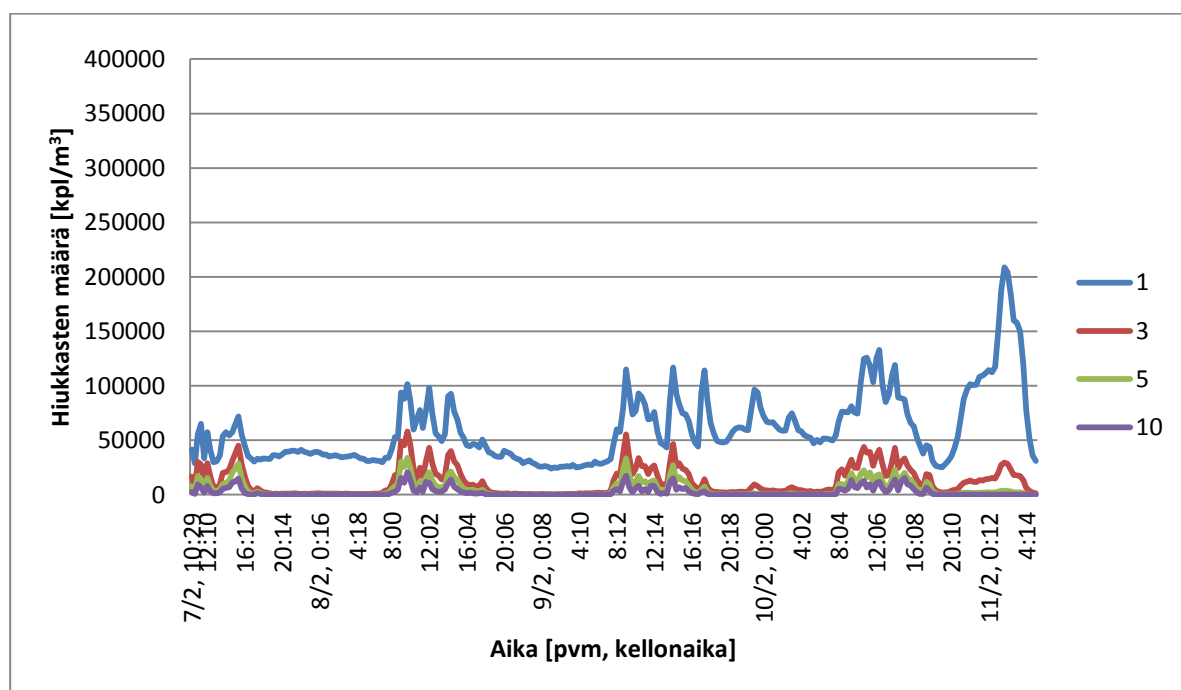
**KUVIO 13. Ultrapienten hiukkasten lukumäärät 19. ja 27.12.**

Vertailun mahdollistamiseksi vietiin AeroTrak puhdistimen vaikutuksen poistuttua takaisin kohteeseen. Seuraavat tulokset kuvaavat ns. normaalitilannetta, tilannetta ilman ilmanpuhdistinta. Näytteet otettiin 7–11.2.2012 eli tiistaiaamusta perjantain ja lauantain väliseen yöhön asti. Hiukkaspitoisuudet vaihtelevat hieman epäsäännöllisesti ja korkeimmat pitoisuudet keskittyvät aina klo 16 jälkeiseen aikaan (kuvio 14), mikä kuvaa pienten hiukkasten poistumisen hitautta. Pitoisuudet ovat keskimäärin noin 5 kertaa suuremmat kuin ilmanpuhdistimen kanssa tehdyissä tutkimuksissa saman suuruusluokan hiukkasilla.



**KUVIO 14. Hiukkasten lukumäärä 7–11.2.2012 kokoluokissa 0,3 µm ja 0,5 µm.**

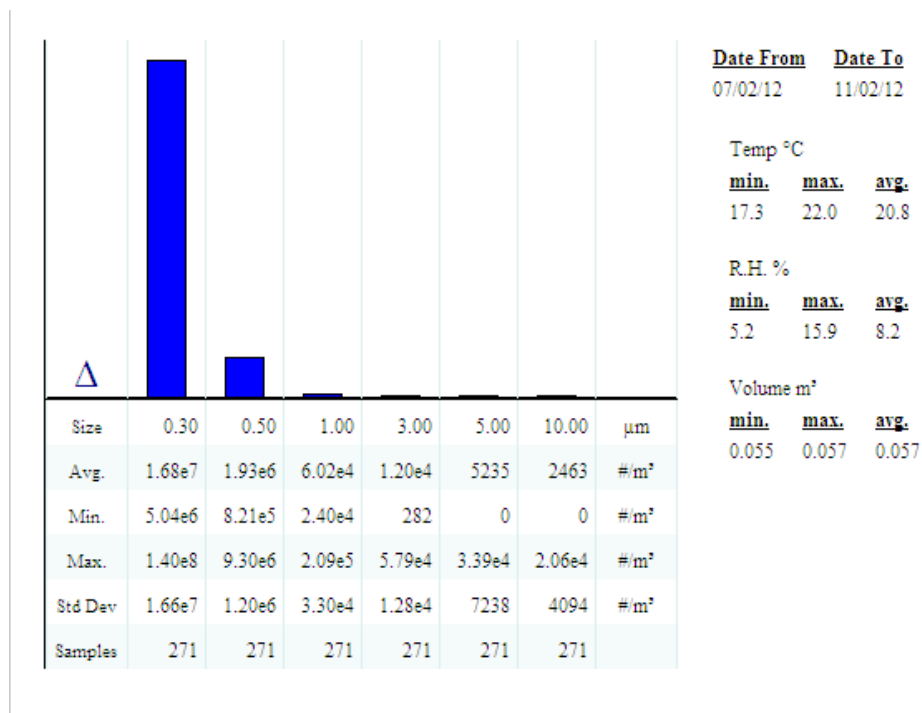
Kuviossa 15 on esitetty kokoluokkien 1  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  sekä 10  $\mu\text{m}$  hiukkasten lukumäärien vaihtelua 7–11.2.2012. Pitoisuudet nousevat tavanomaisesti työpäivän aikana kuten ilmanpuhdistimen kanssakin tämän kokoluokan hiukkasilla. Hiukkaset laskivat selvästi klo 16 jälkeen ja ovat erittäin pienet yön aikana. Hiukkaset käyttäytyvät hyvin samantapaisesti kuin aiemmissakin saman kokoluokan hiukkasmittauksissa. Ainoa iso eroavaisuus on pitoisuustasot, jotka ovat noin 3–4 kertaa pienemmät kuin ilmanpuhdistimen kanssa tehdyissä mittauksissa. Poikkeama löytyy myös 1  $\mu\text{m}$  kokoisilta hiukkasilta, joiden pitoisuudet eivät laske kahden viimeisen yön aikana. Lukumäärät ovat siis moninkertaisesti pienemmät kuin ensimmäisessä mittauksessa, vaikka lähes varmuudella ilmanpuhdistimen pitäisi vähentää hiukkasten lukumäärää suodattimiensa avulla. Selityksenä voisi olla se, ettei ilmanpuhdistin ollut vielä ehtinyt puhdistaa hiukkasia sisäilmasta, koska 27.12 tehdyssä mittauksessa olevat pitoisuudet ovat odotetusti alhaisemmat kuin nämä jälkimmäiset, ilman ilmanpuhdistinta tehtyjen mittausten pitoisuudet.



**KUVIO 15. Hiukkasten lukumäärä 7–11.2.2012 kokoluokissa 1  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  sekä 10  $\mu\text{m}$ .**

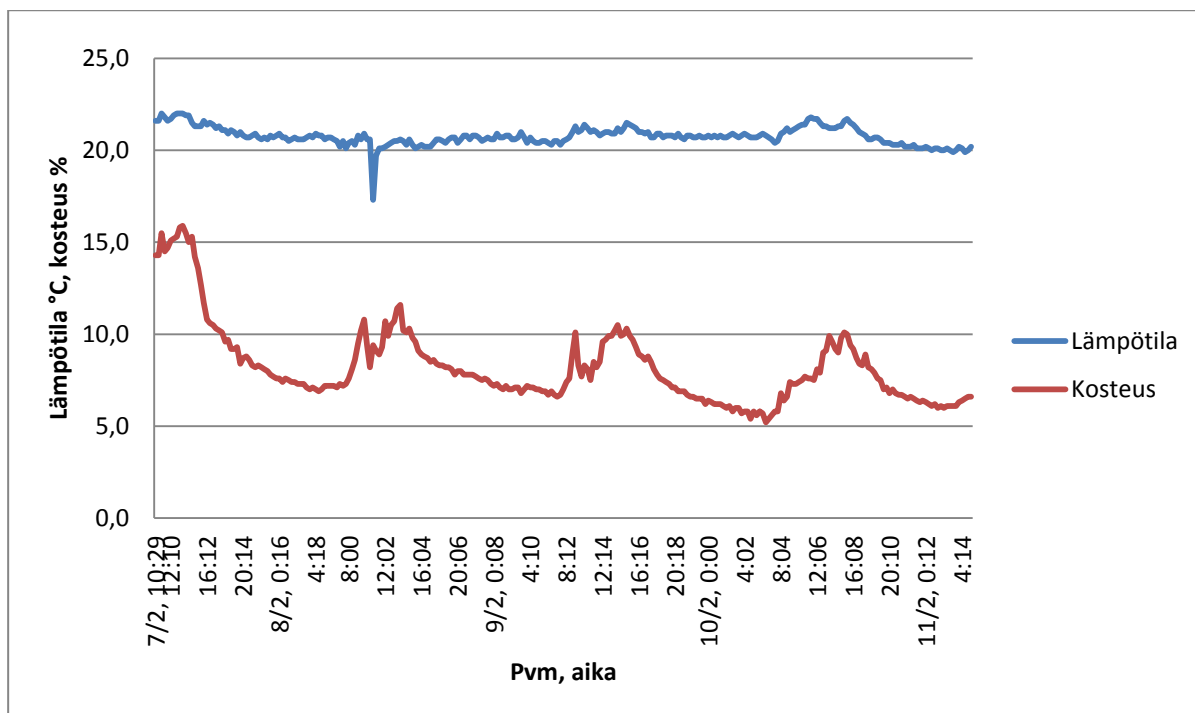
Hiukkasten kokojakaumaa ja lukumäärien vaihtelua esitetään kuviossa 16. Kuviossa 16 on esitetty myös muun muassa ajanjaksolla 7–11.2.12 ollut keskilämpötila (20,8  $^{\circ}\text{C}$ ), keskimääräinen suhteellinen kosteus (8,2 %) sekä eri kokoluokan hiukkasten

minimi, maksimi ja keskiarvo lukumäärät yksikössä kpl/m<sup>3</sup>. Kuvio selventää käsitystä siitä, että pienemmän kokoluokan hiukkasia on huomattavasti enemmän kun suurempia hiukkasia. Kuviossa 16 on siis esitetty hiukkasten lukumäärät kokoluokissa 0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm, 3 µm, 5 µm sekä 10 µm.



**KUVIO 16. Hiukkasten lukumääräjakauma 7–11.2.2012.**

Hiukkasten lukumäärän ja kokojakauman lisäksi mitattiin kohteen huoneesta lämpötilaa ja suhteellista kosteutta (kuvio 17). Lämpötila pysyy suhteellisen vakiona, poikkeuksena 8.2, jolloin on ollut poikkeuksellisen viileää klo 11 maissa. Lämpötila käväisi hetkellisesti (noin puolen tunnin ajan) alhaisemmissa lämpötiloissa ollen alimmillaan 17,3 °C. Lämpötilan lasku keskiarvon 20,8 °C alapuolelle voi johtua esimerkiksi huoneen tuuletuksesta joulukuun mittauksen tavoin. Suhteellinen kosteus noudattelee hiukkasten tavoin ihmisten päivärytmiä siten, että työpäivän aikana suhteellinen kosteus ihmisten läsnäolosta ja toiminnasta johtuen kasvaa ja toiminnan loputtua alkaa pikkuhiljaa laskea, kunnes taas aamulla ihmiset palaavat kohteeseen. Sisäilman suhteellinen kosteus on Suomen talviolosuhteista johtuen tavanomaisen alhainen kohoten päivällä keskimäärin noin 10 %:iin.



**KUVIO 17. Lämpötila ja suhteellinen kosteus 7–11.2.2012.**

## 9.5 Tulosten tarkastelu ja mittausepävarmuus

### 9.5.1 VOC

Sisäilman VOC-näytteiden tulkinta on haastavaa, koska siihen ei ole virallisia selkeitä raja- tai ohjearvoja, varsinkaan yksittäisille yhdisteille. Asumisterveysoppaassa ja ohjeessa on kuitenkin sanottu, että tavanomaisena TVOC pitoisuutena voidaan pitää  $200\text{--}300\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kohteesta otettujen näytteiden sisäilman TVOC pitoisuuksien ollessa korkeintaan  $40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ , on se hyvinkin vähäinen verrattuna asumisterveysoppaan antamaan arvoon. Työterveyslaitoksen mukaan alle  $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  TVOC-pitoisuuksia voidaan pitää hyvin alhaisina, mikä vahvistaa käsitystä siitä, ettei kohteessa ole varsinaista VOC-ongelmaa. Ilmanpuhdistimella ei näiden yksittäisten tulosten perusteella näytä olevan selvää vaikutusta ilman kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuuksiin, ainakaan näin pienissä pitoisuuksissa.

Yksittäistenkin yhdisteiden pitoisuudet pysyivät alle  $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ , paitsi sisäilman vertailunäytteen 2-etyyliheksanoli ( $15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tämä 2-etyyliheksanolin pitoisuus onkin silmiin pistävä poikkeama verrattuna ensimmäisen sisäilmamittauksen pitoisuuteen,  $2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pitoisuuksien poikkeamat kuvaavatkin hyvin, miten paljon olosuhteet ja pitoisuudet sisäilmassa vaihtelevat ja näin ollen jokainen mittaus kertoo

vain hetkellisesti sisäilman laadusta ja epäpuhtauspitoisuuksista. Kyseiset pitoisuudet eivät ole vallitsevia. Lähde 2-etyyliheksanolille varmaankin on kohteessa ollut muovimatto, mutta pitoisuudet ovat alhaiset verrattuna aiheeseen liittyvien muiden tutkimusten tuloksiin. 2-etyyliheksanoli sekä tolueeni esiintyivät jokaisessa näytteessä, jotka kohteesta otettiin. Yksittäiset yhdisteet kertovat siis VOC-päästön lähteestä, esim. terpeenit ovat yleensä peräisin sisustuksessa käytetyistä puumateriaaleista ja 2-etyyliheksanoli sekä 1-butanoli ovat peräisin muovimatosta.

Ongelmakohteista tehtyihin tutkimuksiin verrattuna (esim. Järnström 2005) VOC-pitoisuudet tutkittavassa CASE-kohteessa ovat pieniä, eivätkä viittaa sisäilman kohonneeseen VOC tasoon. Näiden tulosten perusteella ei siis voida sanoa kohteessa olevan esimerkiksi lattiasta peräisin olevaa kohonnutta 2-etyyliheksanoli tai TXIB pitoisuutta. Myös Ositum Oy:n antama ohjearvo tavanomaiselle TVOC pitoisuudelle kouluissa ja muissa vastaavissa rakennuksissa,  $30\text{--}100\mu\text{g}/\text{m}^3$ , antaisi viitettä siitä, että kohteen VOC pitoisuudet ovat normaalia tasoa.

### 9.5.2 Mikrobit

Yhteenvedona Case-tutkimuksen kohteen mikrobiologisille tuloksille voisi todeta, että erityisesti bakteeripitoisuudet vähenivät ilmanpuhdistimen vaikutuksesta, eivätkä sieni-itiöt olleet lajistoltaan epätavallisia (siltä osin kuin tunnistusta pystyttiin tekemään) ennen tai jälkeen ilmanpuhdistimen. Homeiden valtalajina näytteissä oli *Penicillium*. Sieni-itiöpitoisuudet olivat ensimmäisellä mittauskerralla  $53\text{ cfu}/\text{m}^3$  ja  $28\text{ cfu}/\text{m}^3$  ja toisella mittauskerralla  $28\text{ cfu}/\text{m}^3$  ja  $46\text{ cfu}/\text{m}^3$ . Sieni-itiöpitoisuuksissa ei siis tapahtunut juurikaan muutosta ilmanpuhdistimen johdosta ja pitoisuudet ovat kauttaaltaan vähäisiä verrattuna esimerkiksi asumisterveysoppaan mukaiseen taajamassa sijaitsevan asunnon poikkeavan suureen sisäilman sieni-itiöpitoisuuteen talviaikana ( $100\text{--}500\text{ cfu}/\text{m}^3$ ). Muistaen vielä, että ensimmäisten mittausten aikaan joulukuussa ei ollut vielä kunnan pakkasiakaan, mikä selittäisi hieman suuremmatkin sieni-itiöpitoisuudet ensimmäiseltä näytteenotolta.

Asumisterveysopasta lainatakseni "Yksittäisellä mittaushetkellä todettu sieni-itiöpitoisuus voi olla pieni, vaikka rakenteissa esiintyisikin mikrobikasvustoja eikä kosteus- ja homeaurion mahdollisuutta voida näin ollen varmuudella sulkea pois." (STM 2009a, 170). Sieni-itiöpesäkkeitä oli näiden mittausten perusteella siis

hetkellisesti ainakin vähäinen määrä. Homeiden tunnistuksessa on otettava huomioon, ettei niitä ole tehty ammattilaisen toimesta. Homepesäkkeitä ja eri lajeja esiintyi kuitenkin vähän ja lajisto pysyi lähes samana molemmilla näytteenotto-kerroilla. Tunnistuksessa jäi kuitenkin toivomisen varaa, koska monet pesäkkeet jäivät syystä tai toisesta mysteereiksi.

Bakteeripitoisuudet sen sijaan vähenivät selvästi ilmanpuhdistimen vaikutuksesta (vertaa 110/223 cfu/m<sup>3</sup> ja 42/7 cfu/m<sup>3</sup>). Bakteeripesäkkeitäkin esiintyi kuitenkin erittäin vähän, eikä näiden tulosten perusteella sisäilmassa ole terveydelle haitallista tai heikosta ilmanvaihdesta kertovaa määrää bakteereja. Aktinomykeettejä ei esiintynyt näytteissä lainkaan, mikä viittaisi siihen, ettei rakennuksessa näiden mittausten perusteella esiinny kosteusvauriota tai poikkeavaa mikrobikasvustoa.

Mielestäni näiden mittausten perusteella kohteessa ei esiinny poikkeavaa mikrobikasvustoa tai terveyshaittaa. Mittaus tulisi toistaa useita kertoja, jos haluttaisiin luotettavaa tietoa kohteen sisäilman laadusta. Tähän opinnäytetyöhön tehdyt mittaukset kertovat sisäilman laadusta mikrobiologiankin osalta ainoastaan hetkellistä tietoa, joten kattavaa tietoa kohteen sisäilman laadusta ei voi näiden tulosten perusteella antaa. Huomattava on myös se, että asumisterveysoppaan tulkintaohjeet on tarkoitettu asunnoille.

### 9.5.3 Hiukkaset

Hiukkasista CASE-tutkimus antaa hieman perustietoa kuten, minkä verran hiukkasia on eri kokoluokittain ja miten ne sisäilmassa kyseisessä kohteessa käyttäytyvät. Tässäkin tutkimuksessa tuli osoitettua, että hiukkasten lukumäärä sisäilmassa kasvaa halkaisijan pienentyessä. Toisin sanoen mitä pienempiä hiukkasia, sitä enemmän niitä on lukumäärällisesti ja sitä kauemmin ne pysyvät hengitettävässä ilmassa, eivätkä laskeudu erilaisille pinnoille. Hiukkaset noudattelivat odotetusti vuorokausirytmää, jolloin pitoisuudet kasvavat päivän aikana, ja laskevat selvästi yöllä, kuormituksen poistuttua. Halkaisijaltaan 1 µm ja sitä suuremmat hiukkaset näyttivät tutkimusten mukaan poistuvan ilmasta heti työpäivän päätyttyä, kun taas sitä pienemmät hiukkaset pyörivät ilmassa vielä illalla klo 20 aikaan. Tämä voisi selittää klo 16 jälkeiset korkeat pitoisuudet pienimpien hiukkasten kohdalla. Kaiken kokoiset hiukkaset kuitenkin selvästi lisääntyvät ihmisten läsnäolon ja toiminnan seurauksena.

Ultrapienissä hiukkasissa tapahtui lievä pitoisuuden lasku viikon aikana. Syynä voi olla ilmanpuhdistimen vaikutus, tai se, että päiväkotia oli ollut kiinni jo kolme päivää normaalin kahden päivän sijaan. Syynä pitoisuuden alenemiseen voi olla myös yksinkertaisesti se, että kyseessä on hetkellinen mittaus ja olosuhteet ovat muuttuneet hetkellisesti siten, että jälkimmäisen mittauksen aikana oli vähemmän ultrapieniä hiukkasia sisäilmassa. Myös ilmanvaihto saattaa olla alhaisemmalla voimakkuudella viikonloppuisin, joten maanantaina voimistunut tehokkuus tyhjässä käyttämättömässä tilassa voisi selittää jälkimmäisen mittauksen (tiistai 27.12) vähäisemmän hiukkaspitoisuuden. Ilmanpuhdistimen vaikutuksen todentamiseen ultrapienien hiukkasten pitoisuuksien muutoksiin tarvittaisiin useampia, pitkäaikaisempia ja häiriöttömiä mittauksia sekä tuntemusta muun muassa kohteen ilmanvaihdon toiminnasta.

Hiukkasten lukumäärät pienimmillä hiukkasilla ( $0,3\ \mu\text{m}$  ja  $0,5\ \mu\text{m}$ ) ovat noin 5 kertaa pienemmät ilmanpuhdistimen kanssa, kuin ilman ilmanpuhdistinta. Ihmeellinen poikkeama tulee kuitenkin hiukkasilla  $1\text{--}10\ \mu\text{m}$ , joiden pitoisuudet ovat moninkertaisesti suuremmat ilmanpuhdistimen kanssa, kuin ilman puhdistinta. Selityksenä tälle voisi olla se, että ilmanpuhdistin vaatii aikaa puhdistukseen sisäilmaa ja se, että ilmanpuhdistin oli käynnissä pienimmällä tehollaan. Puhdistimen oltua viikon huoneessa, olivat pitoisuudet ainakin 27. päivän mittauksen mukaan puolestaan alhaisemmat kuin ilman ilmanpuhdistinta, joka noudattaa siis ennakkokäsitystä puhdistimen puhdistuskyvystä. Muistaen kuitenkin taas, että mittaus tapahtui vain kerran muutaman päivän ajan kerrallaan ja nämä mittaukset kertovat sisäilman hetkellisen hiukkasten lukumäärän, joka voi vaihdella paljonkin olosuhteiden muutosten vuoksi. Ilmanpuhdistin koostuu sellaisista suodattimista, joiden tulisi poistaa hiukkasia sisäilmasta, joten en väittäisi yksittäisen mittauksen perusteella, ettei se niin tekisi.

Lämpötila oli kohteessa normaali, korkeintaan hieman koholla joulukuun mittauksissa (ka.  $22,3^\circ\text{C}$ ) verrattuna asumisterveysoppaan hyvään lämpötilatasoon  $21^\circ\text{C}$ . Myös suhteellinen kosteus on tavanomaisissa lukemissa, mutta suhteellisen kosteuden osalta huomiodaan selvä talven tuoma kuiva sisäilma, joka aiheuttanee alhaisia kosteusprosentteja helmikuun mittauksissa. Asumisterveysoppaan mukaisesti huoneilman kosteuden tulisi olla  $20\text{--}60\ \%$ , mutta se on ilmastollisista syistä (esim.

talvella) vaikea saavuttaa, joten poikkeamaa ohjearvosta ei voida suoraan pitää merkinä huonosta sisäilman laadusta. Suhteellinen kosteus noudattaa päivärytmiä nousten päivällä korkeimmilleen ja laskien iltaa kohden.

## 9.6 Pohdinta

VOC-mittausten perusteella voisi todeta, että pitoisuudet (TVOC) olivat alhaisia verrattuna asumisterveysoppaassa annettuihin ohjearvoihin ja yksittäistenkin yhdisteiden pitoisuudet olivat pieniä. 2-Etyyliheksanolin sisäilmanpitoisuuksissa tapahtuu selkeä muutos ensimmäisen ilmanäytteen ja vertailunäytteen välillä (2 ja 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mutta se kertoo vain sen, kuinka paljon pitoisuudet sisäilmassa vaihtelevat kahtena peräkkäisenä päivänä. VOC-näytteistä materiaalinäyte antaa ehkäpä luotettavimman tuloksen materiaalien emissioista ja ongelman laadusta. Sisäilman näytteeseen vaikuttaa niin paljon vallitsevat olosuhteet, jotka muuttuvat päivittäin. Ilmanpuhdistimella ei näyttäisi olevan vaikutusta kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuuksiin.

Näiden mittausten pohjalta mielestäni kohteessa ei esiinny poikkeavaa mikrobikasvustoa tai terveyshaittaa sisäilman suhteen. Hiukkaspitoisuudet vähenivät ilmanpuhdistimen johdosta, kuten myös erityisesti bakteerien määrä. Lämpötila ja suhteellinen kosteus olivat hyvällä tasolla. Talvesta ja kylmemmästä ilmasta johtuen sisäilman suhteellinen kosteus oli helmikuun mittauksissa alhainen. Mittauksissa ei ilmennyt mitään erityisen poikkeavaa tai mielenkiintoa herättävää, mikä vaatisi uusintamittausten tai lisämittausten tekemistä.



## 10 YHTEENVETO

Tutkittaessa ilmanpuhdistimen kykyä poistaa sisäilmasta VOC-kaasuja saatiin selville, että kyseinen ilmanpuhdistin puhdistaa ilmasta myös VOC-kaasuja. Tutkimuksessa käytetyn 2-etyyliheksanolin erotustehokkuus sisäilmasta oli kaikilla ilmanpuhdistimen käyttötehoilla yli 98 %. Selviä eroja erotustehokkuuksien tai puhdistimen tehoilla ei ilmennyt. Käyttömukavuudeltaan ja hieman parempien erotustehokkuuksien perusteella voisi suositella käytettäväksi ensisijaisesti ilmanpuhdistimen tehoja 1 ja 2. Mittausmenetelmän ja mittalaitteen epäluotettavuuden vuoksi on kuitenkin mahdotonta sanoa, poistaako ilmanpuhdistin kaikkea 2-etyyliheksanolia sisäilmasta. Tulosten perusteella voisi kuitenkin todeta, että ilmanpuhdistin soveltuisi korjausta odottavien kohteiden väliaikaiseksi sisäilman laadun parantajaksi niin hiukkasten- kuin VOC-kaasujen erotuskyvyn vuoksi.

Ilmanpuhdistimeen liittyvää testausmenetelmää ja näin ollen tulosten luotettavuutta voisi parantaa toistamalla testaus suljetussa tilassa, jonka sisäilma olisi tasalaatuinen ja muuttumaton. Myös itse mittalaitteen luotettavuus herätti epäilyksiä tulosten luotettavuudesta, jolloin myös mittalaitteen toiminta tulisi testata erikseen ennen uusia mittauksia. Testi olisi ollut myös hyvä toistaa kahteen kertaan, jolloin olisi saanut lisää tilastollista luotettavuutta tuloksiin. Testauksen hitaan etenemisen ja siitä johtuvan ajan puutteen vuoksi testiä ei ehditty kuitenkaan toistaa.

Case-tutkimukseen liittyvien tulosten perusteella kohteessa ei ollut poikkeavia pitoisuuksia niin hiukkasten, mikrobien kuin VOC-kaasujenkaan osalta. Tutkimustulosten perusteella ilmanpuhdistin vähensi mikrobien ja hiukkasten määrää, mutta kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuuksissa ei näkynyt selvää pitoisuuksien vaihtelua puhdistimen johdosta. On kuitenkin muistettava, että mittauksia tehtiin vähän ja tulokset kuvaavat vain hetkellistä sisäilman laatua. Kaikkien mitattavien epäpuhtauksien osalta näytteitä olisi pitänyt ottaa enemmän, jolloin olisi saatu luotettavampia tuloksia kohteen sisäilman laadusta. Kohteen tutkimuksen tarkoituksena oli kuitenkin lähinnä saada lisää kokemusta mittausmenetelmistä oikeassa kohteessa ja oppia VOC-näytteenottoa. Tältä osin kohteesta tehdyt tutkimukset tukivat ammatillista kehitystä ja onnistuivat hyvin.

## LÄHTEET

Andersen, Ariel, A. 1958. New sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particles. PDF-dokumentti. Luettu 15.4.2012.

Climecon Oy. Climeconin tuotteet. Yrityksen WWW-sivut.  
<http://www.climecon.fi/index2.php?k=616300>. Ei päivitystietoja. Luettu 13.3.2012.

F-suotimet Oy. Hilma ilmanpuhdistin. Yrityksen WWW-sivut.  
[http://www.fsuotimet.fi/etusivu/tuotteet/tuotteet/hilma\\_toimistoihin\\_ym](http://www.fsuotimet.fi/etusivu/tuotteet/tuotteet/hilma_toimistoihin_ym). Ei päivitystietoja. Luettu 5.2.2012.

F-suotimet Oy 2006. Hilma-ilmanpuhdistin. PDF-esite.

Hiukkastieto. Optiset menetelmät. WWW-dokumentti.  
<http://www.hiukkastieto.fi/node/45>. Kirjoitettu 3.marraskuuta. Luettu 5.2.2012.

Hovi, Hanna 2012. Sähköpostikeskustelu 10.4.2012. Asiantuntija. Työterveyslaitos.

Huang, Hongyu & Haghighat, Fariborz 2003. Building materials VOC emissions – a systematic parametric study. Building and environment 38, 995-1005.

Järnström, Helena 2005. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT:n tiedotteita 571. PDF- dokumentti.  
[www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P571.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P571.pdf). Luettu 20.1.2012.

Järnström, Helena & Saarela, Kristina 2005. Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa. VTT:n tiedotteita 2281. PDF- dokumentti.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2281.pdf>. Luettu 20.1.2012.

Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P., Pasanen, A-L. 2007. Comparison of VOC and ammonia emissions from individual PVC materials, adhesives and from complete structures. Environment International 34, 420-427.

Kemikaalikortti 2005. 2-Etyyliheksanoli.Valmisteltu Kansainvälisen kemikaaliturvallisuusohjelman ja Euroopan unionin yhteistyönä © IPCS, CEC 2005 (suomennos 2006, © TTL). PDF-dokumentti.  
<http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/index.php?searchfield=2-etyyliheksanoli&querymethod=Name&formsubmitbasic=Hae>. Päivitetty 14.6.2011. Luettu 26.1.2012.

Laitinen, Anni 2011-2012. Kuvamateriaalia laitteista ja mikrobinäytteistä. Ympäristöinsinööriopiskelija. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999. WWW-dokumentti. Finlex- Valtion säädöstietopankki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895> Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2012.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. WWW-dokumentti. Finlex- Valtion säädöstietopankki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>. Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2012.

MSA 2005. Photoionization Detectors (PIDs). PDF-dokumentti. [media.msanet.com/.../GasSensorsTransmitters/...](http://media.msanet.com/.../GasSensorsTransmitters/...) Luettu 25.3.2012.

Nenonen, Mika 2011. Kuvamateriaalia VOC-näytteenotosta. Kosteuskartoittaja/kuivausasentaja. Polygon Finland Oy.

Ositum a. 2-Etyyliheksanoli. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.ositum.fi/index.php?p=2etyyliheksanoli>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.2.2012.

Ositum b. Erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VVOC) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Yrityksen WWW-sivut. <http://www.ositum.fi/index.php?p=HaihtuvatorgaanisethiilivedytV>. Ei päivitystietoja. Luettu 7.3.2012.

Polygon. Tietoja polygonista. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.polygongroup.fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 17.4.2012.

Putus, Tuula 2010. Home ja terveys. Kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveyshaitat. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy. Vammalan Kirjapaino Oy.

Pönkä Antti 2006. Terveystensuojelu. Suomen ympäristöterveys Oy. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.

Rakennustieto. Yrityksen WWW-sivut. <https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 25.2.2012.

Rundt ym. 2005. Rundt, Anne-Rita, Backlund, Peter & Paakkola, Katja, Sisäilman hajut ja orgaaniset epäpuhtaudet. Työterveyslääkäri- lehti 2/2005. [http://www.terveysportti.fi/dtk/shk/avaa?p\\_artikkeli=t100208](http://www.terveysportti.fi/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=t100208). Luettu 15.12.2011.

Sisäilmastoluokitus 2008. RT-kortti 07-10946. PDF-dokumentti. Rakennustietosäätiö. Luettu 25.11.2011.

Sisäilmayhdistys 2008a. Maanvastainen betonilaatta. WWW-dokumentti. [http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/kunnossapito\\_ja\\_korjaaminen/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kunnossapito_ja_korjaaminen/)

maanvastaiset\_rakenteet/maanvastainen\_betonilaatta/. Ei päivitystietoja. Luettu 7.3.2012.

Sisäilmayhdistys 2008b. Kemialliset tutkimukset. WWW- dokumentti. [http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/ongelmien\\_tutkiminen/muut\\_si\\_sailmatutkimukset/kemialliset\\_tutkimukset/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/muut_si_sailmatutkimukset/kemialliset_tutkimukset/). Ei päivitystietoja. Luettu 22.1.2012.

STM 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysohje. WWW-julkaisu. [http://www.stm.fi/julkaisut/nayta/\\_julkaisu/1056561](http://www.stm.fi/julkaisut/nayta/_julkaisu/1056561) Ei päivitystietoja. Luettu 25.1.2012.

STM 2009a. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysopas, asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö ja Terveys-lehti. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.

STM 2009b. HTP-arvot 2009 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2009:11. PDF-dokumentti. [www.stm.fi/julkaisut](http://www.stm.fi/julkaisut). Luettu 12.12.2011.

Taloussanommat 2011. Pilaako tämä myrkkypommi kotisi?. Lehtiartikkeli. WWW-julkaisu. <http://www.taloussanommat.fi/asuminen/2011/02/17/pilaako-tama-myrkkypommi-kotisi/20112277/310>. Kirjoitettu 17.2.2011. Luettu 12.3.2012.

Teknocalor. TSI P-Trak 8525 Laskuri äärimmäisen pienille hiukkasille. Yrityksen WWW-sivut. [http://www.teknocalor.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=218&Itemid=323](http://www.teknocalor.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=218&Itemid=323). Ei päivitystietoja. Luettu 5.2.2012.

Terveydensuojelulaki 763/1994. WWW-dokumentti. Finlex- Valtion säädöstietopankki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>. Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2012.

TSI, 2006. Model 8220 Aerotrak, Handheld Optical Particle Counter Operation and Service Manual. TSI.

Työterveyslaitos. VOC-näytteenotossa huomioitavia asioita. Moniste.

Työterveyslaitos 2010. VOC-yhdisteiden mittaus. Yrityksen WWW-sivut. [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman\\_epapuhautaudet/voc/vocmittaus/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/voc/vocmittaus/sivut/default.aspx). Päivitetty 19.4.2010. Luettu 12.3.2012.

Työterveyslaitos 2011 a. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ilmasta ja materiaaleista. WWW-julkaisu. [http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/kemikaalit\\_ja\\_polyt/kemian\\_annot/Document/voc.pdf](http://www.ttl.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tyoymparisto/kemikaalit_ja_polyt/kemian_annot/Document/voc.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 15.3.2012.

Työterveyslaitos 2011 b. Sisäilman 2-etyyli-1-heksanoli. Yrityksen WWW-sivut.  
[http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/terveydelliset\\_tekijat/sisailman\\_2eh/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/terveydelliset_tekijat/sisailman_2eh/sivut/default.aspx). Päivitetty 23.6.2011. Luettu 5.3.2012.

Työterveyslaitos 2012. Analyysivastaus, VOC-analyysi ilmanäytteistä.

Työturvallisuuslaki 738/2002. WWW-dokumentti. Finlex- Valtionsäädöstietopankki.  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>. Ei päivitystietoja. Luettu 19.1.2012.

YMa sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2011. Ympäristöministeriön asetus sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Rakentamismääräyskokoelma, osa D2. WWW-dokumentti. Finlex- Valtion säädöstietopankki.  
[http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 25.1.2012.

Ympäristöministeriö 2004. Rakennustuotteiden CE-merkintä rakennustuotedirektiivin mukaisesti. Ympäristöopas 95. Helsinki: Edita Prima Oy. PDF-dokumentti.  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=14004>. Luettu 10.12.2011.

WHO 2000. World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. European Series 91. Copenhagen: WHO Regional Publications. PDF-dokumentti. Luettu 2.12.2011.

Wolkoff, Peder 1998. Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term VOC emissions from building products. Atmospheric Environment 14/15, 2659-2668.