

## **HAIHTUVIEN ORGAANISTEN YHDISTEIDEN TOTEAMINEN ULOSHENGITYSILMASTA BIOVOC-MENETELMÄLLÄ.**

### **Tutkimusprojektiin osallistujat**

Merja Mikkonen, FT, Laboratoriopäällikkö, Ositum Oy

Esa Toppinen, LL, Työterveyslääkäri

Raimo Lajunen, Rakennusterveysasiantuntija, Työterveyshuollon tekninen asiantuntija  
Puh. 040 502 8873, 040 583 9044

### **Taustaa**

Sisäilmaongelmien syitä ja seurauksia tutkitaan Suomessa paljon. Kaikille sisäilman epäpuhtauksille ei edelleenkään ole olemassa terveysperusteisia raja-arvoja, joita voitaisiin käyttää tarvittavien korjausten lähtökohtana. Muovipohjaisten materiaalien hajoamista lattian pintarakenteissa ja niistä vapautuvia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä epäillään usein esim. ylähengitysoireiden aiheuttajiksi. Ongelmana on todentaa rakenteiden epäpuhtauslähteitä ihmisen altistumislähteiksi.

Sisäilmaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC, volatile organic compound) emittoituu rakennusmateriaaleista, vaatteista, huonekaluista, sähkölaitteista, hajusteista ja kemikaaleista kuten pesuaineista. Yleisimpiä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ovat muun muassa alkaanit, aldehydit, alkoholit, fenolit, ketonit ja terpeenit. VOC-yhdisteistä osa on mahdollisesti ärsyttäviä aineita ja osa karsinogeenisiä. VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia, silmien ärsytystä, hengitysteiden limakalvojen ärsytystä, väsymystä, voimattomuutta, yleistä pahoinvointia ja astman kaltaisia oireita. (Wolkoff 1995, Wålander ym. 2001, Kamijima ym. 2002, Metiäinen ym. 2003, Villberg ym. 2004).

Sisäilman yksittäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ovat kuitenkin yleensä hyvin pieniä, eikä niiden kokonaispitoisuus useinkaan ylitä suomalaisen Sisäilmaluokituksen antamia ohjearvoja. Vaikka raja-arvoja ei ole ylitetty, tai edes oltu niiden lähialueilla, on VOC-yhdisteille tyypillisiä oireita silti tutkimuskohteissa koettu.

Betonin emäksinen kosteus aiheuttaa PVC-muovimattojen pehmittimien ja liimojen hajoamista, jonka seurauksena muodostuu mm. 2-etyyliheksanolia (Aikivuori 2001). VTT:n, HYKS:n ja Kuopion yliopiston tutkimuksessa sisäilman 2-etyyliheksanoli korreloi sisäilman tunkkaisuutta epämiellyttävän hajun kanssa sekä liittyi viikoittaiseen limannousuun (Villberg ym. 2004). Astmaoireiden lisääntymistä on todettu mm. ruotsalaisessa tutkimuksessa, jossa kosteusvaurioituneista muovimatoista vapautui 2-etyyliheksanolia (Norbäck ym.200). Työterveyslaitoksen tutkimuksessa todettiin 2-etyyliheksanolia runsaasti tuottaneen PVC-muovimaton aiheuttamassa altistuksessa erityisesti silmäoireita (Tuomainen ym. 2002). Samassa tutkimuksessa määritettiin henkilöiden ulospuhallusilmasta haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja todettiin yhdisteiden joukossa esiintyvän myös 2-etyyliheksanolia ja sen pitoisuuden korreloivan ilman pitoisuuden kanssa.

## Tavoitteet

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää brittiläisen laboratorion (UK Health and Safety) liuotinainealtistuksen biomonitorointiin kehittämän näytteenottomenetelmän, BioVOC-analyysin soveltuvuutta rakennusten sisäilman laadun ja rakennusmateriaaleista emittoituvien päästöjen osoittamiseen. Tutkimuksessa selvitettiin työpaikoilla muovipinnoitteiden ja liimojen hajoamistuotteille altistuvien uloshengityksen loppuosan VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet sekä 2-etyyliheksanolin ja 1-butanolin pitoisuuksia.

## Tutkimusaineisto ja menetelmät

Tutkimus toteutettiin toimistotyypisissä työpaikoissa, joissa ei ole merkittäviä prosessi-peräisiä altisteita. Tutkimuskohteet olivat Insinööritoimisto IS Consults Oy:n asiakaskohteita. Tutkimuskohteiksi valittiin sellaisia rakennuksia, joissa IS Consults Oy:n tekemien tutkimuksien mukaan tapahtui muovipohjaisen lattiapinnoitteen, tai pintarakenteen kemiallisesta hajoamisesta aiheutuvia sisäilmaongelmia.

Aluksi kohteissa tehtiin rakennustekninen kuntotutkimus, jonka yhteydessä selvitettiin lattian pintarakenteen kuntoa ottamalla VOC-näyte avatun pinnoitteen päälle asetetun lasikuvun sisältä. Kun näytteessä havaittavien VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta merkittävä osa oli lattiapinnoitteiden hajoamista indikoivia 2-etyyliheksanolia ja 1-butanolia, todettiin lattian pintarakenteessa tapahtuvan hajoamista.

Tutkimusta jatkettiin ottamalla VOC-näytteet sisäilmasta ja tiloissa työskentelevien henkilöiden (n=10) uloshengitysilman loppuosasta. Samasta rakennuksesta otettiin ulospuhallusnäytteet 2-4 henkilöltä. Henkilöt puhalsivat BioVOC-näytekeräimen kammioon. Kammioista ilmanäyte työnnettiin männän avulla adsorbenttiin ja näyte analysoitiin massaspektrometrillä. Näytteestä analysoitiin VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus, 2-etyyliheksanolin sekä 1-butanolin pitoisuudet.

Tutkimukseen valittiin henkilöt siten, että tutkimuskohteissa pyydettiin tutkimukseen osallistujiksi henkilöitä, joilla esiintyy sisäilmaongelmille tyypillisiä oireita. Tutkimuksella pyrittiin osoittamaan altistumista tiettyyn paikkaan liittyen. Muovipohjaisen lattiapinnoitteen hajoamisessa muodostuva 2-etyyliheksanoli on rasvaliukoinen yhdiste, minkä vuoksi henkilöiltä kysyttiin paino ja pituus painoindeksin määrittämiseksi. Painoindeksiä käytettiin henkilöiden välisten erojen selvittämiseen selvittämään mahdollisuutta, jossa yhdisteet kertyvät tiloissa oleskeleviin ihmisiin, eli ihminen toimisi eräänlaisena yhdisteiden keräimenä. Painoindeksi laskettiin kaavasta  $BMI = \text{paino kiloina} : (\text{pituus metreinä})^2$ . Tutkimukseen osallistuneissa henkilöissä ei ollut tupakoitsijoita.

Näytteenottomenetelmä, BioVOC-menetelmä on kehitetty Englannissa (The Health and Safety Laboratory, Buxton Derbyshire, UK) liuotinainealtistumisen seurantaan. Näytteenottomenetelmää on helppo käyttää työympäristön tutkimisen yhteydessä, eikä menetelmä vaadi terveydenhuollon koulutettua henkilöä näytteenottajaksi.

Tutkimus tehtiin työympäristössä, joissa rakennusterveystutkimuksia usein tehdään. Tulokset kuvaavat todellista tilannetta ja ovat suoraan käytettävissä palvelutoiminnoissamme.

## TUTKIMUS

### Tutkimuskohde 1.

Tutkimukseen osallistuneet henkilöt ovat olleet työssä tutkimuskohteessa useiden vuosien ajan. Henkilöillä on esiintynyt pitkäaikaisina terveyshaittoina mm. astmatyyppejä oireita, silmäoireita, väsymystä, äänen häviämistä ja päänsärkyä. Terveyshaittojen vuoksi tutkittavat olivat käyttäneet runsaasti lääkkeitä ja olleet toistuvilla sairaalomilla. Terveyshaittojen vuoksi rakennuksessa tehtiin sisäilmastoon ja rakenteisiin kohdistuvia tutkimuksia mahdollisten rakennuksesta aiheutuvien terveyshaittojen selvittämiseksi. Lattiarakenteiden pinnoitteena oli käytetty muovimattoa. Lattioiden kosteusilannetta kartoitettiin, missä yhteydessä todettiin lattiaraketeissa kohonnut kosteuspuiteisuus. Lattiapinnoitteeseen tehtiin viilto, minkä päälle asetetun lasikuvun sisältä otettiin VOC-näyte. Huoneilmasta hengitysvyöhykkeeltä otettiin myös VOC-näyte. Tutkittaville henkilöille laskettiin painoindeksi, ja henkilöt puhalsivat BioVOC-näytteen.

Taulukko 1. Henkilöiden tiedot.

	Henkilö 1	Henkilö 2
<b>Pituus cm</b>	164	157
<b>Paino kg</b>	65	51
<b>Painoindeksi</b>	24	29

Taulukko 2. BioVOC-anlyysitulokset.

	Henkilö 1	Henkilö 2
<b>TVOC</b>	19864	462,4
<b>2-etyyliheksanoli</b>	3,7	10,8
<b>1-butanoli</b>	-	-

Taulukko 3. VOC-analyysitulokset (monitoimitila)

	Lattia	Huoneilma
<b>TVOC</b>	1496	35,67
<b>2-etyyliheksanoli</b>	191,5	2,0
<b>1-butanoli</b>	178,2	0,7

Henkilöt siirtyivät tilapäisesti muualle töihin, jolloin terveyshaitat alkoivat nopeasti vähetä ja lopuksi päättyivät kokonaan. Myöhemmin lattiarakenteet korjattiin erillisen ohjeen mukaisella tavalla. Korjausten jälkeen henkilöt siirtyivät takaisin alkuperäiseen työpaikkaansa. Korjausten jälkeen terveyshaittoja ei ole esiintynyt.

## Tutkimuskohde 2.

Tutkimuskohde kaksi on toimistotyyppinen kohde. Henkilökunnalla esiintyi terveyshaittoja, jotka viittasivat rakenteissa mahdollisesti oleviin vaurioihin. Terveydelliset oireet olivat vastaavanlaisia, kun kohteen yksi henkilöillä. Lisäksi esiintyi hengenahdistusta ja ihottumaa. Oireet olivat kuitenkin niin vakavia, että toisen tutkittavan kohdalla johtivat ammattitautiepäilyyn ja tutkimuksiin.

Kohteen tilat oli uusittu n. vuosi aikaisemmin. Peruskorjauksessa kaikki pinnat oli uusittu. Nyt tehdyssä tutkimuksessa lattioiden pintarakenteissa todettiin lievästi kohonnut kosteuspitoisuus. Lattiapinnoitteeseen tehtiin viilto, minkä päälle asetetun lasikuvun sisältä otettiin VOC-näyte. Huoneilmasta hengitysvyöhykkeeltä otettiin myös VOC-näyte. Tutkittaville henkilöille laskettiin painoindeksi, ja henkilöt puhalsivat BioVOC-näytteen.

Taulukko 1. Henkilöiden tiedot.

	<b>Henkilö 1</b>	<b>Henkilö 2</b>
<b>Pituus cm</b>	158	166
<b>Paino kg</b>	43	94
<b>Painoindeksi</b>	17	34

Taulukko 2. BioVOC-anlyysitulokset.

	<b>Henkilö 1</b>	<b>Henkilö 2</b>
<b>TVOC</b>	841,4	728,3
<b>2-etyyliheksanoli</b>	22,4	21,7
<b>1-butanoli</b>	-	-

Taulukko 3. VOC-analyysitulokset (toimistohuone 106)

	<b>Lattia</b>	<b>Huoneilma</b>
<b>TVOC</b>	4915,4	62,2
<b>2-etyyliheksanoli</b>	1055,6	3,2
<b>1-butanoli</b>	326,2	0,6

Tiloissa tehtiin lattiarakenteisiin kohdistuvat korjaustoimet erillisen ohjeen mukaisella tavalla. Kaksi kuukautta korjausten jälkeen tutkittavat henkilöt kävivät antamassa ulospuhallusilmasta seurantanäytteet.

Taulukko 4. BioVOC-seurantanäytteet.

	<b>Henkilö 1</b>	<b>Henkilö 2</b>
<b>TVOC</b>	334,3	326,5
<b>2-etyyliheksanoli</b>	8,5	-
<b>1-butanoli</b>	-	-

Tutkittavat kertoivat, että terveydentila on parantunut merkittävästi ja oireet on poistunut lähes kokonaan. Toisella tutkittavista oli jatkuva astmalääkitys, josta on voinut luopua kokonaan. Tavatessamme kuukautta myöhemmin, olivat kaikki oireet kadonneet ja kertomansa muka kokivat itsensä virkeiksi ja hyvinvoiviksi.

Taulukko 5. Seurantamittaus lattiarakenteesta n. kaksi kuukautta korjausten jälkeen.

	<b>Lattia</b>
<b>TVOC</b>	121,61
<b>2-etyyliheksanoli</b>	2,4
<b>1-butanoli</b>	-

### Tutkimuskohde 3.

Kohde on toimistotyyppinen kohde, jossa useat henkilöt ovat kokeneet terveydellisiä oireita, jotka viittaavat rakenteissa mahdollisesti oleviin vaurioihin. Kyseessä on työpaikka, jolla on runsaasti erilaisia mm. toimistotiloja. Kun nyt tutkittavassa tilassa joku alkoi oireilla, siirrettiin henkilö muihin tiloihin. Ihmisiä tavallaan kierrätettiin koettujen terveyshaittojen perusteella.

Lattiarakenteiden kosteuskartoituksessa todettiin lattiassa kohonnut kosteuspitoisuus koko alueella. Lattiapinnoitteeseen tehtiin viilto, minkä päälle asetetun lasikuvun sisältä otettiin VOC-näyte. Huoneilmasta hengitysvyöhykkeeltä otettiin myös VOC-näyte. Tutkittaville henkilöille laskettiin painoindeksi, ja henkilöt puhalsivat BioVOC-näytteen.

Taulukko 1. Henkilöiden tiedot.

	<b>Henkilö 1</b>	<b>Henkilö 2</b>
<b>Pituus cm</b>	170	154
<b>Paino kg</b>	90	56
<b>Painoindeksi</b>	31	24

Taulukko 2. BioVOC-anlyysitulokset.

	<b>Henkilö 1</b>	<b>Henkilö 2</b>
<b>TVOC</b>	628,9	2164,8
<b>2-etyyliheksanoli</b>	-	14,7
<b>1-butanoli</b>	-	-

Taulukko 3. VOC-analyysitulokset (toimistohuone 106)

	<b>Lattia</b>	<b>Huoneilma</b>
<b>TVOC</b>	191,5	39,8
<b>2-etyyliheksanoli</b>	98,9	1
<b>1-butanoli</b>	2,8	-

Huoneilma vaihtuvuutta tehostettiin. Toimenpiteellä pyrittiin alentamaan huonetiloissa koettavia terveyshaittoja. Ilmanvaihdon tehostamisella ei saavutettu toivottua tulosta. Ilmanvaihdon tehostaminen lisäsi koettuja haittoja siten, että nyt tiloissa tunnettiin myös vedontunnetta. Henkilökunta tiloista siirrettiin toisiin tiloihin pysyvästi. Tilojen käyttötarkoitusta on muutettu siten, että tiloista on tehty varastotilaa. Kertomansa mukaan tutkittavien terveyden tila parani sen jälkeen, kun siirtyivät toisiin toimitiloihin.

#### Tutkimuskohde 4.

Tutkittava kohde on toimisto ja tuotantotila, jossa tuotannon kannalta on puhtaus erityisen tärkeää. Henkilökunnalla on esiintynyt terveyshaittoina mm. iho-oireita, päänsärkyä, silmien sidekalvotulehduksia, silmien kutinaa ja voimakasta väsymystä.

Kohteen lattiarakenteita tutkittaessa todettiin, että lattiapinnoitteena käytetty muovimatto oli revennyt useista kohdista. Vanhan lattiapinnoitteen päälle oli valettu korokeosa. Korokeosa oli pinnoitettu muovimatolla. Vahalla osalla lattioissa ei todettu normaalista poikkeavaa. Korokeosalla pinnoitteen ala oleva liimakerros oli maitomaisena. Lattiapinnoitteeseen tehtiin viilto, minkä päälle asetetun lasikuvun sisältä otettiin VOC-näyte. Huoneilmasta hengitysvyöhykkeeltä otettiin myös VOC-näyte. Tutkittaville henkilöille laskettiin painoindeksi, ja henkilöt puhalsivat BioVOC-näytteen. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt ovat urheilijoita, jotka harrastavat lajeja joissa joutuu hikoilemaan voimakkaasti.

Taulukko 1. Henkilöiden tiedot.

	<b>Henkilö 1</b>	<b>Henkilö 2</b>
<b>Pituus cm</b>	177	189
<b>Paino kg</b>	77	95
<b>Painoindeksi</b>	24	26

Taulukko 2. VOC-analyysitulokset (koroke näyte 2)

	<b>Lattia</b>	<b>Huoneilma</b>
<b>TVOC</b>	4787,9	514,41
<b>2-etyyliheksanoli</b>	428,8	2,9
<b>1-butanoli</b>	205,6	-

Taulukko 3. BioVOC-anlyysitulokset.

	<b>Henkilö 1</b>	<b>Henkilö 2</b>
<b>TVOC</b>	1846,3	2669,6
<b>2-etyyliheksanoli</b>	38,3	6,2
<b>1-butanoli</b>	-	-

Tutkimuksen jälkeen toisen toimijan taholta oli annettu riittäväksi korjaustoimeksi lattiapinnoitteiden repeämien hitsaaminen ja ilmanvaihdon tehostaminen. Korjaavat toimet oli toteutettu parin viikon kuluessa.

Henkilön yksi osalta jatkettiin seurantatutkimuksilla. Henkilö oli poissa työpaikalta urheiluleirillä kaksi viikko. Ennen töihin paluuta kävi puhaltamassa seurantanäytteen yksi (1).

Taulukko 4. BioVOC-anlyysitulokset seuranta yksi (1).

	<b>Henkilö 1</b>
<b>TVOC</b>	593,3
<b>2-etyyliheksanoli</b>	9,2
<b>1-butanoli</b>	13,9

Töihin paluun jälkeen n. kahden kuukauden kuluttua henkilö jäi töistä pois kuuden viikon ajaksi. Ennen töihin paluuta kävi puhaltamassa seurantanäytteen kaksi (2).

Taulukko 5. BioVOC-anlyysitulokset seuranta kaksi (2).

	<b>Henkilö 1</b>
<b>TVOC</b>	957,1
<b>2-etyyliheksanoli</b>	-
<b>1-butanoli</b>	-

Henkilö palasi töihin ja n. kolmen viikon kuluttua töihin paluusta kävi puhaltamassa seurantanäytteen kolme (3).

Taulukko 6. BioVOC-anlyysitulokset seuranta kolme (3).

	<b>Henkilö 1</b>
<b>TVOC</b>	1031,3
<b>2-etyyliheksanoli</b>	18,6
<b>1-butanoli</b>	-

Kertomansa mukaan poissaolojaksojen jälkeen olo on ollut pirteämpi, eikä merkittäviä terveyshaittoja ole esiintynyt. Kuuden viikon poissaolon jälkeen terveyshaitat olivat poistuneet kokonaan. Töihin palattua terveyshaitat olivat nopeasti palautuneet.

## **JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tutkimuksessa selvitettiin työpaikoilla muovipinnoitteiden ja liimojen hajoamistuotteille altistuvien uloshengityksen loppuosan VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet sekä 2-etyyliheksanolin ja 1-butanolin pitoisuuksia. Tutkimus osoittaa, että brittiläisen laboratorion liuotinainealtistuksen biomonitorointiin kehittämä BioVOC-analyysi menetelmä soveltuu erinomaisesti rakennusmateriaaleista emittoituvien ja tilojen käyttäjien altistumisen mittaamiseen näille yhdisteille. Näytteenottomenetelmää on helppo käyttää työympäristön tutkimisen yhteydessä, eikä menetelmä vaadi terveydenhuollon koulutettua henkilöä näytteenottajaksi.

Tutkimus osoittaa myös, ettei huoneilmasta suoritettu mittaus ole riittävä arvioitaessa altistumista. Tämän vuoksi sisäilmastolle ei voida laatia yksiselitteisiä raja-arvoja, koska ne voivat johtaa virheellisiin johtopäätöksiin. Ilmanvaihdon tehostaminen pienentää huoneilmasta

saatua mittaustulosta, mutta sillä ei ole merkittävää vaikutusta tilojen käyttäjien altistumiseen. Käyttäjät jäävät päästölähteen ja ilmanvaihdon väliin ja toimivat tavallaan sieppaajina vapautuville yhdisteille.

## **MUUTA**

Tämän tutkimuksen pohjalta on toteutettu useita erityismenetelmin tapahtuvia korjauksia, joissa kaikissa terveyshaitat ovat poistuneet.

Maanvaraisissa lattiarakenteissa ei ole suositeltavaa suorittaa korjauksia siten, että lattiarakenteita lämmitetään rakenteisiin emittoituneiden yhdisteiden poistamiseksi. Aikaisempien lattiarakenteiden lämmöneristekerrokset ovat heikkoja, tai puuttuvat kokonaan. Tämän seurauksena lattiaa lämmitettäessä myös alustäyttö lämpenee ja alapuolisen rakenteen vesihöyryn osapaine kasvaa ja kosteusvirta ylöspäin kiihtyy. Maanvaraisten lattioiden korjaamiseen on olemassa tehokkaampia ja kustannustehokkaampia menetelmiä. Menetelmä valitaan aina tapauskohtaisesti.