

## ILMANVAIHTOTUOTTEIDEN KUITUPÄÄSTÖT

Keijo Kovanen<sup>1)</sup>, Hanna Tuovila<sup>2)</sup>, Riitta Harju<sup>3)</sup>, Riitta Riala<sup>3)</sup> ja Antti Tossavainen<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo

<sup>2)</sup> Työterveyslaitos, Helsinki

<sup>3)</sup> Uudenmaan aluetyöterveyslaitos, Helsinki

### TIIVISTELMÄ

Teolliset mineraalikuidut voivat aiheuttaa ärsytystä ylemmissä hengitysteissä, silmissä ja iholla. Ilmanvaihtotuotteet voivat osaltaan aiheuttaa kuituemissiota sisäilmaan. Tekesin ja teollisuuden rahoittamassa hankkeessa tutkitaan ilmanvaihtotuotteiden hiukkaspäästöjä sekä kehitetään tuotteiden suunnittelua ja materiaaleja sisäilman laadun parantamiseksi. Laboratoriokokeissa on mitattu äänenvaimentimien kuitupäästöjä Sisäilmastoluokitus 2000 mukaisesti. Toimistorakennuksissa ja kouluissa on mitattu tuloilman kuitupitoisuutta suodatinkangasmenetelmällä ja laskeutuneesta pölystä on kerätty kuitunäytteitä. Kenttämittauksissa teollisten mineraalikuitujen (pituus yli 20 µm) pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä <1 - 85 kuitua/m<sup>3</sup> ja kuitutiheydet pintapölynäytteissä <0,1 - 6,0 kuitua/cm<sup>2</sup>. Äänenvaimennusmateriaalit ovat olleet yksi syy kohonneisiin kuitupäästöihin.

### YLEISTÄ

Tekesin FINE-tutkimusohjelman puitteissa on vuonna 2003 aloitettu projekti "Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt: terveystaitat, mittaaminen ja tuotekehitys (ILMI)". Projektin tutkimusosapuolina ovat VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka ja Työterveyslaitos. Lisäksi mukana on kaksi mineraalivillavalmistajaa, kaksi ilmanvaihtotuotteiden valmistajaa sekä rakennusten käyttäjiä.

Projektin tavoitteena on kehittää ilmanvaihtotuotteiden teknisiä ominaisuuksia, rakennetta ja materiaaleja sisäilman puhtauden parantamiseksi toimistotyypisissä rakennuksissa. Osatavoitteita ovat mineraalikuitupäästöjen ja altistumisen arviointi, mittaus- ja analysointimenetelmien ja ohjeistojen kehittäminen sekä suunnittelu-, tarkastus- ja huolto-ohjeiden laatiminen.

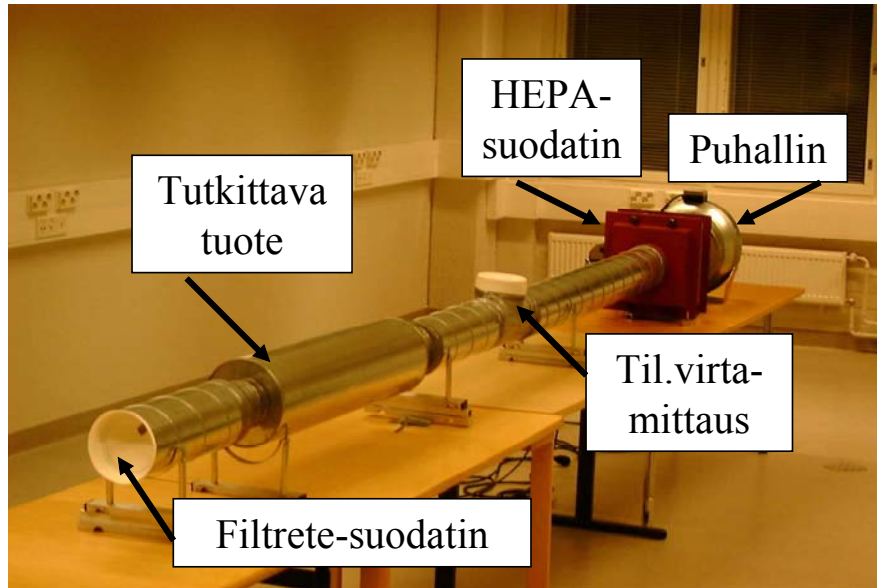
Laboratoriomittaukset tehdään VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan laboratoriossa ja kuituanalyysoinnit TTL:n aerosolilaboratoriossa. Kenttämittauksiin osallistuvat TTL, UATTL ja VTT. Projekti päättyy vuoden 2005 lopussa.

### LABORATORIOMITTAUKSET

#### Mittausmenetelmät

VTT:n laboratoriokokeissa on tutkittu projektiin osallistuvien yritysten Ø160 mm kanavaäänenvaimentimista lähteviä kuitupäästöjä eri menetelmillä. Irtoavien kuitujen määrää on

mitattu Sisäilmastoluokitus 2000 mukaisesti ilmamäärän ollessa 80 dm<sup>3</sup>/s (ilmavirran nopeus noin 4 m/s) /1/. Kuvassa 1 on esitetty koelaitteisto.



Kuva 1. Mineraalikulitujen emissiotestauslaitteisto.

Testattavista äänenvaimentimista irtoavien mineraalivillakuitujen sieppaamiseen käytettiin sähköisesti varattua polypropyleenikangasta (3M FILTRETE GS-100/Terveysilma Oy), joka teipattiin tiiviisti testauskanavan lähtöaukkoon. Suodatin keräsi tuloilmavirrasta näytteitä 0,5 h alkuhuuhdelun ajan, jolla varmistettiin, etteivät tuotteen valmistuksen, kuljetuksen tai varastoinnin aikana mahdollisesti kertyneet mineraalikulit vaikuta testituloksiin. Varsinaiset testit kestivät 1 h ja 24 h. Kunkin testin jälkeen suodatin vaihdettiin.

Lisäksi mitattiin noin 100 Pa paineiskujen vaikutusta kuitujen irtoamiseen. Tällöin kanavassa ollutta säätöpeltiä käännettiin auki- ja kiinniasentoon 5 sekunnin välein 5 minuutin ajan. Yli 20 µm:n pituisten mineraalikulitujen pitoisuus määritettiin valomikroskoopilla.

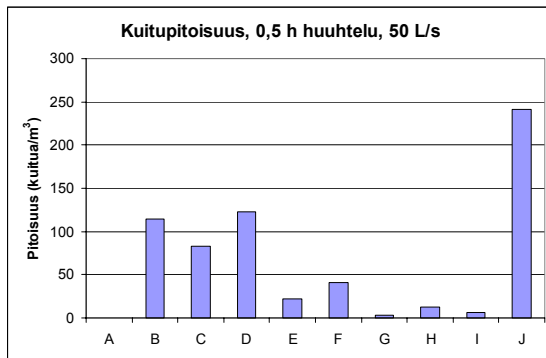
Taulukkoon 1 on koottu tähän mennessä tehtyjen mittausten taustatiedot.

Taulukko 1. Äänenvaimentimille tehtyt laboratoriotestit.

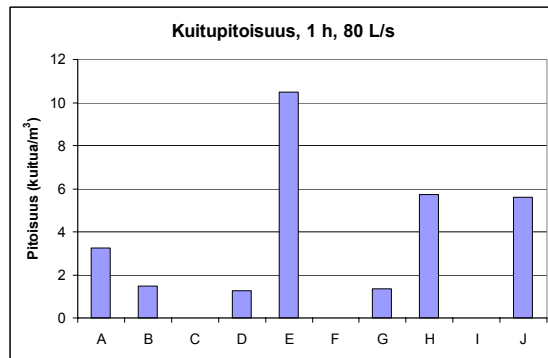
Äänenvaimennin	Ominaisuudet	0,5 h huuhtelu	1 h testi	24 h testi	Paineiskutesti
A, tuote 1	Pyöreä, pituus 30 cm		x	x	x
B, tuote 1	Pyöreä, pituus 60 cm	x	x	x	
C, tuote 1	Pyöreä, pituus 120 cm	x			x
D, tuote 2	Pyöreä, pituus 30 cm	x	x	x	
E, tuote 2	Pyöreä, pituus 60 cm	x	x	x	
F, tuote 2	Pyöreä, pituus 100 cm	x			x
G, tuote 3	Pyöreä, pituus 30 cm	x	x	x	
H, tuote 3	Pyöreä, pituus 120 cm	x	x	x	
I, tuote 4	Pyöreä, pituus 100 cm	x			x
J, tuote 5	Kantikas, pituus 100 cm	x	x	x	

## Mittaustulokset

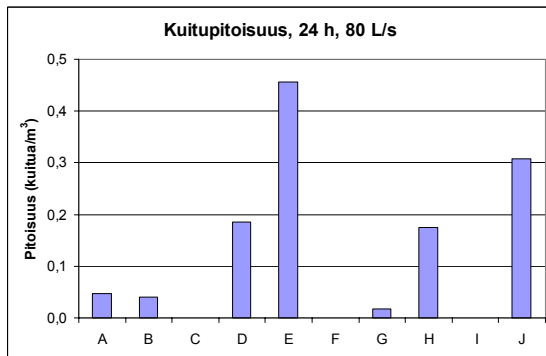
Kuvissa 2 - 5 on esitetty mittaustulokset.



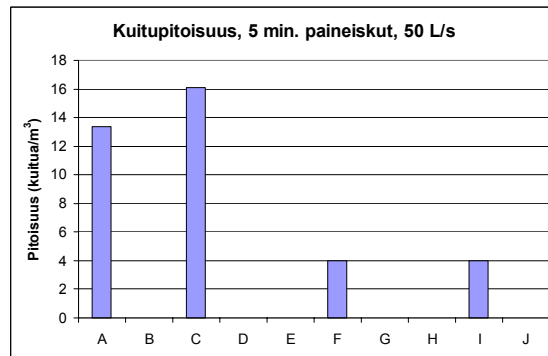
Kuva 2. Kuitupitoisuus alkuhuuhTELUissa.



Kuva 3. Kuitupitoisuus 1 h kokeissa.



Kuva 4. Kuitupitoisuus 24 h kokeissa.



Kuva 5. Kuitupitoisuus painekokeissa.

Kuvien 2 ja 4 mukaan kuitupitoisuus alkuhuuhTELUN aikana oli noin tuhatkertainen verrattuna 24 h testiin. Äänenvaimennin A oli ainoa, jolle tehtiin paineiskutesti 24 h testin jälkeen. Kuvan 5 mukaan kuitupitoisuus nousi huomattavasti paineiskujen seurauksena, mutta ei kuitenkaan alkuhuuhTELUN tasolle. Kuvista havaitaan lisäksi, että eri äänenvaimentimien kuituemi-ot olivat hyvin erisuuruisia. Kuvan 4 ja taulukon 1 tietojen mukaan vaimentimen pituudella eli vaimennuspinta-alalla oli selvä vaikutus irtoavien kuitujen määrään.

Kuvassa 4 esitettyjä 24 tunnin keskimääräisiä kuitupitoisuuksia vastaavat kuitupäästöt vaihtelivat välillä 5 – 132 kuitua/h.

## KENTTÄMITTAUKSET

### Mittausten menetelmät

Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöjen leviämistä sisäilmaan on kartoitettu seitsemässä toimistotyyppisessä rakennuksessa, joissa on todettu tai valitettu sisäilman epäpuhtauksiin liittyviä oireita. Näytteitä otettiin tuloilmasta, sisäilmasta ja huonepinnoilta. Seuranta-jakson pituus oli keskimäärin viikko. Suurin osa kohteista valittiin yhteistyössä Helsingin kaupungin kanssa.

Teollisten mineraalikuitujen pitoisuutta tuloilmassa mitattiin ottamalla näyte polypropyleenikankaalle (3M FILTRETTE GS-100/Terveysilma Oy), joka kiinnitettiin tuloilmaeliimeen teipillä. Tuloilmavirta mitattiin suodatinkankaan asentamisen jälkeen. Mittausaika oli kahdesta neljään vuorokautta.

Laboratorioanalyysissä pala suodatinkangasta liuotettiin kiehuvaan ksyleeniin ja suodatettiin hopeasuodattimelle. Suodatin kuivattiin, pestiin tislattulla vedellä ja etyylialkoholilla ja pesuliuos suodatettiin selluloosaesterisuodattimelle. Suodatin kuivattiin ja puolet siitä tehtiin läpinäkyväksi asetonihöyryllä. Teolliset mineraalikuidut (pituus yli 20 µm) laskettiin faasikontrastioptiikalla varustetulla polarisaatiomikroskoopilla (suurennes 100X). Mitatun ilmamäärän ja suodattimen pinta-alan avulla laskettiin teollisten mineraalikuitujen pitoisuus tuloilmassa.

Huonepinnoille laskeutuneesta pölystä kerättiin teippinäytteitä erikoisteipillä (BM-Dustlifters®, näyteala 14 cm<sup>2</sup>). Näytteitä otettiin työtasoilta, ylä- ja alatasoilta sekä tuloilmaelimestä. Teolliset mineraalikuidut (pituus yli 20 µm) laskettiin stereomikroskoopilla (suurennes 80-100X). Suoraan osoittavilla hiukkasmittareilla seurattiin pienhiukkasten esiintymistä tuloilmassa ja huonetiloissa.

Lisäksi kanavistosta ja huonetilasta kerätyistä näytteistä selvitettiin pölyn laatu ja alkuperä elektronimikroskopian ja alkuaineanalyysien avulla. Kohteissa tarkastettiin myös ilmanvaihtolaitteiden rakenne, toiminta, materiaalit sekä puhtaus suunnittelu- ja käyttövirheiden toteamiseksi.

Projektissa on tutkittu myös mineraalikuitujen ja muiden hiukkasmaisten epäpuhtauksien osuutta hengitystie-, silmä- ja ihoärsytyksen aiheuttajana. Joukolta tutkimuskohteiden työntekijöitä kerättiin nenähuuhtelunäytteitä, joista laskettiin teollisten mineraalikuitujen pitoisuus mikroskooppisesti. Näytteenoton yhteydessä tehtiin myös suppea oirekysely ja limakalvojen tarkastus. Näitä mittauksia ei käsitellä tarkemmin tässä yhteydessä.

## Mittaustulokset

Taulukossa 2 on esitetty teollisten mineraalikuitujen pitoisuudet tuloilmanäytteissä.

*Taulukko 2. Teollisten mineraalikuitujen (pituus yli 20 µm) pitoisuudet tuloilmanäytteissä.*

	Näytteiden lukumäärä (kpl)	Kuitupitoisuus (kuitua/m <sup>3</sup> )
Koulu A	9	<1,0 - 1,8
Toimisto A	3	<1,0
Toimisto B	5	<1,0
Toimisto C	16	<1,0 - 85,0
Toimisto D	2	<1,0
Toimisto E	2	<1,0

Pitoisuudet olivat matalia lukuun ottamatta toimistoa C, jossa tuloilman kuitupitoisuus oli selvästi korkeampi. Taulukossa 2 esitettyjä pitoisuuksia vastaavat kuitupäästöt vaihtelivat välillä 2 – 123 kuitua/h.

Taulukossa 3 on esitetty teollisten mineraalikuitujen pintatiheydet ja laskeumanopeudet teippinäytteenotolla kerätyissä pintapölynäytteissä. Määrittäysraja on 0,1 kuitua/cm<sup>2</sup>.

Taulukko 3. Teollisten mineraalikuitujen (pituus yli 20 µm) pintatiheydet ja laskeumanopeudet pintapölynäytteissä.

	Näytteen-Ottopaikka	Näytteiden lukumäärä (kpl)	Pintatiheys (kuitua/cm <sup>2</sup> )	Näytteiden lukumäärä (kpl)	Laskeumanopeus (kuitua/cm <sup>2</sup> /vrk)
Koulu A	Tuloilmaelin	5	3,1 - 5,4		
	Huonepinnat	7	0,3 - 1,8		
Toimisto A	Tuloilmaelin	2	1,9 - 2,6		
	Huonepinnat	5	<0,1 - 2,8	2	<0,1
Toimisto B	Tuloilmaelin			4	<0,1 - 0,2
	Huonepinnat	7	<0,1 - 2,7	4	<0,1
Toimisto C	Tuloilmaelin			3	0,1 - 1,7
	Huonepinnat	3	0,1 - 2,1	7	<0,1 - 0,2
Toimisto D	Tuloilmaelin	2	1,5 - 5,5		
	Huonepinnat	4	0,1 - 0,6	4	<0,1
Toimisto E	Tuloilmaelin	1	24,2	1	1,7
	Huonepinnat	6	<0,1 - 6,1	3	<0,1

Useiden kohteiden huonepinnoilla mineraalikuitujen pintatiheys ylitti arvon 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>. Pintatiheys oli oletetusti suurempi ilmanvaihtokanavan suulta otetuissa näytteissä kuin huonepinnoilla. Laskeumanäytteissä näytteenottoaika oli 1 - 14 vuorokautta.

Kuvassa 6 on esitetty ilmanvaihtokanavapölyä, joka voi koostua mm. teollisista mineraalikuuduista, siitepölystä, paperikuuduista ja hiekkapölystä. Kuvassa 7 on pinnalle laskeutunutta pölyä, joka voi sisältää mm. tekstiilikuituja ja teollisia mineraalikuituja.



Kuva 6. Pölyä ilmanvaihtokanavassa.



Kuva 7. Laskeutunutta pölyä huonepinnalla.

## YHTEENVETO

Tekesin FINE-tutkimusohjelma ILMI-projektissa on tutkittu ilmanvaihtotuotteiden mineraalikulitupäästöjä sekä laboratoriossa että kenttämittauksin.

Tähän mennessä laboratoriossa tutkittujen äänenvaimentajien kuitupäästöt ovat vaihdelleet 24 tunnin mittauksissa välillä 5 – 132 kuitua/h. Vastaavat kuitupitoisuudet ovat olleet välillä 0,02 – 0,46 kuitua/m<sup>3</sup>. Tällöin tarkastelussa ovat olleet mukana vain kuidut, joiden pituus on ollut yli 20 µm. Tämän vuoksi mitattuja pitoisuusarvoja ei voida verrata Sisäilmastoluokituksessa 2000 mainittuun raja-arvoon 10000 kuitua/m<sup>3</sup>, koska se sisältää kaikki kuidut.

Kenttämittauksin saadut kuitupitoisuudet (kuitujen pituus yli 20 µm) tuloilmassa ovat olleet pääosin alle 1 kuitua/m<sup>3</sup>. Vastaavat kuitupäästöt ovat vaihdelleet välillä 2 – 123 kuitua/h. Pintapölynäytteissä kuitujen pintatiheydet ovat vaihdelleet välillä <0,1 - 6,0 kuitua/cm<sup>2</sup>.

Ilmanvaihtotuotteiden äänenvaimennusmateriaalit olivat yksi syy kohonneisiin kuitupäästöihin tutkituissa rakennuksissa. Työntekijät kärsivät hengitystie- ja iho-oireista kohteessa, jossa mitattiin korkeimmat tuloilman kuitupitoisuudet. Useissa tiloissa ylitettiin säännöllisesti siivotuille pinnoille annettu pintatiheyden ohjearvo 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup> /2/. Alaslaskettujen kattojen äänenvaimennuslevyt lisäsivät osaltaan huonepintojen pölyn kuitutiheyttä joissain rakennuksissa.

## LÄHDELUETTELO

1. Sisäilmastoluokitus 2000 (2001). Sisäilmastoyhdistys, julkaisu 5.
2. Schneider T. (2000) Chapter 39. Synthetic vitreous fibres. In: Indoor Air Quality Handbook. Eds: Spengler JD, Samet JM, McCarthy JF. McGraw-Hill, New York