

Keijo Kovanen, Ismo Heimonen, Jarmo Laamanen,
Riitta Riala, Riitta Harju, Hanna Tuovila, Reima
Kämppi, Jaakko Säntti, Timo Tuomi, Suvi-Päivikki
Salo,
Risto Voutilainen & Antti Tossavainen

Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt

| Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus

Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt

Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus

Keijo Kovanen, Ismo Heimonen & Jarmo Laamanen

VTT

Riitta Riala, Riitta Harju, Hanna Tuovila, Reima Kämppi, Jaakko Säntti,
Timo Tuomi, Suvi-Päivikki Salo, Risto Voutilainen & Antti Tossavainen

Työterveyslaitos

ISBN 951-38-6828-1 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6829-X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Betonimiehenkuja 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7027

VTT, Betongblandargränden 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7027

VTT Technical Research Centre of Finland, Betonimiehenkuja 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7027

Toimitus Maini Manninen
Viimeistely Auli Rautakivi

Edita Prima, Helsinki 2006

Kovanen, Keijo, Heimonen, Ismo, Laamanen, Jarmo, Riala, Riitta, Harju, Riitta, Tuovila, Hanna, Kämppi, Reima, Sántti, Jaakko, Tuomi, Timo, Salo, Suvi-Päivikki, Voutilainen, Risto & Tossavainen, Antti. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt. Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus [Particle emissions from HVAC-components. Exposure, measurement and product testing]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2360. 57 s. + liitt. 6 s.

Avainsanat HVAC ventilation, thermal insulators, mineral wool, fibers, particles, ventilation, particle emissions, exposure, measurement, testing

Tiivistelmä

Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt aiheuttavat ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytysoireita varsin yleisesti. Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) ja teollisuuden rahoittamassa ILMI-tutkimushankkeessa tutkittiin vuosina 2003–2005 ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöjä sekä kehitettiin uusia mittaus- ja analysointimenetelmiä ja ohjearvoja. Mittauksia tehtiin sekä laboratorioissa että kenttäkohteissa. Projektin tutkimusosapuolina olivat VTT ja Työterveyslaitos. Lisäksi mukana oli kaksi mineraalivillavalmistajaa, kaksi ilmanvaihtotuotteiden valmistajaa sekä ison kiinteistökannan omistaja.

Laboratoriossa tutkittiin projektiin osallistuvien yritysten äänenvaimentajista lähteviä kuitupäästöjä eri menetelmillä (mm. ilmavirran, täristyksen ja harjauksen vaikutus kuitujen irtoamiseen). Irtoavien kuitujen määrää mitattiin Sisäilmastoluokitus 2000:n mukaisesti. Tulosten mukaan kuitupitoisuus ilmavirrassa vaihteli tuotteesta ja menetelmästä riippuen välillä 0,01–3 000 kuitua/m³. Hankkeen tuloksien perusteella ehdotetaan kanavaäänenvaimentimille uusiksi luokitusrajoiksi:

- 0,1 kuitua/m³ 24 h ilmavirtatestissä
- 10 kuitua/m³ täristystestissä
- 0,1 kuitua/m³ 24 h harjauksen jälkeen -testissä.

Hankkeen kenttävaiheessa tutkittiin ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöjä ja henkilöiden altistumista hiukkaspäästöille 10 toimistorakennuksessa sekä kehitettiin uusia mittaus- ja analysointimenetelmiä. Huonepinnoilla kuitutiheydet olivat välillä < 0,1–14,9 kuitua/cm² ja 2 viikon kertymänä välillä < 0,1–2,6 kuitua/cm². Sisäilman kuitupitoisuudet olivat alle 0,01 kuitua/cm³.

Tuloilman kuitupitoisuudelle suositetaan ohjearvoksi 1 kuitu/m³ tutkimuksessa kehitetyllä näytteenotto- ja analysointimenetelmällä määritettynä. Tilojen pölyisyyden arviointiin soveltuva mittaus on kuitutiheys kahden viikon pölylaskeumassa, jolle ohjearvoksi suositetaan huonepinnoille 0,2 kuitua/cm².

Kovanen, Keijo, Heimonen, Ismo, Laamanen, Jarmo, Riala, Riitta, Harju, Riitta, Tuovila, Hanna, Kämppi, Reima, Sántti, Jaakko, Tuomi, Timo, Salo, Suvi-Päivikki, Voutilainen, Risto & Tossavainen, Antti. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt. Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus [Particle emissions from HVAC-components. Exposure, measurement and product testing]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2360. 57 p. + app. 6 p.

Keywords HVAC ventilation, thermal insulators, mineral wool, fibers, particles, ventilation, particle emissions, exposure, measurement, testing

Abstract

Particle emissions from HVAC-components frequently induce irritation in skin, eyes and upper respiratory tracts. In the ILMI-project in 2003–2005 funded by Tekes and industry, particle emissions from HVAC-components were studied and new measurement and analytical methods and limit values were developed. The study consisted of laboratory tests and field sampling. The project was conducted by VTT and Finnish Institute of Occupational Health. Also two mineral fibre producers, two HVAC-manufactures and a representative of end users were participating in the project.

Fibre emissions from the round silencers of the HVAC-companies that participated in the project were studied in the laboratory tests by different methods (air flow, vibration and brushing). The amount of fibres that emitted were measured in accordance with the Finnish Classification of Indoor Climate 2000. The fibre concentration in the duct air flow varied depending on the device and the method in the range of 0.01–3000 fibres/m³. On the basis of the results new limit values of round silencers are recommended to be:

- 0,1 fibres/m³ in the 24 h air flow test
- 10 fibres/m³ in the vibration test
- 0,1 fibres/m³ in the 24 h air flow test after the brushing.

In the field study particle emissions from HVAC-components and occupational exposure to particles were studied in 10 office buildings and new measurement and analytical methods were developed. The surface fibre dust density varied in the range of < 0.1–4.9 fibres/cm² and the accumulation during 2 weeks period in the range of < 0.1– 2.6 fibres/cm². Fibre concentrations in the indoor air were less than 0.01 fibres/cm³.

The limit value of the fibre concentration in the supply air is recommended to be 1 fibre/m³ with the measurement and analytical method developed in this project. The fibre accumulation during 2 weeks period is a suitable method to estimate surface fibre dust density in rooms. The limit value is recommended to be 0.2 fibres/cm².

Alkusanat

Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt aiheuttavat varsin yleisesti hengitysteiden, silmien ja ihon ärsytysoireita. Monissa tapauksissa päästölähde on ilmanvaihtolaite (kanaviston pinnoite, lämpö- tai äänieriste, suodatusmateriaali, kostutusvesi). Sisäilmastoluokituksen 2000 mukaan hyvälaatuisessa tuloilmassa ei saa olla laitteista ja kanavistosta peräisin olevia haitallisia aineita eikä viihtyvyyttä alentavaa hajua tai epäpuhtauksia. Materiaali- ja tuotevalinnat sekä ilmanvaihtolaitteiden puhdistus ovat tärkeimpiä toimenpiteitä, joiden avulla ongelmat voidaan ratkaista.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää ilmanvaihtolaitteiden teknisiä ominaisuuksia, rakennetta ja materiaaleja sisäilman puhtauden parantamiseksi toimistotyypisissä rakennuksissa. Osatavoitteita olivat hiukkaspäästöjen ja altistumisen arviointi ja mittaaminen, mittaus- ja analysointimenetelmien ja ohjeistojen kehittäminen sekä suunnittelu-, tarkastus- ja huolto-ohjeiden laatiminen. Hankkeessa tutkittiin 23 suomalaisen äänenvaimentimen kuitupäästöt ja 10 Etelä-Suomessa sijaitsevan rakennuksen kuitu- ja hiukkaspitoisuudet tuloilmassa, pinnoilla ja hengitysilmassa.

Rakennusten kartoitukseen liittyvään tutkimusosuuteen osallistuivat Työterveyslaitos (vuosina 2003–2005 Uudenmaan aluetyöterveyslaitos ja Työterveyslaitoksen aerosolilaboratorio) ja VTT (vuosina 2003–2005 VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka). Helsingin kaupungin Henkilöstökeskus osallistui kohteiden valintaan ja käytännön tutkimusjärjestelyihin.

Terveysvaikutuksiin kohdistuvan tutkimusosuuden toteutti Työterveyslaitoksen Työlääkietieteen osasto. Nenähuuhtelunäytteet analysoitiin Työterveyslaitoksen Aerosolilaboratoriossa.

Ilmanvaihtotuotteiden laboratoriokokeisiin liittyvän tutkimusosuuden teki VTT ja kokeiden analyysit Työterveyslaitos.

Tutkimusta rahoittivat Tekes, projektiin osallistuneet yritykset, VTT ja Työterveyslaitos.

Hankkeen johtoryhmässä toimivat puheenjohtajana henkilöstöpäällikkö Kirsti Karppinen Paroc Oy Ab:sta ja jäsenenä kehitysinsinööri Max Tollander Saint-Gobain Isover Oy:stä, työsuojelupäällikkö Tapani Luoma Helsingin kaupungilta, tuotekehitysinsinööri Erkki Salmio Fläkt Woods Oy:stä, toimitusjohtaja Tuomas Veijalainen IVK-Tuote Oy:stä, Pekka Järvinen Enprima Engineering Oy:stä (Tekes-FINE-ohjelman edustajana), dosentti Pertti Pasanen Kuopion yliopistosta, professori Heikki Savolainen sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosastolta, teknologiapäällikkö Jarmo J. Heinonen Teke-

sistä, erikoistutkija Ismo Heimonen VTT:stä ja tiimipäällikkö Antti Tossavainen Työterveyslaitoksesta.

Kiitämme johtoryhmää, tutkittujen rakennusten työpaikkoja ja niiden työntekijöitä rakentavasta yhteistyöstä ja innostuksesta hankkeen läpivientiin.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Symboliluettelo.....	9
1. Johdanto.....	11
2. Sisäilman hiukkaset.....	12
2.1 Teollisten mineraalikuitujen esiintyminen ja terveysvaikutukset.....	12
2.2 Ilmanvaihtolaitteet ja hiukkaset.....	13
3. Ilmanvaihtolaitteiden testaus.....	15
3.1 Tutkitut tuotteet ja materiaalit.....	15
3.2 Testauslaitteisto ja -menetelmät.....	16
3.3 Laboratoriotestien tulokset.....	20
4. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt rakennuksissa.....	26
4.1 Tutkitut rakennukset.....	26
4.2 Kohdekohtaiset tiedot.....	28
4.3 Mittausmenetelmät.....	31
4.3.1 Pintapölynäytteet.....	31
4.3.2 Ilmanäytteet.....	32
4.3.3 Tuloilman kuitupitoisuus.....	34
4.3.4 Materiaalinäytteet.....	37
4.4 Kenttämittausten tulokset.....	37
4.4.1 Pintapölynäytteet.....	37
4.4.2 Ilmanäytteet.....	42
4.4.3 Tuloilman kuitupitoisuus.....	48
5. Altistuminen.....	51
5.1 Altistumisen arviointi.....	51
5.2 Näytteenotto- ja analyysimenetelmät.....	51
5.3 Mineraalikuitujen pitoisuus nenähuuhtelunäytteissä.....	52

6. Johtopäätökset.....56

Lähdeluettelo57

Liitteet

Liite A: Massapitoisuudet kohteiden sisäilmassa

Liite B: Lukumääräpitoisuudet kohteiden sisä- ja tuloilmassa

Liite C: Kohteiden lämpöolosuhteet

Symboliluettelo

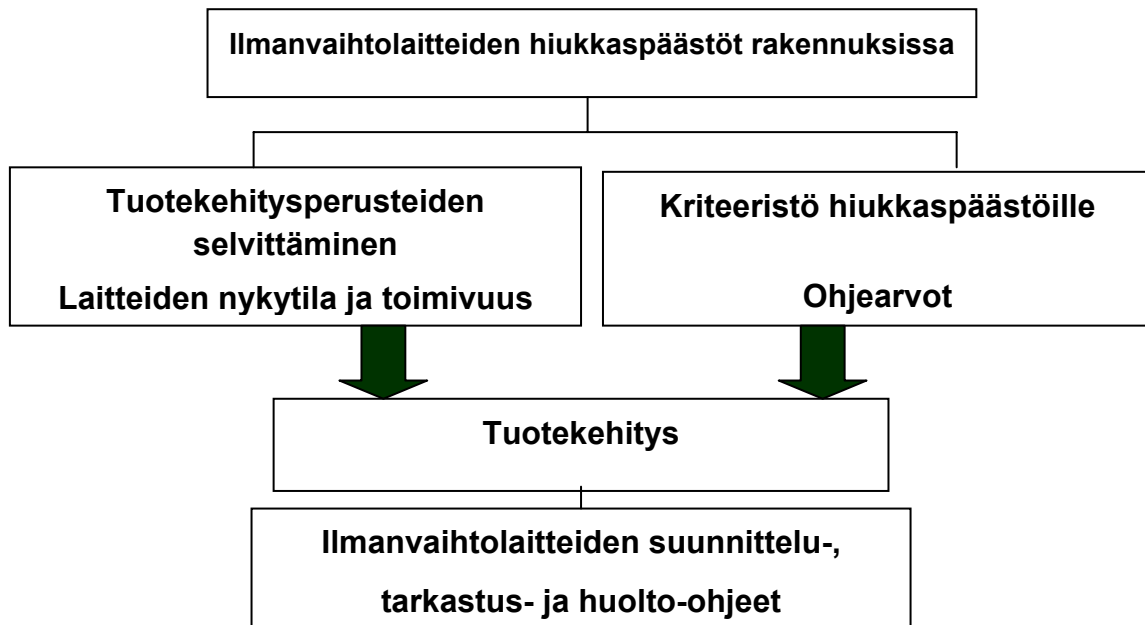
A	suodattimen poikkipinta-ala [cm ²]
C _A	kuitujen lukumäärä polypropyleenisuodattimen pinta-alayksikköä kohti [kuitua/cm ²]
C _V	kuitupitoisuus tuloilmassa [kuitua/m ³]
q _i	tuloilman tilavuusvirta ilmanvaihtokoneen teholla i, kun suodatin ei ole käytössä [dm ³ /s]
q _s	tuloilman tilavuusvirta, kun suodatin on käytössä [dm ³ /s]
q _{si}	tuloilman tilavuusvirta ilmanvaihtokoneen teholla i, kun suodatin on käytössä [dm ³ /s]
s(mit)	mitattu kuitupäästö yhden venttiilin kautta [kuitua/h]
s(tod)	todellinen kuitupäästö yhdestä venttiilistä [kuitua/h]
T	mittausaika [s]
T _i	mittausaika, kun tilavuusvirta on q _{si} [s].

1. Johdanto

Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt aiheuttavat varsin yleisesti hengitysteiden, silmien ja ihon ärsytysoireita. Työhygieenisen palvelutoiminnan ja ammattitautidiagnostiikan yhteydessä Työterveyslaitos tutkii vuosittain pöly- ja materiaalinäytteitä useista sadoista rakennuksista, joissa oireiden aiheuttajiksi epäillään tuloilman epäpuhtauksia (bio-aerosolit, tupakansavu, pakokaasut, rakennusaineet). Monissa tapauksissa päästölähde on ilmanvaihtolaitte (kanaviston pinnoite, lämpö- tai äänieriste, suodatusmateriaali, kostutusvesi).

Sisäilmastoluokitus 2000 määrittelee ilmanvaihtotuotteiden puhtausvaatimukset, joiden tavoitteena on varmistaa uuden ilmanvaihtojärjestelmän läpi virtaavan tuloilman hyvä laatu. Hyvälaatuisessa tuloilmassa ei saa olla laitteista ja kanavistosta peräisin olevia haitallisia aineita eikä viihtyvyyttä alentavaa hajua tai epäpuhtauksia. Materiaali- ja tuotevalinnat sekä ilmanvaihtolaitteiden puhdistus ovat tärkeimpiä toimenpiteitä, joiden avulla ongelmat voidaan ratkaista.

ILMI-projektin tavoitteena oli kehittää ilmanvaihtolaitteiden teknisiä ominaisuuksia, rakennetta ja materiaaleja sisäilman puhtauden parantamiseksi toimistotyypisissä rakennuksissa. Päähuomio kohdistuu mineraalikulitujen irtoamiseen tuloilmalaitteista. Osatavoitteita ovat hiukkaspäästöjen ja altistumisen arviointi, mittaus- ja analysointimenetelmien ja ohjearvojen kehittäminen sekä suunnittelu-, tarkastus- ja huolto-ohjeiden laatiminen, kuva 1.



Kuva 1. Hankkeen tavoitteet ja tulokset.

2. Sisäilman hiukkaset

Sisäilman hiukkaset ovat peräisin ulkolähteistä, joita ovat mm. liikenne, teollisuus, lämmön- ja voimantuotto ja luonto sekä sisälähteistä, joita ovat mm. tupakointi, rakennusmateriaalit, tekstiilit, siivous- ja hygieniatuotteet, lemmikkieläimet, ihmisen toiminta ja ihminen itse. Yli 10 μm :n läpimittaiset hiukkaset kiinnittyvät valtaosin ylempiin hengitysteihin eli nenään, nenäonteloihin ja nenänieluun. Halkaisijaltaan alle 10 μm :n kokoisia hiukkasia kutsutaan hengitettäväksi hiukkasiksi (PM_{10}). Ne pystyvät kulkeutumaan alempiin hengitysteihin eli henkitorveen ja keuhkoputkiin. Pienhiukkaset eli alle 2,5 μm :n kokoiset hiukkaset tunkeutuvat keuhkorakkuloihin asti. Alle 0,1 μm :n suuriset hiukkaset määritellään ultrapieniksi. Ne saattavat tunkeutua keuhkorakkuloista verenkiertoon.

Hiukkasten yhteydessä puhutaan usein pölystä. Pölyt ovat mekaanisesti muodostuneita hiukkasia, jotka ovat peräisin luonnon tai ihmisen aiheuttamista prosesseista. Materiaali luokitellaan pölyksi, jos hiukkaset ovat halkaisijaltaan alle 100 μm .

Kuidut ovat hiukkasia, joiden pituuden ja halkaisijan suhde on vähintään 3:1. Kuidut, joiden halkaisija on alle 3 μm ja pituus yli 5 μm , voivat päästä keuhkorakkuloihin asti. Epäorgaanisilla tekokuiduilla tarkoitetaan synteettisiä mineraaliperäisiä aineita, kuten kivivilla, lasivilla ja lasikuitu. Nimet viittaavat niiden valmistuksessa käytettyihin raaka-aineisiin. Tuotantomenetelmiä muuttamalla voidaan valmistaa joko pitkiä tasapaksuja kuituja, joista kudotaan lasikuitulankoja ja -kankaita, tai lyhyitä kuituja, joita käytetään lämmön- ja ääneneristemateriaaleissa.

2.1 Teollisten mineraalikuitujen esiintyminen ja terveysvaikutukset

Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöjen on todettu aiheuttavan varsin yleisesti hengitysteiden, silmien ja ihon ärsytysoireita. Toimistotyypisissä rakennuksissa teollisten mineraalikuitujen päästölähteitä voivat olla akustiikkalevyt tai ilmanvaihtolaitteiden lämmön- ja ääneneristeet. Teollisista mineraalikuiduista ilmanvaihtolaitteissa on tehty äskettäin kattava kirjallisuuskatsaus (Tuomainen ym. 2003). Katsauksen perusteella sisäilmasta on aiemmissa eurooppalaisissa ja amerikkalaisissa tutkimuksissa mitattu useita satoja yli 3 mikrometrin paksuisia teollisia mineraalikuituja kuutiometrissä keskiarvon jäädessä useimmiten alle 200 kuitua/ m^3 . Alle 3 mikrometrin paksuisten kuitujen pitoisuus on ollut samoissa kohteissa yleensä alle 1 000 kuitua/ m^3 . Huonepinnoilta on löydetty useita kymmeniä karkeita eristevillakuituja neliösenttimetrillä, mutta keskiarvot ovat yleensä olleet 1–2 kuitua/ cm^2 usein siivotuilla pinnoilla (Tuomainen ym. 2003). Mineraalikuitujen laskeumanopeus on ollut suuruusluokkaa 0,5–1,5 kuitua/ cm^2

vuorokaudessa. Yli 5 mikrometrin pituisista kuiduista oli noin puolet yli 3 mikrometrin paksuisia (Schneider et al. 2003).

Lähes kaikki yli 3 mikrometrin paksuiset mineraalikuidut jäävät lähengitysteihin aiheuttaen ärsytysoireita nenässä ja nielussa. Lisäksi karkeat kuidut voivat aiheuttaa ärsytystä, kutinaa, punotusta tai kirvelyä silmissä ja iholla. Ihoärsytyksen syynä ovat yli 5 mikrometrin paksuiset teolliset mineraalikuidut (lasikuitu, lasi- ja kivivilla). Toimistoissa, päiväkodeissa, kouluissa ja sairaaloissa tehdyissä oirekyselyissä on eräissä tapauksissa voitu löytää yhteys mineraalikuitujen esiintymisen ja ärsytysoireiden välillä.

Teollisuustyössä karkeita mineraalikuituja voidaan mitata työntekijöiden nenähuuhtelunäytteistä valo- ja elektronimikroskooppisilla menetelmillä (Paananen ym. 2004). Lasi- ja kivivillakuidut liukenevat ja poistuvat keuhkokudoksesta nopeasti. Pitkäaikaisten sairauksien riski on vähäinen tai olematon (Schneider et al. 2003, IARC 2002).

2.2 Ilmanvaihtolaitteet ja hiukkaset

Rakennusten tuloilma sisältää ulkoilman hiukkasmaisia epäpuhtauksia (bioaerosolit, pakokaasut, lentotuhka), mutta monissa tapauksissa päästölähde voi olla ilmanvaihtolaitte, kanaviston pinnoite, lämmön- tai ääneneriste, suodatusmateriaali tai kostutusvesi. Yli 0,1 mikrometrin kokoiset hiukkaset koostuvat yleensä epäorgaanisista yhdisteistä kuten metallioksideista, silikaattimineraaleista, kipsipölystä sekä lasi- ja kivivillakuiduista. Asbestia saattaa irrota vanhoista putkieristeistä, laasteista, tiivisteistä ja asbestisementtituotteista. Sisäilmastoluokitus 2000 määrittelee ilmanvaihtotuotteiden puhtausvaatimukset, joiden tavoitteena on varmistaa uuden ilmanvaihtojärjestelmän läpi virtaavan tuloilman hyvä laatu. Hyvälaatuisessa tuloilmassa ei saa olla laitteista tai kanavistosta peräisin olevia haitallisia aineita (mikrobit, kuitupölyt) eikä viihtyvyyttä alentavaa hajua tai epäpuhtautta. Tehtaalta lähteivissä kanavissa ja kanavanosissa pintapölyn määrä tulee olla alle $0,5 \text{ g/m}^2$ eikä rakennemateriaaleista saa irrota tuloilmaan teollisia mineraalikuituja enempää kuin $0,01 \text{ kuitua/cm}^3$ ($10\,000 \text{ kuitua/m}^3$). Rakennusten käytön aikana tulee leijuvan pölyn hiukkaspitoisuuden huoneilmassa olla alle $20 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ laatuluokassa S1, alle $40 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ laatuluokassa S2 ja alle $50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ laatuluokassa S3 (Sisäilmastoluokitus 2000).

Ilmanvaihtolaitteiden kuitupäästöjä on aiemmin mitattu sekä laboratoriotesteillä että rakennuksissa. Testikanavista mitatut kuitupitoisuudet olivat alle 30 kuitua/m^3 (yli 5 mikrometrin pituiset kuidut), kun pinnoitettu tai pinnoittamaton mineraalivilla oli sisäpuolisena eristemateriaalina (Tolvanen 1992). Rakennusten tuloilmakanavissa mineraalikuitujen esiintyminen oli yleistä, ja pintanäytteiden kuitutiheys saattoi ylittää arvon 100 kuitua/cm^2 (yli 20 mikrometrin kuidut). Toimistorakennuksissa teollisten mineraalikuitujen keski-

määräinen kuitutiheys oli 18,4 kuitua/cm² tuloilmakanavissa, kun vastaava arvo huonetiloissa oli 0,2 kuitua/cm² usein siivotuilla pinnoilla ja 5,3 kuitua/cm² harvoin siivotuilla pinnoilla. Eräissä kohteissa kuitulähteitä olivat myös kattojen akustiikkalevyt (Lappalainen ym. 2003). Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksella voidaan vaikuttaa tuloilmakanavien pölykertymään ja toimistoympäristössä koettuun ilmanlaatuun (Kolari 2003). Jotta välttyttäisiin teollisten mineraalikuitujen aiheuttamilta ärsytysoireilta, tulisi teollisten mineraalikuitujen kuitutiheyden olla alle 0,2 kuitua/cm² usein siivotuilla huonepinnoilla ja alle 3 kuitua/cm² harvoin siivotuilla pinnoilla (Schneider 2001).

3. Ilmanvaihtolaitteiden testaus

Laboratoriotestien avulla mitattiin hiukkaspäästöt tärkeimmistä tuloilman mineraalikuitupitoisuuteen vaikuttavista tuotteista eli kanavaäänenvaimentimista. Tuotteet valittiin projektiin osallistuvien laitevalmistajien tuotantomalleista. Valintaperusteena olivat aiemmat tiedot ja käytännön kokemukset kuitupäästöjen esiintymisestä näiden laite-tyyppien käytössä. Mittaustuloksia verrattiin Sisäilmastoluokituksen 2000 puhtausvaatimuksiin. Erityisesti mineraalikuitujen osalta hankkeessa kehitettiin uusia mittaus- ja analyysimenetelmiä. Ilmanvaihtotuotteiden testausohjeessa määriteltyjen mittausten lisäksi seurattiin tutkittavan tuotteen läpäisseen ilman hiukkaspitoisuutta jatkuvatoimisella partikkelilaskurilla sekä otettiin pölynäytteitä suodattimille elektronimikroskoopista analyysia varten. Tutkittuja äänenvaimentimia oli 23 ja analysoitujen pölynäytteiden lukumäärä oli yli 250.

3.1 Tutkitut tuotteet ja materiaalit

Laboratoriokokeissa tutkittiin projektiin osallistuvien yritysten $\phi 160$ mm:n kanavaäänenvaimentimista lähteviä kuitupäästöjä. Kaikissa vaimentimissa oli reikäpelti ja useimmissa kuituharso estämässä mineraalivillakuitujen (lasi- tai kivivillaa) irtoamista ilmavirtaan.

Taulukkoon 1 on koottu tutkitut kanavaäänenvaimentimet ja niiden ominaisuudet. Taulukosta havaitaan, että tuotteissa G, H, L, Q ja R oli vertailun vuoksi vaimennusmateriaalina polyesteri.

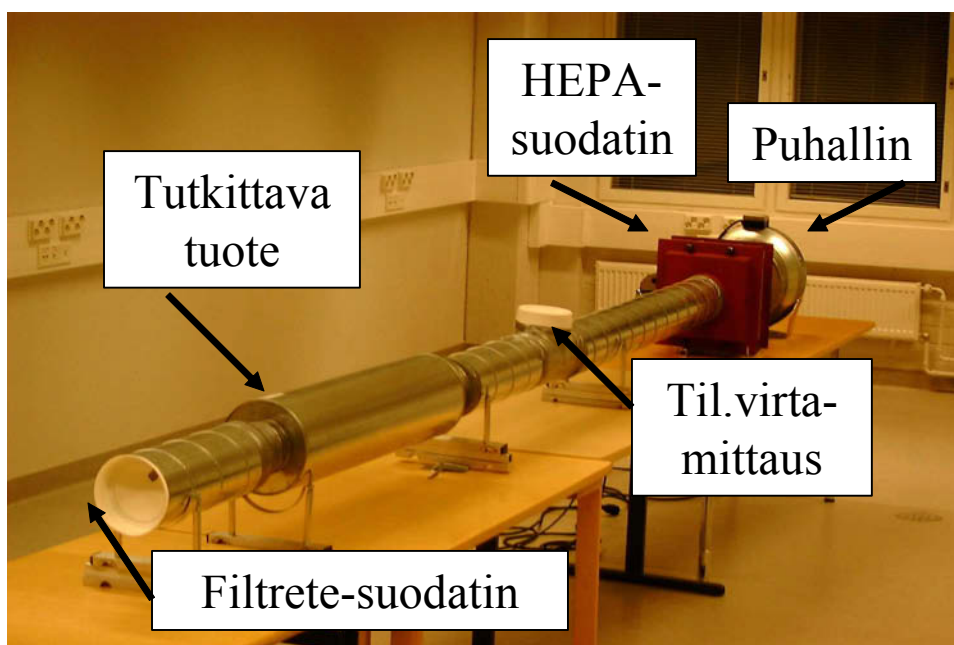
Taulukko 1. Tutkitut kanavaäänenvaimentimet.

Äänen-vaimennin	Ominaisuudet	Vaimennus-materiaali	Vaimennus-materiaalin pinta-ala (m ²)	Kuituharso
A, tuote 1	Pyöreä, pituus 30 cm	Mineraalivilla	0,151	polyesteri
B, tuote 1	Pyöreä, pituus 60 cm	- " -	0,302	- " -
C, tuote 1	Pyöreä, pituus 120 cm	- " -	0,603	- " -
D, tuote 2	Pyöreä, pituus 30 cm	- " -	0,151	- " -
E, tuote 2	Pyöreä, pituus 60 cm	- " -	0,302	- " -
F, tuote 2	Pyöreä, pituus 100 cm	- " -	0,503	- " -
G, tuote 3	Pyöreä, pituus 30 cm	Polyesteri	0,151	ei
H, tuote 3	Pyöreä, pituus 120 cm	- " -	0,603	ei
I, tuote 4	Pyöreä, pituus 100 cm	Mineraalivilla	0,503	lasikuitu
J, tuote 5	Kantikas, pituus 100 cm	- " -	0,451	- " -
K, tuote 6	Pyöreä, pituus 60 cm	- " -	0,302	- " -

L, tuote 7	Kantikas, pituus 60 cm	Polyesteri	0,259	- " -
M, tuote 8	Pyöreä, pituus 60 cm	Mineraalivilla	0,302	- " -
N, tuote 6	Pyöreä, pituus 90 cm	- " -	0,452	- " -
O, tuote 8	Pyöreä, pituus 90 cm	- " -	0,452	- " -
P, tuote 7	Kantikas, pituus 100 cm	- " -	0,451	- " -
Q, tuote 9	Pyöreä, pituus 90 cm	Polyesteri	0,452	- " -
R, tuote 10	Kantikas, pituus 100 cm	- " -	0,451	- " -
S, tuote 6	Pyöreä, pituus 120 cm	Mineraalivilla	0,603	- " -
T, tuote 8	Pyöreä, pituus 120 cm	- " -	0,603	- " -
U, tuote 11	Pyöreä, pituus 60 cm	- " -	0,302	ei
V, tuote 12	Pyöreä, pituus 60 cm	- " -	0,302	ei
X, tuote 13	Pyöreä, pituus 60 cm	- " -	0,302	ei

3.2 Testauslaitteisto ja -menetelmät

Kuvassa 2 on esitetty tutkimuksessa käytetty koelaitteisto, joka on Sisäilmastoluokitus 2000:n mukainen. Äänenvaimennin on asennettu osaksi testauskanavaa. Muut osat ovat säädettävä puhallin, HEPA-suodatin ja ilmavirran mittauslaite. Kanavan toiseen päähän on asennettu sähköisesti varattu polypropyleenikangassuodatin (3M FILTRETE GS-100/Terveysilma Oy), joka on teipattu tiiviisti testauskanavan lähtöaukkoon. Erillisin testein on todettu suodattimen keräävän kaikki äänenvaimentajasta irtoavat mineraalikulut.



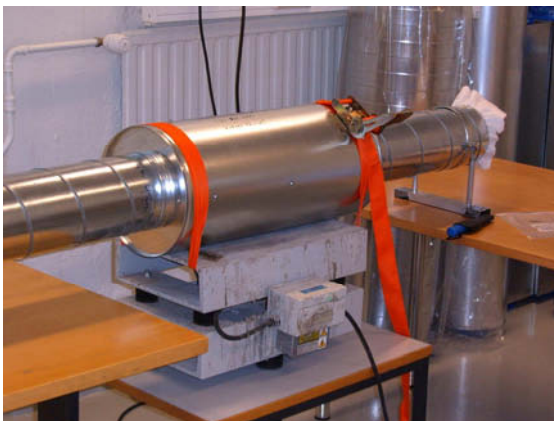
Kuva 2. Mineraalikulujen emissiotestauslaitteisto.

Ennen varsinaisia testejä suodattimen annettiin kerätä ilmavirrasta kuituja 0,5 h ajan, jolla varmistettiin, etteivät tuotteen valmistuksen, kuljetuksen tai varastoinnin aikana mahdollisesti kertyneet mineraalikuidut vaikuta testituloksiin. Tämän alkuhuuhtelun jälkeen suodatin vaihdettiin uuteen varsinaista testiä varten. Testivaihtoehtoja oli neljä erilaista: ilmavirtatesti, paineiskutesti, värinätesti ja puhdistettavuus- eli harjaustesti.

Ilmavirtatestissä ilmavirta huuhteli vaimentimen pintaa, mikä sai kuituja irtoamaan ilmavirtaan. Testissä käytetty ilman tilavuusvirta oli $80 \text{ dm}^3/\text{s}$, jolloin ilman nopeus oli noin 4 m/s . Tämä vastaa melko hyvin käytännössä esiintyviä kanavanopeuksia. Ilmavirtatestejä oli kahden pituisia: 1 h ja 24 h.

Paineiskutestissä mitattiin noin 100 Pa :n paineiskujen vaikutusta kuitujen irtoamiseen. Tällöin kanavassa ollutta säätöpeltiä käännettiin auki- ja kiinniasentoon 5 sekunnin välein 5 minuutin ajan. Ilman tilavuusvirta oli $80 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Tärinätestissä vaimennin asennettiin tiukasti kiinni värinäkokeessa käytettävälle alustalle, jolloin siihen vaikutti noin $25\text{--}35 \text{ Hz}$:n suuruinen taajuus (amplitudi noin $0,5 \text{ cm}$). Taajuus oli samaa luokkaa kuin on mitattu käytössä olevan ilmanvaihtokanavan kyljesellä. Ilman tilavuusvirta oli $80 \text{ dm}^3/\text{s}$. Tärinätestin periaate on esitetty kuvassa 3.

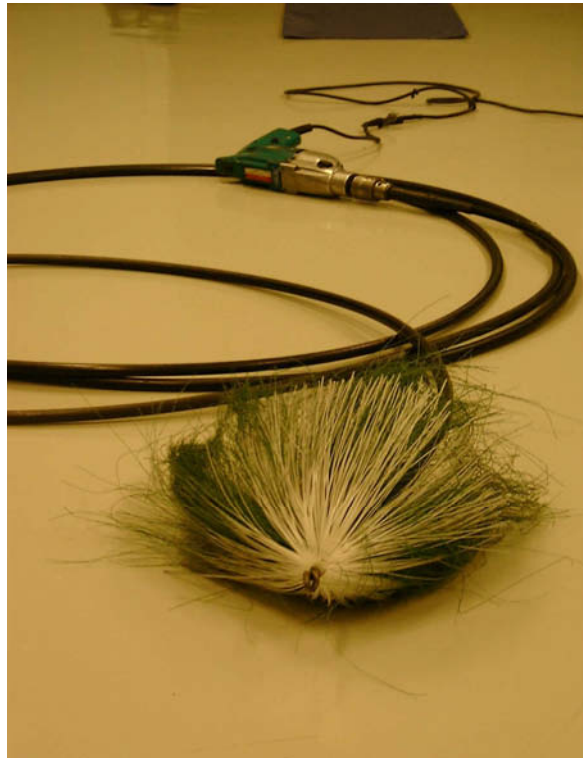


Kuva 3. Testattavia äänenvaimentimia värinäalustalla erilaisilla kiinnityksillä.

Puhdistettavuus- eli harjaustestissä kanavaharjaa työnnettiin vaimentimen läpi edestakaisin 10 kertaa, kuva 4. Harjan pyörittämiseen käytettiin tehokasta porakonetta, kuva 5. Harjaus kesti noin 5 minuuttia. Sen jälkeen mitattiin vielä kuitujen irtoamista ilmavirtaan 24 h ajan. Ilman tilavuusvirta oli $80 \text{ dm}^3/\text{s}$.



Kuva 4. Puhdistettavuus- eli harjaustestissä pyörivä harja työnnetään kanavaan.



Kuva 5. Puhdistusharja ja sen pyörittämiseen käytettävä porakone.

Filtrete-suodattimelle kertyneiden mineraalikulujen laskemista varten Työterveyslaitoksella on kehitetty laboratoriomenetelmä, jolla äänenvaimentimista irronneet lasi- tai kivivillakuidut voidaan määrittää valomikroskoopilla. Pala Filtrete-suodatinkangasta joko liuotettiin ksyleeniin (projektin alkuvaihe) tai huuhdeltiin vesi-etanoliseoksen avulla selluloosaesterisuodattimelle. Suodatin kuivattiin ja tehtiin läpinäkyväksi asetonihöyryllä. Teolliset mineraalikulut (pituus yli 20 μm) laskettiin faasikontrastioptii-

kalla varustetulla polarisaatiomikroskoopilla (suurennus satakertainen). Mitatun il-
määrän ja suodattimen pinta-alan avulla laskettiin teollisten mineraalikuitujen pitoisuus
ilmavirrassa, yhtälö 1.

$$C_V = \frac{1000 \cdot C_A \cdot A}{q_s \cdot T}, \quad (1)$$

jossa C_V on kuitupitoisuus tuloilmassa [kuitua/m³]
 C_A kuitujen lukumäärä polypropyleenisuodattimen pinta-alayksikköä
 kohti [kuitua/cm²]
 A suodattimen poikkipinta-ala [cm²]
 q_s tuloilman tilavuusvirta, kun suodatin on käytössä [dm³/s]
 T mittausaika [s].

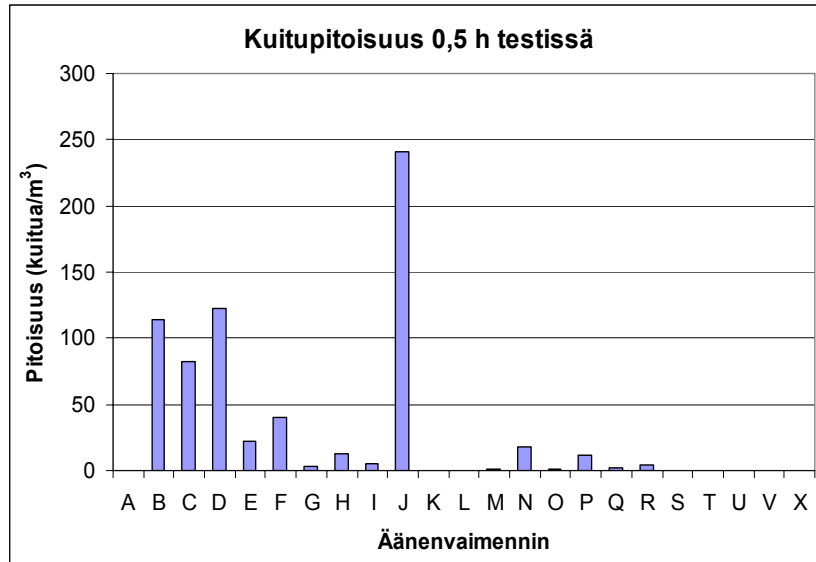
Taulukkoon 2 on koottu tehdyt mittaukset.

Taulukko 2. Äänenvaimentimille tehdyt laboratoriotestit.

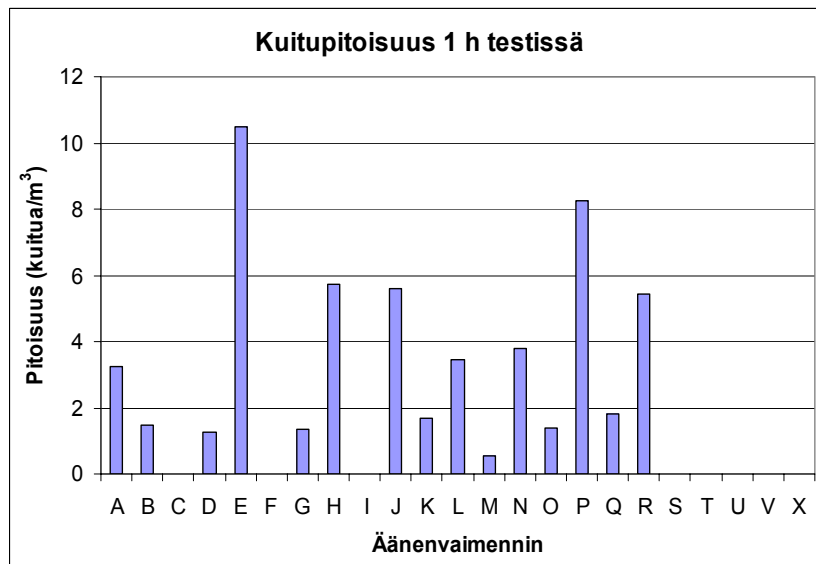
Äänen- vaimennin	0,5 h testi	1 h testi	24 h testi	Paineisku- testi	Tärinä- testi	Harjaus- testi	24 h testi (harjauksen jälkeen)
A, tuote 1		x	x	x			
B, tuote 1	x	x	x		x		
C, tuote 1	x			x		x	x
D, tuote 2	x	x	x		x		
E, tuote 2	x	x	x			x	x
F, tuote 2	x			x		x	x
G, tuote 3	x	x	x				
H, tuote 3	x	x	x				
I, tuote 4	x			x	x		
J, tuote 5	x	x	x				
K, tuote 6		x	x	x		x	x
L, tuote 7		x	x	x			
M, tuote 8	x	x	x				
N, tuote 6	x	x	x				
O, tuote 8	x	x	x				
P, tuote 7	x	x	x				
Q, tuote 9	x	x	x				
R, tuote 10	x	x	x				
S, tuote 6						x	x
T, tuote 8						x	x
U, tuote 11					x		
V, tuote 12					x		
X, tuote 13					x		

3.3 Laboratoriotestien tulokset

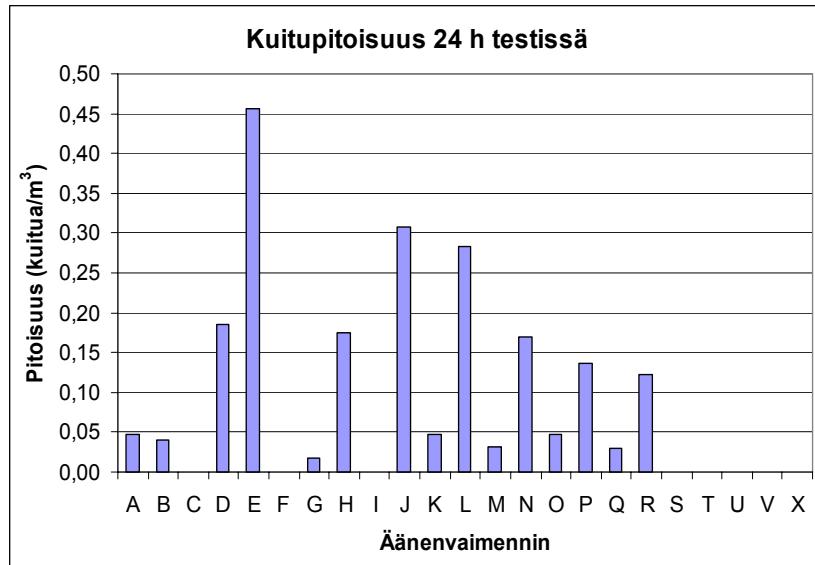
Kuvissa 6–8 on esitetty ilmavirtatestien osalta erikseen 0,5 h kestäneen alkuhuuhTELUN sekä 1 h ja 24 h kestäneiden varsinaisten testien tulokset.



Kuva 6. Eri äänenvaimentimien aiheuttamat kuitupitoisuudet 0,5 h:n alkuhuuhTELUN aikana. Testi on tehty tuotteille B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q ja R.



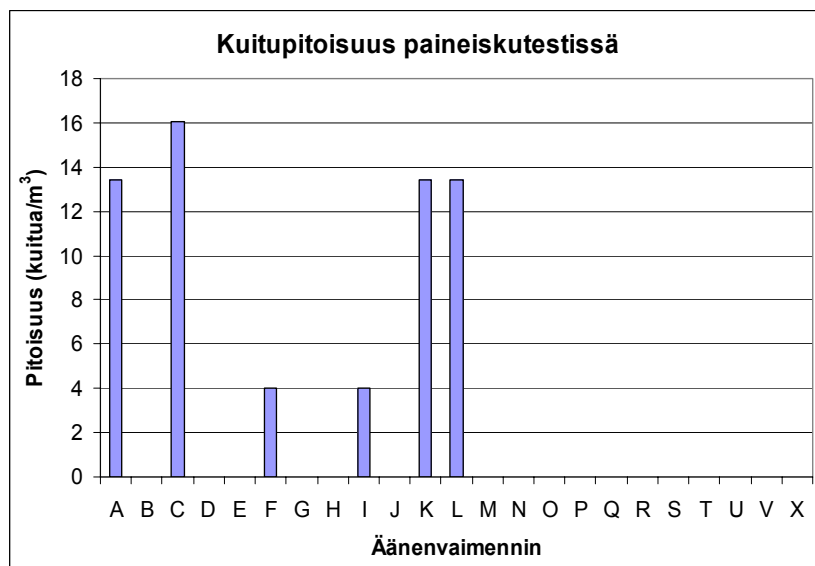
Kuva 7. Eri äänenvaimentimien aiheuttamat kuitupitoisuudet 1 h:n testin aikana. Testi on tehty tuotteille A, B, D, E, G, H, J, K, L, M, N, O, P, Q ja R.



Kuva 8. Eri äänenvaimentimien aiheuttamat kuitupitoisuudet 24 h:n testin aikana. Testi on tehty tuotteille A, B, D, E, G, H, J, K, L, M, N, O, P, Q ja R.

Kuvien 6 ja 8 mukaan kuitupitoisuus alkuhuuhTELUN aikana saattoi olla jopa noin tuhatkertainen verrattuna 24 h:n testiin. Kuvista havaitaan lisäksi, että kuituemissioiden vaihteluväli 24 h:n testeissä oli suuri eli 0,02–0,47 kuitua/m³. Myös vaimentimilla, joissa vaimennusmateriaalina oli polyesteri (tuotteet G, H, L, Q ja R), havaittiin mineraalikuituemissioita. Tämä selittyy sillä, että kyseiset tuotteet on tehty samoissa tuotantotiloissa kuin mineraalivillaiset tuotteet, jolloin ne ovat kontaminoituneet mineraalivillalla.

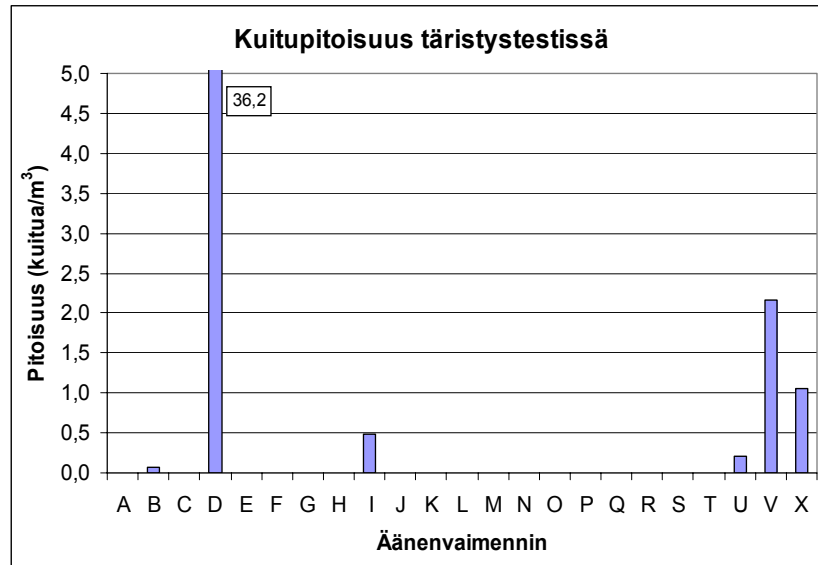
Kuvassa 9 on esitetty paineiskujen merkitys kuitupitoisuuteen.



Kuva 9. Eri äänenvaimentimien aiheuttamat kuitupitoisuudet paineiskutestin aikana. Testi on tehty tuotteille A, C, F, I, K ja L.

Äänenvaimennin A oli ainoa, jolle tehtiin paineiskutesti 24 h:n testin jälkeen. Kuvan 9 mukaan kuitupitoisuus nousi huomattavasti paineiskujen seurauksena, mutta ei kuitenkaan alkuhuuhTELUN tasolle.

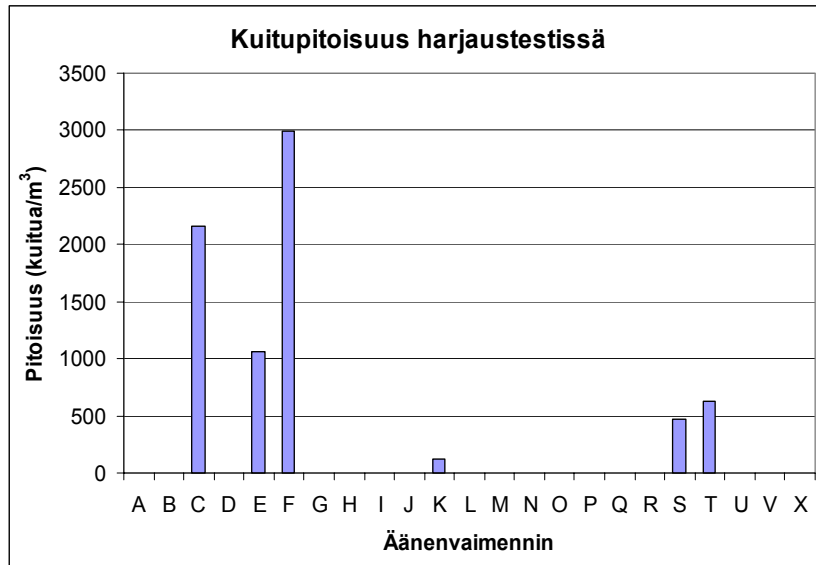
Kuvassa 10 on esitetty täristyskokeiden tulokset.



Kuva 10. Eri äänenvaimentimien aiheuttamat kuitupitoisuudet täristystestin aikana. Testi on tehty tuotteille B, D, I, U, V ja X.

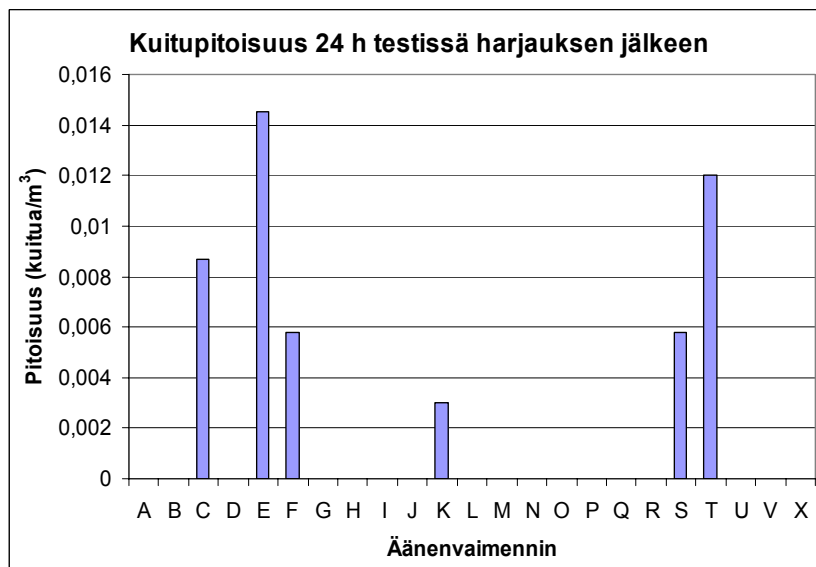
Kuvan 10 mukaan täristysten aikana vaimentajan D tapauksessa mineraalikuitujen pitoisuus oli hyvin suuri. Vaimentajien U, V ja X, joissa ei ollut harsoa villan ja reikäpellin välissä, tapauksissa tulokset olivat pienempiä kuin paineiskutesteissä, mutta suurempia kuin 24 h:n testeissä. On kuitenkin huomattava, että kyseisille vaimentajille tehtiin vain täristystesti.

Kuvassa 11 on esitetty harjauskokeiden tulokset.



Kuva 11. Eri äänenvaimentimien aiheuttamat kuitupitoisuudet harjaustestin aikana. Testi on tehty tuotteille C, E, F, K, S ja T.

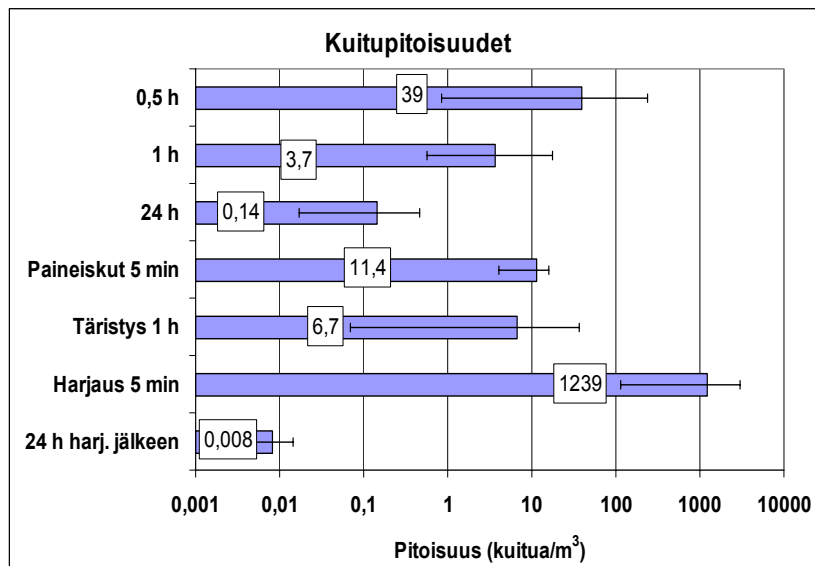
Kuvan 11 mukaan kuitupitoisuudet harjauksen aikana olivat hyvin suuret, jopa 3 000 kuitua/m³. Harjauksen jälkeen tehtiin kyseisille vaimentimille 24 h:n testi, jonka tulokset on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Eri äänenvaimentimien aiheuttamat kuitupitoisuudet harjaustestin jälkeen tehdyn 24 h:n testin aikana. Testi on tehty tuotteille C, E, F, K, S ja T.

Kuvan 12 mukaan pitoisuudet harjauksen jälkeen pienenevät pitoisuuteen alle 0,02 kuitua/m³.

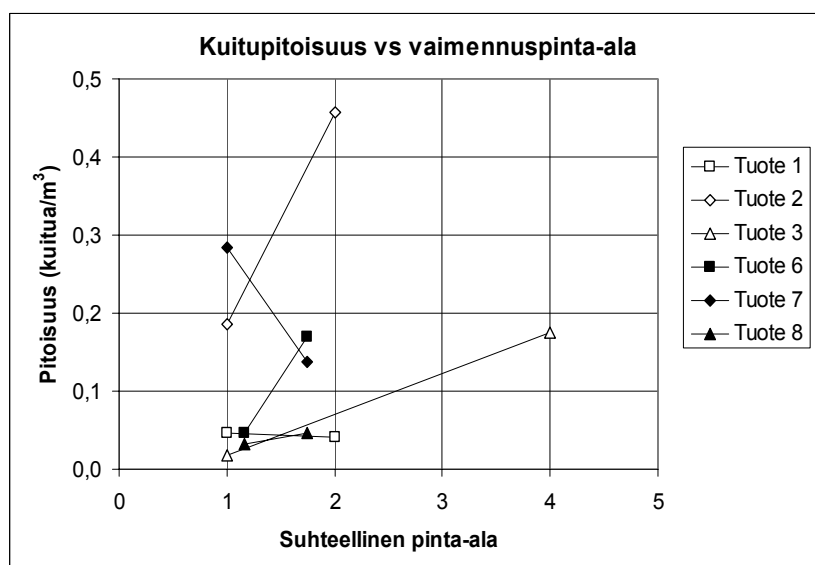
Kuvassa 13 on esitetty yhteenvedona kuitupitoisuuksien keskiarvot ja vaihteluvälit eri testeissä.



Kuva 13. Eri testimenetelmien antamat tulokset kuitupitoisuudelle ilmavirrassa. Kuvaan on merkitty keskiarvot ja vaihteluvälit.

Kuvan 13 mukaan suurimmat pitoisuudet saavutettiin harjauksen aikana ja pienimmät harjauksen jälkeisessä 24 h:n testissä. Paineiskujen ja tärityksen vaikutus oli suurin piirtein yhtä suuri.

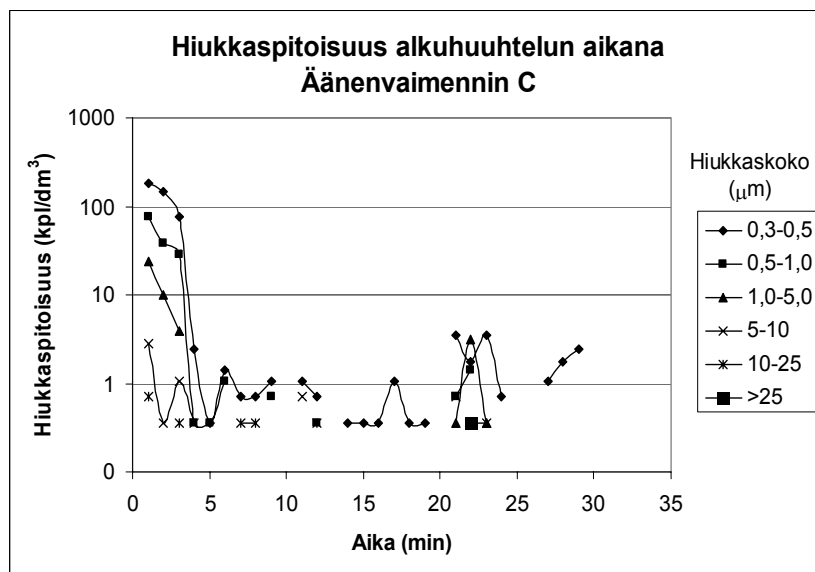
Kuvassa 14 on tarkasteltu vaimentimen pituuden eli vaimennuspinta-alan vaikutusta irtoavien kuitujen määrään.



Kuva 14. Vaimennuspinta-alan vaikutus irtoavien kuitujen määrään.

Kuvan 14 mukaan muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta myös vaimentimien pituudella eli vaimennuspinta-alalla oli selvä vaikutus irtoavien kuitujen määrään.

Kuvien 6–8 mukaan kuitupitoisuus laski 24 h:n aikana jopa tuhannenteen osaan. Samaa asiaa on tarkasteltu kuvassa 15, jossa on Climet-hiukkaslaskurin mitaamat hiukkaspitoisuudet hiukkasten eri kokoluokissa. Kuvan 15 mukaan hiukkaspitoisuudessa oli voimakas lasku heti ensimmäisten minuuttien aikana. Laskuri on tosin mitannut hyvin pieniä hiukkasia, mutta näiden pitoisuuden voidaan katsoa olevan verrannollinen myös isompien hiukkasten, kuten kuitujen, pitoisuuteen.



Kuva 15. Esimerkki hiukkaspitoisuuden nopeasta laskusta puhaltimen käynnistämisen jälkeen.

4. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt rakennuksissa

4.1 Tutkitut rakennukset

Hiukkaspäästöjen leviämistä sisäilmaan kartoitettiin mittauksin kahdeksassa tyypillisessä rakennuksessa, joissa oli todettu tai valitettu sisäilman epäpuhtauksiin liittyviä oireita. Lisäksi mukana oli kaksi uudiskohdetta: toimisto (kohde 2) ja monitoimitalo (kohde 9), joissa oli kotimaisen laitevalmistajan toimittamat kanava- ja lamelliäänenvaimentimet.

Tutkittavat kohteet olivat koulu, laboratoriorakennus, kirjasto, päiväkotiki, monitoimitalo ja viisi toimistotyyppistä rakennusta, esimerkkinä kuva 16. Rakennusten ikä vaihteli muutamasta kuukaudesta yli sataan vuoteen. Taulukossa 3 on esitetty perustietoja tutkituista rakennuksista.



Kuva 16. Kohde 7, toimistorakennus vuodelta 1989.

Taulukko 3. Tutkittujen rakennusten perustietoja.

Rakennus		Valmistusvuosi	Työntekijämäärä (koko rakennus)	Tutkitut tilat	Työntekijä-/henkilömäärä	Mittaukset tehty	Mahdolliset kuitulähteet
1	Koulu	1999	oppilaita n. 310 ja henkilökuntaa n. 25	luokkahuone keittiö opettajanhuone	30–31.10.2003 syysloma 3–7.11 normaali toiminta	30.10.–7.11.2003	-tuloilmalaatikoiden sisäpinta (päälystetty lasikuituharsolla) -tuloilmakanavan äänenvaimentimet -alakaton yläpuolen eristevillat
2	Toimisto	2003	n. 20–25/kerros	neuvotteluhuone kahvihuone	tyhjiillään satunnaisesti	24.11.2003 ja 9.–16.1.2004	-ilmavaihtokoneiden ja kanavien äänenvaimentimet
3	Toimisto	1965 (remontoitu 1999–2000)	50	toimistohuone 1 toimistohuone 2 toimistohuone 3 toimistohuone 4	tyhjiillään tyhjiillään 3 henkilöä tyhjiillään	23.2 sekä 8.–12.3.2004	-ilmavaihtokoneen äänenvaimentimet (ei pystytty todentamaan varmaksi) -käytävän akustiikkalevyt
4	Laboratoriorakennus	2002	ei tietoa	toimistohuone 1 kahvihuone taukotila toimistohuone 2	tyhjiillään satunnaisesti satunnaisesti satunnaisesti	30.3.–2.4.2004 sekä 6.4.2004	-ilmavaihtokoneiden ja kanavien äänenvaimentimet -ilmanvaihtokoneen tuloilmakammio -akustiikkalevyt -alakaton yläpuolen eristevillat
5	Toimisto	1982	250	avokonttori toimistohuone	ei tietoa 1	10.5 sekä 31.5.–3.6.2004	-ilmavaihtokoneiden ja kanavien äänenvaimentimet -ilmanvaihtokoneen puhallinkammio -akustiikkalevyt -alakaton yläpuolen eristevillat
6	Kirjasto	1972	7	kirjastosali toimistohuone kahvihuone	tyhjiillään 1–7 1–7	25.8 sekä 6.–10.9.2004	-ilmavaihtokoneiden ja kanavien äänenvaimentimet -ilmanvaihtokoneen tuloilmakammio -alakaton yläpuolen eristevillat
7	Toimisto	1989	100	toimistohuone 1 toimistohuone 2 toimistohuone 3 toimistohuone 4 toimistohuone 5	1 tyhjiillään tyhjiillään 1 1	8.11 sekä 22.–26.11.2004	-ilmanvaihtokoneen puhallin- ja lämmityspatterikammiot -ilmavaihtokoneen jälkeiset lamelläänenvaimentimet -ullakkotila -tuloilmalaatikot -akustiikkalevyt
8	Päiväkoti	1997	lapsia n. 200 ja henkilökuntaa n. 35	ryhmätila 1 ryhmätila 2a ryhmätila 2b ryhmätila 3 toimintahuone	tyhjiillään tyhjiillään n. 1–10 tyhjiillään tyhjiillään	14.2 sekä 21.–25.2.2005	- ilmanvaihtokoneen lamelläänenvaimentimet -akustiikkalevyt -alakaton yläpuolen eristevillat
9	Monitoimitalo	2004	ei tietoa	toimistohuone 1 toimistohuone 2 toimistohuone 3	1 n. 1–5 tyhjiillään	3.2, 11.3, 14.–18.3, 1.4.2005 sekä 6.4.2005	- ilmanvaihtokoneen lamelläänenvaimentimet -ilmavaihtokanavien äänenvaimentimet -akustiikkalevyt
10	Toimisto	n.1900	n. 20	kopiointitila toimistohuone 1 asiakaspalvelutilan takahuone asiakaspalvelu toimistohuone 2	satunnaisesti 1 1–3 1–1	29.4 sekä 9.–13.5.2005	-ilmanvaihtokoneen kammioiden seinämät -alakaton yläpuolen eristevillat

4.2 Kohdekohtaiset tiedot

Kaikissa rakennuksissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Kohteissa tarkastettiin ilmanvaihtolaitteiden rakenne, toiminta, materiaalit sekä puhtaus mahdollisten suunnittelu- ja käyttövirheiden toteamiseksi, kuva 17. Taulukossa 4 on esitetty tietoja tutkittujen tilojen ilmanvaihtokoneista.



Kuva 17. Ilmanvaihtokoneen lamelliäänenvaimentimen kunnon tarkastus pienellä kanavakameralla kohteessa 9.

Taulukko 4. Ilmanvaihtokoneet tutkituissa rakennuksissa.

Rakennus		IV-koneiden käyntiajat	Tutkitut iv-koneet/ kaikki iv-koneet	Tuloilman suodatinluokka	Kanavien puhdistus
1	Koulu	Luokka ja opettajanhuone: päivällä 1/1 (11h), aamulla 1/2 (40 min) ja illalla 1/2 (120 min) keittiö: päivällä 1/1 (9h), aamulla 1/2 (20 min) molemmat koneet ovat yöllä pois päältä	2/4	F7	ei nuohottu
2	Toimisto	ensimmäisen käyttövuoden 24h/ vuorokaudessa 2/3 teholla	2/2	F7	ei nuohottu
3	Toimisto	Toimistohuoneet 1–3 7–19 arkisin 1/1 teho 7–17 viikonloppuisin 1/1 teho 5–7 ja 19–20 maanantaisin 1/2 teho 6–7 ja 19–20 tiistai–keskiviikko 1/2 teho 6–7 ja 19–22 torstai–perjantai 1/2 teho 6–7 ja 17–23 lauantai–sunnuntai 1/2 teho Muina aikoina koneet pois päältä. Toimistohuone 4: 7–21 arkisin 1/1 teho 8–21 viikonloppuisin 1/1 teho 21–7 arkisin 1/2 teho 21–8 viikonloppuisin 1/2 teho	2/3	F8	ei tietoa
4	Laboratorio-rakennus	Kahvihuone ja taukotila: 1/1 klo 06.00–21.00 toimistohuone 1/1 klo 06.00–21.00 muina aikoina molemmat koneet pois päältä.	2/5	F7	ei tietoa
5	Toimisto	Avokonttori ja toimistohuone: 1/1-teholla arkisin 6–20 1/2-teholla arkisin 20–6 1/2-teholla viikonloppuisin	1/3	F7	tuloilmakanavat 02/04
6	Kirjasto	Maanantaista lauantaihin klo 07.00–20.00 1/1 teholla. Öisin ja sunnuntaisin ilmanvaihtokone on pois päältä.	1/1	F7	2004 (osittain, teknisistä syistä kanavia ei voida puhdistaa kokonaan)
7	Toimisto	1/1- teholla jatkuvasti	1/2	kaksiportainen, ennen ja jälkeen lämmöntalteenotto-roottorin G3-luokan suodattimet	ei tietoa
8	Päiväkoti	Ryhmätilat 1–3 ma–ke klo 6–18 norm.käyttöteho muutoin 0-teho to klo 6–21 norm.käyttöteho muutoin 0-teho pe klo 3–6 osateho ja klo 6–18 norm.käyttöteho muutoin 0-teho la klo 6–9 osateho ja klo 9–15 norm.käyttöteho muutoin 0-teho su klo 8–12 osateho ja klo 12–16 norm.käyttöteho muutoin 0-teho Toimintahuone ma klo 7–18 norm.käyttöteho muutoin 0-teho ti klo 7–21norm.käyttöteho muutoin 0-teho ke klo 7–17 norm.käyttöteho muutoin 0-teho to klo 7–21norm.käyttöteho muutoin 0-teho pe klo 7–19.30 norm.käyttöteho muutoin 0-teho la klo 9.30–10 osateho ja klo 10–14 norm.käyttöteho muutoin 0-teho su klo 11–12 osateho ja klo 12–15 norm.käyttöteho muutoin 0-teho	2/2	F6	2004
9	Monitoimitalo	Toimistohuone 1 klo 7–18 täydellä teholla ja muina aikoina pois päältä Toimistohuone 2–3 klo 7–17 täydellä teholla ja muina aikoina pois päältä	3/3	F7	ei nuohottu
10	Toimisto	ma–pe klo 07.00–20.00 täydellä teholla la–su klo 08.00–18.00 täydellä teholla Muina aikoina ilmanvaihtokone ei ole toiminnassa.	1/1	F7	1996

Kuvissa 18 ja 19 on esimerkkejä kohderakennusten mineraalikululähteistä.



Kuva 18. Kohteen 7 tuloilmaventtiilin äänenvaimennuksessa on käytetty mineraalivillaa.



Kuva 19. Kohteen 4 ilmanvaihtokoneen lamelliäänenvaimennin, josta irtosi mineraalivillakuituja tuloilmaan.

Kohteita valittaessa oli huonepinnoilta ja ilmanvaihtokanavista jo aiemmin kerätty pyyhintänäytteitä, joista oli analysoitu teolliset mineraalikulut. Kaikissa valituissa kohteissa mineraalikulut esiintyi pinnoilla tai ilmanvaihtokanavassa. Ennen varsinaisia mittauksia kohteeseen tutustuttiin esikäynnillä, jolloin suunniteltiin tarvittavat tutkimukset, valittiin mittauskohteet ja kerättiin pintapölynäytteitä. Varsinaisen mittausjakson pituus

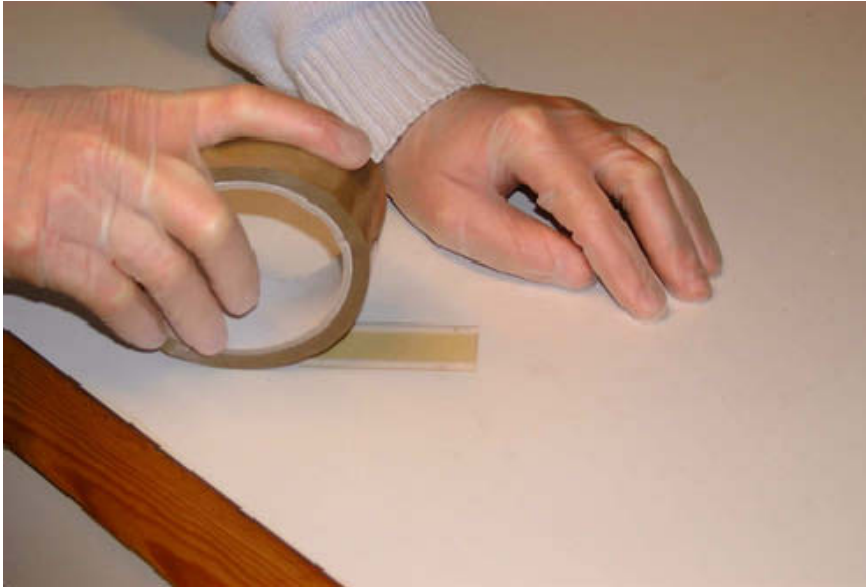
oli kussakin kohteessa keskimäärin viikko, jolloin tehtiin sekä sisäilmamittaukset että ilmanvaihtoa koskevat selvitykset. Tuloksista toimitettiin kohteeseen lausunto, joka sisälsi olosuhdearvion sekä huolto- ja korjaustoimenpidesuositukset.

4.3 Mittausmenetelmät

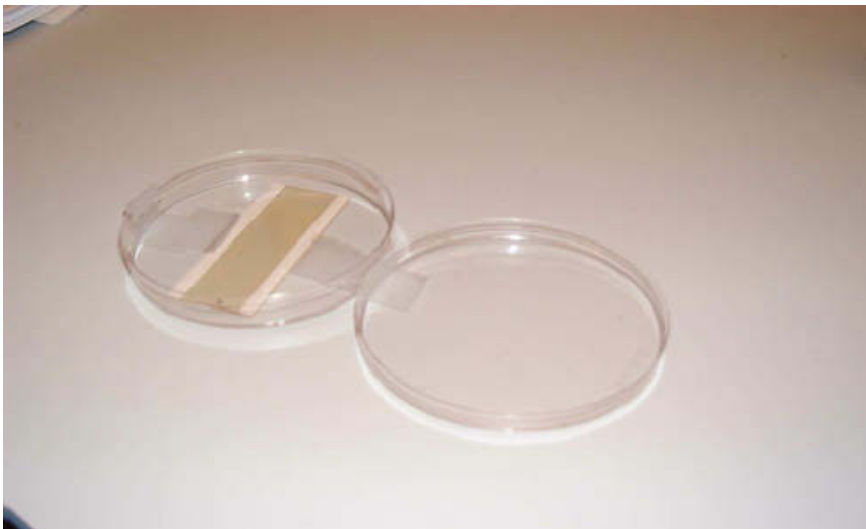
4.3.1 Pintapölynäytteet

Pinnoille laskeutuneesta pölystä otettiin näytteitä geeliteipillä (BM-Dustlifters®, BVDA International BV, Holland, pinta-ala 14 cm²). Näytteitä kerättiin säännöllisen siivouksen piiriin kuuluvilta huonepinnoilta, kuten työpöydiltä, sekä tuloilmakanavista ja -elimistä. Teippinäytteitä kerättiin sekä ns. vanhasta pölystä että puhdistamalla näytteenottopinta ja ottamalla näyte 2 viikon kuluttua. Juuri ennen näytteenottoa teipin suojakalvo irrotettiin ja teippi painettiin tasaisesti näytteenottopintaa vasten, kuvat 20 ja 21. Teippi kiinnitettiin reunoistaan petrimaljan pohjaan näytteenottopinta ylöspäin. Petrimalja suljettiin kuljetuksen ajaksi. Teipiltä laskettiin karkeat teolliset mineraalikuidut (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) valomikroskooppisesti stereomikroskoopilla (Leica MZ12, Germany, suurennos 80–100-kertainen). Tulokset esitetään yksikössä kuitua/cm² tai kuitua/cm²/vrk.

Kanavistoon ja huonetiloihin laskeutuneesta pölystä otettiin myös pyyhintänäytteitä 1–2 litran Minigrip-pusseihin pölyn koostumuksen selvittämiseksi. Pussi käännettiin nurja puoli ulospäin, käsi laitettiin pussin sisään ja näytteenottopintaa pyyhittiin muutaman kerran. Pussi käännettiin oikein päin ja suljettiin. Laboratoriossa pussin sisältö huuhdeltiin tislatulla vedellä ja suodatettiin suodattimelle (Millipore ATTP, 0,8 μm , 37 mm). Suodattimesta valmistettiin preparaatti, joka tutkittiin pyyhkäisyelektronimikroskoopin (SEM) (JEOL JSM 6400, Japan) ja EDX-analysointilaitteen (Thermo Noran Quest, USA) avulla. Tulokset ovat kvalitatiivisia eli kertovat pölyn laadusta.



Kuva 20. Mineraalikuitujen kertymämittaus pöytäpinnalta geeliteippimenetelmällä. Geeliteipin pintaa painetaan lujasti tutkittavaa pintaa vasten, jolloin kuidut tarttuvat geeliteipin pintaan. Näytteenoton ajan olisi hyvä pitää suojakäsineitä kontaminaatiovaaran eliminoimiseksi.

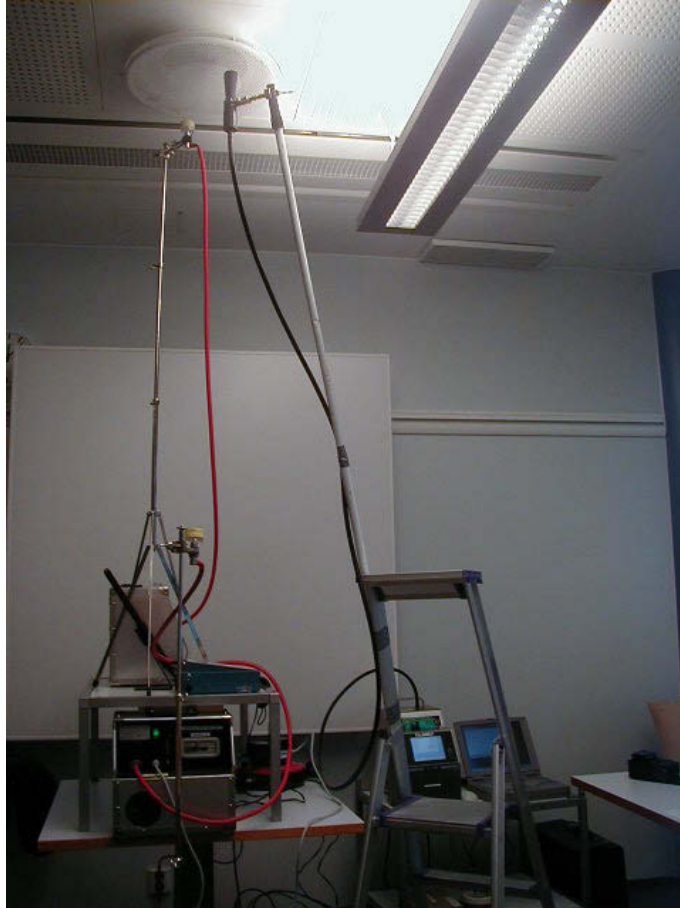


Kuva 21. Näytteenoton jälkeen geeliteippi teipataan petrimaljan pohjalle reunoistaan geelipuoli (tarrapuoli) ylöspäin. Petrimaljan kansi suljetaan, ja näyte on valmis toimitettavaksi analyysiin.

4.3.2 Ilmanäytteet

Ilmanäytteitä kerättiin hengitysvyöhykekorkeudelta sekä ilmanvaihtokanavien kohdalta, kuva 22. Pumpulla imettiin polykarbonaattisuodattimen (Millipore GTTP, 0,2 μm , 37

mm) läpi noin 1 000 dm³ ilmaa. Suodattimesta leikattiin pala, joka kullattiin kultauslaitteella (Bal-Tec SCD005 Sputter Coater). Näytteistä määritettiin kuitupitoisuus (yli 5 µm:n pituiset kuidut/cm³) ja pölyn koostumus pyyhkäisyelektronimikroskoopin (SEM) (JEOL JSM 6400, Japan) ja EDX-analysaattorin (Thermo Noran Quest, USA) avulla.



Kuva 22. Kuitumittaus ilmanvaihtokanavan kohdalta ja huonetilasta, käynnissä myös hiukkaspitoisuuksien ja pölyn massapitoisuuden mittaus rekisteröivillä mittareilla.

Suoraan osoittavilla hiukkasmittareilla seurattiin pienhiukkasten esiintymistä tuloilmas-
sa ja huonetiloissa. Sisä- ja tuloilman hiukkaspitoisuutta mitattiin laservalon sirontaan
perustuvalla hiukkaslaskurilla (Climet CI-550). Hiukkaset mitattiin kokoalueilla $\geq 0,5$
µm ja ≥ 5 µm. Sisäilman PM₁₀-pölypitoisuutta (massapitoisuus, µg/m³) mitattiin suo-
raan osoittavalla optisella hiukkaslaskurilla (TSI DustTrak). Sisäilman lämpötila, suh-
teellinen kosteus, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuus mitattiin suoraan osoittavalla
mittarilla (Q-Trak 50152).

4.3.3 Tuloilman kuitupitoisuus

Ilmanvaihtolaitteiden kuituemissiota kartoitettiin mittaamalla teollisten mineraalikuitujen pitoisuutta tuloilmassa. Näytteet kerättiin polypropeenisuodatinkankaalle (3M Filtrete™, GS-100), joka kiinnitettiin teipillä tuloilmaelimen paikalle, kuva 23. Tuloilmavirta mitattiin suodatinkankaan asentamisen jälkeen. Mittausaika oli kahdesta neljään vuorokautta.



Kuva 23. Polypropeenisuodatinkangas kiinnitettynä tuloilmaelimen paikalle.

Mittauksen jälkeen suodatinkangas irrotettiin varovasti ja laitettiin Minigrip-pussiin laboratorioanalyysia varten. Projektissa käytettiin kahta menetelmää epäorgaanisten mineraalikuitujen ja orgaanisten polypropeenikuitujen erottamiseksi toisistaan: ksyleeni- ja vesihuuhtelumenetelmää.

Ksyleeniliuotusmenetelmässä analysoitavasta suodatinkankaasta leikattiin pala ($A = 25 \text{ cm}^2$), joka liuotettiin 50 ml:aan kiehuvaan ksyleeniä (Xylene GR for analysis) ja liuos suodatettiin hopeasuodattimelle (Millipore Silver Filter $0,8 \mu\text{m}$, 37 mm). Suodatinta kuivattiin lämpökaapissa $40 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa (Heraeus T6, Kendro Laboratory Products, Germany) noin puoli tuntia. Suodatin huuhdeltiin tislattun veden ja alkoholin (Spiritus Fortis®, 96 %) seoksella (1:1) ja huuhdos suodatettiin selluloosaesterisuodattimelle (Millipore $0,8 \mu\text{m}$, white gridded AAWG, 37 mm). Suodatinta kuivattiin lämpökaapissa noin tunti. Suodatinpala tehtiin läpinäkyväksi asetonihöyryllä ja preparoitiin kuitulaskentaa varten triasetiinilla. Teolliset mineraalikulut (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) laskettiin faasikontrastioptiikalla varustetulla polarisaatiomikroskoopilla (Leica DMLP, Germany, suurennos satakermainen). Tuloksena saatiin kuitujen lukumäärä suodattimen pinta-alaa kohden.

Vesihuuhtelumenetelmässä analysoitavasta suodatinkankaasta leikattiin pala ($A = 30 \text{ cm}^2$), joka asetettiin 2 litran lasisen mittalasin päälle asetetulle metalliritilälle siten, että ilmavirtaa vasten ollut puoli oli alaspäin. Näytepala kasteltiin kauttaaltaan etyylialkoholilla (Spiritus Fortis®, 96 %) pintajännityksen poistamiseksi ja sen läpi kaadettiin tasaisesti n. 600 ml tislattua vettä. Näytepala rutistettiin kuivaksi käsin ja ritilää huuhdeltiin tislattulla vedellä näyteastiaan. Näyte suodatettiin selluloosaesterisuodattimelle (Millipore AAWG, white gridded, $0,8 \mu\text{m}$, 37 mm). Suodatinta kuivattiin lämpökaapissa $40 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa (Heraeus T6, Kendro Laboratory Products, Germany) noin tunti. Suodatinpala tehtiin läpinäkyväksi asetonihöyryllä ja preparoitiin kuitulaskentaa varten triasetiinilla. Teolliset mineraalikuidut (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) laskettiin faasikontrastioptiikalla varustetulla polarisaatiomikroskoopilla (Leica DMLP, Germany, suurennos satakertainen). Tuloksesta saatiin kuitujen lukumäärä suodattimen pinta-alaa kohden.

Analyysimenetelmien vertailussa tutkittiin 10 kpl 25 cm^2 kokoisia rinnakkaisnäytteitä. Ksyleeniliuotusmenetelmällä valmistetuilta näytepreparaateilta löydettiin keskimäärin 53,5 kuitua ja vesihuuhtelumenetelmällä valmistetuilta keskimäärin 49,5 kuitua. Kuudessa näytteessä vesihuuhtelumenetelmällä valmistetuista näytepreparaateista löydettiin enemmän kuituja kuin ksyleeniliuotusmenetelmällä valmistetuista. Kaiken kaikkiaan yksittäiset tulokset olivat lähellä toisiaan paria poikkeusta lukuun ottamatta.

Taulukkoon 5 on koottu vertailun tulokset. Tulosten perusteella päädyttiin projektin loppupuolella vesihuuhtelumenetelmään, koska se on nopeampi kuin ksyleeniliuotusmenetelmä vähempien työvaiheiden ansiosta, ja näytteiden käsittelyyn tarvitaan vain yksi henkilö. Vesihuuhtelumenetelmässä on lisäksi mahdollista tutkia hiukan suurempi kappale suodatinkangasta.

Taulukko 5. Rinnakkaisnäytteiden tulokset (kuitua/cm²) ksyleeniliuotus- ja vesihuuhtelumenetelmällä.

Menetelmä/Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Keskiarvo
Ksyleeniliuotus	0,4	1,8	2,2	2,2	4,1	3,8	1,8	1,8	1,7	1,7	2,1
Vesihuuhtelu	0,7	2,9	2,3	1,9	4,2	1,7	2,0	1,2	0,7	2,2	2,0

Mitatun ilmamäärän ja suodattimen pinta-alan avulla pystytään laskemaan keskimääräinen kuitupitoisuus tuloilmassa seuraavasti:

$$C_v = \frac{1000 \cdot C_A \cdot A}{\sum_i (q_{si} \cdot T_i)}, \quad (2)$$

jossa	C_V on	kuitupitoisuus tuloilmassa [kuitua/m ³]
	C_A	kuitujen lukumäärä polypropyleenisuodattimen pinta- alaysikköä kohti [kuitua/cm ²]
	A	suodattimen poikkipinta-ala [cm ²]
	q_{si}	tuloilman tilavuusvirta ilmanvaihtokoneen teholla i , kun suoda- tin on käytössä [dm ³ /s]
	T_i	mittausaika, kun tilavuusvirta on q_{si} [s].

Keskimääräinen kuitupäästö yhden venttiilin kautta mittauksen aikana voidaan laskea seuraavasti:

$$s(\text{mit}) = 3,6 \cdot C_V \cdot \frac{\sum_i (q_{si} \cdot T_i)}{\sum_i T_i}, \quad (3)$$

jossa	$s(\text{mit})$ on	mitattu kuitupäästö yhden venttiilin kautta [kuitua/h]
	C_V	kuitupitoisuus tuloilmassa [kuitua/m ³]
	q_{si}	tuloilman tilavuusvirta ilmanvaihtokoneen teholla i , kun suoda- tin on käytössä [dm ³ /s]
	T_i	mittausaika, kun tilavuusvirta on q_{si} [s].

Kun oletetaan kuitupitoisuuden pysyvän vakiona eri tilavuusvirroilla, voidaan yhtälön (3) kuitupäästö muuntaa vastaamaan todellista tilannetta ilman suodatinta seuraavasti:

$$s(\text{tod}) = 3,6 \cdot C_V \cdot \frac{\sum_i (q_i \cdot T_i)}{\sum_i T_i}, \quad (4)$$

tai

$$s(\text{tod}) = s(\text{mit}) \cdot \frac{\sum_i (q_i \cdot T_i)}{\sum_i (q_{si} \cdot T_i)}, \quad (5)$$

jossa	$s(\text{tod})$ on	todellinen kuitupäästö yhdestä venttiilistä [kuitua/h]
	C_V	kuitupitoisuus tuloilmassa [kuitua/m ³]
	q_i	tuloilman tilavuusvirta ilmanvaihtokoneen teholla i , kun suoda- tin ei ole käytössä [dm ³ /s]
	q_{si}	tuloilman tilavuusvirta ilmanvaihtokoneen teholla i , kun suoda- tin on käytössä [dm ³ /s]
	T_i	mittausaika, kun tilavuusvirta on q_{si} [s]
	$s(\text{mit})$	mitattu kuitupäästö yhdestä venttiilistä [kuitua/s].

4.3.4 Materiaalinäytteet

Kohteista kerättiin myös materiaalinäytteitä akustiikkalevyistä, ilmanvaihtokonehuoneiden eristeistä, kanavaeristeistä ja lämmöneristeistä. Näytteiden avulla pyrittiin selvittämään ja tunnistamaan huonetiloista ja kanavasta löytyvän kuitupölyn lähteet. Näytteet analysoitiin pyyhkäisyelektronimikroskoopin (SEM) ja EDS-analysaattorin avulla.

4.4 Kenttämittausten tulokset

4.4.1 Pintapölynäytteet

Taulukossa 6 on esitetty rakennuskohtaiset geeliteippinäytteiden tulokset laskeumapölynäytteistä, joissa pölyn laskeuma-aikaa ei tiedetä (ns. vanha pöly). Tuloilmakanavan näytteet on osaksi otettu huoneessa olevasta tuloilmaelimestä, osaksi kanavasta.

Taulukko 6. Teollisten mineraalikuitujen (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) rakennuskohtaisten kuitutiheyksien vaihteluvälit teippinäytteissä. N = näytteiden lukumäärä.

Rakennus		Näytteenottoaika	Kuitutiheys, kuitujen pituus $>20 \mu\text{m}$ (kuitua/cm ²)	
			N	Laskeuma-aika ei tiedossa
1	Koulu	Tuloilmakanava	5	3,1–5,4
		Huonepinta	7	0,3–1,8
2	Toimisto	Tuloilmakanava	2	1,9–2,6
		Huonepinta	5	< 0,1–2,8
3	Toimisto	Tuloilmakanava	--	
		Huonepinta	7	< 0,1–2,7
4	Laboratoriorakennus	Tuloilmakanava	--	
		Huonepinta	3	0,1–2,1
5	Toimisto	Tuloilmakanava	2	1,5–5,5
		Huonepinta	4	0,1–0,6
6	Kirjasto	Tuloilmakanava	1	24,2
		Huonepinta	6	< 0,1–6,1
7	Toimisto	Tuloilmakanava	1	29,0
		Huonepinta	9	< 0,1–0,6
8	Päiväkoti	Tuloilmakanava	--	
		Huonepinta	5	0,1–0,7
9	Monitoimitalo	Tuloilmakanava	--	
		Huonepinta	3	1,2–14,9
10	Toimisto	Tuloilmakanava	--	
		Huonepinta	4	0,1–1,9
	yhteensä	Tuloilmakanava	11	1,5–29,0
		Huonepinta	53	< 0,1–14,9

Näissä näytteissä, joissa pölyn kertymäaikaa ei tiedetty, huonepintojen kuitutiheydet vaihtelivat välillä $< 0,1\text{--}14,9$ kuitua/cm². Tuloilmakanavissa ja -elimissä kuitutiheydet olivat $1,5\text{--}29,0$ kuitua/cm². Koska tuntemattoman keräysajan näytteistä oli vaikeaa tehdä johtopäätöksiä pölypäästön lähteestä ja sen suuruuden merkityksestä, päädyttiin kokeilemaan kontrolloitua pölykertymää, jossa pinnat puhdistettiin yksi tai kaksi viikkoa ennen mittausta ja näytteenkeräysalue merkittiin siivouksen estämiseksi, kuva 24.



Kuva 24. Kahden viikon kuitukertymän mittaus.

Taulukossa 7 on esitetty kahden viikon (14 vrk:n) kertymänäytteiden tulokset rakennuskohtaisesti. Useiden kohteiden huonepinnoilla mineraalikulujen pintatiheys ylitti arvon $0,2$ kuitua/cm². Pintatiheys oli oletetusti suurempi ilmanvaihtokanavan sisältä otetuissa näytteissä kuin huonepinnoilla. Laskeumanäytteissä näytteenottoaika oli 1–14 vuorokautta.

Taulukko 7. Teollisten mineraalikuitujen (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) pintatiheyden ja laskeutumiskeuhon vaihteluvälit laskeumanäytteissä (14 vrk). N = näytteiden lukumäärä.

Rakennus		Näytteenottoaika	Kuitutiheys, kuitujen pituus $>20 \mu\text{m}$ (kuitua/cm ²)		
			N	Laskeuma 14 vrk (kuitua/cm ² /14 vrk)	Laskeuma 1 vrk (kuitua/cm ² /vrk)
2	Toimisto	Tuloilmakanava Huonepinta	-- 2*	< 0,1–0,2	< 0,1
3	Toimisto	Tuloilmakanava Huonepinta	4 4	0,6–2,4 < 0,1–0,1	< 0,1–0,2 < 0,1
4	Laboratoriorakennus	Tuloilmakanava Huonepinta	3* 7*	1,4–23,8 0,1–2,6	0,1–1,7 < 0,1–0,2
5	Toimisto	Tuloilmakanava Huonepinta	-- 4	< 0,1	< 0,1
6	Kirjasto	Tuloilmakanava Huonepinta	1 3	24,4 < 0,1–0,3	1,7 < 0,1
7	Toimisto	Tuloilmakanava Huonepinta	1 6	50,0 0,1–1,1	3,6 < 0,1
8	Päiväkoti	Tuloilmakanava Huonepinta	-- 3	0,2–0,4	< 0,1
9	Monitoimitalo	Tuloilmakanava Huonepinta	-- 3	0,1–0,5	< 0,1
10	Toimisto	Tuloilmakanava Huonepinta	-- 3	0,2–0,7	< 0,1
	yhteensä	Tuloilmakanava Huonepinta	12 43	0,6–50,0 < 0,1–2,6	< 0,1–3,6 < 0,1–0,2

*) Pölyn kertymisaika on ollut muu kuin 14 vuorokautta. Tulos on laskennallisesti muunnettu vastaamaan 14 vuorokauden kertymää.

Huonepinnoilla kuitutiheydet vaihtelivat 14 vuorokauden kertymänäytteissä välillä $< 0,1\text{--}2,6$ kuitua/cm². Tuloilmakanavanäytteet otettiin osaksi huoneesta olevasta tuloilmalimestä, osaksi varsinaisesta kanavasta. Tuloilmakanavanäytteissä 2 viikon kuitutiheydet olivat välillä $0,6\text{--}50,0$ kuitua/cm².

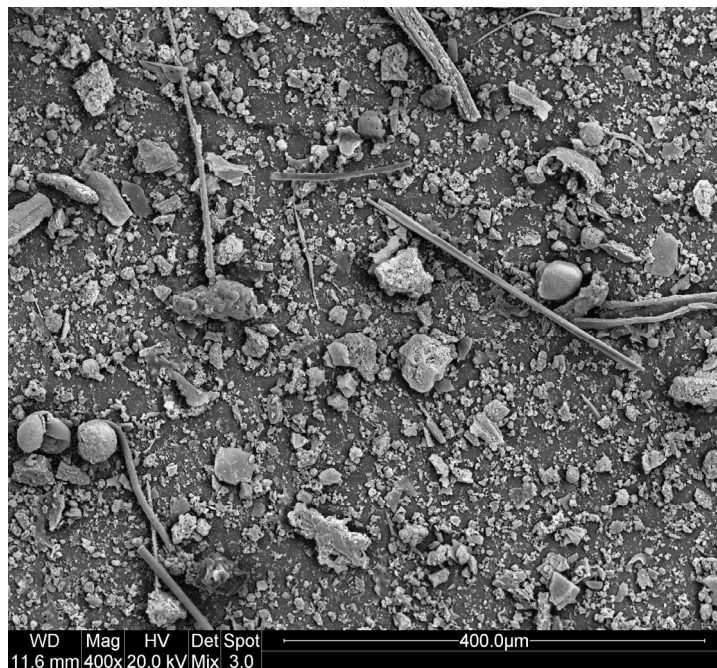
Tutkimuksessa kehitetty menetelmä huonepintojen kuitumittaukseen 2 viikon laskeutuneesta pölystä geeliteippinäytteiden mikroskooppianalyysillä soveltuu hyvin esimerkiksi toimistorakennusten sisäilmastoselvityksiin. Menetelmä antaa kvantitatiivisia tuloksia, ja saatuja tuloksia voidaan verrata esitettyyn ohjearvoon. Ilmanvaihtokanavien kuiduille ohjearvon antaminen on vaikeampaa.

Pintapölynäytteistä tehtiin myös noin 60 elektronimikroskooppianalyysia, joissa tuloksena saatiin kvalitatiivinen kuvaus pölyn laadusta ja koostumuksesta. Noin 30 materiaalinäytteestä tehtiin myös elektronimikroskooppinen analyysi. Analyysin avulla pystyttiin usein myös päättämään kuitulähde vertaamalla kohteesta otettuja materiaalinäytteitä. Taulukossa 8 on esitetty esimerkkinä kohteen 6 analyysi.

Taulukko 8. Elektronimikroskooppinen analyysi kohteen 6 pintapölystä ja eristeestä.

Näyte	Pintapölynäytteet	Pölyn/materiaalin laatu	Teolliset mineraalikuidut
1	Kirjastosali, pöly hyllyn päällä	Tavanomaista, pääasiassa tekstiili- ja paperikuiduista koostuvaa huonepölyä sekä kiviaines- ja kalkkilaastipölyä	Kivivillaa 1–2 %
2	Kirjastosali, pöly tuloilmakanavassa	Pääasiassa kalkkilaastipölyä sekä lisäksi karkeita ulkoilman hiukkasia (kiviaines ja havupuiden siitepöly) sekä lentotuhkaa ja rauta-sinkkipölyä	Kivivillaa ja vähäisessä määrin lasivillaa yht. 20 %
	Materiaalinäytteet	Materiaalin laatu	
3	Ilmanvaihtokoneen äänenvaimennin	Kivivillaa	Alkuainekoostumukseltaan identtinen pintapölynäytteiden 1 ja 2 kanssa
4	Työhuone, alakaton eriste	Kivivillaa	

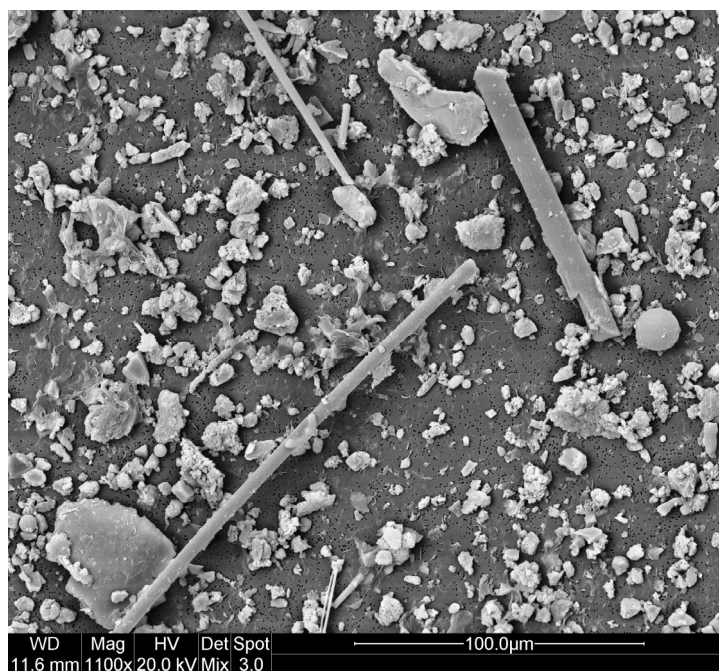
Kuvissa 25–28 on esitetty eri kohteista otettujen näytteiden SEM-kuvia.



Kuva 25. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva (SEM) tuloilmakanavan pölystä kohteessa 6. Pöly koostuu pääasiassa kalkkilaastista sekä karkeista ulkoilman hiukkasista (kiviaines, siitepöly). Kuvassa on myös karkeita teollisia mineraalikuituja.



Kuva 26. SEM-kuva huonepölystä kohteessa 4. Kuvassa näkyy tekstiili- ja paperikuituja sekä kiviaineshiukkasia. Pyöreät sileäpintaiset kuidut ovat teollisia mineraalikuituja.



Kuva 27. SEM-kuva tuloilmakanavan pölystä kohteessa 10 Helsingin keskustassa. Pöly koostuu pääasiassa katupölystä (kiviaines). Kuvassa on myös karkeita teollisia mineraalikuituja.



Kuva 28. SEM-kuva tuloilmakanavan pölystä kohteessa 7. Pöly koostuu pääasiassa karkeista teollisista mineraalikuuduista ja karkeasta ulkoilman pölystä (siitepöly, kiviaines).

4.4.2 Ilmanäytteet

Sisäilman ja tuloilman kuitupitoisuus sekä pölyn laatu

Sisäilmanäytteitä kerättiin jokaisesta mittauskohteesta hengitysvyöhykekorkeudelta sekä ilmanvaihtokanavien kohdalta, kuvat 29 ja 30. Näytteitä kerättiin yhteensä 62 kpl. Kuitupitoisuudet olivat alle mittausmenetelmän määrittämissä rajoissa (yli 5 μm pituiset kuidut) kaikissa tutkituissa 10 rakennuksessa. Tulokset ovat tavanomaisia sisäilmamittauksissa, sillä suuren kokonsa takia eristekuidut laskeutuvat nopeasti pinnoille ja niiden keräytyminen näytesuodattimille sisäilmamittauksissa on epätodennäköistä.



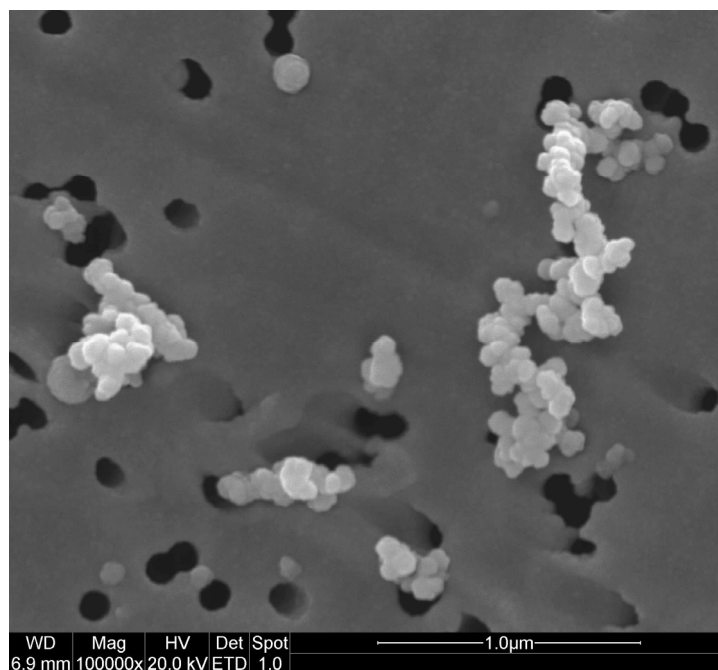
Kuva 29. Ilmanäyte hengitysvyöhykkekorkeudelta.



Kuva 30. Ilmanäyte tuloilmaelimen kohdalta.

Elektronimikroskooppisen tarkastelun perusteella toimistotyyppisten rakennusten pöly oli usein pääasiassa halkaisijaltaan alle $0,5 \mu\text{m}$ olevista palamisjätehiukkasista tai näiden hiukkasten kasaumista. Yksittäiset suuremmat hiukkaset olivat pääasiassa tekstiili-, paperi- ja hilsehiukkasia. Lisäksi monissa kohteissa, etenkin uusissa viime aikoina korjatuissa rakennuksissa, näytteistä löytyi myös kalkkilaasti- ja kiviaineshiukkasia.

Vilkaasti liikennöidyillä paikoilla sijaitsevilla rakennuksissa ilmanäytteet koostuivat halkaisijaltaan usein selvästi alle $0,5 \mu\text{m}$ olevista hiukkasista ja näiden kasaumista (noki, dieselhuuru), kuva 31. Osa suuremmista mineraalihiukkasista oli myös tiesuolan tahrinamia.



Kuva 31. SEM-kuva ilmanäytteestä kohteessa 10, joka on toimisto Helsingin keskustassa. Kuvassa näkyvät vaaleat partikkelit ovat nokihiukkasia.

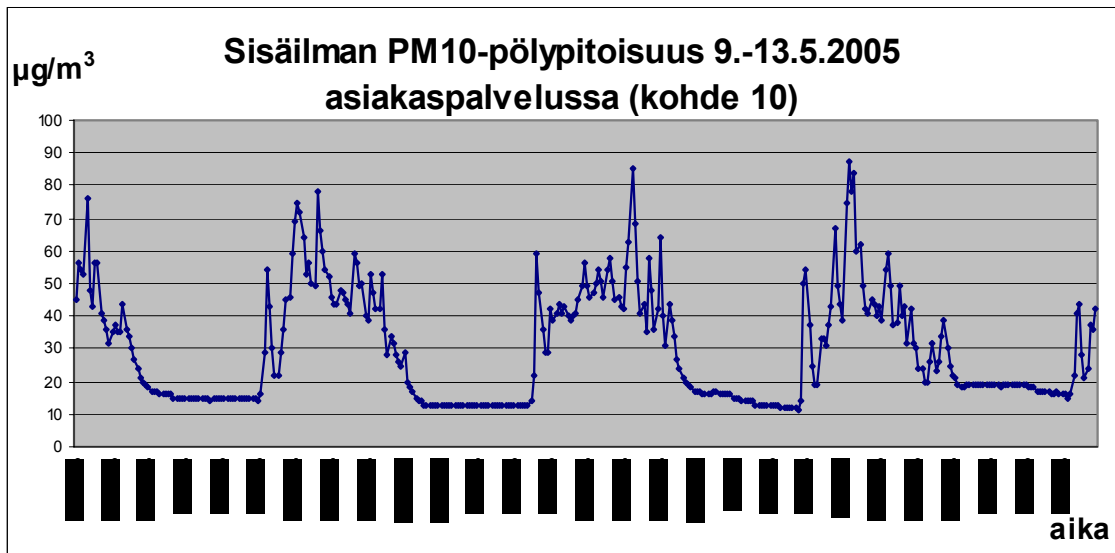
Sisäilman massapitoisuus PM₁₀

Sisäilman massamääräistä hiukkaspitoisuutta PM₁₀ mitattiin kaikissa tutkituissa rakennuksissa. Taulukossa 9 on esitetty sisäilman PM₁₀-pitoisuuksien keskiarvojen vaihteluvälit. Yksityiskohtaiset tulokset hiukkaspitoisuusmittauksista on esitetty liitteessä A.

Taulukko 9. Sisäilman PM₁₀-hiukkaspitoisuudet tutkituissa kohteissa.

Mittauskohde	PM ₁₀ (μg/m ³)	
	Tutkitut tilat (N)	Keskiarvo
Kohde 1, koulu	3	16–59
Kohde 2, toimisto	2	16–25
Kohde 3, toimisto	3	13–33
Kohde 4, laboratoriorakennus	3	4–9
Kohde 5, toimisto	2	3
Kohde 6, kirjasto	3	1–20
Kohde 7, toimisto	5	14–39
Kohde 8, päiväkot	3	35–40
Kohde 9, monitoimitalo	3	24–28
Kohde 10, toimisto	5	0–30

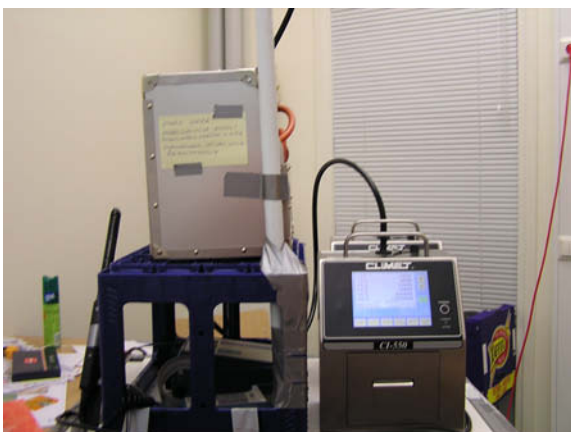
Sisäilman keskimääräinen PM₁₀-hiukkaspitoisuus vaihteli tutkituissa rakennuksissa välillä 1–59 µg/m³ (yksittäisten mittausjaksojen vaihteluväli oli 0–158 µg/m³). Kuvassa 32 on esitetty esimerkkinä sisäilman PM₁₀-hiukkaspitoisuus ajan funktiona kohteen 10 asiakaspalvelutilassa. Kuvassa on havaittavissa asiakkaiden aiheuttama ajallinen vaihtelu.



Kuva 32. Sisäilman PM₁₀-hiukkaspitoisuus kohteessa 10.

Sisäilman ja tuloilman hiukkaspitoisuus

Sisäilman hiukkasten lukumääräpitoisuutta mitattiin jokaisessa mittauskohteessa sisäilmasta, kuva 33, ja tuloilmasta ilmanvaihtokanavan kohdalta, kuva 34.



Kuva 33. Hiukkaspitoisuuden mittaaminen sisäilmasta.



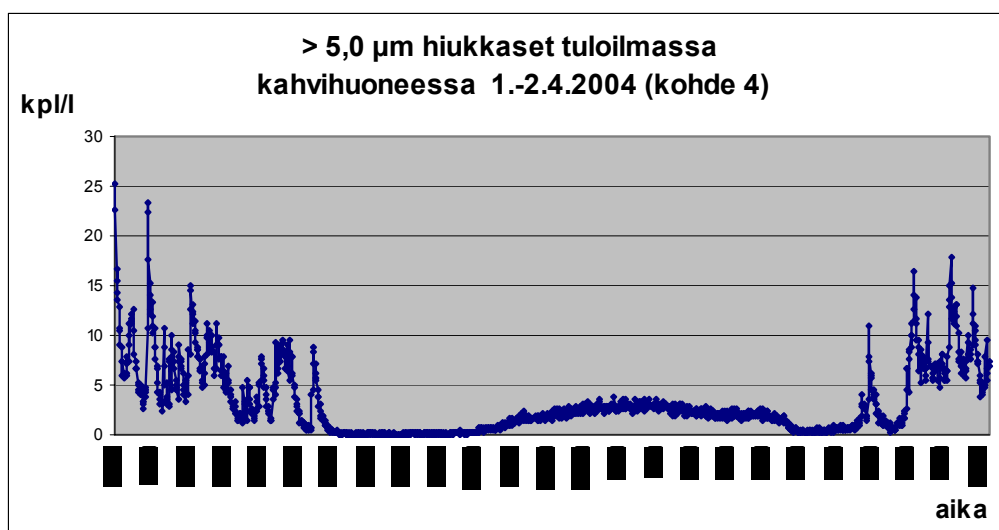
Kuva 34. Hiukkaspitoisuuden mittaaminen tuloilmaelimen kohdalta.

Taulukossa 10 on esitetty yhteenveto hiukkaspitoisuuksista (kpl/dm³) rakennuskohtaisesti. Yksityiskohtaiset tulokset hiukkasmittauksista on esitetty liitteessä B.

Taulukko 10. Hiukkasten lukumääräpitoisuus sisäilmassa ja tuloilmassa eri rakennuksissa.

Mittauskohde	Mittaukset N	Sisäilma (kpl/dm ³) Keskiarvo		Tuloilma (kpl/dm ³) Keskiarvo	
		> 0,5 µm	> 5 µm	> 0,5 µm	> 5 µm
Kohde 1, koulu	2	1870–2090	23–39	1690–2540	3–5
Kohde 2, toimisto	4	1590–5700	1–12	1660–6600	1–4
Kohde 3, toimisto	5	1350–3100	14–42	765–2140	0–9
Kohde 4, laboratoriorakennus	6	530–1100	11–47	360–1230	1–19
Kohde 5, toimisto	3	190–240	2–9	110–230	0–1
Kohde 6, kirjasto	4	420–700	5–10	440–630	1–2
Kohde 7, toimisto	5	840–3700	0–19	1100–4200	0–12
Kohde 8, päiväkot	3	3800–4500	2–12	4500–6000	1–5
Kohde 9, monitoimitalo	3	2100–2800	3–31	2400–3000	1–15
Kohde 10, toimisto	4	1100–2300	9–42	1070–2100	3–11

Pienten (> 0,5 µm) hiukkasten keskimääräiset pitoisuudet vaihtelivat tutkittavien rakennusten sisäilmassa välillä 190–5700 kpl/dm³ ja suurempien (> 5 µm) välillä 0–47 kpl/dm³. Tuloilmassa keskimääräiset hiukkaspitoisuudet vaihtelivat pienillä (> 0,5 µm) hiukkasilla välillä 110–6600 kpl/dm³ ja suuremmilla (> 5 µm) hiukkasilla 0–19 kpl/dm³. Kuvassa 35 on esimerkkinä esitetty suurten hiukkasten (> 5 µm) hiukkaspitoisuus ajan funktiona rakennuksen 4 kahvihuoneessa. Kuvaajassa on havaittavissa hiukkaspitoisuuden vaihtelu ilmanvaihtokoneen käynnistyksen ja sammutuksen yhteydessä. Ilmanvaihtokone on toiminnassa täydellä teholla klo 06–21.



Kuva 35. Suurten hiukkasten (> 5,0 µm) hiukkaspitoisuus tuloilmassa rakennuksen 4 kahvihuoneessa.

Huoneilman lämpöolosuhteet, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuus

Sisäilman lämpöolosuhteita, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuutta mitattiin suoraanosoittavilla mittareilla rakennuksissa 1–7 ja 9–10. Taulukossa 11 on esitetty mittaus-
ten keskiarvot rakennuskohtaisesti. Yksityiskohtaisemmat tulokset on esitetty liitteessä C.

Taulukko 11. Lämpöolosuhteet sekä CO₂- ja CO-pitoisuus rakennuksissa 1–7 ja 9–10.

Mittauskohde	Mittaus- kohteet N	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteel- linen kosteus (%)	CO ₂ - pitoisuus (ppm)	CO- pitoisuus (ppm)
		Keskiarvo	Keskiarvo	Keskiarvo	Keskiarvo
Kohde 1, koulu	3	20–22	27–33	400–430	0–1
Kohde 2, toimisto	2	22–23	17–19	390–550	1
Kohde 3, toimisto	2	24–25	20–25	450–680	1–3
Kohde 4, laboratoriora- kennus	3	23–27	15–17	370–710	1
Kohde 5, toimisto	2	24–25	28–30	390–450	0–1
Kohde 6, kirjasto	3	24–25	36–56	440–470	1–3
Kohde 7, toimisto	5	21–22	18–22	420–730	1–2
Kohde 9, monitoimitalo	3	23–25	16–20	480–770	1
Kohde 10, toimisto	5	24–26	23–27	440–630	1–2

Tutkittavien rakennusten keskimääräinen ilman lämpötila vaihteli välillä 20–27 °C ja suhteellinen kosteus välillä 15–56 %. Tilojen keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus (CO₂) vaihteli välillä 370–770 ppm ja hiilimonoksidipitoisuus (CO) välillä 0–3 ppm.

Tilojen korkeahko lämpötila ja alhainen suhteellinen kosteus saattavat lisätä työntekijöiden ärsytysoireita talviaikana. Suositeltava talvilämpötila on 21–22 °C ja suhteellinen kosteus 25–45 %.

Kohteessa 8 mitattiin hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuutta suoraanosoittavilla mittareilla ja ilman lämpötilaa lämpötilaloggereilla noin 2 viikon ajan. Lisäksi kaksi loggeria mittasi myös ilman suhteellista kosteutta. Taulukoissa 12 ja 13 on esitetty mittaus-
tulokset rakennuksessa 8.

Taulukko 12. Sisäilman hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuus rakennuksessa 8.

Mittauskohde	Mittausaika	CO ₂ -pitoisuus (ppm)	CO-pitoisuus (ppm)
Ryhmätila 1	21.2.2005 klo 9.54–11.06	646 (595–844)	1 (1–1)
Ryhmätila 2	21.2.2005 klo 11.49–13.10	623 (503–932)	1 (1–1)
Ryhmätila 3	21.2.2005 klo 15.35– 25.2.2005 klo 8.35	459 (437– 878)	1 (1–1)

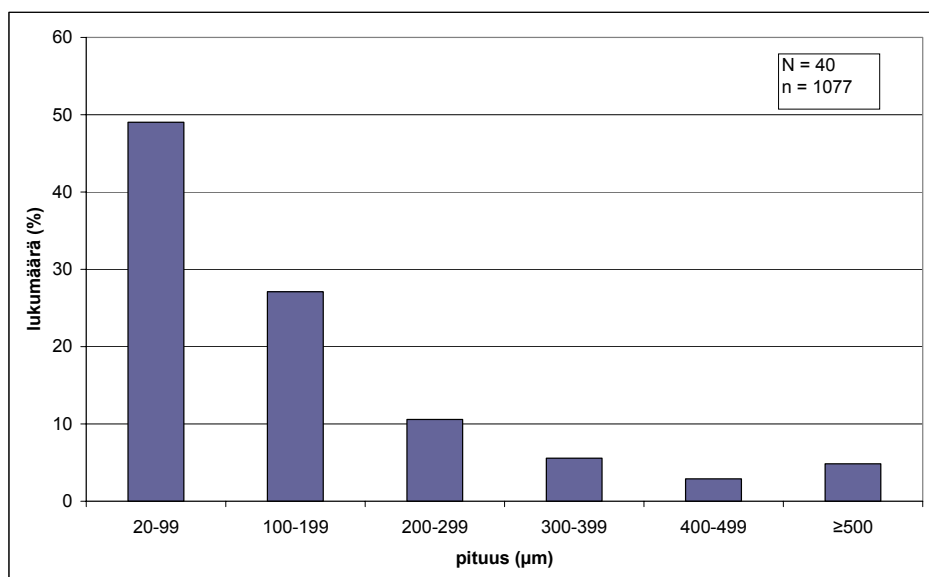
Taulukko 13. Sisäilman lämpöolosuhteet rakennuksessa 8.

Mittauskohde	Mittausaika	Ilman lämpötila (°C)	Ilman suhteellinen kosteus (%)
Ryhmätila 1	21.2.2005 klo 9.45– 8.3.2005 klo 9.30	23 (13–24)	9 (3–26)
Ryhmätila 2a	21.2.2005 klo 12.49– 8.3.2005 klo 9.34	25 (15–26)	--
Ryhmätila 2b	23.2.2005 klo 15.35– 8.3.2005 klo 8.35	23 (12–24)	--
Ryhmätila 3	21.2.2005 klo 15.35– 8.3.2005 klo 8.35	21 (14–25)	9 (4–26)

Kohteen 8 tutkittujen tilojen ilman keskimääräinen lämpötila oli 21–25 °C ja suhteellinen kosteus hyvin matala, vain 9 %. Tilojen keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus (CO₂) vaihteli välillä 459–646 ppm. Hiilimonoksidipitoisuus (CO) oli pieni, vain 1 ppm.

4.4.3 Tuloilman kuitupitoisuus

Tuloilman kuitupitoisuutta mitattiin kohdassa 4.3.3 esitetyllä suodatinmenetelmällä. Tarkasteluun otettiin tällöin vain kuidut, joiden pituus oli yli 20 µm. Kuvassa 36 on esitetty mitattujen kuitujen pituusjakauma. Teollisten mineraalikuitujen pituudet suodatinkangasnäytteissä vaihtelivat välillä 20–4 000 µm. Pituusjakaumakuvassa ei ole mukana nollanäytteistä löytyneiden kuitujen pituuksia.



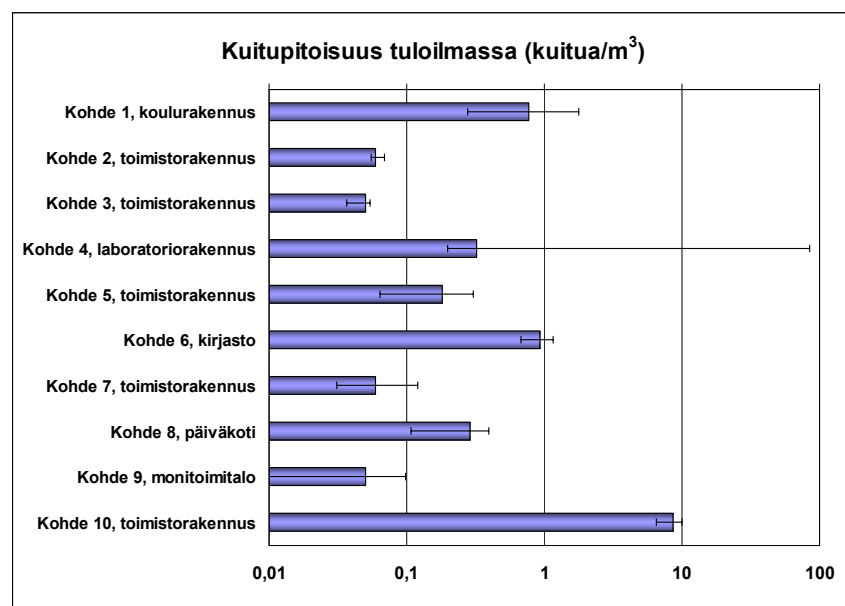
Kuva 36. Teollisten mineraalikuitujen (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) pituusjakauma suodatinkangasnäytteissä. N = näytteiden lukumäärä, n = laskettujen kuitujen lukumäärä. Mediaani = 100 µm.

Taulukossa 14 on esitetty mitatut kuitupitoisuuksien vaihteluvälit tuloilmassa tutkituissa rakennuksissa. Kuvassa 37 on esitetty vastaavat keskiarvot.

Taulukko 14. Tutkittujen kohteiden kuitupitoisuusvaihtelut tuloilmassa.

Mittauskohde	Näytemäärä N	Kuitupitoisuus tuloilmassa (pituus > 20 µm) (kuitua/m ³)
Kohde 1, koulu	9	0,3–1,8
Kohde 2, toimisto	3	< 0,07
Kohde 3, toimisto	5	< 0,06
Kohde 4, laboratoriorakennus	16	0,2–85
Kohde 5, toimisto	2	0,1–0,3
Kohde 6, kirjasto	2	0,7–1,2
Kohde 7, toimisto	3	0,03–0,12
Kohde 8, päiväkot	3	0,1–0,4
Kohde 9, monitoimitalo	3	0,01–0,1
Kohde 10, toimisto	3	6,6–10,1
yhteensä	49	0,01–85

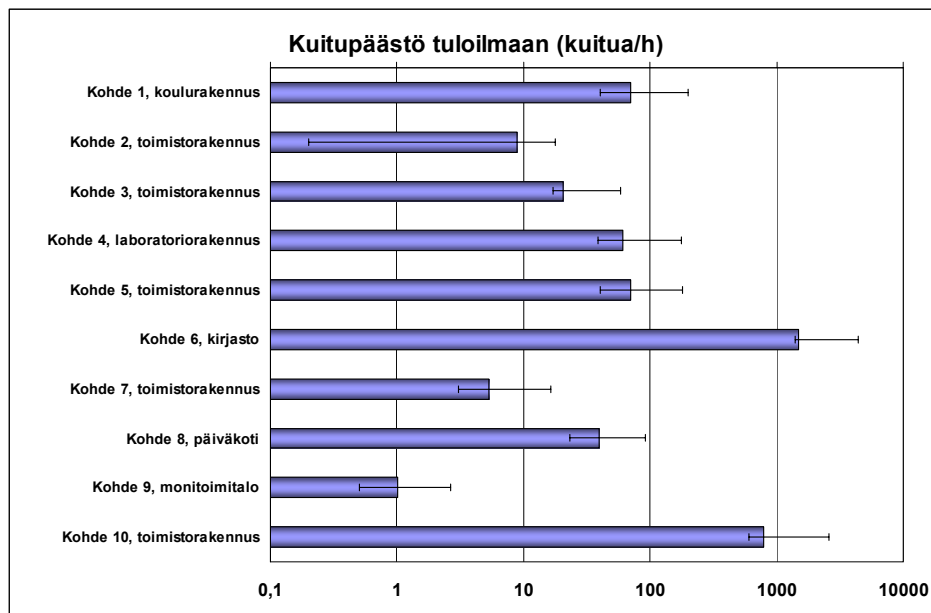
Kuitupitoisuudet (pituus yli 20 µm) kohderakennusten tuloilmassa vaihtelivat välillä 0,01–85 kuitua/m³. Kohteessa 4 mitattu hyvin suuri pitoisuus johtunee muista poikkeavasta mittausmenetelmästä. Siinä kuitupitoisuutta mittaava polypropyleenisuodatin asennettiin alakaton yläpuolella olevan tuloilmakanavan poikki. Tällöin kanavaa oli ensin avattava suodattimen asentamisen vuoksi. Muissa kohteissa suodatin asennettiin tuloilmaelimen päälle tai paikalle. Pitoisuuksia, jotka olivat enemmän kuin 1,0 kuitua/m³ mitattiin neljässä rakennuksessa.



Kuva 37. Eri kohteiden kuitupitoisuuskeskiarvot tuloilmassa. Kuvaan on myös merkitty janoilla vaihteluvälit.

Koska eri kohteissa mittausten hajonta on ollut hyvin erilaista, on kuitupitoisuuksille laskettu painotettu keskiarvo, joka on $0,06$ kuitua/ m^3 .

Vastaavat arvot kuitupäästöille on esitetty kuvassa 38. Päästöt on laskettu luvussa 4.3.3 olevan yhtälön 4 avulla. Tuloksissa on huomioitu myös venttiilien lukumäärä, jolloin on oletettu päästön olleen sama kunkin huoneen venttiilistä.



Kuva 38. Eri kohteiden kuitupitoisuuspäästöjen keskiarvot tuloilmassa. Kuvaan on myös merkitty janoilla vaihteluvälit.

Koska eri kohteissa mittausten hajonta on ollut hyvin erilaista, on kuitupäästöille laskettu painotettu keskiarvo, joka on $7,2$ kuitua/h.

5. Altistuminen

5.1 Altistumisen arviointi

Teollisten mineraalikuitujen osuutta hengitystie-, silmä- ja ihoärsytyksen aiheuttajana ei voida osoittaa suorin menetelmin, ja siksi tässä tutkimuksessa mahdollisia terveysvaikutuksia selvitettiin epäsuorasti kartoittaen kuitualtistusta yksilö- ja rakennuskohtaisesti nenähuuhtelunäytteiden avulla. Näytteitä kerättiin kohderakennuksissa työskenteleviltä henkilöiltä. Näytteenoton yhteydessä tehtiin myös suppea oirekysely ja limakalvojen tarkastus.

Nenähuuhtelunäytteitä kerättiin työntekijöiltä seitsemässä kohteessa. Niissä jokaisessa työterveyshuolto informoi henkilöstöä mahdollisuudesta osallistua tutkimukseen, ja tutkimushenkilöitä pyrittiin saamaan huuhteluun vähintään kymmenkunta kustakin rakennuksesta. Yhteensä tutkittiin 90 henkilöä. Lisäksi kerättiin vertailtavaksi nenähuuhtelunäytteitä yhdeltätoista mineraalivillatehtaan työntekijältä. Näytteitä otettiin kaiken kaikkiaan 110 kpl, joista 9 kpl oli nollanäytteitä.

5.2 Näytteenotto- ja analyysimenetelmät

Nenähuuhtelunäytteenotto suoritettiin pääosin samalla tavalla kuin Paanasen et. al. 2004 tutkimuksessa. Näytteet otettiin keskellä työpäivää. Huuhdeltava istui pää alas taivutettuna ja kumpikin nenäontelo huuhdeltiin erikseen 4,5 ml:lla huoneenlämpöistä (20–22 °C) steriiliä suolaliuosta (9,0 mg/ml). Huuhteluun käytettiin muoviviruisia ja -kateria. Nestettä käytettiin nenäontelossa kolme kertaa vetämällä sitä ruiskun avulla edestakaisin. Saannot arvioitiin ja huuhtelunesteet yhdistettiin muovipurkkiin, joka merkittiin ja pakastettiin. Nollanäytteinä määritettiin yksitoista huuhtelunestenäytettä, jotka käsiteltiin kuten varsinaiset nenähuuhtelunäytteetkin.

Ennen kuituanalyysiä huuhtelunesteen saanto määritettiin punnitsemalla olettaen, että nesteen ominaistiheys on sama kuin veden. Jokaiseen näytepurkkiin lisättiin punnitsemisen jälkeen 100 µl proteaasientsyymiä (10,0 mg/ml) (Proteinase K, Merck & Co., Inc.) mahdollisen kuitulaskentaa hankaloittavan liman hajottamiseksi. Näytepurkit laitettiin lämpökaappiin (55 °C) (Heraeus T6, Kendro Laboratory Products, Germany) entsyymien aktivoimiseksi ja pidettiin siellä noin kaksi tuntia välillä käsin ravistellen. Purkkien annettiin seisoa huoneenlämmössä, kunnes neste oli silmin nähden kirkasta.

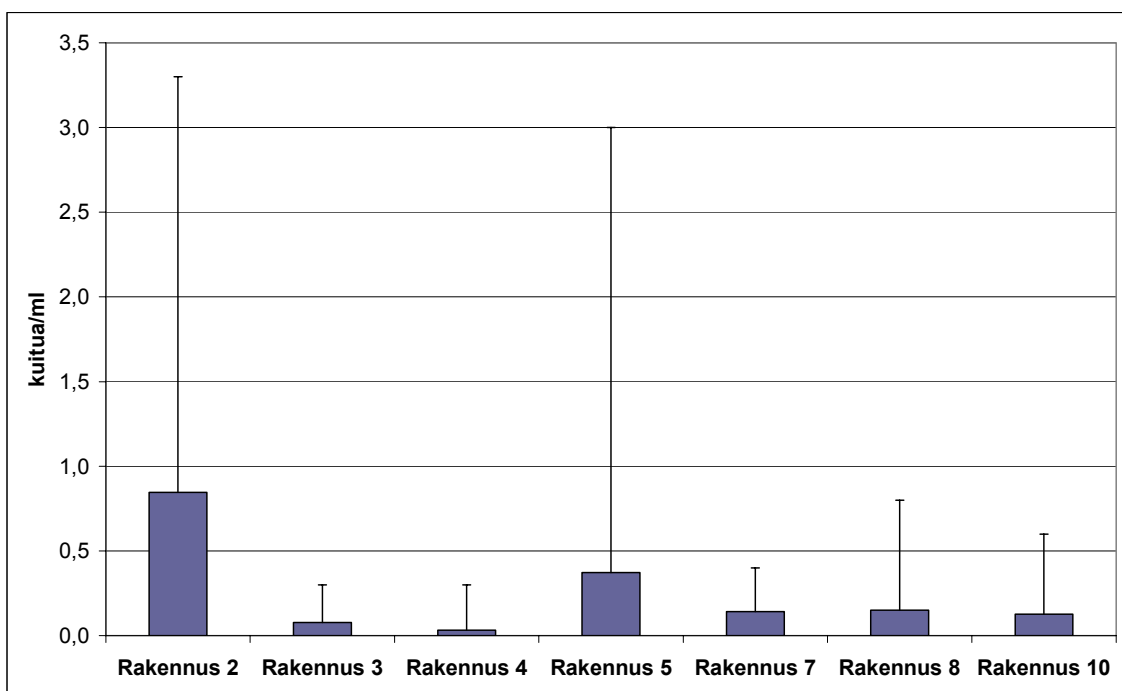
Näytteet suodatettiin selluloosaesterisuodattimille (Millipore 0,8 µm, white gridded AAWG, 25 mm). Suodattimet tehtiin läpinäkyviksi asetonihöyryllä. Teolliset mineraalikulut (pituus ≥ 20 µm) laskettiin faasikontrastioptiikalla varustetulla polarisaatiova-

lomikroskoopilla (Leica DMLP, Germany, suurennos satakertainen). Tulokset esitetään yksikössä kuitua/ml. Näytteen määrittämisrajana on pidetty yhden kuidun löytymistä vastaavaa pitoisuutta suodatetussa nestemäärässä. Koska huuhtelunesteen saanto vaihteli, myös vastaavasti määrittämisraja vaihteli.

Suppealla oirekyselyllä pyrittiin kartoittamaan työpaikkaan mahdollisesti liittyviä hengitystie- ja silmäoireita. Kyselyllä kartoitettiin myös infektioherkkyyttä, allergisuutta yms. Tutkimusasetelmasta johtuen vastauksissa tuli esiin sisäilmatutkimuksille tavanomaisia oireita. Kysymyksillä viime päivien mahdollisesta työskentelystä tai oleskelusta pölyisissä tiloissa esim. rakennustyömaalla tai varastotiloissa kartoitettiin altistumista työpaikan ja kodin ulkopuolella. Näistä kysymyksistä ei paljastunut selittäviä tekijöitä mitatuille kuitupitoisuuksille. Tupakointitiedot kirjattiin.

5.3 Mineraalikuitujen pitoisuus nenähuuhtelunäytteissä

Kuvassa 39 ja taulukossa 15 on esitetty teollisten mineraalikuitujen (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) rakennuskohtaiset keskiarvopitoisuudet sekä suurimmat mitatut kuitupitoisuudet nenähuuhtelunäytteissä. Kuvassa ei ole mukana nollanäytteitä.



Kuva 39. Teollisten mineraalikuitujen (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) rakennuskohtaiset keskiarvopitoisuudet. Janalla on merkitty suurin mitattu pitoisuus (kaikissa kohteissa pienin oli 0).

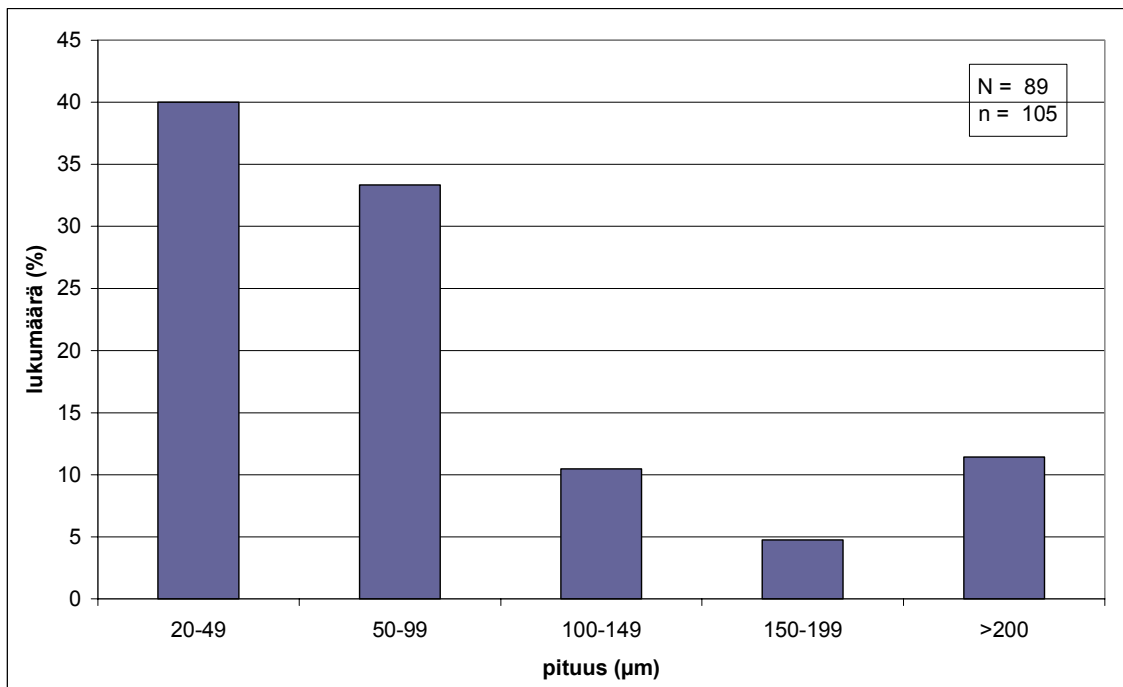
Nenähuuhtelunäytteiden saanto vaihteli välillä 3,5–8,1 ml. Määritysraja vaihteli välillä 0,1–0,3 kuitua/ml. Nollanäytteissä (N = 8) kuitupitoisuuden keskiarvo oli 0,2 kuitua/ml (vaihteluväli 0–1,5 kuitua/ml).

Nenähuuhtelunäytteiden kuitupitoisuudet olivat pieniä. Rakennusten 2 ja 5 keskiarvopitoisuudet ylittivät määritysrajan.

Taulukko 15. Teollisten mineraalikuitujen (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) rakennuskohtaiset keskiarvopitoisuudet.

	Rakennus 2	Rakennus 3	Rakennus 4	Rakennus 5	Rakennus 7	Rakennus 8	Rakennus 10
Keskiarvo	0,8	0,1	0,03	0,4	0,1	0,2	0,1
Mediaani	0,4	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
Keskihajonta	1,0	0,1	0,1	0,9	0,1	0,2	0,2
Tutkittuja henkilöitä	11	9	21	11	12	14	11
Nollatulosten määrä, %	9	56	76	36	42	36	55

Kuvassa 40 on esitetty kuitujen pituusjakauma nenähuuhtelunäytteissä. Kuvassa ei ole mukana nollanäytteitä.



Kuva 40. Teollisten mineraalikuitujen (pituus $\geq 20 \mu\text{m}$) pituusjakauma nenähuuhtelunäytteissä. N = näytteiden lukumäärä, n = laskettujen kuitujen lukumäärä. Mediaani = 60 μm .

Teollisten mineraalikuitujen pituudet nenähuuhtelunäytteissä vaihtelivat välillä 20–700 µm. Kuitujen paksuus oli tyypillisesti 5–10 µm.

Vertailun vuoksi otettiin nenähuuhtelunäytteitä myös lasivillatehtaalla, jossa kuitupitoisuuden voisi olettaa olevan suurempi kuin muissa rakennuksissa. Määritysraja vaihteli välillä 0,1–0,2 kuitua/ml. Saanto villatehtaalta kerätyissä näytteissä vaihteli välillä 4,5–8,1 ml. Laboratorionollan (N = 1) pitoisuus oli 0,1 kuitua/ml. Näytekohtaiset pitoisuudet on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Teollisten mineraalikuitujen näytekohtaiset pitoisuudet lasivillatehtaalta otetuissa nenähuuhtelunäytteissä (yli 20 µm pituiset kuidut).

Näyte	Pitoisuus (kuitua/ml)
1	1,5
2	0,9
3	1,1
4	14,5
5	0,3
6	3,3
7	0,9
8	1150,0
9	10,3
10	19,7
11	3,3
Keskiarvo	109,6

Taulukosta 16 havaitaan, että keskiarvopitoisuus lasivillatehtaan työntekijöiltä kerätyissä nenähuuhtelunäytteissä (N = 11) oli 109,6 kuitua/ml. Yhden näytteen kuitupitoisuus oli erittäin korkea, mutta muiden näytteiden pitoisuudet olivat välillä 0,3–19,7 kuitua/ml.

Nenäsyklin vuoksi normaali nenän toiminta vaihtelee ajallisesti siten, että toinen nenäkäytävä on tietyn ajan avoimempi kuin toinen, ja hengitetty ilmamäärä vaihtelee näin sierainten välillä. Nenässä on usein myös jonkin verran rakenteellista epäsymmetriaa. Nenälimakalvon kosteus ja värekarvatoiminnan tehokkuus nenän puhdistajina vaihtelevat. Tällaisilla seikoilla on vaikutusta nenän limakalvolta mitattaviin kuitupitoisuuksiin. Rakennuksessa 2 mitattiin sierainkohtaiset kuitupitoisuudet erojen selvittämiseksi. Tulokset on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Teollisten mineraalikuitujen sierainkohtaiset pitoisuudet ja yhdistetty arvo rakennuksesta 2 otetuissa näytteissä. Pitoisuus on normitettu kokonaisnestemäärään.

Näyte	Oikea sierain (kuitua/ml)	Vasen sierain (kuitua/ml)	Yhdistetty pitoisuus (kuitua/ml)
1	0,0	0,6	0,3
2	0,0	0,7	0,2
3	0,0	0,0	0,0
4	0,0	5,0	0,9
5	0,8	0,0	0,7
6	0,3	0,0	0,2
7	0,0	5,9	2,2
8	0,4	8,5	3,3
9	0,3	0,5	0,4
10	0,3	0,0	0,2
11	1,2	0,5	0,9

Yhteenvedona voidaan todeta, että nenähuuhtelumenetelmällä määritetyt mineraalivillakuitupitoisuudet olivat tutkituissa rakennuksissa pieniä. Tutkimuksessa voitiin todeta vain hieman yli puolella tutkituista työntekijöistä nenän limakalvolle jääneiden kuitujen määrän ylittävän käytetyn menetelmän määrittämissä rajoissa. Vertailun vuoksi mitattiin nenään jääneiden kuitujen määrää myös lasivillatehtaalla, jossa todettiin noin puolella työntekijöistä pitoisuuksien olevan samaa suuruusluokkaa kuin tutkituissa rakennuksissa työskentelevillä. Muutamilla lasivillatehtaan työntekijöillä pitoisuudet olivat 3–5-kertaiset ja yhdellä työntekijällä 300-kertainen edellisiin verrattuna.

Näytteissä havaituista kuiduista noin kolme neljäsosaa oli pituudeltaan 20–50 µm. Kaikki kuidut olivat halkaisijaltaan yli 5 µm ja olivat näin ollen hyvin havaittavissa valomikroskooppilla.

Altistumisen selvittämiseksi on nenähuuhtelutekniikkaa ja valomikroskooppista kuitumäärittäystä käytetty myös aiemmin vastaavan suuntaisessa hankkeessa (Tuomainen ym. 2003). Näiden kahden tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että huuhtelumenetelmällä voidaan selvittää kuitualtistumista, mutta menetelmän epätarkkuuden takia se ei sovellu pienten kuitupitoisuserojen osoittamiseen, esimerkiksi toimistotyöpaikoilla, eikä yksilötason oire diagnostiikkaan. Tämän tutkimuksen ensimmäisessä huuhtelututkimuskohteessa näytteet analysoitiin ensin sierainkohtaisina. Tulokset sierainten välillä poikkesivat huomattavasti, mikä todennäköisimmin selittyi nenän normaaliin fysiologiaan liittyvillä seikoilla. Näytteenotossa päädyttiin tästä syystä yhdistämään molempien sierainten näytteet.

6. Johtopäätökset

Projektin aikana kehitetyt näytteenotto- ja analyysimenetelmät soveltuvat kuitupäästöjen mittauksiin toimistotyyppisissä rakennuksissa. Tällä tavoin mitattuna suositamme tuloilman kuitupitoisuudelle ohjearvoksi 1 kuitua/m³. Kuitutiheydelle suositamme kahden viikon pölylaskeumassa ohjearvoksi 0,2 kuitua/cm². Ohjearvot ylittävissä pitoisuuksissa on suositeltavaa selvittää kuitulähteet ja mahdollisuudet niiden vähentämiseen.

Uusiksi luokitusrajoiksi kanavaäänenvaimentimille ehdotetaan:

- 0,1 kuitua/m³ 24 h ilmavirtatestissä
- 10 kuitua/m³ täristystestissä
- 0,1 kuitua/m³ 24 h harjauksen jälkeen -testissä.

Ilmanvaihtolaitteiden äänenvaimennusmateriaalit olivat yksi syy kohonneisiin kuitupäästöihin. Eräissä kohteissa työntekijät kärsivät hengitystie- ja iho-oireista.

Nenähuuhtelumenetelmällä määritetyt mineraalivillakuitupitoisuudet olivat tutkituissa rakennuksissa pieniä. Muutamilla lasivillatehtaan työntekijöillä pitoisuudet olivat 3–5-kertaiset ja yhdellä työntekijällä 300-kertainen tutkittuihin työpaikkoihin verrattuna.

Lähdeluettelo

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2002. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Man-Made Vitreous Fibres, Vol. 81, Lyon, Ranska, s. 1–420.

Kolari, S. 2003. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisäilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin. VTT Publications 497, Espoo, s. 1–62.

Lappalainen, S., Riala, R., Tossavainen, A., Salonen, H., Teikari, K., Korhonen, P. & Reijula, K. 2003. Mineraalikuidut sisäilmahaittana. Sisäilmastoseminaari, 2003, SIY Raportti 19, s. 299–302.

Paananen, H., Holopainen, M., Kalliokoski, P., Kangas, J., Kotilainen, M., Pennanen, S., Savolainen, H., Tossavainen, A. & Luoto, K. 2004. Evaluation of exposure to man-made vitreous fibres by nasal lavage. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1, s. 82–87.

Schneider, T. 2001. Synthetic vitreous fibers. Kirjassa: *Indoor Air Quality Handbook*. Toim. Spengler, J., Samet, J. & McGarthy, J. The MacGraw Hill Companies Inc., New York, USA, s. 39.1–39.29.

Schneider, T., Sundell, J., Bischof, W., Bohgard, M., Cherrie, J., Clausen, P., Dreborg, S., Kildeso, J., Kjaergaard, S., Lovik, M., Pasanen, P. & Skyberg, K. 2003. EUROPART. Airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on associations between exposure to particles and health effects. *Indoor Air*, Vol. 13, s. 38–48.

Sisäilmaluokitus 2000. SIY Raportti 5. Sisäilmayhdistys ja Rakennustietosäätiö, Espoo, s. 1–32.

Tolvanen, M. 1992. Äänenvaimennusmateriaaleista irtoavien kuitumaisten epäpuhtauksien määrittäminen. VTT Tiedotteita 1429, Espoo, s. 1–37.

Tuomainen, M., Björkroth, M., Kämppe, R., Mussalo-Rauhamaa, H., Salo, S.-P., Säntti, J., Tuomi, T., Voutilainen, R. & Seppänen, O. 2003. Ilmanvaihtojärjestelmän mineraalikulitusten terveysvaikutukset. Raportti B-76. Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio, Espoo, s. 1–70.

Liite A: Massapitoisuudet kohteiden sisäilmassa

Mittauskohde	Mittausaika	PM ₁₀ µg/m ³	
		keskiarvo	vaihteluväli
Kohde 1, koulu			
luokkahuone	30.10.2003 klo 9.40–14.25	54	46–77
keittiö	30.10.2003 klo 14.35–15.10	59	49–95
opettajanhuone	30.10.2003 klo 15.29–3.11.2003 klo 9.14	24	6–51
- iv ei päällä viikonloppuna	3.11.2003 klo 9.37–7.11.2003 klo 10.37	16	3–69
Kohde 2, toimisto		keskiarvo	vaihteluväli
neuvotteluhuone	9.1.2004 klo 10.20–11.45 ¹⁾	25	20–35
kahvihuone	9.12.2004 klo 12.00–13.45 ¹⁾	16	13–23
¹⁾ Tuloilmaventtiilin moottoripelti kiinni	12.1.2004 klo 8.40–16.1.2004 klo 11.32 ²⁾	22	14–40
³⁾ Tuloilmaventtiilin moottoripelti saatu auki 13.1 klo 10.45			
Kohde 3, toimisto		keskiarvo	vaihteluväli
toimistohuone 1	8.3.2004 klo 9.07–10.37	15	13–20
toimistohuone 2	8.3.2004 klo 11.03–12.33	13	11–17
toimistohuone 3	8.3.2004 klo 13.03–12.3.2004 klo 12.33	33	7–528
Kohde 4, laboratoriorakennus		keskiarvo	vaihteluväli
toimistohuone	30.3.2004 klo 11.40–1.4.2004 klo 9.05	4	2–15
kahvihuone	1.4.2004 klo 9.22–2.4.2004 klo 11.10	9	3–19
taukotila	30.3.2004 klo 16.44–2.4.2004 klo 12.06	4	0–16
Kohde 5, toimisto		keskiarvo	vaihteluväli
avokonttori	31.5.2004 klo 9.55–14.00	3	1–17
toimistohuone	31.5.2004 klo 10.12–3.6.2004 klo 15.00	3	1–17
Kohde 6, kirjasto		keskiarvo	vaihteluväli
kirjastosali	6.9.2004 klo 9.35–10.37	12	8–3
toimistohuone	6.9.2005 klo 10.58–12.15	20	7–24
kahvihuone	6.9.2004 klo 13.00–10.9.2004 klo 13.12	1	0–13
Kohde 7, toimisto		keskiarvo	vaihteluväli
toimistohuone 1	22.11.2004 klo 10.16–11.28	35	26–52
toimistohuone 2	22.11.2004 klo 11.58–13.28	39	34–66
toimistohuone 3	22.11.2004 klo 13.53–15.12	26	19–42
toimistohuone 4	22.11.2004 klo 16.01–24.11.2004 klo 12.01	16	19–30
toimistohuone 5	24.11.2004 klo 12.37–26.11.2004 klo 13.52	14	8–29
Kohde 8, päiväkot		keskiarvo	vaihteluväli
ryhmätila 1	21.2.2005 klo 9.55–10.49	37	35–51
ryhmätila 2	21.2.2005 klo 12.35–12.53	35	32–40
ryhmätila 3	21.2.2005 klo 15.17–25.2.2005 klo 8.17	40	21–110
Kohde 9, monitoimitalo		keskiarvo	vaihteluväli
toimistohuone 1	14.3.2005 klo 9.13–10.30	28	17–45
toimistohuone 2	14.3.2005 klo 12.44–16.3.2005 klo 8.50	25	14–78
toimistohuone 3	16.3.2005 klo 9.13–18.3.2005 klo 8.52	24	17–47
Kohde 10, toimisto		keskiarvo	vaihteluväli
kopiointitila	9.5.2005 klo 9.45–11.22	9	4–19
toimistohuone 1	9.5.2005 klo 11.41–13.30	18	26–158
asiakaspalvelun takahuone	9.5.2005 klo 14.36–11.5.2005 klo 9.40	4	0–30
asiakaspalvelutila	9.5.2005 klo 14.49–13.5.2005 klo 9.44	30	11–87
toimistohuone 2	11.5.2005 klo 11.25–13.5.2005 klo 9.15	0	0–8

Liite B: Lukumääräpitoisuudet kohteiden sisä- ja tuloilmassa

Mittauskohde Kohde 1 koulu	Mittausaika	Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
opettajanhuone	3.11.2003	2088	23	2535	3
	klo 9.40–4.11 klo 9.40	362–4168	0–283	299–5852	0–33
	6.11.2003 klo 9.30– 7.11.2003 klo 10.40	1872 298–4617	39 0–596	1690 334–3992	5 0–67
Kohde 2 toimisto		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
neuvotteluhuone	9.1.2004 klo 10.30–11.45	3125 2539–3972	12 1–41	3020 2393–4108	2 0–8
kahvihuone	9.1.2004	1585	10	1655	4
	klo 12.05–13.47	1465–1702	3–26	1462–1891	1–9
	12.1.2004 klo 9.08– 13.1.2004 klo 13.28	5713 2155–7772	2 0–40	6551 2218–9142	1 0–16
	15.1.2004 klo 8.22– 16.1.2004 klo 11.45	3325 2355–4521	1 0–17	3509 2433–5347	1 0–19
Kohde 3 toimisto		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
toimistohuone 4	9.3.2004 klo 12.26–13.45	1690 1507–2136	42 24–72	765 593–1747	9 0–103
toimistohuone 1	8.3.2004 klo 9.18–10.35	2291 1679–2614	14 3–45	2135 1552–2445	5 1–7
toimistohuone 2	8.3.2004 klo 10.57–12.32	1352 1020–1951	17 6–46	1396 1085–1937	5 2–11
toimistohuone 3	8.3.2004 klo 13.00– 9.3.2004 klo 14.00	3093 ¹⁾ 2560–3963	27 10–50	2140 1350–8169	5 0–134
	11.3.2004 klo 8.21– 12.3.2004 klo 11.43	2965 ²⁾ 2036–4832	17 8–40	1349 586–4693	0 0–16
	¹⁾ mittaukset tehty 8.3.2004 klo 13.00–14.36				
²⁾ mittaukset tehty 12.3.2004 klo 11.49–12.39					
Kohde 4 laboratoriorakennus		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
toimistohuone	30.3.2004	1095	22	--	--
	klo 16.00–16.09	1000–1165	12–30		
	30.3.2004 klo 16.12– 1.4.2004 klo 8.42	--	--	1047 544–2406	1 0–14
	2.4.2004 klo 12.36–12.50	843 659–954	47 37–56	--	--
2.4.2004 klo 12.53–13.06	--	--	923 813–1041	19 12–27	
kahvihuone	30.3.2004	880	16	--	--
	klo 12.20–14.49	783–1147	6–37		
	30.3.2004 klo 12.53–14.03	--	--	636 563–737	10 6–14
1.4.2004 klo 9.23–101.43	699 557–1183	24 7–76	--	--	

	1.4.2004 klo 10.54- 2.4.2004 klo 11.11	--	--	1230 230-6337	3 0-25
taukotila	30.3.2004 klo 14.13-14.23	531 485-596	11 9-13	--	--
	30.3.2004 klo 14.26-15.49	--	--	361 290-576	3 0-26
	2.4.2004 klo 11.32-11.53	811 637-1023	33 18-52	--	--
	2.4.2004 klo 11.53-12.07	--	--	586 51-706	13 7-21
Kohde 5 toimisto		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
avokonttori	31.5.2004 klo 12.00-15.00	218 167-470	9 3-21	108 84-177	0 0-1
toimistohuone	31.5.2004 klo 14.25- 1.6.2004 klo 15.00	238 97-2949	6 0-361	226 --	0 --
	2.6.2004 klo 9.00- 3.6.2004 klo 14.00	185 103-588	2 0-62	177 103-794	0 0-0
Kohde 6 kirjasto		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
kirjastosali	6.9.2004 klo 9.30-10.37	702 591-882	10 3-22	634 --	1 --
toimistohuone	6.9.2004 klo 10.55-12.15	658 579-749	9 3-24	628 573-683	2 1-7
kahvihuone	6.9.2004 klo 12.50- 7.9.2004 klo 13.20	606 136-3052	7 0-88	680 138-6108	2 0-17
	8.9.2004 klo 10.10- 10.9.2004 klo 13.18	424 70-3147	5 0-180	441 50-3507	1 0-50
Kohde 7 toimisto		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
toimistohuone 1	22.11.2004 klo 10.00-11.26	3667 3508-3898	19 13-32	3027 2988-3069	12 11-14
toimistohuone 2	22.11.2004 klo 11.55-13.25	3425 3013-3869	8 1-11	4193 3606-4531	4 1-29
toimistohuone 3	22.11.2004 klo 13.52-15.13	1935 1392-2844	10 2-34	2206 1695-3068	4 1-10
toimistohuone 4	22.11.2004 klo 15.56- 24.11.2004 klo 12.13	835 172-2484	0 0-37	1111 219-3183	0 0-25
toimistohuone 5	24.11.2004 klo 12.34- 26.11.2004 klo 14.00	886 264-2211	3 0-54	1115 320-2612	1 0-13
Kohde 8 päiväkoti		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
ryhmätila 1	21.2.2005 klo 9.33-10.41	4342 3842-5184	11 4-24	4685 4436-4926	2 1-3
ryhmätila 2	21.2.2005 klo 11.32-12.52	3772 3390-4424	12 2-54	4482 4245-4780	5 2-20
ryhmätila 3	21.2.2005 klo 13.28- 25.2.2005 klo 8.25	4497 1788-12348	2 0-70	6057 2392-18762	1 0-38
Kohde 9 monitoimitalo		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm

toimistohuone 1	14.3.2005 klo 9.08–10.30	2785 2613–3005	31 24–42	2977 2830–3133	15 11–18
toimistohuone 2	14.3.2005 klo 12.44– 16.3.2005 klo 8.50	2107 823–7607	13 0–286	2410 1028–7936	7 0–61
toimistohuone 3	16.3.2005 klo 9.13– 18.3.2005 klo 8.52	2203 1159–5375	3 0–107	2666 1490–5989	1 0–30
Kohde 10 toimisto		Sisäilma kpl/l		Tuloilma kpl/l	
		> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm	> 0,5 µm
kopiointitila	9.5.2005 klo 9.45–11.22	1471 1256–1672	22 13–40	1105 1037–1225	7 6–9
toimistohuone 1	9.5.2005 klo 11.41–13.30	2345 1770–3536	42 16–132	2118 1684–2949	11 5–23
asiakaspalvelutilan takahuone	9.5.2005 klo 14.36– 11.5.2005 klo 9.44	1594 390–8460	28 0–323	1436 463–6193	7 0–61
toimistohuone 2	11.5.2005 klo 10.30– 13.5.2005 klo 9.17	1117 515–3162	9 0–72	1069 400–2542	3 0–37

Liite C: Kohteiden lämpöolosuhteet

Mittauskohde	Mittausaika	Lämpötila	Suhteellinen	CO₂	CO
Kohde 1		°C	kosteus %	ppm	ppm
luokkahuone	30.10.2003 klo 9.45–14.25	22 (21–23)	27 (26–31)	420 (381–488)	1 (1–1)
keittiö	30.10.2003 klo 14.35–15.10	20 (20–21)	31 (30–32)	405 (383–565)	0 (0–1)
opettajanhuone	30.10.2003 klo 15.43– 7.11.2003 klo 11.52	22 (22–25)	33 (24–43)	430 (383–1200)	0 (0–1)
Kohde 2		Lämpötila	Suhteellinen	CO₂	CO
toimisto		°C	kosteus %	ppm	ppm
neuvottelutila	9.1.2004 klo 10.30–11.54	22 (22–23)	18 (17–19)	517 (417–645)	1 (1–1)
kahvihuone	9.1.2004 klo 12.05–13.54	23 (22–24)	17 (16–20)	545 (438–638)	1 (1–1)
	12.1.2004 klo 9.12	22	19	391	1
	16.1.2004 klo 11.42	22 (21–23)	19 (13–25)	391 (372–707)	1 (0–1)
Kohde 3		Lämpötila	Suhteellinen	CO₂	CO
toimisto		°C	kosteus %	ppm	ppm
toimistohuone 1	8.3.2004 klo 9.05–10.35	24 (22–25)	25 (22–29)	680 (410–1042)	3 (2–3)
toimistohuone 2	8.3.2004 klo 11.02–12.32	25 (25–25)	22 (20–23)	514 (451–606)	2 (2–2)
toimistohuone 3	8.3.2004 klo 13.02– 12.3.2004 klo 12.32	24 (22–26)	20 (17–24)	454 (372–640)	1 (1–4)
Kohde 4		Lämpötila	Suhteellinen	CO₂	CO
laboratoriorakennus		°C	kosteus %	ppm	ppm
toimistohuone	30.3.2004 klo 16.00– 1.4.2004 klo 9.05	23 (23–26)	17 (11–11)	370 (360–560)	1 (1–1)
	2.4.2004 klo 12.25–13.05	24 (24–24)	16 (16–16)	710 (700–730)	1 (1–1)
kahvihuone	30.3.2004 klo 12.22–14.00	25 (24–25)	22 (21–25)	500 (460–560)	1 (1–1)
	1.4.2004 klo 9.22– 2.4.2004 klo 11.10	24 (23–26)	12 (9–15)	420 (370–670)	1 (1–1)
taukotila	30.3.2004 klo 14.30–15.45	27 (26–27)	16 (15–17)	410 (380–480)	1 (1–1)
	2.4.2004 klo 11.30–12.06	24 (24–24)	15 (15–15)	600 (560–650)	1 (1–1)
Kohde 5		Lämpötila	Suhteellinen	CO₂	CO
toimisto		°C	kosteus %	ppm	ppm
avokonttori	31.5.2004 klo 10.12–15.00	24 (22–24)	30 (28–35)	453 (422–548)	0 (0–0)
toimistohuone	31.5.2004 klo 9.55– 3.6.2004 klo 14.00	25 (23–26)	28 (23–36)	394 (363–671)	1 (1–2)

Kohde 6 kirjasto		Lämpötila °C	Suhteellinen kosteus %	CO₂ ppm	CO ppm
kirjastosali	6.9.2004 klo 9.35–10.37	25 (22–25)	56 (53–69)	443 (423–625)	3 (2–12)
toimistohuone	6.9.2004 klo 10.58–12.15	25 (25–25)	54 (54–55)	469 (45–536)	2 (2–2)
kahvihuone	6.9.2004 klo 13.00 10.9.2004 klo 13.12	24 (24–25)	36 (24–54)	435 (408–606)	1 (1–2)
Kohde 7 toimisto		Lämpötila °C	Suhteellinen kosteus %	CO₂ ppm	CO ppm
toimistohuone 1	22.11.2004 klo 10.11–11.42	22 (20–22)	19 (18–29)	733 (671–1151)	2 (1–2)
toimistohuone 2	22.11.2004 klo 11.53–13.23	22 (22–23)	18 (18–20)	647 (545–844)	2 (2–2)
toimistohuone 3	22.11.2004 klo 13.49–15.08	22 (22–23)	20 (20–21)	593 (516–712)	1 (1–2)
toimistohuone 4	22.11.2004 klo 15.57– 24.11.2004 klo 11.57	21 (20–22)	22 (18–24)	425 (376–768)	1 (0–2)
toimistohuone 5	24.11.2004 klo 13.32 26.11.2004 klo 13.47	21 (20–23)	21 (17–28)	482 (405–863)	1 (0–1)
Kohde 9 monitoimitalo		Lämpötila °C	Suhteellinen kosteus %	CO₂ ppm	CO ppm
toimistohuone 1	14.3.2005 klo 9.13–10.30	25 (20–26)	17 (15–25)	773 (699–1030)	1 (1–1)
toimistohuone 2	14.3.2005 klo 12.44– 16.3.2005 klo 8.50	23 (22–24)	20 (14–26)	718 (425–1640)	1 (1–1)
toimistohuone 3	16.3.2005 klo 9.13– 18.3.2005 klo 8.52	24 (23–25)	16 (12–19)	476 (390–1016)	1 (0–2)
Kohde 10 toimisto		Lämpötila °C	Suhteellinen kosteus %	CO₂ ppm	CO ppm
kopiointitila	9.5.2005 klo 9.45–11.22	24 (25–25)	27 (26–29)	477 (451–574)	2 (2–2)
toimistohuone 1	9.5.2005 klo 11.41–13.30	25 (25–25)	27 (27–28)	628 (571–731)	1 (1–2)
asiakaspalvelutilan takahuone	9.5.2005 klo 14.36– 11.5.2005 klo 9.40	26 (25–27)	24 (19–28)	440 (388–639)	1 (1–3)
asiakaspalvelutila	9.5.2005 klo 14.49– 13.5.2005 klo 9.44	26 (24–28)	23 (18–28)	479 (392–694)	1 (1–2)
toimistohuone 2	11.5.2005 klo 11.25– 13.5.2005 klo 9.15	24 (23–28)	25 (19–28)	468 (404–671)	0 (0–1)

Tekijä(t) Kovanen, Keijo, Heimonen, Ismo, Laamanen, Jarmo, Riala, Riitta, Harju, Riitta, Tuovila, Hanna, Kämpö, Reima, Sääntti, Jaakko, Tuomi, Timo, Salo, Suvi-Päivikki, Voutilainen, Risto & Tossavainen, Antti			
Nimeke Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus			
Tiivistelmä Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt aiheuttavat ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytysoireita varsin yleisesti. Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) ja teollisuuden rahoittamassa ILMI-tutkimushankkeessa tutkittiin vuosina 2003–2005 ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöjä sekä kehitettiin uusia mittaus- ja analysointimenetelmiä ja ohjearvoja. Mittauksia tehtiin sekä laboratoriossa että kenttäkohteissa. Projektin tutkimusosapuolina olivat VTT ja Työterveyslaitos. Lisäksi mukana oli kaksi mineraalivillavalmistajaa, kaksi ilmanvaihtotuotteiden valmistajaa sekä ison kiinteistökannan omistaja. Laboratoriossa tutkittiin projektiin osallistuvien yritysten äänenvaihtajista lähteviä kuitupäästöjä eri menetelmillä (mm. ilmavirran, tärityksen ja harjauksen vaikutus kuitujen irtoamiseen). Irtoavien kuitujen määrää mitattiin Sisäilmastoluokitus 2000:n mukaisesti. Tulosten mukaan kuitupitoisuus ilmavirrassa vaihteli tuotteesta ja menetelmästä riippuen välillä 0,01–3 000 kuitua/m ³ . Hankkeen tulosten perusteella ehdotetaan kanavaäänenvaimentimille uusiksi luokitusrajoiksi: <ul style="list-style-type: none"> • 0,1 kuitua/m³ 24 h ilmavirtatestissä • 10 kuitua/m³ täritystestissä • 0,1 kuitua/m³ 24 h harjauksen jälkeen -testissä. Hankkeen kenttävaiheessa tutkittiin ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöjä ja henkilöiden altistumista hiukkaspäästöille 10 toimistorakennuksessa sekä kehitettiin uusia mittaus- ja analysointimenetelmiä. Huonepinoilla kuitutiheydet olivat välillä < 0,1–14,9 kuitua/cm ² ja 2 viikon kertymänä välillä < 0,1–2,6 kuitua/cm ² . Sisäilman kuitupitoisuudet olivat alle 0,01 kuitua/cm ³ . Tuloilman kuitupitoisuudelle suositetaan ohjearvoksi 1 kuitu/m ³ tutkimuksessa kehitetyllä näytteenotto- ja analysointimenetelmällä määritettynä. Tilojen pölyisyyden arviointiin soveltuva mittaus on kuitutiheys kahden viikon pölylaskeumassa, jolle ohjearvoksi suositetaan huonepinoille 0,2 kuitua/cm ² .			
Avainsanat HVAC ventilation, thermal insulators, mineral wool, fibers, particles, ventilation, particle emissions, exposure, measurement, testing			
ISBN 951-38-6828-1 (nid.) 951-38-6829-X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Projektinumero
Julkaisuaika Marraskuu 2006	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 57 s. + liitt. 6 s.	Hinta B
Projektin nimi ILMI		Toimeksiantaja(t) Tekes	
Yhteystiedot VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. vaihde 020 722 111 Faksi 020 722 7027		Myynti: VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. vaihde 020 722 111 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Kovanen, Keijo, Heimonen, Ismo, Laamanen, Jarmo, Riala, Riitta, Harju, Riitta, Tuovila, Hanna, Kämppe, Reima, Sääntti, Jaakko, Tuomi, Timo, Salo, Suvi-Päivikki, Voutilainen, Risto & Tossavainen, Antti			
Title Particle emissions from HVAC-components Exposure, measurement and product testing			
Abstract Particle emissions from HVAC-components frequently induce irritation in skin, eyes and upper respiratory tracts. In the ILMI-project in 2003–2005 funded by Tekes and industry, particle emissions from HVAC-components were studied and new measurement and analytical methods and limit values were developed. The study consisted of laboratory tests and field sampling. The project was conducted by VTT and Finnish Institute of Occupational Health. Also two mineral fibre producers, two HVAC-manufactures and a representative of end users were participating in the project. Fibre emissions from the round silencers of the HVAC-companies that participated in the project were studied in the laboratory tests by different methods (air flow, vibration and brushing). The amount of fibres that emitted were measured in accordance with the Finnish Classification of Indoor Climate 2000. The fibre concentration in the duct air flow varied depending on the device and the method in the range of 0.01–3000 fibres/m ³ . On the basis of the results new limit values of round silencers are recommended to be: <ul style="list-style-type: none"> • 0,1 fibres/m³ in the 24 h air flow test • 10 fibres/m³ in the vibration test • 0,1 fibres/m³ in the 24 h air flow test after the brushing. In the field study particle emissions from HVAC-components and occupational exposure to particles were studied in 10 office buildings and new measurement and analytical methods were developed. The surface fibre dust density varied in the range of < 0.1 –4.9 fibres/cm ² and the accumulation during 2 weeks period in the range of < 0.1– 2.6 fibres/cm ² . Fibre concentrations in the indoor air were less than 0.01 fibres/cm ³ . The limit value of the fibre concentration in the supply air is recommended to be 1 fibre/m ³ with the measurement and analytical method developed in this project. The fibre accumulation during 2 weeks period is a suitable method to estimate surface fibre dust density in rooms. The limit value is recommended to be 0.2 fibres/cm ² .			
Keywords HVAC ventilation, thermal insulators, mineral wool, fibers, particles, ventilation, particle emissions, exposure, measurement, testing			
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235–0605 (soft back edition) 1455–0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
ISBN 951–38–6828–1 (soft back ed.) 951–38–6829–X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Project number
Date November 2006	Language Finnish, English abstr.	Pages 57 p. + app. 6 p.	Price B
Name of project ILMI		Commissioned by Tekes	
Contact VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 111 Fax +358 20 722 7027		Sold by VTT Technical Research Centre of Finland P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 111 Fax +358 20 722 4374	

Teolliset mineraalivillakuidut aiheuttavat varsin yleisesti hengitysteiden, silmien ja ihon ärsytysoireita. Ilmanvaihtojärjestelmä voi olla yksi kuitulähde. Tuloilman kuitupitoisuuksista tai huonepintojen kuitukertymistä on vain vähän tutkittua tietoa. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt. Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus -julkaisussa tarkastellaan asiaa sekä laboratoriotestein että kenttäkohteissa tehtävin tutkimuksin.

Julkaisussa esitetään kuitumittauksiin uusia näytteenotto- ja analysointimenetelmiä. Näistä johdetaan Sisäilmastoluokituksen uusia luokitusrajoja. Niin ikään kenttämittauksiin toimistotyöympäristöissä rakennuksissa määritetään uusia ohjearvoja.

Tätä julkaisua myy
VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

Denna publikation säljs av
VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

This publication is available from
VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374
