

Aalto-yliopisto  
Insinöörیتieteiden korkeakoulu  
Insinöörیتieteiden Kandidaattiohjelma

**Teolliset mineraalikuidut sisäilmaongelmien aiheuttajana  
koulu- ja toimistoympäristössä**

Kandidaatintyö

23.4.2016

**Aino Salmi**

---

**Tekijä** Aino Salmi

---

**Työn nimi** Teolliset mineraalikuidut sisäilmaongelmien aiheuttajana koulu- ja toimistoympäristössä

---

**Koulutusohjelma** Insinööritieteiden kandidaattiohjelma

---

**Pääaine** Kone- ja rakennustekniikka

---

**Pääaineen koodi** ENG3043

---

**Vastuopettaja** Simo Hostikka

---

**Työn ohjaaja(t)** Heidi Salonen

---

**Päivämäärä** 23.4.2016

---

**Sivumäärä** 19

---

**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Tämä kandidaatintyö on kirjallisuuskatsaus, jossa käsitellään teollisia mineraalikuituja sisäilmaongelmien aiheuttajana koulu- ja toimistoympäristössä. Aineisto koostuu pääosin tutkimusraporteista ja Sosiaali- ja terveysministeriön sekä Työterveyslaitoksen julkaisuista. Työssä esitellään teollisten mineraalikuitujen kemiallinen olomuoto ja rakenne. Lisäksi työssä perehdytään koulu- ja toimistoympäristössä mitattuun altistumiseen teollisille mineraalikuiduille, ja niiden terveysvaikutuksiin. Työssä on esitelty myös teollisten mineraalikuitujen tutkimusmenetelmiä ja kuitupitoisuuksille esitettyjä viitearvoja.

Työn tavoitteena on koota tietoa teollisia mineraalikuituja koskevista tutkimuksista. Tässä työssä keskitytään koulu- ja toimistoympäristössä yleisesti esiintyviin teollisiin mineraalikuitutyyppeihin.

Sisäilmaan teollisia mineraalikuituja voi vapautua ääni- ja lämmöneristeistä sekä ilmanvaihtolaitteiden suodattimista. Teolliset mineraalikuidut voivat aiheuttaa iho-, silmä, limakalvo- ja ylähengitystieärsytystä, sekä saattavat altistaa infektioille. Karsinogeenisia ominaisuuksia kuiduilla ei ole todettu olevan. Tehokkaalla siivoamisella sekä kuitulähteiden tunnistamisella ja poistamisella voidaan vaikuttaa kuitupitoisuuksiin.

---

**Avainsanat** Teolliset mineraalikuidut, sisäilmaongelma, viitearvo

---

# Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	1
2 Teollisten mineraalikuitujen kemiallinen olomuoto ja rakenne .....	2
2.1 Kemiallinen rakenne.....	4
2.1.1 Lasivilla .....	4
2.1.2 Kivi- ja kuonavillat.....	4
3 Altistuminen teollisille mineraalikuiduille sisäympäristössä .....	5
3.1 Mitattuja teollisten mineraalikuitujen pitoisuuksia sisäympäristöissä .....	6
4 Teollisten mineraalikuitujen terveystahdit.....	8
4.1 Karsinogeenisyys.....	8
4.2 Ärsyttävyys.....	9
5 Teollisten mineraalikuitujen tutkimusmenetelmät .....	10
5.1 Pintanäytteet .....	10
5.1.1 Teippimenetelmä .....	10
5.1.2 Pyyhintämenetelmä .....	11
5.2 Ilmanäytteet .....	12
6 Teollisten mineraalikuitujen pitoisuudelle esitettyjä viitearvoja.....	14
6.1 Ilmakonsentraatio .....	14
6.2 Pintakonsentraatio .....	15
7 Yhteenveto.....	16
Lähteet .....	17

## Käytetyt lyhenteet ja symbolit

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists / Amerikkalainen työhygieenikkojärjestö
EDX	Energy Dispersive X-ray / Energiadisersiivinen röntgenspektrometri
EC	European Commission / Euroopan komissio
EU	European Union /Euroopan unioni
FINE	Tekesin pienhiukkasiin keskittyvä teknologiaohjelma
HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
IARC	International Agency for Research on Cancer / Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos
ILMI	Tekesin tutkimusohjelmaihmissen altistumisesta sisäilman pienhiukkasille
IPCS	International Programme on Chemical Safety / Kansainvälinen kemikaaliturvallisuusohjelma
MMMF	Man-Made Mineral Fibres / teolliset mineraalikuidut
MMVF	Man-Made Vitreous Fibres / teolliset lasimaiset kuidut
NAIMA	The North American Insulation Manufacturers Association / pohjoisamerikkalaisten eristeiden valmistajien etujärjestö
OSHA	Occupational Safety and Health Administration / Yhdysvaltojen työterveys- ja työturvallisuusvirasto
PCOM	Phase Contrast Optical Microscopy / faasikontrastioptiikalla varustettu optinen mikroskooppi
SEM	Scanning Electron Microscope / pyyhkäisyelektronimikroskooppi
SVF	Synthetic vitreous fibres / Synteettiset mineraalikuidut
TEM	Transmission Electron Microscope / Läpäisyelektronimikroskooppi
TIMA	Thermal Insulation Manufacturers Association / Eristeteollisuuden etujärjestö
WHO	World Health Organization / Maailman terveysjärjestö
XRF	X-ray Fluorescence / Röntgenfluoresenssi

# 1 Johdanto

Ihmiset viettävät noin 90 % ajastaan sisätiloissa (Salonen et al., 2010). Sen lisäksi, että ihmiset ovat sisätiloissa kotona, he viettävät myös päivittäin useita tunteja sisätiloissa työpaikalla tai koulussa. Vuonna 2015 Suomessa 1,6 miljoonaa ihmistä työskenteli toimistossa ja pelkästään peruskoulussa opiskelevia oli 550 000 (Tilastokeskus, 2016). Toimistoissa ja kouluissa usein esiintyvät teolliset mineraalikuidut voivat aiheuttaa ongelmia, jotka ilmenevät tiloissa oleskelevien oireiluna ja ympäristöperäisinä sairauksina. Teolliset mineraalikuidut eivät yleensä aiheuta pysyviä terveyshaittoja, mutta pitkään jatkuessaan oireilu ja infektiosairastavuus heikentävät viihtyvyyttä ja lisäävät sairauspoissaoloja. (Schneider, 2000.)

Tämän tutkielman tavoitteena on esittää kootusti tietoa teollisten mineraalikuitujen aiheuttamista sisäilmaongelmista ja terveyshaitoista. Tutkielmaa voidaan hyödyntää sisäilmaongelmien syiden selvittämisessä sekä korjaustoimenpiteiden suunnittelussa. Tutkielma tarjoaa lisäksi tietoa kuitualtistumisen tasosta erilaisissa sisäympäristöissä ja toimii tiedonlähteenä aiheesta kiinnostuneille.

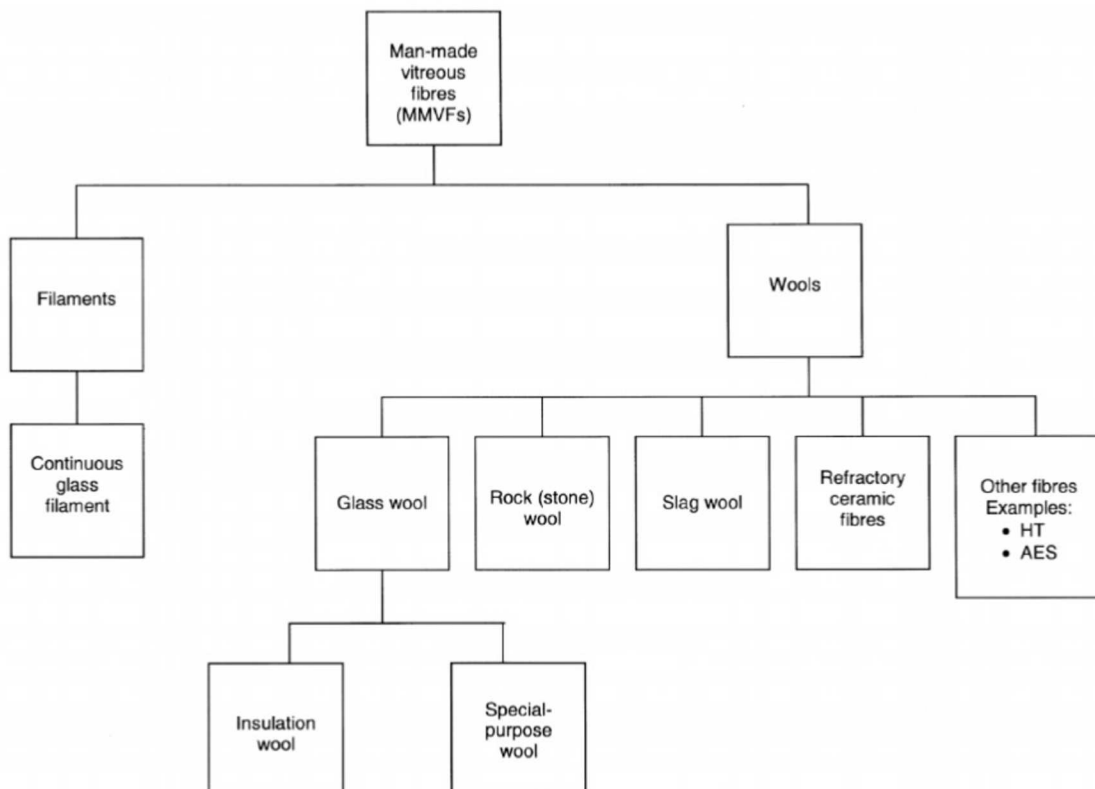
Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Työssä esitellään vain yleisimmät koulu- ja toimistoympäristössä tavattavat teolliset mineraalikuitutyyppit. Tutkielma keskittyy teollisille mineraalikuiduille altistumiseen ja mitattuihin pitoisuuksiin. Työssä esitellään yleisimmät teollisten mineraalikuitujen aiheuttamat terveyshaitat ja mineraalikuitujen tutkimusmenetelmät. Lisäksi tutkielmassa on esitetty Suomessa käytössä olevia viitearvoja teollisten mineraalikuitujen konsentraatioille.

## 2 Teollisten mineraalikuitujen kemiallinen olomuoto ja rakenne

Teolliset mineraalikuidut ovat lasimaisia epäorgaanisia kuitumateriaaleja, jotka on valmistettu lasista, kivistä, mineraaleista, kuonasta tai muista prosessoiduista epäorgaanisista oksideista (IARC, 2002). WHO (1988) on jakanut teolliset mineraalikuidut kolmeen ryhmään niiden alkuperän perusteella:

1. Lasikuidut
2. Kivivilla- sekä kuonavillakuidut
3. Keraamiset kuidut.

Toimisto- ja kouluympäristössä esiintyy pääosin 1. ja 2. tyyppisiä mineraalikuituja, sillä lasi-, kivi- ja kuonavilloja käytetään usein huonetilojen akustiikkalevyissä sekä lämpö- ja äänieristeenä ilmanvaihtolaitteistoissa. Lasi-, kivi- ja kuonavillasta käytetään usein myös yhteisesti nimitystä mineraalivillat. Tyypin 3 keraamisia kuituja hyödynnetään usein teollisuuden tarpeisiin. (IARC, 2002; Työterveyslaitos, 2010.) Sittemmin IARC (2002) on jakanut kuvan 1 mukaisesti teolliset mineraalikuidut kahteen pääryhmään: villoihin ja filamenttikuituihin. Villat-pääryhmä jakautuu edelleen viiteen alaryhmään kuitujen valmistusmateriaalien mukaan. Tässä työssä keskitytään toimistoympäristössä useimmin esiintyviin kuitutyyppiin: lasi-, kivi- ja kuonavillakuituihin.

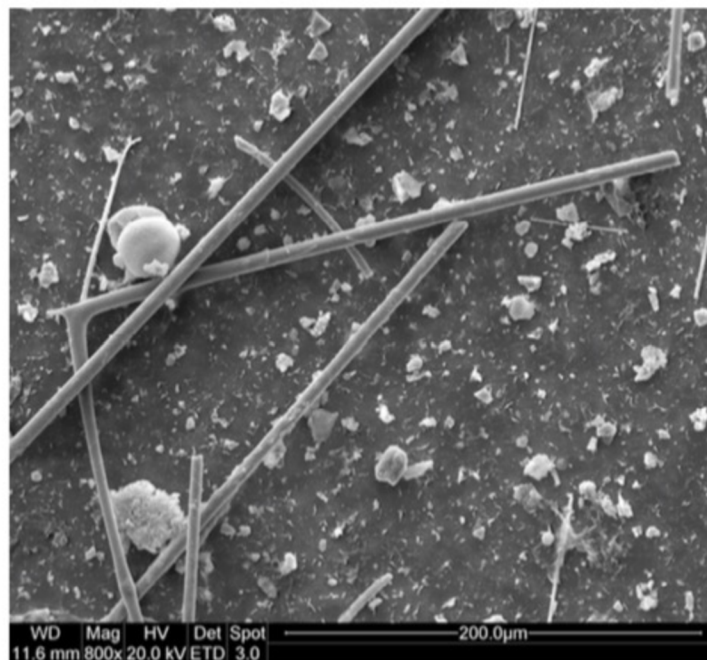


Within each of these categories, there are commercial products representing a range of compositions and durabilities. AES, alkaline earth silicate wools; HT, high-alumina, low-silica wools

Kuva 1 Teollisten mineraalikuitujen kategoriat (IARC, 2002)

Teollisista mineraalikuiduista käytetään kirjallisuudessa termejä MMMF (Man-Made Mineral Fibre), MMVF (Man-Made Vitrous Fibers) ja SVF (Synthetic Vitrous Fibers) (IARC, 2002; Työterveyslaitos 2010). Eristeteollisuuden järjestö TIMA suosittaa lasikuitujen suhteen termin MMMF korvaamista termillä MMVF (Työterveyslaitos, 2010). Myös pohjoisamerikkalaisten eristeiden valmistajien etujärjestö (The North American Insulation Manufacturers Association, NAIMA) on suositellut termin MMVF käyttöä termin MMMF sijaan puhuttaessa kivi- ja kuonavilloista, lasikuiduista ja keraamisista kuiduista (Salonen et al., 2009).

Teolliset mineraalikuidut ovat kuvan 2 mukaisia, pitkiä sauvamaisia hiukkasia. WHO:n (1988) mukaan kuiduiksi voidaan luokitella hiukkaset, joiden pituuden suhde halkaisijaan on yli 3. Tavallisesti rakennuksissa esiintyvien teollisten mineraalikuitujen halkaisijat vaihtelevat välillä 3  $\mu\text{m}$ –10  $\mu\text{m}$  riippuen kuitujen käyttökohteesta (IARC, 2002). Toimistoympäristöstä löydetyt teolliset mineraalikuidut ovat yleensä pitkiä, yli 100  $\mu\text{m}$ :n mittaisia kuituja (Paananen, et al. 2010).



Kuva 2 Teollisia mineraalikuituja SEM-kuvassa (Kovanen, et al. 2006)

Toisin kuin luonnollisilla kuiduilla, kuten asbestilla, teollisilla mineraalikuiduilla ei ole jaksollista kiderakennetta, eli niiden rakenne on amorfinen. Amorfisesta rakenteesta johtuen mineraalikuidut eivät halkea pituussuunnassa, vaan katkeavat poikkisuunnassa muodostaen lyhyempiä, yhtä paksuja kuituja (IARC 2002). Kuidun kemiallinen rakenne ja kuidun paksuus määrittelevät monet kuidun fysikaaliset ominaisuudet, esimerkiksi lämmönjohtavuuden (WHO, 1988).

## 2.1 Kemiallinen rakenne

Kuitujen kemiallinen koostumus voi vaihdella merkittävästi kuitutyypeittäin. Monet tekijät vaikuttavat mineraalikuidun rakenteen valintaan:

- Loppukäyttö: tuotteen käyttökohde asettaa kuidulle erilaisia kemiallisia ja fyysisiä vaatimuksia, kuten lämmönjohto- tai sähkönjohto-ominaisuuksia.
- Valmistusprosessi: erilaiset valmistusprosessit, raaka-aineiden saatavuus ja hinta aiheuttavat mineraalikuitujen koostumuksen vaihtelua.
- Kuitujen pysyvyys keuhkoissa: kuitujen kykyyn jäädä keuhkokudokseen voidaan vaikuttaa muuttamalla kuidun kemiallista rakennetta. Teollisuus onkin kehittänyt uusia hengitysteistä helpommin poistuvia kuituja lisäämällä alkalioksideita ja boraattia lasivillaan, ja korvaamalla alumiinioksidia silikaatti- tai maaalkalioksideilla kivivilloissa. (IARC, 2002.)

### 2.1.1 Lasivilla

Lasivillan valmistuksessa voidaan käyttää useita eri oksideja, mutta käytännössä lasivillan koostumukseen vaikuttaa käytettävissä olevien oksidien saatavuus ja hinta. Lähes kaikissa valmistettavissa lasivilloissa on piidioksidia ( $\text{SiO}_2$ ) suurimpana yksittäisenä komponenttina massa- tai tilavuusprosentteina mitattuna. (IARC, 2002.)

Lasivillan valmistukseen tarvitaan lasinmuodostaja. Lasinmuodostaja on komponentti, joka voidaan sulattaa ja karkaista lasimaiseen muotoon (IARC, 2002). Lasinmuodostajia voivat olla booridioksidi ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), fosforipentoksidi ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) tai jopa germaniumdioksidi ( $\text{GeO}_2$ ), mutta piidioksidi ( $\text{SiO}_2$ ) on yleisin, koska sen saatavuus on hyvä. Piidioksidin lisäksi valmistuksessa käytetään muita oksideja, esimerkiksi alumiinioksidia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), titaanidioksidia, ( $\text{TiO}_2$ ) ja sinkkioksidia ( $\text{ZnO}$ ), Magnesiumoksidia ( $\text{MgO}$ ), litiumoksidia ( $\text{Li}_2\text{O}$ ), bariumoksidia ( $\text{BaO}$ ), kalsiumoksidia ( $\text{CaO}$ ), natriumoksidia ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ja kaliumoksidia ( $\text{K}_2\text{O}$ ), joita lisäämällä voidaan säädellä lasivillan ominaisuuksia. (TIMA, 1993.)

### 2.1.2 Kivi- ja kuonavillat

Tavallisesti kivi- ja kuonavillat koostuvat pääasiassa kalsium-magnesium-alumiinisilikaattilasista. Kivivillan valmistuksessa käytetään sopivaa seosta erilaisia luonnollisia ja synteettisiä kiviä halutun koostumuksen saamiseksi. Sekä kivi-, että kuonavillan valmistuksessa yksi raaka-aineista on yleensä pääraaka-aine, ja muut aineet lisätään paikkaamaan pääraaka-aineen puutteita. Jos esimerkiksi pääraaka-aineessa on liikaa happamia oksideja, kuten silikaattia, lisätään kalkkikiveä tai kuonaa, jossa on paljon kalsiumoksidia. Kuonavillan valmistuksessa pääraaka-aineena on usein rautamalmin masuunikuona, kun taas kivivillan valmistuksessa käytetään pääraaka-aineena usein basalttia. (TIMA, 1993.)



### 3 Altistuminen teollisille mineraalikuiduille sisäympäristössä

Teolliset mineraalikuitumateriaalit ovat yleisiä toimisto- ja kouluympäristössä, sillä teollisia mineraalikuituja käytetään laajasti rakennusmateriaaleissa ja tekstiileissä (Schneider, 1986). Esimerkkejä teollisia mineraalikuituja sisältävistä materiaaleista ovat sisäkattomateriaalit, äänen- ja lämmöneristeet, paloeristeet, kankaat, akustiikkalevyt ja ilmastointilatteiden suodattimet (Vallarino et al., 2003; WHO, 1988). Mineraalikuituja sisältävät materiaalit voivat vapauttaa kuituja materiaalin valmistuksen, käytön ja poiston aikana (Ziegler-Skylakis, 2004, Salonen et al., 2011). Monet tutkijat (Hays, 1991; Carter et al., 1999) ovat tutkineet kuitujen vapautumista mineraalikuituja sisältävistä rakennusmateriaaleista, ja he ovat todenneet, että useimmat rakennusmateriaalit vapauttavat kuituja pääasiallisesti asennusvaiheessa. Muuten kuitujen esiintyminen pölyssä voi johtua kuitumateriaalien eroosiosta tai materiaalia kuluttavasta kunnossapidosta. (Vallarino et al., 2003.)

Teollisia mineraalikuituja sisältävien pintamateriaalien lisäksi sisäilman kuitujen lähteenä voi olla myös ilmanvaihtojärjestelmän kanaviston pinnoite, lämmön- tai äänenneriste tai suodatusmateriaali (Kovanen et al., 2006). Ilmanvaihtojärjestelmien rikkinäisten suodattimien on todettu vapauttavan teollisia mineraalikuituja sisäilmaan. Lisäksi mineraalikuituja voi joutua laskeutuneeseen pölyyn suodattimen kuitumateriaalin ajan myötä tapahtuvan hajoamisen seurauksena tai ilmanvaihtojärjestelmän huoltotoimenpiteiden, kuten kanavistojen nuohouksen yhteydessä. (Kovanen et al., 2006; Salonen, et al., 2011.)

Vaikka mahdollisia kuitulähteitä esiintyykin toimistoympäristössä paljon, yleisesti MMVF-konsentraatiot sisäilmassa olivat tutkimusten mukaan matalia, eivätkä vaikuttaneet haitallisesti sisäilman laatuun. Suurin osa sisäilmassa olevista hengitettävistä kuituista on orgaanisia. Vain 10 % kaikista sisäilman hengitettävistä kuituista on epäorgaanisia, mukaan lukien teolliset mineraalikuidut. (Carter et al., 1999.)

Sisäilmassa esiintyvien eristekuitujen halkaisijat vaihtelevat paljon. Mediaanihalkaisija vaihtelee välillä 3–6  $\mu\text{m}$  (Schneider ja Lundqvist, 1986). Kuidut, joiden halkaisija on yli 4  $\mu\text{m}$ , eivät leiju ilmassa pitkään, sillä niiden laskeutumisnopeus on yleensä suurempi kuin 0,1 cm/s. Tästä johtuen mineraalikuituja löydetään usein rakennuksista otetuista pintapölynäytteistä. (Schneider, 1986; Vallarino et al., 2003; Kovanen et al., 2006). Yli puolet pinnoilta löydettyistä kuituista on halkaisijaltaan yli 3  $\mu\text{m}$  (Schneider, 2000). Kuitujen konsentraatiot pinnoilla ja ihmiskontakteissa sekä laskeutuneen pölyn uudelleen hajaantuminen aiheuttavat altistumisen, joka johtaa iho- ja limakalvo-oireisiin (Vallarino et al., 2003).

Koneellinen ilmastointi ja riittävän perusteellinen, tarpeeksi usein toistuva siivous auttavat poistamaan teollisia mineraalikuituja sisäilmasta. Schneider ym. (1990) raportoivat, että ilmastointi vaikuttaa erityisesti sisäilman sisältämien kuitujen määrään, joiden halkaisija on pienempi kuin 3  $\mu\text{m}$ , ja siivoaminen vaikuttaa kuituihin, joiden halkaisija on yli 3  $\mu\text{m}$ . Jopa matala ilmastoinnin taso on tehokas poistamaan hengitettäviä kuituja. Ilmanvaihtotaso, joka on alle 4 kertaa huoneen ilmatilavuus tunnissa, ei käytännössä katsoen vaikuta kuituihin joiden halkaisija on yli 10  $\mu\text{m}$ . Siivoaminen on paljon ilmanvaihtoa tehokkaampi tapa poistaa ei-hengitettäviä kuituja huoneilmasta. (Schneider ja

Lundqvist, 1986; Schneider et al., 1990.) Ei-hengitettävät, halkaisijaltaan yli 3 µm:n kuidut voivat kertyä vaakapinnoille ja muodostaa sekundäärisiä kuitujen lähteitä, jotka voivat paikallisen uudelleenhajaantumisen jälkeen siirtyä suoraan tai sormien kautta silmiin ja aiheuttaa ärsytystä. Uudelleenhajaantumisen aiheuttaman altistumisen vähentämiseksi on pystyttävä vähentämään pinnoilla olevan pölyn määrää. Pintojen osalta on ilmiselvää, että siivoaminen auttaa kontrolloimaan pintojen MMVF-konsentraatiota ja työntekijöiden mahdollisia ärsytysreaktioita. Esimerkiksi perusteellinen siivous MMVF materiaalin asennuksen jälkeen on riittävä toimenpide poistamaan kuidut käytettävistä tiloista. (Vallarino et al., 2003.) Jos toimistossa on huomattavia teollisten mineraalikuitujen lähteitä, lähteiden määrän rajoittaminen on ainoa tapa vähentää kuitujen määrää sisätiloissa. Jos tämä ei ole mahdollista, säännöllinen ja tehokas siivoaminen on ainoa tehokas keino vähentää kuitujen konsentraatiota sisäilmassa ja näin ehkäistä kuituista aiheutuvia oireita. (Schneider ja Lundqvist, 1986.)

### 3.1 Mitattuja teollisten mineraalikuitujen pitoisuuksia sisäympäristöissä

Taulukossa 1 on esitetty mitattuja teollisten mineraalikuitujen pitoisuuksia viimeisen 25 vuoden ajalta. Arvot ovat keskenään vaikeasti vertailtavissa, sillä tehdyissä tutkimuksissa näytteitä on kerätty eri tavoilla ja näytteiden analysointimenetelmät vaihtelevat tutkimuksittain. Lisäksi ilma- ja pintakonsentraatio eivät korreloi keskenään (Schneider, 200; Salonen et al., 2011).

Taulukosta 1 voidaan kuitenkin todeta mitattujen arvojen vaihtelevan välillä 0 – 5700 kuitua/m<sup>3</sup>. Kuitujen vapautumisen määrä vaihtelee enemmän huoneen sisällä kuin huoneiden tai rakennusten välillä. Vaihtelu johtuu eroavuuksista materiaalien kontakteissa. Pinnoilla, jotka ovat kontaktissa harvoin on enemmän kuituja kuin pinnoilla, jotka ovat kontaktissa usein. (Vallarino et al., 2003.) Korkeita ilmakonsentraatioita on mitattu rakennuksista, joiden käyttäjillä on ollut terveysongelmia. Tämä tukee väitettä, että teolliset mineraalikuidut aiheuttavat terveyshaittoja rakennuksen käyttäjille. Taulukon 1 perusteella voidaan myös todeta siivousvälillä olevan suuri merkitys pintakonsentraation suuruuteen.

Taulukko 1 Mitattuja MMVF-pitoisuuksia toimisto- ja kouluympäristöissä vuosina 1991-2016

Menetelmä	Tilojen määrä	MMVF/m <sup>3</sup>	MMVF/m <sup>3</sup> D < 3 µm	MMVF/m <sup>3</sup> D > 3 µm	MMVF/cm <sup>2</sup> D < 3 µm	MMVF/cm <sup>2</sup> D > 3 µm	Lähde
SEM	6 (Toimistossa terveysongelmia)		1000-3500 kuitua/m <sup>3</sup>	100-300 kuitua/m <sup>3</sup>			Thrienne et al., 1996
PLM	76 toimistorakennusta				Keskimäärin 2,1 kuitua/cm <sup>2</sup> usein siivotuilla pinnoilla Keskimäärin 18 kuitua/cm <sup>2</sup> harvoin siivotuilla pinnoilla		Vallarino, 1998

SEM	9 toimistoa, 4 koulua, 1 koti, 1 kauppa		keskimäärin 300 kuitua/m <sup>3</sup>				Fisher, 1993
SEM	56 rakennusta (pääosin kerätty toimistoista, joissa on näkyviä ja pinnoittamattomia mineraalivillatuotteita)		keskimäärin 500 kuitua/m <sup>3</sup> vaihteluväli 0-5700 kuitua/m <sup>3</sup>				Tiesler ja Draeger, 1993
SEM	134 (Asuntoja, kouluja, toimistoja)		227 kuitua/m <sup>3</sup>				Umweltbundesamt 1994
SEM	Tyypillisiä rakennuksia, joissa on käytetty MMVF materiaaleja 47 rakennusta 144 näytettä	Keskimäärin 136 kuitua/m <sup>3</sup>					Rödelsperger et al., 1998
SEM	67(asuntoja, kouluja, toimistoja)	79 kuitua/m <sup>3</sup> yhdistetty tulos					Schumm et al., 1994
stereomikroskopia	68 toimistorakennusta 243 näytettä					Keskimäärin toistuvasti siivottavilla pinnoilla 0,2 kuitua/cm <sup>2</sup> , keskimäärin harvoin siivotuilla pinnoilla 0,48 kuitua/cm <sup>2</sup>	Salonen et al., 2009
stereomikroskopia	yhteensä 10 eri rakennusta, 43 näytettä. (Toimistoja, päiväkotia, julkisia rakennuksia)					Laskeuma 14 vrk. Aikana < 0,1 -2,6 kuitua/cm <sup>2</sup> Laskeuma-aika ei tiedossa <0,1-14,9 kuitua/cm <sup>2</sup>	Kovanen et al., 2006

## 4 Teollisten mineraalikuitujen terveyshaitat

Teollisten mineraalikuitujen terveysvaikutuksista ollaan huolissaan, sillä kuiduilla on huomattavia morfologisia ja toksikologisia samankaltaisuuksia asbestikuitujen kanssa (Salonen, 2009). On todistettu, että asbestikuidut voivat aiheuttaa keuhkofibroosia (asbestoosi), keuhkosyöpää ja mesoteliomaa (Salonen et al., 2011).

Kuitujen haitallisten vaikutusten uskotaan johtuvan pikemminkin niiden kuitumaisesta luonteesta kuin kemiallisista ominaisuuksista. Kuitujen koko, erityisesti halkaisija ja muut fysikaaliset ominaisuudet, kuten amorfinen rakenne, ovat oleellisessa osassa altistumisen riskien analysoinnissa (Carter et al., 1999; Ziegler-Skylakis, 2004). Toisin kuin asbestikuidut, jotka halkeavat pituussuunnassa muodostaen ohuempia kuituja, jotka voivat tunkeutua syvemmälle keuhkoihin, MMVF ei halkea pituussuunnassa, vaan katkeaa poikkisuunnassa muodostaen lyhyempiä kuituja. Tämä ero johtuu siitä, että asbestin rakenne on kiteinen, kun taas teollisten mineraalikuitujen rakenne on amorfinen. Toisaalta Teolliset mineraalikuidut ovat suhteellisen paksuja, ja siksi ne yleensä asettuvat lähelle lähdemateriaalia, josta ne ovat irronneet. (Vallarino et al., 2003.) Useimmat toimistoissa esiintyneet laskeutuneet teolliset mineraalikuidut ovat pitkiä, yli 100 µm:n mittaisia ja kuitujen pituuden suhde halkaisijaan vaihtelee tyypillisesti 12–24:n välillä (Kovanen et al., 2006; Schneider, 2000).

Teollisten mineraalikuitujen karsinogeenisyyttä ovat arvioineet kansainvälinen syöpäntutkimuslaitos (International Agency for Agency on Cancer, IARC), Yhdysvaltain keskuhallinnon työhygieenikkojen edustajakokous (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH) ja Euroopan unioni (EU). Lisäksi EU on arvioinut MMVF –kuitujen ärsyttävyyttä. (Salonen, 2009.)

### 4.1 Karsinogeenisyys

Vuonna 1988 IARC luokitteli MMVF eristevillan luokkaan 2B “mahdollisesti karsinogeeninen ihmisille”. Luokittelu perustui lasivillan osalta riittäviin ja kivivillan osalta rajoitettuihin todisteisiin karsinogeenisyydestä koe-eläimille, rajoitettuihin todisteisiin kivi- ja kuonavillan osalta sekä puutteellisiin todisteisiin lasivillan osalta karsinogeenisyydestä ihmisille. 1997 Euroopan Unioni julkaisi EU direktiivin 97/69/EC teollisten mineraalikuitujen luokittelusta. Direktiivin mukaan mineraalivillat luokitellaan karsinogeenisiksi luokkaan 3 “mahdollisesti karsinogeeninen”. Mineraalivillat luokiteltiin myös ihoa ärsyttäviksi. Tulee kuitenkin huomata, että ihoärsytys on mekaaninen reaktio, eikä vahingoittava kuten kemiallisesti ärsyttävät aineet voivat olla. (Schneider 2000.)

Koska sisäympäristössä altistumisen teollisille mineraalikuiduille on vähäistä, on yleisesti hyväksytty, että kroonisten keuhkosairauksien riski on merkityksetön. Kansainvälinen kemikaaliturvallisuusohjelma (The International Programme on Chemical Safety, IPCS) arvioi teollisten mineraalikuitujen syöpäriskiä ja muita terveyshaittoja 1988 ja totesi, että mahdollinen keuhkosyöpäriski suurelle yleisölle on todella pieni, ellei olema- ton, eikä siitä tulisi olla huolissaan mikäli altistuminen pysyy yhtä matalalla tasolla kuin tähänkin asti (Schneider, 2000). Myös Schneider (2000) on todennut, että MMVF:n merkittävimmät terveysvaikutukset ovat ylähengitystie-, iho- ja silmä-ärsytys.

Vuonna 2001 IARC totesi raportissaan, että epidemiologisissa tutkimuksissa ei ole saatu riittävää näyttöä teollisten mineraalikuitujen syöpävaarallisuudesta (Salonen et al., 2011).

## 4.2 Ärsyttävyys

Teolliset mineraalikuidut aiheuttavan ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytystä, ja ne saattavat altistaa ylähengitysteiden tulehduksille. Ärsytystä aiheuttavat eniten kuidut, joiden halkaisija on yli 5 µm (Schneider, 2000; Salonen et al., 2011). Halkaisijaltaan alle 1 µm paksuiset kuidut eivät aiheuta ärsytystä. Kuidut, joiden halkaisija on 3–5 µm saattavat joutua henkitorveen, mutta pääosa yli 3 µm:n paksuisista kuiduista jää ylähengitysteihin, eikä tunkeudu keuhkoihin asti (Salonen, 2009; Työterveyslaitos, 2010). Ylähengitysteihin jääneet mineraalikuidut voivat aiheuttaa ärsytystä nenässä ja nielussa. Kuitujen tunkeutuminen syvälle keuhkoihin on mahdollista, mikäli halkaisija on alle 3 µm ja pituus yli 5 µm (Kovanen et al., 2006; Salonen et al., 2011). Hengitettyjen kuitujen aiheuttamaa ärsytystä on raportoitu, mikäli kuitupitoisuus ilmassa on suurempi kuin 1 kuitu/cm<sup>3</sup>. Lasi- ja kivivillakuidut liukenevat ja poistuvat keuhkokudoksesta nopeasti. Pitkäaikaisten sairauksien riski on vähäinen tai olematon (IARC 2002).

Teollisille mineraalikuiduille altistumisessa on tyypillistä, että altistuksen loppuessa kuidut poistuvat kudoksista ja ärsytysoireet katoavat. Tämän voi havaita työntekijän ollessa poissa työpaikalta esimerkiksi viikonloppuna. Kuidut saattavat kuitenkin tarttua tiukasti vaatteisiin ja voivat aiheuttaa ärsytystä altistustilan ulkopuolellakin. (Schneider ja Lundqvist, 1986, Salonen et al., 2011.)

Tutkimukset MMVF:n pinta- ja ilmapitoisuuksista ovat osoittaneet, että pintapitoisuus korreloi koettujen terveysongelmien kanssa, kun taas mitattu ilmapitoisuus ei (Salonen, 2009). MMVF kuitujen huonepintojen pitoisuudet kuvaavat ilmapitoisuutta paremmin kuitualtistumista sisäympäristöissä. Mikäli laskeutuneita kuituja ei poisteta säännöllisellä siivoamisella, ne voivat vapautua uudestaan pinnoilta ilmaan ja aiheuttaa ärsytysoireilua työntekijöille. Pinnoille laskeutuneiden kuitujen on arvioitu olevan yksi mahdollinen ärsytysoireilun aiheuttaja toimistotyöympäristössä, mikäli pintapitoisuus usein siivotuilla pinnoilla on yli 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>. (Salonen et al., 2011.)

## 5 Teollisten mineraalikulitujen tutkimusmenetelmät

Teollisten mineraalikulitujen esiintymistä sisäympäristössä voidaan selvittää pintanäytteiden tai ilmanäytteiden avulla. Niin pinta- kuin ilmanäytteetkin soveltuvat sekä huoneen MMVF-pitoisuuksien selvittämiseen, että ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamien MMVF -päästöjen arviointiin.

Pintanäytteiden on todettu soveltuvan ilmanäytteitä paremmin sisäilman MMVF-tutkimuksiin (Schneider et al., 1990). Pintanäytteissä voidaan havaita teollisia mineraalikulitua, vaikka ilmanäytteiden tulokset olisivat alle määritysrajan, koska teollisten mineraalikulitujen laskeumanopeus on suuri, eivätkä ne leiju ilmassa pitkään (Salonen et al., 2011).

Kulitujen identifiointiin ilma- ja pintanäytteistä on kehitetty mikroskoopilla suoritettavia metodeja. WHO on valinnut pyyhkäisyelektronimikroskopiaan (SEM) perustuvan metodin sisäilmanäytteiden tutkimiseen (Salonen, 2009). Elektronimikroskoopi varustettuna röntgenfluoresenssianalysaattorilla (XRF) mahdollistaa kulitujen koostumuksen analysoinnin ja kuidun tunnistamisen. (Salonen, 2009; Salonen et al., 2011.)

### 5.1 Pintanäytteet

Teollisten mineraalikulitujen määrällistä ja laadullista arviointia pinnoilta voidaan käyttää selvitetessä syytä iho- ja silmä-ärsytykselle, sekä ylähengitysteiden ärsytysoireille sellaisissa rakennuksissa, joissa on käytetty MMVF-materiaaleja. Harvoin siivottujen pintojen pölyä voidaan kerätä osoittamaan, ovatko MMVF-lähteet olleet aktiivisia edellisen siivouksen jälkeen. (Schneider, 1986.)

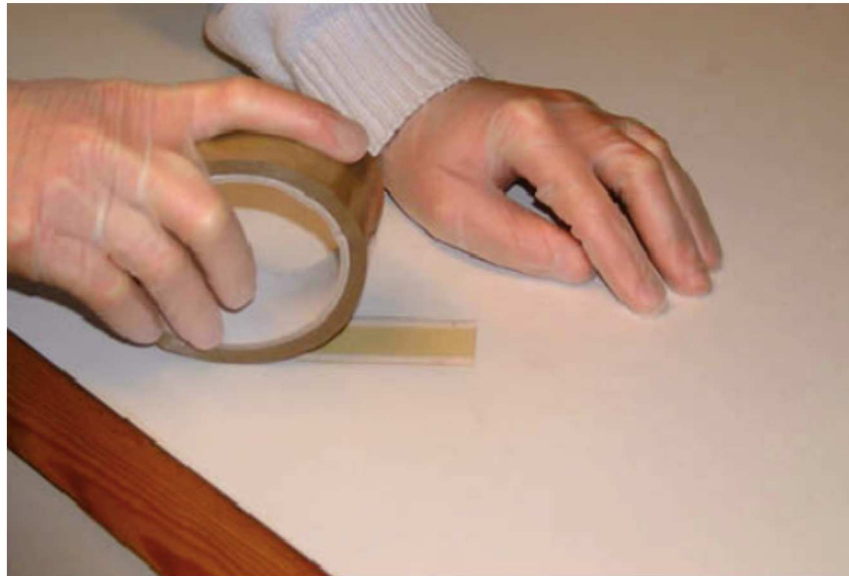
Pintapölyanalyysit voidaan tehdä esimerkiksi elektronimikroskoopilla ja optisella mikroskoopilla. Elektronimikroskoopin analyttisiä etuja optiseen mikroskoopiin verrattuna ovat kyky käsitellä monimutkaisempia näytteitä ja korkeampi havainnointinopeus (Schneider, 2000). Pyyhkäisyelektronimikroskoopin (SEM) lisäksi läpivalaisuelektronimikroskoopi (TEM) on käyttökelpoinen menetelmä teollisten mineraalikulitujen tunnistamisessa (Salonen et al., 2011).

Teollisten mineraalikulitujen esiintymisen selvittämiseksi voidaan kerätä pintanäytteitä esimerkiksi teippi-, pyyhintä- ja imurointimenetelmillä. Näistä yleisimmin käytettyjä ovat teippimenetelmä ja pyyhintämenetelmä. Imurointimenetelmän avulla voidaan kerätä helposti pölyä laajalta pinta-alalta, mutta riittävän pölymäärän saaminen pölypussiin on haastavaa, ja kuidut rikkoontuvat usein keräyksen aikana, jolloin pinnalla olevien kulitujen kokoa ei voida tarkasti määrittää. (Salonen et al., 2011.)

#### 5.1.1 Teippimenetelmä

Teippimenetelmässä pinnoille laskeutuneesta pölystä otetaan näytteitä geeliteipillä. Teippinäytteet otetaan paikoista, jotka kuuluvat säännöllisen siivouksen piiriin, esimerkiksi PC:n näyttöruudun päältä ja työpöydiltä, harvoin siivotuilta pinnoilta kuten korkeiden kaappien päältä, sekä ilmanvaihtojärjestelmästä, useimmiten tuloilmakanavista. Juuri ennen näytteenottoa teipin suojakalvo irrotetaan, ja teippi painetaan tasaisesti näytteenottopintaa vasten kuvan 3 mukaisesti. Näytteenoton jälkeen teippi kiinnitetään runoiltaan Petri-maljaan näytteenottopinta ylöspäin ja toimitetaan laboratorioon ana-

lysoitavaksi. Teipiltä lasketaan valomikroskooppisesti stereomikroskoopilla yli 20 µm pituiset teolliset mineraalikuidut, ja tulos ilmoitetaan yksikössä kpl/cm<sup>2</sup>. Määritysraja on 0,1 kuitua/cm<sup>2</sup>. (Kovanen et al., 2006; Salonen et al., 2011.)



Kuva 3 Mineraalikuitujen kertymämittaus pöytäpinnalta geeliteippimenetelmällä. Geeliteipin pintaa painetaan lujasti tutkittavaa pintaa vasten, jolloin kuidut tarttuvat geeliteipin pintaan (Kovanen et al., 2006).

### 5.1.2 Pyyhintämenetelmä

Pyyhintänäytteet kerätään 1-2 litran Minigrip-pusseihin. Pyyhintänäytteitä otettaessa muovipussi käännetään nurja puoli ulospäin, käsi laitetaan pussin sisään kuvan 4 mukaisesti ja näytteenottopintaa pyyhitään muutaman kerran, jonka jälkeen pussi käännetään oikeinpäin ja suljetaan huolellisesti. Laboratoriossa pussin sisältö huuhdellaan tislattulla vedellä, ja vesi lasketaan suodattimen läpi. Suodattimesta valmistetaan preparaatti elektronimikroskooppista tarkastelua varten (Salonen et al., 2011; Kovanen et al., 2006). Kuidut tunnistetaan alkuainespektrin avulla. Tulokset ovat lähinnä kvalitatiivisia,



Kuva 4 Pintänäytteenotto pyyhintämenetelmällä (Työterveyslaitos, 2015)

eli ne kertovan pölyn laadusta. (Salonen et al., 2011.) Pyyhintämenetelmää soveltamalla ei siten voida ilmoittaa teollisten mineraalikuitujen tarkkaa määrää esimerkiksi pinta-alayksikköä kohden (Kovanen et al., 2006).

## 5.2 Ilmanäytteet

Ilmanäytteitä voidaan analysoida myös optisella mikroskoopilla (PCOM). NIOSH menetelmässä näyte kerätään 25 mm selluloosaesteri suodatimelle, suodatin puhdistetaan ja kuidut lasketaan optisella mikroskoopilla (Schneider, 2000). WHO on hyväksynyt PCOMin käytön teollisten ympäristöjen näytteiden analysointiin (WHO, 1996). Sisäympäristössä teollisia mineraalikuituja on vähän muihin kuituihin ja pölyyn verrattuna, ja PCOM yliarvioi MMVF:n konsentraation. Pyyhkäisyelektronimikroskooppia (SEM) ja läpivalaisuelektronimikroskooppia voidaan käyttää sulkemaan pois kuidut, jotka eivät ole teollisia mineraalikuituja. PCOM-analyysillä ei havaita kuituja, joiden halkaisija on alle 0,2  $\mu\text{m}$ , mutta niiden osuus sisäilman pölystä on hyvin pieni. (Schneider et al. 1985.)

Teollisten mineraalikuitujen pitoisuutta tuloilmassa voidaan mitata kuvan 5 mukaisella näytteenottojärjestelyllä. Tuloilmassa olevat kuidut kerätään asettamalla tuloilmalaitteen päälle polypropyleenikangas, jonka annetaan kerätä kuituja kahdesta neljään vuorokautta. Kankaasta valmistetaan preparaatti, josta lasketaan yli 20  $\mu\text{m}$  pituiset teolliset mineraalikuidut faasikontrastioptiikalla varustetulla polarisaatiomikroskoopilla (PCOM). Tuloksen ( $\text{kpl}/\text{m}^3$ ) ilmoittamista varten mitataan tuloilmavirta suodatinkankaan asentamisen jälkeen. (Kovanen et al., 2006.)



Kuva 5 Polypropyleenisuodatinkangas kiinnitettynä tuloilmalaitteen paikalle (Kovanen et al., 2006)



Teollisten mineraalikuitujen ilmakonsentraation määrittämiseen voidaan käyttää kuvan 6 mukaista näytteenottojärjestelmää. Menetelmässä imetään pumpulla polykarbonaattisuodattimen läpi tunnettu määrä ilmaa. Suodattimesta leikataan pala, joka kullataan kultauslaitteella. Näytteistä määritetään kuitupitoisuus ja pölyn koostumus pyyhkäisy-elektronimikroskoopin (SEM) ja EDX-analysaattorin avulla. (Kovanen et al. 2006.)



Kuva 6 Ilmanäytteenottolaitteisto (Kovanen et al., 2006)

## 6 Teollisten mineraalikuitujen pitoisuudelle esitettyjä viitearvoja

Kansainvälisiä sisäilman arviointiin soveltuvia yleisesti käytettäviä pinta- tai ilmakonsentraation viitearvoja ei juurikaan ole. Kansallisia, keskenään eriäviä viitearvoja on kuitenkin määritetty. Koska MMVF-konsentraatioita on mitattu erilaisin menetelmin ja analyttisin metodein, jotka saattavat antaa eriäviä tuloksia, Schneider (2000) tuki seuraavia alustavia suosituksia sisäilmaongelmien ratkaisemiseen mineraalikuituja sisältävissä rakennuksissa.

- MMVF ei todennäköisesti aiheuta sisäilmaongelmia jos kuitukonsentraation kokonaisarvo ilmassa on alle 100 WHO MMVF/m<sup>3</sup> ja pintakonsentraatio säännöllisesti siivotuilla pinnoilla on alle 0,2 MMVF/cm<sup>2</sup>, ja epäsäännöllisesti siivotuilla pinnoilla alle 3 MMVF/cm<sup>2</sup>.
- Jos MMVF:n kokonaiskonsentraatio ilmassa ylittää 200 WHO MMVF/m<sup>3</sup>, on todennäköistä, että MMVF:n lähteitä on häiritty mittausten aikana. Tässä tapauksessa lähteiden kontrollointi tulee sisällyttää rakennuksen kunnossapito-ohjelmaan.
- Jos kuitupitoisuudet harvoin siivotuilla pinnoilla ovat yli 10 kuitua/cm<sup>2</sup>, tulee siivousta tehostaa tai muuttaa siivousmenetelmiä.
- Jos MMVF:n, jonka halkaisija on yli 3 µm, ilmapitoisuus on yli 100 MMVF/m<sup>3</sup> MMVF on todennäköisesti syy työtekijöiden mahdollisiin ylähengitystie-, silmä- ja iho-oireisiin. Sekundääriset lähteet tulee poistaa perusteellisella siivoamisella.

### 6.1 Ilmakonsentraatio

Eri maissa on määritetty erilaisia ilmapitoisuussuosituksia hengitettävillä kuduille. Suositukset sisäilman kuitukonsentraatiolle vaihtelevat välillä 0,25-2 kuitua/cm<sup>3</sup>, ja suositukset massakonsentraatiolle välillä 2,9-10 mg/m<sup>3</sup> (ILO, 2000). ACGIH ja OSHA ovat ehdottaneet sisäilman kuitukonsentraation viitearvoksi 1 kuitu/cm<sup>3</sup>. Monet valtiot, esimerkiksi Itävalta ja Ranska, ovat ottaneet käyttöön ACGIH:n ja OSHA:n ehdottaman raja-arvon (Salonen, 2009). Myös Suomessa Sosiaali- ja terveysministeriö (2014) on asettanut mineraalikuitujen haitalliseksi tunnetuksi pitoisuudeksi (HTP-arvoksi) 1 kuitua/cm<sup>3</sup>

Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut epäorgaanisen pölyn työperäisen altistuksen raja-arvoksi 10 mg/m<sup>3</sup> (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2014). Suomessa tuloilman kuitupitoisuudelle käytetään Tekesin FINE-teknologiaohjelman ILMI-tutkimusprojektin suosittelemaa raja-arvoa 1 kuitu kuutiometrissä ilmaa. Puhtausluokitelluille ilmanvaihtotuotteille on puhtausvaatimukset, joiden mukaan käytössä olevasta äänenvaimentimesta irtoavien kuitujen kokonaispitoisuus tulee olla alle 0,01 kuitu/cm<sup>2</sup>. (Kovanen et al., 2006.)

Raja-arvot kuitujen ilmakonsentraatiolle ja ilmanäytteenottometodit ovat kiisteltäviä riskianalysoinnin lähteitä, sillä on todettu, että pintapölyn määrä korreloi paremmin aiheutuneiden iho- ja silmä-ärsytysten kanssa kuin ilmassa olevan pölyn määrä (Schneider ja Lundqvist 1986; Schneider et al., 1990).

## 6.2 Pintakonsentraatio

Teollisten mineraalikuitujen pintakonsentraatiolle on määritetty vain muutamia viitearvoja. Kuitenkin Suomessa Sosiaali- ja terveysministeriö (2015) on määrittänyt asetuksessaan asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista teollisten mineraalikuitujen toimenpiderajaksi kahden viikon aikana pinnoille laskeutuneelle pölylle 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>. Mikäli toimenpideraja ylittyy, täytyy siivousta tehostaa tai poistaa teollisten mineraalikuitujen lähteet (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2015). Sosiaali- ja terveysministeriön asettama toimenpideraja on määritetty vuonna 2006 tehdyn suomalaisen kenttätutkimuksen tulosten perusteella. Kovanen ym. (2006) totesivat, että kuitujen laskeuma pinnalle 2 viikon aikana on sopiva tapa arvioida pintakuitupölyn tiheyttä sisäilmassa. Tutkijat suosittelivat 2 viikon aikana pinnoille asettuneen kuitupölyn raja-arvoksi 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>.

## 7 Yhteenveto

Yleisenä johtopäätöksenä kirjallisuustutkimuksesta voidaan todeta, että teollisia mineraalikulitua esiintyy laajasti koulu- ja toimistoympäristöissä. Vaikka teollisten mineraalikulitujen esiintyminen on yleistä, niiden osuus kaikista sisäilmasta havaituista hiukkasista on kuitenkin vain noin 10%. Teollisten mineraalikulitujen pitoisuuksiin sisätilassa vaikuttaa oleellisesti siivouksen tehokkuus ja taajuus, ilmastointi ja kuitulähteiden tunnistaminen, ja jos mahdollista niiden poistaminen.

Suurin osa sisäilmassa esiintyvistä teollisista mineraalikuliduista on suuria ja jää ylähengitysteihin, eikä tunkeudu keuhkoihin. Pieni osa kuituista tunkeutuu keuhkoihin asti, mutta poistuu altistuksen loppumisen jälkeen kudoksesta itsestään. Suuren kokonsa vuoksi teolliset mineraalikulidut riittävän suurina pitoisuuksina aiheuttavat mekaanista ylähengitystie-, iho-, silmä- ja limakalvoärsytystä. Mekaanisesta ärsytyksestä johtuen kuitut saattavat altistaa toistuville tulehduksille. Teollisilla mineraalikuliduilla ei kuitenkaan ole todettu olevan immunologisia vaikutuksia, eikä IACR ole luokitellut teollisia mineraalikulitua karsinogeenisiksi.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella teollisten mineraalikulitujen pintakonsentraatio korreloi paremmin terveyshaittojen kanssa kuin ilmakonsentraatio. Tämä siksi, että toimistoissa ja kouluissa pääosin esiintyvät kuitut ovat suuria ja laskeutuvat pinnoille nopeasti. Tästä johtuen teollisten mineraalikulitujen esiintymistä tutkittaessa tulisi käyttää pintanäytteidenottomenetelmiä ilmanäytteiden oton sijaan. Teippimenetelmällä voidaan määrittää kuitujen määrä ja pyyhkäisymenetelmällä kuitujen esiintyminen ja laatu.

Teollisille mineraalikuliduille ei ole asetettu kansainvälisiä viitearvoja, mutta kansallisia viitearvoja on olemassa. Suomessa sisäympäristöön soveltuvia viitearvoja teollisille mineraalikuliduille on esitetty muun muassa Sosiaali- ja terveysministeriön vuonna 2015 julkaisemassa asumisterveysasetuksessa.

## Lähteet

Carter, C.M., Axten, C.W., Byers, C.D., Chace, G.R., Koenig, A.R., Reynolds, J.W., Rosinski, K.D. 1999. Indoor airborne fiber levels of MMVF in residential and commercial buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 60: 6. S. 794-800. [viitattu: 13.3.2016]. ISSN 0002-2889-4 [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://search.proquest.com/docview/236332030?accountid=27468>.

Fisher M. 1993. Benefits and risks from MMVF in indoor air. Teoksessa: Saarela, K., Kalliokoski, P. ja Seppänen, O. (eds.). *Proceedings of Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate (Indoor Air '93)*, Helsinki, Finland, Vol 4. S. 27-31.

Hays P.E. 1991. Detection of Airstream Fibers in Fibrous Glass Duct Board Systems. *International Journal of Indoor Environment and Health*, vol. 1: 4. S. 522-530. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: doi: 10.1111/j.1600-0668.1991.00016.x.

IARC. 2002. *Man-Made Vitreous Fibres. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 81.* Lyon, Ranska: International Agency for Research on Cancer (IARC). 418 s. ISBN: 92-832-1281-9.

ILO, 2000. *Code of practise on safety in the use of synthetic vitreous fibre insulation wool (glass wool, rock wool, slag wool).* Geneve, Sveitsi: International Labor Organization (ILO). 52 s. ISBN: 92-2-111629-8.

Kovanen, K., Heimonen, I., Laamanen, J., Riala, R., Harju, R., Tuovila, H., Kämppe, R., Sääntti, J., Tuomi, T., Salo, S-P., Voutilainen, R., Tossavainen, A. 2006. *Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt, altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus.* VTT, Helsinki, Suomi: VTT Technical Research Centre of Finland. 57 s. ISBN: 951-38-6829-X (sähköinen). ISBN: 951-38-6828-1 (painettu).

Noneclature Committee of TIMA. 1993. *Man-made vitreous fibers: Nomenclature, Chemical and Physical Properties*, Stamford, USA: North American Insulation Manufacturers Association (NAIMA). 70 s.

Paananen, H., Holopainen, M., Kalliokoski, P., Kangas, J., Kotilainen, M., Pennanen, S., Savolainen, H., Tossavainen, A., Luoti, K. 2004. Evaluation of Exposure to Man-Made Vitreous Fibers by Nasal Lavage. *Journal of Occupational Environmental Hygiene*. 1: 2. S. 82-87. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: doi: 10.1080/15459620490275713.

Rödelseperger, K., Barbisan, P., Teichert, U., Arhelger, R., Woitowitz, H.-J. 1998, *Indoor emissions of mineral wool products.* VDI Beriche. Vol. 1417:337-354.

Salonen, H. 2009. *Indoor air contaminants in office buildings.* Helsinki, Suomi: Finnish Institute of Occupational Health. 222 s. ISBN: 978-951-802-908-6.

Salonen, H., Lappalainen, S., Pasanen, P., Riuttala, H., Tossavainen, A., Reijula, K. 2009. Man-Made vitreous fibers in office buildings in the Helsinki area. *Journal of Occupational Environmental Hygiene*. Vol. 6: 10. S. 155-164. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: doi: 10.1080/15459620903133667

Salonen, H., Lappalainen, S., Lahtinen, M., Holopainen, R., Palomäki, E., Koskela, H., Backlund, P., Niemelä, R., Pasanen, A-L., Reijula, K. 2011. Helsinki, Suomi: Työterveyslaitos. 125 s. ISBN: 978-952-261-048-5.

Schneider T. (1986). Man-made mineral fibers and other fibers in the air and in settled dust. *Environment International*. Vol. 12: 1-4. S. 61-65 [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: doi: 10.1016/0160-4120(86)90014-0.

Scheider, T. ja Lundqvist, G. (1986). Man-made mineral fibers in the indoor, non-industrial environment. *Building and Environment*. Vol. 21: 3-4. S. 129-133 [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: doi: 10.1016/0360-1323(86)90021-1.

Scheider, T. 2000. Synthetic vitreous fibers. Teoksessa: Spengler, J.D., Samet, J.M., McCarthy, J.F. (eds.). *Indoor air quality handbook*. New York, USA: McGraw-Hill. 39.1-39.26 s. ISBN: 0-07-445549-4.

Schneider, T., Nielsen, O., Bredsdorff, P., Linde, P. 1990. Dust in Buildings with man-made mineral ceiling boards. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* 16: 6. S. 434-439. [viitattu: 13.3.2016]. ISSN: 03553140 [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.jstor.org/stable/40965830>.

Schneider, T., Skotte, J., Nissen, P. 1985. Man-Made mineral fibre size fractions and their interrelation. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. Vol. 11: 2. S. 117-122. [viitattu: 13.3.2016]. ISSN: 03553140 [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.jstor.org/stable/40965196>.

Sneider, T. ja Stockholm, J. 1981. Accumulation of fibers in the eyes of workers handling man-made mineral fibers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. Vol. 7: 4. S. 271-276. [viitattu: 13.3.2016]. ISSN: 03553140 [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.jstor.org/stable/40964912>

Schumm, H-P., Beutler, M., Marfels, H. 1994. Report on the Investigation of Fibre Release from Synthetic Vitreous Fiber (SVF) Products Used in Costruction Work. (Saksaksi), S 2-72

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2014. HTP-arvot 2014. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki: Suomi: STM. [viitattu: 13.3.2016]. ISBN: 978-952-00-3480 (painettu). ISBN: 978-952-00-3479-5 (PDF) [verkkojulkaisu]. Saatavissa: [http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/116148/URN\\_ISBN\\_978-952-00-3479-5.pdf?sequence=1](http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/116148/URN_ISBN_978-952-00-3479-5.pdf?sequence=1)

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki, Suomi: STM. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>.

Thrienne, B., Sobattka, A., Willer, H. Weidhase, J. 1996. Man-made mineral fibre boards in buildings – health risks caused by quality deficiencies. *Toxicology Letters*. Vol 88:1-3. S. 299-303. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa= doi:10.1016/0378-4274(96)03753-8.

Tiesler, H., Draeger, U., Rogge, D. 1993. Emission of fibrous particles from installed insulation mineral wool products. Teoksessa: Saarela, K., Kalliokoski, P. ja Seppänen, O. (eds.). Proceedings of Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate (Indoor Air '93), Helsinki, Finland, Vol 4. S. 117-122.

Työterveyslaitos. 2011. Tiedote 38/3011. Helsinki, Suomi: TTL. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/tiedotteet/Sivut/tiedote38\\_2011.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tiedotteet/Sivut/tiedote38_2011.aspx).

Työterveyslaitos. 2015. Pölynäytteen ottaminen pyyhintämenetelmällä. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Polynaytteen\\_ottaminen\\_pyyhintamenetelmalla.pdf](http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Polynaytteen_ottaminen_pyyhintamenetelmalla.pdf).

Umweltbundesamt. 1994. Investigation of the Fibrous Fine Dust Loads in the Indoor Environment Originating from Installed Mineral Wool Products. (Saksaksi). Umwelt Bundes Amt, Berliini, Saksa.

Vallarino, J., Spengler, J.D., Buck, R., Dilwali, K.M. 2003. Quantifying synthetic vitreous fiber surface contamination in office buildings. AIHA Journal. Vol. 64: 1. S.80-87. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: doi: 10.1080/15428110308984793.

WHO 1988. Man-Made Mineral Fibers. Environmental Health Criteria 77. International Program on Chemical Safety. Geneve, Sveitsi: World Health Organization (WHO). 165 s. ISBN: 92-4-154277-2.

Ziegler –Skylakis, K. 2004. Approaches for the development of occupational exposure limits for man-made mineral fibres (MMMFs). Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis. Vol 553: 1-2. S. 37-41. [viitattu: 13.3.2016]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: doi: 10.1016/j.mrfmmm.2004.06.019.