

Teolliset mineraalikulidut toimistotyypisissä työtiloissa

ESIINTYMINEN, ALTISTUMISEN ARVIOINTI,
TERVEYSVAIKUTUKSET JA PÄÄSTÖJEN HALLINTA

Tapani Tuomi
Kaisa Wallenius
Selma Mahiout
Sirpa Rautiala
Sanna Lappalainen

Työterveyslaitos

Teolliset mineraalikuidut toimistotyypisissä työtiloissa

ESIINTYMINEN, ALTISTUMISEN ARVIOINTI, TERVEYSVAIKUTUKSET JA
PÄÄSTÖJEN HALLINTA

Tapani Tuomi, Kaisa Wallenius, Selma Mahiout,
Sirpa Rautiala ja Sanna Lappalainen

Työterveyslaitos
Helsinki

Työterveyslaitos

PL 40

00251 Helsinki

www.ttl.fi

© 2020 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman rahoituksella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-915-0 (nid.)

ISBN 978-952-261-916-7 (pdf)

Työterveyslaitos 2020

JOHDANTO

Tämä katsaus on laadittu Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman rahoituksella osana Terveet tilat 2028 -hanketta. Työterveyslaitoksen asiantuntijat laativat katsauksen vuonna 2019 liittyen ohjelman osa-alueeseen 2: rakennusten ongelmatilanteet. Tavoitteena oli arvioida teollisten mineraalikuitujen merkitystä toimistotyypisten tilojen sisäilmassa. Katsauksen tuloksia hyödynnetään myöhemmin mm. altistumisolosuhteiden arvioimiseen liittyvien ohjeiden päivityksissä.

Tämä katsaus sisältää teollisiin mineraalikuituihin liittyvän kirjallisuuskoosteen, toksikologista ja epidemiologista arviointia sekä pitoisuustasojen tarkastelua työympäristöissä, pääpainona toimistotyypiset työpaikat. Katsauksessa arvioidaan toimistotyypisten työympäristöjen kuitulähteitä ja niihin liittyviä teollisten mineraalikuitujen pitoisuuksia, sekä niiden mahdollista yhteyttä koettuihin ja todettuihin terveyshaittoihin sekä kuitupäästöjen hallintakeinoja. Lisäksi kartoitettiin mittaumenetelmiä ja laadittiin suositukset niiden päivittämiseksi.

Yleisestä osiosta ja pitoisuustasojen katsauksista sekä HTP-arvojen koosteesta vastasi MMT Kaisa Wallenius. Terveyshaittaosiosta vastasi toksikologi, FT Selma Mahiout, määritysmenetelmistä ja viitearvo-osiosta TkT Tapani Tuomi ja päästöjen hallintakeinoista FT Sirpa Rautiala. Kirjoitustyötä ohjasivat TkT Tapani Tuomi (osaprojektin vastuhenkilö) ja FT Sanna Lappalainen.

Kirjoittajat kiittävät hyödyllisistä kommentteista katsauksen luonnosversion lukeneita Työterveyslaitoksen asiantuntijoita: Kirsi Karvala, Heli Lallukka, Markku Sainio, Tiina Santonen ja Katja Tähtinen.

TIIVISTELMÄ

Teolliset mineraalikuidut ovat hyvin heterogeeninen ryhmä lasimaisia kuituja, joiden fysiikkaaliset ja kemialliset ominaisuudet poikkeavat toisistaan. Valtaosa kaikesta tuotetusta mineraalikuitumateriaalista kuuluu ryhmiin lasivilla ja kivivilla, joista käytetään yleisesti yhteisnimitystä mineraalivillat tai eristevillat. Asuin- ja toimistotyypissä sisäympäristöissä esiintyvät teolliset mineraalikuidut ovat pääasiassa eristevillakuituja, joiden lähteitä voivat olla esimerkiksi tuloilmajärjestelmissä käytetyt äänenvaimennusmateriaalit, putkien ja läpivientien avonaiset mineraalivillaeristeet, suojaamattomat tai rikkonaiset akustiikkalevyt sekä rakenteiden lämmöneristeet. Teollisia mineraalikuituja esiintyy pieninä pitoisuuksina lähes kaikissa rakennuksissa ja ulkoilmassa. Toimistotyypissä ympäristöissä teollisten mineraalikuitujen pitoisuudet ilmassa ja pinnoille laskeutuneessa pölyssä ovat kuitenkin yleensä varsin pieniä, alle 0,01 kuitua/cm³ ja alle 0,2 kuitua/cm².

Teolliset mineraalikuidut voivat aiheuttaa korkeilla pitoisuuksilla ohimeneviä ärsytysvaikutuksia, jotka perustuvat mekaaniseen hankaukseen. Toimistoympäristöissä esiintyvillä pitoisuuksilla näistä vaikutuksista ei kuitenkaan ole näyttöä. Toimistoissa esiintyvät mineraalikuidut eivät myöskään aiheuta syöpäriskiä tai muita vakavia tai pysyviä terveyshaittoja.

Ihoärsytystä voivat aiheuttaa olemassa olevan tutkimustiedon perusteella pääasiassa halkaisijaltaan yli 5 µm paksut kuidut, jotka laskeutuvat painonsa takia varsin nopeasti ilmasta pinnoille. Silmä- ja limakalvoärsytyksen osalta olennaisten kuitujen kokoa ei ole tutkittu, mutta on mahdollista, että näissä kudoksissa ärsytysvaikutusta voivat aiheuttaa myös kooltaan pienemmät kuidut. Kuitulaskeuman ilmasta silmiin ja iholle on kuitenkin raportoitu kirjallisuudessa olevan vähäistä. Hengitystiealtistumisesta seuraavat ärsytysvaikutukset taas ovat kirjallisuuden perusteella epätodennäköisiä toimistotyypissä tiloissa, joissa mitatut ilman kuitupitoisuudet jäävät tyypillisesti huomattavasti ärsytysvaikutukselle asetettua ilman mineraalikuitupitoisuuden raja-arvoa matalammiksi (HTP-arvo_{8h} 1 kuitu/cm³ eli 1 000 000 kuitua/m³). On mahdollista, että pinnoille kerääntyneet ja käsien kautta esimerkiksi silmiin siirtyneet kuidut voivat aiheuttaa ärsytysvaikutuksia, mutta tästä tai olennaisista pitoisuustasoista ei ole näyttöä. Samankaltaisia ärsytysoireita saattavat aiheuttaa myös useat muut tekijät, kuten kuiva sisäilma.

Suomessa toimistotyypisten työympäristöjen kuitupäästöjä selvitetään pääasiassa pinnoilta kerättävien näytteiden avulla. Koska pintojen kuitupitoisuuksien ja ärsytysvaikutusten välistä suhdetta ei ole osoitettu, teollisten mineraalikuitujen pintalaskemapitoisuuksille ei voida asettaa terveysperusteista raja-arvoa.

Suomessa käytössä olevassa menetelmässä näytteet kerätään pinnoilta kahden viikon pölylaskeumasta geeliteippimenetelmällä ja näytteistä analysoidaan valomikroskoopilla 100-

kertaisella suurennuksella pituudeltaan yli 20 µm kuidut halkaisijasta riippumatta. Menetelmällä erotetaan käytännössä toistettavasti vain 1-3 mikrometrin paksuiset ja sitä suuremmat kuidut. Nykyinen asumisterveysasetuksen toimenpideraja kahden viikon pintalasteumalle on 0,2 kuitua/cm² ja Työterveyslaitoksen viitearvo on vastaavasti >0,2 kuitua/cm². Näille arvoille ei ole terveysperusteita. Toimenpideraja ja viitearvo ovat kuitenkin epätavanomaisten päästöjen tunnistamisen työkaluna sekä torjuntatoimien tarpeellisuutta ja vaikuttavuutta arvioitaessa hyödyllisiä. Kuitupitoisuudet pintalasteumassa ovatkin suomalaisilla työpaikoilla vähentyneet viimeisen kymmenen vuoden aikana. Työterveyslaitoksen palvelunäytteiden pitoisuuksien mediaani on viime vuosina ollut alle 0,1 kuitua/cm², 90 persentiiliin ollessa ≤ 0,3 kuitua/cm². Näin ollen työpaikoilla on todennäköisimmin tehty ratkaisuja, joilla on pystytty vaikuttamaan kuitujen määrään tasopinnoilla.

Jotta varmistettaisiin mittauspalvelua tarjoavien laboratorioden tulosten vertailukelpoisuus, pitäisi asumisterveysasetuksessa annettu toimenpideraja nykyistä selkeämmin sitoa noudatettavaan mittauskäytäntöön ja analysoinnissa käytettyyn suurennukseen. Samanlaisesti tulisi määritellä, minkä kokoisia kuituja tulee analysoida. Tämän rajauksen tulee perustua WHO:n käytännön mukaisesti analysoitavien kuitujen pituuden lisäksi niiden halkaisijaan. Edistääksemme valomikroskooppilla geeliteipeistä tehtävien mittausten toistettavuutta ja laboratorioden välisten analyysien yhdenvertaisuutta, ehdotamme kuitujen koon ja siihen liittyvään ärsytysvaikutuspotentiaalin perustuen seuraavia rajauksia:

Kahden viikon laskeuma kerätään suoraan pinnoilta, hengityskorkeudelta geeliteipin avulla tai imuroimalla näyte suodatinkoteloon. Geeliteippiä käytettäessä tulee ottaa vähintään kolme rinnakkaista näytettä. Näytteistä lasketaan valomikroskooppisesti 100-kertaisella suurennuksella ne teolliset mineraalikuidut, joiden halkaisija on vähintään 3 µm ja pituuden suhde halkaisijaan vähintään 3:1. Määritysrajan tulee olla korkeintaan 0,1 kuitua/cm² ja näytteenottopinta-alan vähintään 14 cm². Määritys voidaan tehdä myös pyyhkäisyelektronimikroskopiaa hyödyntäen suodatinkotelonäytteistä olettaen, että analysoidaan vastaavan kokoisia kuituja ja että saavutetaan vähintään vastaava määritysraja.

Tämä ehdottamamme menetelmän vakioimistoimenpide edellyttää nykyisen viitearvon ja asumisterveysasetuksen toimenpiderajan tarkastamista ja mahdollista päivittämistä. Lisäksi, kun mittauskriteerit on yhdenmukaistettu, voidaan järjestää vertailukierroksia laboratorioden välillä. Suosittelemme, että kerätään uutta aineistoa tällä vakioidulla menetelmällä ja tarkastetaan sekä tarvittaessa päivitetään aiemmin annetut viitearvot esim. vuoden kuluttua. Teollisten mineraalikuitujen mittauksia sisäympäristön tasopinnoilta voidaan sinä aikana, kun uutta aineistoa kerätään, tehdä interventioasetelmalla (ennen-jälkeen) ja tiloja vertaillen. Myös aiemmin annettua viitearvoa voidaan käyttää kunnes uutta, vakioiduin menetelmin kerättyä aineistoa, on käytettävissä.

Tavanomainen lähestymistapa epäpuhtauksille on aiemmin usein ollut, että pitoisuudet pyritään vähentämään mahdollisimman alhaiselle tasolle (ALARA, As Low As Reasonably Achievable). Toimistotyöpaikoilla mineraalikuitupitoisuudet ovat laskeneet huomattavasti ja pintalaseumalle annetun toimenpiderajan tai viitearvon ylittäminen on aiempaa harvinaisempaa. Siitä ei kuitenkaan ole olemassa tutkimustietoa, että kahden viikon pintalaseumatason ollessa 0,2 kuitua/cm² tai sen alle olisi merkityksellistä oireilun kannalta. Siksi työryhmän johtopäätös on, että lisäinvestoinnit tai muutokset pitoisuuden vähentämiseksi entisestään eivät välttämättä ole kustannuksiin ja saavutettuun hyötyyn nähden perusteltavissa. Työryhmä kuitenkin katsoo, että tavanomaisia kuitupitoisuuksia kuvastava viitearvo on hyödyllinen kohteissa mitattujen tulosten suhteuttamiseen. Kuitupohjaisten materiaalien yleisyys ja hyötynäkökannat huomioiden sekä saatavissa olevat sisäilman mitaustulokset huomioiden on siten perusteltua asettaa viitearvo tasolle, joka vastaa esimerkiksi mitatun datan P90 arvoa, joka nykykäytännöllä analysoituna vastaa 0,2-0,3 kuitua/cm². Arvoa ei kuitenkaan voida vahvistaa, ennen kuin vakioidulla menetelmällä on kerätty riittävästi tietoa.

SISÄLLYS

1	Mitä teolliset mineraalikuidut ovat ja mihin niitä käytetään?	8
2	Teollisten mineraalikuitujen lähteet sisäympäristöissä.....	13
3	Teollisten mineraalikuitujen terveysvaikutukset.....	15
3.1	Ihon, silmien ja ylempien hengitysteiden ärsytysvaikutus.....	16
3.2	Keuhkovaikutukset ja syöpävaarallisuus.....	18
4	Teollisten mineraalikuitujen näytteenotto- ja analysointimenetelmät	20
4.1	Kuitujen pitoisuus ilmassa	20
4.2	Kuidut pinnoille laskeutuneesta pölystä	23
4.3	Laboratorioiden välisen vertailukelpoisuuden parantaminen	28
5	Ohje- ja viitearvot.....	31
5.1	HTP-arvot	31
5.2	Asumisterveysasetus.....	36
5.3	Työterveyslaitoksen viitearvot.....	36
6	Teollisten mineraalikuitujen pitoisuudet työpaikoilla.....	38
6.1	Tuotantoympäristöt	38
6.2	Toimistoympäristöt	39
7	Teollisten mineraalikuituhaittojen hallintakeinot sisäympäristöissä	44
7.1	Vanhat rakennukset	44
7.2	Uudisrakennukset.....	47
8	Johtopäätökset ja suositukset mittauskäytännöiksi.....	48
9	LÄHTEET	51

1 MITÄ TEOLLISET MINERAALIKUIDUT OVAT JA MIHIN NIITÄ KÄYTETÄÄN?

Kuidut ovat hiukkasia, joiden pituus on vähintään 5 µm ja pituuden ja halkaisijan suhde 3:1 tai suurempi (WHO, 1997). Teolliset mineraalikuidut ovat yleisnimitys lasimaisille silikaatti-mineraalipohjaisille epäorgaanisille kuiduille, joita valmistetaan mm. kierrätyslasista, kivistä ja masuunikuonasta. Luonnosta saatavista mineraalikuiduista kuten asbestista teolliset mineraalikuidut eroavat siinä, ettei niillä ole kiderakennetta eivätkä ne halkeile pituus-suunnassa ohuemmiksi säikeiksi. Poikittaissuunnassa teolliset mineraalikuidut voivat katkeilla lyhyemmiksi pätkiksi. Teollisista mineraalikuiduista käytetään lyhenteitä MMMF (man-made mineral fibres tai machine-made mineral fibres), MMVF (man-made vitreous fibres), SMF (synthetic mineral fibres) ja SVF (synthetic vitreous fibres).

Teollisia mineraalikuituja valmistetaan useilla eri prosesseilla, jotka perustuvat sulatetun mineraaliaineksen muotoiluun halutuksi tuotteeksi korkeassa lämpötilassa. Teolliset mineraalikuidut jaetaan valmistusmenetelmän ja rakenteen perusteella kahteen pääryhmään: jatkuvat lasikuidut (filamentit) ja villakuidut.

Kuidun dimensiot ja kemiallinen koostumus vaikuttavat kuidun käyttöominaisuuksiin. Taulukkoon 1 on koottu tietoja eri mineraalikuitulaatujen ominaisuuksista ja käyttötarkoituksista. Jatkuvat lasikuidut ovat pitkää ja tasapaksua yhtenäistä lankaa. Niitä käytetään mm. sähköeristyksissä, muovien ja sementin lujitteena, paperien ja kumien lisäaineena ja teollisuuskanneissa. Hyvin ohuita kuituja, joiden halkaisija on alle 1,5 µm, käytetään erityiskäyttötarkoituksiin, kuten suodattimiin ja lentokoneiden eristykseen (Schneider, 1986). Mineraalivillat ovat eri pituisista mineraalikuiduista muodostuneita villamaisia vyyhtejä. Ne jaetaan käytetyn raaka-aineen perusteella alaryhmiin, joita ovat lasivilla, kivi- eli vuorivilla, kuonavilla, keraamiset kuidut (refractory ceramic fibres, RCF) ja muut erityiskäyttötarkoituksen omaavat villakuidut (ns. erikoiskuidut, special-purpose fibres). Valtaosa kaikesta tuotetusta mineraalikuitumateriaalista kuuluu ryhmiin lasivilla, kivivilla ja kuonavilla, joista käytetään yleisesti yhteisnimitystä mineraalivillat tai eristevillat. Niiden pääkäyttötarkoitus on rakennusten lämmön ja äänen eristys. Lasivillaa valmistetaan keräyslasista tai hiekasta, kalkkikivistä ja soodasta, kivivillaa erilaisista kivilajeista (mm. basaltti, dolomiitti, diabaasi) ja kuonavillaa metallisulattamoiden sivutuotteena syntyvästä masuunikuonasta.

Mineraalivillat ovat olleet Suomessa rakennusten yleisin eristemateriaali 1960-luvulta lähtien. Suomessa lasivillaa on valmistettu 1940-luvulta lähtien ja kivivillaa 1950-luvulta lähtien. Kuonavillaa valmistettiin 1940-1960-luvuilla. Nykyisin Suomessa mineraalivillojen valmistusta on Saint-Gobainin tehtailla Hyvinkäällä ja Forssassa (Isover-tuotemerkki) sekä Pa-

rocin tehtaalla Paraisilla. Lisäksi Suomeen tuodaan ainakin Knauf Insulation, Ursa ja Rock-wool yritysten mineraalivillatuotteita. (Ympäristöhallinnon korjaustietosivusto, 2019; Halttunen ja Kuusisto, 2011).

Kemiallisesti teolliset mineraalikuidut koostuvat pääasiassa silikaateista eli piin oksideista SiO_2 (30-80%, Taulukko 1). Raaka-aineesta ja käyttötarkoituksesta riippuen ne sisältävät vaihtelevia määriä muiden metallien oksideja. Esimerkiksi alumiinioksidi Al_2O_3 lisää kuitujen kemiallista ja lämmön kestävyttä. Maa-alkalimetallien oksidit CaO ja MgO sekä alkalimetallien oksidit Na_2O ja K_2O lisäävät kuitujen liukoisuutta.

Keraamiset kuidut poikkeavat kemialliselta koostumukseltaan ja käyttötarkoitukseltaan muista teollisista mineraalikuuduista. Korkean alumiinioksidipitoisuuden (35-51%) ansiosta ne kestävät hyvin äärimmäisen korkeita lämpötiloja. Keraamisia kuituja käytetään korkealämpötilaunien eristeinä terästeollisuudessa, kemian teollisuudessa ja energiantuotannon prosesseissa.

Viime vuosikymmeninä teollisten mineraalikuitujen ominaisuuksia on kehitetty muokkaamalla kuitujen kemiallista koostumusta. Esimerkiksi lasivillan liukoisuutta on parannettu lisäämällä alkalioksidipitoisuutta, kivivillan lämmön kestävyttä on parannettu lisäämällä alumiinipitoisuutta (HT-kuidut) ja alumiinisilikaattipohjaisten keraamisten kuitujen tilalle on kehitetty korkeita lämpötiloja kestäviä AES-villalatuja (alkaline earth silicate wools). (IARC, 2002; ATSDR, 2004; Danish Ministry of the Environment, 2013)

Mineraalivillatuotteet voivat sisältää mineraalikuitujen (87-100 %) lisäksi orgaanista sideainetta (0-13%) ja mineraaliöljyä (0-0,5%) pölynsidontaan (Paroc, 2016; Isover, 2014; Isover, 2015; Knauf Insulation, 2017; Aikivuori, 2001). Mineraalivillojen yleisimmin käytetty sideaine on fenoliformaldehydiharts (bakeliitti), mutta sille on viime vuosikymmeninä kehitetty korvaavia tuotteita, kuten melamiini-, akryyli- ja tärkkelyspohjaisia sideaineita (IARC, 2002; Knauf Insulation, 2017). Boraatteja kuituvalmisteisiin lisätään edistämään kuitujen mekaanista kestävyttä ja lämmönkestävyttä sekä tuotteiden kestävyttä vedelle ja kemikaaleille (EC, 2008). Mahdollisista tuotteiden sisältämistä lisäaineista ei kuitenkaan ole helposti saatavilla olevaa julkista tietoa. Tässä katsauksessa tarkastelu keskittyy ainoastaan teollisten mineraalikuitujen ominaisuuksiin ja terveysvaikutuksiin, ei mineraalikuitutuotteiden sisältämiin lisäaineisiin.

Taulukko 1. Teollisten mineraalikuitujen ominaisuuksia ja käyttötarkoituksia (tiedot koostettu IARC, 2002; Tuomainen ym., 2003; Danish Ministry of the Environment, 2013)

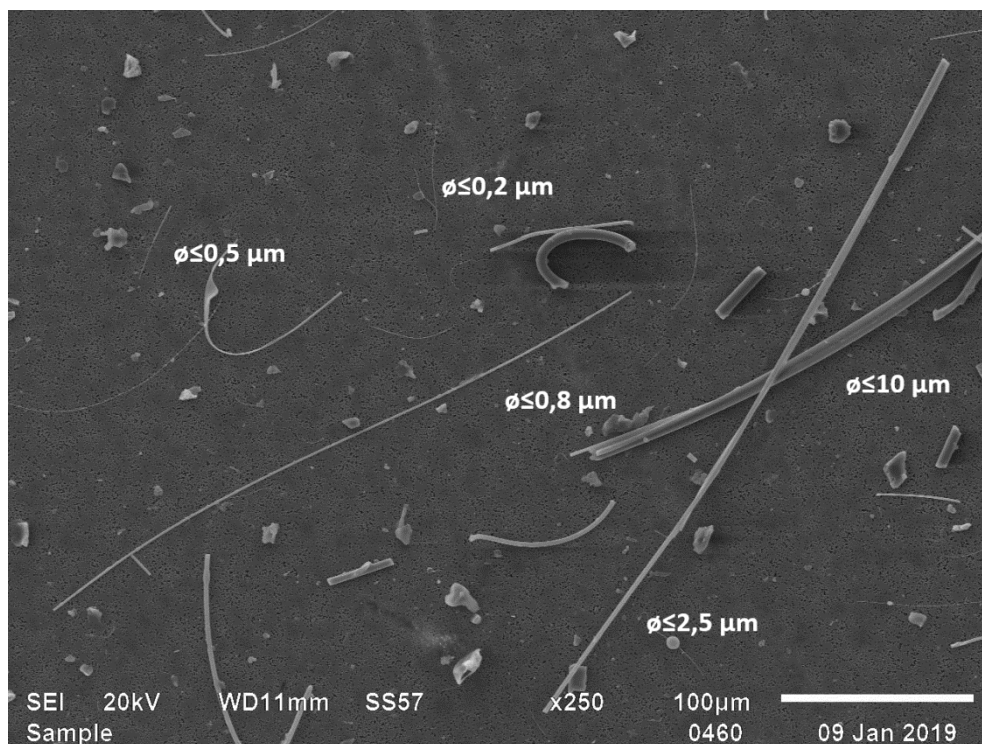
	Muut nimitykset/alaluokat	Pääraaka-aineet	Keskim. halkaisija	Kemiallinen koostumus	Käyttötarkoituksia
Lasivilla	MMVF10, MMVF10a, MMVF11	Kierrätyslasi	3-10 µm	SiO₂ 55-70% Al ₂ O ₂ 0-7% CaO+MgO 5-18% Na ₂ O+K ₂ O 12-20,5%	- Rakennusten ulkovaipan lämmöneristeet - Ilmanvaihtokanavien lämmöneriste- ja äänenvaimennusmateriaalit - Ilmanvaihtokoneen suodattimet - Huonetilojen äänenvaimennusmateriaalit (mm. akustiikkalevyt)
Kivivilla	vuorivilla, MMVF21	Emäksiset kiviainekset	2-6 µm	SiO₂ 43-50% Al ₂ O ₂ 6-15% CaO+MgO 16-41% Na ₂ O+K ₂ O 1,5-5,5%	- Rakennusten ulkovaipan lämmöneristeet - Ilmanvaihtokanavien lämmöneriste- ja äänenvaimennusmateriaalit - Huonetilojen äänenvaimennusmateriaalit (mm. akustiikkalevyt) - Paloeristeet

	Muut nimitykset/alaluokat	Pääraaka-aineet	Keskim. halkaisija	Kemiallinen koostumus	Käyttötarkoituksia
Kuonavilla	MMVF22	Masuunikuona	2-6 µm	SiO₂ 38-52% Al ₂ O ₂ 5-16% CaO+MgO 24-57% Na ₂ O+K ₂ O 0,3-3%	- Rakennusten ulkovaipan lämmöneristeet - Ilmanvaihtokanavien lämmöneriste- ja äänenvaimennusmateriaalit - Huonetilojen äänenvaimennusmateriaalit (mm. akustiikkalevyt) - Paloeristeet
Jatkuvat lasikuidut	E-glass (elektroniikan applikaatiot) S-glass C-glass AR-glass	Kierrätyslasi	3-25 µm	SiO₂ 52-75% Al ₂ O ₂ 0-30% CaO+MgO 1-25% Na ₂ O+K ₂ O 0-21%	- Sähköeristys - Sementin ja muovien lujite - Paperien ja kumien lisäaine - Tekstiilit
Keraamiset kuidut	RCF (refractory ceramic fibres)	Kaoliini Piidioksidin ja alumiinioksidin seokset	1-4 µm	SiO₂ 47-54% Al₂O₂ 35-51% CaO+MgO <2% Na ₂ O+K ₂ O <2%	- Poltto- ja sulatusuunien eriste

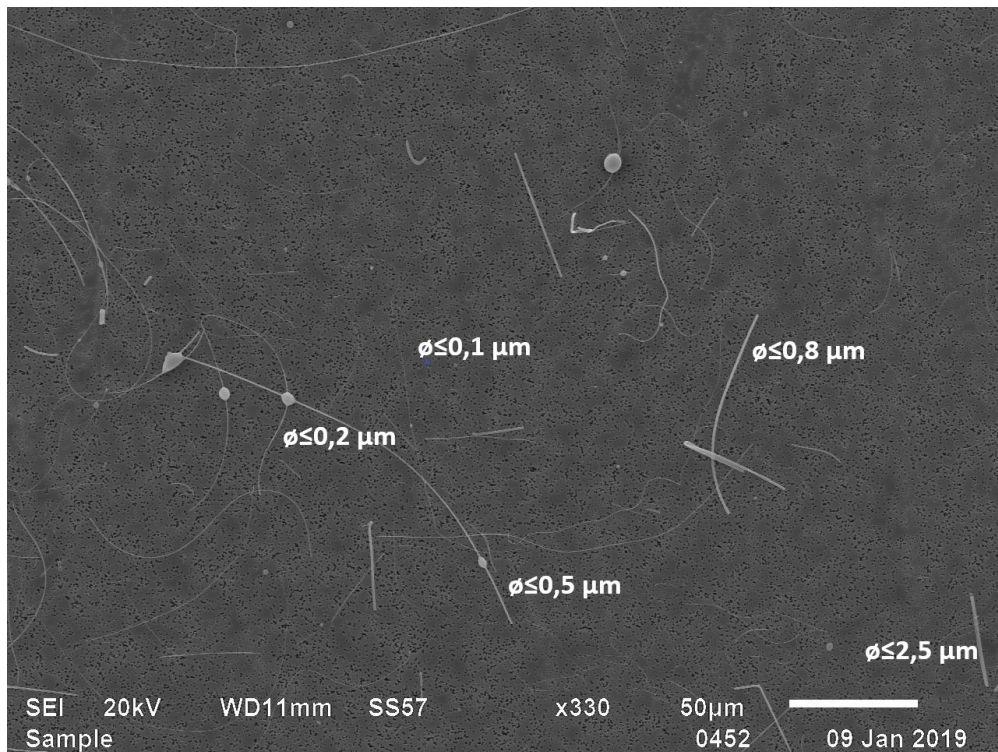
	Muut nimitykset/alaluokat	Pääraaka-aineet	Keskim. halkaisija	Kemiallinen koostumus	Käyttötarkoituksia
HT-kuidut	MMVF34	Emäksiset kiviainekset		SiO₂ 33-43% Al₂O₂ 18-24% CaO+MgO 23-33% Na ₂ O+K ₂ O 1-10%	- Paloeristeet
AES- villakuidut	alkaline earth silicate wools			SiO₂ 50-82% Al ₂ O ₂ <2% CaO+MgO 18-43% Na ₂ O+K ₂ O <1%	- Poltto- ja sulatusuunien eriste

2 TEOLLISTEN MINERAALIKUITUJEN LÄHTEET SISÄYMPÄRISTÖISSÄ

Asuin- ja toimistotyypisissä sisäympäristöissä esiintyvät teolliset mineraalikuidut ovat eristevillakuituja (lasi-, kivi- ja kuonavilla). Niiden lähteitä voivat olla esimerkiksi tuloilmajärjestelmissä käytetyt äänenvaimennusmateriaalit, putkien, kanavien, hormien ja läpivientien avonaiset mineraalivillaeristeet, suojaamattomat tai rikkonaiset akustiikkalevyt sekä ulkovaipparakenteiden lämmöneristekerroksen kautta kulkevat ilmavuodot. Kuitulähteitä esiintyy erityisesti 1970-, 1980- ja 1990-luvuilla rakennetuissa ilmanvaihtojärjestelmissä. Kuituja irtoaa sisäilmaan myös monista tuloilman suodattamiseen käytetyistä suodattimista (Tuomi ym., 2019). Niistä irtoavat kuidut ovat halkaisijaltaan pienempiä (0,1-2,5 µm) kuin äänenvaimentamiseen tai lämmöneristämiseen käytetyistä materiaaleista irtoavat kuidut (0,2-10 µm; Kuva 1).



Kuva 1 a). Äänenvaimennuslevyjen sisältämiä kuituja elektronimikroskoopilla tarkasteltuina, käytetty suurennus 250-kertainen.



Kuva 1 b). Ilmanvaihtosuodattimien sisältämiä kuituja elektronimikroskoopilla tarkasteltuina, käytetty suurennus 330-kertainen.

Ilmavirtaus, värinä tai isku voivat irrottaa kuituja materiaaleista. Irtoaminen lisääntyy materiaalien vanhetessa, kostuessa tai altistuessa korkeammalle ilmankosteudelle. Kuituja voi vapautua sisäilmaan huolto-, korjaus- ja rakennustöiden aikana. Jos pölynhallinnasta ei ole huolehdittu tai siivous ei ole riittävä, kuituja voi esiintyä em. töiden jälkeen pinnoille, koteloihin, alaslaskuihin ja ilmanvaihtojärjestelmään levinneessä pölyssä (Kollanen, 2016). Varsinkin harvoin siivottavat pinnat voivat toimia kuitulähteinä.

Keraamisia kuituja tavataan pääasiassa teollisuudessa. Niiden esiintyminen toimistoympäristöissä on epätodennäköistä.

3 TEOLLISTEN MINERAALIKUITUJEN TERVEYSVAIKUTUKSET

Mineraalikuitujen terveysvaaraominaisuuksiin vaikuttavat niiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, joista tärkeimpiä ovat halkaisija, pituus ja liukoisuus biologisissa nesteissä. Terveysriskiä arvioitaessa huomioidaan niin kutsuttujen vaaraominaisuuksien lisäksi altistuminen eli altisteen kulkeutuminen elimistöön eri reittien välityksellä, haittavaikutusten kannalta olennaiset altistumistasot sekä altistumisen kesto. Mineraalikuitujen aiheuttamat haitalliset terveysvaikutukset voivat vaihdella kuitutyypistä riippuen akuuteista ja ohime-nevistä vaikutuksista vakavampiin, pysyviin vaikutuksiin (ATSDR, 2004). Näitä terveysvaiku-tuksia on käsitelty tarkemmin edempänä.

Teolliset mineraalikuidut ovat kemialliselta olomuodoltaan lasimaisia, eli niiden rakenne on amorfinen eikä kidemäinen, kuten esimerkiksi syöpävaarallisilla kvartsilla ja asbestilla. Poikkeuksen tekevät tulenkestävät keraamiset kuidut, joiden rakenne voi jossain määrin muuttua kidemäiseen muotoon yli 1000 °C lämpötiloissa (Gantner, 1986; TIMA, 1993). Amorfisesta rakenteestaan johtuen teolliset mineraalikuidut eivät hajotessaan katkea pi-tuussuunnassa läpimitaltaan entistä ohuemmiksi kuiduiksi, kuten asbesti, vaan poikittain entistä lyhyemmiksi kuiduiksi tai pölyksi (Assuncao ja Corn, 1975; Zussman, 1979; Antonsson ja Runmark, 1987). Tämä on olennaista erityisesti hengitystiealtistumisen ja mahdollisten keuhkoihin kohdistuvien haittavaikutusten kannalta.

Teollisten mineraalikuitujen mahdolliset kohde-elimet ovat hengitystiet, iho ja silmät. Hen-gitystiealtistumiseen vaikuttaa erityisesti kuitujen läpimitta. Halkaisijaltaan alle 3 µm teolli-set mineraalikuidut voivat kulkeutua keuhkoissa keuhkorakkuloihin saakka (alveolijae), kun taas tätä suuremmat kuidut (hengittyvä jae) jäävät ylempäs hengitysteihin (Timbrell, 1965; Lippmann, 1990a). Läpimitan lisäksi myös kuitujen pituus vaikuttaa siihen, kuinka syvälle hengitysteihin ne voivat kulkeutua. Alveoleista löytyy harvoin yli 60 µm pitkiä kuituja, ja pituudeltaan yli 200–250 µm pitkät kuidut jäävät ylähengitysteihin (Lippmann, 1990b). Iho-altistumisen osalta suora laskeuma ilmasta iholle on kirjallisuuden perusteella todennäköi-sesti vähäistä, mutta ilmasta pinnoille laskeutuneet kuidut voivat siirtyä käsien välityksellä iholle ja silmiin (Schneider, 2001). Ihoaltistumiseen vaikuttaa siten kuitupäästöjen ohella myös siivouksen taso ja tiheys.

Elimistön puolustusjärjestelmät voivat olemassa olevan tiedon mukaan poistaa teollisia mineraalikuituja suhteellisen tehokkaasti. Monet niistä liukenevat varsin hyvin kudosten-teeseen, joskin sekä kuitujen koko että kemialliset ominaisuudet voivat heikentää liukoi-

suutta (ACGIH, 2001; IARC, 2002). Lisäksi hengitysteiden makrofagit pystyvät fagosytoimaan itseään pienempiä ($< \sim 15 \mu\text{m}$) kuituja, jolloin ne poistuvat elimistöstä joko mukosiliaarisen puhdistuman tai imusuonien kautta (ACGIH, 2001).

Arvioitaessa työperäistä altistumista teollisille ja muille mineraalikuiduille, kuten asbestille, on lähtökohtana ollut hengitystiealtistuminen, liukoisuus keuhkoissa sekä keuhkoihin kohdistuvat terveyshaitat. WHO:n määritelmän mukaan altistumista arvioitaessa tulisi huomioida kuidut, joiden halkaisija on $3 \mu\text{m}$ tai pienempi, pituus yli $5 \mu\text{m}$ ja pituuden suhde halkaisijaan vähintään 3:1. Tätä määritelmää käytetään arvioitaessa työperäistä altistumista mm. tuotantotiloissa tai rakentamisessa ilman kuitupitoisuuksille annettuja HTP-arvoja tai muita työhygieenisiä raja-, ohje- tai viitearvoja vasten. Sen sijaan arvioitaessa työntekijöiden altistumista teollisille mineraalikuiduille toimistotyypissä työympäristöissä, päähuomio on alhaisen hengitystiealtistumisen vuoksi ollut pinnoille kerääntyvissä kuduissa, jotka sisältävät halkaisijaltaan myös yli $3 \mu\text{m}$ kuituja.

3.1 Ihon, silmien ja ylempien hengitysteiden ärsytysvaikutus

Teolliset mineraalikuidut voivat aiheuttaa korkeilla pitoisuuksilla ohimenevää ihon, silmien ja ylempien hengitysteiden limakalvojen ärsytystä, joka oireilee ihottumana, silmien punoituksena, pistelynä ja kutinana (Schneider ja Stokholm, 1981; Stokholm ym., 1982; Bjornberg, 1985; WHO, 1988; ACGIH, 2001; ATSDR, 2004). Näitä akuutteja terveysvaikutuksia on tutkittu ja raportoitu tieteellisissä julkaisuissa erityisesti teollisia mineraalikuituja valmistavan tai jatkokäsittävän teollisuuden työntekijöistä, jotka voivat altistua hyvinkin korkeille pitoisuuksille, sekä vapaaehtoisilla tutkimushenkilöillä tehdyistä altistuskokeista.

Teollisten mineraalikuitujen on raportoitu voivan aiheuttaa ihon ja ylähengitysteiden ohimenevää mekaanista ärsytystä, kun niiden pitoisuus ilmassa on korkeampi kuin $1 \text{ kuitu}/\text{cm}^3$ (eli $1\,000\,000 \text{ kuitua}/\text{m}^3$), erityisesti jos ilmassa on myös paljon ei-kuitumaisia hiukkasia (ACGIH, 2001). Siksi useiden eri maiden työhygieeninen ohje- tai raja-arvo työpaikan ilman teollisten mineraalikuitujen pitoisuuksille on $1 \text{ kuitu}/\text{cm}^3$, myös Suomessa (Taulukko 7). Toimistotyypissä ympäristöissä mitatut ilman teollisten mineraalikuitujen pitoisuudet jäävät tyypillisesti huomattavasti tätä raja-arvoa pienemmiksi (Taulukko 9), eikä teollisuusympäristöissäkään tavallisesti mitata niin korkeita pitoisuuksia (Taulukko 8).

Ihoärsytysvaikutuksia voivat tutkimusten mukaan aiheuttaa pääasiassa halkaisijaltaan yli $5 \mu\text{m}$ teolliset mineraalikuidut (Heisel ja Hunt, 1968; Fisher ja Warkentin, 1969; Possick ym., 1970; Fisher, 1982). Silmä ja muut limakalvot ovat tyypillisesti ihoa herkempiä partikkeleiden aiheuttamalle mekaaniselle ärsytykselle, joten silmä- ja limakalvoärsytyksen osalta on mahdollista, että myös alle $5 \mu\text{m}$ paksut kuidut ovat ärsyttäviä, mutta aihepiiriin liittyvä

tutkimustieto rajoittuu ihoärsytysvaikutukseen. Ihon osalta vaikutus perustuu teollisten mineraalikuitujen aiheuttamaan mekaaniseen hankaukseen ja ihon pintakerroksen rikkoutumiseen (Possick ym., 1970; Stokholm ym., 1982). Vaikutus on ohimenevä ja oireet palautuvia. Ihoärsytysherkyyden on raportoitu vaihtelevan yksilöiden välillä; osassa tutkimuksista samoissakin työympäristöissä työskentelevistä tai samalla tavalla koeasetelmassa altistetuista vain osa on oireillut tai oireiden vakavuus (esimerkiksi pelkkä kutina vs. ihotuma) on vaihdellut (Bjornberg, 1985). Joidenkin toistuvasti altistuneiden työntekijöiden ihon on myös raportoitu ainakin jossain määrin tottuneen vaikutukseen, erityisesti kutinaan (Possick ym., 1970; Bjornberg, 1985). Ärsytysvaikutuksella ei ole yhteyttä allergisiin herkistymisreaktioihin (Heisel ja Hunt, 1968; Possick ym., 1970; Bjornberg, 1985). Toisaalta eristevillakuiduissa sideaineina käytettyjen aineiden, erityisesti erilaisten hartsiyhdisteiden, on joissakin hyvin harvinaisissa tapauksissa raportoitu aiheuttaneen allergista kontakti-ihottumaa (Dahlquist ym., 1979).

Yli 3 µm paksut kuidut laskeutuvat nopeasti ilmasta pinnoille, ja ilmamittauksissa onkin raportoitu löytyneen lähinnä alle 3 µm paksuisia kuituja, vaikka samoissa tutkimuksissa pinnoilta mitattiin sekä läpimitaltaan yli että alle 3 µm kokoisia kuituja (Schneider, 1986; Schneider ym., 1990). Myös laskeuman suoraan ilmasta iholle tai silmiin on raportoitu olevan varsin vähäistä (Schneider, 2001). Huomioiden lisäksi toimistotyypisille työympäristöille tyypilliset, matalat ilman teollisten mineraalikuitujen pitoisuudet sekä ärsytysvaikutukselle asetetun ilman kuitupitoisuuden raja-arvon 1 kuitu/cm³, suoraan ilman välityksellä tapahtuvasta altistumisesta seuraavat ärsytysvaikutukset ovat suhteellisen epätodennäköisiä toimistotyypisissä työtiloissa. Sen sijaan on mahdollista, että näissä tiloissa pinnoille kerääntyneet ja käsien kautta esimerkiksi silmiin siirtyneet kuidut voivat aiheuttaa ärsytysvaikutuksia, joskaan tutkimusnäyttöä tästä ei ole. Samoja ärsytysoireita saattavat selittää myös useat muut sisäilmastotekijät, kuten ilman kuivuus tai korkea lämpötila, sekä esimerkiksi kuivasilmäisyys, jonka riskitekijöitä ovat mm. ilmastointi, kuiva sisäilma, näyttöpäätetyö ja silmän epäpuhtaudet (Reinikainen ja Jaakkola, 2001; Reinikainen ja Jaakkola, 2003; Seppänen, 2018; Wolkoff, 2018).

Teollisten mineraalikuitujen pintalasteumapitoisuuksien ja ärsytysvaikutusten välistä annos-vastesuhdetta ei ole tutkittu. Siten ei voida arvioida, kuinka suuret pintalasteumapitoisuudet voivat aiheuttaa ärsytysvaikutuksia, eikä siis voida asettaa terveysvaikutuksiin perustuvaa viitearvoa teollisten mineraalikuitujen pintalasteumapitoisuuksille. Altistumisen arvioinnin osalta teollisten mineraalikuitujen pintalasteumapitoisuuksia on ylipäättään tutkittu ilmapitoisuuksia vähemmän, eikä myöskään voida luotettavasti arvioida, kuinka ilman ja pintojen mineraalikuitupitoisuudet korreloivat. Vuonna 2009 julkaistussa suomalaisessa tutkimuksessa mitattiin teollisten mineraalikuitujen pintalasteumapitoisuuksia toimistotiloissa, joissa työntekijöillä oli raportoitu olevan ylempien hengitysteiden, silmien ja ihon

ärsytysoireita (Salonen ym., 2009). Tässä tutkimuksessa yli 20 µm pitkien kuitujen pitoisuudet vaihtelivat välillä < 0,1–5 kuitua/cm² toimistotiloissa, joissa oli epäilty sisäilmaongelmaa. Tutkimus ei kuitenkaan sisältänyt vertailutiloja, joissa oireilua ei olisi raportoitu, eikä siten voinut ottaa kantaa pintalaskemamittoisuuksien ja oireiden väliseen yhteyteen. Tuotantotiloissa tehdyistä pintalaskemamittauksista taas on raportoitu, että huomattavasti korkeammassakin pitoisuuksissa (10 000–100 000 kuitua/cm²) työntekijöiden oireet olivat vähäisiä ja ohimeneviä (Tuomi ym., 2019). Tässä tutkimuksessa ilman kuitupitoisuudet jäivät selvästi alle ilman kuitupitoisuudelle asetetun raja-arvotason 1 kuitu/cm³. Tämänkään tutkimuksen päätavoitteena ei kuitenkaan ollut karakterisoida haitallisia terveysvaikutuksia tai niiden suhdetta altistumiseen, eikä sen perusteella voida arvioida altistumisen ja oireilun annos-vastesuhdetta.

3.2 Keuhkovaikutukset ja syöpävaarallisuus

Pitkäaikaisten keuhkovaikutusten ja syöpävaarallisuuden riski riippuu teollisten mineraalikulujen tyypistä ja sen ominaisuuksista. Kuten yllä on mainittu, keuhkovaikutuksia voivat aiheuttaa läpimitaltaan alle 3 µm paksut kuidut eli nk. alveolijae, joka pääsee kulkeutumaan keuhkorakkuloihin saakka, kun taas suuremmat teolliset mineraalikuidut jäävät ylempäs hengitysteihin. Keuhkoihin asti päässeiden kuitujen aiheuttamat haitalliset terveysvaikutukset riippuvat kuitutyyppin muista ominaisuuksista, kuten pysyvyydestä kudoksessa.

Eristevillakuitujen ja jatkuvien lasikuitujen ei ole todettu aiheuttavan ihmisissä kroonisia haitallisia keuhkovaikutuksia, kuten keuhkofibroosia (ACGIH, 2001). Koe-eläimissä erityisesti makrofagien halkaisijaa suuremmat, eli yli ~15 µm teolliset mineraalikuidut ovat suurina pitoisuuksina aiheuttaneet kudoksessa inflammaatiovastetta ja jopa keuhkofibroosia (McConnell ym., 1994; Morgan ym., 1994; Oberdorster, 2000; ACGIH, 2001). On kuitenkin huomattava, että erityisesti rotat, joissa valtaosa koe-eläinkokeista on tehty, ovat ihmisiä herkempiä niukkaliukoisten hiukkasten ja pölyjen aiheuttamille pitkäaikaisille keuhkovaikutuksille. Tämä johtuu alveolaaristen makrofagien liikuntakyvyn häviämisestä tietyn täyttymispisteen jälkeen (Morrow, 1988), jolloin ne kertyvät yhteen. Tilaa kutsutaan ylikuormitustilaksi (overload), ja se johtaa epäspesifiseen krooniseen tulehdusvasteeseen.

Syöpävaarallisuuden osalta jatkuvista lasikuiduista ei ole eläinkoenäyttöä, mutta saatavilla on epidemiologisia tutkimuksia, joissa ei ole havaittu kohonnutta syöpäriskiä ihmisillä (IARC, 2002). Myös eristevillakuitujen syöpäriski ihmisille on nykytiedon valossa hyvin epätodennäköinen, ja toimistotyypissä ympäristöissä esiintyvillä, hyvin matalilla pitoisuuksilla käytännössä olematon. Eristevillakuidut ovat aiheuttaneet koe-eläimissä syöpää ainoastaan epätavallisten annostelureittien kautta (intrapleuraalinen ja -peritoneaalinen, mah-

dollisesti myös intratrakeaalinen injektio) (ACGIH, 2001), jotka eivät ole relevantteja ihmisillä. Inhalaatioaltistuminen ei ole koe-eläimissäkään lisännyt kasvainten esiintymistä merkittävästi, eikä karsinogeenisuudesta ihmisissä ole epidemiologista näyttöä (ACGIH, 2001; IARC, 2002).

Keraamiset kuidut sen sijaan on arvioitu eläinkoenäyttöön perustuen myös mahdollisesti ihmisille karsinogeenisiksi (IARC kategoria 2B "mahdollisesti karsinogeeninen ihmisille" (2002) ja ACGIH kategoria A2 "epäilty ihmiskarsinogeeni" (2001)). Lisäksi ne on (tietyin poikkeuksin) luokiteltu Euroopan CLP-asetuksen (EY 1272/2008) mukaisesti kategorian 1B karsinogeeniksi (Saattaa aiheuttaa syöpää inhalaatioaltistumisessa), ja luokitellaan Suomessa syöpäsairauden vaaraa aiheuttaviksi aineiksi (työministeriön päätös syöpäsairauden vaaraa aiheuttavista tekijöistä 1993/838). Keraamisia kuituja ei kuitenkaan esiinny toimistotyypissä työympäristöissä. Poikkeuksen voivat tehdä tilat, joissa on jokin tavanomaisesta toimistoympäristöstä poikkeava lähde. Esimerkiksi tietyn tyyppisten tuotantotilojen tai kierrätysasemien yhteydessä olevien toimistojen ilmassa keraamisia kuituja saattaa esiintyä.

4 TEOLLISTEN MINERAALIKUITUJEN NÄYTTEENOTTO- JA ANALYSOINTIMENETELMÄT

Mineraalikuitujen esiintymistä sisäympäristöissä voidaan tutkia useilla eri näytteenotto- ja analysointimenetelmillä, riippuen tutkimuskohteen olosuhteista ja oletetuista kuitulähteistä. Mineraalikuitujen pitoisuutta ilmassa selvitetään ottamalla näytteet pumpun avulla suodattimille. Pinnoille laskeutuneesta pölystä kuitujen esiintymistä voidaan selvittää kvantitatiivisesti geeliteippinäytteistä tai imuroimalla suodatinkoteloon otetuista näytteistä. Kvalitatiivisesti pintojen kuituja voidaan analysoida myös pyyhintämenetelmällä otettujen pölynäytteiden avulla. Ilman kuitupitoisuutta ja/tai kuitujen lähdettä sisätiloissa voidaan arvioida myös tulo- ja poistoilmaventtiileistä suodatinkankaaseen otettujen näytteiden avulla.

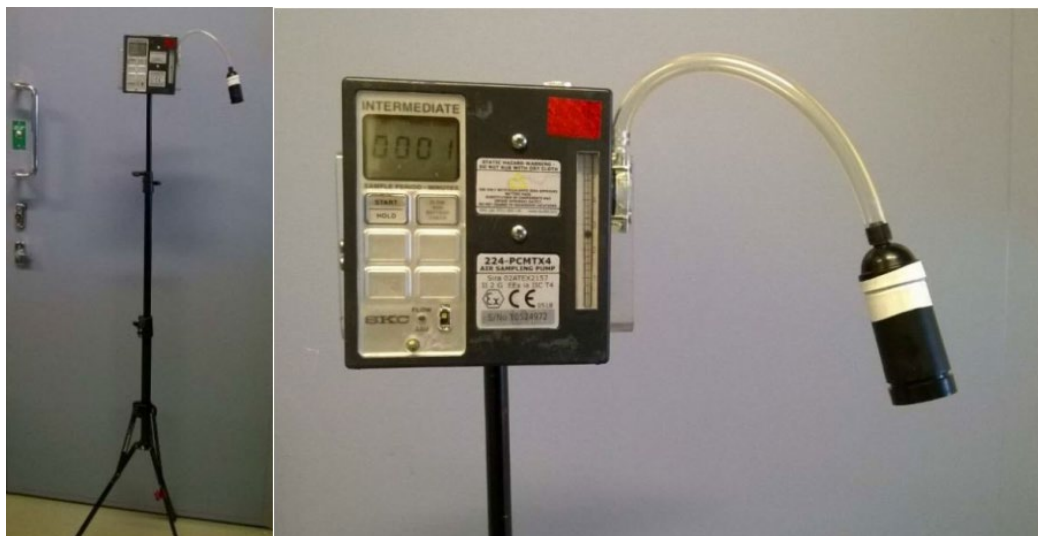
Näytteiden analysointi tapahtuu näytetyypistä ja havaintotarkkuusvaatimuksista riippuen joko valomikroskopian menetelmillä tai elektronimikroskooppisesti. Valomikroskopiassa voidaan käyttää stereomikroskooppia tai läpivalaisumikroskooppia varustettuna esim. faasikontrastioptiikalla PCOM ja/tai polarisaatio-optiikalla PLM. Elektronimikroskopiassa voidaan käyttää joko pyyhkäisyelektronimikroskooppia SEM tai läpäisyelektronimikroskooppia TEM.

4.1 Kuitujen pitoisuus ilmassa

Kuitujen määrittämiseen ilmasta on olemassa useita menetelmiä (ISO 2002; WHO, 1997; HSE, 2014). Toimistoympäristössä ilman kuitupitoisuuksia ei yleensä mitata, koska toimistoympäristöissä työpäivän mittaiset keskiarvopitoisuudet yleensä alittavat menetelmän määrittämissärajat (Kovanen ym., 2006). Ilmanäytteitä otetaan yleensä vain sellaisissa teollisissa ympäristöissä, joissa ilman kuitupitoisuus tiedetään suureksi. Ilman kuitupitoisuuden mittaustapauksissa noudatetaan edellä mainittua WHO:n määritelmää (pituus:halkaisija $\geq 3:1$, halkaisija $\leq 3 \mu\text{m}$, pituus $> 5 \mu\text{m}$) esim. kansainvälisessä standardimenetelmässä kuvatulla tavalla (ISO, 2002).

Harvoin on tarvetta mitata teollisia mineraalikuituja ilmasta toimistotyypissä ympäristöissä, mutta joissakin erityistilanteissa se voi olla tarpeellista. Näissä tapauksissa Työterveyslaitos soveltaa mittauksissaan ISO-standardia 14966 (2002). Siinä ilmanäyte otetaan suodatinkotelossa olevalle polykarbonaattisuodattimelle ($\varnothing 25 \text{ mm}$, keskimääräinen huokoskoko $0,8 \mu\text{m}$). Näytteet otetaan pumpun avulla virtauksella 2.4 l/min ($\pm 5 \%$) joko kiin-

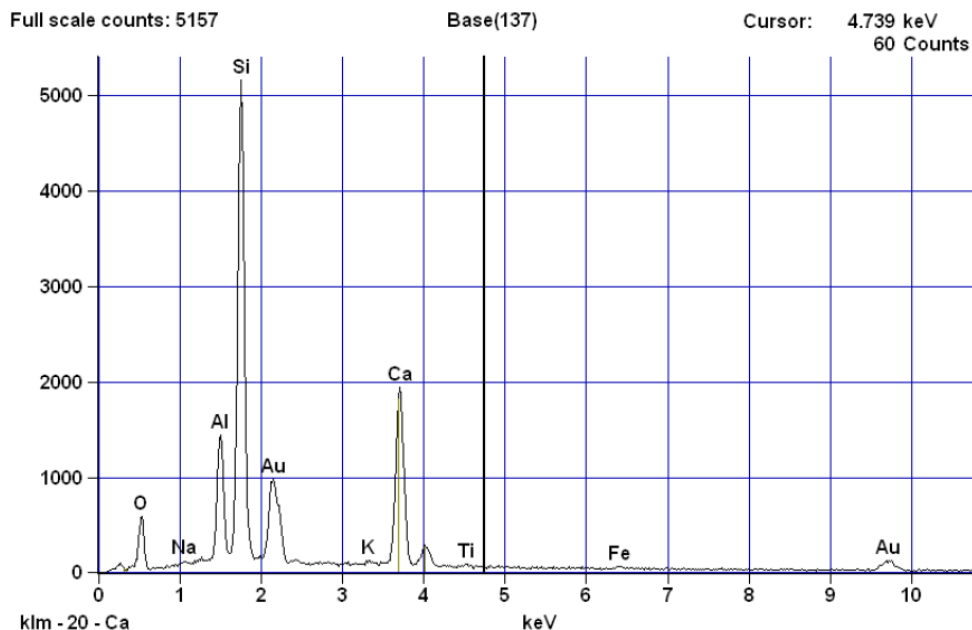
teestä pisteestä hengityskorkeudelta (Kuva 2), tai työntekijän hengitysvyöhykkeestä käyttäen näytteenottovaljaita apuna (ISO, 2002). Näytteenoton edustavuuden takaamiseksi on syytä ottaa samasta mittauspisteestä useampi perättäinen näyte.



Kuva 2. Ilmanäytteiden otto statiivin avulla kiinteästä mittauspisteestä.

Ilmanäytteet analysoidaan useimmiten pyyhkäiselektronimikroskoopilla suodattimelta joka on päällystetty kullalla. Kuitujen laskennassa käytetään vähintään 500-kertaista vakiosuurennusta. Tällä suurennuksella lasketaan vähintään 50 kenttää tai vaihtoehtoisesti määritysrajan $0,01$ kuitua/cm³ edellyttämä määrä kenttiä. On suositeltavaa, että vähintään 1 mm² suuruinen osa suodattimesta lasketaan. Vakiosuurennuksen ohella kuitujen halkaisija arvioidaan tarvittaessa käyttämällä tarkempaa suurennusta ja tunnistus varmistetaan elementtikoostumuksen avulla, käyttäen energiadiispersiivista röntgenanalysaattoria (EDX). Teollisten mineraalikuitutyypien ominaisuuksia ja kemiallisia koostumuksia on esitetty tarkemmin standardin ISO 14966 (2002) liitteessä C sekä taulukossa 1. Tyypillinen teollisen mineraalikuidun alkuainespektri nähdään kuvassa 3. Tuloilmasuodattimista irronneet kuidut ovat yleensä melko puhdasta amorfista piidioksidia ja sisältävät vähemmän kalsiumia kuin muut lasikuidut.

Kuitunäytteitä laskettaessa tulee noudattaa ISO-standardin laskentasääntöjä (ISO, 2002; NIOSH, 2019).



Kuva 3. Tyypillisen toimistoissa tavattavan teollisen mineraalikuidun alkuainespektri

Näytteenotto tulo- tai poistoilmaventtiileistä

Tuloilmajärjestelmän mineraalikuitupäästöjä voidaan mitata tuloilmaventtiiliin kiinnitettävän polypropeenisuodatinkankaan avulla (Kovanen ym., 2006). Vastaavalla tavalla voidaan arvioida huonetilan ilman kuitupitoisuutta ottamalla suodatinkankaalle näyte poistoilmaventtiilistä (Kuva 4).

Suodatinkangasnäytteitä otettaessa tulee mitata tuloilma- tai poistoilmavirtaus suodatinkankaan asentamisen jälkeen. Näytteenottoaika on tuloilmanäytteessä kahdesta neljään vuorokautta (Kovanen ym., 2006). Otettaessa näytteitä poistoilmaventtiilistä, on vähintään kahden viikon näytteenottoaika suositeltava. Näytteenoton jälkeen suodatinkangas irrotetaan varovasti ja toimitetaan suljettavassa muovipussissa analysoitavaksi. Kuitujen laskennassa hyödynnetään faasikontrastioptiikalla varustettua polarisaatiomikroskooppia. Kun tiedetään näytteenoton aikana kankaan läpi virrannut ilmamäärä (m^3) ja kuitujen lukumäärä suodatimen pinta-alaa kohden, voidaan arvioida tuloilman/huoneilman mineraalikuitupitoisuus (kuituja/ m^3).



Kuva 4. Polypropyleenisuodatinkangas kiinnitettynä poistoilmaventtiiliin.

4.2 Kuidut pinnoille laskeutuneesta pölystä

Kuitujen määräys pinnoilta on keskeisin työkalu toimistotyypisten tilojen kuitupäästöjä arvioitaessa. Kyseisiä asumisterveysasetuksen mukaisia analyysejä tekevien laboratorioden tulosten vertailukelpoisuudessa on kuitenkin todettu olevan puutteita (Talvitie, 2019). Samaa johtopäätöstä tukee Työterveyslaitokselle tullut asiakaspalautte. Siksi kappaleessa 4.3 käsitellään tulosten vertailukelpoisuuteen liittyviä tekijöitä ja tavoitteena on kuvata, miten asumisterveysasetuksen mukainen analyysi tulisi tehdä.

Asumisterveysasetuksen toimenpideraja kahden viikon aikana pinnoille laskeutuneelle pölylle, $0,2$ kuitua/cm² on lähes sama, kuin Työterveyslaitoksen antama viitearvo kahden viikon pintalasteumalle sisäympäristöissä, $>0,2$ kuitua/cm². Toimenpiderajaan ja TTL:n viitearvoon liittyvät mittauskäytännöt perustuvat Tanskan kansanterveyslaitoksen, Schneideirin työryhmän 1990-luvulla julkaistuihin tutkimuksiin. Sittenkin käytäntöjä tarkennettiin Työterveyslaitoksen ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen välisessä tutkimushankkeessa (Kovanen ym., 2006). Päivitykset liittyivät mm. analysoitavien kuitujen kokoon, näytteenottoaikaan ja mikroskopoinnissa käytettävään suurennukseen. Menetelmää sovellettiin Työterveyslaitoksessa laaditussa väitöskirjan osatyössä (Salonen ym., 2009). Näissä mainituissa tutkimuksissa kuituja on tutkittu kahden viikon pölylaskeumasta, käyttäen geeliteippejä ja valomikroskooppia, 100-kertaisella suurennuksella. Julkaistuissa töissä, joihin toimenpideraja perustuu, on huomioitu vain pituudeltaan yli 20 µm kuidut.

Analyseissä havaittujen kuitujen kokoluokka on riippuvainen käytetystä suurennuksesta, mihin vaikuttaa mikroskoopin erotuskyky (Taulukko 2). Valomikroskoopilla voidaan parhaimmillaan analysoida kuituja, joiden halkaisija on yli 0,25 µm, mutta se edellyttää 400-500 -kertaista suurennusta. Sitä pienempien kuitujen analysointiin tarvitaan elektronimikroskooppia (SEM tai TEM) (Lippman, 1988; WHO, 1988). Satakertaisella suurennuksella voi Työterveyslaitoksen asiantuntijoiden mukaan analysoida luotettavasti halkaisijaltaan 1-3 µm suurempia kuituja. Halkaisijaltaan 6,7 µm kuidun minimipituus on n. 20 µm (pituuden suhde halkaisijaan $\geq 3:1$). Toisaalta halkaisijaltaan 0,67 µm kuitu voi olla esim. 100 µm pitkä. Noin kapeaa kuitua ei kuitenkaan erota tarkasti kuin käytettäessä n. 300-400 kertaista suurennusta.

Käytännössä WHO:n määritelmän mukaisten kuitujen analysointi ei siis ole mahdollista valomikroskoopin avulla käytettäessä 100-kertaista suurennusta. Jos tarkoituksena on arvioida, esiintyykö sisäympäristössä pinnoille laskeutuneita mahdollisesti ärsytystyypisiä oireita aiheuttavia kuituja, tulisi pinnoilta analysoida kuituja, joiden halkaisija on suurempi (ei pienempi) kuin 3 µm ja pituus vähintään 9 µm. Siihen tarkoitukseen voidaan käyttää myös valomikroskooppia, jonka suurennus on 100-kertainen tai suurempi.

Taulukko 2. Kahdella eri valomikroskoopin suurennuksella, kahden eri henkilön toimesta laskettujen geeliteippien pinta-alaakohtaisia mineraalikuitulukumääriä¹ (Tuhkanen, 2020).

100x suurennus (lkm/cm ²)	400x suurennus lkm/cm ²	Ero siirryttäessä 400 x suurennukseen (%)
0,34	0,36	6
0,14	0,21	50
0,86	2,79	224
0,07	0,36	414
0,21	0,64	205
0,21	0,64	205
0,07	0,07	0
0,13	1,00	669
0,11	0,36	227
4,40	9,29	111

100x suurennus (lkm/cm ²)	400x suurennus lkm/cm ²	Ero siirryttäessä 400 x suurennukseen (%)
1,40	3,07	119
1,10	1,57	43

¹Laskettu kaikki kuidut, joiden pituus on >20 µm

Geeliteippimenetelmät

Mineraalikuitujen ja muiden kuitujen lukumäärän arvioimiseksi pinnoilta on laadittu ISO-standardi, jossa sileiltä pinnoilta kerätään näyte geeliteipin avulla (ISO, 2014). Geeliteippiä painetaan näytteenottopintaan kerran tasaisella voimalla siten, että teipin geelipinta kiinnittyy kunnolla pintaan käyttäen apuna esim. pientä telaa tai teippirullaa. Mikäli pintaan jää pölyä teipin irrottamisen jälkeen, voidaan näytteenotto toistaa samasta kohtaa uudella teipillä. Näytteen tasalaatuisuus varmistetaan valomikroskoopilla, minkä jälkeen 14 cm² kokoisesta geeliteipistä leikataan vähintään 1 cm² kokoinen preparaatti. Jos preparaatti on pölyinen, hajotetaan plasmatuskastimella ennen kultaamista sputterointilaitteessa. Kullattu näyte analysoidaan elektronimikroskoopilla. Näytteestä lasketaan kuidut, joiden halkaisija on vähintään 0,2 µm, pituus yli 5 µm ja pituuden suhde halkaisijaan vähintään 3:1. Koska näytteenottopinta-ala on pieni, tulisi ottaa vähintään kolme rinnakkaista näytettä, lukumäärän ollessa riippuvainen huonetilan pinta-alasta (Taulukko 3). Menetelmässä laskentaan tulee käyttää laskentaan vähintään 300-400 kertaista vakiosuurennusta ja lisäksi 1000-kertaista tarkennusta halkaisijan varmistamiseksi ja tarvittaessa EDX-analyyysiä elementtikoostumuksen varmistamiseksi. Menetelmässä laskentaan vähintään 25 satunnaisesti valittua kenttää niin, että katetaan mahdollisimman suuri osa preparaatin pinta-alasta. Koska teipistä analysoitava pinta-ala on pieni, on menetelmän määrittäjäsuuri, 10 kuitua/cm².

Taulukko 3. Rinnakkaisten geeliteippinäytteiden tarve (ISO, 2014).

Tilan pinta-ala/m ²	Rinnakkaisten geeliteippinäytteiden lukumäärä
<30	3
30-100	5
100-500	7
500-1 000	10
>1 000	>10

Työterveyslaitoksessa on käytössä valomikroskopointiin perustuva geeliteippien analysointimenetelmä (Kovanen ym., 2006), johon asumisterveysasetuksessa annettu toimenpideraja perustuu. Tässä menetelmässä 14 cm² teippi analysoidaan suoramikroskopoidulla stereomikroskoopilla lasisen laskentaruudun päällä, jossa (2 cm x 7 cm) teippi on jaettu kymmeneen 0,2 cm levyiseen laskentakaisaan. Menetelmässä noudatetaan ISO-standardissa kuvattuja laskentasääntöjä (ISO, 2002). Siinä lasketaan kaikki pituudeltaan yli 20 µm kuidut, jotka ovat erotettavissa 100-kertaisella suurennuksella. Jos mikroskoopissa on faasikontrastioptiikka, voi kuitujen havaitseminen olla helpompaa. Vastaavasti, käyttämällä polarisaatiota on lasikuitujen erottaminen tekstiilikuiduista ym. keinotekoisista kuiduista luotettavampaa. Työterveyslaitoksen soveltamalla menetelmällä on ISO-standardissa kuvattua menetelmää 100 kertaa alempi määrittäjäraja, 0,1 kuitua/cm². Siitä syystä ko. menetelmää voidaan ISO-standardin (ISO, 2014) mukaista menetelmää paremmin soveltaa sisäilmakohteisiin (Taulukko 4).

Taulukko 4. Pintalasteumamenetelmien ominaisuuksia.

Referenssi	Keräys	Analyysi/suurennus	Rajaukset	MR/keräyspinta-ala
ISO, 2014	Geeliteippi	SEM, 400-1000x	Pituus > 5 µm, halkaisija ≥ 0,2 µm, pituus:halkaisija ≥ 3:1	10 kuitua/cm ² (14 cm ²)
Schneider ym., 1986	Geeliteippi	Valomikroskooppi, 40x	Pituus > 50 µm ja halkaisija > 3 µm	0,6 kuitua/cm ² (14 cm ²)
Kovanen ym., 2006	Geeliteippi	Valomikroskooppi, 100x	Pituus ≥ 20 µm	0,1 kuitua/cm ² (14 cm ²)
Tuomi ym., 2019	Suodatinkotelo	SEM, 500-1000x	Pituus > 5 µm, halkaisija ≥ 0,5 µm, pituus:halkaisija ≥ 3:1	0,1 kuitua/cm ² (10 000 cm ²)

Suodatinkotelomenetelmä

Olettaen, että minimivaatimus määräysrajalle ($0,1 \text{ kpl/cm}^2$) saavutetaan, voidaan analysointiin käyttää myös elektronimikroskooppia. Työterveyslaitoksessa on kehitetty menetelmä, jossa näyte voidaan kerätä imuroimalla selluloosasuodattimelle (Whatman 3, $\varnothing 7 \text{ cm}$, huokoskoko $6 \mu\text{m}$, 1003-070) enintään $10\,000 \text{ cm}^2$ pinta-alalta käyttäen suuttimella varustettua suodatinkoteloä (Kuva 5, Tuomi ym., 2019). Imurin teho on n. 800 w ja siitä on poistettu pölypussi ja sisäiset suodattimet. Menetelmässä selluloosasuodatin ja orgaaninen pöly hajotetaan mikroaaltomärkäpoltton avulla 50 % typpihapossa ($1\,200 \text{ w}$, $22\text{--}215^\circ\text{C}$, $12 \text{ min} + 10 \text{ min}$). Näyte siirretään imun avulla $2,5 \text{ cm}$ levyiselle polykarbonaattisuodattimelle (tehollinen halkaisija $2,1 \text{ cm}$), joka kullataan ja analysoidaan SEM:lla 500-kertaisella vakiosuurennuksella. Keräyspinta-alan ollessa vähintään $100 \times 100 \text{ cm}^2$, saadaan menetelmällä analogisia tuloksia geeliteippimenetelmän kanssa olettaen, että käytetään samoja laskentasääntöjä ja kriteereitä kuitujen laskennassa kuin geeliteippimenetelmässä (Taulukot 2 ja 5). Tämä edellyttää, että on laskettu vähintään 100 kenttää tai laitteesta riippuen riittävä määrä kenttiä, jotta saavutetaan määräysraja $0,1 \text{ kuitua/cm}^2$. Vakiosuurennuksen (500) lisäksi menetelmässä käytetään vähintään 1 000-kertaista tarkennusta halkaisijan varmistamiseksi ja tarvittaessa EDX-analyysiä elementtikoostumuksen analysoimiseksi (Kuva 3). Koska suodatinkotelomenetelmässä näytettä voidaan laimentaa ennen analyysiä, soveltuu se myös tuotantotiloihin ja muille pinnoille, joissa kuitupitoisuus on $>1\,000 \text{ kpl/cm}^2$.



Kuva 5. Suuttimella varustettu suodatinkotelo ja kanneton kotelo suodattimiseen

Kvalitatiivinen pintalaskema

Kahden viikon aikana pinnoille laskeutuneesta pölystä voidaan ottaa näytteitä myös elektronimikroskooppista (SEM) pölyn koostumusanalyysiä varten. Menetelmällä voidaan tunnistaa pölyn sisältämien teollisten mineraalikuitujen lisäksi myös muita pölylähteitä, kuten kiviainespöly, siitepöly, rakennusmateriaalipöly, metallihiukkaset, asbestikuidut ja homeitiöt ilman lajitason määrittystä. Työterveyslaitos ottaa näytteen pyyhkimällä sileää pintaa nurinpäin käännetyllä, suljettavalla muovipussilla. Pussista pöly taltioidaan tislattuun veteen. Näyte suodatetaan imun avulla polykarbonaattisuodattimelle, joka kullataan ja analysoidaan kvalitatiivisesti SEM-laitteella. Menetelmällä ei voida analysoida kuitujen pituutta pinnoilla. Se mahdollistaa vain karkean arvion eri päästölähteistä pölyn koostumuksen avulla. Näytteenotto voi aliarvioida pinnoilla mahdollisesti esiintyvää karkeampaa pölyainesta, eikä ole systemaattisesti selvitetty, minkä kokoisia mineraalikuituja ko. menetelmällä voidaan kerätä.

4.3 Laboratorioiden välisen vertailukelpoisuuden parantaminen

Asumisterveysasetuksessa (STM, 2015) ja Valviran julkaisemassa asetuksen soveltamisohjeessa (Valvira, 2016) ei ole määritelty käytettävän menetelmän suurennusta, laskettavien kuitujen halkaisijaa ja dimensioita, laskentasääntöjä, näytteenottopinta-alaa tai menetelmältä vaadittavaa määritysrajaa. Tästä syystä eri laboratorioiden välisissä tuloksissa voi olla merkittäviä systemaattisia eroja (Talvitie, 2019). Asetusta päivitettäessä tulisi tämä asia korjata. Ehdotukset nykyistä yksiselitteisemmiksi kriteereiksi käytettäessä valomikroskooppia ja geeliteippien suoramikroskopointia, on lueteltu taulukossa 5. Taulukon ehdotuksissa on huomioitu kuitujen ärsyttävyysspotentiaali.

Taulukko 5. Ehdotuksia pintalaskeman näytteenotto- ja analysointikriteereiksi

Vaihtuja	Ehdotus
Näytteenottotapa	Suoraan pinnoilta, hengityskorkeus
Näytteenottomateriaali	Geeliteippi
Rinnakkaisten lukumäärä	≥3 (riippuu huoneen pinta-alasta; ISO, 2014)
Näytteenottoteipin pinta-ala	≥ 14 cm ²
Suurennus	100 x
Laskettava pinta-ala	≥ 14 cm ²
Laskettavien kuitujen halkaisija	≥ 3 μm
Laskettavien kuitujen pituus	≥ 9 μm (riippuvainen minimihalkaisijasta)
Pituuden suhde halkaisijaan	≥ 3:1
Määrittäysraja	≤ 0,1 kpl/cm ²

Ehdotuksen mukaisesti laskettaisiin siis vain halkaisijaltaan vähintään 3 μm paksut kuidut 100-kertaisella suurennuksella sen sijaan, että laskettaisiin kaikki vähintään 20 μm pitkät kuidut kuten nykykäytännössä. Jos molemmiin tavoin lasketaan sisäilmanäytteistä kuidut valomikroskoopilla, käyttäen 100kertaista suurennusta, voi tulos olla näytekohtaisesti suurempi tai pienempi (Taulukko 6). Tätä selvitystä varten tehdyn 16 kpl vertailutestin perusteella tulos voi keskimäärin laskea, mutta näytemäärä on pieni. Tämä muutos varmistaisi nykyistä paremmin laboratorioden välisten tulosten vertailukelpoisuuden ja sen, että tuloksessa huomioidaan vain ärsytysoireiden kannalta relevantit kuidut. Tämä menetelmän vakioimistoimenpide edellyttää menetelmien viitearvojen tarkastamista ja mahdollista päivittämistä uudella tavalla lasketuista näytteistä. Lisäksi, kun mittauskriteerit on yhdenmukaistettu, voidaan järjestää vertailukierroksia laboratorioden välillä.

Taulukko 6. Kahdella eri kriteerillä valomikroskoopilla laskettujen kuitujen lukumäärä kuudessatoista näytteessä (Tuhkanen, 2020)

Halkaisija Pituus		Tulosten suhteellinen ero (%) ¹
≥ 3 μm (lkm/cm ²)	≥ 20 μm (lkm/cm ²)	
0,07	0,11	-36
0,14	0,32	-56
2,00	2,07	-3
0,14	0,36	-61
0,64	0,71	-10
0,57	0,43	33
0,00	0,00	0
0,43	0,32	34
0,21	0,18	17
5,43	7,86	-31
1,64	1,36	21
1,07	2,14	-50
1,21	1,86	-35
1,50	2,07	-28
0,71	1,21	-41
0,86	1,14	-25
Keskiarvo:		-17
Keskihajonta:		31
Luottamusväli 95%:		-17±32

¹Tulosten suhteellinen ero siirryttäessä analyysoimaan halkaisijaltaan ≥3 μm kuituja pituudeltaan ≥ 20 μm kuitujen sijaan (%).

5 OHJE- JA VIITEARVOT

5.1 HTP-arvot

Sosiaali- ja terveysministeriö asettaa työympäristöissä esiintyville altisteille haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia eli HTP-arvoja, jotka on tarkoitettu otettavaksi huomioon työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä arvioitaessa. HTP-arvoja sovelletaan erityisesti teollisissa työympäristöissä, joissa tyypillisimmin voi esiintyä terveydelle haitallisia pitoisuuksia. Teollisten mineraalikuitujen HTP-arvot ovat kahdeksan tunnin aikapainotettuja keskiarvopitoisuuksia.

Lasi-, vuori- ja kuonavillakuiduille, jatkuville lasikuiduille sekä erikoislasikuiduille¹ on asetettu HTP-arvo 1 kuitu/cm³ (alveolijae) (STM, 2018). Lisäksi jatkuvien lasikuitujen hengittävälle jakeelle on asetettu HTP-arvo 5 mg/m³. Näiden arvojen oletetaan minimoivan kuitujen aiheuttaman ihon ja limakalvojen mekaanisen ärsytysvaikutuksen.

Useimmissa muissa maissa työhygieeniset raja-arvot ovat samaa tasoa (Taulukko 7). Myös EU:n työperäisten raja-arvojen tieteellinen komitea (SCOEL) on esittänyt raja-arvoa 1 kuitu/cm³ yleiseksi raja-arvoksi (alveolijae, halkaisija < 3 µm, pituus > 5 µm, pituuden ja halkaisijan suhde 3:1) (SCOEL, 2012). Tämä yleinen raja-arvo koskee kaikkia sellaisia teollisia mineraalikuituja, joille ei ole eläinkokeisiin perustuvaa epäilyä syöpävaarallisuudesta ja joille ei ole annettu spesifistä raja-arvosuositusta. SCOEL on katsonut tämän arvon suojaavan koe-eläimissä nähdyltä inflammaatiovasteelta ja sitä seuranneelta keuhkofibroosilta.

Keraamisten kuitujen 8 tunnin HTP-arvo on 0,2 kuitua/cm³ (alveolijae) (STM, 2018). Ne on lisäksi arvioitu kategorian 1B karsinogeneeneiksi (Saattaa aiheuttaa syöpää inhalaatioaltistumisessa) Euroopan parlamentin ja neuvoston aineiden ja seosten luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskevan asetuksen (EY 1272/2008, nk. CLP-asetus) mukaisesti. Siten ne luetaan Suomessa syöpäsairauden vaaraa aiheuttaviksi aineiksi (työministeriön päätös syöpäsairauden vaaraa aiheuttavista tekijöistä 1993/838). Keraamisia kuituja ei yleensä esiinny toimistotyypissä sisäympäristöissä.

¹ Erikoislasikuiduilla tarkoitetaan tässä yhteydessä nimellishalkaisijaltaan 0,1–3 µm paksuisia, yksinomaan lasista valmistettuja kuituja.

Taulukko 7. Eri maiden ja organisaatioiden antamien työhygieenisten säädösten ja ohjeiden vertailu teollisille mineraalikuuduille ja epäorgaaniselle pölylle (8 h aikapainotettu keskiarvo). Erikoiskuidut = special purpose fibres.

Maa	Viite	Mineraalikuitutyyppi	Arvo (kuitua/cm ³)	Arvo (mg/m ³)
Australia	Safe Work Australia 2018: Workplace exposure standards for airborne contaminants	RCF, erikoiskuidut, MMVF, joilla korkea biopysyvyys)	0,5 (alveolijae)	2 (hengittyvä)
		Lasivilla, kivivilla, kuonavilla, jatkuvat lasikuidut, MMVF, joilla matala biopysyvyys	-	2 (hengittyvä)
EU	SCOEL 2012: Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for man made-mineral fibres (MMMMF) with no indication for carcinogenicity and not specified elsewhere	MMMMF (yleinen)	1 (alveolijae)	

Maa	Viite	Mineraalikuitutyyppi	Arvo (kuitua/cm ³)	Arvo (mg/m ³)
	SCOEL 2011: Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for refractory ceramic fibres	RCF	0,3 (alveolijae)	
	SCOEL 2002: Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for MMVF10	MMVF10 (lasivilla)	10 (alveolijae)	1 (alveolijae)
Iso-Britannia	Health and Safety Executive 2018: EH40/2005 Workplace exposure limits (3. painos, julk. 2018)	MMMMF RCF, erikoiskuidut	2 1	5 5
Norja	Arbeidstilsynet 2019: Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet	Lasivilla, kivivilla, kuonavilla RCF ja ohuet lasikuidut (erikoiskuidut) AES-villa	1 0,1 0,5	

Maa	Viite	Mineraalikuitutyyppi	Arvo (kuitua/cm ³)	Arvo (mg/m ³)
Ruotsi	Arbetsmiljöverket 2018: Hygieniska gränsvärden	Mineraalivilla, jatkuvat lasikuidut	1 (alveolijae)	
		RCF, erikoiskuidut	0,2 (alveolijae)	
		Epäorgaaninen pöly		5 (hengittyvä) 2,5 (alveolijae)
Suomi	Sosiaali- ja terveysministeriö 2018: Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet	Jatkuvat lasikuidut, mineraalivillat	1 (alveolijae)	5 (hengittyvä)
		RCF	0,2 (alveolijae)	
		Epäorgaaninen pöly		10 (hengittyvä)
Tanska	Arbejdstilsynet 2018: Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 655. Bilag 2 - Grænseværdier for luftforureninger m.v.	Lasivilla, kivivilla, kuonavilla, RCF	1	
		Epäorgaaninen pöly		5 (alveolijae)

Maa	Viite	Mineraalikuitutyyppi	Arvo (kuitua/cm ³)	Arvo (mg/m ³)
Yhdysvallat	National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) 2007: NIOSH pocket guide to chemical hazards	Lasivilla, kivivilla, kuonavilla	3 (alveolijae)	5 (kokonais)
				Occupational Safety and Health Administration (OSHA)
	American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®) 2001	Mineraalivillakuidut	1 (alveolijae)	
		Jatkuvat lasikuidut	1 (alveolijae)	5 (hengittyvä jae)
		RCF	0,2 (alveolijae)	

5.2 Asumisterveysasetus

Suomessa asuntojen ja toimistotyyppisten työympäristöjen mineraalikuitutarkastelut pohjautuvat yleensä pintalaskemaan ilmanäytteiden sijasta. Asumisterveysasetuksessa (2015) on asetettu teollisten mineraalikuitujen toimenpiderajaksi 0,2 kuitua/cm² kahden viikon pölylaskeumasta tarkasteltuna (Kovanen, ym. 2006, Salonen ym., 2009). Muissa maissa ei tiettävästi ole asetettu vastaavia raja-arvoja teollisten mineraalikuitujen pintalaskemalle. Asumisterveysasetuksessa (2015) ja sen soveltamisohjeessa (2016) ei ole määritelty pölylaskeumasta tarkasteltavien kuitujen dimensioita eikä käytettävää näytteenotto- ja analysointimenetelmää.

5.3 Työterveyslaitoksen viitearvot

Työterveyslaitos on antanut viitearvoja eri tyyppisille epäpuhtauksille toimistotyypisissä työpaikoissa. Viitearvot pohjautuvat usein keskiarvoihin tai P50-P90 arvoihin. Viitearvojen määrittelyssä yleensä huomioidaan, onko aineistossa esitetty erikseen ongelmakohteiden ja vertailukohteiden pitoisuudet tai kuinka suuressa osassa aineiston kohteista on epäilty sisäilmaongelmaa. Viitearvot eivät ole terveysperusteisia, vaan niiden ylittyminen voi viitata tavanomaisesta poikkeavaan epäpuhtauslähteeseen sisäympäristössä ja lisäselvitys- tai toimenpidetarpeisiin. Viitearvot auttavat suhteuttamaan työpaikan ilman koostumusta suhteessa tavanomaiseen tasoon toimistotyypisissä työympäristöissä. Ne voivat toimia työpaikoille kannustimena kehittää työympäristöä vähäpäästöisempään suuntaan esim. hyödyntämällä vähäpäästöisiä materiaali- ja sisustusratkaisuja. Työterveyslaitoksen viitearvo teollisille mineraalikuiduille kahden viikon ajan laskeutuneessa pölyssä on >0,2 kuitua/cm² (Kovanen ym., 2006, Salonen ym., 2009). Arvo 0,2 kuitua/cm² vastasi Salosen ym. (2009) aineistossa (n=162) aritmeettista keskiarvoa. Työterveyslaitoksen asiakasnäytteiden mediaani on vuodesta 2007 lähtien ollut <0,1 kuitua/cm². Vuosina 2015-2019 asiakasnäytteiden P90-arvo on ollut ≤ 0,3 kuitua/cm².

Työterveyslaitos on antanut tuloilmakanavan teollisten mineraalikuitupitoisuudelle viitearvon 10-30 kuitua/cm². Viitearvon pohjana oleva aineisto on suppea ja jo yli 10 v sitten julkaistu (Lappalainen ym., 2003; Korhonen ym., 2008; Salonen ym., 2009). Näissä julkaisuissa teollisten mineraalikuitujen pitoisuudet tuloilmakanavan pinnalla ovat vaihdelleet välillä <0,1-100 kuitua/cm², keskiarvot välillä 7,9-28,1 kuitua/cm² (yhdessä >21,2 kuitua/cm²) ja mediaanit välillä 6,5-9,6 kuitua/cm² (Lappalainen ym., 2003; Korhonen ym., 2008; Salonen ym., 2009). Työterveyslaitos analysoi tähän katsaukseen uudempaa aineistoa kanavapitoisuuksista palvelutyönä tehdyistä analyyseistä: Työterveyslaitoksen asiakkaiden vuonna 2018 tehdyissä kanavapintojen kuitumittauksissa (n=187), keskiarvo oli 16

kpl/m² ja mediaani 4,4 kpl/m². Niissä arvo 30 kpl/cm² vastasi tulosten 85 prosenttiä. Aineistossa on todennäköisesti enemmän kohteita, joissa on epäilty sisäilmaongelmaa kuin vertailu/seurantakohteita.

6 TEOLLISTEN MINERAALIKUITUJEN PITOISUUDET TYÖPAIKOILLA

Mineraalivillakuituja esiintyy pieninä pitoisuuksina lähes kaikissa rakennuksissa ja taajamien ulkoilmassa (WHO, 2000). Työperäistä altistumista mineraalivillakuiduille tapahtuu pääasiassa työpaikoilla, joilla valmistetaan tai käytetään teollisia mineraalikuituja sisältäviä tuotteita (WHO, 2000).

6.1 Tuotantoympäristöt

Mineraalikuituja valmistavissa tehtaissa kuitujen pitoisuus yleisilmassa vaihtelee välillä 10^{-5} –0,002 kuitua/cm³ (Tuomi ym., 2019). Yksittäisissä työtehtävissä altistuminen voi olla keskimäärin 0,06–0,6 kuitua/cm³, yleensä alle 1,6 kuitua/cm³ (Taulukko 8). Mineraalikuitupohjaisten materiaalien kanssa työskentelevien rakennustyöntekijöiden työpäivän mittainen altistuminen voi olla keskimäärin suuruusluokkaa 700 kuitua/cm³ (Jones ja Sanchez-Jimenez, 2011). Suojautumista vaativissa tehtävissä heidän hengitysvyöhykkeessään pitoisuus voi olla jopa 1 000 000 kpl/cm³ (Verma ym. 2004; Jones ja Sanchez-Jimenez, 2011).

Taulukko 8. Tuotannon eri työtehtävissä henkilökohtaisilla keräimillä otetuista näytteistä mitattuja halkaisijaltaan alle 3 µm olevien mineraalivillakuitujen (lasi-, kivi- ja kuonavilla) pitoisuuksia hengitysilmassa (**kpl/cm³**). Analysoinnissa on käytetty faasikontrastimikroskopiaa (PCOM).

Viite	Työtehtävä	N	Arit. ka	Med.	P95	Min	Max
Marchant ym. 2009	Lasivillan valmistus	1565	0,06	0,02	0,20		
Marchant ym. 2009	Kivivillan valmistus	511	0,18	0,11	0,54		
Marchant ym. 2009	Lämmöneristelevyjen asennus	92	0,11	0,09	0,31		
Marchant ym. 2009	Puhallusvillan asennus	269	0,64	0,42	1,64		
Marchant ym. 2009	Mineraalivillamateriaalien purkutytöt	72	0,27	0,07	1,25		
Kauffer ja Vincent 2007	Teollisten mineraalikuitujen valmistus, vuodet 1986-1996	26	0,58	0,57		0,11	1,1

Viite	Työtehtävä	N	Arit. ka	Med.	P95	Min	Max
Kauffer ja Vincent 2007	Teollisten mineraalikuitujen valmistus, vuodet 1997-2004	44	0,38	0,095		0,024	4,4

6.2 Toimistoympäristöt

Ilman kuitupitoisuudet eivät yleensä sovellu ärsytysvaikutusten arviointiin, koska ärsytysvaikutuksia aiheuttavat kuidut laskeutuvat ilmasta pinnoille nopeasti (Schneider, 1986). Kun pitoisuuksia on mitattu, ovat ne tavanomaisissa käyttötilanteissa poikkeuksetta alle 0,01 kuitua/cm³ (Taulukko 9).

Toimistoissa kuitupäästöjä arvioidaan pääsääntöisesti pintapölyn avulla, jolloin tulosta verrataan asumisterveysasetuksen (2015) toimenpiderajaan ja esim. Työterveyslaitoksen viitearvoon. Edellinen laajempi katsaus pintojen kuitupitoisuuksista suomalaisilla toimistotyypisillä työpaikoilla julkaistiin vuonna 2009 (Salonen ym., 2009). Silloin työpaikoilta kerätystä aineistosta 60 %:ssa pinnoille laskeutuneen pölyn pyyhintänäytteissä löydettiin teollisia mineraalivillakuituja. Vastaavasti 90 % tuloilmakanavista otetuista pyyhintänäytteistä sisälsi teollisia mineraalivillakuituja. Tutkimusaineiston kohteissa epäiltiin sisäilmaongelmia, mikä on huomioitava tulosten tarkastelussa. Mineraalivillakuituja esiintyi 2009 vähiten ennen vuotta 1960 rakennetuissa tai peruskorjatuissa taloissa ja yleisimmin vuosina 1960-1979 rakennetuissa tai peruskorjatuissa taloissa (Salonen ym., 2009). Säännöllisesti siivotuilla pinnoilla kuitupitoisuudet geeliteippinäytteissä olivat välillä < 0,1-1,4 kuitua/cm². Geometrinen keskiarvo oli 0,11 kuitua/cm², P90-arvon ollessa 0,6 kuitua/cm².

Verrattaessa Salosen ym. (2009) julkaisussa esitettyjä tuloksia mineraalikuitupitoisuuksista pinnoilla toimistotyypisiltä työpaikoilta vuosina 2007-2019 kerättyyn Työterveyslaitoksen asiakasaineistoon vaikuttaa siltä, että kuitupäästöt ovat suomalaisilla toimistotyöpaikoilla vähentyneet (Taulukko 10). Huomionarvoista on, että vuodesta 2015 alkaen Työterveyslaitoksen työpaikkanäytteiden P90 arvo on ollut ≤0,3 kuitua/cm² ja mediaani alle menetelmän määrittämissä rajat <0,1 kuitua/cm² (Taulukko 10).

Taulukko 9. Toimistojen ja vastaavien ei-tuotannollisten palvelurakennusten sisäilmasta mitattuja mineraalivillakuitujen pitoisuuksia (kpl/cm³)

Viite	Koko (µm)	Näytteen keräys	Analyysi	N, suluissa rak. lkm	Arit. ka	Geom. ka	Min	Max
Kovanen ym. 2006	D>0,5 L>5	Hengitysvyöhykkeeltä polypropyleeni-suodattimelle	SEM+EDX	62 (10)			<0,01	<0,01
Kovanen ym. 2006	D>0,5 L>20	Tuloilmavirrasta polypropyleeni-suodattimelle	PCOM+ PLM	49 (10)	6x10 ⁻⁸	1x10 ⁻⁸	8,5x10 ⁻⁵	
Carter ym. 1999	D<3 L>5	Hengitysvyöhykkeeltä selluloosaesteri-suodattimelle	PCOM identif. SEM+EDX	45 (32)			<0,0001	<0,0001
Schneider ym. 1990	D<3	Hengitysvyöhykkeeltä selluloosa-asettaattisuodattimelle	PCOM	105	8,2x10 ⁻⁵		<7x10 ⁻⁵	0,0017
Schneider ym. 1990	D>3	Hengitysvyöhykkeeltä selluloosa-asettaattisuodattimelle	PCOM	105	2,7x10 ⁻⁵		<7x10 ⁻⁵	0,0004

Taulukko 10. Toimistojen ja vastaavien ei-tuotannollisten palvelurakennusten **tasopinnoilta** geeliteipeillä kerätyistä näytteistä mitattuja mineraalivillakuitujen pitoisuuksia (**kpl/cm²**)

Viite	Lask. aika	Koko μm	Analyysi	N, suluissa rak. lkm	Arit. ka	Geom. ka	Med.	P90	Min	Max
TTL aineisto 2 vko 2019 ¹		L>20	Stereo	734	0,12	0,08	<0,1	0,3	<0,1	1,2
TTL aineisto 2 vko 2018		L>20	Stereo	744	0,13	0,08	<0,1	0,3	<0,1	1,5
TTL aineisto 2 vko 2017		L>20	Stereo	859	0,22	0,08	<0,1	0,2	<0,1	69
TTL aineisto 2 vko 2016		L>20	Stereo	938	0,09	0,06	<0,1	0,1	<0,1	4,5
TTL aineisto 2 vko 2015		L>20	Stereo	887	0,11	0,06	<0,1	0,1	<0,1	12
TTL aineisto 2 vko 2014		L>20	Stereo	894	0,31	0,10	<0,1	0,4	<0,1	50

Työterveyslaitos

Teolliset mineraalikuidut toimistotyypisissä työtiloissa

Viite	Lask. aika	Koko µm	Analyysi	N, rak. lkm	suluissa	Arit. ka	Geom. ka	Med.	P90	Min	Max
TTL aineisto 2007-2013	2 vko	L>20	Stereo	717		0,42	0,10	<0,1	0,4	<0,1	31
Salonen ym. 2009	2 vko	L>20	Stereo	162 (56)		0,20	0,11	0,1	0,6	<0,1	1,4
Kovanen ym. 2006	2 vko	L>20	Stereo	43 (10)						<0,1	2,6
Vallarino ym. 2003	Lyhyt	D>0,8	PLM	(40)				1		0,7	1,1
Schneider ym. 1990	Lyhyt	L>50 D>3	PLM	77		1,33				<0,6	57
Schneider 1986	Lyhyt	D 0-3	PLM	9						<0,1	52
Schneider 1986	Lyhyt	D 3-6	PLM	9						<0,1	48
Schneider 1986	Lyhyt	D 6-9	PLM	9						<0,1	3

Työterveyslaitos

Teolliset mineraalikuidut toimistotyypisissä työtiloissa

Viite	Lask. aika	Koko μm	Analyysi	N, suluissa rak. lkm	Arit. ka	Geom. ka	Med.	P90	Min	Max
Schneider 1986	Lyhyt	D>9	PLM	9					<0,1	0,54
Salonen ym. 2009	Pitkä	L>20	Stereo	57 (29)	0,48	0,19	0,1	1,2	<0,1	5,0
Kovanen ym. 2006	Pitkä	L>20	Stereo	53 (10)					<0,1	14,9
Vallarino ym. 2003	Pitkä	D>0,8	PLM	(40)			10		7	10,8
Schneider ym. 1990	Pitkä	L>50 D>3	PLM	96	25				<0,6	200
*1.1-12.11.2019 välinen aika										

7 TEOLLISTEN MINERAALIKUITUHAITTOJEN HALLINTAKEINOT SISÄYMPÄRISTÖISSÄ

Teollisten mineraalikuitujen esiintymistä sisäympäristössä voidaan hallita kohtuullisin toimenpitein, koska mahdolliset kuitulähteet on pääosin tunnistettu ja kuitujen leviämistä sisäilmaan ja pinnoille voidaan estää ja vähentää. Samalla vähennetään tilojen käyttäjien altistumista ja mahdollisten haittojen syntymistä. Kirjallisuudesta teollisten mineraalikuitujen hallinnasta sisäympäristössä löytyy ainoastaan vähän julkaistua tietoa.

Kuitujen aiheuttamia haittoja voidaan ehkäistä valitsemalla materiaaleja, joista ei irtoa kuituja ja huolehtimalla riittävästä koneellisesta ilmanvaihdosta, jonka on todettu poistavan sisäilmassa leijuvat pienet, alle 3 µm, kuidut (Schneider ym., 1990). Myös säännöllisellä siivouksella estetään kuitujen kertyminen pinnoille ja niiden aiheuttamia haittoja (Schneider ym., 1990).

Jos rakennuksessa epäillään kuituongelmaa, on siellä syytä tehdä ilmanvaihdon ja sisätilojen kuitukartoitus. Kartoitustulosten perusteella päätetään tarvittavat jatkotoimenpiteet, joiden valintaan vaikuttaa mm. kuitulähteen sijainti, ikä ja kunto, muut tehtävät korjaukset, tavoitekäyttöikä ja kustannukset (Kollanen, 2016).

7.1 Vanhat rakennukset

Kuitujen aiheuttamia haittoja voidaan vähentää poistamalla tarpeettomia kuitulähteitä ja estämällä kuitujen irtoaminen materiaaleista. Myös kuituja sisältävän pölyn leviämisen estäminen kuituja sisältävien materiaalien käsittelyn aikana ja pintojen puhdistaminen käsittelyn jälkeen vähentävät kuitujen esiintymistä sisäilmassa ja pinnoilla.

Mineraalivillamateriaalien poistaminen ja korvaaminen

Tarpeettomien mineraalivillojen poistaminen tai mineraalivillojen korvaaminen materiaaleilla, joista ei irtoa kuituja, ovat varmin tapa vähentää kuitujen aiheuttamia haittoja (Kollanen, 2016; Weijo ym., 2019). Rakentamisessa tai korjauksissa alaslaskettujen kattojen päälle jätetyt pinnoittamattomat mineraalivillalevyt tai -villajäämät on suositeltavaa poistaa. Myös rikkoontuneet ilmanvaihdon äänenvaimentimet ja rikkoontuneet mineraalivillaiset akustiikkalevyt on suositeltavaa pinnoittaa rikkoontuneilta osin tai uusia.

Mineraalivillaa sisältävät materiaalit voidaan korvata kuiduttomilla materiaaleilla. Väliseinä- ja välipohjarakenteiden läpivientien mineraalivillatiivistyksset voidaan esimerkiksi korvata

niihin erityisesti suunnitelluilla, kuiduttomilla tuotteilla, ja ilmanvaihtojärjestelmien äänenvaimentimina voidaan joissain tapauksissa käyttää kuiduttomia polyesterimateriaaleja. (Kollanen, 2016).

Mineraalivillamateriaalien päällystäminen, pinnoittaminen ja sidonta

Kuitujen irtoamista ja leviämistä kuitulähteestä sisäilmaan voidaan estää päällystämällä kuitulähde. Ilmanvaihtojärjestelmän kuitulähteiden päällystämässä mineraalivillapintojen päälle asennetaan esimerkiksi pelti tai lasikuitukangas, jonka läpi kuidut eivät pääse. Rakenteissa olevia kuitulähteitä voidaan puolestaan päällystää rakennuslevyillä, muovikalvoilla, teipillä, listoilla tai erilaisilla pintaan levitettävillä tuotteilla (Kollanen, 2016).

Kuitujen irtoaminen äänenvaimennusmateriaaleista ja lämmöneristeistä voidaan estää käsittelemällä villapinnat pinnoitteella, joka muodostaa ohuen kalvon materiaalin pinnalle. Kalvo estää kuitujen vapautumisen materiaalista. Pinnoittaminen soveltuu hyväkuntoisten mineraalivillamateriaalien käsittelyyn (Kollanen, 2016).

Sidonta-aineilla sidotaan mineraalivillan pinnassa olevat kuidut toisiinsa siten, etteivät ne irtoa ilmavirtauksen tai mekaanisen rasituksen vaikutuksesta. Sidonta-aineet eivät muodosta kalvoa villan pinnalle. Sidontakäsittely soveltuu esimerkiksi hyväkuntoisille tuloilmakanavien äänenvaimentimille; huonokuntoisille äänenvaimentimille se on vain väliaikainen ratkaisu. Sidontakäsittelyä voidaan käyttää myös akustiikkalevyjen reunoille, kuiluihin, kotelorakenteisiin ja läpivienteihin (Kollanen, 2016).

Pinnoittaminen ja sidontakäsittely ovat edullisia ja nopeasti toteutettavia korjaustoimia. Niiden pitkäaikaiskestävyydestä ei kuitenkaan löydy kirjallisuudesta tutkimustietoa.

Rakenteissa esiintyvien mineraalivillakuitulähteiden hallinta

Mineraalivillaa esiintyy rakennuksissa esim. väliseinärakenteissa, putkien ympärillä ja koteiloissa, joista kuituja voi kulkeutua sisäilmaan läpivientien kautta. Mineraalivillakuitupäästöjä rakenteista voidaan hallita tiivistämällä läpivientikohdat ilmatiivistämällä eri tekniikoilla ja materiaaleilla. Myös ulkovaipassa kuten ulkoseinä- ja yläpohjarakenteissa on kuitulähteitä, mutta niissä tiivistyskorjausten taustalla on usein muita syitä, kuten rakennuksen ja ilmanvaihdon toimivuus tai kosteus- ja mikrobivauriot (Kollanen, 2016). Korjaussuunnittelija arvioi näissä korjauksissa myös mineraalivillakuitulähteiden hallintamenetelmät ottaen huomioon rakenteen omaisuudet ja rakenteiden sekä taloteknisten järjestelmien vaikutuksen korjauksiin ja rakenteiden toimintaan.

Pölynhallinta korjausten aikana

Mineraalivillaa sisältävien materiaalien poistamisen ja uusimisen aikana sisäilmaan voi vapautua kuituja (Ziegler-Skylakakis, 2004; Ratu 1225-S; Kokkonen ym., 2013). Vanhoista villamateriaaleista niitä vapautuu yleensä enemmän kuin uusista.

Mineraalikuituja sisältävien materiaalien käsittelyn ajaksi huonetiloista siirretään pois kalusteet, tekstiilit ja paperit. Tiloissa säilytettävä irtaimisto peitetään muovilla. Suurempien korjausten ajaksi korjattavat tilat osastoidaan ja alipaineistetaan kuitujen leviämisen estämiseksi. (Työterveyslaitos, 2010). Suositeltu alipaine korjausrakentamisen pölyntorjunnassa on -5...-15 Pa (Kokkonen ym., 2013; Ratu TT 9.11). Tuloilmakone pidetään käynnissä huonetiloissa tehtävien korjausten aikana, millä estetään kuitujen leviäminen tuloilmakanaaviin.

Korjauksia tekevän työntekijän suositellaan suojaavan ihonsa käsineillä ja pitkähihaisilla ja -lahkeisella työasulla tai kertakäyttöisellä TYVEK-haalarilla (Työterveyslaitos, 2010). Hengityksensuojainten käyttö on suositeltavaa ja suojain valitaan työn keston ja vaativuuden perusteella (Ratu 1225-S).

Ilmanvaihtojärjestelmän äänenvaimentimien puhdistamisen aikana kuitujen irtoaminen voidaan estää valitsemalla puhdistusmenetelmiä, joissa äänenvaimentimet eivät vaurioidu ja kuidut eivät siten pääse irtoamaan. Puhdistusmenetelmiä ovat imurointi, paineilma tai nihkeäpyyhintä (http://www.retermia.fi/html/kuvat/paino/MIV_osa2.pdf). Äänenvaimentimien vaihtamisen aikana kuitujen leviäminen puolestaan estetään sulkemalla ilmanvaihto korjattavalta alueelta ja tulppaamalla ilmanvaihtojärjestelmä purettavan äänenvaimentimen molemmiin puolin. Korjauksissa poistetut materiaalit laitetaan jätesäkkeihin, säkit suljetaan ja kuljetetaan jätteenkeräykseen.

Korjausten jälkeinen siivous

Mineraalikuidut poistetaan huonetiloista karkean rakennussiivouksen jälkeen. Siivouksessa käytetään helposti puhdistettavia tai kertakäyttöisiä välineitä. Katto, alakattojen ylä- ja alapinnat, seinä- ja lattiapinnat, valaisimet, sähköjohdot, kalusteet sekä kirjojen ja mappien päällykset imuroidaan HEPA-suodattimella varustetulla pölynimurilla. Työ tehdään ylhäältä alas ja puhtaista tiloista pölyisempiin päin. Kaikki kovat pinnat nihkeäpyyhitaan. Korotettua siivoustasoa jatketaan 1-2 kuukauden ajan. (Työterveyslaitos, 2010)

Ilmanvaihtojärjestelmän korjausten jälkeen järjestelmä puhdistetaan ja säädetään. Kuitupöly poistetaan imuroimalla HEPA-suodattimella varustetulla imurilla ennen uusien materiaalien asentamista.

7.2 Uudisrakennukset

Maankäyttö- ja rakennuslain (Maankäyttö- ja rakennuslaki. 5.2.1999/132) mukaan rakentamisessa on käytettävä tuotteita, joista ei niiden suunnitellun käyttöänsä aikana aiheudu sisäilmaan päästöjä, joita ei voida pitää hyväksyttävänä. Ympäristöministeriön asetuksessa puolestaan todetaan, että sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukasmaisia epäpuhtauksia (Ympäristöministeriön asetus 1009/2017). Kuitumateriaaleja sisältävien tuotteiden osalta voidaan katsoa näiden ehtojen täyttyvän, kun kuitujen irtoaminen ja pääsy sisäilmaan on estetty ja niitä käytetään suunnittelussa, materiaalille soveltuvissa olosuhteissa (Kollanen, 2016).

Sisäilmastoluokituksessa on esitetty rakennusmateriaalien päästöluokitus, joita käytetään uudisrakentamisessa (Sisäilmastoluokitus, 2018). Ilmanvaihtotuotteille Sisäilmastoluokituksessa on annettu yksi materiaalipäästöluokka M1. M1-luokan ilmanvaihtokanavista, kanavan osista tai äänenvaimentimista ei saa puhdistuksen yhteydessä tai sen jälkeen irrota tuloilmaan kuituja enempää kuin $0,1 \text{ kpl/m}^3$ (Ilmanvaihtotuotteiden puhtaustestausohje, 2012). Suodattimista tai äänenvaimentimista ei saa vapautua rakennuksen käytön aikana mineraalikuituja sisäilmaan. Käyttövalmiista suodattimesta irtoavien kuitujen kokonaispitoisuuden on oltava pienempi kuin $0,1 \text{ kpl/m}^3$ ja äänenvaimentimista irtoavien kuitujen (yli $20 \mu\text{m}$:n pituiset kuidut) kokonaispitoisuuden on oltava tärityskokeessa pienempi kuin 10 kpl/m^3 . Äänenvaimentimien osalta vaatimukset täyttyvät esimerkiksi käyttämällä polyesteristä valmistettuja äänenvaimentimia, joista ei vapaudu kuituja sisäilmaan (Kollanen, 2016).

Uudisrakentamisessa mineraalikuituja voi vapautua sisäilmaan ja pinnoille eristeiden leikkauksessa ja asennuksessa sekä eristystyön jälkeisessä levytyksessä (Asikainen ym., 2009; Ratu 1225-S). Sisäilmastoluokituksessa (2018) esitetyn rakennustöiden puhtausluokituksen (P) tavoitteena on varmistaa, että uudet tilat ovat puhtaat, kun ne luovutetaan käyttäjille ja että rakennuksen käytön aikana ei sisäilmaan kulkeudu rakennusvaiheesta peräisin olevia epäpuhtauksia. Rakennustöiden puhtausluokituksen (P1) toteutusohjeissa ohjeistetaan mm. töiden aikaista siivousta siten, että kuitujen ja muiden pölyjen määrää työmaalla pysyy mahdollisimman vähäisenä. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokituksen tavoitteena on puolestaan varmistaa uuden ilmanvaihtojärjestelmän läpi virtaavan tuloilman hyvä laatu. Tuloilmassa ei saa esiintyä ilmanvaihtojärjestelmästä peräisin olevia kuituja. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokituksen (P1) vaatimuksissa on mm. maininta, että ilmanvaihtojärjestelmässä ei saa käyttää suojaamattomia mineraalivillapintoja.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET MITTAUSKÄYTÄNNÖIKSI

Toimistotyypisissä sisäympäristöissä esiintyvät teolliset mineraalikuidut ovat pääasiassa eristevillakuituja, joiden lähteitä voivat olla esimerkiksi tuloilmajärjestelmissä käytetyt äänenvaimennusmateriaalit, putkien ja läpivientien avonaiset mineraalivillaeristeet, suojaamattomat tai rikkonaiset äänenvaimennusmateriaalit sekä rakenteiden lämmöneristeet. Teollisten mineraalikuitujen pitoisuudet sisäilmassa ovat niin pieniä, ettei niitä yleensä mitata ilmanäytteitä keräämällä sisäilmast selvityksissä. Suomessa toimistotyypisten työympäristöjen kuitupäästöjä selvitetään pääasiassa pinnoilta kerättävien näytteiden avulla. Kuitupitoisuudet ovat vähentyneet viimeisen vuosikymmenen aikana laskeutuneen pölyn pintanäytteissä toimistoympäristössä.

Mineraalikuidut voivat aiheuttaa korkeilla pitoisuuksilla ohimeneviä ärsytysvaikutuksia, jotka perustuvat mekaaniseen hankaukseen. Toimistoympäristöissä esiintyvillä pienillä pitoisuuksilla näistä vaikutuksista ei kuitenkaan ole näyttöä. Toimistoissa esiintyvät mineraalikuidut eivät myöskään aiheuta syöpäriskiä tai muita vakavia tai pysyviä terveyshaittoja. On mahdollista, että pinnoille kerääntyneet ja käsien kautta esimerkiksi silmiin siirtyneet kuidut voivat aiheuttaa ärsytysvaikutuksia. Pinnoille kerääntyneiden teollisten mineraalikuitujen aiheuttamista ärsytysvaikutuksista ei kuitenkaan ole näyttöä, ja samankaltaisia ärsytysoireita saattavat aiheuttaa myös useat muut tekijät, esimerkiksi kuiva sisäilma. Teollisten mineraalikuitujen ilmassa oleville pitoisuuksille on asetettu ärsytysvaikutuksiin perustuen HTP-arvo 1 kuitu/cm³ (ts. 1 000 000 kuitua/m³). Pintalaskemapitoisuuksille ei kuitenkaan voida asettaa terveysperusteista raja-arvoa, koska pintojen kuitupitoisuuksien ja ärsytysvaikutusten välistä suhdetta ei ole osoitettu.

Asumisterveysasetuksessa (2015) on asetettu teollisten mineraalikuitujen toimenpiderajaksi 0,2 kuitua/cm² kahden viikon pölylaskeumasta tarkasteltuna. Asetuksen toimenpideraja pohjautuu Työterveyslaitoksen antamaan viitearvoon >0,2 kuitua/cm². Toimenpideraja ja viitearvo eivät ole terveysperusteisia, mutta niiden ylittyminen voi viitata tavanomaisesta poikkeavaan päästölähteeseen sisäympäristössä ja lisäselvitys- tai toimenpide tarpeisiin. Viitearvo auttaa suhteuttamaan pinnoille kerääntyvien kuitujen lukumäärää suhteessa tavanomaiseen tasoon ja voi siten toimia kannustimena kehittää sisäympäristöjä vähäpäästöisempään suuntaan, esimerkiksi hyödyntämällä vähäpäästöisiä materiaalivalintoja.

Nykykäytännössä ongelmana on, että asumisterveysasetuksessa ja sen soveltamisohjeessa ei ole määritelty käytettävää menetelmää eikä tarkasteltavien kuitujen dimensioita. Tästä

syystä eri laboratorioiden välisissä tuloksissa voi olla merkittäviä systemaattisia eroja. Ase-
tusta ja sen soveltamisohjetta päivitettäessä tulisi tämä asia korjata. Ehdotamme seuraavia
vakiointikriteereitä kahden viikon laskeuman keräämiseksi suoraan pinnoilta hengityskor-
keudelta geeliteipin avulla tai imuroimalla näyte pinnalta suodatinkoteloon. Ehdotuksessa
on huomioitu kuidun halkaisijan suhde ärsytysvaikutuksiin.

- Näytteenottotapa: kahden viikon laskeuma suoraan pinnoilta,
hengityskorkeudelta
- Näytteenottomateriaali: geeliteippi / suodatinkotelo
- Rinnakkaisten lukumäärä: huonetilan pinta-alasta riippuen 3-10
- Näytteenottoteipin pinta-ala: $\geq 14 \text{ cm}^2$
- Suurenus: 100 x
- Laskettava pinta-ala: 14 cm^2
- Laskettavien kuitujen halkaisija: $\geq 3 \text{ }\mu\text{m}$
- Laskettavien kuitujen pituus: $\geq 9 \text{ }\mu\text{m}$ (riippuvainen minimihalkaisijasta)
- Pituuden suhde halkaisijaan: $\geq 3:1$
- Määritysraja: $\leq 0,1 \text{ kpl/cm}^2$

Näytteet voidaan kerätä geeliteipillä ja analyysi tehdä valomikroskoopilla (stereo tai läpi-
valaisu), käyttäen tarvittaessa polarisaatio- ja/tai faasikontrastioptiikkaa kuitujen tunnista-
misessa. Myös elektronimikroskopioita (SEM tai TEM) voidaan käyttää analysointiin 500-
kertaisella vakiosuurenuksella olettaen, että näytteet on kerätty suodatinkotelomenetel-
mällä pinta-alalta, joka mahdollistaa vastaavan määritysrajan kuin geeliteippimenetel-
mässä ($0,1 \text{ kpl/cm}^2$).

Ehdottamamme mittaus- ja analyysimenetelmän vakioimistoimenpide edellyttää mene-
telmien laboratoriokohtaista laadunvalvontaa sekä viitearvon tarkastamista ja mahdollista
päivittämistä uudella tavalla lasketuista näytteistä. Kun mittauskriteerit on yhdenmukais-
tettu, voidaan järjestää vertailukierroksia laboratorioiden välillä. Suosittelemme keräämään
uutta aineistoa tällä vakioidulla menetelmällä ja arvioimaan mittaustulokset uudestaan kun
aineistoa on kertynyt riittävästi. Arvioinnin tuloksena tarkastetaan ja tarvittaessa päivite-
tään aiemmin annettu viitearvo. Aiemmin annettua viitearvoa voidaan käyttää tulosten tul-

kinnassa kunnes uutta, vakioiduin menetelmin kerättyä aineistoa on käytettävissä. Teollisten mineraalikuitujen tasoa voidaan arvioida sisäilmastomittauksissa myös interventioasetelmalla (ennen-jälkeen) ja tiloja vertaillen.

Kuitujen leviämistä ääni- ja lämmöneristemateriaaleista sisäympäristöön voidaan hallitua mm. materiaalivalinnoilla ja huolehtimalla rakentamisen aikaisesta puhtauden hallinnasta. Vanhoissa rakennuksissa tarpeettomien kuitulähteiden poistaminen ja kuitujen irtoamisen estäminen materiaalista yhdessä riittävän ilmanvaihdon ja siivouksen kanssa vähentävät kuitujen esiintymistä sisäilmassa ja pinnoilla.

9 LÄHTEET

- ACGIH, 2001. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Synthetic Vitreous Fibers. In: Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices, 2001. ACGIH, Cincinnati, Ohio, USA.
- Aikivuori, A., 2001. Terveen rakennuksen evoluutio. Tutkimusraportti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka.
- Antonsson, A.-B., Runmark, S., 1987. Airborne Fibrous Glass and Dust Originating From Worked Reinforced Plastics. The American Industrial Hygiene Association Journal 48, 684-687.
- Arbeidstilsynet, 2019: Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier).
- Arbejdstilsynet, 2018: Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 655. Bilag 2 - Grænseværdier for luftforureninger m.v.
- Arbetsmiljöverket, 2018. Hygieniska gränsvärden. Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden.
- Asikainen, V., Damsten, H., Ihalainen, M., Kalliokoski, P., Karjala, M.-M., Korpi, A., Kurnitski, J., Kuuspalo, K., Naarala, J., Palonen, J., Pasanen, P. ja Soininen, V. 2009. Rakennuspölylle altistumisen vähentäminen uudisrakentamisessa. Loppuraportti TSR-hanke 107051 (osa A). Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitoksen monistesarja 3/2009. ISSN 0786-4728.
- Assuncao, J., Corn, M., 1975. The effects of milling on diameters and lengths of fibrous glass and chrysotile asbestos fibers. American Industrial Hygiene Association journal 36, 811-819.
- ATSDR, 2004. Toxicological Profile for Synthetic Vitreous Fibers. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. September 2004. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp161.pdf>.
- Bjornberg, A., 1985. Glass fiber dermatitis. American journal of industrial medicine 8, 395-400.
- Carter, C.M., Axten, C.W., Byers, C.D., Chase, G.R., Koenig, A.R., Reynolds, J.W., Rosinski, K.D., 1999. Indoor airborne levels of MMVF in residential and commercial buildings. American Industrial Hygiene Association Journal 60, 794-800.
- Dahlquist, I., Fregert, S., Trulsson, L., 1979. Allergic contact dermatitis from epoxy resin finished glass fiber. Contact dermatitis 5, 190.

- Danish Ministry of the Environment, 2013. Mineral wools (glass, stone/slag, HT). Evaluation of health hazards and proposal of a health-based quality criterion for ambient air. Environmental Project No. 1515.
- EC, 2008. European Commission Directorate – General Enterprise and Industry, 2008. Assessment of the Risk to Consumers from Borates and The Impact of Potential Restrictions and their Marketing and Use. Annex 4, Use of Borates in Glass and Glass Fibre. Risk and Policy Analyst Ltd., Norfolk, UK.
- Fisher, A.A., 1982. Fiberglass vs mineral wool (rockwool) dermatitis. *Cutis* **29**, 412, 415-416, 422 passim.
- Fisher, B.K., Warkentin, J.D., 1969. Fiber glass dermatitis. *Archives of dermatology* **99**, 717-719.
- Gantner, B.A., 1986. Respiratory hazard from removal of ceramic fiber insulation from high temperature industrial furnaces. *American Industrial Hygiene Association journal* **47**, 530-534.
- Halttunen, M., Kuusisto, J., 2011. Puurakenteiden tilkemateriaalit. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Kulttuurialan yksikkö. Konservoinnin koulutusohjelma.
- HSE (Health and Safety Executive), 2018. EH40/2005 Workplace exposure limits. Third edition, published 2018.
- HSE (Health and Safety Executive), 2014. Machine-Made Fibers: Airborne Concentration and Classification by Phase Contrast Microscopy; Methods for the Determination of Hazardous Substances, Health and Safety Laboratory, MDHS59/2; HSE, Bootle, UK, 2014.
<http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/index.htm>, viitattu 8.4.2019.
- Heisel, E.B., Hunt, F.E., 1968. Further studies in cutaneous reactions to glass fibers. *Archives of environmental health* **17**, 705-711.
- IARC, 2002. IARC Monographs on The Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 81, Man-Made Vitreous Fibres, Lyon, France, pp.
- Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut. Osa 2. Suunnittelu- ja toteutusohjeet. http://www.retermia.fi/html/kuvat/paino/MIV_osa2.pdf, viitattu 12.12.2019.
- Ilmanvaihtotuotteiden puhtaustestausohje 2012. Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. <http://m1.rts.fi/> (Liite 7. Ilmavirtaan irtoavien mineraalikuitujen lukumääräpitoisuuden määrittäminen).
- ISO (International Standards Organisation), 2002. Ambient Air—Determination of Numerical Concentration of inorganic Fibrous Particles—SCANNING Electron Microscopy; ISO Standard 14966; International Standards Organisation: Geneva, Switzerland, 2002.
- ISO (International Standards Organisation), 2014. Indoor Air—Determination of Settled Fibrous Dust on Surfaces by SEM (Scanning Electron Microscopy) (Direct Method); ISO Standard 16000-27; International Standards Organisation: Geneva, Switzerland, 2014.

- Isover, 2015. Käyttöturvallisuustiedote ISOVER mineraalivilla. 31.10.2014.
- Isover, 2015. Käyttöturvallisuustiedote ISOVER puhallusvilla InsulSAFE. 27.3.2015.
- Jones, A.; Sanchez-Jimenez, A. Review of Published Data on Exposure to Mineral Wool during Installation Work; IOM (Institute of Occupational Medicine) Research Report TM 11/01, 2011; IOM: Edinburgh, UK, 2011.
- Kauffer, E., Vincent, R., 2007. Occupational exposure to mineral fibres: Analysis of results stored on colchic database. *Annals of Occupational Hygiene* 51, 131-142.
- Knauf Insulation, 2017. Käyttöturvallisuustiedote mineraalivilla korkean lämpötilan tuotteet. 20.12.2017
- Kokkonen, A., Linnainmaa, M., Koski, H., Kanerva, T., Laamanen, J., Lappalainen, V., Merivirta, M-L., Oksa, P., Piirainen, J., Rautiala, S., Säämänen, A. ja Pasanen, P. 2013. Pölynhallinta korjausrakentamisessa. Itä-Suomen yliopiston julkaisuja. No 12. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio.
- Kollanen, T. 2016. Sisäilman kuitukorjaukset. Opinnäytetyö, rakennusterveysasiantuntija. Rakeko. 79 s.
- Korhonen, P., Kaari, M., Lappalainen, S., Palomäki, E., Hyvärinen, M. ja Reijula, K. Particle concentration and MMMF levels in hospitals. Indoor Air congress 2008. 17-22.8.2008. Köpenhagen. Denmark - paper ID:713.
- Kovanen K, Heimonen I, Laamanen J, Riala R, Harju R, Tuovila H, Kämppi R, Sänntti J, Tuomi T, Salo SP, Vuotilainen R, Tossavainen A. 2006. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt: Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes, No. 2360
- Lappalainen, S., Riala, R., Tossavainen, A., Salonen, H., Teikari, M., Salmi, K., Korhonen, P. ja Reijula, K. Mineraalikuidut sisäilmahaittana. Sisäilmastoseminaari 2003, s. 299-302.
- Lippmann, M., 1988. Asbestos exposure indices. *Environ. Res.* 46, 86–106.
- Lippmann, M., 1990a. Effects of fiber characteristics on lung deposition, retention, and disease. *Environmental health perspectives* 88, 311-317.
- Lippmann, M., 1990b. Man-made mineral fibers (MMMF): human exposures and health risk assessment. *Toxicology and industrial health* 6, 225-246.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki. 5.2.1999/132.
- Marchant, G., Bullock, C., Carter, C., Connelly, R., Crane, A., Fayerweather, W., Johnson, K., Reynolds, J., 2009. Applications and findings of an occupational exposure database for synthetic vitreous fibers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 6, 143-150.
- McConnell, E.E., Kamstrup, O., Musselman, R., Hesterberg, T.W., Chevalier, J., Miiller, W.C., Thevenaz, P., 1994. Chronic Inhalation Study of Size-Separated Rock and Slag Wool Insulation Fibers in Fischer 344/N Rats. *Inhalation toxicology* 6, 571-614.

- Morgan, A., Davis, J.A., Mattson, S.M., Morris, K.J., 1994. Effect of Chemical Composition on the Solubility of Glass Fibres In Vivo and In Vitro. *The Annals of Occupational Hygiene* **38**, 609-617.
- Morrow, P.E., 1988. Possible mechanisms to explain dust overloading of the lungs. *Fundamental and Applied Toxicology* **10**, 369-384.
- NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health), 2007. NIOSH pocket guide to chemical hazards.
- NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health), 2019. Asbestos and Other Fibers by PCM: METHOD 7400, Issue 3, dated 14 June 2019, Cincinnati, Ohio, 2019.
- Oberdorster, G., 2000. Determinants of the pathogenicity of man-made vitreous fibers (MMVF). *Int Arch Occup Environ Health* **73 Suppl**, S60-68.
- Paroc, 2016. Käyttöturvallisuustiedote PAROC Kivivilla muotokappaleet. 9.9.2016.
- Possick, P.A., Gellin, G.A., Key, M.M., 1970. Fibrous glass dermatitis. *American Industrial Hygiene Association journal* **31**, 12-15.
- Ratu 1225-S. Pölyntorjunta rakennustyössä. Suunnitteluohje, 2009. Rakennustieto.
- Ratu TT 9.11. Ohjeita korjausrakentamisen pölyntorjuntaan. 2013. Rakennustieto.
- Reinikainen, L.M., Jaakkola, J.J., 2001. Effects of temperature and humidification in the office environment. *Archives of environmental health* **56**, 365-368.
- Reinikainen, L.M., Jaakkola, J.J., 2003. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor air* **13**, 344-352.
- Safe Work Australia, 2018. Workplace exposure standards for airborne contaminants. Date of effect: 27 april 2018.
- Salonen, H.J., Lappalainen, S.K., Riuttala, H.M., Tossavainen, A.P., Pasanen, P.O., Reijula, K.E., 2009. Man-Made Vitreous Fibers in Office Buildings in the Helsinki Area. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **6**, 624-631.
- Schneider, T., 1986. Manmade mineral fibers and other fibers in the air and in settled dust. *Environment international* **12**, 61-65.
- Schneider, T., 2001. Synthetic Vitreous Fibers. In Spengler, J.D., Samet, J.M., McCarthy, J.F., (Eds.), *Indoor Air Quality Handbook*. McGraw-Hill Education, New York, pp.
- Schneider, T., Nielsen, O., Bredsdorff, P., Linde, P., 1990. Dust in buildings with man-made mineral fiber ceiling boards. *Scandinavian journal of work, environment & health* **16**, 434-439.
- Schneider, T., Stokholm, J., 1981. Accumulation of fibers in the eyes of workers handling man-made mineral fiber products. *Scandinavian journal of work, environment & health* **7**, 271-276.
- SCOEL, 2012. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for man made-mineral fibres (MMMMF) with no indication for carcinogenicity and not specified elsewhere. SCOEL/SUM/88. March 2012.

- SCOEL, 2011: Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for refractory ceramic fibres. SCOEL/SUM/165. September 2011.
- SCOEL, 2002: Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for MMVF10. SCOEL/SUM/108. May 2002.
- Seppänen, M., 2018. Kuivasilmäisyyden hoito, Lääkärikirja Duodecim. Kustannus Oy Duodecim, Helsinki, Suomi, pp.
- Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto Oy.
- STM, 2018. Sosiaali- ja terveysministeriö. HTP-arvot 2018. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki, Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 9/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-3937-0>.
- STM 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>, viitattu 22.11.2019.
- Stokholm, J., Norn, M., Schneider, T., 1982. Ophthalmologic effects of man-made mineral fibers. Scandinavian journal of work, environment & health **8**, 185-190.
- Talvitie, O., 2019. Teolliset mineraalikuidut – mittausmenetelmät ja palvelunäytetietokanta. AMK lopputyö, Turun ammattikorkeakoulu, 46 s.
- TIMA, 1993. Thermal Insulation Manufacturers Association, Nomenclature Committee. Man-made vitreous fibers: nomenclature, chemical, and physical Properties. TIMA Inc., Revision 2, March 1, 1993.
- Timbrell, V., 1965. The Inhalation of Fibrous Dusts. Annals of the New York Academy of Sciences **132**, 255-273.
- Tuhkanen, S., 2020. AMK lopputyö, Metropolia ammattikorkeakoulu, hyväksyttävänä.
- Tuomainen, M., Björkroth, M., Kämppi, R., Mussalo-Rauhamaa, H., Salo, S., Sääntti, J., Tuomi, T., Voutilainen, R., Seppänen, O., 2003. Ilmanvaihtojärjestelmän mineraalivillakuitujen terveysvaikutukset. Tutkimusraportti.
- Tuomi, T., Kilpikari, J., Hartonen, M., Kämppi, R., Lallukka, H., 2019. Filter Cassette Method for Analyzing Man-Made Vitreous Fibers Settled on Surfaces. International journal of environmental research and public health **16**, 1256.
- Työterveyslaitos. 2010. Mineraalikuitujen siivousohje. Viitattu 26.6.2019. <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/09/mineraalikuitujen-siivousohje.pdf>
- Vallarino, J., Spengler, J.D., Buck, R., Dilwali, K.M., 2003. Quantifying synthetic vitreous fiber surface contamination in office buildings. AIHA Journal **64**, 80-87.
- Valvira (Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto). Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa III, Asumisterveysasetus § 14-19, Ohje 8/2016, Valvira, 10

- s. <https://www.valvira.fi/-/asumisterveysasetuksen-soveltamisoh-1>, viitattu 22.11.2019.
- Verma, D.K.; Sahai, D.; Kurtz, L.A.; Finkelstein, M., 2004. Current man-made mineral fibers (MMMF) exposures among Ontario Construction Workers. *JOEH* **1**, 306–308.
- WHO, 1988. International Programme on Chemical Safety (IPCS): Man-Made Mineral Fibres. *Environmental Health Criteria* 77. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc77.htm>, Geneva, Switzerland, 53 pp.
- WHO, 1997. Determination of Airborne Fiber Number Concentrations: A Recommended Method by Phase-Contrast Optical Microscopy (Membrane Filter Method); WHO: Geneva, Switzerland, 1997, 53 p.
- WHO, 2000. Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed., Chapter 8, Man-Made Vitreous Fibers; WHO Regional Publications, European Series, No. 91; WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, pp. 206–208.
- Weijo, I., Lahdensivu, J., Turunen, T., Ahola, S., Sistonen, E., Winqvist-Vornanen, C. ja Annala, P. 2019. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Ympäristöministeriön julkaisu. 2019:18.
- Wolkoff, P., 2018. Indoor air humidity, air quality, and health - An overview. *International journal of hygiene and environmental health* **221**, 376-390.
- Ympäristöhallinnon korjaustietosivusto. Vanhojen rakennusmateriaalien tietopankki. Mineraalivillat; lasivilla, vuorivilla eli kivivilla sekä kuona ja silikaattivilla. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/> Rakennusmateriaalien tietopankki. Vierailtu 7.5.2019
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017.
- Zieger-Skylakakis, K. 2004. Approaches for the development of occupational exposure limits for man-made mineral fibres (MMMFs). *Mutat Res* 553:37-41.
- Zussman, J., 1979. The Mineralogy of Asbestos. In Michaels, L., Chissick, S.S., (Eds.), *Asbestos: Properties, Applications and Hazards*. John Wiley & Sons, New York, pp.

Tämä katsaus on laadittu Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman rahoituksella osana Terveet tilat 2028 -hanketta. Työterveyslaitoksen asiantuntijat laativat katsauksen vuonna 2019 liittyen ohjelman osa-alueeseen 2: rakennusten ongelmatilanteet. Tavoitteena oli arvioida teollisten mineraalikuitujen merkitystä toimistotyötyyppisten tilojen sisäilmassa. Katsauksen tuloksia hyödynnetään myöhemmin mm. altistumisolosuhteiden arvioimiseen liittyvien ohjeiden päivityksissä.

Tämä katsaus sisältää teollisiin mineraalikuituihin liittyvän kirjallisuuskootteen, toksikologista ja epidemiologista arviointia sekä pitoisuustasojen tarkastelua työympäristöissä, pääpainona toimistotyötyyppiset työpaikat. Katsauksessa arvioidaan toimistotyötyyppisten työympäristöjen kuitulähteitä ja niihin liittyviä teollisten mineraalikuitujen pitoisuuksia, sekä niiden mahdollista yhteyttä koettuihin ja todettuihin terveyshaittoihin sekä kuitupäästöjen hallintakeinoja. Lisäksi kartoitettiin mittausmenetelmiä ja laadittiin suositukset niiden päivittämiseksi.

Työterveyslaitos
Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00032 Työterveyslaitos

www.ttl.fi

ISBN 978-952-261-915-0 (nid.)

ISBN 978-952-261-916-7 (PDF)

