

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Biotekniikka

Kevät 2017

Fanny Korpela

UUDEN MENETELMÄN KEHITTÄMINEN SISÄILMAN TEOLLISTEN MINERAALIKUITUJEN PITOISUUDEN MÄÄRITTÄMISEEN

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma | Biotekniikka

2017 | Sivumäärä 57

Ilari Suominen, yliopettaja, Turun ammattikorkeakoulu

Annika Saarto, yliopistotutkija, Turun yliopisto

Fanny Korpela

UUDEN MENETELMÄN KEHITTÄMINEN SISÄILMAN TEOLLISTEN MINERAALIKUITUJEN PITOISUUDEN MÄÄRITTÄMISEEN

Sisäilman teollisia mineraalikuluita tutkitaan niiden aiheuttamien terveyshaittojen vuoksi. Ne aiheuttavat ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytysoireita sekä altistavat hengitystieinfektioihin. Opinnäytetyö suoritettiin Turun yliopiston Aerobiologian yksikössä. Tarkoituksena oli kehittää uusi menetelmä teollisten mineraalikulitujen keräämiseen. Uuden menetelmän tuli olla mahdollisimman herkkä, helppokäyttöinen, luotettava sekä vanhaa menetelmää nopeampi. Hypoteesina oli, että testattavista menetelmistä teollisten mineraalikulitujen keräämiseen parhaiten soveltuisi mini-Burkard.

Työssä testattiin eri laitteita teollisten mineraalikulitujen keräämiseen ja analysointiin. Käytettäviä laitteita olivat Burkard, mini-Burkard ja Andersen-keräin. Eri laitteiden keräystehokkuuksia ja herkkyksiä verrattiin teollisten mineraalikulitujen keräämiseen standardisoidulla laskeumamenetelmällä. Ensin testattiin yleisesti laitteiden soveltuvuutta teollisten mineraalikulitujen keräämiseen ja sen jälkeen soveltuvien laitteiden tehokkuutta ja herkkyttä. Keräysmenetelmien lisäksi vertailtiin eri mikroskooppien soveltuvuutta näytteiden analysointiin. Vertailtavina mikroskooppeina olivat valomikroskooppi, stereomikroskooppi ja polarisaatiomikroskooppi.

Tulokseksi saatiin, että kaikki testattavat menetelmät keräsivät teollisia mineraalikuluita. Yksikään menetelmä ei kuitenkaan soveltunut sellaisenaan kerääjäksi vaan ne vaativat rakenteellisia tai teknisiä muutoksia. Paras mahdollinen menetelmä teollisten mineraalikulitujen keräämiseen saadaan yhdistelemällä eri menetelmien ominaisuuksia. Mikroskooppien vertailun tulokseksi saatiin, että kaikki testattavista mikroskooppeista soveltuvat näytteiden analysointiin.

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan todeta, että mini-Burkardia muokkaamalla siitä on mahdollista saada herkkä, helppokäyttöinen, luotettava ja nopea menetelmä. Mini-Burkardia on siis mahdollista käyttää tulevaisuudessa teollisten mineraalikulitujen keräämiseen.

ASIASANAT:

kuidut, teolliset mineraalikulidut, sisäilma, näytteenottomenetelmä

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Biotechnology and Food Technology | Biotechnology

2017 | Pages 57

Ilari Suominen, Principal Lecturer, Turku University of Applied Sciences

Annika Saarto, University researcher, Turku University

Fanny Korpela

DEVELOPMENT OF NEW METHOD FOR DETERMINATION OF INDUSTRIAL MINERAL FIBERS IN INDOOR AIR

Industrial mineral fibers in indoor air were studied for their effect on health. They cause skin, eye and respiratory tract irritation and exposure to respiratory infections. The study was conducted for the University of Turku and its objective was to develop a new method for the collection of industrial mineral fibers. The new method had to be as sensitive as possible, easy-to-use, reliable, and faster than the old method. The hypothesis was that out of all tested methods, mini-Burkard would be the most suitable option for collecting industrial mineral fibers.

In this study, several devices were tested for collecting and analyzing industrial mineral fibers. A Burkard, a mini-Burkard and an Andersen sampler were used. The collection efficiency and sensitivity of different devices were compared to the collection of industrial mineral fibers with a settle plate. The general suitability of the devices for collecting industrial mineral fibers was tested first followed by the testing of efficiency and sensitivity of the suitable devices. In addition to the collection methods, the suitability of different microscopes for sample analysis was compared. A light microscope, a stereo microscope and a polarization microscope were tested.

The result obtained was that all the tested methods collected industrial mineral fibers. However, no single method was suitable as such for a collector - they all require structural or technical changes. The best possible method for collecting industrial mineral fibers is achieved by combining properties from different methods. The result of the comparison of microscopes showed that all of the microscopes tested were suitable for analyzing the samples.

Based on the results of the study, it can be concluded that by modifying mini-Burkard it is possible to achieve a method that is sensitive, reliable, easy-to-use and fast. It is thus possible to use mini-Burkard for collecting industrial mineral fibers in the future.

KEYWORDS:

fibers, Industrial mineral fibers, indoor air, collection method

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 KUIDUT	9
2.1 Luonnonkuidut	11
2.1.1 Kasvikuidut	11
2.1.2 Eläinkuidut	12
2.1.3 Mineraalikuidut	13
2.2 Tekokuidut	15
2.2.1 Orgaaniset tekokuidut	15
2.2.2 Epäorgaaniset tekokuidut	17
3 NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT	24
3.1 Laskeumamittaus geeliteippimenetelmällä	24
3.2 Pintapölynäytteet	25
3.2.1 Geeliteippimenetelmä	25
3.2.2 Pyyhintämenetelmä	26
3.3 Ilmanäytteet	26
3.3.1 Tuloilmanäytteet	27
3.4 Materiaalinäytteet	28
3.5 Laitteet	28
3.5.1 Andersen-keräin	29
3.5.2 Burkard	32
3.5.3 Mini-Burkard	33
4 MATERIAALIT JA MENETELMÄT	35
4.1 Kuitujen tunnistaminen	35
4.2 Testausmenetelmät	36
4.3 Näytteiden keräys ja analysointi	37
4.3.1 Natura-rakennuksen ullakko	38
4.3.2 Kauppakorkeakoulun työhuone	40
4.3.3 Loimaan aluesairaalan psykiatrinen osasto	41
4.3.4 Salon psykiatrinen sairaala	41
5 TULOKSET	43

5.1 Natura-rakennuksen ullakko	43
5.2 Kauppakorkeakoulun työhuone	45
5.3 Loimaan aluesairaalan psykiatrinen osasto	46
5.4 Salon psykiatrinen sairaala	47
6 TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT	48
6.1 Mini-Burkard	48
6.2 Andersen-keräin	49
6.3 Burkard	50
6.4 Laskeumamalja	51
6.5 Johtopäätökset ja pohdinta	51
7 LÄHDELUETTELO	53

LIITTEET

Liite 1. Agar-maljojen valmistusohje

KUVAT

Kuva 1. Teollisia mineraalikuituja mikroskoopissa.	9
Kuva 2. Kuitujen jaottelu.	10
Kuva 3. Puuvillakuituja.	12
Kuva 4. Silkkikuituja.	13
Kuva 5. Asbestikuituja.	14
Kuva 6. Viskoosi.	16
Kuva 7. Andersen-keräin (6-vaiheimpaktori) ja agar-maljat.	29
Kuva 8. Hiukkaskeräin HK-10.	31
Kuva 9. Burkard.	32
Kuva 10. Mini-Burkard.	34
Kuva 11. Työnkulku.	35
Kuva 12. Mini-Burkard ja geeliteippi.	37
Kuva 13. Turun yliopiston Natura-rakennuksen ullakko.	38
Kuva 14. Kahden viikon laskeumamaljat.	39

TAULUKOT

Taulukko 1. Luonnonkuidut.	11
Taulukko 2. Teollisten mineraalikuitujen kokojakaumat.	19
Taulukko 3. Hiukkasten kulkeutumisreitit halkaisijan mukaan.	22
Taulukko 4. Kuituanalyysien raja-arvot.	24
Taulukko 5. Vaiheiden aukkojen halkaisijat ja hiukkaskokoluokat.	30
Taulukko 6. Mini-Burkardin ja laskeumamenetelmän keräystulosten vertailu.	44
Taulukko 7. Kuitujen määrä Andersen-keräimen maljalla 1.	44
Taulukko 8. Andersen-keräimellä kerättyjen kuitujen määrä maljoilla 1 ja 2.	45
Taulukko 9. Mini-burkardin ja Andersen-keräimen keräystulosten vertailu.	45
Taulukko 10. Kauppakorkeakoulun työhuoneesta otettujen kuitunäytteiden tulokset.	46
Taulukko 11. Loimaan aluesairaalasta otettujen kuitunäytteiden tulokset.	46
Taulukko 12. Salon psykiatrisesta sairaalasta otettujen kuitunäytteiden tulokset.	47
Taulukko 13. Mini-Burkardin edut ja haitat.	49
Taulukko 14. Andersen-keräimen edut ja haitat.	50
Taulukko 15. Burkardin edut ja haitat.	50
Taulukko 16. Laskeumamenetelmän edut ja haitat.	51

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää uusi menetelmä sisäilman teollisten mineraalikulitujen toteamiseen ja mittaamiseen. Tässä työssä sisäilman teollisilla mineraalikulituilla tarkoitetaan mineraalivillakuituja. Työ suoritettiin Turun yliopiston aerobiologian yksikössä, joka tutkii tällä hetkellä home- ja siitepölynäytteitä. Kehitteillä oleva uusi menetelmä voi antaa yksikölle uuden tutkimuskohteen näiden tutkimusten rinnalle. Yksikön asiakkaana toimiva Sirate Group on myös kiinnostunut uudesta tehokkaammasta ja tarkemmasta näytteenottomenetelmästä.

Ilman kuitupitoisuuksia tutkitaan niiden aiheuttamien terveysongelmien vuoksi. Mineraalivillakulitujen on todettu aiheuttavan ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytystä. Niiden ei kuitenkaan ole todettu aiheuttavan pitkäaikaisia sairauksia, kuten syöpää. Mineraalivillakuituja käytetään erilaisina lämmöneristeinä, paloeristeinä, äänieristeinä, ilmanvaihtokoneissa- ja ilmanvaihtokanavissa, suodatinmateriaaleina sekä akustiikkalevyissä. Materiaalit eivät itsessään tuota ongelmia. Ongelmia syntyy, kun materiaalit vapauttavat mineraalivillakuituja ilmaan ja ilman kautta kuidut kulkeutuvat ihmisen hengitysteihin. (VTT Expert Services Oy 2015)

Työssä perehdyttiin sekä näytteenottoon että näytteiden analysointiin. Nykyisten näytteenottomenetelmien ongelmien selvittämiseksi haastateltiin Timo Murtoniemeä, Sirate Group. Haastattelussa selvisi, että aikaisemmat näytteenottomenetelmät eivät ole kovinkaan herkkiä ja näytteenotto on melko hidasta. Ongelmana on myös se, että joissain tilanteissa kuituja saattaa vapautua huoneilmaan vain satunnaisten toimien seurauksena. Jatkokehityksen kannalta on siis tärkeää saada tieto aikaväleistä, jolloin kuituja on vapautunut huoneilmaan. Nykyinen voimassa oleva kuitujen keräysmenetelmä on kahden viikon laskeumamittaus. Myös laskeumamittauksessa on ongelmia, koska maljalle painettavalla geeliteipillä saadaan näyte vain pieneltä pinta-alalta, minkä vuoksi tulos voi helposti vääristyä. Kuitulähteet voivat siis olla hyvinkin paikallisia.

Nykyinen virallinen teollisten mineraalikulitujen näytteenottomenetelmä on Sosiaali- ja terveysministeriön laatima ja se löytyy asumisterveysoppaan soveltamisohjeesta (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Valvira 2016a). Tässä ohjeessa on ohjeistettu näytteenotto teollisten mineraalikulitujen kahden viikon laskeumasta. Virallisia näytteiden analysointiohjeita ei ole julkaistu, mutta asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen perusteella tiedetään, että virallisessa laskennassa vain kaikki $\geq 20 \mu\text{m}$ kuidut laske-

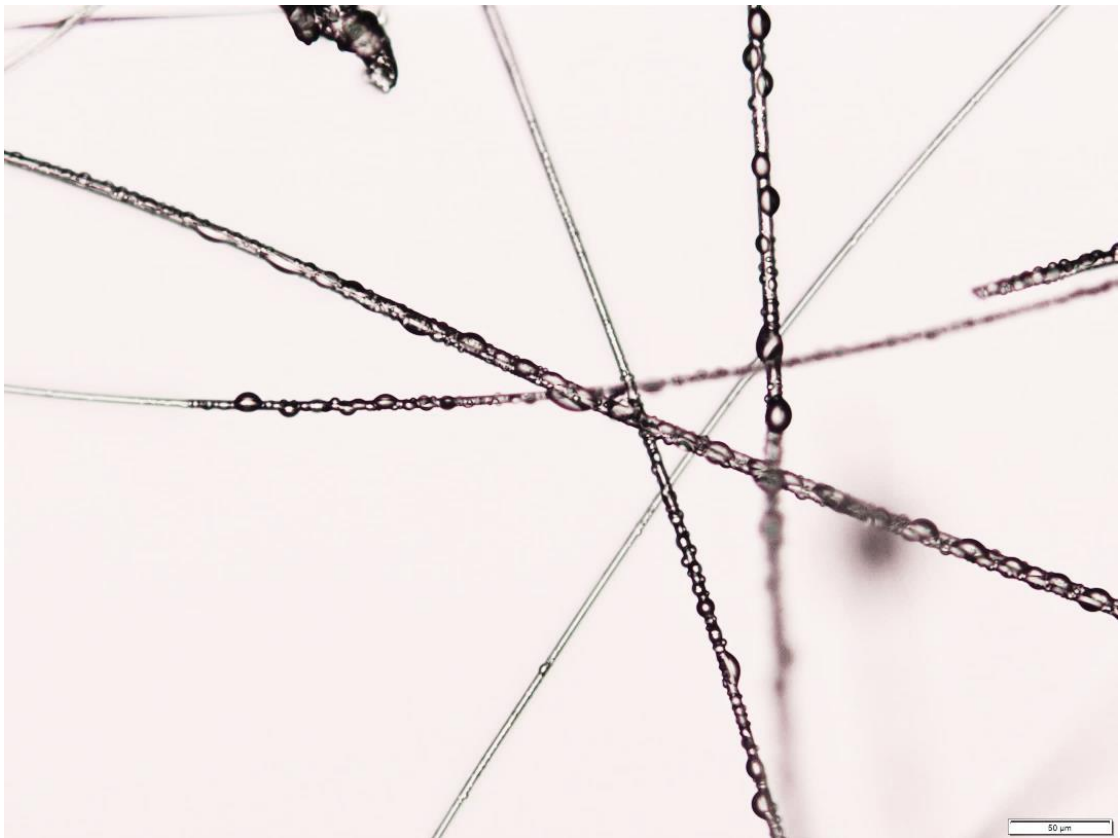
taan. Ilmanäytteissä kuitujen toimenpiderajaksi usein siivotuille pinnoille on annettu 0,2 kuitua/cm² ja harvoin siivotuille pinnoille 3 kuitua/cm² (Kovanen *et al.* 2006).

Työ aloitettiin harjoittelemalla kuitujen tunnistamista ja perehtymällä vanhoihin näytteenottomenetelmiin. Erilaisia testauksia suoritettiin ensin ääriolosuhteissa Turun yliopiston Natura-rakennuksen ullakkotiloissa. Ääriolosuhteiden avulla saatiin yleiskuva eri laitteiden keräysominaisuuksista. Myöhemmin näytteitä otettiin tiloista, joissa kuituja tiedettiin olevan vähemmän. Näin saatiin tietoa eri laitteiden herkkyksistä.

Näytteiden analysointia kokeiltiin eri mikroskoopeilla. Tällä pyrittiin selvittämään paras mahdollinen tekniikka kuitujen tunnistamiseen ja laskemiseen. Omien laskentatulosten tueksi osa näytteistä lähetettiin myös toiseen laboratorioon analysoitavaksi. Lopuksi uusia ja vanhoja menetelmiä verrattiin toisiinsa ja tutkittiin, mikä on paras vaihtoehto ilman kuitujen keräämiseen ja niiden analysointiin.

2 KUIDUT

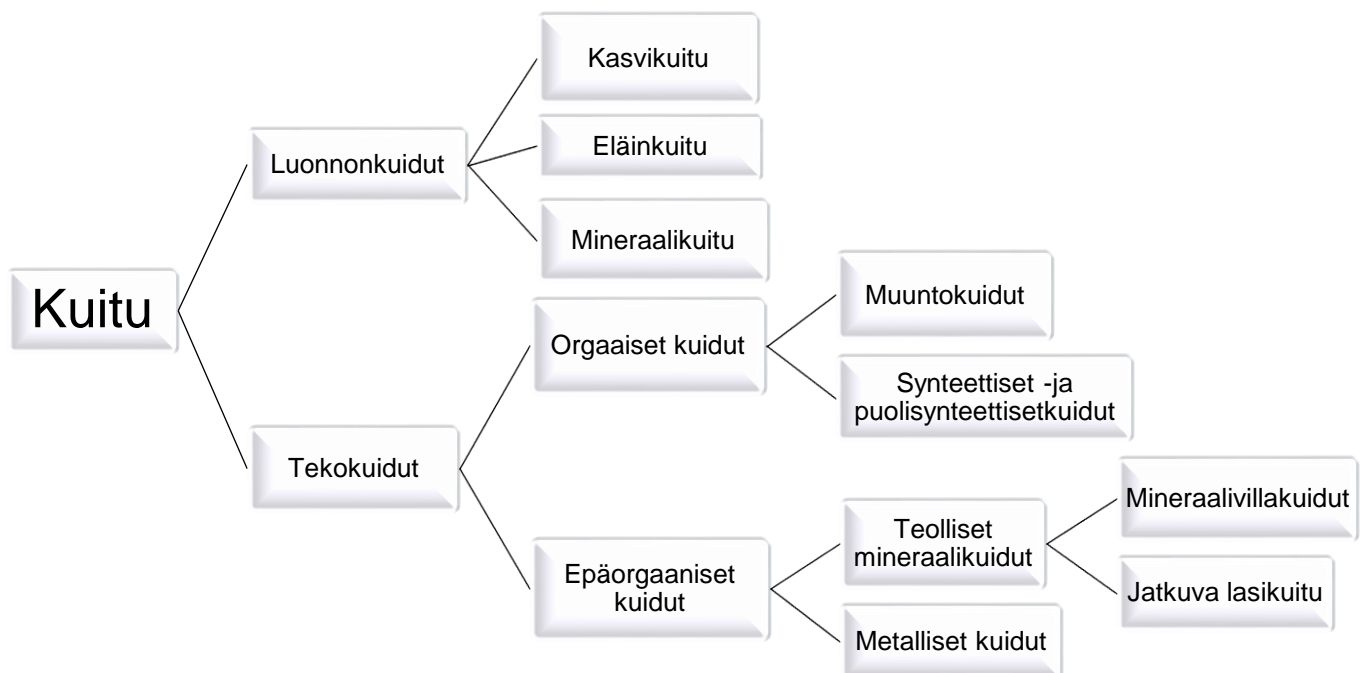
Sisäilmassa leijuu paljon erilaisia hiukkasia, joista suurin osa on kulkeutunut sisäilmaan ulkoa. Hiukkasta voidaan kutsua kuiduksi, kun sen halkaisijan ja pituuden suhde on 1:3 tai 1:5. (ATSDR 2004) Kuidut ovat pitkiä, ohuita partikkeleita, joiden pituus on vähintään viisi mikrometriä ja halkaisija 3-8 mikrometriä. Kuidut voivat olla kaarevia, niissä voi olla hartsin sideainepisaroita (Kuva 1) tai ne voivat kaventua päistään. Useimmiten kuidut ovat kuitenkin sauvamaisia ja niiden reunat ovat suunnilleen yhdensuuntaiset. (Tuomainen 2003) Suurin osa sisäilman kuiduista on orgaanisia kuituja, joita irtoaa esimerkiksi tekstiileistä, paperituotteista, ihmisistä ja ihmisten toiminnasta. Sisäilman epäorgaaniset kuidut ovat yleisesti peräisin rakennusmateriaaleista, kuten akustiikkalevyistä ja erilaisista äänen- ja lämmöneristeistä. (Tuomainen 2003)



Kuva 1. Teollisia mineraalikuituja mikroskoopissa.
Kuva on itse otettu tuntemattomasta mineraalivillanäytteestä.

Kuidut jaetaan pituutensa perusteella pitkään ja lyhyeen kuituun. Teolliset mineraalikulut ovat yleisesti lyhyitä kuituja, kun taas lasikulut voivat koostua joko pitkistä tai lyhyistä kuidusta, riippuen niiden käyttötarkoituksesta. (ATSDR 2004) Lyhyet kuidut ovat usein muokattuja, mutta on myös kuituja, jotka ovat luonnostaan lyhyitä. Tällaisia ovat esimerkiksi whiskersit, mikrokuidut sekä luonnonkuidut. (Airasmaa *et al.* 2007, 124)

Osa kuiduista, yleisesti ohuet ($\leq 5 \mu\text{m}$) keuhkoihin pääsevät kuidut, saattavat aiheuttaa ihmisissä oireita, kuten ihon ärsytystä tai hengitystietulehduksia. Tämän vuoksi sisäilmasta sekä materiaaleista tutkitaan erityisesti teollisia mineraalikuluita sekä myrkyllistä asbestia. Kuidut jaetaan niiden alkuperän mukaan luonnonkuituihin ja tekokuituihin ja kemiallisesti orgaanisiin- ja epäorgaanisiin kuituihin (Kuva 2). (Opetushallitus 2010)



Kuva 2. Kuitujen jaottelu.
(Tuomainen 2003; Opetushallitus 2010; Modelia 2016c)

2.1 Luonnonkuidut

Luonnonkuidut ovat ekologisia, sillä ne kasvavat luonnossa valmiiksi kuiduiksi ja ihminen vain muokkaa ne käyttöönsä. Luonnonkuiduilla on myös pieni tiheys ja hyvä väräh-telyvaimennuskyky, jonka vuoksi ne toimivat hyvin eristeinä. Tällaisia kuituja ovat esi-merkiksi pellavakuidut ja villa. Luonnonkuituja käytetään yleisesti myös monissa urhei-luvälineissä. (Jacomp Oy 2016)

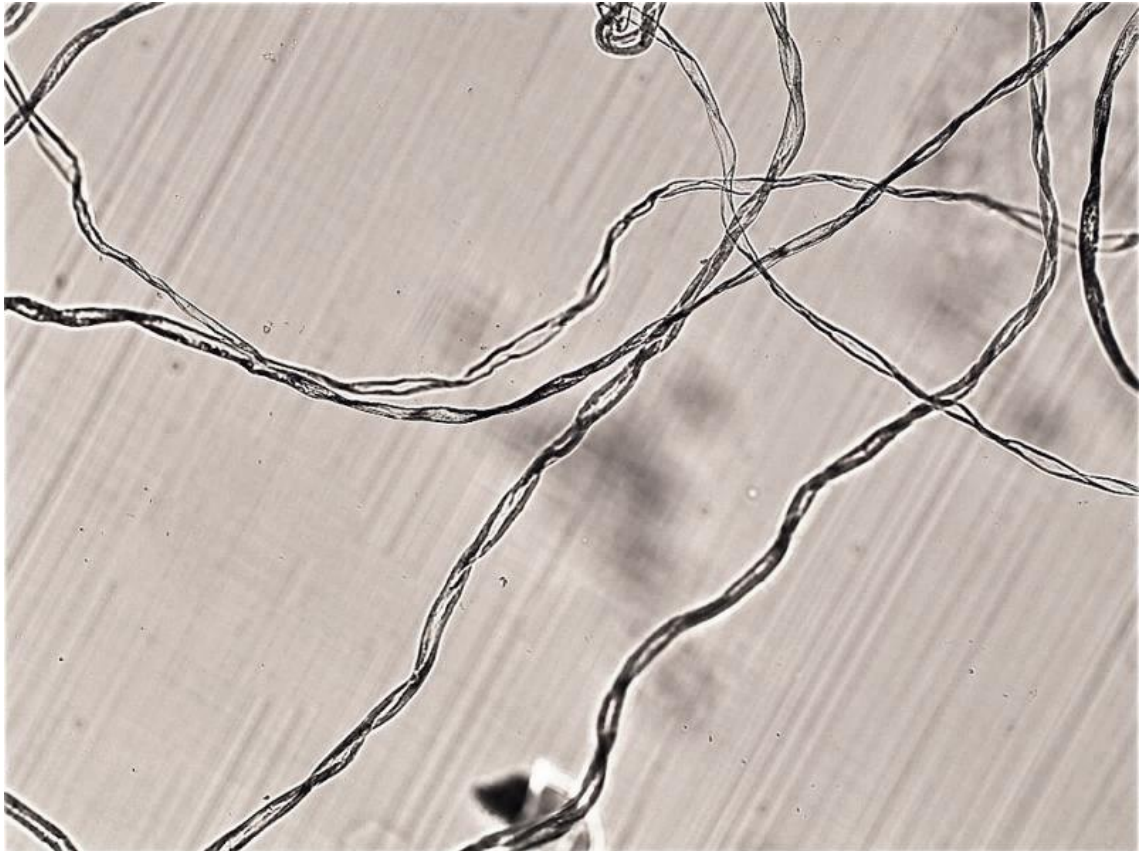
Luonnonkuidut jaetaan kasvikuituihin, eläinkuituihin ja mineraalikituihin (Taulukko 1) (Modelia 2016c).

Taulukko 1. Luonnonkuidut.
(Modelia 2016c)

Kasvikuitu	Eläinkuitu	Mineraalikitui
Puuvilla	Villa	Asbesti
Pellava	Silkki	
Hamppu	Kashmir	
Juti	Mohair	
Rami	Angora	
Manilla	Alpakka	
Sisal	Laama	
	Kameli	

2.1.1 Kasvikuidut

Kasvikuidut saadaan kasvien eri osista, jotka sisältävät selluloosaa. Kasvikuiduista, kuten pellavasta tai puuvillasta (Kuva 3), voidaan valmistaa esimerkiksi lankaa. Kasvi-kuitujen prosessointiin kuuluu aina niiden keräys, puhdistus ja muokkaus. Kuidut siis kerätään luonnosta, puhdistetaan poistamalla oksien palaset ja muut epäpuhtaudet ja muokataan halutunlaisiksi. Esimerkiksi puuvillalangan valmistuksessa kuidut avataan ja ne pyritään saamaan yhdensuuntaisiksi. (Vanhatalo 2006a; Modelia 2016a)



Kuva 3. Puuvillakuituja.
(Nikunen *et al.* 2014)

2.1.2 Eläinkuidut

Eläinkuituja ovat eläinten karvat ja villa sekä kehrääjähyönteisten erittämä säie. Eläinkuituja kutsutaan myös valkuaisainekuiduiksi, sillä ne koostuvat valkuaisaineista eli proteiineista. (Lehtonen 2016)

Eläinkuituja saadaan esimerkiksi lampaasta, angorakanista ja mohairvuohesta. Lampaasta saatava villa tulee pestä huolellisesti ennen sen käyttöä, sillä se sisältää paljon lammasrasvaa. Angorakanista ja mohairvuohesta saatuja kuituja sekoitetaan muiden kuitujen kanssa, jolloin lopputulokseksi saadaan esimerkiksi pehmeitä neuleita. Silkki kuuluu myös eläinkuituihin (Kuva 4), sillä sitä saadaan silkkiperhosen toukan kutomasta kotelosta. (Holm 2000; Lehtonen 2016)

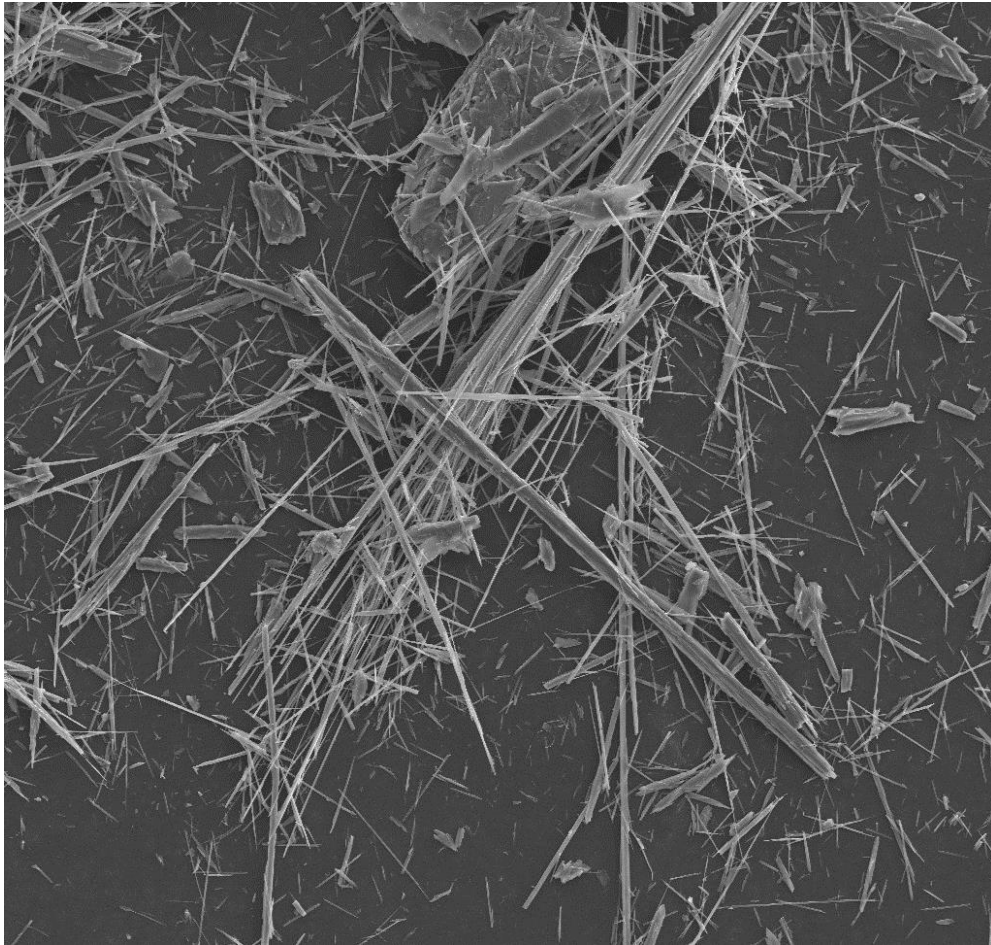


Kuva 4. Silkkikuituja.
(Nikunen *et al.* 2014)

2.1.3 Mineraalikuidut

Mineraalikuiduiksi sanotaan mineraaleista saatavia kuitumaisia kiteitä, joita voi kehrätä. Luonnossa esiintyvät mineraalikuidut ovat asbesteja. Ne ovat kuitumaisia silikaattim mineraaleja, joita saadaan luonnosta louhimalla. Asbestit ovat muodostuneet kiteytymällä kuitumaiseen muotoon vuorien liikkeen, lämpötilan ja paineen vaikutuksesta. Niiden tärkeimpänä ominaisuutena pidetään palamattomuutta. (Boncamper 1994, 273.) Asbestit ovat kemiallisesti ja mekaanisesti hyvin kestäviä ja ne ovat myös biologisesti liukenemattomia. Tämän vuoksi ne kerääntyvät ihmisen elimistöön aiheuttaen ongelmia pidemmällä aikavälillä. Asbestien on todettu aiheuttavan pölykeuhkosairautta ja ne lisäävät myös riskiä sairastua keuhkosyöpään. (Pajunen 2016) Asbesti ei siis aiheuta terveydellistä haittaa, ellei se hajoa hiukkasiksi, jotka mahtuvat hengitysteihin (Boncamper 1994, 273). Asbesti hajoo helposti, minkä vuoksi se onkin todettu hyvin haitalliseksi ihmiselle.

Asbestikuidut jalostetaan käyttötarkoitukseensa sopivaksi louhitun materiaalin puhdistamisella, kuivaamisella ja seulonnalla. Ensin materiaalista poistetaan erilaisia epäpuhtauksia ja pöly. Tämän jälkeen kuidut kuivataan ja lopuksi eri pituiset kuidut seulotaan omiin laatuluokkiinsa. Käytettävät kuitupituudet vaihtelevat 20-40 mm välillä. Asbestia käytetään esimerkiksi PVC:n lujitekuituna ja eristemateriaalina. Tärkeimpiä asbesteja ovat antofylliitti, ksysoliitti, krokidoliitti, aktinoliitti (Kuva 5), amosiitti ja termoliitti. (Boncamper 1994, 273)



Kuva 5. Asbestikuituja.
(USGS 2015)

2.2 Tekokuidut

Tekokuidut ovat teollisesti valmistettuja kuituja, joiden raaka-aineet saadaan joko luonnosta tai erilaisten kemiallisten ja fysikaalisten prosessien kautta, kuten esimerkiksi maaöljyn jalostuksesta syntyvistä sivutuotteista. Tekokuitujen etuna on, että niiden fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten kuidun pituuteen, hienouteen, poikkileikkaukseen, kirkkauteen, lujuuteen ja venymäärään voidaan vaikuttaa valmistusprosessissa. (Boncamper 1994)

Tekokuidut voidaan jakaa luokkiin monella eri tavalla, esimerkiksi orgaanisiin ja epäorgaanisiin tekokuituihin. Orgaaniset tekokuidut voidaan jakaa muuntokuituihin, synteettisiin kuituihin ja puolisynteettisiin kuituihin. Epäorgaaniset kuidut voidaan taas jakaa teollisiin mineraalikituihin ja metallikituihin. Mineraalikitujen jakoa voidaan vielä jatkaa jakamalla se teollisiin mineraalivillakituihin ja lasikituihin. (Tuomainen 2003; Pihkala 2016)

Tekokuitujen valmistusprosessi jaetaan yleisesti kolmeen pääprosessiin: kehruuliuksen valmistamiseen, kehruuliuksen kehräämiseen ja jälkikäsittelyyn (Säteri Osakeyhtiö 1970, 8).

2.2.1 Orgaaniset tekokuidut

Orgaaniset tekokuidut ovat kuituja, joiden raaka-aine on orgaanista, mutta kuitujen valmistus tapahtuu teollisesti. Orgaanisten tekokuitujen fysikaalisia ominaisuuksia voidaan myös muokata prosessissa ideaaliseksi. (Awa Paper Mfg. Co., Ltd 2017) Tällaisia kuituja ovat esimerkiksi viskoosi (Kuva 6) ja akryyli.



Kuva 6. Viskoosi.
(Nikunen *et al.* 2014)

Muuntokuidut

Muuntokuidut voidaan luokitella sekä luonnonkuituihin että tekokuituihin, sillä muuntokuiduilla on molemmille kuitutyypeille ominaisia piirteitä. Muuntokuidut valmistetaan teollisesti, mutta sen raaka-aineet saadaan luonnosta. (Säteri Osakeyhtiö 1970, 8.) Muuntokuitujen valmistusprosessiin kuuluu kolme vaihetta. Nämä vaiheet ovat raaka-aineiden kehruu, molekyylien erottaminen ja kuitukehruu, jossa molekyyleistä muodostetaan lopullisia muuntokuituja. (Boncamper 1994, 181.) Yleisin raaka-aine muuntokuiduille on selluloosa, joka saadaan puusta tai puuvillajätteistä (Säteri Osakeyhtiö 1970, 8). Selluloosamuuntokuituihin kuuluvat esimerkiksi viskoosi ja modaali (Vanhatalo 2009; Modelia 2016b).

Synteettiset -ja puolisynteettiset kuidut

Synteettiset kuidut ovat vahvoja, kemiallisesti kestäviä ja teollisesti valmistettuja kuituja, jotka jäljittelevät luonnonkuituja. Ne valmistetaan kemiallisen synteessin avulla kahdessa osassa, sillä ensin tulee valmistaa raaka-aineena käytettävät molekyylit ja sen jälkeen molekyylimassasta kehrätään tekstiilikuidut. Lähtöaineet ovat yleisesti öljyteollisuuden tuotteita, kuten kivihiilitervaa. (Vanhatalo 2006b)

Kuidut valmistetaan kehrulla. Kehruu voidaan tehdä joko sulakekehruu-, kuivakehruu- tai märkäkehruumenetelmällä. (Pihkala 2016) Ennen kehruuta kuitujen ominaisuudet voidaan muokata optimaaliseksi. Muokkaus tapahtuu lisäämällä kehruuliemeen lisäaineita, kuten väripigmenttiä tai himmenninaineita. Myös kuitujen rakenteen muokkaaminen on mahdollista. Kun kehruuliuos on valmis, se puristetaan pienten reikien läpi, jolloin tulokseksi saadaan tasapaksuisia kuituja. Synteettisiä kuituja ovat esimerkiksi polyesteri ja akryyli. (Vanhatalo 2006b)

Puolisynteettiset kuidut valmistetaan kemiallisesti modifioimalla luonnon polymeerejä, kuten selluloosaa tai tärkkelystä (Pihkala 2016).

2.2.2 Epäorgaaniset tekokuidut

Epäorgaaniset kuidut jaetaan teollisiin mineraalikuituihin (ks. kuva 1) ja metallikuituihin. Teolliset mineraalikuidut ovat mineraaliperäisiä epäorgaanisia aineita, jotka on valmistettu teollisesti (Työterveyslaitos 2010). Ne eivät pysty haihtumaan ilmaan tai liukenemaan veteen, mutta ne kuitenkin hajoavat erittäin happamissa tai emäksisissä olosuhteissa (ATSDR 2004). Teollisten mineraalikuitujen pääraaka-aineet saadaan yleisesti kierrätyslasista, metallikuonasta ja emäksisistä syväkivilajeista. Teolliset mineraalikuidut jaetaan mineraalivillakuituihin ja lasikuituihin. Mineraalivillakuituihin kuuluvat kivivilla, lasivilla, kuonavilla sekä keraamiset kuidut. (Työterveyslaitos 2010)

Teollisten mineraalikuitujen käyttö on lisääntynyt asbestin käyttökiellon vuoksi. Asbesti on todettu syöpää aiheuttavaksi aineeksi eli karsinogeeniksi ja tämän vuoksi teolliset mineraalikuidut ovat tulleet sen tilalle. Teollisten mineraalikuitujen haittavaikutuksia on alettu tutkia niiden käytön lisääntyttyä. Teollisten mineraalikuitujen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä biologinen käyttäytyminen poikkeavat suuresti asbestikuiduista. Mineraalikuitujen haitallisuuteen vaikuttavat niiden koostumus, muoto, pituus

ja halkaisija sekä niiden suhde. Joidenkin teollisten mineraalikuitujen on eläinkokeissa todettu aiheuttavan mm. soluvaurioita. (Tolvanen 1992)

Kaikkien teollisten mineraalikuitujen valmistusprosessi on lähes samanlainen. Joka prosessissa raaka-aineet ovat lähes samat, mutta niiden suhde eri kuitujen valmistuksessa muuttuu. Valmistuksen loppuvaiheessa teollisten mineraalikuitujen päälle voidaan vielä ruiskuttaa erilaisia sidosaineita, jotka lisäävät tuotteen kestävyyttä, joustavuutta ja käytettävyyttä. (Tuomainen 2003)

Metallikuidut ovat yhdestä tai useammasta metallista ohueksi vedettyjä lankoja. Tekstiilitarkoituksiin tehdyt metallikuidut valmistetaan taas leikkaamalla metallilevystä ohuita liuskoja. Tähän tarkoitukseen soveltuvia metalleja ovat esimerkiksi kulta, hopea ja kupari. Metallikuituja käytetään moniin eri tarkoituksiin, minkä vuoksi erilaisia vaihtoehtoja on paljon. Esimerkkinä metallikuiduista on teräskatkeet, joita käytetään mattolankojen staattisen sähköön poistamiseen (Boncamper 1994, 280-281). Metallikuiduista valmistetaan myös teräsvillaa (Bryk 2016).

Teolliset mineraalikuidut

Teolliset mineraalivillakuidut ovat pieniä epäsäännöllisen muotoisia partikkeleja, jotka voivat esiintyä ilmassa pieninä hiukkasina. Kuitujen halkaisija on yleisesti 3–8 mikrometriä (Taulukko 2), jonka vuoksi suurin osa kuiduista laskeutuu ilmasta melko nopeasti eri pinnoille. Teollisiin mineraalivillakuituihin kuuluvat kivivilla, lasivilla, kuonavilla ja keraamiset kuidut. Näitä käytetään yleisesti ääneneristys – ja vaimennustuotteina sekä lämmöneristeinä. (VTT Expert Services Oy 2015; Valvira 2016b)

Taulukko 2. Teollisten mineraalikuitujen kokojakaumat.
(Tuomainen 2003)

Teollinen mineraalikuitu	Keskimääräinen halkaisija (μm)		
Jatkuva lasikuitu	5 – 16	-	3,3 – 25,4
Lasivilla	4 – 6	0,6 – 8,1	0,6 – 7,7
Kivivilla	4 – 6	2,4 – 5,3	2,4 – 5,3
Kuonavilla	3 – 8	2,4 – 5,3	2,4 – 5,3
RCF eli tulenkestävä keraaminen kuitu	1,2 – 3,5	2,3 – 3,9	2,4 – 3,8

Kivivilla

Kivivilla, eli vuorivilla, koostuu usein monesta eri vulkaanisesta kivilajista sekä sideaineesta. Käytettävät kivilajit ovat usein gabro, anorsiitti ja dolomiitti (Paroc 2016). Kivivilla muodostuu lasivillan ja kuonavillan tapaan katkokuiduista. Kuitujen halkaisija on 3,5–7 mikrometriä (Sciences 2000).

Kivivillan valmistus alkaa kivien sulatuksesta. Sulatuksen jälkeen sula kiviaines johdetaan linkokehälle, jossa siitä muovautuu keskipakovoiman vaikutuksesta kivivillakuituja. Kuidutus voidaan tehdä myös johtamalla sula kiviaines pyörivässä lingossa pienten reikien läpi. Linkouksen yhteydessä kiviaineksen joukkoon lisätään sideainetta, joka koostuu hartsista ja öljystä. Sideaineet antavat kuiduista valmistetuille tuotteille niiden lopullisen muodon ja ominaispainon. Linkouksen tuloksena saadaan kivivillaa. Kivivilla laitetaan vielä uuniin, jolloin saavutetaan sen ominaisuuteen kuuluva jämäkkyys. (Eurima 2011)

Lasivilla

Lasivilla muodostuu hiekasta, kalkkikivistä, soodasta ja kierrätyslasista valmistetuista kuiduista. Lasivillasta noin 85 % on kierrätyslasia, kuten vanhoja ikkunoita ja lasipulloja. Lasivillan kuidut ovat lyhyitä (2 mm – 2 cm) ja niiden halkaisija voi vaihdella 3–15 mikrometriin. (Sciences 2000)

Lasivillan valmistus alkaa sulatusuunissa, jonne syötetään raaka-ainemateriaalit. Sula massa kehrätään kuiduksi joko lingon avulla tai se johdetaan pienien reikien läpi nopeasti pyörivälle kehrukoneelle. Tällöin kuidun rakenneosat saavat muotonsa. Rakenneosien joukkoon lisätään sideainetta, jolloin muodostuvat lopulliset lasivillatuotteet. Tässä vaiheessa kuidut muokataan myös käyttötarkoitukseensa sopivaksi. Lopuksi sideaine vielä kovetetaan noin 200 asteessa. (Sciences 2000; Eurima 2011)

Kuonavilla

Kuonavillan pääraaka-aine, kuona, saadaan malmin jalostuksesta, kun rautamalmin pelkistyy raakaraudaksi. Pelkistymisreaktion yhteydessä muodostuu kuonaa. Kuonavillalla valmistetaan kuonan lisäksi samoista raaka-aineista kuin muutkin teolliset mineraalivillakuidut (hiekkä, kalkkikivi, sooda ja oksideja), mutta niiden suhteet ovat valmistuksessa erilaiset. (Sciences 2000; Eurima 2011)

Keraamiset kuidut

Keraamiset kuidut ovat melko uusi materiaalityyppi. Ne koostuvat yleisesti 500–1000 filamentista ja niiden halkaisija on 10–15 mikrometriä. Keraamiset kuidut koostuvat pääasiassa alumiinisilikaatista, jonka vuoksi ne kestävät hyvin korkeita lämpötiloja ja ovat materiaaliltaan joustavia. Tämän vuoksi niiden käyttö onkin nousussa. Keraamisia kuituja käytetään esimerkiksi laivan rakennusmateriaalina. (Ranne *et al.* 1999; National Toxicology Program 2016)

Keraamiset kuidut valmistetaan sulasta massasta, jonka lämpötila on n. 1850–1950 astetta. Sula massa kuidutetaan joko puhaltamalla tai linkoamalla, jolloin saadaan amorfisia kuituja. Amorfiset kuidut lämmitetään taas 980 asteeseen, jolloin tapahtuu kiteytymistä ja saadaan pieniä mullittikiteitä. Kiteiden kuumentamista jatketaan 1250–1300 asteeseen, kunnes muodostuu toinen kidefaasi, kristobaliitti. Lämpötilan saavuttaessa 1200 astetta tapahtuu sintrautumista, jolloin keraamiset kuidut saavat muotonsa. (National Toxicology Program 2016) Keraamisia kuituja ovat esimerkiksi alumiinioksidit, piikarbidikuidut ja alumiinioksidikuidut (Boncamper 1994, 279).

Päästölähteet ja terveyshaitat

Teollisia mineraalikuituja käytetään erilaisina lämmöneristeinä, paloeristeinä, ilmanvaihtokoneiden- ja ilmanvaihtokanavien ääneneristeinä, suodatinmateriaaleina sekä akustiikkalevyissä. Teolliset mineraalikuidut eivät itsessään tuota ongelmia, elleivät ne pääse sisäilmaan ja sitä kautta ihmisten iholle, silmiin, nenään ja keuhkoihin. Kuidut pääsevät sisäilmaan eristeiden rikkoutuessa tai ilmavuotojen kautta. On myös esitetty, että kosteuden aiheuttamat mikrobivauriot voivat vahingoittaa mineraalivilloja siten, että ne alkavat haurastua ja vapauttaa kuituja ilmaan. (VTT Expert Services Oy 2015) Eristevillojen sideaineena on ennen käytetty fenoliformaldehydihartsia, jonka on myös todettu herkistävän ihoa ja limakalvoja (Työterveyslaitos 2009). Nykysin sideaineena käytetään kuitenkin erilaisia polysakkarideja (Henkilökohtainen tiedonanto: Kilpikari Jyrki, markkinointipäällikkö, 30.1.2017). Sisäilmassa olevien kuitujen määrään ja kokojakaamaan vaikuttaa myös tilassa olevan ilmanvaihdon tehokkuus. Tutkimusten perusteella ilmasta on kuitenkin lähes mahdoton poistaa kaikkia kuituja pelkän ilmanvaihdon avulla. (Tuomainen 2003).

Sisäilmassa kuidut esiintyvät kuitumaisina hiukkasina, jotka kulkeutuvat ihmisen hengityksen mukana hengitysteihin. Kuitujen on todettu aiheuttavan ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytystä. Niiden ei kuitenkaan ole todettu aiheuttavan pitkäaikaisia sairauksia, kuten syöpää tai astmaa. Tämä saattaa johtua kuitujen lyhyestä viipymääjasta kehossa, sillä ne poistuvat keuhkorakkuloista jo viikoissa tai kuukausissa. Tämä johtuu kuitujen hyvästä liukoisuudesta neutraalissa pH:ssa. Oireiden on myös todettu loppuvan heti, kun altistuminen kuiduille on loppunut. (Kovanen *et al.* 2006; Hengitysliitto 2016)

Kuidut pääsevät kulkeutumaan ihmiseen eritavoilla, riippuen kuidun halkaisijan koosta (Taulukko 3) (Kovanen *et al.* 2006). Kuitujen pääsyä ilmaan voidaan ehkäistä erilaisilla huoltotoimenpiteillä, kuten eristysvillojen vaihdolla tai niiden pinnoittamisella, rakenteiden tiivistämisellä sekä tulokanavien äänenvaimentimien korjauksilla ja huolloilla (Hengitysliitto 2016).

Taulukko 3. Hiukkasten kulkeutumisreitit halkaisijan mukaan.

(Kovanen *et al.* 2006)

Halkaisijan koko	Kulkeutuminen
Yli 10 μm	Ylemmät hengitystiet: nenä, nenäontelo, nenänielu
Alle 10 μm (PM_{10})	Alemmat hengitystiet: henkitorvi ja keuhkoputki
Alle 2,5 μm (Pienhiukkaset)	Keuhkorakkulat
Alle 0,1 μm (Ultrapieni)	Keuhkorakkuloista verenkiertoon

Lasikuitu

Lasikuidut ovat kuituja, joiden halkaisija on yli 3 mikrometriä. Ne valmistetaan suuresta määrästä luonnon mineraaleja ja kemikaaleja, joista tärkeimmät ovat kvartsihiekkä, sooda ja kalkkikivi. Kvartsihiekkä saa aikaan lasikuidun muodon, sooda ja kalkkikivi taas alentavat sen sulamislämpötilaa. Näiden raaka-aineiden lisäksi lasikuitu voi sisältää esimerkiksi kalsinoitua alumiinioksidia ja magnesiittia, jotka vaikuttavat lasikuidun fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Nämä lisäaineet nopeuttavat myös kaasukuplien poistumista lasista. (Airasmaa *et al.* 2007)

Lasikuidut jaetaan usein pitkään jatkuvakuituiseen lasikuituun ja lyhyeen katkolasikuituun. Katkolasikuitu on katkottu filamentti, jolla pystytään jäljittelemään luonnonkuituja pituuden valitsemisen avulla. Pitkää jatkuvakuituista lasikuitua käytetään muun muassa veneiden rakennusmateriaalina. (Sciences 2000)

Lasikuidun valmistus alkaa raaka-aineiden sekoituksesta. Raaka-aineet ja niiden määrät riippuvat halutun lasikuidun ominaisuuksista. Sekoituksen jälkeen on sulatusvaihe, jonka jälkeen tehdään kuidutus. Kuidutuksessa tärkeimmät vaiheet ovat puristus - ja vaimennus vaihe. Näissä vaiheissa lasisula puristetaan suuttimen läpi ja saatetaan kuitumaiseen muotoon. Kuidutus voidaan tehdä suulakevetotekniikalla, suulakepuhalustekniikalla sauvavetotekniikalla tai linkoamalla. (Boncamper 1994, 277–278) Kuidutuksen jälkeen lasikuitu päällystetään. Tämän tarkoituksena on muodostaa kuiduista kimppuja ja parantaa niiden pintaominaisuuksia. Pinnoiteaineena käytetään yleisesti vesiemulsiossa olevia kemikaaleja. Lopuksi lasikuidut kuivataan ja jatkojalostetaan

esimerkiksi langaksi, rovingiksi tai katkokuituiseksi lasivillaksi. (Compositesworld 2016; Madehow 2016)

Metalliset kuidut

Metallisiin kuituihin kuuluvat metalliset kuidut, metallisuksiset kuidut ja metallilla päällystetyt kuidut eli metalloidut kuidut. Niiden yleisimmät raaka-aineet ovat alumiini, kulta ja hopea. (Boncamper 1994, 180–183) Metallikuidut ovat ominaisuuksiltaan hyvin kestäviä ja oikein valmistettuna ne kestävät jopa suolavettä ja klooria. Alhaisen sulamispisteensä vuoksi metallikuidut eivät kuitenkaan kestä korkeita lämpötiloja. Metallikuidut voidaan valmistaa joko laminointi - tai metallointi -prosessilla. Metalloinnilla valmistetut kuidut ovat ohuempia, joustavampia ja kestävämpiä kuin laminoinnilla valmistetut kuidut. (Andrea Quintero Maya 2013; Beg 2015) Metallikuiduista valmistetaan esimerkiksi teräsvillaa (Bryk 2016).

Teräsvilla

Teräsvillan valmistus tapahtuu siihen tarkoitettuun leikkuukoneeseen. Raaka-aineena käytetään metallitankoa, joka voi koostua eri metalleista, kuten pronssista, alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä. Usein metallitanko koostuu myös näiden metallien yhdistelmästä. (Bryk 2016)

Teräsvillan valmistus alkaa metallitangon kiertämisellä leikkuukoneeseen olevien kelojen ympärille. Metallitanko kiertää koneessa kelalta toiselle, jossa koneen sahalaitaiset terät leikkaavat sitä yhä ohuemmiksi metallikuiduiksi. Leikkurin terät tylstyvät nopeasti, jonka vuoksi niitä pitää teroittaa noin kolmen tunnin välein. Leikkaaminen tuottaa myös paljon lämpöä, jonka vuoksi tulipaloriski on suuri. Lämpötilan laskemiseksi terä pyritään pitämään terävänä ja sitä myös voidellaan jatkuvasti öljyllä. Kun kuidut ovat halkaisijaltaan sopivan paksuisia, ne sidotaan ison kerän ympärille ja kone leikkaa teräsvillan halutun pituiseksi ja paksuiseksi. Lopuksi teräsvilla painetaan teräsvillatyynyksi ja pakataan. (Bryk 2016)

3 NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT

Ihmisten elinympäristöstä halutaan tutkia erilaisia mineraalikuituja ja asbestia, koska niiden on todettu aiheuttavan terveyshaittoja. Näiden kuitujen näytteenottoon ja analysointiin on standardisoitu erilaisia menetelmiä. Kuitunäytteitä otetaan niin ilmasta kuin pinnoiltakin tutkittavan kohteen mukaan. Teollisten mineraalikuitujen analysoinnissa mikroskoopilla lasketaan kaikki $\geq 20 \mu\text{m}$ pituiset kuidut ja tuloksia verrataan niille annettuun toimenpiderajaan. Asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä, minkä vuoksi erillistä laskentaa ei tarvitse suorittaa. Eri näytteenottomenetelmien analysointituloksille on määritetty myös omat raja-arvonsa (Taulukko 4). Näitä raja-arvoja on määrittänyt niin työterveyslaitos kuin VTT Expert Services Oy:kin. (Kovanen *et al.* 2006; Työterveyslaitos 2010)

Taulukko 4. Kuituanalysien raja-arvot.
(Tuomainen 2003; Kovanen *et al.* 2006)

Näyte	Usein siivotut pinnat	Harvoin siivotut pinnat
Laskeumanäyte	0,2 kuitua/ cm^2	Alle 3 kuitua/ cm^2
Pintapölynäyte	0,2 kuitua/ cm^2	Alle 3 kuitua/ cm^2
Tuloilmanäyte	1 kuitua/ cm^2	

3.1 Laskeumamittaus geeliteippimenetelmällä

Laskeumamenetelmällä tutkitaan teollisten mineraalikuitujen esiintymistä sisäympäristössä (Työterveyslaitos 2016a). Menetelmä perustuu kuituihin vaikuttavaan painovoimaan.

Laskeumamittaus suoritetaan sijoittamalla petrimaljan kansi kahdeksi viikoksi paikkaan, jossa huoneilman kuidut voivat vapaasti laskeutua ilman, että niihin vaikuttaa jokin voima. Tällaisia vaikuttavia voimia voivat olla esimerkiksi voimakkaat ilmavirtaukset. Näytettä ei tule kerätä ikkunanlaudalta tai hyllyjen välistä. (Työterveyslaitos 2016a)

Laskeumanäytettä kerätään kaksi viikkoa, minkä jälkeen geeliteippi painetaan petrimaljan pintaan kiinni tasaisella voimalla. Petrimaljan näytteenottopinta-ala on 14 cm^2 . Lopuksi petrimalja suljetaan pohjan avulla ja sen kiinnipysyminen varmistetaan teipillä. Näytteenoton ajan petrimaljan pohjan tulee olla säilöttynä pölyttömässä paikassa. (Työterveyslaitos 2016a) Geeliteipin analysointi tapahtuu valo- tai stereomikroskoopilla 80 – 100 kertasilla suurennoksilla. Maljoilta lasketaan kaikki $\geq 20 \mu\text{m}$ pituiset kuidut ja tulokset ilmoitetaan joko muodossa kuitua/ cm^2 tai kuitua/ cm^2/vrk . (Kovanen *et al.* 2006)

3.2 Pintapölynäytteet

Pintapölynäytteet otetaan suoraan tutkittavalta pinnalta, jolloin pölyn laskeuma-aika ei välttämättä ole tiedossa. Pintapölynäytteitä voidaan ottaa geeliteippimenetelmän- tai pyyhintämenetelmän avulla. (Kovanen *et al.* 2006) Geeliteippimenetelmän avulla voidaan tutkia pinnoille laskeutuneiden kuitujen määrää kun taas pyyhintämenetelmän avulla voidaan tutkia laskeutuneen pölyn koostumusta ja kuitujen laatua (Kollanen 2016).

3.2.1 Geeliteippimenetelmä

Pintapölynäytteet otetaan geeliteippimenetelmän avulla tasaisilta pinnoilta. Näytteenottopinta tulee puhdistaa kaksi viikkoa ennen näytteenottoa, jotta tiedetään pölyn laskeuma-aika. Geeliteippimenetelmän avulla on myös mahdollista ottaa näytteitä ilmapuhtauskanavistosta, jolloin pölyn laskeuma-aikaa ei tunneta. Näytettä ottaessa on tärkeää käyttää suojakäsineitä kontaminaation välttämiseksi. (Kovanen *et al.* 2006)

Näytteenotossa geeliteippi (14 cm^2) painetaan tasaisesti tutkittavalle pinnalle, jolloin kuidut tarttuvat siihen. Näytteenoton jälkeen geeliteippi teipataan reunoistaan kiinni petrimaljan pohjaan teippipuoli ylöspäin. Kansi suljetaan ja näyte vietään analysoitavaksi. Geeliteippimenetelmän analysointi tapahtuu samalla tavalla kuin laskeumanäytteiden analysointi (ks. 3.1).

3.2.2 Pyyhintämenetelmä

Pyyhintämenetelmällä voidaan tutkia pinnoille laskeutunutta pölyä ja kuitujen laatua (Kollanen 2016). Pölynäytteestä voidaan tunnistaa teolliset mineraalikuidut, kiviaines-pöly, siitepöly, rakennusmateriaalipöly, metallihiukkaset, asbestikuidut ja homeitiöt. Näytteet voivat kertoa mahdollisista sisäilmaongelmista sekä niiden lähteistä. Sisäilmaongelmaa arvioitaessa on suositeltavaa ottaa pyyhintänäytteet sekä tutkittavan tilan pinnoilta että tuloilmakanavasta, jotta myös päästölähde saadaan selville. (Työterveyslaitos 2015) Näytteenottopinnan tulee olla samanlainen kuin geeliteippinäytettä ottaessa (ks. kappale 3.2.1) ja se tulee myös puhdistaa kaksi viikkoa ennen näytteenottoa (Työterveyslaitos 2015).

Pyyhintämenetelmässä tutkittava pinta pyyhitään minigrip-pussilla. Pussi käännetään väärinpäin, käsi laitetaan sen sisälle ja tutkittavaa pintaa pyyhitään muutaman kerran. Yhden pinnan näytteenottoon tulee käyttää vähintään yksi pussi ja kaikille pinnoille käytetään omat pussinsa. Pyyhinnän jälkeen pussi käännetään takaisin oikein päin, jolloin pöly jää pussin sisälle. Pussin tulee olla sekä vesi- että ilmatiivis, eikä sitä saa sulkea teipillä tai solmulla. (Työterveyslaitos 2015)

Pyyhintänäyte toimitetaan laboratorioon, jossa pussi huuhdellaan tislatulla vedellä ja suodatetaan suodattimen läpi. Suodattimesta tehdään preparaatti, joka analysoidaan sekä pyyhkäiselektronimikroskoopilla että EDX-analysaattorilla. Tulokset kertovat pöly, mistä pöly koostuu. (Työterveyslaitos 2015)

3.3 Ilmanäytteet

Ilmanäytteitä otetaan yleisesti asbestimittauksia varten, mutta niitä voidaan hyödyntää myös kuitupitoisuuksien mittaamiseen. Näytteenottovälineenä käytetään vakiovirtauspumppua, joka imee ilmaa polykarbonaattisuodattimen läpi. Näytteet kerätään yleisesti hengityskorkeudelta sekä ilmanvaihtokanavien kohdalta. (Työterveyslaitos 2016b)

Näytteenottoaika riippuu ilman kuitupitoisuudesta: kuidut eivät saa kasaantua vaan niiden tulee levittäytyä suodattimelle tasaisesti. Normaalisti näytettä kerätään pumpun avulla noin kaksi tuntia virtausnopeudella 2,0 l/min. Mittauksen aikana seiniä ja muita tilan pintoja tulee harjata muutaman kerran. Tämän tarkoituksena on simuloida tilan

normaalia käyttöä. Harjauksen aikana on erityisen tärkeää muistaa suojautua, jotta altistuminen kuiduille olisi mahdollisimman vähäistä. (Työterveyslaitos 2016b)

Näytteenoton päätyttyä, polykarbonaattisuodattimesta leikataan pala, joka kullataan. Kullatusta suodattimen palasta lasketaan kaikki yli 5 µm pituiset kuidut. Kuitujen määrä ilmoitetaan muodossa kuitua/cm³. Tämän lisäksi analysoidaan pölyn laatua pyyhkäisy-elektronimikroskoopin sekä EDX-analysaattorin (Energy Dispersive X-Ray Analysis) avulla. (Kovanen *et al.* 2006) EDX-analysaattorin toiminta perustuu röntgensäteeseen ja sen avulla voidaan tunnistaa materiaalien peruskoostumus (Intertek 2017).

3.3.1 Tuloilmanäytteet

Ilmanvaihto- ja ilmastointiputkistosta voidaan määrittää kuitupitoisuutta eli ilmanvaihtolaitteiden kuituemissiota polypropeenisuodatinkankaan avulla. Suodatinkankaasta leikataan sopiva pala tuloilman luukun tilalle ja sen jälkeen mitataan tuloilmavirta. Näytteenkeräysaika on 2–4 vuorokautta, jonka jälkeen kangas suljetaan minigrip-pussiin ja valmistellaan analysoitavaksi. Mahdollisia käytettäviä analysointimenetelmiä on kaksi: ksyleeniliuotusmenetelmä ja vesihuuhtelumenetelmä. Näistä paremmaksi on todettu vesihuuhtelumenetelmä, sillä se on nopeampi, eikä se vaadi yhtä paljon henkilöresursseja kuin ksyleeniliuotusmenetelmä. (Kovanen *et al.* 2006)

Ksyleeniliuotusmenetelmä

Ksyleeniliuotusmenetelmässä näytteenoton jälkeen suodatinkangas irrotetaan ja liuotetaan ksyleeniin. Liuos suodatetaan hopeasuodattimelle ja suodatin kuivataan lämpökaapissa. Tämä jälkeen se huuhdellaan tislattun veden ja alkoholin seoksella ja huuhte suodatetaan taas selluloosaesterisuodattimelle ja kuivataan. Lopuksi suodatin tehdään läpinäkyväksi asetonihöyryn avulla ja preparoidaan triasetiinilla. Kuidut voidaan laskea faasikontrastioptiikalla varustetulla polarisaatiomikroskoopilla. Kaikki yli 20 µm pituiset kuidut lasketaan ja tuloksena ilmoitetaan kuituja/suodatin pinta-ala. (Kovanen *et al.* 2006.)

Vesihuuhtelumenetelmä

Vesihuuhtelumenetelmässä näytteenottimena toiminut suodatinkangas asetetaan mitalasin päällä olevan metalliritilän päälle siten, että ilmavirtaa vasten ollut puoli on ritilää vasten. Suodatinkangas kastellaan etyylialkoholilla, jolloin siitä saadaan poistettua pintajännitys. Tämän jälkeen kankaan läpi kaadetaan tislattua vettä ja märkä suodatinkangas puristetaan kuivaksi näyteastiaan. Myös ritilä huuhdellaan näyteastian yllä. Saatu nesteseos suodatetaan selluloosaesterisuodattimelle ja kuivataan lämpökaapissa. Kuivauksen jälkeen suodatinkangas tehdään läpinäkyväksi asetonihöyryn avulla ja preparoidaan triasetiinilla. Lopuksi kuitulaskenta, jossa lasketaan kaikki yli 20 µm pituiset kuidut, suoritetaan faasikontrastioptiikalla varustetulla polarisaatiomikroskoopilla. Tulokset ilmoitetaan muodossa kuituja/suodatin pinta-ala. (Kovanen *et al.* 2006)

3.4 Materiaalinäytteet

Materiaalinäytteitä otetaan ilmanäytteiden tapaan yleisesti asbestimittauksia varten. Rakennusmateriaaleista esimerkiksi julkisivu- ja kattomaalit, ruiskutetut eristeet ja kattohuovat voivat sisältää asbestia. Näytteenotossa tulee olla huolellinen, ettei kontaminoitumista pääse tapahtumaan ja että näyte sisältää vain yhtä materiaalia. Kontaminoitumista estetään näytteenottovälineiden desinfioimisella eri näytteenottojen välissä. Näytettä ei tule ottaa poraamalla, sillä silloin mukaan tulee helposti myös muita materiaaleja kuin haluttua näytettä. Näytteiden tulee olla pieniä, noin tulitikkurasian tai ruokalusikallisen kokoisia. (Työterveyslaitos 2016c)

Materiaalinäytteitä voidaan hyödyntää myös teollisten mineraalivillakuitujen tutkimuksissa. Eri materiaaleista, kuten akustiikkalevyistä, ilmanvaihtokonehuoneiden eristeistä tai lämmöneristeistä, voidaan ottaa näytteitä ja näin selvittää kuitupölyjen lähteet. (Kovanen *et al.* 2006)

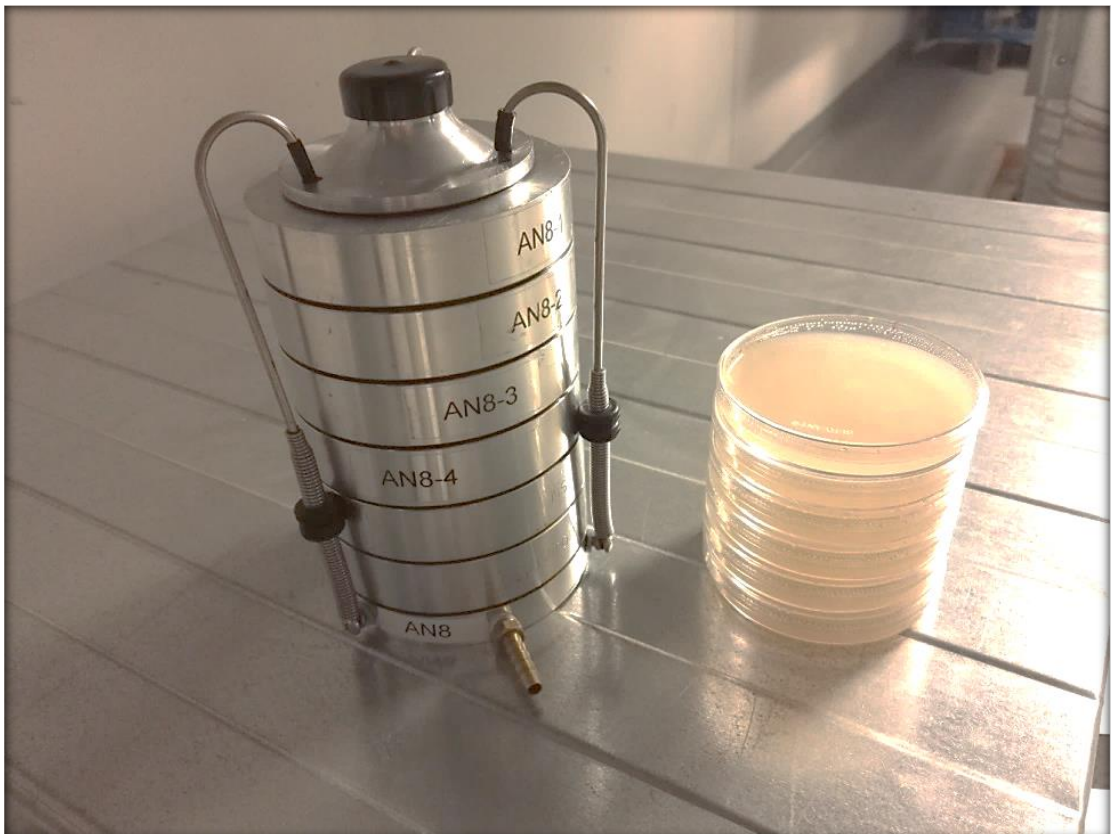
3.5 Laitteet

Teollisia mineraalikuituja kerätään yleisesti laskeumamaljojen avulla. Menetelmä on kuitenkin melko hidas, minkä vuoksi haluttiin testata erilaisia laitteita kuitujen keräämiseen. Tässä työssä testattiin kahdenlaisia Burkardeja sekä Andersen-keräintä. Burkar-

dit on erotettu tekstissä toisistaan nimeämällä toinen Burkard kokonsa perusteella mini-Burkardiksi.

3.5.1 Andersen-keräin

Andersen-keräin on 6-vaiheimpaktori (Kuva 7), jota käytetään sisäilman mikrobien tutkimiseen. Impaktori sisältää kuusi kammiota, joihin jokaiseen asetetaan oma valettu petrimaljansa keräämään näytettä. Joka kammiossa on erikokoinen suodatin, josta pääsevät läpi vain tietyn kokoiset hiukkaset (Taulukko 5). Ylimpään kammioon jäävät suurimmat hiukkaset ja alimpaan pienimmät. Menetelmän on tarkoituksena toimia kuten ihmisen hengityselimistö. Karkein suodatin kuvaa nenäonteloon pääsevien hiukkasten kulkeutumista ja hienoin suodatin taas keuhkorakkuloihin mahtuvien hiukkasten kulkeutumista. (Henkilökohtainen tiedonanto: Talvitie Oskari, laboratoriomestari, Turun yliopisto, 13.10.2016).

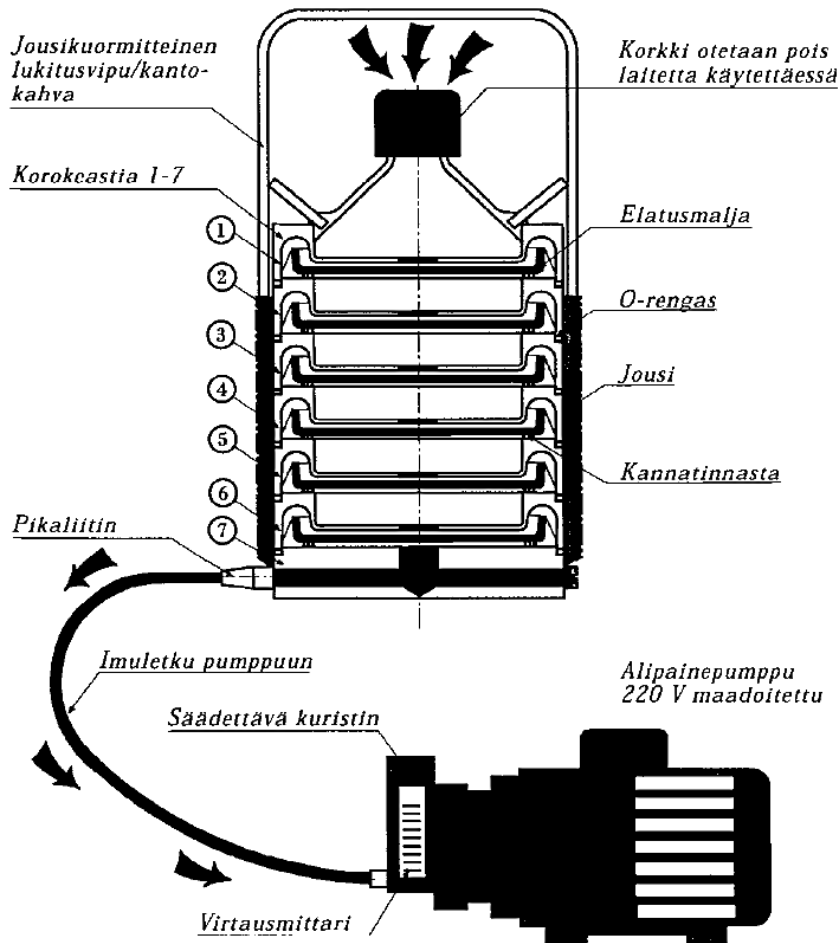


Kuva 7. Andersen-keräin (6-vaiheimpaktori) ja agar-maljat.

Taulukko 5. Vaiheiden aukkojen halkaisijat ja hiukkaskokoluokat.
Oheisessa taulukossa esitetään Andersen-keräimen eri vaiheiden aukkojen halkaisijat sekä niitä vastaavat hiukkaskokoluokat. (Graseby andersen LTD 2016)

Vaihe	Aukon halkaisija (mm)	Hiukkaskokoluokka (µm)
1	1,81	≥7,0
2	0,91	4,7 – 7,0
3	0,71	3,3 – 4,7
4	0,53	2,1 – 3,3
5	0,34	1,1 – 2,1
6	0,25	0,65 – 1,1

Hiukkasten keräysmenetelmä perustuu massan hitauteen. Impaktorin läpi imetään pumpun avulla ilmaa 28 l/min, jonka vuoksi sisäilmassa olevat hiukkaset alkavat kulkeutua Andersen-keräimeen. Siellä ilma kulkee vaihtaen suuntaansa, joka aiheuttaa suurimpien hiukkasten kiinnittymisen maljaan. Suodattimesta mahtuvat pienemmät hiukkaset ehtivät vaihtamaan suuntaansa ja näin kulkeutuvat seuraavaan kammioon. Sama periaate toistuu joka kammiossa. (Henkilökohtainen tiedonanto: Talvitie Oskari, laboratoriomestari, Turun yliopisto, 13.10.2016). Andersen-keräimen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 8.



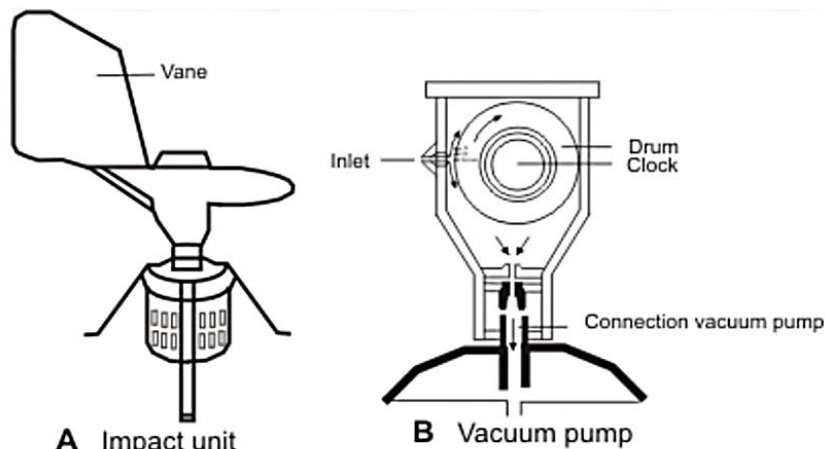
Kuva 8. Hiukkaskeräin HK-10.
(Pietiko Oy 2014)

Keräintä koottaessa on tärkeää työskennellä aseptisesti, jotta ei tapahtuisi kontaminoitumista. Kuituja tutkittaessa aseptisuus ei kuitenkaan ole niin tärkeää, sillä kuidut eivät ole elävää materiaalia. Kun keräin on koottu, on hyvä tarkistaa, että joka kammio on kunnolla kiinni. Jos jokin kammio jää auki, keräin ei toimi oikein, koska keräimen sisällä oleva ilmavirta liikkuu eritavalla avoimessa kohdassa. Tämän voi huomata myös näytteitä tutkittaessa, jos esimerkiksi viimeinen malja on täynnä kasvustoa ja muilla maljoilla ei kasva mitään. Tässä esimerkissä siis viimeinen kammio on jäänyt auki. (Henkilökohtainen tiedonanto: Talvitie Oskari, laboratoriomestari, Turun yliopisto, 13.10.2016).

3.5.2 Burkard

Burkardia käytetään yleisesti siitepölyhiukkasten ja sieni-itiöiden keräämiseen ilmasta. Se perustuu Andersen-keräimen tavoin imuun, joka luodaan vakuumpumpun avulla. Imunopeus on 10 l/min ja keräystä voidaan suorittaa yhtäjaksoisesti seitsemän vuorokautta. Imun vaikutuksesta hiukkaset kulkeutuvat keräimeen sen sivussa olevasta reiästä. (Aerobiología en Córdoba 2016)

Burkard sisältää keräyskotelon, siiven ja vakuumpumpun (Kuva 9). Keräyskotelo sisältää keräysalustan, vakuumpumppu hoitaa imun Burkardin sisälle ja siipi ohjaa keräyssuuntaa tuulen mukana. Keräyskotelon toiminta perustuu sen sisälle asennettavaan kaksipuoleiseen teippiin, joka laitetaan metallikierukan ympärille. Tämä toimii siitepölylle ja itiöille kiinnitysalustana. Teippiin merkitään aloituskohta, jonka avulla teipistä pystytään lopussa määrittämään eri tapahtumien kellonajat kahden tunnin tarkkuudella. Tämä on mahdollista, kun tiedetään, että teippirulla pyörii Burkardin sisällä 2 mm/t. Hiukkaskoko, joita keräin yleisesti kerää on halkaisijaltaan 1-10 µm. (Aerobiología en Córdoba 2016)



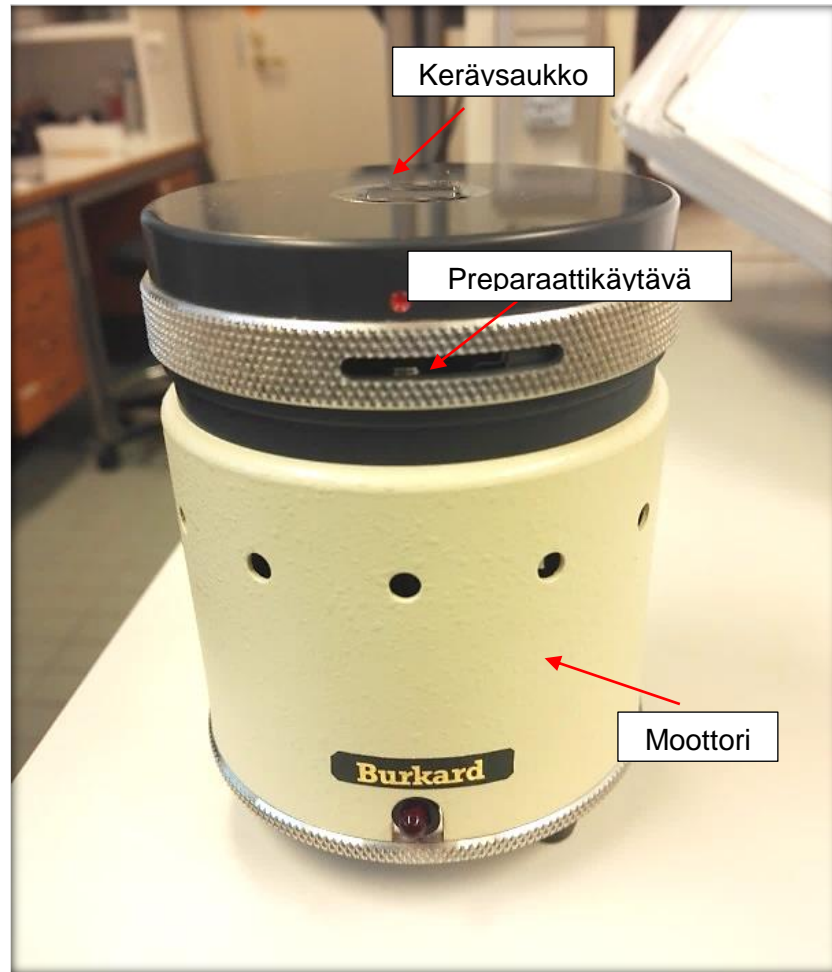
Kuva 9. Burkard.
(Aerobiología en Córdoba 2016)

Kun keräys lopetetaan, teippi irrotetaan keräimestä ja se leikataan sopivan kokoisiksi paloiksi haluttujen aikajaksojen mukaisesti. Teipin paloista tehdään preparaattit, joita voidaan analysoida esimerkiksi valomikroskoopin avulla.

3.5.3 Mini-Burkard

Mini-Burkardin keräysmenetelmä perustuu niin ikään sen sisälle aiheutettavaan imuun 10 l/min. Imunopeus on valittu siten, että se muistuttaa ihmisen keuhkojen ilman tilavuutta hengityksen aikana. Mini-Burkard eroaa normaalista Burkardista kuitenkin monella tavalla. Sen sisällä ei ole teippirullaa vaan keräys tapahtuu normaalisti objektilasille, joka ei ole liikkeessä. Keräys on siis tarkoitettu lyhemmille ajanjaksoille, sillä laite kerää ilman hiukkasia pienestä reiästä kapealle alueelle. (Burkard Manufacturing Co Ltd 2001) Pitkissä näytteenotoissa hiukkasia voi kertyä paljon pienelle alueelle, mikä vaikeuttaa hiukkasten laskemista. Toisena ongelmana on se, että liian pitkän keräysajan seurauksena, hiukkaset voivat alkaa levitä objektilasille, mikä myös hankaloittaa tulosten analysointia.

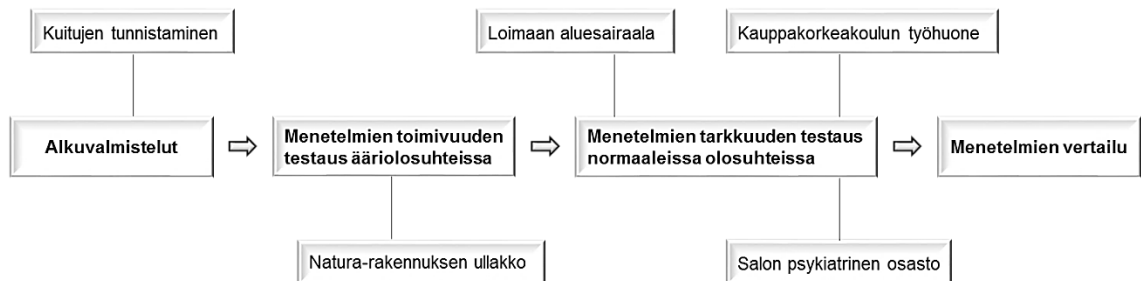
Mini-Burkard (Kuva 10) painaa 640 g ja sen halkaisija on 8,8 cm (Burkard Manufacturing Co Ltd 2001). Pienen kokonsa ansiosta se sopii loistavasti kenttämittauksiin. Laitteen kuoren sisällä on moottori sekä objektilasille tehty paikka. Mini-Burkardin moottori on laitteen vaalean osan sisällä, eli suurin osa laitteesta on moottoria. Mini-Burkardin harmaan osan alla on objektilasin levyinen ahdas käytävä, johon objektilasi laitetaan laitteen kyljessä olevasta reiästä. Reikä voidaan sulkea kiertämällä metallista kiekkoa, jolloin laite imee mittauksessa ilmaa vain sen kannessa olevasta kapeasta reiästä.



Kuva 10. Mini-Burkard.

4 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Työ aloitettiin harjoittelemalla kuitujen tunnistamista mikroskoopilla. Tämän jälkeen erilaisilla keräimillä suoritettiin ensin mittauksia ääriolosuhteissa ja sitten normaaleissa olosuhteissa. Ääriolosuhteilla tarkoitetaan tiloja, joissa kuituja tiedetään olevan runsaasti. Tällaisia ovat esimerkiksi ullakkotilat. Normaaleilla olosuhteilla tarkoitetaan yleisesti asumiseen tarkoitettuja tiloja. Lopuksi vielä vertailtiin eri menetelmiä toisiinsa ja pohdittiin millaisia ominaisuuksia hyvällä keräimellä on. Työnkulku on esitetty tarkemmin kuvassa 11.



Kuva 11. Työnkulku.

4.1 Kuitujen tunnistaminen

Työ aloitettiin tutustumalla erilaisiin tutkimuksiin sekä saatuihin tuntemattomiin mineraalivillanäytteisiin. Mineraalivilloista valmistettiin preparaatteja, joita tarkasteltiin valomikroskoopilla. Tarkoituksena oli oppia tunnistamaan ja erottamaan mineraalivillakuidut muista kuiduista. Mineraalikulitujen tunnistamisen apuna käytettiin myös polarisaatiomikroskooppia, jonka avulla tunnistaminen voitiin todeta varmasti. Polarisaatiomikroskoopin toiminta perustuu valon taittumiseen ja heijastumiseen sekä aallonpituuden muuttumiseen, kun se kohtaa näytteen rajapinnan. Mineraalivillakuidut eivät taita valoa, jonka vuoksi ne näkyvät polarisaatiomikroskoopissa mustana. Luonnonkuidut taas näkyvät polarisaatiomikroskoopissa kirkkaina, koska epäsäännöllisen rakenteensa vuoksi ne polaroivat valoa tehokkaasti. Valmistetuista preparaateista otettiin myös kuvia valomikroskoopin kameralla. Kuvien tarkoituksena oli helpottaa kuitujen tunnistamista jatkossa.

Sirate Group toimitti rinnakkaisnäytteen ottamistaan laskeumanäytteistä sekä Aerobiologian yksikölle että toiselle laboratoriolle. Tämän tarkoituksena oli vertailla kahden eri analysoijan saamia analysointituloksia toisiinsa. Tulosten vertailulla haluttiin varmistaa se, että näytteestä osataan laskea teolliset mineraalikuidut. Myöhemmin todettiin, ettei varmistus onnistu näin, koska kuidut voivat jakautua hyvinkin epätasaisesti eri maljoille. Tämän vuoksi päätettiin, että Sirate Group:n Aerobiologian yksikölle toimittamat rinnakkaisnäytteet lähetetään uudelleen laskettaviksi edellä mainittuun laboratorioon, mikä mahdollisti laskentatulosten vertailun.

4.2 Testausmenetelmät

Eri kokeilujen tarkoituksena oli määrittää paras menetelmä ilman teollisten mineraalikulujen keräämiseen ja analysointiin. Keräykseen käytettiin Burkardia (7 day recording volumetric spore trap, Burkard, England), mini-Burkardia (Personal volumetric air sampler, Burkard, England), Andersen-keräintä (6-portainen mikrobiologinen keräin, Graseby andersen Ltd, Vantaa) sekä laskeumamaljoja. Laskeumamaljakeräys on vanha menetelmä, jonka tuloksia käytettiin uusien menetelmien tulosten vertailukohteena. Eri keräysmenetelmiä verrattiin toisiinsa ja niistä pyrittiin löytämään parhain, helppokäyttöisin ja luotettavin menetelmä.

Alkuperäisenä oletuksena oli, että mini-Burkard soveltuisi tähän käyttötarkoitukseen parhaiten, koska uuden menetelmän haluttiin olevan mahdollisimman helppokäyttöinen ja soveltuvan kenttänäytteenottoon. Tavoitteena oli myös, että keräysaika olisi huomattavasti vanhaa menetelmää lyhempi. Mini-Burkardin keräysmenetelmää muokattiin käyttötarkoitukseen sopivammaksi laittamalla sen keräysalustaksi objektilasien tilalle geeliteippi (Kuva 12). Syy tähän oli se, että kuitujen uskottiin tarttuvan geeliteippiin paremmin kiinni. Geeliteippi ei ollut sopivan kokoinen mini-Burkardiin, joten sitä leikattiin reunoista pienemmäksi. Myöhemmin huomattiin ongelmaksi se, että polarisaatiomikroskooppi ei polaroi geeliteipin alla olevan muovin vuoksi. Jokaisesta geeliteipistä piti siis erikseen irrottaa geeli sen alustana toimivasta muovista. Geelin irrottamiseen käytettiin kirurgin veistä.

Ensimmäisten mittausten tarkoituksena oli määrittää, soveltuuko käytettävä menetelmä teollisten mineraalikulujen keräämiseen. Tämä selvitettiin valitsemalla mittauspaikaksi Turun yliopiston Natura-rakennuksen ullakkotila, sillä siellä mineraalivillaa oli paljon. Näin keräykseen saatiin siis luotua ääriolosuhteet. Myöhemmin kuituja kerättiin myös

paikoista, joissa kuituja tiedettiin olevan vähemmän. Näin saatiin tietoa keräinten tarkkuudesta ja tehokkuudesta.

Kuitujen tunnistamiseen ja näytteiden analysointiin käytettiin aluksi valomikroskooppia (GWB BH-2, Olympus, Japan) ja myöhemmin polarisaatiomikroskooppia (Leitz Laborlux 11 POL, Germany) ja stereomikroskooppia (SZX10, Olympus, Tokyo, Japan).



Kuva 12. Mini-Burkard ja geeliteippi.
Objekttilasin sijasta mini-Burkardin keräysalustana käytettiin geeliteippiä.

4.3 Näytteiden keräys ja analysointi

Näytteitä kerättiin Turun yliopiston Natura-rakennuksen ullakolta, Turun kauppakorkeakoulusta, Loimaan aluesairaalan psykiatriselta osastolta sekä Salon psykiatrisesta sairaalasta. Tarkoituksena oli määrittää paras mahdollinen laite teollisten mineraalikulitusten keräämiseen.

4.3.1 Natura-rakennuksen ullakko

Turun yliopiston Natura-rakennuksen ullakolla suoritettujen keräysten tarkoituksena oli selvittää, mitkä testattavista laitteista keräävät kuituja ja kuinka tehokkaasti.

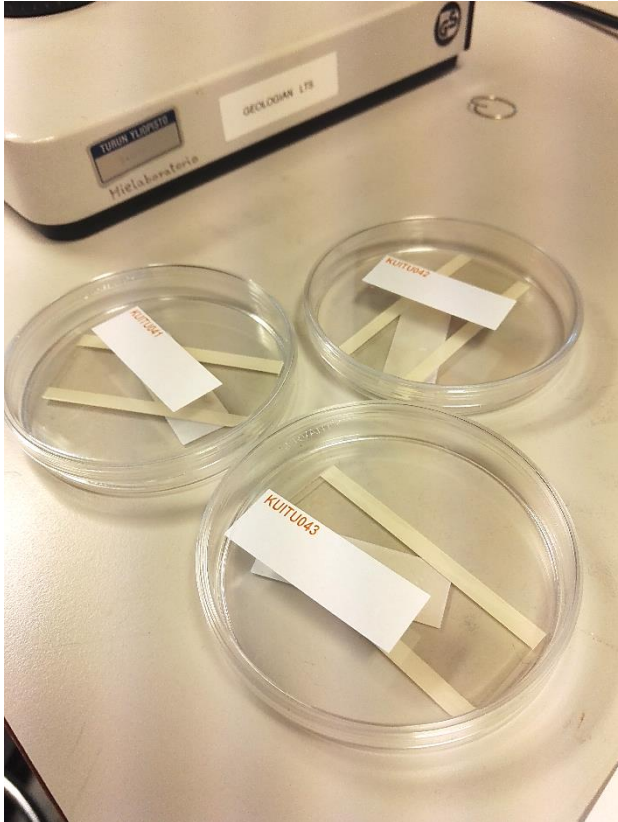
Mini-Burkard, Burkard, laskeumamaljat ja Andersen-keräin

Ensimmäinen keräys suoritettiin Turun yliopiston Natura-rakennuksen ullakkotiloissa (Kuva 13). Ensimmäisten keräysten tarkoituksena oli selvittää, onnistuuko teollisten mineraalikulujen kerääminen testattavilla laitteilla. Ullakolla oli todella paljon mineraalivillaa, jonka vuoksi se toimi erityisen hyvänä testikohteena. Aluksi sinne vietiin siitepölykeräykseen tarkoitettu Burkard sekä kuusi petrimaljaa laskeumanäytteitä varten. Viikon kuluttua ullakolle vietiin näiden keräinten lisäksi myös mini-Burkard seitsemän tunnin ajaksi. Seitsemän tunnin jälkeen mini-Burkard ja jo viikkoa aikaisemmin ullakolle viedyt Burkard sekä kolme kuudesta petrimaljasta analysoitiin valomikroskoopin avulla. Tätä varten Burkardin teippi leikattiin vuorokauden paloihin ja niistä tehtiin preparaattit.



Kuva 13. Turun yliopiston Natura-rakennuksen ullakko. Lattia on täynnä kuitumateriaalia.

Seuraavalla viikolla mini-Burkard ja yksi petrimalja vietiin uudelleen ullakolle kuuden tunnin ajaksi. Samalla kun mini-Burkard ja kuuden tunnin petrimalja haettiin pois ullakolta, analysoitavaksi otettiin myös kolme kaksi viikkoa ullakolla ollutta petrimaljaa (Kuva 14) sekä yksi kuuden tunnin petrimalja. Kahden viikon laskeumamaljat olivat tällöin siis olleet ullakolla niille standardoidun laskeuma-ajan.



Kuva 14. Kahden viikon laskeumamaljat.

Ullakkotiloissa haluttiin vielä vertailla laskeumamenetelmän ja mini-Burkardin keräysehokkuuksia. Molemmat menetelmät jätettiin ullakolle keräämään teollisia mineraalikiuituja tunnin ajaksi. Näytteenkeräyksen jälkeen kuidut laskettiin sekä valomikroskoopin että polarisaatiomikroskoopin avulla.

Viimeisenä testattava keräin oli Andersen-keräin. Andersen-keräimelle tehtiin kahdenlaisia kovia agar-maljoja. Toisille maljoille valettiin agaria 25 ml ja toisille 20 ml. Agarin tilavuuksien ero johtui siitä, että toisille maljoille haluttiin laittaa vielä geeliteipit, joiden paksuus oli noin 5 mm.

Aluksi Andersen-keräimeen laitettiin maljat, jotka sisälsivät 25 ml agaria. Tämän keräyksen tarkoituksena oli nähdä, kerääkö laite kuituja, mille tasoille ja kuinka tasaisesti.

Keräysaika oli 20 minuuttia. Ensimmäisen keräyksen jälkeen tehtiin vielä tunnin ja 30 minuutin keräykset, jotta nähtiin, miten keräysaika vaikuttaa saatuihin tuloksiin.

Seuraavaksi Andersen-keräin täytettiin 20 ml agar-maljoilla, joiden päälle oli laitettu geeliteippi. Edellisten keräysten perusteella keräysajaksi päätettiin 30 min. Näytteiden analysointi oli haastavaa, koska geeliteippi ei täyttänyt koko agar-maljan pinta-alaa. Tämän vuoksi kuidut laskettiin sekä geeliteipiltä että agarilta maljoilta 1 ja 2. Keräys suoritettiin myös uudelleen 15 minuutin keräysajalla, jonka jälkeen maljat analysoitiin samalla tavalla kuin puolentunnin maljat.

Menetelmien vertailun vuoksi ullakolle vietiin vielä 15 minuutiksi mini-Burkard sekä Andersen-keräin. Tällä haluttiin testata, kumpi menetelmästä kerää tässä ajassa enemmän kuituja.

4.3.2 Kauppakorkeakoulun työhuone

Kuitujen eri keräysmenetelmiä haluttiin testata myös sellaisissa olosuhteissa, joissa kuituja oli vähemmän. Tällä haluttiin testata laitteen herkkyttä verrattuna laskeuma-menetelmän herkkyyteen.

Eräässä Turun kauppakorkeakoulun siivessä oli havaittu kuituja Sirate Group:n ottamissa näytteissä. Kuituja uskottiin olevan paljon, sillä muutamat työhuoneet oli poistettu käytöstä kokonaan, koska osa työntekijöistä oli reagoinut ilmaongelmiin sairastumalla hengitystieinfektioihin. Kuitupäästöjen lähteeksi oli todettu alakatossa olevat akustiikkalevyt.

Aluksi erääseen työhuoneeseen vietiin mini-Burkard sekä neljä laskeumamaljaa. Laskeumamaljat aseteltiin ympäri huonetta ja mini-Burkard laitettiin huoneessa olevan kaapin päälle. Hyvää keräysaikaa ei vielä ollut tiedossa, joten keräin päätettiin jättää keräykseen yön yli. Näytteenottoaika oli tällöin 20 tuntia. Seuraavana päivänä näytteet analysoitiin, jolloin havaittiin, että keräysaika oli näissä olosuhteissa mini-Burkardille liian pitkä. Suurin ongelma oli se, että geeliteippi oli kerännyt paljon pölyä, mikä teki kuitujen tunnistamisesta mikroskoopilla lähes mahdotonta. Laskeumamaljat olivat tyhjiä yhtä maljaa lukuun ottamatta.

Keräys suoritettiin uudelleen laittamalla mini-Burkard kohtaan, jossa aikaisemmassa mittauksessa laskeumamaljalle oli kerääntynyt kuituja. Näytteenottoaika oli tällä kertaa

tunti. Analysoinnissa huomattiin, että pölyä kertyi geeliteipille edelleen liikaa. Seuraavaksi päätettiin testata vielä 15 minuutin näytteenottoa. Tästä näytteestä pystyttiin tunnistamaan jo muutama kuitu varmasti, mutta pölyä oli kuitenkin edelleen runsaasti. Mini-Burkardilla suoritettujen keräysten lisäksi kauppakorkeakoulun työhuoneeseen laitettiin vielä kolme laskeumamaljaa kahden viikon ajaksi.

Kauppakorkeakoulussa havaitun ongelman vuoksi haluttiin testata, onko runsaan pölyn kertyminen näytteeseen normaalia. Tämän selvittämiseksi otettiin vuorokauden näyte eräästä Natura-rakennuksen työhuoneesta. Analysoinnissa huomattiin, että pölyä kertyi näytteeseen, mutta ei niin runsaasti kuin toisessa huoneessa. Tämän tuloksen perusteella päätettiin suorittaa vielä uusi mittaus työhuoneen siivouksen jälkeen. Tällä pyrittiin kuitututkimusten lisäksi myös selvittämään sitä, onko pöly normaalia huonepölyä vai tuleeko pöly tilaan jostain muualta.

4.3.3 Loimaan aluesairaalan psykiatrinen osasto

Toisena oikeana tutkimuskohteena oli Loimaan aluesairaalan psykiatrinen osasto. Virallisia kuitunäytteitä osastolta ei ollut aiemmin otettu, mutta erilaisten ärsytysoireiden vuoksi epäiltiin, että sisäilmassa on teollisia mineraalikuituja. Tämän vuoksi siellä oli suoritettu erilaisia toimenpiteitä, kuten ilmastointi- ja ilmanvaihtoputkien puhdistaminen ja niiden sisältämien mineraalivillojen pinnoittaminen. Koko osastolle oli myös suoritettu suursiivous.

Rakennuksen kolmannessa kerroksessa oli oireiltu eniten, joten keräykset suoritettiin siellä. Keräysajat mini-Burkardilla olivat samat kuin Turun kauppakorkeakoulun työhuoneessa suoritettujen keräysten ajat, eli 15 min, 30 min ja 60 min. Tilasta otettiin myös yksi kahden tunnin ja kolme kahden viikon laskeumanäytettä. Näistä oli tarkoitus saada vertailupohjaa mini-Burkardilla keräytyille näytteille. Tavoitteena oli, että mini-Burkard keräisi saman verran kuituja tai enemmän jollakin testatuista keräysajoista kuin kahden viikon laskeumamaljat.

4.3.4 Salon psykiatrinen sairaala

Salon psykiatrinen sairaala toimi myös yhtenä mittauskohteena. Sairaalassa ei ollut aiemmin mitattu ilman kuitupitoisuuksia, mutta osa potilaista sekä henkilökunnasta oli

kuitenkin kokenut joitakin sisäilmaongelmiin viittaavia oireita. Näitä olivat silmien ärsytysoireet sekä hengitystieinfektiot.

Kuitujen keräykset suoritettiin tiloissa, joissa oireilua oli ollut eniten. Ensimmäinen keräys tehtiin sairaalan kolmannessa kerroksessa tilassa, joka ei ollut käytössä. Tilassa keräys tapahtui mini-Burkardilla samoilla keräysajoilla kuin muissakin kohteissa: 15 min, 30 min ja 60 min. Mini-Burkardilla suoritettujen keräysten lisäksi otettiin yksi kahden tunnin laskeumanäyte sekä kolme kahden viikon laskeumanäytettä.

Toinen keräys suoritettiin toisessa kerroksessa olevassa tilassa. Ajanpuutteen vuoksi tilassa tehtiin mini-Burkardilla vain yksi 15 minuutin keräys.

5 TULOKSET

5.1 Natura-rakennuksen ullakko

Ensimmäisten keräysten tarkoituksena Natura-rakennuksen ullakolla oli löytää toimiva menetelmä teollisten mineraalikuitujen keräämiseen. Kaikkia näytteitä tarkasteltiin samalla valo- ja polarisaatiomikroskoopilla. Yleinen käytäntö on, että kuidut voidaan luotettavasti laskea, kun niiden määrä on alle 100 kpl. Jotta tulokset olisivat helpommin esitettävissä, on tässä työssä laskettu kaikki kuidut. Tästä poiketen kuitenkin ensimmäisissä mittauksissa, joissa testattiin vain menetelmän toimivuutta, ei laskettu kuitujen kokonaismäärää.

Ensimmäisissä keräyksissä käytettiin Burkardia sekä petrimaljoja. Keräysaika oli seitsemän vuorokautta, jonka jälkeen keräimet haettiin ullakolta analysoitaviksi. Huomattiin, että burkard oli kerännyt kuituja, mutta näytteiden analysointi vei melko paljon aikaa preparaattien suuren määrän vuoksi. Burkard on laitteena suuri, joten koon vuoksi sen käyttö todettiin liian haasteelliseksi teollisten mineraalikuitujen keräämiseen kenttätöissä.

Mini-burkardia testattiin ullakolla ensin seitsemän tunnin keräysajalla. Mini-Burkardin geeliteippiä analysoitaessa huomattiin, että keräysaika oli keräimelle liian pitkä. Tämä huomattiin siitä, että kuidut olivat levinneet myös muualle kuin alueelle, jonne niiden kuuluisi kerääntyä. Keräysalueen kapasiteetti oli siis täyttynyt keräyksen aikana, eivätkä kuidut voineet enää keräyksen lopussa tarttua halutulle kapealle alueelle. Mini-Burkard oli kuitenkin kerännyt kuituja ja kuitujen määrä ylitti myös toimenpiderajan. Määrällisesti viikon laskeumamaljoilta sekä Burkardin teipistä löytyi teollisia mineraalikuituja mini-Burkardia enemmän. Voitiin kuitenkin todeta, että mini-Burkard soveltuu teollisten mineraalikuitujen keräykseen.

Mini-Burkardin keräystehokkuutta haluttiin verrata myös 14 vrk ja 6 t laskeumamaljoihin. Mini-Burkardin keräysaika oli tällöin kuusi tuntia. Laskeumamaljanäytteitä analysoitaessa huomattiin, että maljojen paikalla oli suuri merkitys kerättyjen kuitujen määrään. Laskeumamaljoja analysoitaessa huomattiin, että maljoilla olevien teollisten mineraalikuitujen määrä ylitti toimenpiderajan. Toimenpiderajan perusteella laskeumamaljan teipiltä saa löytyä vain kaksi kuitua, jotta toimenpideraja ei ylity. Myös mini-Burkard keräsi kuituja kuudessa tunnissa huomattavasti yli toi-

menpiderajan. Laskeumamalja, joka oli ullakolla kuusi tuntia, keräsi kuituja vähemmän kuin saman ajan ullakolla ollut mini-Burkard. Tästä voitiin todeta, että mini-Burkardin keräystehokkuus on parempi kuin laskeumamaljojen.

Mini-Burkardin ja laskeumamenetelmän keräystehokkuuksia haluttiin vielä verrata toisiinsa tunnin keräysajalla. Huomattiin, että mini-Burkard keräsi tunnissa kuituja kaksinkertaisen määrän verrattuna laskeumamaljaan (Taulukko 6).

Taulukko 6. Mini-Burkardin ja laskeumamenetelmän keräystulosten vertailu. Oheisessa taulukossa on esitetty mini-Burkardin ja laskeumamenetelmän teollisten mineraalikuitujen keräysmäärät tunnin keräysajalla.

Keräysmenetelmä	Kuitujen määrä (kpl)
Laskeumamalja	60
Mini-Burkard	140

Teollisten mineraalikuitujen keräämiseen testattiin myös 6-vaiheimpaktoria eli Andersen-keräintä. Andersen-keräintä varten valettiin kahdenlaisia agar-maljoja. Ensimmäiseksi haluttiin testata yleisesti Andersen-keräimen toimivuutta teollisten mineraalikuitujen kerääjänä. Tähän testaukseen käytettiin maljoja, joihin oli valettu 25 ml agaria. Keräysajat olivat 20 min ja 30 min. Maljoja analysoitaessa huomattiin, että kuidut kerääntyivät enimmäkseen maljoille 1 ja 2, mutta myös maljoilta 3 ja 4 löytyi muutama kuitu. Huomattiin myös, että 10 minuutin ero keräysajoissa vaikutti huomattavasti kerättyjen kuitujen määrään (Taulukko 7).

Andersen-keräimellä tehtiin myös 30 minuutin ja 60 minuutin keräykset. Puolentunnin näytteiden analysoinnissa huomattiin, että Andersen-keräimen imu oli liian voimakas tälle keräysajalle. Näin pääteltiin, koska osa kuiduista oli uponnut syvälle agariin, mikä vaikeutti myös näytteiden analysointia. Tunnin näytteestä ei löytynyt kuituja, jonka uskottiin johtuvan joko keräimen huolimattomasta kokoamisesta tai kuitujen uppoamisesta agariin.

Taulukko 7. Kuitujen määrä Andersen-keräimen maljalla 1.

Keräysaika (min)	Kuitujen määrä maljalla 1 (kpl)
20	25
30	80

Toiseen Andersen-keräimen testaukseen käytettiin 20 ml agar-maljoja, joiden päälle oli laitettu geeliteippi (14 cm²). Näytteenottoajat olivat 30 min ja 15 min. Kuitujen laskeminen todettiin haastavaksi, sillä kuidut piti laskea sekä geeliteipiltä että agarilta. Aiempien keräysten perusteella kuidut laskettiin vain maljoilta 1 ja 2. Huomattiin, että kuitujen määrän suhde geeliteipillä ja agarilla pysyi lähes samana molemmissa mittauksissa (Taulukko 8).

Taulukko 8. Andersen-keräimellä kerättyjen kuitujen määrä maljoilla 1 ja 2. Alla olevassa taulukossa on kuvattu Andersen-keräimellä kerättyjen kuitujen määrä maljoilla 1 ja 2 keräysajan ollessa 30 min ja 15 min.

Laskenta-alue	Malja 1 30 min	Malja 2 30 min	Malja 1 15 min	Malja 2 15 min
Geeliteippi	22 kpl	100 kpl	20 kpl	100 kpl
Agar	20 kpl	200 kpl	20 kpl	182 kpl

Mini-Burkardin ja Andersen-keräimen keräystehokkuuksia verrattiin toisiinsa 15 minuutin keräysajalla. Tulokseksi saatiin, että Andersen-keräin keräsi huomattavasti enemmän kuituja kuin mini-Burkard (Taulukko 9).

Taulukko 9. Mini-burkardin ja Andersen-keräimen keräystulosten vertailu. Alla olevaan taulukkoon on kirjattu mini-Burkardin ja Andersen-keräimen keräystulokset, kun keräysaika on ollut 15 min.

Keräysmenetelmä	Kuitujen määrä (kpl)
Mini-Burkard	70 kpl
Andersen-keräin	322 kpl

5.2 Kauppar korkeakoulun työhuone

Kauppar korkeakoulun työhuoneeseen vietiin aluksi laskeumamaljoja sekä mini-Burkard. Keräysaika oli 20 tuntia, mini-Burkardin akun kestoajan mukaan. Näytettä analysoitaessa huomattiin, että se oli kerännyt paljon huonepölyä, mikä teki kuitujen tunnistamisesta ja niiden laskemisesta lähes mahdotonta.

Työhuone päätettiin siivota ja sen jälkeen mittaukset suoritettiin uudelleen, jolloin kuitujen laskeminen geeliteipiltä onnistui. Mini-Burkardilla kerätyistä näytteistä löytyi kuituja,

samoin kuin 20 tunnin ja kahden viikon laskeumamaljanäytteistä. Molempien menetelmien tulokset olivat kuitenkin alle toimenpiderajan tai toimenpiderajalla (Taulukko 10)

Taulukko 10. Kauppakorkeakoulun työhuoneesta otettujen kuitunäytteiden tulokset.

Laskeuma		Laskeuma		Mini-Burkard	
Malja	Kuitua/cm ²	Malja	Kuitua/cm ²	Keräysaika	Kuitua/cm ²
009 (20 t)	0,1	011 (2 vk)	<0,1	15 min	0,2
010 (20 t)	<0,1	012 (2 vk)	<0,1	30 min	0,1
011 (20 t)	0,1	013 (2 vk)	<0,1	1 t	0,1
003 (20 t)	<0,1				

5.3 Loimaan aluesairaalan psykiatrinen osasto

Loimaan aluesairaalan psykiatriselta osastolta otettiin mini-Burkardilla kolme näytettä eri keräysajoilla. Mini-Burkardin näytteiden lisäksi otettiin yksi kahden tunnin laskeumanäyte sekä kolme kahden viikon laskeumanäytettä. Näytteenottotiloissa oli aiemmin todettu kuituja ja sen vuoksi siellä oli jo suoritettu korjaavia toimenpiteitä. Nykyisestä ilmanlaadun tilanteesta ei kuitenkaan vielä ollut tietoa.

Näytteet analysoitiin ja tulokseksi saatiin, että teollisten mineraalikuitujen määrä ei ylitä annettuja toimenpideraja-arvoja (>0,2 kpl/cm²) kuin yhdessä laskeumanäytteessä (Taulukko 11). Tulokset eivät siis ole hälyttäviä, sillä kokonaisarvio annetaan aina monen rinnakkaisnäytteen yhteisenä tuloksena. Korjaavat toimenpiteet olivat siis onnistuneet.

Taulukko 11. Loimaan aluesairaalaista otettujen kuitunäytteiden tulokset.

Laskeuma		Mini-Burkard	
Malja	Kuitua/cm ²	Keräysaika	Kuitua/cm ²
030 (2 vk)	0,2	15 min	-
031 (2 vk)	0,3	30 min	<0,1
032 (2 vk)	0,1	1 t	-
027 (2 t)	<0,1		

5.4 Salon psykiatrinen sairaala

Salon psykiatrisen sairaalan tiloista otettiin näytteitä kahdesta eri tilasta. Tilat valittiin henkilöstön kokemien oireiden perusteella. Mini-Burkardilla kerätyistä näytteistä ei löytynyt kuituja ja laskeumanäytteidenkin kuitupitoisuudet jäivät alle toimenpiderajan.

Taulukko 12. Salon psykiatrisesta sairaalasta otettujen kuitunäytteiden tulokset.

Laskeuma		Mini-Burkard	
Malja	Kuitua/cm ²	Keräysaika	Kuitua/cm ²
037 (2 vk)	0,2	15 min	<0,1
038 (2 vk)	0,2	30 min	<0,1
039 (2 vk)	0,2	1 t	<0,1
033 (2 t)	<0,1		

6 TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT

Eri laitteita testattiin eri keräysajoilla ja menetelmien hyvät ja huonot puolet kirjattiin. Tulosten perusteella tehtiin johtopäätöksiä siitä, millainen voisi olla paras mahdollinen keräyslaite teollisten mineraalikulitujen keräämiseen. Työssä testattiin myös eri mikroskooppeja näytteiden analysointiin.

6.1 Mini-Burkard

Mini-Burkardia testattiin sekä ääriolosuhteissa että niin sanotuissa normaaleissa olosuhteissa. Ääriolosuhteissa haluttiin testata, soveltuuko mini-Burkard yleisesti teollisten mineraalikulitujen keräämiseen. Tulosten perusteella nähdään, että mini-Burkard soveltuu kuitujen keräämiseen ainakin silloin, kun kuituja on paljon.

Toisen testauksen tarkoituksena oli selvittää, onko mini-Burkard parempi menetelmä teollisten mineraalikulitujen keräämiseen kuin nykyisin käytettävänä oleva laskeumamenetelmä. Myös nämä testaukset suoritettiin ääriolosuhteissa Natura-rakennuksen ullakolla. Tulosten perusteella nähtiin, että mini-Burkard keräsi jopa kaksinkertaisen määrän kuituja verrattuna laskeumamenetelmään. Tästä voidaan päätellä, että mini-Burkard on laskeumamenetelmää tehokkaampi menetelmä teollisten mineraalikulitujen keräämiseen.

Mini-burkardin herkkyyttä testattiin niin sanotuissa normaaleissa olosuhteissa. Keräykset suoritettiin Turun kauppakorkeakoulun työhuoneessa, Loimaan aluesairaalassa ja Salon psykiatrisella osastolla. Loimaalta ja Salosta saatujen tulosten perusteella voidaan päätellä, että joko mini-Burkard ei ole yhtä herkkä kuin laskeumamenetelmä tai kuituja on ollut huoneilmassa vain tiettyä ajanjaksona. Näistä tuloksista poiketen Turun kauppakorkeakoulusta saatujen näytteiden perusteella mini-Burkard voidaan todeta tehokkaammaksi menetelmäksi kuin laskeumamenetelmä.

Mini-Burkard keräsi hyvin teollisia mineraalikulitua. Keräystapa ei myöskään vaikuttanut kerättyjen kuitujen kokoon, mikä varmistettiin vertaamalla mini-Burkardilla kerättyjä kuituja laskeumamaljalla kerättyihin kuituihin. Mini-Burkardin ongelmana on kuitenkin optimaalisen keräysajan määrittäminen, koska laite kerää helposti myös huonepölyä, mikä hankaloittaa näytteen analysointia. Näytteessä olevan pölyn määrä riippuu täysin

kohteesta, josta näyte kerätään. Mini-Burkardia on myös vaikea puhdistaa, sillä laitteen kotelo ei saa auki. Laitteen hyvät ja huonot puolet on kirjattu taulukkoon 13.

Taulukko 13. Mini-Burkardin edut ja haitat.

Mini-Burkard	
+	-
Keräysnopeus	Optimaalisen keräysajan määrittäminen vaikeaa
Pieni keräysala	Laitteen puhdistaminen
Nopea analysointi	Huonepölyn kertyminen näytteeseen

6.2 Andersen-keräin

Andersen-keräintä testattiin teollisten mineraalikulujen kerääjänä ja sen keräystehokkuutta haluttiin verrata mini-Burkardiin. Tulosten perusteella huomattiin, että Andersen-keräin keräsi huomattavasti enemmän kuituja kuin mini-Burkard. Andersen-keräimen kovemmassa imutehokkuudesta oli kuitenkin myös haittaa, sillä osa kuiduista upposi syväälle agarille, mikä teki analysoinnista haastavaa. Syynä tähän saattoi myös olla liian pehmeä agar. Tämä ongelma olisi kuitenkin helppo ratkaista peittämällä koko agar geelileipillä.

Andersen-keräimen keräystehokkuutta haluttiin verrata mini-Burkardiin 15 minuutin keräysajalla. Tulokseksi saatiin, että 15 minuutin keräysajalla Andersen-keräin keräsi mini-Burkardiin nähden lähes viisinkertaisen määrän teollisia mineraalikuluita. Andersen-keräin on imutehonsa ansiosta myös siis hyvin nopea ja tehokas menetelmä.

Uudesta teollisten mineraalikulujen kerääjästä haluttiin saada mahdollisimman helppokäyttöinen. Andersen-keräintä ei ole niin yksinkertaista käyttää kuin esimerkiksi mini-Burkardia. Tämän vuoksi se ei sovellu suoranaisesti kuitujen keräämiseen. Jos kuitenkin Andersen-keräintä haluttaisiin tulevaisuudessa käyttää kuitujen keräämiseen, tulisi 6-vaihe-impaktori vaihtaa 2-vaihe-impaktoriin. Tämä nopeuttaisi analysointia huomattavasti, koska laskenta suoritettaisiin heti teollisia mineraalikuluita sisältäviltä maljoilta. Liian pienet ja suuret suodattimet olisi siis karsittu pois. Laitteen hyvät ja huonot puolet on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Andersen-keräimen edut ja haitat.

Andersen-keräin	
+	-
Keräysnopeus	Laitteen käyttö haastavaa
	Näytteiden analysointi hankalaa
	Imuteho

6.3 Burkard

Burkardilla voi seurata kuitupitoisuuden muutosta ajan funktiona, eli Burkardin teippiä analysoitaessa on mahdollista nähdä mihin aikaan kuituja on ollut huoneilmassa. Lähekkönnä tämän ominaisuutensa vuoksi Burkardia haluttiin testata teollisten mineraalikulitujen keräämiseen.

Burkardin imuteho on sama kuin mini-Burkardin, joten Burkardin keräysteho oli samaa luokkaa mini-Burkardin kanssa. Burkard on kuitenkin laitteena suuri, mikä hankaloittaa sen kenttäkäyttöä. Sen ominaisuuksiin kuuluva aikaseuranta on sekä hyöty että haitta. Ongelmaksi siinä muodostuu keräysteipin aikaa vievä preparointi. Laitteen hyvät ja huonot puolet on kirjattu taulukkoon 15.

Taulukko 15. Burkardin edut ja haitat.

Burkard	
+	-
kuitupitoisuuden muutos ajan funktiona	Iso laite
Keräystehokkuus	Näytteen preparointi ennen analysointia

6.4 Laskeumamalja

Teollisten mineraalikuitujen keräämiseen standardisoitua laskeumamenetelmää käytettiin vertailuna uusille menetelmille. Laskeumamenetelmä keräsi uusiin menetelmiin verrattuna huomattavasti nopeammin kuituja ja sen heikkoutena on myös pitkä keräysaika. Laskeumamenetelmä todettiin kuitenkin herkemmäksi menetelmäksi kuin mini-Burkard. Laskeumamenetelmän etuna on myös se, että tulos saadaan pidemmältä aikaväliltä. Menetelmällä ei kuitenkaan näe kuitupitoisuuden muutosta ajan funktiona, minkä vuoksi kuitupäästöjen syytä on mahdoton selvittää. Taulukossa 16 on esitetty laskeumamenetelmän hyvät ja huonot puolet.

Taulukko 16. Laskeumamenetelmän edut ja haitat.

Laskeumamalja	
+	-
Herkkyys	Hidas
Tulos pidemmältä aikaväliltä	

6.5 Johtopäätökset ja pohdinta

Uudesta teollisten mineraalikuitujen kerääjästä haluttiin kehittää nykyisiä menetelmiä parempi. Uuden menetelmän tuli olla nopeampi kuin nykyinen, helppokäyttöinen sekä mahdollisimman herkkä. Herkkyys on ehdottoman tärkeää, koska huoneilman kuitupitoisuuden toimenpideraja on alhainen. Kaikista testatuista menetelmistä löytyi joitakin hyviä puolia. Näitä eri menetelmien ominaisuuksia olisi hyvä yhdistellä, jolloin kehitettäisiin paras mahdollinen menetelmä teollisten mineraalikuitujen keräämiseen.

Mini-Burkard sopi testatuista menetelmistä parhaiten kuitujen keräämiseen. Menetelmän suurimpana etuna on imuun perustuva keräys, jonka ansiosta keräysaika pienenee ja saadaan aikaisempaa mittaussyksikköä (kuitua/cm²) todellisempi mittaussyksikkö kuitua/dm³. Imun vuoksi kuituja saadaan myös kerättyä laajemmalla alueella kuin laskeumamenetelmällä. Mini-Burkardilla näyte kerääntyy pienelle alueelle, jonka vuoksi myös analysointiaika mahdollisesti lyhenisi. Koko teipin analysoinnin sijaista voitaisiin siis analysoida vain pieni alue koko teipin pinta-alasta.

Jos mini-Burkard haluttaisiin ottaa käyttöön teollisten mineraalikulitujen keräämiseen, sen ominaisuuksia tulisi kuitenkin muokata. Mini-Burkardia ei saa avattua, minkä vuoksi sen puhdistaminen on hankalaa. Ongelmana on myös oikean standardoidun keräysajan määrittäminen, sillä imun vuoksi laite kerää paljon myös huonepölyä. Huonepölyn kertyminen halutaan minimoida, koska se hankaloittaa huomattavasti näytteen analysointia. Toisaalta mini-Burkardin huonepölyn keräämistä voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää huonepölyn määrän tutkimiseen. Teollisten mineraalikulitujen päästölähteet voivat olla hyvin paikoittaisia ja huoneilmaan pääsevät kuitupitoisuudet voivat johtua vain satunnaisista toimista. Tämän vuoksi olisi toivottavaa, että uuden keräysmenetelmän avulla voitaisiin myös määrittää kuitupäästöjen ajanjaksot.

Mini-Burkard todettiin nopeammaksi menetelmäksi kuin nykyinen laskeumamenetelmä. Laite keräsi testatuilla keräysajoilla kuitenkin laskeumamenetelmää vähemmän kuituja, mikä voi johtua esimerkiksi liian lyhyestä keräysajasta tai hetkittäisistä kuitupäästöistä. Jotta menetelmän herkkyys saataisiin varmasti selville, testauksia tulisi tehdä vielä paljon lisää ennen keräimen käyttöönottoa. Mini-Burkardin soveltamista teollisten mineraalikulitujen keräämiseen ei ole ennen testattu, minkä vuoksi menetelmän luotettavuutta tulisi vielä varmistaa useissa erilaisissa tiloissa.

Työssä haluttiin määrittää myös teollisten mineraalikulitujen analysointiin paras mahdollinen mikroskooppi. Työn aikana testattiin polarisaatio-, valo ja stereomikroskooppia. Todettiin, että näillä kaikilla mikroskoopeilla teollisten mineraalikulitujen tunnistaminen onnistui. Analysoinnin nopeuttamiseksi mikroskoopin tulee olla tarpeeksi tarkka sekä sen tulee sisältää mitta-asteikko, jotta oikean kokoisten kuitujen laskeminen onnistuu.

7 LÄHDELUETTELO

- Andrea Quintero Maya, 2013. *Metallic Fiber*. [Online]
Available at: <https://prezi.com/9nco-piuwgre/metallic-fiber/>
[Haettu 24 Lokakuu 2016].
- Aerobiología en Córdoba, 2016. *Methods of Capture*. [Online]
Saatavilla: http://www.uco.es/aerobiologia/metodologia/captacion_e.html
[Haettu 14 Lokakuu 2016].
- Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., Komppa, V. & Saarela, O., 2007. *Komposiittirakenteet*.
Edition toim. Helsinki: Muoviyhdistys.
- ATSDR, 2004. *PUBLIC HEALTH STATEMENT Synthetic Vitreous Fibers*. [Online]
Saatavilla: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp161-c1-b.pdf>
[Haettu 3 Lokakuu 2016].
- Awa Paper Mfg. Co., Ltd, 2017. *Synthetic Fibers*. [Online]
Saatavilla: http://www.awapaper.co.jp/e/products/detail/s_m01d.html
[Haettu 12 Tammiuku 2017].
- Beg, M. A. L., 2015. *Metal fibers & yarns*. [Online]
Saatavilla: <http://www.slideshare.net/88azmir/metal-fiber-yarns>
[Haettu 24 Lokakuu 2016].
- Boncamper, I., 1994. *Tekstiilioppi: kuituraaka-aineet*. 3. korj. p. toim. Hämeenlinna: Wetterhoffin
käsi- ja taideteollisuusoppilaitos.
- Bryk, N. E. V., 2016. *Steel wool*. [Online]
Saatavilla: <http://www.madehow.com/Volume-6/Steel-Wool.html>
[Haettu 24 Lokakuu 2016].
- Burkard Manufacturing Co Ltd, 2001. *Personal volumetric air sampler*. [Online]
Saatavilla: <http://www.burkard.co.uk/perssamp.htm>
[Haettu 14 Lokakuu 2016].
- Compositesworld, 2016. *The making of glass fiber*. [Online]
Saatavilla: <http://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>
[Haettu 6 Lokakuu 2016].
- Eurima, 2011. *Production Process*. [Online]
Saatavilla: <http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html>
[Haettu 4 Lokakuu 2016].
- Graseby andersen LTD, 2016. *6-portainen mikrobiologinen keräin*. Vantaa: Ivo international Oy.
- Hengitysliitto, 2016. *Mienraalivillakuidut*. [Online]
Saatavilla: <http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhtaudet/mineraalivillakuidut>
[Haettu 6 Lokakuu 2016].
- Holm, S., 2000. *Eläinkuidut*. [Online]
Saatavilla: http://matwww.ee.tut.fi/~huhtis/energia/bl_tieto_elainkuidut.html
[Haettu 3 Lokakuu 2016].

Intertek, 2017. *Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)*. [Online]
Saatavilla: <http://www.intertek.com/analysis/microscopy/edx/>
[Haettu 27 Maaliskuu 2017].

Jacomp Oy, 2016. *Luonnonkuidut*. [Online]
Saatavilla: <http://www.materialshop.fi/Laminointi/Luonnonkuidut>
[Haettu 3 Lokakuu 2016].

Jokinen, R., 2016. *Sisäilman hiukkaset – hiukkasmäärä*. [Online]
Saatavilla: <http://www.linkkitori.net/hiukkase.htm>
[Haettu 24 Lokakuu 2016].

Kollanen, T., 2016. *Sisäilman kuitukorjaukset*. [Online]
Saatavilla: <https://www.vahanen.com/app/uploads/2016/10/Tumo-Kollanen-23.8.2016-Sisailman-kuitukorjaukset.pdf>
[Haettu 12 Tammikuu 2107].

Kovanen, K., Heimonen, I., Laamanen, J., Riala, R., Harju, R., Tuovila, H., Kämppe, R., Sääntti, J., Tuomi, T., Salo, S., Voutilainen, R. & Tossavainen, A., 2006. *Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt*. [Online]
Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2360.pdf>
[Haettu 6 Lokakuu 2016].

Lehtonen, R., 2016. *Eläinkuidut*. [Online]
Saatavilla:
http://teeitse.punomo.fi/document_viewer.php?filename=home%2Friitta.lehtonen%2Fvillaprojekti%2Felaink.html
[Haettu 3 Lokakuu 2016].

Madehow, 2016. *Fiberglass*. [Online]
Saatavilla: <http://www.madehow.com/Volume-2/Fiberglass.html>
[Haettu 6 Lokakuu 2016].

Modelia, 2016a. *Luonnonkuidut*. [Online]
Saatavilla: <http://www.modelia.fi/hoito-ohjeet/2luonkui.htm>
[Haettu 11 Lokakuu 2016].

Modelia, 2016b. *Tekokuidut*. [Online]
Saatavilla: <http://www.modelia.fi/hoito-ohjeet/3tekokui.htm>
[Haettu 11 Lokakuu 2016].

Modelia, 2016c. *Tekstiilikuitujen jaottelu*. [Online]
Saatavilla: <http://www.modelia.fi/hoito-ohjeet/1kuitujaot.htm>
[Haettu 3 Lokakuu 2016].

National Toxicology Program, 2016. *Ceramic Fibers (Respirable Size)*. [Online]
Saatavilla: <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/ceramicfibers.pdf>
[Haettu 6 Lokakuu 2016].

Nikunen, S., Suomela, J. & Temmes, O., 2014. *Kuitujen kuvat*. [Online]
Saatavilla: <http://kuidut.omasivu.fi/kuitujen-tunnistaminen/kuitukuvat/tekokuidut/>
[Haettu 30 Tammikuu 2017].

Opetushallitus, 2010. *Kuidut*. [Online]
Saatavilla: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/pukeutumisentie/materiaali/kuidut.swf>
[Haettu 3 Lokakuu 2016].

- Pajunen, T., 2016. [Online]
Saataavilla: <http://www.hengitysliitto.fi/fi/hengityssairaudet/asbestisairaudet>
[Haettu 10 Lokakuu 2016].
- Paroc, 2016. *Knowhow*. [Online]
Saataavilla: <http://www.paroc.fi/knowhow>
[Haettu 4 Lokakuu 2016].
- Pietiko Oy, 2014. *Hiukkaskeräin HK-10*. [Online]
Saataavilla:
http://www.pietiko.fi/hiilidioksidimittarit/esitteet/esite_hiukkaskerain_hk10_pietiko_web.pdf
[Haettu 13 Lokakuu 2016].
- Pihkala, J., 2016. *Tekokuitujen valmistus*. [Online]
Saataavilla: <http://prosessiteknikka.kpedu.fi/doc-html/tekokuid.html>
[Haettu 3 Lokakuu 2016].
- Ranne, A., Hänninen, M. & Salmi, J., 1999. *Kuitueristeet korkealämpötiloissa*. [Online]
Saataavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1975.pdf>
[Haettu 6 Lokakuu 2016].
- Sciences, N. A. o., 2000. *Manufacturing processes, chemical composition, and classification*. [Online]
Saataavilla: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK208404/>
[Haettu 4 Lokakuu 2016].
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, 2003. *Asumisterveysohje*. [Online]
Saataavilla: http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf
[Haettu 29 Marraskuu 2016].
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, 2015. *Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asetus*. [Online]
Saataavilla: <http://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>
[Haettu 18 Tammikuu 2017].
- Tolvanen, M., 1992. *Äänenvaimennusmateriaaleista irtoavien kuitumaisten epäpuhtauksien määrittäminen*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio.
- Tuomainen, M., 2003. *Ilmanvaihtojärjestelmän mineraalivillakuitujen terveysvaikutukset*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- Työterveyslaitos, 2009. *Teolliset mineraalikulut*. [Online]
Saataavilla: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/Teolliset-mineraalikulut.pdf>
[Haettu 16 Tammikuu 2017].
- Työterveyslaitos, 2010. *Eristevillat*. [Online]
Saataavilla:
http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/eristeaineet/eristevillat/Sivut/default.aspx
[Haettu 4 Lokakuu 2016].
- Työterveyslaitos, 2015. *Näytteen ottaminen pyyhintämenetelmällä*. [Online]
Saataavilla: http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Polynaytteen_ottaminen_pyyhintämenetelmällä.pdf
[Haettu 7 Lokakuu 2016].
- Työterveyslaitos, 2016a. *Kuitunäytteen ottaminen teippimenetelmällä*. [Online]
Saataavilla: http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Teollisten_mineraalikulujen_laskeminen_pinoilta_naytteenotto-ohje.pdf
[Haettu 7 Lokakuu 2016].

Työterveyslaitos, 2016b. *Työpaikan ilman asbestipitoisuuden mittaaminen*. [Online]
Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Asbesti-ilmanaytteen_ottaminen_puhdastilamittaus.pdf
[Haettu 7 Lokakuu 2016].

Työterveyslaitos, 2016c. *Asbestimateriaalinäytteen ottaminen, pakkaaminen ja lähetäminen*. [Online]
Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/palvelut/turvallisempi-tyoymparisto/poly-hiukkas-ja-kuituanalyysit/Documents/Asbestinaytteen_ottaminen_rakennusmateriaalista.pdf
[Haettu 7 Lokakuu 2016].

USGS, 2015. *Images of Fibrous and Asbestiform Minerals*. [Online]
Saatavilla: <https://usgsprobe.cr.usgs.gov/picts2.html>
[Haettu 30 Tammikuu 2017].

Valvira, 2016a. *Asumisterveysasetuksen soveltamisohje Osa III*. [Online]
Saatavilla:
<https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje+osa+III.pdf/997eeca1-53f7-4d4e-bb7a-df6ef7ee0e9c>
[Haettu 18 Tammikuu 2017].

Valvira, 2016b. *Sisäilman hiukkaset ja kuidut*. [Online]
Saatavilla:
http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/hiukkaset_ja_kuidut
[Haettu 6 Lokakuu 2016].

Vanhatalo, M., 2006a. *Puuvillan kasvatus ja korjuu*. [Online]
Saatavilla:
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030507/1086702266491/1146637794621/1146638150975/1146638627795.html>
[Haettu 11 Lokakuu 2016].

Vanhatalo, M., 2006b. *Yleistä*. [Online]
Saatavilla:
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030507/1086702266491/1146637870052/1150092631844/1150093285940.html>
[Haettu 4 Lokakuu 2016].

Vanhatalo, M., 2009. *Yleistä*. [Online]
Saatavilla:
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030507/1086702266491/1146637829041/1146653628455/1146653838190.html>
[Haettu 3 Lokakuu 2016].

VTT Expert Services Oy, 2015. *Teolliset mineraalivillakuidut*. [Online]
Saatavilla: <http://www.vttexpertservices.fi/palvelut/testaus-ja-tarkastus/rakentamisen-tuoteet-ja-materiaalit/rakennusmateriaalien-testaus/sisatilojen-haitalliset-hiukkaset/teolliset-mineraalivillakuidut>
[Haettu 4 Lokakuu 2016].

Agar-maljojen valmistusohje

Kokonaistilavuus: 2 L

Agar	50 g
MilliQ-vesi	2 L
Natamysiini	200 mg
Etanoli	50 ml
Kloramfenikoli	1 ml

Maljat valmistettiin maljavalukoneella. Koneeseen lisättiin ensin vesi, agar ja kloramfenikoli. Kloramfenikolin tarkoituksena oli estää bakteerien kasvu maljoilla. Lisäyksen jälkeen haluttu ohjelma kytkettiin päälle ja sen saavuttaessa loppuvaiheen, seoksen joukkoon lisättiin vielä natamysiini estämään sienten kasvua. Ennen natamysiinin lisäystä se oli liuotettu etanoliin ja seosta oli inkuboitu 30 minuuttia. Natamysiini ei kestä korkeita lämpötiloja, jonka vuoksi se lisättiin seokseen vasta lämpötilan ollessa alhaisempi. Lisäyksen yhteydessä tuli muistaa, että natamysiini houkuttelee samalla myös bakteereja, jonka vuoksi on erityisen tärkeää työskennellä aseptisesti. Lopuksi maljoille valettiin agaria 25 ml ja toisella valukerralla 20 ml.