



SISÄ- JA ULKOILMAN HIUKKASISTA JA NIIDEN MITTAAMISESTA

Juha Nygård

Opinnäytetyö
Joulukuu 2013
Laboratorioalan
koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Laboratorioalan koulutusohjelma

NYGÅRD, JUHA:

Sisä- ja ulkoilman hiukkasista ja niiden mittaamisesta

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 13 sivua
Joulukuu 2013

Opinnäytetyön taustalla oli TAMK:n tarve saada käyttöönsä hiukkasiin liittyvää opetuksessa hyödynnettävää opetusmateriaalia. Tämä opetusmateriaalitavoite toteutui siten, että opinnäytetyön tuloksena syntyi erilaisia sisä- ja ulkoilmassa tyypillisesti esiintyviä hiukkasista sekä niiden mittaamista esittelevää materiaalia. Opinnäytetyön tuloksena syntyivät myös käyttöohjeet TAMK:n käytössä oleville kahdelle hiukkasten mittaamiseen liittyvälle laitteelle. Opinnäytetyön toinen tavoite oli sen tekijän ammatillisen osaamisen kehittäminen. Tämä tavoite toteutui siten, että opinnäytetyön tekijä pääsi tutustumaan laajasti erilaisiin hiukkasiin, niiden mittaamiseen sekä hiukkasmittaukseen käytännössä. Tämän seurauksena ammatillinen osaaminen tällä alueella kasvoi.

Opinnäytetyön tarkoitus oli kuvata hiukkasten alkuperää, fysikaalisia ominaisuuksia sekä terveysvaikutuksia ja hiukkasten mittaamista teoriassa ja käytännössä. Mittausmenetelmistä kuvattiin muiden ohessa myös niitä menetelmiä, joihin TAMK:n optinen hiukkasmittari sekä yksivaiheimpaktori perustuvat. Mittausmenetelmien kuvaamisen lisäksi opinnäytetyön liitteinä olevissa käyttöohjeissa kuvataan mittaamista TAMK:n laitteilla käytännössä. Käyttöohjeista on pyritty tekemään käytännölliset ja laitteiden käyttöä on havainnollistettu lukuisin kuvin.

Opinnäytetyön liitteenä olevia kahta käyttöohjetta pystytään hyödyntämään siten, että laitteet saadaan mahdollisimman tehokkaasti käyttöön sekä niiden käyttöikä on mahdollisimman pitkä. TAMK hyötyi opinnäytetyöstä saamalla käyttöönsä hiukkasiin liittyvää ajantasaista opetusmateriaalia sekä käyttöohjeet kahdelle hiukkaslaitteelle. Opinnäytetyön lähteitä pystytään myös hyödyntämään, jos halutaan perehtyä opinnäytetyön esittelemiin aiheisiin opinnäytetyön esitystä suuremmassa laajuudessa.

Asiasanat: hiukkaset, pienhiukkaset, home, sisäilma, mikrobit, oksidatiivinen stressi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Laboratory Science

NYGÅRD, JUHA:

Of Indoor and Outdoor Air Particles and their Measurement

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 13 pages
December 2013

The need of TAMK to acquire teaching material related to particles provides the background for the bachelor's thesis. Writing such material became the purpose of the bachelor's thesis and it was met by the contents which describe the typically present particles and their measurement in indoor and outdoor air. As a result of the bachelor's thesis two manuals for the particle measurement devices at TAMK were produced. The secondary purpose of the bachelor's thesis was to increase the professional knowledge of its writer. This purpose was achieved by the writer by exploring a wide variety of particles and their measurement both in praxis and in theory.

The aim of the bachelor's thesis was to describe the origin, physical properties and health effects of particles and also the measurement of them both in theory and in praxis. The methods were described on which both the optical particle counter and the impactor at TAMK are based on. Not only is the measurement of particles described in theory but also in a practical way in the appendices by describing the measurement of particles by using the particle measurement devices at TAMK. The instruction manual was written with practicality in mind and the use of the particle measurement devices was clarified by a large amount of pictures. The two devices were 1) Lighthouse Handheld 5016 particle counter and 2) M Air T™ Millipore Air Tester particle impactor.

The instruction manuals in the appendices enable the use of particle measurement devices at TAMK in an effective way and also their durability will be increased. TAMK benefitted from the bachelor's thesis by acquiring particle related current teaching material and the instruction manuals for the two particle measurement devices. The sources of the bachelor's thesis can be useful if the subjects of the bachelor's thesis are of larger interest that can be satisfied by their presentation in the bachelor's thesis.

Key words: particles, fine particles, mold, indoor air, microbes, oxidative stress

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SISÄ- JA ULKOILMAN HIUKKASET	7
2.1	Biologisista lähteistä peräisin olevat hiukkaset	8
2.1.1	Mikrobit	8
2.1.2	Eläinhilse.....	9
2.1.3	Ihmisperäiset hiukkaset.....	9
2.2	Muista kuin biologisista lähteistä peräisin olevat hiukkaset.....	11
2.2.1	Rakennusperäiset hiukkaset	11
2.2.2	Asbesti.....	12
2.2.3	Tekstiilipöly	14
2.2.4	Lasertulostimesta peräisin olevat hiukkaset.....	14
2.2.5	Radioaktiiviset hiukkaset	15
2.3	Palamisesta syntyvät hiukkaset.....	16
2.3.1	Tupakansavu	16
2.3.2	Dieselmoottorien tuottamat hiukkaspäästöt	17
2.3.3	Puun pienpoltossa syntyvät hiukkaset.....	18
2.3.4	Öljylämmityksessä syntyvät hiukkaset	21
2.3.5	Hiilivoimaloiden hiukkaspäästöt.....	22
2.3.6	Jätteiden polttamisessa syntyvät hiukkaset	22
2.4	Sisä- ja ulkoilman hiukkasten terveysvaikutukset	23
2.4.1	Mikrobit	23
2.4.1.1	Toksiinit.....	23
2.4.1.2	Mikrobeille allergisoituminen	26
2.4.2	Asbesti.....	26
2.4.3	Tekstiilipöly	27
2.4.4	Palamisessa ja polttoprosesseissa syntyvät hiukkaset.....	28
2.4.5	Radioaktiiviset hiukkaset	28
2.4.6	Hiukkasaltistuksesta aiheutuvan oksidatiivisen stressin terveysvaikutukset	29
3	SISÄ- JA ULKOILMAN HIUKKASTEN MITTAAMINEN.....	31
3.1	Mittausmenetelmät ja niillä mitattavat ominaisuudet.....	31
3.1.1	Inertiaan perustuvat menetelmät	31
3.1.2	Optiset menetelmät.....	32
3.1.2.1	Lasersäteen siroaminen hiukkasista.....	33
3.1.2.2	Opasiteetin mittaaminen	35

3.1.3	Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät	35
3.1.4	Kemiallisten ominaisuuksien mittaaminen	36
3.1.5	Mikrobiologisten ominaisuuksien mittaaminen	37
3.1.6	Radioaktiivisten hiukkasten mittaaminen	39
4	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	45
	Liite 1. Käyttöohje Lighthouse Handheld 5016 -hiukkasmittarille.....	45
	Liite 2. Käyttöohje M Air T™ Millipore Air Tester –impaktorille	52

1 JOHDANTO

Ihminen altistuu päivittäin erilaisista lähteistä peräisin oleville hiukkasille. Näiden hiukkasten kemialliset sekä fysikaaliset ja mahdollisesti mikrobiologiset ominaisuudet määräävät hiukkasten terveysvaikutukset. Hiukkaset voivat syntyä joko biologisen toiminnan seurauksena, kun kyseessä ovat bakteerit ja homeet tai ne voivat irrota epäorgaanisesta materiaalista, kuten asbestista, kuituina. Myös useimpien kiinteiden ja nestemäisten aineiden epätäydellinen palaminen tuottaa huomattavia määriä hiukkasia.

Opinnäytetyön taustalla on ollut tarve saada TAMK:n käyttöön opetusmateriaalia sisä- ja ulkoilman hiukkasista, niiden terveysvaikutuksista sekä hiukkasten mittaamisesta. Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta, joista kirjallisessa osassa esitellään yleisimpien sisä- ja ulkoilmassa tavattujen hiukkasten alkuperää, ominaisuuksia sekä terveysvaikutuksia. Kokeellisessa osassa on tutustuttu TAMK:n kahteen hiukkasten mittaamiseen liittyvään laitteeseen, jotka ovat Lighthouse Handheld 5016 – hiukkasmittari ja M Air T™ Millipore Air Tester yksivaiheimpaktori.

Sisä- ja ulkoilman hiukkasia käsitellään siten, että niistä on valittu esiteltäviksi tärkeimmät hiukkaset, niiden lähteet ja terveysvaikutukset. Opinnäytetyön kirjoittamista ohjaavana ajatuksena on ollut tuottaa TAMK:n käyttöön sellaista materiaalia, jota voidaan hyödyntää opetuksessa. Loppuosassa keskitytään hiukkasten mittaamiseen ja erilaisiin menetelmiin, joilla niitä voidaan mitata. Alkuosassa taas keskitytään yleisimpiin hiukkasiin, niiden lähteisiin ja terveysvaikutuksiin. Käyttöohjeet ovat liitteinä.

Työssä käytettiin lähteinä Sisäilmastoseminaarin julkaisuja, hiukkasiin liittyviä Internet –lähteitä, aihetta käsitteleviä kirjoja sekä tieteellisiä tutkimuksia, jotka liittyivät esiteltyihin hiukkasiin. Käyttöohjeet laadittiin siten, että mikrobiologiseen ja elektroniseen hiukkasmittariin tutustuttiin paikan päällä, jotta laitteiden käyttölogiikka selviäisi.

2 SISÄ- JA ULKOILMAN HIUKKASET

Hiukkaset ovat ilmassa leijuvia kiinteitä tai nestemäisiä kappaleita, joiden koko on sellainen, että leijuminen on mahdollista. Sellaisia hiukkasia, jotka ovat halkaisijaltaan alle 2.5 µm kutsutaan pienhiukkasiksi. (Hiukkastieto 2013a.)

Koska ainoastaan halkaisija määrää sen, että onko jokin kappale hiukkanen vai ei, on hiukkasten mahdollinen koostumus hyvin laaja. Sisäilmassa tyypillisiä hiukkasia ovat mikrobiologiset hiukkaset, joiden ilmeneminen on vahva viite kosteusvauriosta rakennuksessa. Sisäilmassa tavataan myös rakennusmateriaaleista peräisin olevia hiukkasia, joista haitallisimpia ovat asbestikuidut. Asbestin käyttö on kuitenkin jo lopetettu Suomessa ja monissa maissa (International Ban Asbestos Secretariat 2013).

Ulkoilmassa tavatuista hiukkasista tyypillisiä ovat erilaiset polttoprosesseissa syntyvät hiukkaset. Tällaisia polttoprosesseja on käytössä mm. erityyppisissä polttomoottoreissa, tulisijoissa, hiilivoimaloissa ja jätteenpolttolaitoksissa.

2.1 Biologisista lähteistä peräisin olevat hiukkaset

Monet biologiset organismit ovat kooltaan sellaisia, että ne ovat jo itsessään hiukkasia. Bakteerit ja homeet ovat tyypillisesti kooltaan 0,2 – 20 µm, joten niitä on sekä pienhiukkasten (halkaisija alle 2,5 µm) että suurempien hiukkasten kategoriassa (Camfil Clean Air Solutions n.d). Pienen kokonsa takia nämä organismit leviävät tehokkaasti ilman mukana (Asumisterveysopas 2009, 148).

2.1.1 Mikrobit

Sisäilman sisältämät mikrobit ovat biologisia organismeja, jotka pienestä koostaan johtuen pystyvät leijumaan ilmassa ja liikkumaan ilman mukana (Asumisterveysopas 2009, 148). Sisäilman sisältämien mikrobien kaksi pääluokkaa ovat bakteerit ja homeet. Sisäilmasta tavallisimmin tavattavia sienisukuja sekä hiivoja ovat *Cladosporium*, *Penicillium* ja *Aspergillus* -suvut (Asumisterveysopas 2009, 172). Homeitiöitä tavataan myös ulkoilmassa ja niiden pitoisuuden vaihtelulla ulkoilmassa on vaikutus myös sisäilmassa tavattavien homeitiöiden pitoisuuteen. Ulkoilman homeitiöiden pitoisuus laskee huomattavasti talvella. (Asumisterveysopas 2009, 157.)

Sisäilmassa tavattavien homeitiöiden pitoisuuteen vaikuttaa eniten se, että onko jossain rakennuksen osassa homeiden kasvulle otolliset olosuhteet (Asumisterveysopas 2009, 146). Tällaisia tyypillisiä homeiden kasvupaikkoja ovat erilaiset kosteat tilat, kuten ikkunanpielet, kellari ja sauna sekä suihkutilat. Home voi myös kasvaa kosteusvaurion seurauksena sellaisissa paikoissa, jotka eivät ole normaalisti kosteita.

Homeet vaativat kasvaakseen lämpöä, kosteutta ja ravintoa. Mikrobien kasvu on nopeinta lämpötila-alueella 20-30 °C ja ne kasvavat yleisesti lämpötila-alueella 5-40 °C . Mikrobit pystyvät kasvamaan jopa betonin tai teräksen pinnalle laskeutunutta pölyä ravinnokseen hyödyntäen. Koska sekä lämpötila- että ravinto-olosuhteet ovat homeelle rakennuksissa otolliset, tärkein niiden kasvua säätelevä tekijä on rakenteiden ja pintojen kosteus. (Asumisterveysopas 2009, 146.)

Kosteusvaurio on rakennuksessa esiintyvän mikrobikasvuston syy. Tällainen kosteusvaurio voi olla seurausta rakennusmateriaalien kastumisesta rakennusvaiheessa,

erilaisista vuotoista, puutteellisesta tuuletuksesta, epäonnistuneesta materiaalivalinnasta tai sellaisesta rakennuksen käytöstä, jossa kosteutta on päässyt rakenteisiin. (Asumisterveysopas 2009, 149.)

Kosteusvauriokohteissa tavattavia tyypillisiä normaaliin asunnon mikrobiflooraan kuulumattomia toksiineja mahdollisesti tuottavia mikrobisukuja ovat mm. *Acremonium*, *Aspergillus fumigatus*, *A. ochraceus*, *A. penicillioides*, *A. sydowii*, *A. terreus*, *A. versicolor*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Stachybotrys* ja erilaiset sädesienet. Näiden lisäksi normaaliin mikrobiflooraan kuulumattomia sukuja ovat *Eurotium*, *Exophiala*, , *Oidiodendron*, *Geomyces*, *Phialophora*, *Scopulariopsis*, *Sporobolomyces*, *Sphaeropsidales*, *Tritirachium/Engyodontium*, *Ulocladium*, ja *Wallemia*, jotka eivät tuota toksiineja. (Asumisterveysopas 2009, 172.)

2.1.2 Eläinhilse

Eläinhilse koostuu eläinperäisistä hiukkasista, joiden lähteenä ovat kotieläimet, hevoset ja lehmät. Kissan ja koiran ollessa kyseessä oireita ilmenee tavallisesti vain suorassa kosketuksessa. Myös eläimiin kosketuksissa olleiden ihmisten vaatteista voi irrota sisäilmaan sellaisia pitoisuuksia hilsettä, jotka aiheuttavat oireita. Hiukkaset voivat aiheuttaa elimistön immuunipuolustuksen yliherkkyysoireita, joka voi ilmetä nuhana, silmäoireina, astmana tai ihottumana (Matti Hannuksela 2009).

2.1.3 Ihmisperäiset hiukkaset

Ihmisperäiset hiukkaset ovat erityisesti puhdastiloissa suuri kontaminaatiolähde (Eudy J. 2003). Ihmisperäisillä hiukkasilla voidaan myös tarkoittaa kaikkea ihmisen toiminnasta olemassaolonsa saavia hiukkasia, mikä ei kuitenkaan ole tarkoituksena.

Ihmisen ihon pintakerros koostuu kuolleista soluista ja sitä nimitetään sarveiskerrokseksi. Iho uudistuu jatkuvasti siten, että kuollut pintakerros irtoaa hilseilemällä ja sen korvaavat alemmat kerroksen solut (DeLeo V. , Altman E., Christiano A., Jones D., Michael E., Perez M., Reichel M. & Tok J. 1998). Tämä hilseily tuottaa hiukkasia ympäröivään ilmaan. Hilseilleet hiukkaset ovat kooltaan 0,4 -

10 μm (taulukko 1). Näitä hiukkasia irtoaa ihmisestä sadoista tuhansista miljooniin asti (taulukko 2).

TAULUKKO 1. Ihmisperäisten hiukkasten kokoluokkia (Eudy J. 2003, muokattu)

Kontaminantti	Kokoluokka mikrometreinä
Ihmisen hius	70-100
Hilseillut iho	0,4-10
Home	2-20
Bakteerit	0,25-10

TAULUKKO 2. Ihmisperäisten hiukkasten irtoamismäärä (yli 0,3 μm minuutissa) (Eudy J. 2003, muokattu)

Toiminta	Istuminen tai seisominen liikkumattomana	Pään, kämmenen, niskan tai jalan liike	Kaikki edellä mainitut ja jalkaterä	Nouseminen tai istuutuminen	Kävely 3-8 kilometriä tunnissa
Määrä	100 000	500 000	1 000 000	2 500 000	5-10 miljoonaa

2.2 Muista kuin biologisista lähteistä peräisin olevat hiukkaset

Tyypillisiä ei-biologisia lähteitä hiukkasille ovat erilaiset kuidut sekä epätäydellisessä palamisessa syntyvät hiukkaset. Hiukkasia voidaan myös valmistaa teollisesti erilaisiin tarkoituksiin. Tällaisia hiukkasia ovat mm. jotkin nanomateriaalit (ECHA n.d.).

2.2.1 Rakennusperäiset hiukkaset

Sisäilmassa oleva rakennuspöly koostuu rakennusmateriaaleista irtoavista mineraalikuiduista. Mineraalikuitujen lisäksi rakennusmateriaaleista irtoaa myös kaasumaisia yhdisteitä. Mineraalikuitujen lähteinä rakennuksissa ovat erilaiset eristemateriaalit, kuten lasivilla ja vuorivilla. Kuitujen aikaansaama ärsytys on luonteeltaan mekaanista ja se ilmenee silmien, ylempien hengitysteiden ja ihon ärsyntyneenä. Sellaiset rakennukset, joissa on koneellinen ilmastointi, kärsivät muita rakennuksia enemmän rakennusperäisten hiukkasten kulkeutumisesta sisäilmaan, koska koneellinen ilmastointi luo rakennuksen sisälle alipaineen. Ilmanvaihtolaitteistoissa myös käytetään erilaisia ääni- ja lämmöneristysmateriaaleja, joista irtoaa vaihdettavaan ilmaan hiukkasia. Pinnoilla tavatut teolliset mineraalikuidut ovat olleet tyypillisesti kymmenien tai satojen mikrometrien pituisia ja paksuudeltaan yli 5 µm. Altistuminen pitkille kuiduille tapahtuu pääasiassa pintojen kautta, koska tutkimusten mukaan neljän mikrometrin koon ylittävät hiukkaset laskeutuvat pinnoille eivätkä jää ilmaan leijumaan. (Puhakka E., Kärkkäinen J., Korhonen M. & Hietanen L. 2006, 115.)

Kuitupitoisuutta voidaan tutkia siten, että tutkitun rakennuksen pinnoilta otetaan pintanäytteitä geeliteipillä. Näitä näytteitä voidaan tutkia valo- tai elektronimikroskoopilla. Pinnoilta tavattaville kuiduille ei ole virallista ohjeellista arvoa, mutta Schneiderin mukaan säännöllisesti puhdistettavilla pinnoilla alle 0,2 kuitua/cm² ja harvemmin puhdistettavilla pinnoilla alle 3 kuitua/cm² ovat suositeltavia kuitupitoisuuden raja-arvoja. Kun nämä arvot alitetaan, niin mineraalikuidut eivät todennäköisesti aiheuta ongelmia. (Puhakka E. ym. 2006, 116.)

Pintojen mineraalikuiduista on tyypillisesti tehty tutkimuksia sellaisissa rakennuksissa, joiden käyttäjillä on ollut silmien, hengityselimistön tai ihon oireilua. Eräs tällainen mineraalikuitujen tutkimus on ollut osa laajempaa sisäilmatutkimusta, joka on tehty

vuosina 2004-2006 siten, että tutkittavan rakennuksen pinnoille on asetettu pinta-alaltaan 14 cm² geeliteippilevyjä, joiden on annettu kerätä kuituja yhden tai kolmen viikon ajan. Saadut näytteet tutkittiin 100 -kertaisella suurennuksella ja koko teipin pinta-alalta laskettiin yli 20 mikrometrin pituiset kuidut. Tässä tutkimuksessa tutkituista näytteistä 4,3 % ylitti suositellun kuitupitoisuuden 0,20 kuitua/cm². (Puhakka E. ym. 2006, 117.)

2.2.2 Asbesti

Asbestia (kuva 1) käytetään yleisnimenä eräille luonnosta saataville mineraalikuiduille ja sitä on käytetty paljon rakennusmateriaaleissa. Asbestia käytetään rakennuksissa lämpöeristeenä ja palamista estävänä materiaalina sekä myös sen hyvien akustisten ominaisuuksien takia. Asbestista leviää ilmaan hienopölyä ja kuituja, jotka ovat läpimitaltaan 0,03 µm. Sisäilman asbestipitoisuudelle on asetettu ohjearvoksi 0,01 kuitua/cm³ eikä asbestikuituja saa esiintyä pinnoille laskeutuneessa pölyssä. Asbestipitoisuus mitataan yleensä silloin, kun epäillään asbestikuitujen kulkeutumista remontoitusta tiloista muihin tiloihin. Myös epäily asbestia sisältävien rakennusmateriaalien kunnosta voi johtaa asbestikuitupitoisuuden mittaamiseen. (Asumisterveysopas 2009, 132.)



KUVA 1. Tremoliittiasbestikuituja Val di Susasta, Italiasta (Dulyan A. 2005)

Sisäilman asbestikuituipitoisuus mitataan sisäilmasta siten, että selluloosaesterisuodattimelle, jonka huokoskoko on 8 µm, kerätään kymmenen litran minuuttinopeudella noin tuhat litraa näytettä. Saatu näyte preparoidaan ja tutkitaan optisella vaihesiirtomikroskoopilla SFS 3868 -standardin mukaisesti 500 -kertaisella suurennoksella. Tällä menetelmällä lasketaan kaikkien sellaisten kuitujen määrä, jotka ovat paksuudeltaan enintään 3 µm, pituudeltaan 5 µm. (Asumisterveysopas 2009, 132.)

Selluloosaesterisuodattimelle kerätyn tietyn kokoluokan kuitujen määrä ylittäessä 0,01 kuitua/cm³, siirrytään käyttämään polykarbonaattisuodatinta, jolle kerätään 500-1000 litraa näytettä samoin kuin selluloosaesterisuodattimelle. Polykarbonaattisuodattimelle kerätty näyte tutkitaan pyyhkäisyelektronimikroskoopilla 3000 -kertaisella suurennoksella. Löydetyt kuidut tunnistetaan energiadiispersiivisellä spektrometrilla. Tälle menetelmälle toteamisrajana on 0,01 kuitua/cm³ 500 litran näytteelle. Kvantitatiivisen tutkimuksen sijaan voidaan myös tutkia asbestikuitujen läsnäoloa pölynäytteistä elektronimikroskoopilla. (Asumisterveysopas 2009, 132.)

Rakennuksissa asbestia on käytetty lämmöneristemassoissa, seinä- ja kattolevyissä, putkissa, ilmanvaihtokanavissa, lattiamateriaaleissa ja laattojen kiinnityslaasteissa. Suomessa asbestin käyttö on ollut laajinta 1960-1970 -luvun vaihteessa. Rakennuksissa olevat ehjät asbestimateriaalit eivät normaalissa käytössä aiheuta terveysvaaraa, mutta vaaraa aiheuttavat asbestia sisältäviin rakennuksiin tehtävät muutostyöt, purkamiset ja asennukset, mistä vapautuvalle asbestille altistuminen on mahdollista ilman asianmukaista koulutusta ja suojautumista. (Asumisterveysopas 2009, 131-132.)

Asbestin käyttö kiellettiin Suomessa vuonna 1988, mutta esimerkiksi Tanskassa asbestin käyttö eristykseen kiellettiin jo vuonna 1972. Asbestin käyttöä koskevat rajoitukset, kiellot ja suositukset korvaavien materiaalien käytöstä ovat tästä vuodesta asti lisääntyneet ympäri maailmaa ja Laurie Kazan-Allenin kokoamassa ”Chronology of National Asbestos Bans” -listassa on merkintöjä vuoteen 2012 asti. (International Ban Asbestos Secretariat 2013.)

2.2.3 Tekstiilipöly

Tekstiilipöly on sellaista kangaspölyä, joka koostuu erilaisista vaatteissa käytetyistä kankaista irtoavista kuiduista sekä hiukkasista, jotka kiinnittyvät tekstiileihin ja myöhemmin irtoavat niistä. Tällaiset hiukkaset sisältävät usein paljon biologista materiaalia, kuten kuolleita ihosoluja, pölypunkkeja ja homeitiöitä. Erityisesti pölypunkit aiheuttavat allergioita. (ACAAI n.d.)

2.2.4 Lasertulostimesta peräisin olevat hiukkaset

Lasertulostimet ovat erittäin yleinen tulostintyyppi erityisesti työpaikoilla ja sellaisissa kohteissa, joissa tulostetaan suuria määriä. Lasertulostimen etuihin kuuluu erityisesti se, että siinä ei käytetä mustekasetteja, jotka menevät käytön puutteessa tukkoon. Lasertulostimen toimintamekanismiin kuuluu vaihe, jossa sähkövarauksen avulla kiinnitetyt mustehiukkaset kiinnitetään lämmön avulla pysyvästi paperiin. (Harris n.d.)

Lasertulostusprosessin lämmitysvaihe on syynä sille, että lasertulostin tuottaa ympäristöönsä pienhiukkasia. Tutkittaessa 30 erityyppistä lasertulostinta havaittiin, että lämmitysvaiheen lämpötila oli määräävä tekijä pienhiukkasten tuotannossa. (Wang 2011, 5.)

Lasertulostimesta peräisin olevat hiukkaset ovat kooltaan hyvin pieniä (alle 0,1 μm) eivätkä ne siten voi olla suoraan peräisin ympäristöön päässeestä mustejauheesta, jonka kokoluokka on n. 10 μm . Pienhiukkasten kemiallinen koostumus on pääasiassa VOC/SVOC -hiukkasia eli volatiileista tai semivolatiileista yhdisteistä muodostuneita kertymiä, joilla ei ole kiinteää ydintä. (Safe Work Australia 2011, 8-9.)

2.2.5 Radioaktiiviset hiukkaset

Ydinvoimalaonnettomuuksissa (mm. Tsernobylin ja Fukushima) sekä 1950 ja 1960 – luvuilla ilmakehässä suoritetuissa ydinkokeissa on vapautunut ilmakehään huomattavia määriä radioaktiivisia hiukkasia. Nämä hiukkaset ovat kokoluokaltaan sellaisia, että ne pystyvät liikkumaan tuulen mukana pitkiä matkoja. Tsernobylin ydinvoimalaonnettomuuden yhteydessä suhteellisen korkeasti radioaktiivisia hiukkasia löydettiin jopa Suomesta asti. Kaikista korkeimman radioaktiivisuuden hiukkaset laskeutuvat kuitenkin massansa takia lähelle onnettomuusaluetta. (Valmari T. & Pöllänen R. 2003,97.)

Säteilyaltistusta mitataan yleensä siten, että mittauksessa otetaan huomioon ilman radioaktiivisuus tietyssä tilavuusyksikössä sekä altistumisaika, joka kuvaa sekä hengitetyn ilman määrää että kehon ulkopuolelta saatua säteilyaltistusta. Tämä menetelmä antaa kuitenkin hyviä tuloksia vain silloin, kun säteily on tasaisesti jakaantunut ilmassa olevien hiukkasten kesken. Sellaisessa tapauksessa, jossa säteilyaltistus on seurausta ns. kuumista hiukkasista, jotka jäävät keuhkoihin, ei kuitenkaan voida hyödyntää ilman keskimääräistä aktiivisuutta. Kun ilmassa on kuumia hiukkasia, niin radioaktiiviset aineet eivät ole jakaantuneet tasaisesti, vaan huomattavan altistuksen syynä ovat tilavuudeltaan pienet, mutta aktiivisuudeltaan suuret yksittäiset hiukkaset. (Valmari T. & Pöllänen R. 2003,97.)

2.3 Palamisesta syntyvät hiukkaset

2.3.1 Tupakansavu

Tupakansavua syntyy, kun tupakkakasvin lehdistä valmistettuja tupakkatuotteita poltetaan. Tupakan palaminen on hyvin epätäydellistä, minkä seurauksena siinä olevat yhdisteet eivät pala puhtaasti epäorgaaniseksi tuhkaksi ja hiilidioksidiksi, vaan palamistuloksena on tuhansia erilaisia yhdisteitä, joille sekä tupakoitsija että ympäristössä olevat ihmiset altistuvat. Näitä yhdisteitä ovat mm. akroleiini, ammoniakki, asetoni, bentseeni, betsopyreeni, DDT, formaldehydi, kromi, nikotiini ja radioaktiivinen polonium-210 (Huovinen M. & Leino U. 2000, 370).

Vapautuneiden yhdisteiden kemialliset ominaisuudet määräävät sen olomuodon, jossa ne vapautuvat ympäristöön. Suurimmassa osassa savukkeita käytetään asetaattiselluloosasta valmistettua suodatinta eli filttieriä, jonka tarkoituksena on absorboida tupakasta lähteviä kaasumaisia aineita sekä suodattaa tupakan palamisesta syntyviä pienhiukkasia (Clean Virginia Waterways, Longwood University n.d.).

Tupakan palamisesta syntyviä yhdisteitä on verrattu italialaisessa tutkimuksessa (Invernizzi G, Ruprecht A, Mazza R, Rossetti E, Sasco A, Nardini S, Boffi R. 2004) 2002 –vuosimallin dieselmoottorillisen Ford Mondeon päästöihin suljetussa autotallissa. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että 60 m³ normaalilla ilmanvaihdolla varustetussa autotallissa kolme itsekseen palamaan jätettyä savuketta tuottivat 10-15 kertaisen pienhiukkaspitoisuuden dieselmoottorilla varustettuun autoon verrattuna. Tutkimuksessa tarkasteltiin 1, 2.5 ja 10 µm kokoluokkien hiukkasten pitoisuutta ajan funktiona. Tutkittavat pienhiukkaslähteet poikkesivat tuotettujen hiukkasten määrissä siten, että tupakat tuottivat huomattavasti suuremman pienhiukkaspitoisuuden, mutta hiukkaset olivat kemiallisilta ominaisuuksiltaan ja kooltaan hyvin samanlaisia. (Invernizzi G. ym. 2004.)

2.3.2 Dieselmoottorin tuottamat hiukkaspäästöt

Rudolf Diesel kehitti dieselmoottorin 1800 -luvun lopulla (Commonwealth of Massachusetts 2013). Liikennekäytössä olevien dieselmoottorikäyttöisten ajoneuvojen päästöjä koskevat erilaiset päästönormit, joilla pyritään vähentämään hiukkasten syntymistä ja sitä seuraavaa altistusta (EPA 2013).

Dieselmoottori on tunnettu vähäisistä hiilimonoksidi- ja hiilivetypäästöistään, mutta sen heikkoutena ovat typpioksidi- ja hiukkaspäästöt. Dieselmoottorin palotapahtumassa ilmasta suurin osa ei osallistu polttoaineen palamiseen, mutta auttaa hapettamaan palamisesta syntyviä kaasumaisia hiilivetyjä ja hiilimonoksidia, minkä seurauksena niiden pitoisuus pakokaasussa on erittäin pieni. (Khair M. & Jääskeläinen H. 2010.)

Dieselmoottorin hiukkaspäästöjä voidaan vähentää sekä palotapahtuman hallitsemisella että pakokaasun käsittelyllä. Palotapahtumaan vaikuttavia seikkoja ovat tärkeimpien eli imuilman lämpötilan ja kineettisen energian sekä ruiskutetun polttoaineen sumuuntumisen lisäksi puristussuhde, imuventtiilin koko ja suunnittelu, ruiskusuuttimen paine, ruiskusuuttimen geometria, venttiiligeometria ja ylimmän männänrenkaan, männän laen ja sylinterin seinän rajaama tila. (Khair M. & Jääskeläinen H. 2010.)

Nykyaikaisten dieselmoottorien ruiskusuuttimet ovat tietokoneohjattuja, minkä ansiosta sekä suihkutetun polttoaineen määrä ja ajoitus voidaan säätää tarkasti, mikä taas vähentää päästöjä sekä polttoainenkulutusta verrattuna täysin mekaaniseen dieselmoottoriin, jota käytetään esimerkiksi vanhoissa traktoreissa. Vanhoille dieselmoottoreille ovatkin ominaisia silminnähtävät nokihiukkaspäästöt, jotka ilmenevät pakoputkesta tulevina mustina pilvinä erityisesti kuormitustilanteissa.

Dieselmoottorin hiukkaspäästöjä suodatetaan erillisellä hiukkassuodattimella, joka tunnetaan yleisemmin kirjainyhdistelmästä DPF, *Diesel Particulate Filter*. Hiukkassuodatin on ollut pakollinen varuste 2009 –vuoden jälkeen valmistetuissa autoissa, koska Euro5 –standardi tuli silloin voimaan. (Automobile Association Developments Limited 2013.)

2.3.3 Puun pienpoltossa syntyvät hiukkaset

Puun pienpolto asuntojen tulisijoissa on hyvin yleinen lämmitystapa erityisesti sellaisilla alueilla, joissa vuodenaikojen vaihtelusta johtuva lämpötilan vaihtelu aiheuttaa erityistä lämmityksen tarvetta eikä asunnon lämmitystä ole järjestetty keskitetysti, kuten esimerkiksi kaupunkien kerrostaloissa. Pienpolttoa suositaan erityisesti maaseudulla, jossa polttopuut tulevat usein omasta lähimetsästä ja puulämmityksen kustannukset rajoittuvat metsänhoitoon, logistiikkaan ja polttopuiden halkomiseen.

Puu sisältää n. 50 % hiiltä, 43 % happea, 6 % vetyä, 0,2 % typpeä, 0,3 % rikkiä ja palamatonta ainesta eli tuhkaa n. 0,3 % sekä vettä riippuen siitä, että kuinka kauan ja millaisissa olosuhteissa puu on kuivunut. Puun palaminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen, joita ovat 1) lämpeneminen ja kuivuminen 2) pyrolyysi 3) muodostuneiden kaasujen palaminen 4) hiilloksen muodostus ja palaminen. (Bølling A., Pagels J., Yttri K., Barregard L., Sallsten G., Schwarze P. & Boman C. 2009.)

Korkeimman lämpöarvon ja mahdollisimman vähäisten päästöjen saavuttamiseksi tulee palavan puun saada riittävästi happea. Myös palamislämpötilan tulee olla riittävän korkea. (A. Bølling ym. 2009.) Optimaalisissa olosuhteissa kaikki muu paitsi puun sisältämä epäorgaanisista aineista muodostuva palamaton aines reagoi täydellisesti hapen kanssa ja muuttuu siten olomuodoltaan kaasumaiseksi, jolloin hiukkaspäästöt ovat vähäiset ja kertyvät pääosin tulisijan alla olevaan tuhkalta varattuun astiaan.

Mikäli käytössä ei ole modernia tulisijaa, joka on suunniteltu siten, että se takaa polttoprosessille riittävän lämpötilan ja ilmamäärän tai jos poltetaan huonolaatuista kostea puuta tai sitä laitetaan pesään liikaa, seuraa tästä liian matala hiukkaspäästöjä lisäävä palamislämpötila. Pesän täyttäminen liian suurella määrällä puuta aiheuttaa sen, että palamisessa syntyvät ja tarvittavat kaasut eivät pääse vaihtumaan riittävän nopeasti, jolloin palaminen on hitaampaa, epätäydellisempää ja palamislämpötila on alhaisempi. (Bølling A. ym. 2009.)

Matalassa lämpötilassa ja siten epätäydellisissä olosuhteissa palaneen puun hiukkaspäästöistä suurin osa on pyöreitä orgaanisesta hiilestä koostuvia halkaisijaltaan 50-600 nm hiukkasia, joita on havaittu myös siinä vaiheessa, kun puun liekillä

palamisen vaihe on loppunut ja jäljellä on vain hiillos (taulukko 3). Nämä pyöreät hiukkaset saavat alkunsa puun sisältämistä orgaanisista materiaaleista (ligniini, selluloosa, hemiselluloosa) silloin, kun lämpötila on matala (300-500 °C). Epätäydellinen kaasujen sekoittuminen aiheuttaa sen, että nämä hiukkaset eivät pääse palamaan vaan vapautuvat polttoprosessista ilmaan. Hiilloksesta eli ilman liekkiä palavasta puusta vapautuvat hiukkaset sisältävät runsaasti happea sisältäviä yhdisteitä, joita ovat mm. monosakkaridianhydritit ja metoksifenolit. Ilmassa primäärisistä päästöistä voi polymeroitumalla muodostua liukenemattomia kertymiä. (Bølling A. ym. 2009.)

TAULUKKO 3. Pienpoltossa syntyneiden hiukkasten ominaisuudet ja syntymisolosuhteet (Bølling A. ym. 2009, muokattu)

	Pyöreät orgaanisesta hiilestä koostuvat hiukkaset	Noki (alkuainemuotoisista hiilestä muodostuneet kertymät)	Epäorgaaniset tuhka hiukkaset
Muoto	Pyöreä	Pyöreä	Epämääräinen
Mitattu koko	50-600 nm	20-50 nm	50-125 nm
Liikehalkaisija	100-300 nm	50-300 nm	50-125 nm
Sisäinen turbostraattinen mikrorakenne	Ei	Kyllä / Ei	Ei
Liukoisuus	Iästä riippuvainen	Liukenematon	Liukeneva
Kemialliset ominaisuudet	Orgaaninen hiili, metoksisenolit ja monosakkaridien yhdyt	Alkuainehiili (C), orgaanisia hiilyhdyteitä pinnalla, joista eniten hiilivetyjä ja polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä	Alkalisuola (KCl, K ₂ SO ₄ sekä pieniä pitoisuuksia muita aineita, kuten esim Zn.
Tyypillinen palamistilanne	Matala lämpötila, epätäydellinen palaminen	Korkea lämpötila, epätäydellinen palaminen	Korkea lämpötila, täydellinen palaminen
Mahdolliset lähteet	Lian vähän happea tai puun palaminen vasta alkuvaiheessa perinteisessä tulisijassa tai nuotiossa	Perinteinen tulisija, nuotio, lämmityksessä käytetty tulisija, jossa käytetään puuta, puulastuja tai pellettejä	Lämmityksessä käytetty tulisija, jossa käytetään puuta, puulastuja tai pellettejä

Korkeassa lämpötilassa (800-1000 °C) tapahtuvan epätäydellisen polttoprosessin pääasiallinen hiukkastuote on noki, joka on hiukkaskooltaan 20-50 nm (taulukko 3). Noen molekyyliarakennetta on tutkittu ja siitä on havaittu, että sen sisältämä hiili on luonteeltaan grafiittista, mikä on yhtenevää liikenteessä tavattavan noen kanssa. Korkeassa lämpötilassa syntyneet nokihiukkaset eroavat matalassa lämpötilassa syntyneistä siinä, että ne sisältävät enemmän alkuainemuotoista hiiltä, kuin matalassa lämpötilassa syntyneet. Alkuainemuotoisen hiilen määrän suhdetta kokonaishiileen kuvaava EC/TC -suhde korkeassa lämpötilassa syntyneille hiukkasille on välillä 0,5 ja 0,75. (Bølling A. ym. 2009.)

Hyvissä palamisolosuhteissa syntyvä pääasiallinen hiukkastuote on epäorgaaninen tuhka (taulukko 3). Tällaiset olosuhteet saavutetaan moderneissa tulipesissä, joiden lämpötila on yli 900 °C ja happea on saatavilla riittävästi sekä kaasujen sekoittuminen on riittävää. Tällaisissa olosuhteissa lähes kaikki hiili reagoi hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia ja vapautuvan orgaanisen sekä alkuainemuotoisen hiilen määrä on alle prosentti poltetun puun sisältämän hiilen kokonaismäärästä. Epäorgaaniset tuhka hiukkaset ovat luonteeltaan hygroskooppisia ja vesiliukoisia, mikä voi helpottaa niiden poistumista keuhkoista sekä vaikuttaa siihen, että millaisia vaikutuksia niillä on soluihin, jotka ovat kosketuksissa hiukkasiin. (Bølling A. ym. 2009.)

2.3.4 Öljylämmityksessä syntyvät hiukkaset

Öljylämmitys perustuu kevyen polttoöljyn palamisesta syntyvän lämmön hyödyntämiseen. Kevyt polttoöljy on koostumukseltaan erittäin lähellä ajoneuvoissa käytettävää diesel –polttoainetta. Öljyn palaminen perustuu dieselmoottorista tuttuun ilmiöön, jossa polttoöljy ruiskutetaan suuttimen kautta sumuksi palotilaan, jossa se syttyy ja palaa. Öljylämmityksen palamisen puhtauteen ja siten pienhiukkasten määrään vaikuttavia tekijöitä ovat hapen määrä sekä polttoöljyn sumuuntumisen tehokkuus. (Heatingoil.com 2009.)

2.3.5 Hiilivoimaloiden hiukkaspäästöt

Hiilivoimalat käyttävät energianlähteenään maaperästä louhittua hiiltä, jonka polttamisesta saatu energia käytetään turbiineja pyörittävän höyryn muodostamiseen. Hiilivoimaloiden hiukkaspäästöjen lähde on siten niiden käyttämä hiili. Hiilivoimaloissa poltetussa hiilessä on mukana epäpuhtauksia, jotka vapautuvat poltettaessa. Näitä epäpuhtauksia ovat mm. elohopea, kadmium, kupari, nikkeli, lyijy ja sinkki. Tutkittaessa hiilivoimaloiden hiukkaspäästöjä huomattiin se, että hiilen sisältämät metalliset epäpuhtaudet rikastuvat erittäin pienikokoisiin hiukkasiin jopa 50 –kertaisesti verrattuna pieniin ja suurempiin hiukkasiin. Syynä tähän on pidetty sitä, että metallihöyryt nukleoituvat erittäin pieniksi hiukkasiksi. (Yinon L. 2010, 11.)

2.3.6 Jätteiden polttamisessa syntyvät hiukkaset

Jätteiden polttaminen on monissa maissa yleinen tapa hankkiutua eroon kiinteästä jätteestä. USA:ssa oli vuonna 2005 toiminnassa 87 jätteenpolttolaitosta, jotka prosessoivat 29 miljoonaa U.S tonnia kiinteää jätettä. Tyypillisenä lämpöarvona kiinteälle jätteelle pidetään 9000 kJ/kg. Samoin, kuin hiilen polttaminen hiilivoimalassa, myös kiinteän jätteen polttaminen tuottaa hiukkaspäästöjä, joiden kemiallinen koostumus riippuu jätteiden sisältämistä aineista. Erilaisia metalleja- ja raskasmetalleja sisältäviä jätteitä ovat jäteöljy, elektroniikka, paristot ja jotkin muovit. (Yinon L. 2010, 12-13.).

Saksassa tehdyssä tutkimuksessa hiilivoimalan hiukkaspäästöjä mitattiin kolmessa eri mittausspaikassa ja lämpötilassa, jotka olivat 700 °C ennen boileria, 300 °C boilerin jälkeen sekä lopulta savupiipussa. Tutkimuksessa havaittiin, että hiukkasten koko kasvoi lämpötilan laskiessa siten, että korkeamman lämpötilan kokomaksimit olivat 80 ja 40 µm, kun taas alemmassa lämpötilassa päämaksimi oli siirtynyt 140 nm kokoluokkaan. Savupiipussa havaittiin huomattavasti vähemmän hiukkasia, kuin 300 °C mittausspaikassa, mikä on seurausta tehokkaasta suodatuksesta. Havaitut hiukkaset olivat kokoluokkaa 1 µm - 17 nm ja laaja maksimi oli kokoluokassa 40-70 nm. Erittäin pienikokoisten hiukkasten pitoisuus oli 10^5 hiukkasta/cm³. (Yinon L. 2010, 13.)

2.4 Sisä- ja ulkoilman hiukkasten terveysvaikutukset

Hiukkasten terveysvaikutukset perustuvat sekä niiden fysikaalisiin (kokoon, massaan ja tiheyteen) että niiden kemiallisiin ominaisuuksiin. Koska hiukkaset pystyvät leijumaan ilmassa, ovat ne sisäänhengitettävissä, mikä lisää niille altistumista huomattavasti verrattuna esimerkiksi pelkkään ihoaltistukseen. Mitä pienempi hiukkanen on, sitä syvemmälle hengityselimistöön se pääsee. Hiukkasista on eriytetty erityinen pienhiukkasten kategoria, joka käsittää alle 2,5 µm hiukkaset, näiden haitallisten terveysvaikutusten takia (Hiukkastieto 2013a).

2.4.1 Mikrobit

Sisäilman mikrobit vaikuttavat terveyteen pääasiassa joko patogeenisesti, niiden erittämien toksiinien välityksellä tai allergian aiheuttamalla. Mikrobin patogeenisuus tarkoittaa mikrobin kykyä aiheuttaa sairauden puhkeaminen altistuksen seurauksena. Eräs tällainen patogeeninen ilman mukana hiukkasena leviävä patogeeninen bakteeri on *Legionella Pneumophila*, joka aiheuttaa keuhkokuumetta. Myös virukset leviävät sisäilman mukana. (Haahtela T. 2009.)

2.4.1.1 Toksiinit

Mikrobien sairautta aiheuttavaa mekanismia tukittaessa havaittiin, että monet mikrobit aiheuttavat sairauden niiden tuottaman toksinin eli myrkyllisen avulla. Monilla kosteusvaurioisissa tiloissa terveyshaittoja potevilla ihmisillä terveyshaitat ovat tilasidonnaisia ja uusiutuvat tunneissa tai minuuteissa, kun tiloihin palataan. Mikään tunnettu mikrobi ei saa aikaan tällaista vaikutusta, mikä on ominainen kemikaalialtistukselle. (Salkinoja-Salonen M. 2009,19.)

Toksiinien ja niiden tuottajien haitalliset terveysvaikutukset ilmenevät silloin, kun ne pääsevät kosketuksiin elimistön solujen kanssa. Tämä tapahtuu kaikista tehokkaimmin keuhkojen kautta. Kemiallisia aseita tutkittaessa havaittiin, että patogeenille altistuminen on keuhkojen kautta tuhat kertaa suun kautta altistumista tehokkaampaa. (Salkinoja-Salonen M. 2009, 20.)

Mikrobien aineenvaihduntatuotteina erittämien toksiinien haitallisuus ei ole pelkästään niiden määrän määräämä ilmiö, vaan myös toksiinien kemialliset ominaisuudet vaikuttavat niiden haitallisuuteen elimistössä ja kuinka helposti ne imeytyvät. Rasvaliukoiset aineet imeytyvät keuhkojen kautta elimistöön helposti, kun taas vesiliukoiset aineet imeytyvät vaikeasti tai eivät ollenkaan. Yhdisteen rasvaliukoisuutta kuvaa sen jakaantuminen oktanolin ja veden muodostamaan kahteen faasiin. Jos yhdiste jakaantuu näiden kahden faasin välillä siten, että oktanolissa pitoisuus on yli tuhatkertainen veteen verrattuna, niin yhdistettä pidetään rasvaliukoisena. Yhdisteen toksisuus määritellään siten, että altistuksesta seuraava vaurio suhteutetaan siihen määrään toksiinia, joka aiheuttaa vaurion. Näin toksisuus on sitä suurempi, mitä pienemmällä määrällä toksiinia saadaan sama vaurio aikaiseksi. (Salkinoja-Salonen M. 2009, 20.)

Mikrobeista *Bacillus cereus* –bakteerin hometaloissa tavatut kannat tuottavat monesti kereulidi –nimistä toksiinia. Bakteeri on yleinen ympäristössä, mutta sen kereulidia tuottavat kannat ovat harvinaisia muualla kuin hometaloissa. Kereulidin toksinen mekanismi perustuu siihen, että se toimii kaliumionien kuljettajana ja lamaannuttaa solujen mitokondrioiden toiminnan depolarisoimalla ne. Tästä seuraa solun käytössä olevan energian radikaali vähentyminen ja mahdollisesti apoptoosi eli solukuolema. Toksiinin vaikutus on kaikista suurin sellaisiin soluihin, jotka tarvitsevat paljon energiaa toimiakseen, kuten keuhkoepiteelin värekarvoja liikuttavat solut, sydänlihas, hermosto, kuuloelimen hair-solut ja haiman insuliinituotannosta vastaavat solut. (Salkinoja-Salonen M. 2009, 22.)

Streptomyces –suvun aktinobakteereista *Streptomyces griseus* ja *Streptomyces anulatus* tuottavat valinomysiini –nimistä toksiinia, joka muistuttaa rakenteeltaan ja biologiselta aktiivisuudeltaan kereulidia. Jos valinomysiinin kanssa altistutaan myös homeiden ja itiöiden soluseinistä irtoavalle beetaglukaanille, niin tämä yhdistelmä saa aikaan voimakkaan immunologisen reaktion, joka nostaa interleukiinin tason erittäin korkeaksi, minkä seurauksena on kuume ja yleinen huonovointisuus. (Salkinoja-Salonen M. 2009, 22.)

Bacillus –suvun monien lajien (*amyloliquefaciens*, jotkin *subtilis* ja *mojavensis*) kannat tuottavat amyloysiini –nimistä toksiinia, joka häiritsee elimistön solujen sisä- ja

ulkopuolisen tilan välillä vallitsevaa natrium-kalium –tasapainoa siten, että toksiini muodostaa natrium-, kalium-, ja kalsiumioneja läpäiseviä kanavia. Elimistössä solujen ulkopuolinen tila on natriumin suhteen korkeakonsentraatioinen ja kaliumin suhteen vähäkonsentraatioinen. Solujen sisäisessä tilassa taas konsentraatiot ovat päinvastaiset. Solut pyrkivät pitämään tämän konsentraatioeron siten, että niiden solukalvoilla olevat pumput pumppaavat natriumia ulos ja kaliumia sisään. Amyloosiinialtistuksen todennäköiset oireet ilmenevät sydänlihaksessa ja hermostossa, koska niissä natrium-kalium –tasapainosta poikkeamisella on kaikista suurimmat vaikutukset. (Salkinoja-Salonen M. 2009, 22.)

Peptaibolit ovat monien *Hypocreales* –lahkon sienten tuottamia toksiineja, jotka ovat 5-20 aminohappoa pitkiä paljon proliinia ja/tai hydroksiproliinia sisältäviä peptidejä. Eräs peptaiboli on *Acremonium exuviarum* –sienilajin tuottama akreboli. Tämän suvun sieniin ei ole kiinnitetty kovinkaan paljoa huomiota harmittoman ulkonäön takia. Akrebolin toksisuus perustuu sen kykyyn pysäyttää soluhengitys silloin, kun ubikinonit siirtävät elektroninsa sytokromeille. Solu pystyy kuitenkin tilapäisesti kompensoimaan tilannetta siten, että se siirtyy käyttämään anaerobista energiantuotantoa. Akrebolin vaikutus on suurin sellaisissa soluissa, jotka tarvitsevat jatkuvaa ja suurta aerobista energiantuotantoa, kuten sydänlihaksen ja haiman insuliinia tuottavat solut. ES39 –peptaibolia tuottaa *Trichoderma harzianum* –sieni, jonka pienet 2-3 mikrometrin halkaisijaltaan olevat itiöt pääsevät toksiineineen syvälle keuhkoihin. ES39 –peptabolin toksinen vaikutus perustuu sen kykyyn muodostaa keuhkosoluihin kaliumioneja läpäiseviä kalvoja. (Salkinoja-Salonen M. 2009, 23)

Trikoteenit ovat rehuja ja viljatuotteita myrkyttäviä mykotoksiineja. Hometaloissa trikoteeneja voivat tuottaa *Stachybotrys* ja *Memmoniella*. Näistä *Stachybotrys chartarum* on tutkituin sisätilahome maailmassa. *Stachybotrys chartarum* ja *Streptomyces* elävät usein yhteiskasvustoina, koska *Stachybotrys chartarum* pystyy hajottamaan rakennusmateriaaleissa olevaa selluloosaa sokereiksi, joita *Streptomyces* pystyy hyödyntämään. Tällainen yhteiskasvusto voi olla hyvin myrkyllinen, jos *Streptomyces* tuottaa valinomysiiniä siinäkin tapauksessa, jos *Stachybotrys* ei tuota myrkyä. Sienestä irtoava betaglukaani monikymmenkertaistaa valinomysiinin myrkyllisyyden. (Salkinoja-Salonen M. 2009, 23.)

2.4.1.2 Mikrobeille allergisoituminen

Mikrobit ja erityisesti homeitiöt voivat olla myös allergeenisia, jolloin altistuminen vieraille proteiinirakenteille saa aikaan immuunipuolustuksen aktivoitumisen keuhkoissa. Pitkittyneestä altistuksesta johtuva krooninen tulehdus saa keuhkoissa aikaan niiden toimintaa heikentäviä muutoksia. Tällainen allerginen alveoliitti eli keuhkorakkuloiden tulehdustila on seurausta altistumisesta biologisille pölyille, mutta se voi myös aiheutua altistumisesta kemikaaleille. (Kerätär R. & Reijula K. 1995.)

Allerginen alveoliitti on yleinen ammattisairaus sellaisissa ammateissa, joissa altistutaan toistuvasti biologisille pölyille. Tällaisia pölynlähteitä ovat mm. homeiset rehut ja kuivikkeet, joille altistuvat niiden parissa työskentelevät maanviljelijät. Maanviljelijän pölykeuhko onkin tavallisin allergisen alveoliitin muoto. Allerginen alveoliitti voi myös olla seurausta rakennuksessa olevan homekasvuston tuottamien itiöiden hengittämisestä. (Kerätär R. & Reijula K. 1995.)

2.4.2 Asbesti

Asbestoosi on seurausta keuhkojen hitaasta ja toistuvasta fibroosista eli arpeutumisesta. Asbestikuitujen aiheuttama immuunivaste saa elimistön tuottamaan suuria määriä sidekudosta, joka aiheuttaa alveoliseiniä paksuuntumista ja siten kaasunvaihdon heikkenemistä. (The Mesothelioma Center 2013.)

Asbesti lisää myös riskiä sairastua keuhkosityöpään. Suomessa noin 5 % todetuista noin 2000 keuhkosityöpätapauksesta on asbestin aiheuttamia. Suurin riski on niillä, jotka ovat joskus tupakoineet säännöllisesti sekä altistuneet asbestille. (Työterveyslaitos 2010a.)

Asbestille altistumisen ja sairauden puhkeamisen välissä oleva latenssiaika on tyypillisesti pituudeltaan 20-40 vuotta (Halvari P. 2006). Asbestista johtuvan sairauden puhkeamista ja etenemistä voidaan hidastaa ja estää siten, että keuhkojen kuormitusta pyritään vähentämään lopettamalla tupakointi (Työterveyslaitos n.d.). Pitkälle edenneen asbestisairauden tyypillisenä oireena on keuhkojen vähentyneestä kaasujenvaihtokapasiteetista johtuva tunne hapen loppumisesta erityisesti kuormitustilanteissa (Työterveyslaitos 2010b).

Asbestin terveydelle haitalliset vaikutukset riippuvat sekä määrällisistä (altistuksen pituudesta sekä sisäänhengitettyjen kuitujen määrästä) että laadullisista seikoista. Asbestikuidut poikkeavat toisistaan pituuden, läpimitan, muodon ja jäykkyyden suhteen. Nämä ominaisuudet määräävät sen, että kuinka syväälle keuhkoihin asbestikuitu pääsee. Haitallisimpia kuituja ovat sellaiset, jotka ovat sekä pitkiä että ohuita. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2001.)

Asbesti on yleisnimitys kuitumaisille silikaattimineraaleille, joita saadaan maaperästä. Nämä silikaattimineraalit jaetaan värin mukaan kolmeen eri ryhmään (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Asbestin ominaisuudet ja haitallisuus (Aspec Asbestos Specialists n.d., muokattu)

Nimi	Väri	haitallisuus	ominaisuudet
Krokiidoliitti	sininen	haitallisin	Suora ja ohut kuitu, haponkestävyys
Amosiitti	ruskea	haitallinen	Suora ja terävä
Krysoliiitti	valkoinen	vähiten haitallinen	Pehmeä ja kierteinen

Suomessa todetaan vuosittain 90-120 asbestoositapausta. Pitkään asbestille altistuneita on elossa 50-60 tuhatta ja rakennusten purkamisen yhteydessä asbestille altistuu 500-1000 saneerausrakentajaa. Merkittävästi altistuneita seurataan säännöllisesti määräaikaistarkistuksissa, joihin kuuluu keuhkojen röntgenkuva ja spirometria. (Työterveyslaitos 2010b.)

2.4.3 Tekstiilipöly

Tekstiilipölylle altistuminen voi aiheuttaa allergista astmaa sekä muita hengityselimistön oireita, kuten tukkoisen tai vuotavan nenän, ärtyneet silmät ja aivastelua. Astmaa sairastaville altistuminen voi aiheuttaa yskimistä ja hengenahdistusta. Syynä tekstiilipölyn aiheuttamille oireille ovat sen sisältämät allergisoivat osat, jotka saavat aikaan allergisen immuunivasteen. (ACAAI n.d.)

2.4.4 Palamisessa ja polttoprosesseissa syntyvät hiukkaset

Epätäydellinen palaminen synnyttää suuria määriä hiukkasia, koska palamisprosessi jää kesken eivätkä kaikki hiiliatomit pääse reagoimaan hapen kanssa täydellisesti. Näiden hiukkasten aiheuttama oksidatiivinen stressi on niiden suurin kokonaisterveyteen vaikuttava mekanismi. Hiukkaset voivat myös sisältää palaneesta materiaalista vapautuneita raskasmetalleja, metalleja ja epämetalleja, jotka aiheuttavat kemiallisten ominaisuuksiensa sekä altistuksen suuruuden määräämiä vaikutuksia. Jotkin vapautuneista hiukkasista voivat olla myös radioaktiivisia, kuten tupakansavun polonium 210 (Huovinen M. & Leino U. 2000,370).

2.4.5 Radioaktiiviset hiukkaset

Hengitysilma on veden ja ruoan ohella yksi merkittävä altistusreitti radioaktiivisille aineille. Ihminen hengittää päivässä keskimäärin kymmenen tuhatta litraa ilmaa, jonka sisältämät radioaktiiviset hiukkaset voivat kiinnittyä hengityselimistöön. Hiukkasten kiinnittymiseen vaikuttavat niiden koko sekä fysikaalis-kemiallinen olomuoto. Näistä tärkein ominaisuus on kuitenkin hiukkaskoko, joka on tärkein määräävä tekijä, kun tarkastellaan hiukkasten ominaisuuksien vaikutusta niiden jäämiseen hengityselimistöön. Hiukkasiin vaikuttavat fysikaaliset tekijät ovat painovoima ja hiukkasten inertia, jotka molemmat ovat yhteydessä hiukkasen kokoon sekä massaan. Brownin liikkeestä aiheutuva diffuusio vaikuttaa myös tarttumiseen. Hiukkasten ominaisuuksien lisäksi niiden jäämiseen hengityselimistöön vaikuttavat myös hengityselinten mittasuhteet ja ilman virtausnopeus hengityselimistön eri osissa. Nämä ovat yhteydessä henkilön ikään ja sukupuoleen. (Suomela M. ym. 2003, 262.)

Hengityselimistöä on pyritty mallintamaan sarjalla erilaisia peräkkäisiä suodattimia. Näistä suodattimista ensimmäisenä on nenä, jonka jälkeen tulee nielu ja kurkku. Näiden jälkeen tulevat keuhkoputket, pienet keuhkoputket ja viimeisenä keuhkorakkulat, joista on yhteys imusolmukkeisiin. Nieluun ja kurkkuun tarttuneet hiukkaset päätyvät ruoansulatuselimistöön ja sitä kautta ulos elimistöstä ulosteen muodossa. Keuhkoputket, pienet keuhkoputket ja keuhkorakkulat ovat yhteydessä vereen, josta radioaktiiviset aineet kulkeutuvat kudoksiin ja virtsaan. (Suomela M. ym. 2003, 262.)

Nämä edellisessä kappaleessa kuvatut sarjassa olevat suodattimet toimivat sekä sisään- että uloshengityksessä. Suodattimien ominaisuudet muuttuvat nenästä keuhkorakkuloihin mentäessä siten, että ne monimutkaistuvat ja pienenevät silloin, kun mennään syvemmälle hengityselimistöön. Tästä seurauksena on ilmavirran hidastuminen sekä suodatustehokkuuden kasvu. (Suomela M. ym. 2003, 262.)

Tutkittaessa sisäistä säteilyaltistusta aiheuttavaa altistusta hiukkasten koko vaihtelee yksittäisen atomin halkaisijasta yli 100 μm :n hiukkasiin. Suuren inertian ja massan ansiosta suuren kokoluokan hiukkaset tarttuvat tehokkaasti nenän ja nielun alueelle. Silloin, kun nenä ohitetaan ja hengitetään suun kautta, ohitetaan myös yksi merkityksellinen suodatin, jonka seurauksena sisäänhengitetyt hiukkaset pääsevät syvemmälle keuhkoihin, kuin silloin, kun hengitys tapahtuu pelkästään nenän kautta. Tällaisia tilanteita, joissa nenä ohitetaan ovat erilaiset kuormitustilanteet, joissa tarvitaan tavallista enemmän kaasujenvaihtoa. (Suomela M. ym. 2003, 262.)

Hiukkaset poistuvat hengityselimistöstä siten, että liukenevat aineet imeytyvät vereen ja liukenemattomat taas siirtyvät värekarvaliikkeen avulla nieluun ja siten ruoansulatuselimistöön tai makrofagit siirtävät niitä hitaasti imusolmukkeisiin. Makrofagien merkitys hiukkasten poistumisessa on kuitenkin hyvin vähäinen ja ne kuljettavat vain 0,7 % keuhkoputkiston hiukkasista. Hiukkasten siirtymisestä on kehitetty matemaattinen malli, jonka mukaan keuhkorakkuloissa olevista hiukkasista 30 prosenttia poistuu 35 päivän aikana ja 60 prosenttia puoliintumisajaksi valitun 700 päivän määrittämällä nopeudella. Tämän jälkeen loput hiukkasista poistuvat varsin hitaasti. Tätä mallia voidaan myös soveltaa muihin hengityselimistön osiin. Keuhkoputkien ja pienten keuhkoputkien keräämistä hiukkasista suurin osa siirtyy värekarvaliikkeen avulla nieluun, josta ne jatkavat matkaa ruoansulatuselimistöön. (Suomela M. ym. 2003, 264.)

2.4.6 Hiukkasaltistuksesta aiheutuvat oksidatiivisen stressin terveystaikutukset

Oksidatiivinen stressi on käsitteenä melko uusi ja se määritellään siten, että kyseessä on häiriö pro-oksianttien eli hapettavien aineiden ja antioksidanttien eli hapettamista estävien aineiden välillä, minkä seurauksena on mahdollisesti elimistölle aiheutuva jonkinasteinen vaurioituminen. (Kelly F. & Mudway I. 2006, 90.)

Elimistön luonnolliset puolustuskeinot oksidatiivista stressiä vastaan voivat kuitenkin olla riittämättömät sellaisessa tilanteessa, jossa oksidatiivista stressiä aiheuttaville tekijöille altistutaan siinä määrin, että ne pääsevät merkittävästi vaikuttamaan solujen biomolekyylien (lipidit, DNA, RNA ja proteiinit) tuhoutumiseen (Kelly F. & Mudway I. 2006, 90).

Hengityselimistön altistuessa eniten oksidatiiviselle stressille, on loogista, että sen haitallisia vaikutuksia vastaan suojaudutaan monilla eri tavoilla. Ihmisen hengityselimistö toimii monivaiheisen suodattimen tavoin, jossa suurimmat hiukkaset jäävät ensimmäisiin vaiheisiin eivätkä ne etene keuhkorakkuloihin asti, joissa kaasunvaihto tapahtuu. Fysikaalista suojamekanismia voidaan ajatella monivaiheiseksi suodattimeksi, mutta fysikaalisen mekanismin lisäksi hengityselimistö suojautuu myös kemiallisesti sisäänhengitettyjen hiukkasten hapettavia ominaisuuksia vastaan.

Tästä kemiallisesta suojautumisesta vastaavat pienen molekyylikoon antioksidantit, joita ovat mm. C –vitamiini, uraatti, pelkistetty glutationi ja alfa-tokoferoli eli E –vitamiini. Nämä kemiallisen suojamekanismin yhdisteet eivät ole edustettuna samanlaisina konsentraatioina kaikkialla hengityselimistössä, vaan vaihtelevat siten, että uraatin konsentraatio on korkein hengityselimistön alussa ja laskee loppua kohti mentäessä, kun taas glutationin konsentraatio on korkein hengityselimistön lopussa ja matalin alussa. Kemiallisen suojamekanismin yhdisteet ovat liuenneina hengityselimistöä ympäröivässä nesteessä ja hiukkaset joutuvat kosketuksiin tämän nesteen kanssa ennen kuin ne pääsevät kosketuksiin hengityselimistön solujen kanssa. Tämän takia oksidatiivisen stressin torjunnassa kemiallisen suojamekanismin toiminta on merkittävässä asemassa, koska se pystyy torjumaan hiukkasten haitalliset hapettavat vaikutukset ennen kuin hiukkaset ehtivät olla vuorovaikutuksessa solujen kanssa. (Kelly F. & Mudway I. 2006, 93.)

Hiukkasten terveysvaikutuksia voidaan tutkia niiden oksidatiivisen potentiaalin avulla. Tällaisia tutkimuksia on tehty mm. dieselmoottorin pakokaasun, tupakansavun ja mineraalipölyn sisältämistä hiukkasista (Kelly F. & Mudway I. 2006, 90). Oksidatiivinen potentiaali tarjoaa helpon ja nopean tavan tutkia hiukkasten oletettuja terveysvaikutuksia hiukkasten koon, muodon ja kemiallisen koostumuksen ohella.

3 SISÄ- JA ULKOILMAN HIUKKASTEN MITTAAMINEN

Hiukkasia pyritään mittaamaan niiden terveydellisten tai tuotannollisten vaikutusten takia. Mikrobiologisten hiukkasten mittaaminen on yleistä kosteusvauriokohteissa ja erilaisissa puhdastiloissa tutkitaan sekä ilman mikrobiologista laatua että hiukkasten määrää.

3.1 Mittausmenetelmät ja niillä mitattavat ominaisuudet

Mittausmenetelmissä hyödynnetään hiukkasten fysikaalisia, kemiallisia ja/tai mikrobiologisia ominaisuuksia niiden määrän ja laadun tunnistamiseen. Menetelmistä tulee valita sellainen, joka soveltuu käyttötarkoitukseen.

3.1.1 Inertiaan perustuvat menetelmät

Newtonin ensimmäisen liikelain mukaan levossa olevat kappaleet pysyvät levossa ja liikkuvat kappaleet taas pysyvät liikkeessä, joka pysyy suunnaltaan ja nopeudeltaan samana, jos kappaleeseen ei kohdistu ulkoapäin vaikuttavaa voimaa (The Physics Classroom 2013). Lyhyesti ilmaistuna kappaleet pyrkivät jatkamaan matkaansa ja vastustavat niihin kohdistuvan voiman aiheuttamaa suunnanmuutosta. Kappaleen kyky vastustaa siihen kohdistuvan voiman aiheuttamaa suunnanmuutosta tunnetaan myös massan hitautena. Kaavasta $F = ma$ (voima=massa*kiihtyvyys) saadaan johdettua $\frac{F}{m} = a$. Näin ollen suurimassaisten hiukkasten suunnanmuutos on pienempi, kuin pienimassaisten, kun niihin vaikuttava voima on samansuuruinen.

Inertiaan perustuvassa suodattimessa hyödynnetään massan hitautta siten, että ilmavirta kuljettaa hiukkasia ja ilmavirta pakotetaan suunnanmuutokseen, jossa ilman mukanaan kuljettamat hiukkaset eivät massan hitauden takia pysy ilmavirran mukana (Herva T. & Hokkanen V-M. 2011, 16). Hiukkaset kerätään suodattimessa käytettävään suodatinelementtiin, joka voi esimerkiksi olla kasvatusalusta, jolle hiukkaset halutaan kerätä myöhempiä tutkimusta varten (Asumisterveysopas 2009, 159).

Ihmisen hengityselimistö on myös eräänlainen inertiaan perustuva suodatin, jossa syvemmälle mentäessä hengityselimistössä olevat kaarteet, joiden kautta hiukkasten täytyy edetä, kapenevat. Tästä aiheutuu se, että vain kaikista pienimmät hiukkaset pystyvät etenemään keuhkorakkuloihin asti, mikä selittää pienhiukkasten haitallisia terveysvaikutuksia. Inertiaan perustuvaa analyysimenetelmää voidaan hyödyntää siten terveysvaikutusten tutkimisessa, että monivaiheisen impaktorin vaiheet erottelevat hiukkasia samalla tavalla, kuin ihmisen hengityselimistö (Herva T. & Hokkanen V-M. 2011, 17) Näin voidaan esimerkiksi ottaa tarkasteluun monivaiheimpaktorin viimeisen vaiheen suodatin ja keskittää tutkimus pelkästään niihin hiukkasiin, jotka pääsevät kaikista syvimmälle hengityselimistöön.

Inertiaan perustuva analyysimenetelmä on yksinkertainen ja halpa tapa erotella eri kokoluokan hiukkaset omiin osioihinsa. Menetelmään tarvitaan vain keräin, suodatusalustoja ja sellainen ilmapumppu, joka pumppaa ilmaa keräimen läpi halutulla nopeudella (Asumisterveysopas 2009, 158). Mikrobeja varten tarvitaan elatusalustoja ja kemiallista analyysiä varten sopivasta materiaalista valmistettu suodatin, josta saadaan suodatinmateriaalille ja tutkittavalle aineelle soveltuvalla näytteenkäsittelyllä sekä analyysimenetelmällä halutut tulokset.

Inertiaan perustuvista menetelmistä sisäilman mikrobipitoisuuden selvittämisessä käytetään mikrobien näytteenottoon suositeltavimmin kuusivaiheimpaktoriksi kutsuttua laitetta, joka kerää sisäilmassa esiintyvät biologiset tutkittavat hiukkaset (bakteerit ja homeitiöt) kuusivaiheimpatoriin asetetuilla kasvatusalustoille (Asumisterveysopas 2009, 158).

TAMK:n käytössä oleva M Air T™ Millipore Air Tester –impaktori on eräs tällainen inertiaan perustuva mittauslaite, joka toimii samalla periaatteella kuin kuusivaiheimpaktori, mutta sisältää vain yhden vaiheen.

3.1.2 Optiset menetelmät

Optisissa menetelmissä hyödynnetään valon ja hiukkasten välistä vuorovaikutusta. Tätä vuorovaikutusta pystytään mallintamaan matemaattisesti, minkä seurauksena sitä pystytään käyttämään hiukkasten mittaamiseen.

3.1.3 Lasersäteen siroaminen hiukkasista

Hiukkasten mittaamisessa lasersäteen avulla hyödynnetään valon siroamista, jossa kiinteä aine (hiukkanen) ja valonsäde ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Siroamisessa on oikeastaan kyse kolmen optisen ilmiön ilmenemisestä samanaikaisesti. Nämä ilmiöt ovat 1) heijastuminen, 2) refraktio eli taipuminen ja 3) diffraktio eli ilmiö, jossa valo muuttaa suuntaansa kulkiessaan aukon läpi (Webb P. 2000, 10).

Siroaminen voi tapahtua joko siten, että valonsäde siroaa suoraan valonlähteestä yhden hiukkasen kautta osaksi siroamiskuviota tai siten, että valonsäde kohtaa useita hiukkasia ja vaimentuu ennen kuin se päättyy osaksi siroamiskuviota. Hiukkasten koon lisäksi myös niiden konsentraatio sekä taittoindeksi vaikuttavat siroamiskuvioon. Jos hiukkasten taittoindeksi on sama kuin sen väliaineen, jossa ne ovat, niin siroamista ei tapahdu, koska valo pääsee jatkamaan matkaansa hiukkasten läpi muuttamatta suuntaansa, mutta mitä suurempi väliaineen ja hiukkasten taittoindeksien ero on, niin sitä suurempi on valon ja hiukkasten vuorovaikutuksesta aiheutuvan siroamisen voimakkuus. (Webb P. 2000,11-12.)

1800 -luvulla siroamisen tutkimisessa oli lukuisia edistysaskelia, jotka kuitenkin koskivat vain hyvin rajattuja tapauksia. Vuonna 1906 Gustav Mie kehitti pyöreille hiukkasille soveltuvan teorian, joka pystyy ennustamaan hiukkasten ja valon vuorovaikutuksesta syntyvän sironneen valon voimakkuuden ja kulman. Mien teoria kuitenkin soveltuu vain pyöreille ja isotrooppisille hiukkasille, jotka ovat samanlaisessa vuorovaikutuksessa niihin osuvan valon kanssa riippumatta siitä, että mihin kohtaan valonsäde hiukasta osuu. Mien teoriaan soveltuvan valon tulee olla monokromaattista eli koostua vain yhdestä aallonpituudesta sekä koostua ainoastaan tasoalloista. (Webb P. 2000,10-11.)

Laservalon monokromaattisuus ja se, että laservalonlähteestä lähtevä säteily on samassa vaiheessa aiheuttaa sen, että siroamisesta aiheutuva siroamiskuvio on ääriarvoiltaan ja muodoltaan hyvin erotteleva ja sisältää selkeät minimi- ja maksimit. Tätä siroamiskuviota voidaan tarkastella reaaliaikaisesti optisella detektorilla, jonka antamaa dataa voidaan tarkastella ja tulkita Mien teorian avulla ja siten laskea ilmassa olevien hiukkasten lukumäärä sekä niiden kokojakauma. Käytännössä hiukkasmittari sisältää ilmapumpun, joka imee vakiomäärän ilmaa tunnetussa ajassa lasersäteiden läpi, josta

detektoriin tai detektoreihin sironnut valo aiheuttaa sähköisen ja tietokoneellisesti laskettavan impulssin, jolla on sellainen intensiteetti, joka on yhteydessä mitattavan hiukkasen halkaisijaan (Paul. A. Webb. 2000,23).

Teorian soveltaminen käytäntöön vaati kuitenkin sopivan valonlähteen kehittämisen. Ensimmäinen rubiinilaser keksittiin 54 vuotta myöhemmin vuonna 1960 ja vuonna 1962 kehitettiin ensimmäinen diodilaser (About.com 2013). Kun diodilaser, optinen detektori ja riittävän tehokas pienikokoinen tietokone yhdistetään, niin saadaan käsikäyttöinen laite, jolla voidaan määrittää reaaliaikaisesti jonkin tilan sisältämien hiukkasten määrää sekä kokojakaumaa.

Tosielämän hiukkaset, joita hiukkasmittareilla mitataan, ovat kuitenkin harvoin täysin pallomaisia ja pinnaltaan sellaisia, että niihin osuva valonsäde muuttaa ominaisuuksiaan samoin riippumatta hiukkasen asennosta valonsäteeseen nähden, mikä aiheuttaa epätarkkuutta mittaustuloksiin. Epätarkkuutta tuo myös se, että hiukkasen koon ja sironnituksen intensiteetin välillä oleva yhteys ei ole täysin lineaarinen, vaan siitä muodostettu kuvaaja, jossa intensiteetti on halkaisijan funktiona, on aaltoileva, mutta kuitenkin nouseva, kun tarkasteluväli on riittävän suuri. Tämän ilmiön vaikutus voidaan kuitenkin minimoida siten, että se otetaan huomioon laitteen suunnittelussa, jossa valitaan sironneen säteilyn ilmaisukulma. Mittaamista rajoittaa myös se, että esimerkiksi 50 nm ja 20 µm halkaisijan hiukkasten välillä on 10^{10} suuruinen ero sironneen valon intensiteetissä. Hiukkasmittareissa käytetyt detektorit ovat kuitenkin dynamiikaltaan rajallisia ja siksi mittaaminen täytyykin rajata tietyille välille tai käyttää useita eri detektoreita, joilla pystytään kattamaan laajempi mitta-alue. (The University of Manchester Centre for Atmospheric Science 2012.)

Laservalon sironnukseen perustuvilla optisilla hiukkasmittareilla on tyypillistä se, että niitä ei tehdä sellaisiksi, että ne kertoisivat tarkalleen hiukkasen koon, vaan laite kalibroidaan tunnetun kokoluokan hiukkasilla siten, että saadaan selville laitteen vaste koko mitta-alueella (The University of Manchester Centre for Atmospheric Science 2012). Nämä tehtaalla asetetut kokoluokat ovat 0,5, 0,7, 1,0, 3,0, 5,0 ja 10,0 µm TAMK:n käytössä olevalla Lighthouse Handheld 5016 –mittarilla (Lighthouse Worldwide Solutions 2005, 14). Laitteelle on laadittu käyttöohje (liite 1). Kalibroinnin avulla tunnetuista hiukkasten halkaisijoista poikkeavat vasteet voidaan kuitenkin laskea ja ne päätyvät johonkin laitteeseen valmiiksi asetettuun laskuriin, joka laskee oman

kokoluokkansa hiukkasia. Havainnollistavana esimerkkinä: jos hiukkasia lasketaan halkaisijoissa 5 ja 10 μm , niin 6 ja 12 μm hiukkaset lasketaan molemmat lähimpään laskuriin, vaikka ne poikkeavatkin absoluuttisesta arvosta.

Hiukkasmittareita käytetään erilaisissa puhdastiloissa ja sellaisissa tiloissa, joissa halutaan pitää hiukkasten määrä mahdollisimman pienenä (esim. erilaiset mikrosiruja valmistavat tehtaot) kontaminaation välttämiseen ja tunnistamiseen. Reaaliaikaisella hiukkasmittauksella pystytään tunnistamaan, jos puhdastilassa tai tehtaassa olevan ilman sisältämien hiukkasten määrän ja laadun raja-arvot ylittyvät. Hiukkasmittari kertoo hiukkasista ainoastaan niiden määrän ja kokojakauman.

3.1.4 Opasiteetin mittaaminen

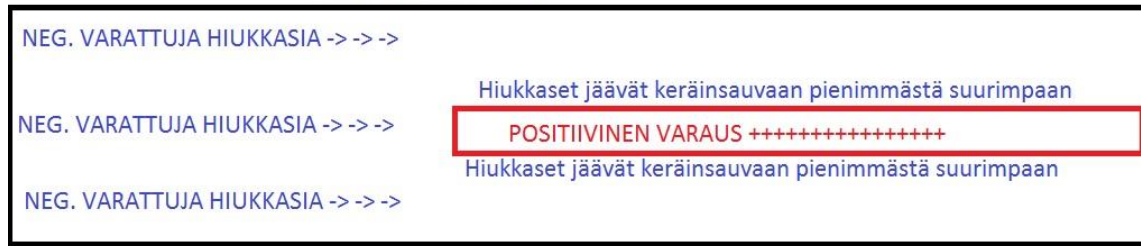
Hiukkasia voidaan myös mitata siten, että tutkitaan niiden läpi kulkeneen valon vaimenemista. Tämä vaimeneminen aiheutuu sekä siroamisesta että siitä, että hiukkaset absorboivat niihin osunutta valoa. Opasiteetti on yhteydessä hiukkasten kokojakaumaan sekä taittoindeksiin. Tutkimuksessa ”Application of CEMs - Opacity of particulate air pollutants, Wei-Shun Lin, Sheng-Hsiu

Huang, Chih-Chieh Chen, Institute of Occupational Medicine and Industrial Hygiene, College of Public Health, National Taiwan University” huomattiin, että opasiteettia pystytään käyttämään ilman sisältämien hiukkasten kvantitatiivisessa tutkimuksessa siten, että opasiteetti voidaan muuttaa massakonsentraatiyksi.

3.1.5 Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät

Sähkövaraukseen perustuvia hiukkasten laskentamenetelmiä käytetään silloin, kun laskettavat hiukkaset ovat halkaisijaltaan alle 0,3 μm . Tätä halkaisijaa suurempia hiukkasia pystytään laskemaan helposti valon sirontaan perustuvilla menetelmillä. (Whitby K. & Clark W 1965). Menetelmä perustuu siihen, että tarpeeksi pienillä hiukkasilla sähkövarauksen kvantittunut luonne tulee esiin siinä, että saman varauksen saaneilla hiukkasilla sähköinen liikkuvuus on käänteisesti verrannollinen niiden massa.

NEGATIIVINEN VARAUS -----



KUVA 2. Sähkövaraukseen perustuvan hiukkasmittarin toimintatapa (Whitby K. & Clark W. 1965)

Sähkövaraukseen perustuva hiukkasmittari voidaan toteuttaa siten, että ensin tutkittavat hiukkaset varataan siten, että niiden saamat sähkövaraukset ovat hyvin lähellä toisiaan. Tämän jälkeen varattuja hiukkasia sisältävä aerosoli laitetaan kulkemaan sellaisen sylinterin läpi, jonka reunat ovat varautuneet negatiivisesti ja sylinterin keskellä on positiivisesti varattu sauva (Whitby K. & Clark W 1965). Tällaisen laitteiston toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 2. Massan hitauteen perustuen hiukkaset osuvat keskellä olevaan keräyssauvaan erottuen siten, että sellaiset hiukkaset, joiden massa/varaus –suhde on korkein, etenevät kaikista pisimmälle.

3.1.6 Kemiallisten ominaisuuksien mittaaminen

Jos hiukkasten kemiallisesta koostumuksesta halutaan saada tietoa, niin tarvitaan sellaista näytteenkeräystä ja näytteenkäsittelyä, joilla hiukkasten sisältämät kemialliset yhdisteet saadaan analysoitavaan muotoon. Yksinkertaisimmillaan kemiallisen koostumuksen tutkimiseen käytetään sopivaa suodatinta, johon halutun kokoluokan hiukkaset jäävät. Suodatin on valmistettu sellaisesta materiaalista, että siihen kerättyä näytettä voidaan käsitellä halutulla tavalla. Jos käytetään orgaanisesta materiaalista valmistettua suodatinta, niin suodatin voidaan tuhkistaa, jolloin suodattimen sisältämät orgaaniset hiiliyhdisteet muuttuvat riittävän lämpötilan ja hapen kanssa kaasumaiseen olomuotoon (Valmari T. & Pöllänen R. 2003, 103). Jäljelle jäävä tuhka sisältää sellaisia yhdisteitä, jotka eivät haihdu tuhkistusuunissa käytetyssä korkeassa lämpötilassa.

Tuhkistuksessa saatu tuhka voidaan käsitellä edelleen siten, että se liuotetaan esimerkiksi typpihappoon ja saatua liuosta voidaan analysoida FAAS- tai GAAS - tekniikoilla. On myös mahdollista käyttää lasikuidusta valmistettua suodatinta, joka voidaan liuottaa fluorivetyhapon ja typpihapon liuokseen (Valmari T. & Pöllänen R. 2003, 103). Atomiabsorptiospektrometriaan perustuvat tekniikat hyödyntävät liekin avulla atomisoidun näytteen kykyä absorboida kullekin alkuaineelle ominaisilla aallonpituuksilla kyseiselle aineelle soveltuvalla lampulla tuotettua valoa, jonka vaimentumista sen kulkiessa atomipilven läpi voidaan mitata. Tämä vaimentuminen eli absorbanssi on verrannollinen näytteen sisältämän tutkittavan alkuaineen konsentraatioon, kun sitä mitataan alkuaineelle soveltuvalla aallonpituudella

3.1.7 Mikrobiologisten ominaisuuksien mittaaminen

Sisäilmassa tavattavien mikrobiologisten hiukkasten määrittämiseen käytetään niiden ominaisuutta pyrkiä lisääntymään ja muodostamaan pesäkkeitä sopivasta elatusaineesta koostuvalla alustalla. Mikrobit saadaan lisääntymään niille ominaisessa inkubaatiolämpötilassa, jossa maljoja pidetään sopiva aika. Kuten normaalissa mikrobiologisessa analyysissä, jossa mikrobit tuodaan kosketukseen petrimaljalla olevan elatusaineen kanssa, myös ilman mikrobiologisessa analyysissä toimitaan samoin. Sisäilma vaatii näytteenottoon impaktorin ja ilmapumpun, jolla ilmaa pumpataan tunnettu tilavuus siten, että ilmassa olevat mikrobit jäävät maljalle mikrobiologista tutkimusta varten (Asumisterveysopas 2009, 158). Tällaiselle TAMK:n inertiaan perustuvalla yksivaiheimpaktorille on laadittu käyttöohje (liite 2).

Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi sisäilman mikrobiologisia hiukkasia mitataan yleensä silloin, kun niiden pitoisuus on ulkoilmassa pienemmillään eli talvisin. Tällöin mitattujen sisäilman hiukkasten voidaan olettaa olevan peräisin pelkästään siitä rakennuksesta, jossa mittaus suoritetaan. Jos mittaus tehdään muulloin, kuin talvella, niin ulkoilman hiukkasista tulee yksi ylimääräinen eliminoitava muuttuja, joka huomioidaan siten, että ulkoilmasta otetaan vertailunäyte samalla tekniikalla, kuin sisäilmasta. Asumisterveysopas ohjeistaa ottamaan vertailunäytteen siten, että se tulee ottaa 1,5 m korkeudelta maanpinnasta vähintään viisi metriä rakennuksen lähimmästä seinästä. Katoksessa näytettä ei tule ottaa muulloin kuin silloin, kun sataa. Saatuja tuloksia voidaan vertailla samalla alueella olevaan samanlaiseen rakennukseen, josta

tiedetään, että siinä ei ole homevauriota. Ennen näytteenottoa asunnossa ei tule siivota, käsitellä polttopuita tai viedä siihen lemmikkejä. Kattava sisäilman mikrobiologisten hiukkasten analyysi vaatii useita mittauksia eri huoneista, joissa kosteusvauriosta johtuvaa mikrobiologisten hiukkasten kohonnutta pitoisuutta epäillään. Nämä mittaukset tulee myös suorittaa eri aikoina, jotta voidaan muodostaa käsitys huoneiston ilman normaalista mikrobihiukkaspitoisuudesta. (Asumisterveysopas 2009, 157.)

Hyvin tyypillinen laite sisäilman mikrobiologista laatua tutkittaessa on Andersen -keräin. Andersen -keräimessä on kuusi maljapidintä, joissa olevien reikien kautta ohjataan ilmaa maljoille. Andersen -keräimen maljapitimet kootaan tietyssä järjestyksessä, jolloin maljoille suodattuvat vain tietyn kokoluokan hiukkaset. Asumisterveysopas antaa tarkat ohjeet näytteenottoon impaktorilla. Impaktorin kontaminoituvat osat tulee desinfioida upottamalla ne 70 % etanoliin, jonka jälkeen ne kootaan impaktorin mukana tulevan ohjeen mukaisesti siten, että näytteenottajasta tulevat hiukkaset eivät pääse vääristämään tuloksia. Näytteenotolle on annettu kestoksi ohjeellinen arvo 10 minuuttia, josta voidaan joustaa ylös- tai alaspäin. Ohjeellisesta arvosta voidaan poiketa, jos tilan oletettu mikrobiologisten hiukkasten pitoisuus on suuri tai pieni. Sen jälkeen, kun mittaus on suoritettu, kuusivaiheimpaktori puretaan, maljoihin laitetaan kannet ja ne teipataan sopivin merkinnöin inkubaatiota ja tulosten tulkintaa varten. Maljoina käytetään 9 cm halkaisijaltaan olevia 25 ml agaria sisältäviä maljoja. Impaktorin ilmapumpun ilmatilavuudensiirtonopeus on 28,3 l/min. (Asumisterveysopas 2009, 158.) Tällä nopeudella saavutetaan suurin keräystehokkuus (Thermo Scientific 2009).

Sisäilmassa aerosoleina olevien mikrobiologisten hiukkasten lisäksi voidaan myös pinnoilta ottaa hiukkasnäytteitä niille laskeutuneista hiukkasista. Tällaiset pintanäytteet tulee säilyttää kylmässä (4-8 °C) ja viljely tulee suorittaa seuraavana päivänä. Pintanäytteestä tehdään kahdelle rinnakkaismaljalle vähintään kolmen laimennuksen sarja. Maljat kasvatetaan siten, että niiden kannet ovat alaspäin 25 °C +/- 3 °C lämpötilassa. Bakteerialustojen kasvatusaika on 7-14 vrk ja sienialustojen 7 vrk. (Asumisterveysopas 2009, 160.)

3.1.8 Radioaktiivisten hiukkasten mittaaminen

Radioaktiivisia hiukkasia mittaustarkoituksiin suodatettaessa tulee suodatetun ilmamäärän olla suuri eli 100-1000 kuutiometriä tunnissa. Näytteiden suodattamiseen käytetään yleensä lasivillasta koostuvia suodattimia, joissa hiukkaset kerääntyvät pääasiassa kuitujen väleihin. Havaitsemisraja cesiumin isotoopille 137 ja jodin isotoopille 131 on Säteilyturvakeskuksen käyttämällä germaniumilmaisimilla yksi $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ viikon näytteenkeräysajalla ja vuorokauden mittaussajalla. (Valmari T. & Pöllänen R. 2003, 102.)

Hiukkasten havaitsemisrajat riippuvat nuklidista, suodatetusta ilmamäärästä sekä muista radioaktiivisista aineista, joita näytteessä on. Tämän lisäksi vaikuttaa mittausaika eli suodatetun ilman tilavuus, ilmaisimen tehokkuus sekä se taustasäteilyn määrä, jolle ilmaisin altistuu. Taustasäteilyä vähennetään suojaamalla ilmaisimella ja näyte esimerkiksi lyijyllä vuorattuun astiaan. Jotkin nuklidit voivat olla puoliintumisajaltaan sellaisia, että niitä voidaan havaita vain lyhyen ajan sisällä niiden syntymisestä. Puoliintumisaika vaikuttaa havaitsemistarkkuuteen myös siten, että se vähentää mitattavissa olevan radioaktiivisen isotoopin määrää ja siten nostaa havaitsemisrajaa (Valmari T. & Pöllänen R. 2003, 103-104.)

Suodattamalla saatujen hiukkasten näytteenkäsittely riippuu valitusta suodatintyyppistä. Jos käytössä on orgaanisesta aineesta koostuva suodatin, niin se voidaan polttaa kuumassa lämpötilassa tuhaksi, jolloin suodattimen keräämät radioaktiiviset aineet konsentroituvat ja niiden mittaaminen on huomattavasti helpompaa, kuin siinä tapauksessa, että mittaus tehtäisiin kokonaisesta suodattimesta. Myös suola-, typpi-, ja fluorivetyhappoa voidaan käyttää suodatettujen radioaktiivisten aineiden irrottamiseen suodattimesta. (Valmari T. & Pöllänen R. 2003, 103.)

Radioaktiivisia hiukkasia voidaan kerätä myös impaktorilla siten, että ne jakautuvat keräysalustoille kokoluokan mukaisesti. Tällaisen kokoluokan perusteella lajittelevan keräimen toimintaperiaate vastaa sisäilman mikrobien keräämisessä käytetyn kuusivaiheimpaktorin toimintaperiaatetta. Tällaisella impaktorilla voidaan myös suodattaa pois jotkin tietyn kokoluokan hiukkaset ja tutkia esimerkiksi vain pienhiukkasia, jotka kerääntyvät viimeiseen vaiheeseen, jossa voidaan käyttää myös suodatinta. (Valmari T. & Pöllänen R. 2003, 102.)

4 POHDINTA

Työssä luotiin yleissilmäys sisä- ja ulkoilman tärkeimpiin hiukkasiin, niiden lähteisiin ja terveysvaikutuksiin. Käsiteltyjen hiukkasten valinta painottui sellaisiin hiukkasiin, jotka ovat tunnetuilta terveysvaikutuksiltaan merkityksellisimmät. TAMK:n käytössä olevien hiukkasmittarien teoreettista taustaa esiteltiin mittausmenetelmiä käsittelevässä osuudessa.

Työn tavoitteena ollut opetusmateriaalien luominen TAMK:n käyttöön toteutui. TAMK:n hiukkasmittareille luodut suomenkieliset käyttöohjeet helpottavat laitteiden käyttöönottoa sekä pidentävät laitteiden käyttöikää, kun niitä pystytään käyttämään oikein. Myös teoreettista osuutta pystytään käyttämään opetuksessa joko sellaisenaan otteina tai tutustumalla opinnäytetyön lähteinä olleisiin julkaisuihin, tutkimuksiin ja Internet –lähteisiin.

Työn lähteet mahdollistavat opinnäytetyön aiheisiin tutustumisen opinnäytetyön esitystä suuremmassa laajuudessa, jos sille on tarvetta. Erityisesti Sisäilmastoseminaarin julkaisut olivat rikas lähde sisäilman hiukkasten käsittelemiseen ja Particle Toxicology –kirjassa käsiteltiin laajasti erityisesti palamisesta syntyviä hiukkasia ja niiden holistisia terveysvaikutuksia. Kirjassa esitelty oksidatiivisen stressin käsite selittää monessa tapauksessa hiukkasten terveysvaikutuksia, jotka aiheutuvat elimistön solujen hapettumisesta. Oksidatiivista stressiä käsiteltiin omassa osuudessaan, koska se selittää lukuisten erityisesti palamisessa syntyvien hiukkasten terveysvaikutuksia niitä yhdistävän oksidatiivisen potentiaalin kautta.

TAMK:n optisen Lighthouse 5016 –hiukkasmittarin (liite 1) sekä M Air T™ Millipore Air Tester –impaktorin (liite 2) käyttöohjeiden laadinta vaati laitteiden toimintaan tutustumista käytännössä. Näistä laitteista hiukkasmittari oli huomattavasti impaktoria monimutkaisempi näytteenottoparametrien suhteen, kun taas impaktori oli hiukkasmittaria monivaiheisempi saattaa näytteenottovalmiuteen. Jatkotutkimuksen aiheeksi sopisi kuusivaiheimpaktorin käsitteleminen käytännössä ja teoriassa.

LÄHTEET

About.com. 2013. History of Lasers. Luettu 28.10.2013.
<http://inventors.about.com/od/lstartinventions/a/laser.htm>

ACAAI. n.d. Dust Allergy Management. Luettu 30.10.2013.
<http://www.aaaai.org/allergist/allergies/Types/dust-allergy-information/Pages/indoor-allergies-relief.aspx>

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2001. Public Health Statement for Asbestos. <http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=28&tid=4>

Aspec Asbestos Specialists n.d. What is Asbestos.
<http://www.aspecty.com.au/cms/index.php/about-asbestos/what-is-asbestos.html>

Automobile Association Developments Limited. 2013. Diesel Particulate Filters. Päivitetty 3.5.2013. Luettu 28.10.2013. http://www.theaa.com/motoring_advice/fuels-and-environment/diesel-particulate-filters.html

Bølling A., Pagels J., Yttri K., Barregard L., Sallsten G., Schwarze1 P. & Boman C. 2009. Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties.

Camfil Clean Air Solutions. Luettu 6.11.2013.
<http://www.filterair.info/articles/article.cfm/ArticleID/18975763-461F-4F08-8DF31897027EF0BF/Page/1>

Clean Virginia Waterways, Longwood University. Cigarette Filters. Luettu 31.10.2013.
<http://www.longwood.edu/cleanva/cigbuttfilters.htm>

Commonwealth of Massachusetts. 2013. History of Diesel Fuel & Engines. Luettu 11.11.2013. <http://www.mass.gov/eea/agencies/massdep/air/programs/history-of-diesel-fuel-and-engines.html>

DeLeo V. , Altman E., Christiano A., Jones D., Michael E., Perez M., Reichel M. & Tok J. 1998. Structure, Function and Immunology of the Skin. Luettu 30.10.2013.
<http://med-stud.narod.ru/med/immunology/skin.html>

Dulyan A. 2005. Asbestos (tremolite) silky fibres from Val di Susa, Italy. Photograph taken at the Natural History Museum, London. Luotu 22.2.2005. Luettu 27.11.2013.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Asbestos_fibres.jpg

ECHA. Nanomateriaalit. Luettu 6.11.2013. <http://echa.europa.eu/fi/chemicals-in-our-life/nanomaterials>

Environmental Health & Engineering, Inc. 2011. Emissions of Hazardous Air Pollutants from Coal-fired Power Plants. Julkaistu 7.3.2011. Luettu 1.11.2013.
<http://www.lung.org/assets/documents/healthy-air/coal-fired-plant-hazards.pdf>

EPA. 2013. Regulatory Standards. Päivitetty 21.2.2013. Luettu 11.11.2013.
<http://www.epa.gov/cleandiesel/reg-prog.htm>

- Eudy J. 2003. Human Contamination. Luettu 30.10.2013. Uudelleenjulkaistu huhtikuussa 2003. <http://www.cintas.com/PDF/CleanroomResources/CintasApr03.pdf>
- Haahtela T. 2009. Sisäilman bakteerit ja virukset. Julkaistu 20.11.2009. Luettu 11.11.2013.
http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti/%5C%5Cwww.yyl.fi/http://www.duodecim.fi/%5C%5Cwww.emedicine.com/derm/%5C%5Cwww.emedicine.medscape.com/article/tk.koti?p_osio=&p_teos=alg&p_artikkeli=alg00306
- Halvari P. 2006. Asbestisairaudet. Julkaistu 5.6.2006. Luettu 28.10.2013.
www.khshp.fi/default.asp?link=148.457
- Hannuksela M. 2009. Eläinhilseet, pölypunkki, siitepölyt ja homesienet atooppisessa ihottumassa. Päivitetty 20.11.2009. Luettu 28.10.2013.
http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti/tk.koti?p_artikkeli=alg00103&p_teos=alg&p_osio=&p_selaus=
- Harris T. nd. How Laser Printers Work. Luettu 31.10.2013.
<http://computer.howstuffworks.com/laser-printer.htm>
- Heatingoil.com. 2009. How Oil Heating Systems Work. Luettu 31.10.2013. Julkaistu 27.7.2009. http://www.heatingoil.com/wp-content/uploads/2009/09/how_oil_heating_systems_work.pdf
- Herva T. & Hokkanen V-M. 2011. N6-yksivaihekeräimen (Andersen) käyttöönotto sisäilman mikrobiutkimuksissa. http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0369-3/urn_isbn_978-952-61-0369-3.pdf
- Hiukkastieto. 2013a. Mikä on pienhiukkanen. Luotu 20.10.2013. Luettu 27.11.2013.
<http://hiukkastieto.fi/node/18>
- Hiukkastieto. 2013b. Mitä eroa on aerosolihiuksella ja molekyylillä? Luotu 14.1.2013. Luettu 6.11.2013. <http://hiukkastieto.fi/node/147>
- Huovinen M. & Leino U. 2000. Suomen terveellisin kirja.
- International Ban Asbestos Secretariat. 2013. Chronology of National Asbestos Bans. Päivitetty 3.9.2013. Luettu 28.10.2013. http://ibasecretariat.org/asbestos_ban_list.php
- Interpro. 2004. Catalase. Luettu 28.10.2013.
http://www.ebi.ac.uk/interpro/potm/2004_9/Page2.htm
- Invernizzi G., Ruprecht A., Mazza R., Rossetti E., Sascio A., Nardini S., Boffi R. 2004. Particulate matter from tobacco versus diesel car exhaust: an educational perspective. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1747905/pdf/v013p00219.pdf>
- Kelly F & Mudway I. 2006. Particle-Mediated Extracellular Oxidative Stress in the Lung. *Particle Toxicology*, 89-118.
- Kerätär R. & Reijula K. 1995. Kosteusvaurioon liittyvän homepöly-altistuksen aiheuttama allerginen alveoliitti. Luettu 28.11.2013.
http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/etusivu?p_p_id=dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku&p_p_action=1&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_dlehtihaku_vie

w_article_WAR_dlehtihaku__spage=%2Fportlet_action%2Fdlehtihakuartikkeli%2Fviewarticle%2Faction&_dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_tunnus=duo50246&_dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_p_frompage=uusinumero

Khair M. & Jääskeläinen H. Combustion in Diesel Engines. 2010 Päivitetty lokakuussa 2010. http://www.dieselnet.com/tech/diesel_comb.php

Yinon L. 2010. Ultrafine particle emissions: Comparison of waste-to-energy with coal- and biomass-fired power plants. Luettu 1.11.2013. http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/yinon_thesis.pdf

Lighthouse Worldwide Solutions. 2005. Handheld 3016/5016 Operating Manual. http://www.breathepureair.com/pdf/lighthouse/3016_5016-manual.pdf

Lin W., Huang S., Chen C. Application of CEMs - Opacity of particulate air pollutants. <http://omih.ntu.edu.tw/CHT/program/981poster/poster/2/d96841002%E6%9E%97%E6%9A%90%E8%88%9C95x11524.pdf>

NGK. 2013. Dieselmoottorin toimintatapa. Luettu 28.10.2013. <http://www.ngk.de/fi/tekniikka-yksityiskohtaisesti/hehkutulpat/hehkutulppien-perusteet/dieselmoottorin-toimintatapa/>

NHS. 2012. Asbestosis Luettu 28.10.2013. Päivitetty 9.11.2012. <http://www.nhs.uk/Conditions/Asbestosis/Pages/Introduction.aspx>

Porter D., Leonard S. & Castranova V. 2006. Particles and Cellular Oxidative and Nitrosative Stress. Particle Toxicology, 119-138.

Puhakka E., Kärkkäinen J., Korhonen M. & Hietanen L. 2006. Hiukkasten hallinta rakennuksissa: Sisäilman mineraalikuidut. Sisäilmastoseminaari 2006.

Pöllänen R. 2003. Radioaktiiviset aineet, säteily ja ympäristö. Säteily ympäristössä, 11-27.

Radiation Effects Research Foundation. 2007. How radiation affects cells. Luettu 28.10.2013. http://www.rerf.jp/radefx/basic_kno_e/radcell.htm

Safe Work Australia. 2011. Brief Review on Health Effects of Laser Printer Emissions Measured as Particles. <http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/Publications/Documents/636/Brief%20Review%20Laser%20Printer%20Emissions.pdf>

Salkinoja-Salonen M. 2009. Mikrobitoksiinit sisätiloissa. Sisäilmastoseminaari 2009, 19-24.

Suomela M., Rahola T., Muikku M. 2003. Sisäinen säteily. Säteily ympäristössä s. 245-300.

Terho E. Orgaanisten pölyjen aiheuttamat keuhkorakkuloiden reaktiot. Luettu 30.10.2013. http://www.therapiafennica.fi/wiki/index.php?title=Allergiset_keuhkosairaudet

The Physics Classroom. 2013. Newton's Laws of Motion. Luettu 28.10.2013.
<http://www.physicsclassroom.com/Class/newtlaws/u211b.cfm>

The University of British Columbia. Typical Asbestos Use. Luettu 28.10.2013.
<http://riskmanagement.ubc.ca/health-safety/asbestos-management/typical-asbestos-use>

The University of Manchester Centre for Atmospheric Science. 2012. Optical Particle Counters. Luettu 28.10.2013.
<http://www.cas.manchester.ac.uk/restools/instruments/aerosol/opc/>

Thermo Scientific. 2009. Thermo Scientific Six Stage Viable, Andersen Cascade Impactor Bioaerosol and microbial particle sizing sampler. Luettu 28.10.2013.
http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Various/File_53398.pdf

Työsuojeluhallinto. 2013. Asbesti. Päivitetty 14.10.2013. Luettu 28.10.2013.
<http://www.tyosuojelu.fi/fi/asbesti>

Työterveyslaitos. 2010a. Keuhkojen ja keuhkopussin syövät.
http://www.ttl.fi/fi/tyoterveyshuolto/ammattitaudit/esimerkkeja_ammattitaukeista/keuhkojen_ja_keuhkopussin_syovat/Sivut/default.aspx. Päivitetty 12.11.2010. Luettu 11.11.2013.

Työterveyslaitos. 2010b. Asbestoosi. Päivitetty 12.11.2010. Luettu 28.10.2013.
http://www.ttl.fi/fi/tyoterveyshuolto/ammattitaudit/esimerkkeja_ammattitaukeista/asbestoosi/Sivut/default.aspx

Työterveyslaitos n.d. Asbesti rakennustyössä. Luettu 11.11.2013.
http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/eristeaineet/asbestituoitteet/Documents/asbesti_rakennustyossa.pdf

UCSB ScienceLine. How does catalase break down hydrogen peroxide? Luettu 28.10.2013. <http://scienceline.ucsb.edu/getkey.php?key=166>

United States Environmental Protection Agency. 2013. Asbestos. Päivitetty 28.6.2013. Luettu 28.10.2013. <http://www2.epa.gov/asbestos>

Valmari T. & Pöllänen R. 2003. Radioaktiiviset aineet ulkoilmassa. Säteily ympäristössä, 59-110.

Wang H. 2011. Queensland University of Technology Formation Mechanisms of Secondary Organic Aerosols in relation to Laser Printer Emissions.
http://eprints.qut.edu.au/47442/1/Hao_Wang_Thesis.pdf

Whitby K & Clark W. 1965. Electric aerosol particle counting and size distribution measuring system for the 0.015 to 1 μm size range. Julkaistu Internetissä 18.3.2010. Luettu 9.11.2013.

LIITTEET

Liite 1. Käyttöohje Lighthouse Handheld 5016 –hiukkasmittarille

1 (7)

Käyttöohje Lighthouse Handheld 5016 –hiukkasmittarille



KUVA 1. Handheld 5016 -hiukkasmittari

Johdanto

Lighthouse Handheld 5016 (kuva 1) on lasersäteen sirontaan perustuva hiukkasmittari, joka pystyy mittaamaan hiukkasia, jotka ovat halkaisijaltaan välillä 0,5 – 10 mikrometriä. Käyttöliittymä perustuu kosketusnäyttöön. Hiukkasmittarin sisäinen pumppu pystyy tuottamaan 0,1 CFM:n eli 0,17 m³/h eli 0,0472 l/s ilmavirtauksen. Hiukkasmittarin pumpun ilman mukana liikuttamista hiukkasista sironnut valo osuu fotodiodiin, mikä saa aikaan mitattavissa olevan sähköimpulssin. Näitä impulsseja mittaamalla pystytään selvittämään sekä hiukkasten määrä että niiden koko. Laitteen mitaamat hiukkaset rekisteröityvät tehtaalla esimääritelyihin kanaviin hiukkaskoon mukaan, jotka on lueteltu seuraavassa taulukossa yksikkönä mikrometri.

(jatkuu)

TAULUKKO 1. Hiukkasmittarin kanavat mikrometreinä

0,5	0,7	1,0	3,0	5,0	10,0
-----	-----	-----	-----	-----	------

HUOM!

Laite käyttää akkuna litiumioniteknikkaan perustuvaa irrotettavaa akkua, joka voidaan ladata laitteessa silloin, kun verkkolaite on kytkettynä. **ÄLÄ JÄTÄ AKKUA LAITTEESEEN varastoinnin ajaksi**, koska hiukkasmittari käyttää sammutettunakin akkuun varastoitua energiaa mm. kellon käyttämiseen. Litiumioniakut eivät kestä hyvin syväpurkausta, ja jos akun jännite laskee tietyn rajan alle, niin akkua ei voi enää käyttää. Muista myös **IRROITTA A HIUKKASPUTKEN MUSTA SUOJA**, koska se estää laitteessa olevaa ilmapumppua pyörimästä ja saattaa aiheuttaa sen hajoamisen.

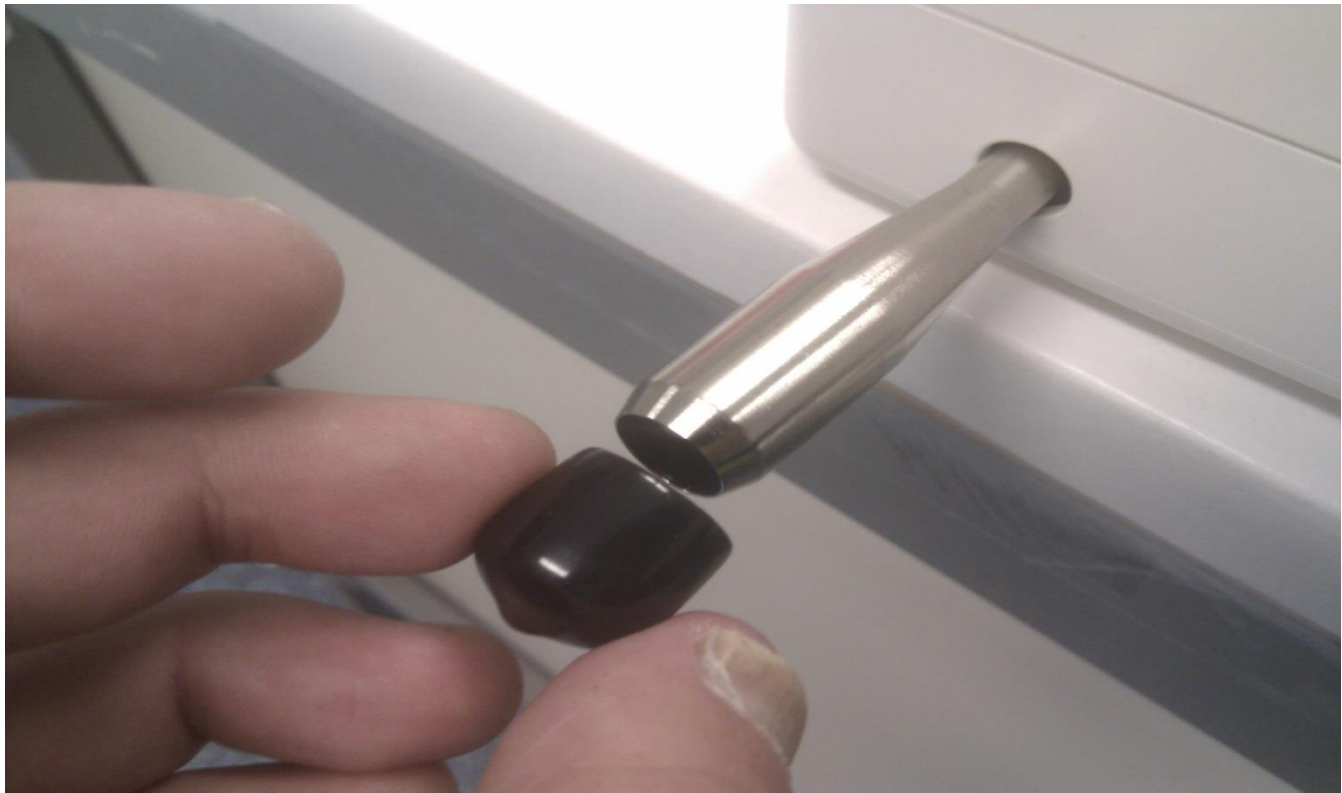
Ennen hiukkasmittauksen aloittamista

Ennen mittauksen aloittamista laite tulee ottaa pois sen kantolaukusta. Tämän jälkeen kantolaukussa oleva edellisen käyttäjän irrottama kultakontaktinen akku tulee laittaa hiukkasmittarin akkukoteloon, joka on hiukkasmittarin takaosassa. Jos ilman kosteutta ja lämpötilaa halutaan mitata, niin laitteen etuosaan tulee kiinnittää hiukkasmittarin kantolaukussa oleva sylinterinmuotoinen mittapää (kuva 2). Mittapää kiinnitetään siten, että se painetaan sopivassa asennossa paikoilleen, jonka jälkeen se lukitetaan kiertämällä mittapään lukitustapit lukitusasentoon.

(jatkuu)



KUVA 2. Mittapään asentaminen



KUVA 3. Hiukkasputken musta suoja

Sen jälkeen, kun hiukkasputken musta suoja (kuva 3) on irrotettu (parhaiten sen saa kynsillä vetämällä suoraan ulos) ja akku kiinnitetty voidaan laite käynnistää kyljessä olevalla I/O kytkimellä (kuva 4) liikuttamalla se I-asentoon.

(jatkuu)

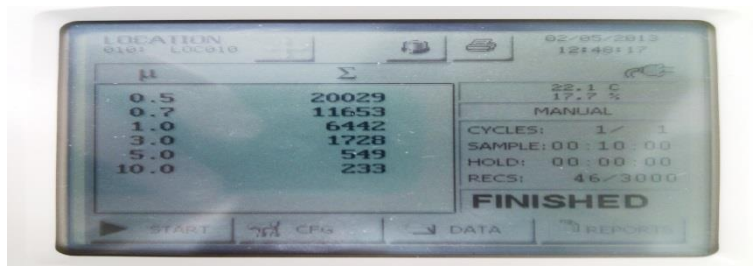
Jos laite ei käynnisty, niin akku on tyhjä ja se täytyy ladata siten, että hiukkasmittariin kytketään mukana tullut virtalähde (kuva 4). Jos mittaus voidaan suorittaa virtalähde kytkettynä ilman, että laitetta tarvitsee liikuttaa virtalähteen johdon salliman matkan ulkopuolelle, niin akun matalasta varaustilasta ei ole haittaa ja akku latautuu, kun virtalähde on kytkettynä.



KUVA 4. Virtalähteen kytkeminen ja virtakytkin.

Hiukkasmittauksen asetukset

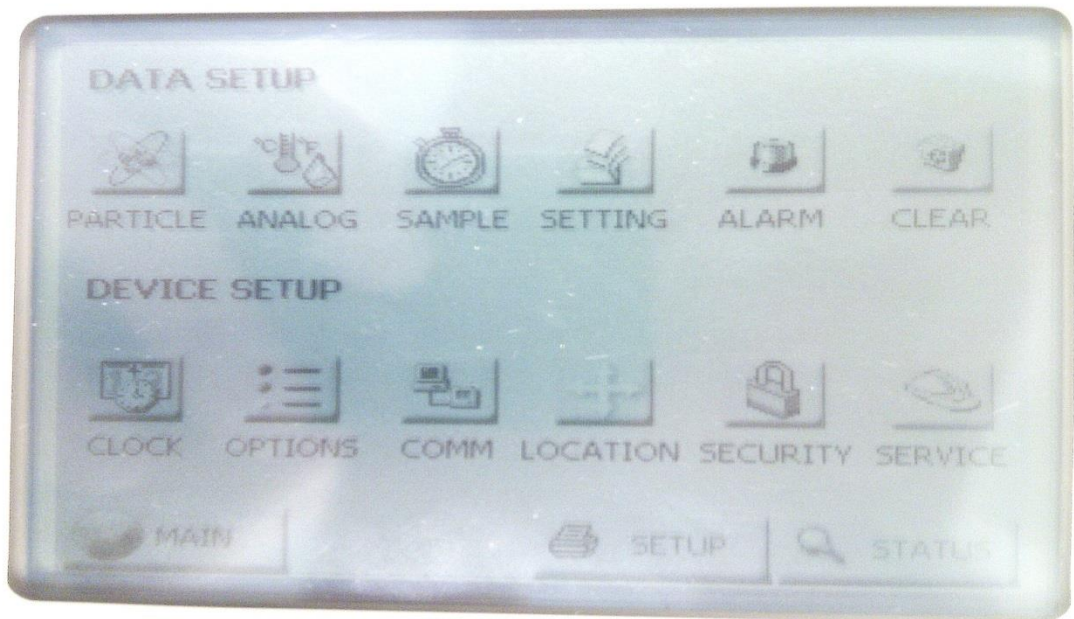
Ennen mittauksen aloittamista, kun laite on käynnistetty, voidaan hiukkasmittarin mittauksessa käyttämiä asetuksia muokata tai tarkistaa mittarin käyttämät asetukset. Tähän valikkoon päästään siten, että päävalikossa (kuva 5) kosketetaan näytön alaosassa olevaa *CFG* -näppäintä. *CFG* -valikossa (kuva 6) kosketetaan *SAMPLE* -näppäintä, minkä jälkeen näyttöön avautuu *SAMPLE* -ikkuna (kuva 7). Valikon kaikki näppäimet toimivat sillä logiikalla, että ensin kosketetaan halutun asetuksen symbolia, minkä jälkeen asetetaan arvo näytön oikealla puolella olevalla numeronäppäimistöllä. Jos



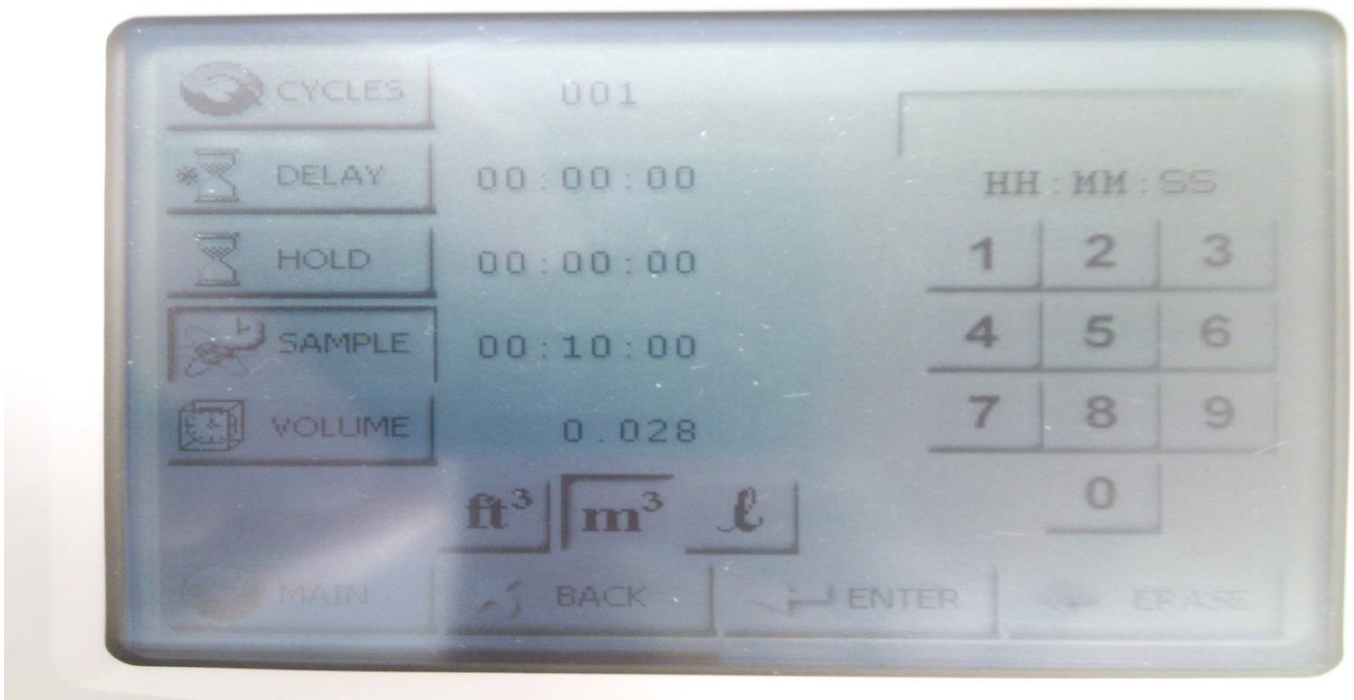
näppäily on virheellinen, niin se voidaan kumota *ERASE* -näppäimellä.

KUVA 5. Päävalikko

WUMI 1000



KUVA 6. CFG –valikko



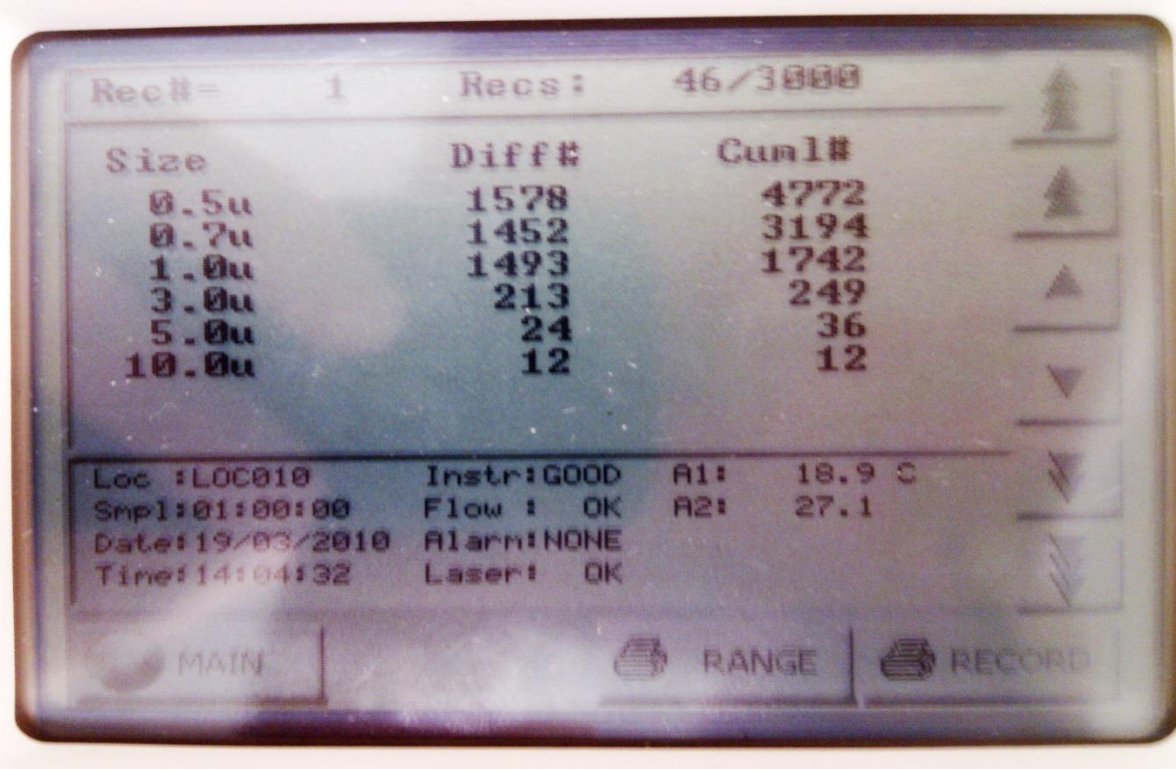
KUVA 7. Mittauksen asetukset

(jatkuu)

CYCLES -näppäintä (kuva 7) painamalla saadaan asetettua laitteen mittauskerralla tekemien mittaus syklien lukumäärä. Jos *CYCLES*:n arvoksi asetetaan nolla, niin hiukkasmittari jatkaa mittaamista siihen asti, kun *STOP* -näppäintä painetaan. *DELAY* -asetuksella annetaan se aika, jonka hiukkasmittari odottaa ennen mittauksen aloittamista laskettuna *START* -nappulan painamisesta yksikössä tunnit: minuutit: sekunnit, jossa jokaiselle ajan yksikölle on kaksi numeroa. *HOLD* -näppäimellä asetetaan se aika, jonka hiukkasmittari odottaa mittausten välillä. *SAMPLE* -näppäimellä asetetaan se aika, jonka laite käyttää mittaukseen. Mittausajalle vaihtoehtoinen asetus on *SAMPLE VOLUME*, johon voidaan asettaa se tilavuus, joka halutaan mitata. *SAMPLE VOLUME* -näppäimen alla asetetaan käytettävä tilavuuden yksikkö.

Jos mittauksen mukana halutaan tallentaa oikea päivämäärä ja kellonaika, niin ne tulee tarkistaa ja mahdollisesti asettaa uudelleen siten, että päävalikosta (*MAIN*) siirrytään *CFG* -näppäimellä asetusvalikkoon, jossa painetaan *CLOCK* -näppäintä. *DATE* -näppäimen painamisen jälkeen voidaan numeronäppäimistöllä kirjoittaa päivämäärä laitteen haluamassa muodossa, jossa M tarkoittaa kuukautta, D päivää ja Y vuotta. Päivämäärä hyväksytään painamalla *ENTER* -näppäintä ja *ERASE* poistaa virheellisen näppäilyn, jos sille on tarvetta. *TIME* -näppäimen painamisen jälkeen annetaan numeronäppäimistöllä aika, jonka jälkeen menetellään samoin, kuin edellisessä kohdassa.

Kun halutut mittausasetukset on annettu laitteelle, niin voidaan siirtyä itse mittaukseen, mikä tapahtuu siten, että painetaan edellisen kappaleen *SAMPLE* -valikossa *MAIN* -näppäintä, joka vie päävalikkoon. Laite aloittaa mittauksen heti, kun *START* -näppäintä painetaan. Mittauksessa käytetään *SAMPLE* -valikon arvoja. Kun mittaus on käynnissä, niin laitteen mittaamien hiukkasten kokoa ja määrää voidaan seurata reaaliaikaisesti laitteen näytöltä.



KUVA 8. Tulosten tarkastelu DATA-näytössä.

Mittauksen jälkeen tuloksia voidaan tarkastella suoraan näytöltä, ja jos mittaaminen on pienimuotoista, niin saadut mittaustulokset voidaan kirjata suoraan näytöltä (esim. kameralla) suoraan mittauksen jälkeen. Jos mittauksia halutaan suorittaa useita, niin laite tallentaa sisäiseen muistiinsa vain sellaisen mittauksen, joka on saatu päätökseen onnistuneesti. Tätä sisäistä muistia pystytään tarkastelemaan laitteella siten, että päävalikossa painetaan *DATA* -näppäintä, minkä jälkeen laite näyttää viimeisimmän numeroidun mittauksen. Oikealla olevilla nuolilla pystytään siirtymään mittauksesta toiseen (kuva 8).

Liite 2. Käyttöohje M Air T™ Millipore Air Tester –impaktorille

1 (6)

Käyttöohje M Air T™ Millipore Air Tester –impaktorille

Johdanto

Millipore Air Tester on erityisesti puhtastilakäyttöön tarkoitettu yksivaiheimpaktori, jolla pystytään arvioimaan ilman mikrobiologista laatua. Laitetta ja sen tarvikkeita kuljetetaan sinisessä laukussa (kuva 1). Laite(1) sisältää akun, ilmapumpun ja kannattimen laitteelle soveltuvalle agarmaljalle. Näiden lisäksi laitteen kantolaukku sisältää kaksi rei'itettyä steriilisti pakattua levyä(2), jotka asetetaan yksittäin kannattimessa olevan agarmaljan päälle, laturin(6), tripodin(4), tripodin lukitusruuvin(3), pyyhintäliinoja(5) ja kuusiokoloavaimen(7).



KUVA 1. Laukun sisältö

(jatkuu)

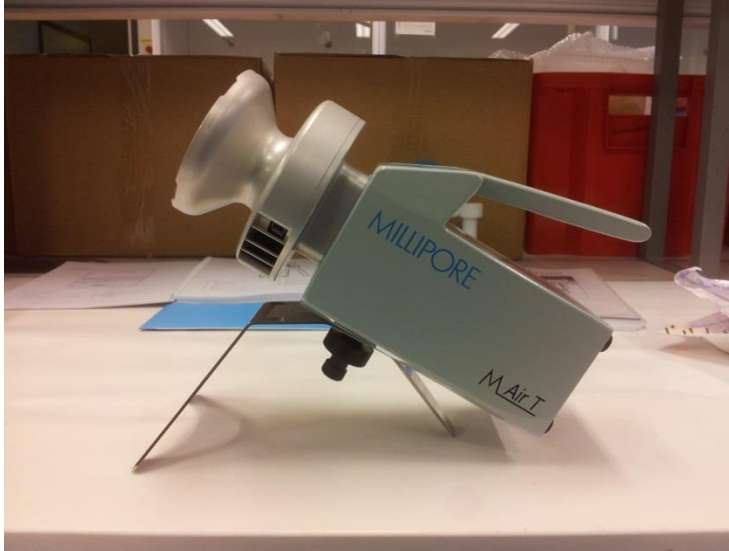
Laite painaa 1,9 kg ja sen akku kestää uutena seitsemän tuntia peräkkäisiä mittauksia. Laite on mitoiltaan 255 mm korkea, 105 mm syvyysuunnassa ja 125 mm pituussuunnassa. Suurimman asetettavissa olevan tilavuuden (1000 l) se pumpppaa alle seitsemässä minuutissa.

Ennen näytteenoton aloittamista

Laite otetaan käyttöön siten, että se ensimmäiseksi se siirretään laukusta haluttuun näytteenottoaikkaan. Kaikessa työskentelyssä tulee toimia siten, että agarmaljalle päätyvät vain halutut eli mitatun ilmamäärän mukana tulleet mikrobit. Jos laitetta halutaan käyttää muissa, kuin sen koteloinnin sallimissa asennoissa, tulee laitteeseen kiinnittää sen mukana tullut tripod (kuva 3). Tripodin kiinnitysruuvilla (kuva 2) pystytään valitsemaan se, että halutaanko laitetta käyttää vaaka-asennossa vai kulmassa. Laite myös pyörii kiinnitysruuvin ympäri vapaasti, mitä voidaan hyödyntää laitteen suuntauksessa Jos sähköä ei ole näytteenottoaikassa saatavilla, niin tulee varmistua akun riittävästä varaustilasta ennen näytteenoton aloittamista.



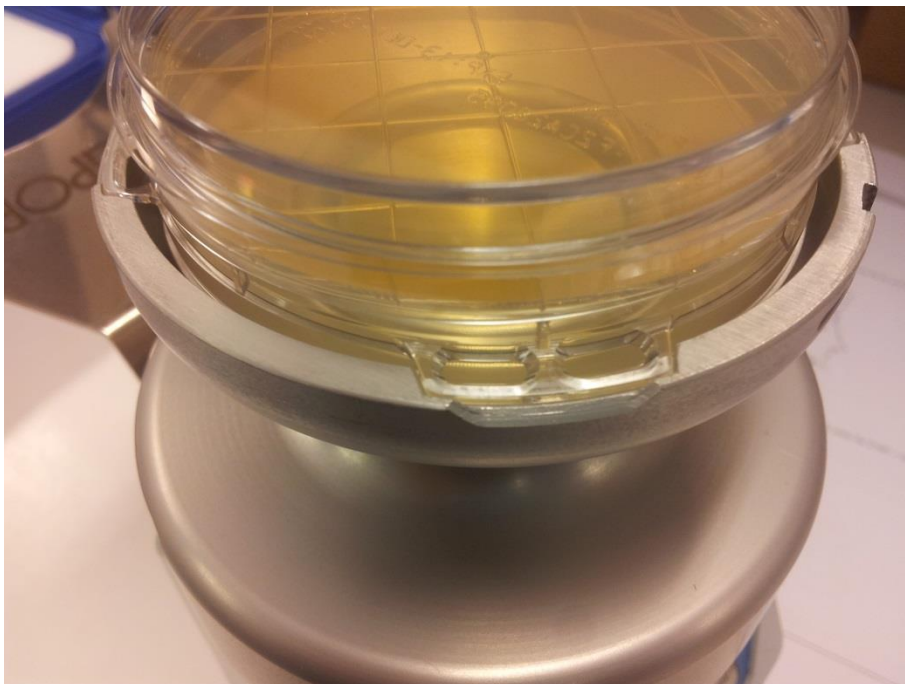
KUVA 2. Tripodin lukitusruuvi läheltä



KUVA 3. Laite tripodi asennettuna

Näytteenoton aloittaminen

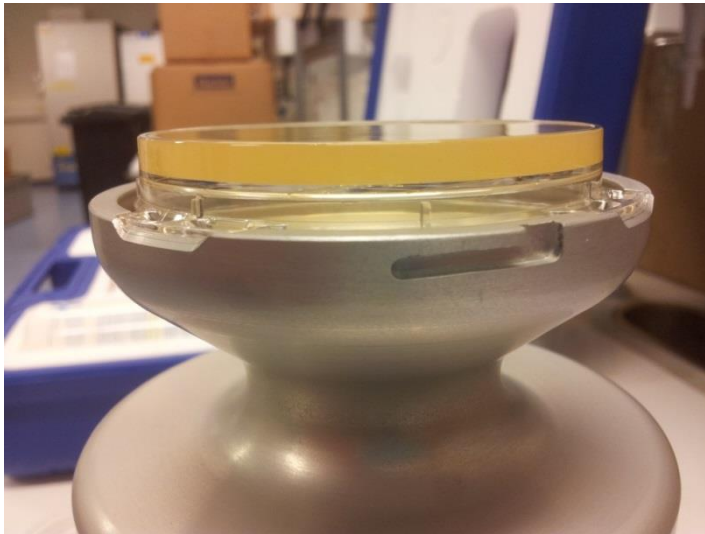
Kun laite on saatu sähkönsyötön (riittävä akun varaustila tai laturi kiinni), tripodin kiinnityksen ja näytteenottoaikan suhteen soveltuvaan tilaan, niin laite tarvitsee enää vain agarmaljan asettamisen sille varattuun pidikkeeseen, rei'itetyn levyn lukittamisen paikoilleen ja näytteenoton ohjelmoimisen. Agarmalja asetetaan kuvan mukaisesti siten, että sen siivekkeet asettuvat paikoilleen (kuva 4).



KUVA 4. Malja asetettuna pidikkeeseen

(jatkuu)

Tämän jälkeen agarmaljan kansi poistetaan ja laitteen mukana tullut rei'itetty levy asetetaan maljan päälle siten, että levyn reunoilla olevat lukkotapit asettuvat niille varattuihin uriin (kuva 5), jotka ovat maljan kannattimen vastakkaisilla puolilla.



KUVA 5. Rei'itetyn levyn kiinnitysura



KUVA 6. Laite kasattuna

Kun laite on saatu koottua tähän vaiheeseen (kuva 6), on enää vuorossa laitteen ohjelmointi, joka on hyvin yksinkertaista. Ainoat parametrit, joihin laitteessa voidaan vaikuttaa, ovat imetty ilmamäärä sekä se aika, joka odotetaan ennen ilmapumpun ja siten näytteenoton käynnistämistä.



KUVA 7. Laitteen käyttöliittymä

Verkkovirtaan kytkettynä laite ilmoittaa virtalähteen (AC) ja todennäköisesti ohjelmistoversion (kuva 7). Seuraavana ohjelmointiohje halutun ilmatilavuuden pumppaamiseen. Ohjetta soveltamalla pystytään valitsemaan haluttu tilavuus joko esiasetetuista tilavuuksista (25, 50, 100, 250, 500, 750 ja 1000 litraa) tai niiden väliltä laitteen asettamin rajoituksin. Laitteen ilmapumppu pumppaa 140 l/min ensimmäiset 500 litraa ja 180 l/min saavutettuaan 500 litraa, mistä voidaan päätellä mittaukseen tarvittava aika, joka on kuitenkin korkeintaan alle seitsemän minuuttia.

1. Paina ON/OFF –painiketta, niin laite käynnistyy
2. Paina LITRES –painiketta nopeasti toistaen niin kauan, että haluttu tai sitä esiasetetuista tilavuuksista lähin haluttua pienempi on ruudussa. Jos haluamasi tilavuus on nyt suurempi, kuin näytön tilavuus, niin paina LITRES –nappulaa pohjassa niin kauan, että näytössä on haluttu tilavuus.
3. Aseta haluttu aika minuutteina ennen mittauksen aloittamista pitämällä START/DELAY –painiketta pohjassa.
4. Kun haluttu aika mittauksen aloittamiseen on ruudussa, niin valinta kuitataan START/DELAY –painikkeen painalluksella. Näytteenotto pysähtyy ON/OFF –painiketta painamalla, jos ei haluta odottaa asetetun tilavuuden määräämän näytteenottoajan loppuun.