



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# TUULIKAMMION KÄYTTÖÖNOTTOMITTAUKSET JA HAJAPÖLYPÄÄSTÖN MÄÄRIT- TÄMINEN TUULIKAMMIOSSA

TEKIJÄ: Tauno Meriläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Tauno Meriläinen			
Työn nimi Tuulikammion käyttöönottomittaukset ja hajapölypäästön määrittäminen tuulikammiossa			
Päiväys	8.5.2017	Sivumäärä/Liitteet	27
Ohjaaja(t) Yliopettaja Merja Tolvanen ja Lehtori Teemu Räsänen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Ramboll Finland Oy, Ambient Air			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön on tilannut Ramboll Finland Oy, Ambient Air, Kuopion yksikkö, ja se on jatkoa Mari Räsänen tekemälle <i>Kiintoaineen tuulikammiotestien suunnittelu ja päästökirjaston luonti</i> -opinnäytetyölle. Opinnäytetyössä tehtiin tuulikammiotestejä laboratoriossa. Laboratoriossa tutkimusaineina käytettiin mm. kaivosteollisuuden rikasteita.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää hajapölypäästökerroin eri tuulennopeuksilla (1, 2, 4, 6, 8 ja 10 m/s, josta 1 m/s on taustamittaus, joka tehtiin jokaisen testin aluksi) tuulikammiossa, joka kuvaa ilman virtauksen näytteenpinnalta irrottaman hengitettävän pölyn (PM<sub>10</sub>) määrää. Tuulikammiotestillä määritettiin myös näytekohtainen ”kriittinen tuulen nopeus”, jonka ylittyessä hiukkaset irtoavat maan pinnasta tai lähtevät vierimään. Työhön kuului myös menetelmäohjeiden laatiminen näytteiden käsittelystä ja jakamisesta sekä hiukkasemissipotentiaalin selvittämisestä tuulikammiossa, jotta jatkossa on selkeämpää toimia erilaisten näytesarjojen kanssa tuulikammiotesteissä.</p> <p>Opinnäytetyössä saatua tietoa voidaan hyödyntää jatkossa erilaisissa pölypäästökuormitukseen liittyvissä tilanteissa kaivosalueilla. Työssä tehtiin huolellinen suunnittelu sekä laadittiin ohjeistusta aihepiiristä. Lopuksi käsiteltiin saadut tulokset.</p> <p>Tuulikammiotestausten tulokset ovat olleet etukäteen odotetun kaltaisia, ja menetelmä on todettu toimivaksi, ainakin laboratorio-olosuhteissa. Opinnäytetyössä kehitettiin testausmenetelmiä ja laskentapohjia ja saatiin tärkeää ja monipuolista kokemusta tuulikammiossa.</p>			
Avainsanat Hajapölypäästön määrittäminen, tuulikammio			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Tauno Meriläinen			
Title of Thesis Introduction Measurement of the Wind Chamber and Fugitive Dust Emission in the Wind Chamber			
Date	8 May 2017	Pages/Appendices	27
Supervisor(s) Ms Merja Tolvanen, Principal Lecturer and Mr Teemu Räsänen, lecturer			
Client Organisation /Partners Ramboll Finland Oy, Ambient Air			
<p>Abstract</p> <p>This Bachelor's thesis was commissioned by Ramboll Finland Oy, Ambient Air, a unit of Kuopio, and it is a continuation of Mari Räsänen's thesis Planning Wind Tunnel Tests and Creating Emission Factor Worksheet. In this thesis wind chamber tests were made in a laboratory. Research material from the mining industry was used in the laboratory.</p> <p>The aim was to determine the fugitive dust emission for different wind speeds in the wind chamber (1, 2, 4, 6, 8 and 10 m/s, of which 1 m/s is a backing measurement on each test to begin with). In wind chamber tests "a critical wind speed" was determined in every of samples, beyond which the particles are released from the ground or start to roll. The study also included the handling and distribution of the samples and studying the wind chamber method for preparing instructions, and in that way it will easier to work with a variety of sample series in wind chamber tests.</p> <p>As a result, the information obtained can be further used in various dust emission situations mining areas. The study was carried out with a careful planning and some guidance about the subject was made. Finally, the results were analyzed. The wind chamber test results were similar to the expected ones, and the method was found to work, at least in laboratory conditions. Testing methods and the calculation base were developed and some important experience from the wind chamber was obtained.</p>			
Keywords Fugitive Dust Emission, Wind Chamber			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	ULKOILMAN AEROSOLIHUUKKASET .....	6
3	TUULIKAMMIOTESTAUKSET .....	9
3.1	Tuulikammion yleinen kuvaus .....	9
3.2	Tilavuusvirtausmittaukset .....	10
3.3	Virtausmittausten tulokset .....	11
3.4	Koejärjestelyt .....	13
3.5	Hiukkasmittauslaitteiden kuvaus .....	13
3.5.1	Osiris hiukkasmittauslaite .....	13
3.5.2	Zambell suodatinkeräinlaite .....	15
4	NÄYTTEIDEN OTTAMINEN JA ESIKÄSITTELY .....	16
4.1	Näytteiden esikäsittely .....	17
5	HAJAPÄÄSTÖKERTOIMIEN MÄÄRITYS .....	19
5.1	Mittausalusta ja kehys sekä näytteiden punnitus .....	19
5.2	Hajapäästömittausten tuloksia (PM <sub>10</sub> ) .....	20
5.3	Pienhiukkasten (PM <sub>2.5</sub> ) osuus .....	23
6	TULOSTEN TARKASTELUA .....	24
7	YHTEENVETO .....	25
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	27

## 1 JOHDANTO

Tuulikammion käyttöönottomittaukset ja hajapölypäästön määrittäminen tuulikammiossa opinnäytetyö on jatkoa Mari Räsäsen *Kiintoaineen tuulikammioestien suunnittelu ja päästökirjaston luonti* opinnäytetyölle. Kyseinen aikaisempi tutkimus on luonut pohjaa tälle opinnäytetyölle ja kyseisen opinnäytetyön aineistoa lainataan tähän työhön soveltuvin osin.

Kiintoaineen hajapölypäästön riippuvuutta tuulennopeudesta ja kosteudesta ei pystytä määrittämään kenttäolosuhteissa kovinkaan vaivattomasti, vaan se on helpompaa määrittää laboratorio-olosuhteissa tuulikammioestillä. Kyseiset testit voidaan toki yrittää tehdä kenttäolosuhteissa, mutta se vaatii useamman kuukauden mittaisen mittausprosessin, jotta saadaan vastaavia tuloksia aikaiseksi kuin laboratorio-olosuhteissa tuulikammioestillä. Kenttäolosuhteissa tehdyt testit eivät välttämättä ole vertailukelpoisia keskenään muuttuvista sääolosuhteista johtuen sekä kenttätellit ovat myös epäkustannustehokkaita toteuttaa.

Tässä opinnäytetyössä tehdään ja selvitetään erään rikastushiekka-altaan hajapölypäästö eri tuulennopeuksilla ja kosteuspiitoisuuksilla tuulikammiossa. Tuulikammioestissä on tavoitteena määrittää myös näytekohtainen ”kriittinen tuulen nopeus” rikastushiekkänäytteistä, jonka ylittyessä hiukkaset irtoavat maan pinnasta tai lähtevät vierimään. Työhön kuuluu myös menetelmäohjeiden laatiminen kahdesta aihepiiristä: näytteiden käsittelystä ja jakamisesta sekä hiukkasemissipotentiaalin selvittämisestä tuulikammiossa. Kyseiset menetelmäohjeet selkeyttävät uusien toimijoiden työtä jatkossa heidän toimiessa erilaisten näytesarjojen kanssa tuulikammioestissä.

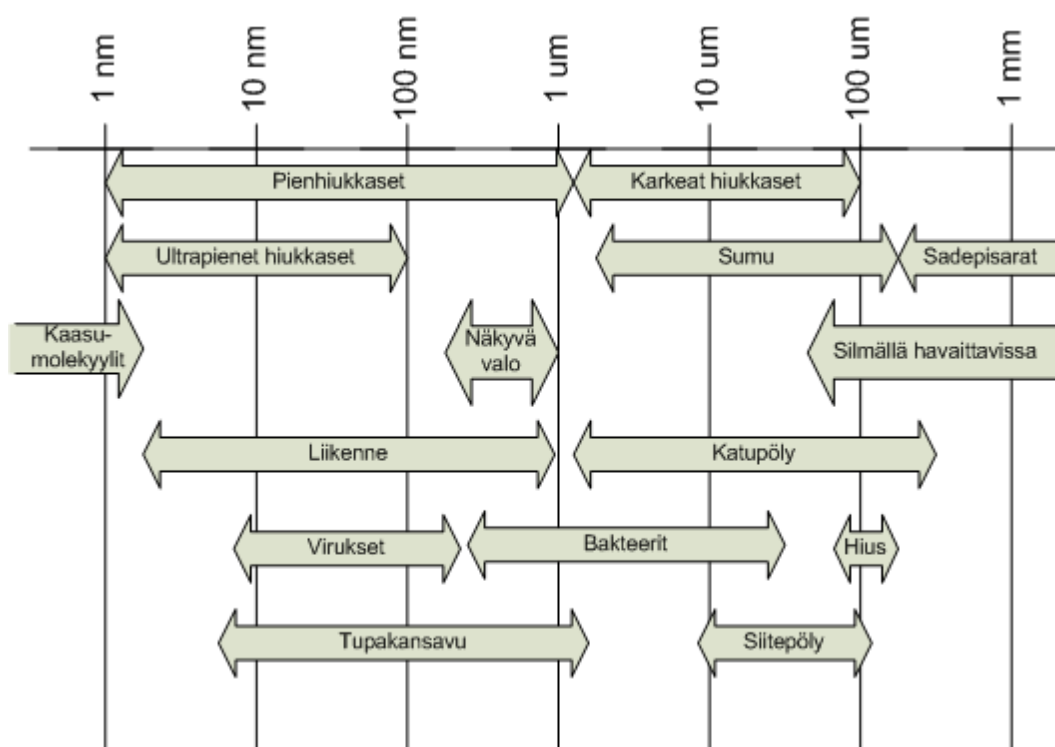
Opinnäytetyössä tehtäviä vastaavia käytännön tutkimuksia ei olla tehty aikaisemmin ja siitä saadaan uutta tietoa tuulikammion soveltuvuudesta testaukseen sekä mahdollisuudesta vaikuttaa ympäristön kuormitukseen. Laboratoriotestauksessa tehdyt tutkimukset voidaan siirtää todelliseen tilanteeseen esimerkiksi siten, että laboratoriossa tehdään pienoismalli tutkittavasta alueesta ja sen avulla määritellään todelliseen tilanteeseen kuormitusalueelle suoja-aidat, joilla pyritään ehkäisemään pölypäästölaskelman leviämistä kuormitusalueen ulkopuolelle.

Maastossa kaivosalueiden rikastushiekkakasojen hienojakoinen pölypilvi kulkeutuu ja laskeutuu tietyn matkan. Opinnäytetyössä saadaan aikaiseksi uusi testauspalvelu kivipölykuormituksesta ja on mahdollista, että siten saadaan pölypilven laskeumaa ja laskeuma-aluetta sekä vaikutuksia ympäristönkuormitukseen pienennettyä.

## 2 ULKOILMAN AEROSOLIHUUKKASET

Aerosolihiukkasella tarkoitetaan ilmassa leijuvaa kiinteää tai nestemäistä hiukkasta, jonka halkaisija on 1 nm - 100 µm ja siinä on enemmän kuin yksi molekyyli. Hiukkasten halkaisija ilmoitetaan yleensä yksikössä mikrometriä (µm) tai nanometriä (nm). (Hiukkastieto.fi) Hiukkasten koko vaihtelee vain muutamien molekyylien kokoisista hiukkasista silmin havaittaviin pölyhiukkasiin. Hiukkasten muoto ja tiheys vaihtelevat, joten hiukkasten ominaisuuksien vertailemiseksi on otettu käyttöön aerodynaamisen halkaisijan käsite, joka kuvaa hiukkasten kokoa ja se perustuu hiukkasten liikkumiseen. (Toivonen 2010.) Sillä tarkoitetaan sellaisen kuvitteellisen pallonmuotoisen hiukkasen halkaisijaa, jonka tiheys on 1 g/cm<sup>3</sup>, ja jolla on sama laskeutumisnopeus kuin kyseessä olevalla hiukkasella. Todellisuudessa hiukkaset voivat poiketa huomattavasti toisistaan muodon, koon ja tiheyden suhteen. (Säämänen 2004, 19.)

Aerosolihiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 µm, kutsutaan hengitettäviksi hiukkasiksi. Niistä käytetään lyhennettä PM<sub>10</sub> (Particulate Matter <10). Hengitettävät hiukkaset jaetaan karkeisiin hengitettäviin hiukkasiin, joiden halkaisija on 2,5 - 10 µm ja alle 2,5 µm halkaisijaltaan oleviin hiukkasiin. (Toivonen 2010.) Alle 2,5 µm halkaisijaltaan olevia hiukkasia kutsutaan pienhiukkasiksi ja niistä käytetään lyhennettä PM<sub>2.5</sub>. Nämä pienhiukkaset liikkuvat ilmavirran mukana lähes kaasujen tavoin ja voivat kulkeutua jopa tuhansien kilometrien päähän päästölähteestään. (Ilmanlaatu.fi.) Kuviossa 1 on esitetty eri kokoluokkien aerosolihiukkasia ja niiden halkaisijoita (Hiukkastieto.fi).



KUVIO 1 Tyypillisiä aerosolihiukkasia ja niiden halkaisijoita (opasnet.fi)

Ilmakehän hiukkaset syntyvät luonnossa tai ihmistoiminnan seurauksena. Luonnon aiheuttamia hiukkaspäästöjä syntyy esimerkiksi tulivuoren purkauksissa ja aavikoilta tuulen nostattaman hiekkapölynä. Ihmisen toiminta tuottaa maailmanlaajuisesti noin 10–50 % maapallon hiukkaspäästöistä. Päästöjä syntyy esimerkiksi erilaisten polttoprosessien yhteydessä. Karkeita hiukkasia syntyy esimerkiksi tuulen nostattamana maaperästä, mekaanisen hankauksen yhteydessä, sekä katupölystä. (Hiukkastieto.fi.) Hengitettävien hiukkasten laskeutumisnopeus on hyvin alhainen ja pienikin ilmavirtaus saa hiukkaset nousemaan ylöspäin ja jatkamaan leijumista ilmassa. Näitä hiukkasia on siis vaikea poistaa ilmasta. (Toivonen 2010.) Pienhiukkasten PM<sub>2.5</sub> yleisimmät lähteet Suomessa ovat puun pienpoltto ja polttoaineen palamisessa syntyvät hiukkaset (Ymparisto.fi). Kemiallisten reaktioiden kautta kaasumaisista yhdisteistä muodostuu pienhiukkasia (Ilmanlaatu.fi). Suomessa noin puolet pienhiukkasista tulee kaukukulkeutuneena Itä- ja Keski-Euroopasta. Hiukkasia poistuu ilmasta depositiolla, jolloin hiukkanen tarttuu johonkin pintaan tai esimerkiksi sadepisararaan ja sillä tavoin poistuu ilmakehästä ja ilmanlaatu paranee. (Hiukkastieto.fi.)

#### Hiukkasten terveysvaikutuksista

Hiukkaset ovat terveydelle haitaksi ja aiheuttavat viihtyvyysoongelmia. Pienhiukkaset (PM<sub>2.5</sub>) ovat terveydelle haitallisimpia hiukkasia, sillä niiden mukana hiilivedyt ja raskasmetallit pääsevät kulkeutumaan hengitysteitä pitkin ihmisen keuhkorakkuloihin saakka (Ymparisto.fi.) Altistuminen pienhiukkasille voi pahentaa astmaa ja lisätä hengitystieinfektioita, kuten keuhkoputkentulehduksia (Hengitysliitto.fi). PM<sub>10</sub> hiukkaset pystyvät kulkeutumaan hengitettävän ilman mukana ihmisen keuhkoputkiin ja voivat aiheuttaa hengitysteiden ärsyyntymisoireita ja pahentaa astman ja keuhkohtauman oireita. Hiukkasaltistuksella on havaittu olevan yhteys eliniän lyhenemiseen. (Hengitysliitto.fi.)

#### Hiukkaspäästöjen raja-arvot ulkoilmassa

Valtioneuvosto on asettanut raja-arvot hiukkaspäästöille ulkoilmassa. Taulukossa 1 on kuvattu raja-arvot ja sallittujen ylitysten määrät PM<sub>10</sub> ja PM<sub>2.5</sub> hiukkasille (VNA 38/2011). PM<sub>10</sub> hiukkasten raja-arvo ulkoilmassa on alle 50 µg/m<sup>3</sup> vuorokauden aikana ja vuoden aikana alle 40 µg/m<sup>3</sup>. Pienhiukkasten raja-arvo on 25 µg/m<sup>3</sup> vuoden aikana.

TAULUKKO 1 VNA 38/2011 mukaiset raja-arvot hiukkaspäästöille ulkoilmassa (Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 2011)

Aine	Keskiarvon laskenta-aika <sup>1</sup>	Raja-arvo <sup>2</sup> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sallittujen ylitysten määrä vuodessa (vertailujakso)	Ajankohta, josta lähtien raja-arvot ovat olleet voimassa
Hengitettävät hiukkaset (PM <sub>10</sub> )	24 tuntia	50	35	1.1.2005
	kalenterivuosi	40	-	1.1.2005
Pienhiukkaset (PM <sub>2.5</sub> )	kalenterivuosi	25	-	1.1.2010

1) Mittaustuloksia yhdistettäessä ja tilastollisia tunnuslukuja laskettaessa on noudatettava liitteen 9 perusteita.

2) Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Lyijyn ja hiukkasten tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

3) Vuorokauden korkein kahdeksan tunnin keskiarvo valitaan tarkastelemalla kahdeksan tunnin liukuvia keskiarvoja.

#### Hajapölypäästö

Yleisesti hajapäästöillä tarkoitetaan epäsäännöllistä tai tahatonta päästöä lähteistä, joiden sijaintia ei ole tarkasti määritetty. Yleensä päästöt ovat liian hajanaisia tai pieniä, jotta niitä voitaisiin tarkkailla yksitellen. (Euroopan unionin virallinen lehti 2012.) Teollisuuden hajapäästöt voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri päästökategoriaan: Prosessissa tapahtuva vahinko, kanavoitu lähde, esimerkiksi poisto-kaasukanava tai varasto- ja piha-alueet sekä kuljetusreitit. Yleensä teollisuudessa ilmapäästöjen ajatellaan johtuvan tavanomaisista suljetun kanavan hallituista päästölähteistä, kuten savupiipuista. Kuitenkin hajapäästöjen yksityiskohtainen seuranta ja päästöjen vähentäminen ovat tärkeitä, jotta alueella saavutetaan parempi ilmanlaatu. (Nissinen 2014.)

Hajapäästöjä syntyy esimerkiksi teollisuudessa prosessien ja laitevikojen yhteydessä, venttiilien vuotokohdista ja välivarastointilaitoksista (Immonen 2014). Hajapölypäästöjen syntyyn päästölähteen toiminnan lisäksi vaikuttavat myös ulkoiset tekijät, kuten sade ja tuuli (Nissinen 2014). Tässä työssä hajapölypäästöillä tarkoitetaan teollisuuden toiminnoissa syntyneitä pölypäästöä. Hajapölypäästö voi syntyä esimerkiksi teollisuusalueella tapahtuvan toiminnon kuten kasaamisen tai kuormaamisen yhteydessä, olla teollisuusalueen liikenteen aiheuttamaa resuspensiota likaisilta ajoteiltä tai olla tuulen kentiltä, aumoista tai kasoista nostamaa leijuvaa pölyä.

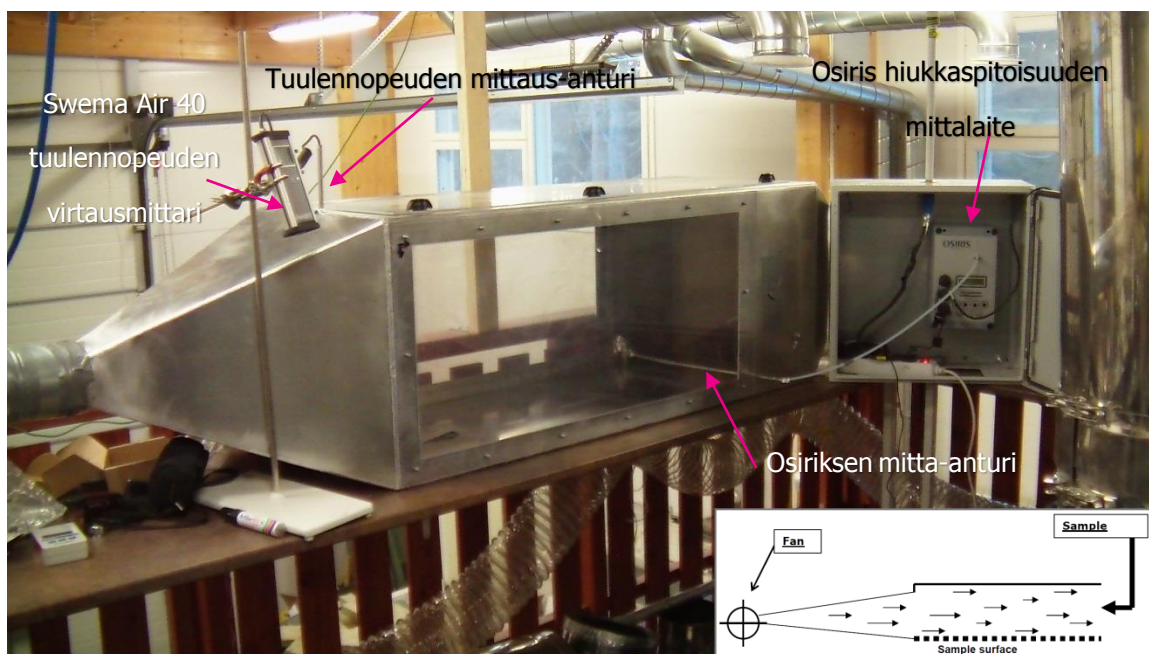


### 3 TUULIKAMMIOTESTAUKSET

#### 3.1 Tuulikammion yleinen kuvaus

Ramboll on suunnitellut ja rakennuttanut oman tuulikammion hajapölypäästöjen määrittämistä varten (KUVA 1). Tuulikammioilla mitataan pölypäästö eri tuulennopeuksilla ja eri kosteuspitoisuuksilla analysoitavista näytteistä. Tuulikammio on kytketty poistoilmahuuhaltimeen. Poistoilmahuuhaltimella voidaan säätää tuulennopeutta portaattomasti 0 m/s - 15 m/s välisellä asteikolla. Poistoilmahuuhallin syöttää ilmavirran tuulikammioon kammion vasemmalta puolelta kuva 1 alareunaan upotetun kuvan mukaisesti. Kammion läpi virrannut ilma johdetaan putkistoa pitkin ulkoilmaan.

Kammion vasemmassa etyläreunassa on paikka tuulennopeuden virtausmittarin mittausturille, Swema Air 40 termoanemometrille, ja telineessä on virtausmittari, joka osoittaa virtausnopeuden (m/s) ja lämpötilan (°C) mittaushetkellä. Kammion takaosan viereisessä kotelossa sijaitsee Osiris hiukkaskeräinlaite ja kammion alareunassa on kyseisen laitteen hiukkaspitoisuuden mittausturilla, jolla voidaan mitata TSP (kokonaishiukkaspitoisuus) sekä PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> kokoluokan hiukkasia.



KUVA 1 Tuulikammio ja sen toimintaperiaate (Meriläinen 2017)

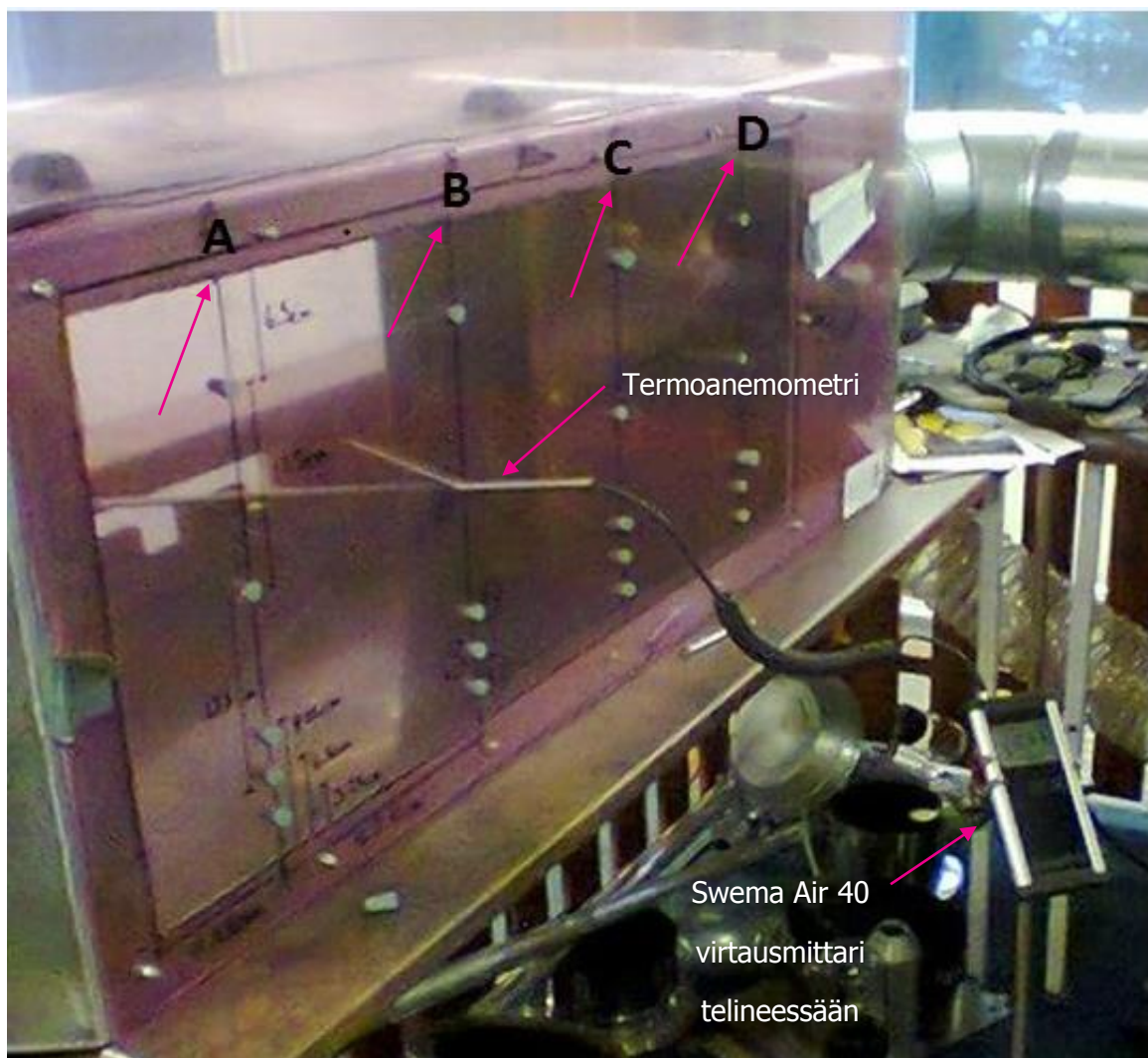
Opinnäytetyössä toteutetaan tuulikammiossa tutkittavien materiaalien testausten menettelytavat hajapölypäästöjen määrittämistä varten. Tuulikammion kokonaispituus on noin 225 cm. Tunnelin tasainen pohja on 125 cm pitkä ja 50,5 cm leveä. Kammio on rakennettu alumiinista ja sivuseinille on tehty muovilevystä ikkunat, joista pystytään seuraamaan koetta. (Räsänen M, 2016, 46.)

Kammion yhdellä sivulla on 115 senttimetriä pitkä ja 40 senttimetriä leveä aukko, kuvassa 1 aukko on ylöspäin ja on suljettavissa metallilevyllä, josta näytteet voidaan asettaa kammioon ja maastossa tätä aukkoa voidaan käyttää suoraan materiaalin näytealustana. Maastossa aukko laitetaan suoraan maata vasten, jolloin maaperän pölyämistä saadaan tutkittua paikan päällä. Tunneliin johdetaan

ilmaa puhaltimella ja ilmavirtausta voidaan säätää poistoputkessa olevan säätöpellin avulla ja puhaltimen ilmanottoaukkoa säätämällä. (Räsänen M, 2016, 46.)

### 3.2 Tilavuusvirtausmittaukset

Tuulikammion etusivulle asennettiin alkuperäisen pleksilevyn tilalle mittausmatriisilevy, jotta saadaan määritettyä tilavuusvirtaukset tuulikammion eri osissa. Tilavuusvirtausmittaukset tehtiin pölypäästön laskemista varten. Virtausnopeudet mitattiin 1/2/3/5/7/9/11/13/15 m/s virtausnopeuksilla kaikista 4:stä eri linjasta. Virtausta säädettiin poistoilmapuhaltimen manuaalisäätimellä. Virtausmittaustuloksista laskettiin tilavuusvirtausnopeudet taulukkolaskentaohjelman avulla.



KUVA 2 Mittausmatriisilevy kiinnitettyä tuulikammioon, ja mittauslinjat (A, B, C ja D) sekä virtausmittari merkitty havaintonuolin kuvaan (Meriläinen 2017)

Virtausnopeuden mittalaitteena käytettiin Swema Air 40 termoaanemometriä (kuvassa 2 termoaanemometri on linja B:n kohdalla). Termoaanemometri on ilmavirran mittauslaite tilavuusvirran ja lämpötilan määrittämiseen. Ilman virtaus yksikkönä on m/s tai fpm ja lämpötilan yksikkönä °C tai °F. (Swema Air 40 käyttöohje)

Mittausmatriisilevy on jaettu neljään eri linjaan (A, B, C ja D-linjaan) (KUVA 2). Jokaisesta mittauslinjasta mitattiin virtausnopeus eri syvyydeltä ja eri korkeudelta useammasta kohdasta. Näitä kohtia eri

aukkoja käytetään virtausnopeuden mittausta varten tuulikammiossa. Virtausnopeutta mitataan 5:stä eri havaintopisteestä/linjasta ja niistä 3:lta tai 6:lta eri etäisyydeltä, 5 cm - 45 cm, tuulikammion julkisivun, mittausmatriisilevyn, puolelta, etupuolelta. Ainoastaan yksi aukko kerrallaan on avoinna virtausnopeuden mittausanturille, muut mittausaukot ovat suljettuina kumitulpin. Virtausnopeutta säädettiin asteittain suuremmaksi poistoilmapuhaltimen manuaalisella säätimellä sekä lisäksi lisäpuhaltimen avulla sen sulkulevyn kokoa säätämällä. Näistä mitatuista virtauksista määritetään osa-alueiden tilavuusvirtaus  $\text{m}^3/\text{s}$  (osa-alueen pinta-ala \* osa-alueen virtausnopeus = osa-alueen tilavuusvirtaus  $\text{m}^3/\text{s}$ ) sekä kaavio tilavuusvirtauksista, b, c ja d-linjasta ja niiden mittauksen keskiarvo. Termoanemometri työnnettiin aina yhteen havaintoreikään kerrallaan, kun muut reiät olivat suljettuina kumitulpilla.

Kuvassa 3 näkyy esimerkki siitä, miten mittauspisteet (mittauspisteet 1, 2, 3, 3.1 ja 3.2) sijoittuvat mittauslinjaan. Kaikissa linjoissa mittauspisteet ovat sijoitettu identtisesti samaan paikkaan mittausmatriisilevyssä.

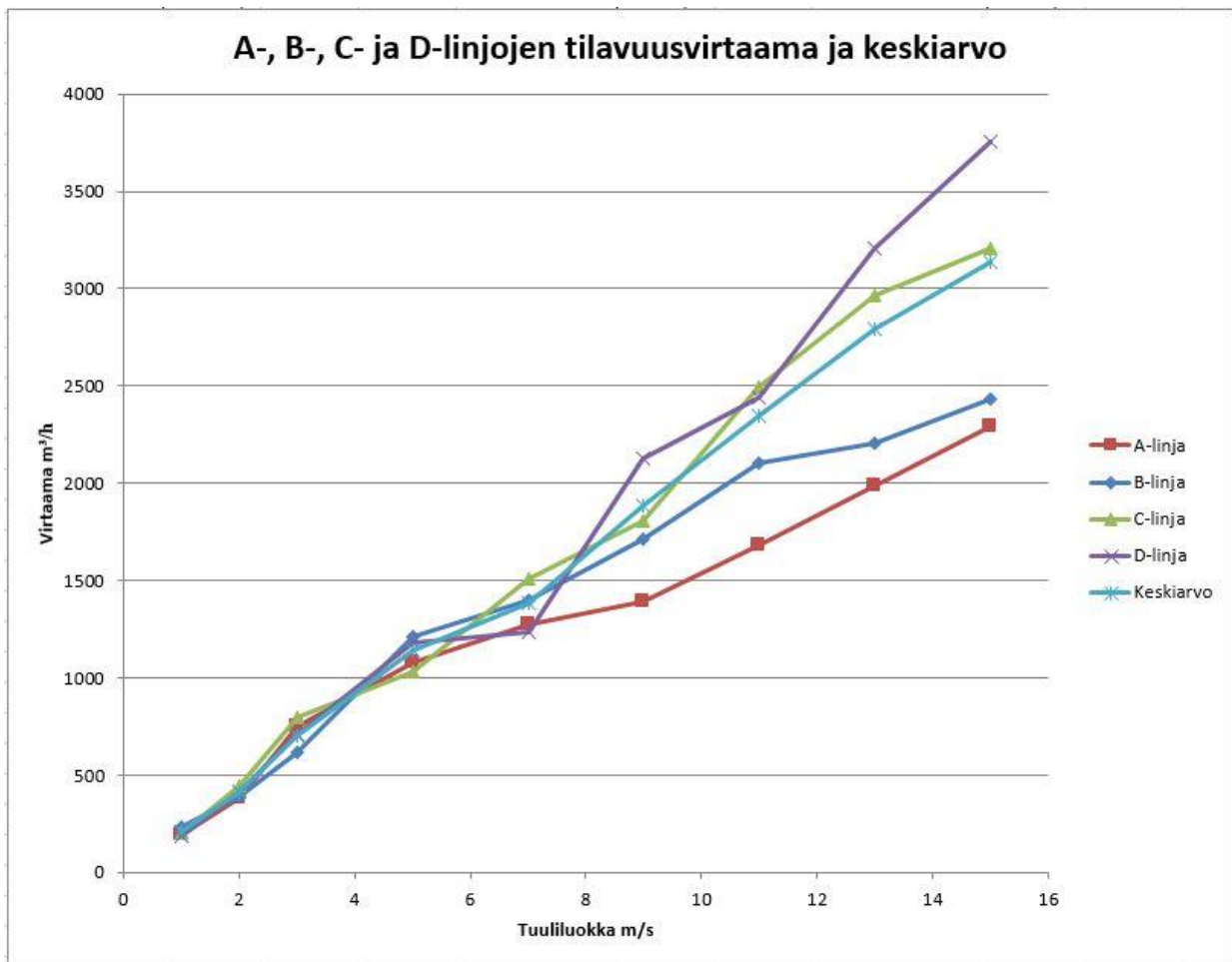
### 3.3 Virtausmittausten tulokset

Eri linjojen tilavuusvirtauksista tehtiin yhteenvedot ja laskettiin niistä keskihajonta sekä keskiarvo taulukkolaskentaohjelman avulla (KUVA 4). Lasketun keskiarvon tilavuusvirtaamaa hyödynnetään jatkossa, kun taulukkolaskentaohjelmalla lasketaan hajapölypäästö ( $\text{mg}/\text{m}^2\text{s}$ ) jokaiselle tuulikammiossa analysoitavalla rikastusnäytekokonaisuudelle.

Tämän jälkeen tuulikammion mittausmatriisilevyn tilalle vaihdettiin alkuperäinen pleksilevy, jotta voitiin aloittaa varsinaiset pölypäästämittaukset analysoitavista näytteistä.



KUVA 3 Mittausmatriisilevyn virtausmittauspisteet esimerkkilinjassa (Meriläinen 2017)



KUVIO 4 Tilavuusvirtaama eri linjoista ja virtaaman keskiarvo



### 3.4 Koejärjestelyt

Pölypäästön testimittauksia tehtiin mittauskalustolla ennen varsinaisten pölypäästömittausten aloitusta. Testimittaukset tehtiin 2 m/s – 8 m/s tuulennopeuksilla 1-2 m/s muutoksella. Testimittauksissa havaittiin, että jo tuulennopeus 7,5 m/s on liian voimakas testien aloitusolosuhteissa, jotta tuulikammion pohjalle asetettava näyte pysyisi alustalla riittävän pitkään eli koko testisarjan ajan 10 m/s tuuliluokkaan saakka. Päädyttiin asentamaan näytealustan alle pieni noin 20 ° nousukulma, jotta testisarja kyetään ajamaan loppuun saakka. Päädyttiin testisarjassa seuraaviin tuuliluokkiin: 1 / 2 / 4 / 6 / 8 / 10 m/s, joista kaikki sarjoja ajetaan 5 minuuttia ja joista 1m/s on taustamittaus, joka tehdään jokaisen mittauksen aluksi.

Mittauksen näytekeräyksessä mitattiin seuraavia hiukkaskokoluokkia: PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> ja TSP (total particles) hiukkasia. PM<sub>10</sub> ja TSP kerättiin Osiris-keräimellä ja PM<sub>2,5</sub> kerättiin Zambell-suodatinkeräimellä. Osiris-keräyskalusto on yhteydessä tietokoneeseen, josta mittaa PM<sub>10</sub> ja TSP hiukkaspitoisuudet. Laite mittaa hiukkaspitoisuudet jatkuvatoimisesti ja laskee hiukkasten keskiarvopitoisuuden edeltävältä 1 minuutin ajalta. Mittausjakson pituudeksi valittiin 5 minuuttia/tuuliluokka.

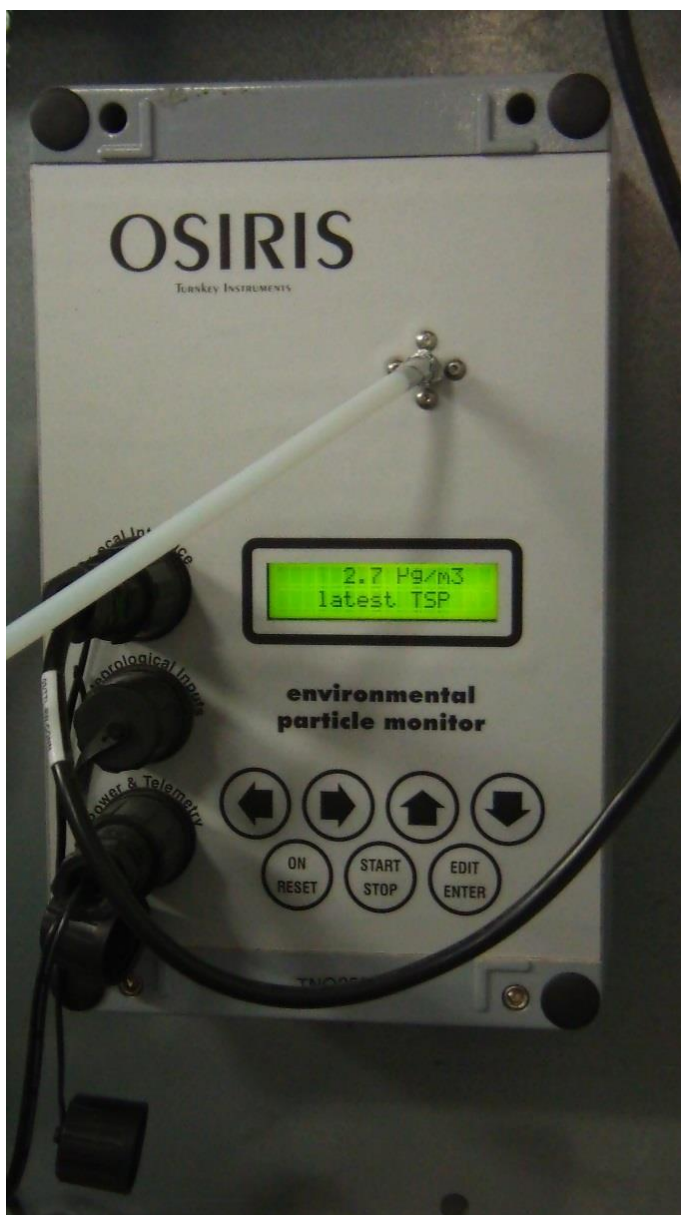
### 3.5 Hiukkasmittauslaitteiden kuvaus

Tuulikammion yhteydessä on hiukkasmittauslaitteisto. Osiris mittauslaitteisto kerää kokonaishiukkaskertymän ja PM<sub>10</sub> hiukkaset ja Zambell-keräin PM<sub>2.5</sub> ja sitä pienemmät hiukkaset. Osiris-laitteen keräin sijaitsee kammion loppupäässä juuri ennen kammion liittymistä poistoputkeen noin 3 cm korkeudessa pohjasta vaakatasoon sijoitettuna kammion poikittaissuuntaan nähden. Zambell-laitteen keräysanturi sijaitsee tuulikammion poistoputken varrelle sijoitettuna.

#### 3.5.1 Osiris hiukkasmittauslaite

Osiris-hiukkasmittauslaitteisto (KUVA 5) on yhteydessä Air Q hiukkasmittausohjelmaan. Osiris rekisteröi kokonaishiukkaspitoisuuden (TSP) sekä PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>1</sub> pienemmät hiukkaset. Osiris hiukkasmittalaite käyttää valon sironta tekniikkaa ilmassa olevien hiukkasten ja pölypitoisuuden määrittämiseksi. Laitteen toiminta perustuu lasersäteiden heijastumiseen hiukkasista. Laite mittaa eri hiukkaskokoluokkien hiukkaspitoisuuden vaihtelua esimerkiksi 15 sekunnin keskiarvoa, määrittäysraja on 0.1 µg / m<sup>3</sup>. Laitteen jatkuvatoimisessa mittauksessa ilmanäytteestä vedetään ilmapumpulla ilmaa virtausnopeudella 10 cm<sup>3</sup> sekunnissa (600 cm<sup>3</sup> / min). Valonsironnassa yksittäiset pölyhiukkaset muunnetaan sähköiseksi pulssiksi, jotka ovat verrannollisia hiukkasten kokoon. (Turnkey Instruments Ltd.)

Laite mittaa jatkuvatoimisesti hiukkaspitoisuuksia (µg/m<sup>3</sup>) ja laskee hiukkasten keskiarvopitoisuuden erikseen määriteltävän ajanjakson ajalta. Mitattu keskiarvo tallentuu laitteen muistiin. Mittauksista Osirislaitteen keräämä data otetaan ulos kyseisestä ohjelmistosta ja siirretään taulukkolaskentaohjelmaan. Taulukkolaskentaohjelmassa kerättyä dataa muokataan ja lasketaan saaduista mittauksista tulokset ja niiden avulla tehdään tarvittavat kaaviot tuloksista.



KUVA 5 Osiris hiukkasmittauslaite (Meriläinen 2017)

## 3.5.2 Zambell suodatinkeräinlaite



KUVA 6 PM<sub>2.5</sub> suodatinkeräin (Meriläinen 2017)

Suodatinkeräimenä toimi Zambell-keräin, johon kuuluu PM<sub>2.5</sub>-hiukkasleikkuri, suodatinpesä ja pumppu letkuineen. Keräin kerää PM<sub>2.5</sub> pienemmät hiukkaset teflonsuodattimelle, suodattimen halkaisija 46,2 mm, ±0,25 mm. Keräimen virtausnopeutena toimi 16,7 l/min, ja keräin käynnistetään manuaalisesti. Keräimen PM<sub>2.5</sub> hiukkasleikkuri on ennen suodatinta laitteiston kokoonpanossa, joka estää liian suurien hiukkasten pääsyn suodattimelle.

Teflonsuodattimet on punnittu analyysivaa´alla ennen näytteenottoa, jotta saadaan tietää suodattimien lähtötilanteen massa. Näytteenoton jälkeen teflonsuodattimet maljoiheen laitetaan eksikaattoriin kansi raollaan, jotta niissä mahdollisesti oleva kosteus imeytyy eksikaattoriin silikagel-kosteudensidontamateriaaliin. Sitten suodattimet punnitaan uudelleen ja saadaan määritettyä niille kertyneiden hiukkasten massa. Saadut punnitustulokset siirretään taulukkolaskentaohjelmistoon.

#### 4 NÄYTTEIDEN OTTAMINEN JA ESIKÄSITTELY

Menetelmän kehityksessä oli näytesarja, jossa näytteenkoko oli 300 g – 900 g. Työssä analysoitavat rikastushiekkänäytteet on kerätty tutkittavan alueen vesistöön johtavan purkuputken eri kohdista: putken päästä (PPPP), putken sivulta (PPS) sekä niiden väliin jäävästä taitoskohdasta (kiintopisteestä KP). Näytteitä on otettu usealta etäisyydeltä putken sijainnista 10 metristä 150 metriin saakka, sekä pohjasedimentin välittömästä pinnasta sekä 15 cm syvyydeltä. Näytteiden keräys on tehty laskeumajakson lopussa, joten näytteet ovat kosteita. Asiakasyrityksen toimittamat rikastushiekkänäytteet olivat pakattu Minigrip-pusseihin.

Kuvasta 7 selviää näytteenottolinjojen sijainti maastossa, kaksi erillistä linjaa PPPP (PPPP = purkuputken päästä ja PPS = purkuputken sivulta sekä linjojen taitoskohta KP). Molemmista linjoista otettiin näytteet 10, 20, 30, 60, 100 ja 150 metrin etäisyydeltä: purkuputken päästä ja purkuputken sivulta kyseisiltä etäisyyksiltä sekä niiden väliin jäävästä taitoskohdasta.



KUVA 7 Näytteidenottolinjojen sijainti maastossa (Alustavat tulokset rikastushiekka\_altaan hajapöly.pdf)





KUVA 8 Rikastushiekkanäytteitä pakattuina Minigrip-pusseihin  
(Meriläinen 2017)

#### 4.1 Näytteiden esikäsittely

Työ aloitettiin jakamalla ja punnitsemalla kaikki työssä analysoitavat rikastushiekkanäytteet kolmeen osaan, jokainen näytepussi jaettiin kolmeen yhtä suureen osaan ja näytteet pussitettiin jokainen omaan pussinsulkijalla varustettuun näytepussiinsa (KUVA 8). Sen jälkeen jaetut näytteet laitettiin kuivumaan 105 ° C uuniin tavoitteena selvittää näytteiden kuivumisnopeus 0 % kosteuspitoisuuteen asti. Uunikuivauksen jälkeen näytteet jäähdytettiin eksikaattorissa ja punnittiin sekä uunitettiin uudelleen, jos näytteet eivät olleet saavuttaneet tavoitekosteuspitoisuutta 0 %.

Näytteitä kuivattiin uunissa samassa lämpötilassa lisää, jotta saatiin selville ovatko näytteet riittävän kuivia. Havaittiin, että toisella uunituskerralla ei ollut vaikutusta näytteiden painon muutokseen. Osa näytteiden pusseista oli rikkoontunut uunikuivatuksen aikana alumiinivuoassa. Näytteet kuivattiin suljettavissa Minigrip-muovipusseissa, koska näytteet olivat kosteita ja osa näytteestä oli tarttunut pussin sisäseinämiin kiinni. Päätettiin kuivata näytteet Minigrip-pusseissa, jotta saadaan myös pussin sisäseinämiin tarttunut näyte analysoitavaksi. Todettiin kuitenkin myöhemmin pussissa kuivaaminen huonoksi metodiksi edellä mainitun pussien rikkoontumisten vuoksi. Pussien rikkoontuminen johtuu

siitä, kun näytteet kivettyvät kuivatuksen aikana ja niihin muodostuu teräviä särmiä tai reunoja. Terävät särmit voivat rikkoa pussin, myös näytepussin tarttuminen toisiinsa kiinni voi vahingoittaa pusseja. Päädyttiin etsimään vaihtoehtoinen kuivaamistapa uunikuivaamisen ajaksi. Alumiinivuoka todettiin kuivaukseen soveltuvaksi astiaksi.

1/3 sarjan näytteistä kuivattiin kaikki osanäytteet 0 % tavoitekosteuteen ja niistä määritettiin hajapölypäästö tuulikammiossa. Niistä saatujen arvojen avulla taulukkolaskentaohjelmalla päädyttiin toistamaan 2/3 ja 3/3 sarjasta vain niiden näytteidenmittaaminen tuulikammiossa mistä ensimmäisessä 1/3 sarjassa saatiin suurimmat hajapölypäästöpitoisuudet. Tutkittavaksi otettiin suurimman hajapölypäästöpitoisuuden tuottaneet näytteet sarjasta 1/3 sekä vastaavat näytteet 2/3 ja 3/3 sarjasta, jotka ovat identtisiä näytteitä sarjan 1/3 kanssa. Tämä voitiin tehdä, koska sarjat ovat samaa näytekokonaisuutta samoista paikoista, purkuputken lähialueilta kerättyjä näytteitä. Näissä tavoitekosteutena oli 10 % ja 20%, mutta erilaisista syistä johtuen näytteissä päädyttiin tavoitekosteudesta eriäviin lukemiin: 19 % ja 6 - 7 %.

## 5 HAJAPÄÄSTÖKERTOIMIEN MÄÄRITYS

Esikäsitellyistä ja kuivatuista näytteistä määritettiin kosteus ja hajapäästökertoimet eri tuulennopeuksilla tuulikammiossa. Mittausjakson pituudeksi oli määritelty 5 minuuttia/tuuliluokka. Tuuliluokiksi valikoitu 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s ja 10 m/s, sekä taustamittaus 1 m/s. Taustamittaus tehtiin jokaisen analysoitavan näytteenajon aluksi. Jos näyte poistuu näytealustalta kokonaisuudessaan ennen viimeisen tuuliluokan ajoa, 10 m/s, mittaus keskeytettiin, koska alustalla ei ollut enää analysoitavaa näytettä.

### 5.1 Mittausalusta ja kehys sekä näytteiden punnitus

Mittausalustaksi valikoitiin alumiinilevy (300 mm x 250 mm x 1mm), jonka päällä analysoitava näyte punnattiin. Kehykseksi valittiin muovinen pyöreäreunainen kehys (120 mm x 100 mm), jonka tarkoituksena on olla takaamassa näytteen pysymisen optimaalisesti samassa kohdassa eri näytteiden analysoinnin aikana, pitää näyte alustalla samassa paikassa ja paikallaan punnituksen aikana ja mittauksen aloitustilanteessa. Kun näyte on aina samassa paikassa alustalla, eri näytteiden tulostenvertailu on mahdollista.



KUVA 9 Näytealusta kehyksineen vaa'alla (Meriläinen 2017)

Punnituksen aluksi vaakalle asetetaan mittausalusta kehyksineen (KUVA 9) ja nollataan vaaka. Näyte, 90 g, mitataan kehyksen sisään. Avataan tuulikammion kansi.



KUVA 10 Tuulennopeuden mittausanturi, termoanemometri, ja näyte asetettuna tuulikammion pohjalle (Meriläinen 2017)

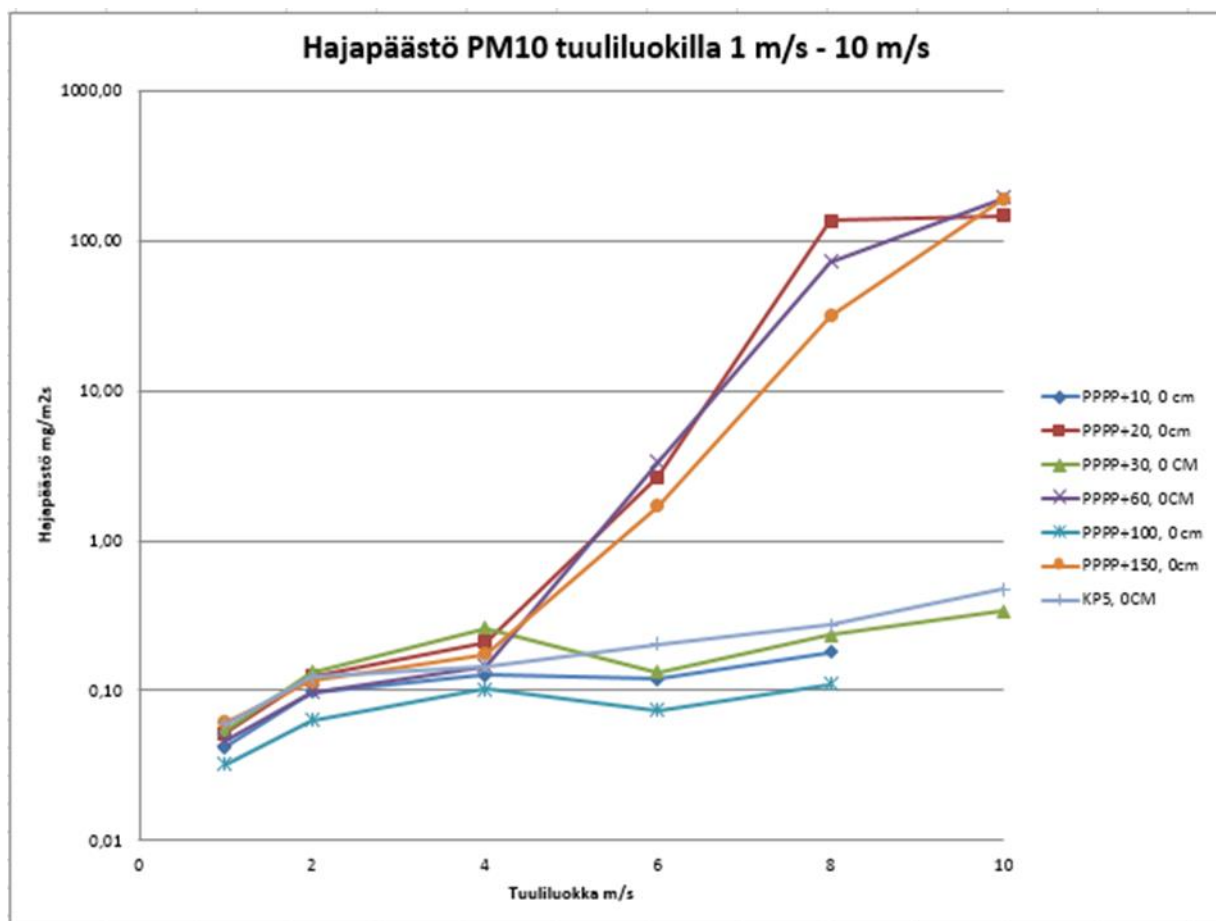
Näyte alustoineen asetettiin ja kehyksineen asetetaan tuulikammion pohjalle, mahdollisimman etualalle tuulikammion pohjaa (KUVA 10).

Tuulikammion pohjaan merkattiin paikka levyille, jotta alustalevy tulee aina samaan kohtaan kammion pohjaa ja siten eri näytteiden tulokset ovat keskenään mahdollisimman vertailukelpoisia. Poistetaan kehys ja aloitetaan mittaus taustamittauksella 1 m/s. Mittauksessa käytiin lävitse edellä mainitut tuuliluokat ja sen jälkeen tuulikammion kansi avattiin ja kammion pohjalta imuroitiin sinne levinnyt näyteaines.

Näyteaineksen poisto tuulikammion pohjalta on tärkeää, jotta edeltävän näytteen ainekset eivät pääse vaikuttamaan tulevien näytteiden mitattaviin pitoisuuksiin. Esikäsitellyistä näytteistä määritettiin kosteus ja hajapölypäästökertoimet eri tuulennopeuksilla

## 5.2 Hajapäästömittausten tuloksia (PM<sub>10</sub>)

Tulokset laskettiin taulukkolaskentaohjelmassa, ja niistä määritettiin pölypäästö eri tuuliluokilla. Tuloksista tehtiin koonti ja niistä piirrettiin kaaviot vertailun mahdollistamiseksi. Taulukkolaskentaohjelman avulla laadittiin hajapölypäästö PM<sub>10</sub> saaduista mittauksista (mg/m<sup>2</sup>s). Näytemassat laskettiin taulukkolaskentaohjelmalla punnituista teflonsuodattimista seuraavasti: näytemassa / (näytetilavuusvirta 0.0167 m<sup>3</sup>\*keräysaika). Kuviossa 11 on hajapäästö PM<sub>10</sub> aiemmin analysoiduista rikastushiekkanäytteistä laskettuna.



KUVIO 11 Hajapölypäästö PM<sub>10</sub> erään asiakasyrityksen näytteistä laskettuna

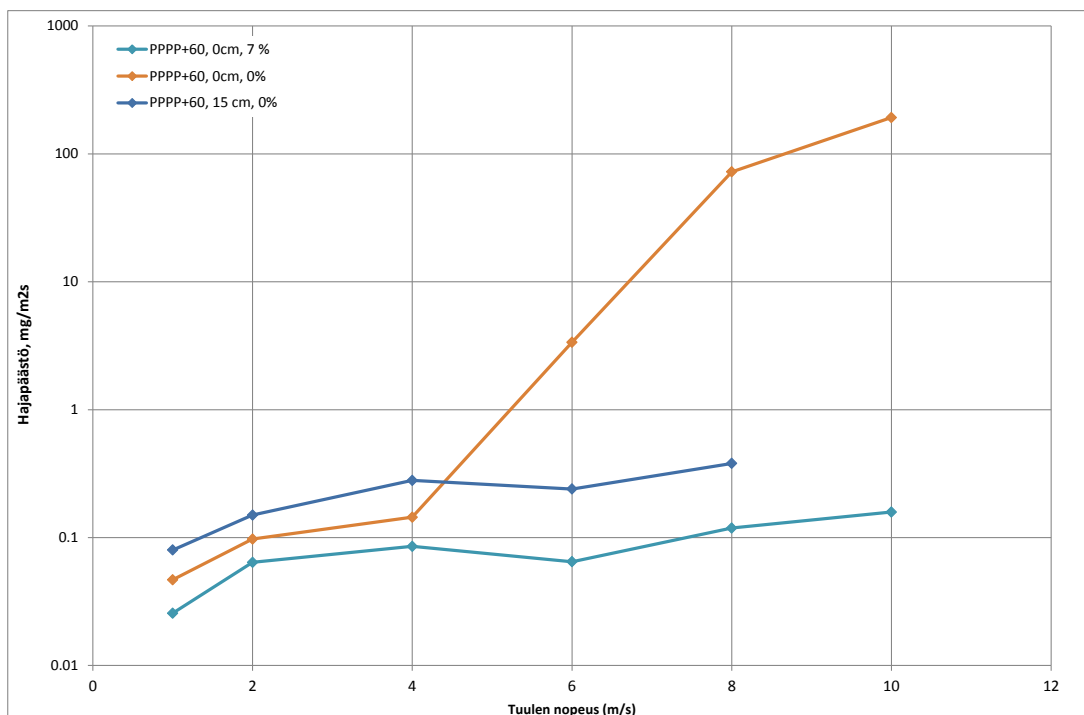
Zambell-mittausten tulosten perusteella kuvan logaritmisella asteikolla voidaan havaita, että 7:stä analysoidusta näytteestä 3 näytettä on selkeästi pölyvämpiä. Ja näissä merkittäviä pölypäästöjä muodostuu yli 4 m/s tuulennopeuksilla.

#### Kosteuden vaikutus hajapäästökertoimeen PM<sub>10</sub>

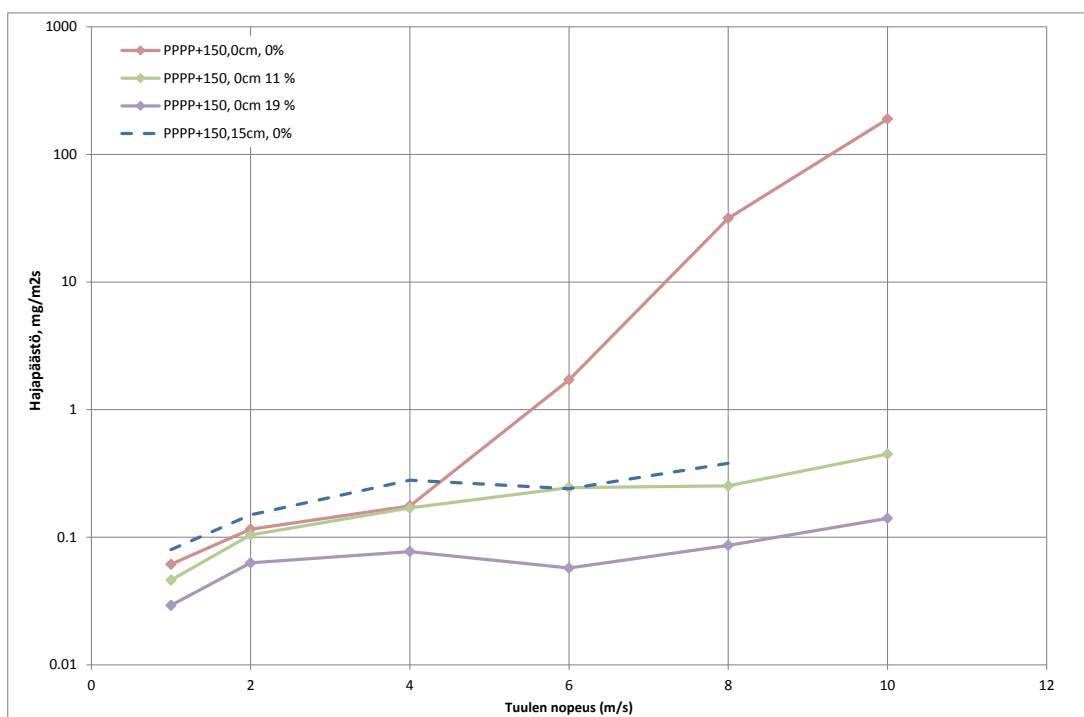
Kosteuden vaikutusta hajapölypäästökertoimeen selvitettiin tekemällä osalle näytteitä testit eri kosteuksilla.

Näytteiden kosteuden hallinta osoittautui ennakoitua hankalammaksi. Suunnitelmana oli kuivata näytteet 10 %:n ja 20 %:n tavoitekosteuteen, mutta johtuen näytteiden pienestä massasta, ne kuivuivat liiaksi uunituksen ja eksikaattorissa jäähdyttämisen aikana. Kuivattujen näytteiden kosteudet vaihtelivat pääosin välillä 5 - 7 %. Erästä näytteestä hajapäästökertoimet määritettiin 11 ja 19 % kosteudessa.

Näytteet, joiden havaittiin omaavan kuivana korkeampi hajapäästökerroin PM<sub>10</sub>, otettiin testiin. Lisäksi kiintopistenäytteelle määritettiin hajapäästökerroin. Kuvioissa 12 ja 13 on esitetty näiden näytteiden hajapäästökertoimet eri tuulen nopeuksilla sekä kosteuksilla.



KUVIO 12 Asiakasyrityksen erään näytelinjan 60 metrin etäisyydeltä poistoputken päästä otetuista näytteistä määritetyt haja-päästökertoimet eri tuulen nopeuksilla sekä kosteuksilla



KUVIO 13 Asiakasyrityksen erään näytelinjan 150 metrin etäisyydeltä poistoputken päästä otetuista näytteistä määritetyt haja-päästökertoimet eri tuulen nopeuksilla sekä kosteuksilla

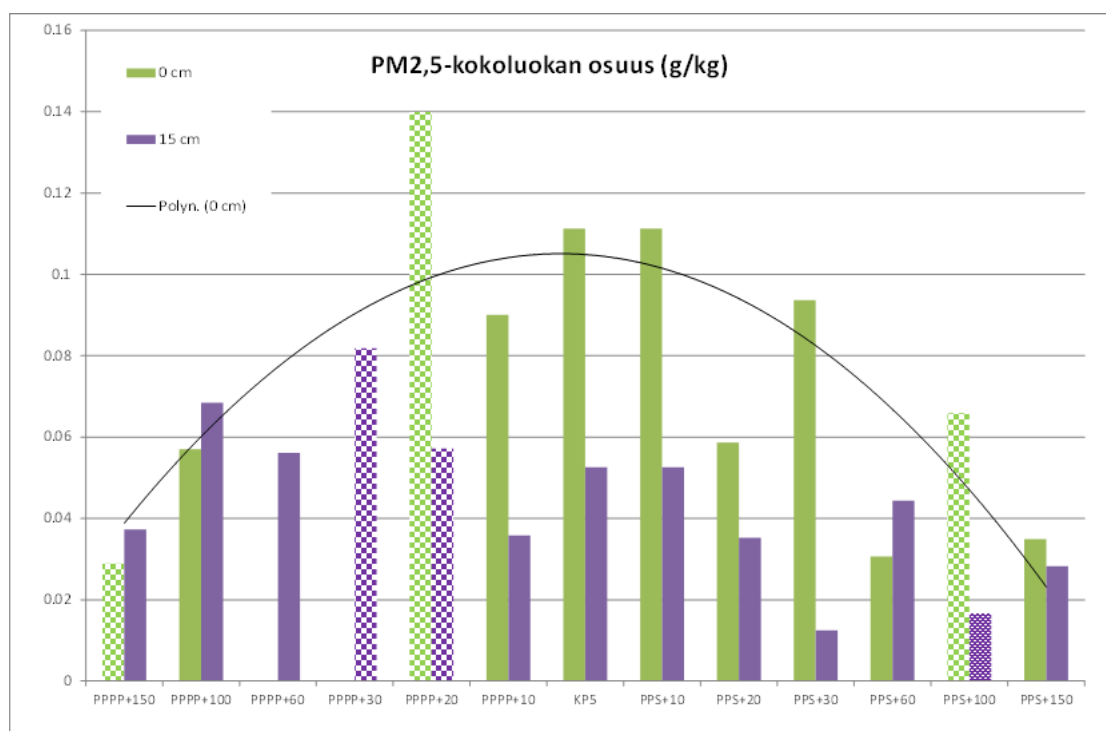
Kuvioista 12 ja 13 voidaan havaita, että kosteammilla näytteillä on pienemmät hajapäästöpitoisuudet kuin täysin kuivalla 0 % kosteuspitoisuuden omaavalla näytteillä.



### 5.3 Pienhiukkasten (PM<sub>2.5</sub>) osuus

Näytteistä määritettiin myös pienhiukkasten massaosuus rikastushiekkänäytteen kokonaismassasta. Näytteet fraktioitiin tuulikammion poistoilmasta imemällä osanäyte ja kokolajittelemalla se PM<sub>2.5</sub>-leikkurin avulla teflonsuodattimelle. Suodattimen massan kasvun ja tilavuusvirran avulla laskettua päästöä verrattiin testin aikaiseen rikastushiekkänäytteen massan muutokseen, ja tulokset ilmoitettiin yksikössä grammaa kilogrammaa rikastushiekkää kohden (g/kg) (KUVIO 14). Näytteet edustavat koko tuulikammiotestin aikaista näytettä, joten tuulen suhdetta pienhiukkaspäästön ei tunneta).

Kuviossa 14 on taulukoitu tuulikammiossa analysoitujen näytteiden hajapölypäästö PM<sub>2.5</sub> hiukkaskokoluokassa. Näytteitä oli kerätty kahdesta näytteenottolinjasta (PPPP, PPS) 10 – 150 m etäisyydeltä ja niiden väliin jäävästä kulmapisteestä (KP) kahdesta eri näytteenottosyvyydestä, 0 cm ja 15 cm. Vihreä väri tarkoittaa 0 cm näytteenottosyvyyttä ja violetti 15 cm näytteenottosyvyyttä. Ruudukoilla merkittyjen näytteiden havaittiin tuulikammiotestauksessa omaavan selvästi korkeamman PM<sub>2.5</sub>-hajapölypäästökertoimen.



KUVIO 14 Rikastushiekkänäytteiden pienhiukkaskokoluokan PM<sub>2.5</sub> osuus kokonaismassasta eri näytteenottosyvyyksillä, 0 cm ja 15 cm (Nuutinen 2017)

## 6 TULOSTEN TARKASTELUA

Tulosten perusteella voidaan havaita, että tässä opinnäytetyössä esitelty tuulikammiotestausmenetelmä on toimiva (ainakin laboratorio-olosuhteissa). Testausmenetelmällä voidaan havaita eroja pölyävyydessä eri rikastushiekkanäytteiden välillä. Tuloksista tehtiin kaaviot taulukkolaskentaohjelmalla, joista voidaan havaita näytteiden välisiä eroja niiden pölypäästöpitoisuuksissa. Erot voivat johtua muun muassa näytteenkeruupaikasta sekä näytteen kosteuspitoisuudesta. Testien perusteella on helppoa määritellä vähiten pölyävimmät näytteet pois tarkastelusta ja keskittyä niihin näytteisiin ja alueisiin maastossa jotka pölyävät eniten. Pölypäästömittauksilla pystytään siis rajaamaan tutkittavan alueen rikastushiekka-altaan pinta-alaa pienemmäksi, kun tutkimuksissa saadaan selville merkittävimmät pölypäästöalueet. Tuloksista voidaan päätellä, että vain osalta tutkittavasta alueesta muodostuu merkittäviä hajapölypäästöjä. Kun pölyävää pinta-alaa saadaan rajattua pienemmäksi, kuivaan aikaan alueen kasteluun kuluu vähempi aikaa ja resursseja, kun ei tarvitse kastella koko rikastushiekka-altaan pinta-alaa pölyämisen minimoimiseksi. Myös eniten pölyäville alueille voidaan rakentaa esimerkiksi tuulensuoja-aitoja pölyn leviämisen vähentämiseksi lähiympäristöön.

Tuulikammio-testien perusteella koesarjan rikastushiekkan päästökerroin pienenee vähäiselläkin kosteudella merkittävästi, joten rikastushiekka-alueelta muodostuu merkittäviä hajapölypäästöjä pinnan ollessa vain lähes tai täysin kuiva, mikä vaatii pitemmän poutajakson. Testien perusteella tuulen nostamaa hajapäästöä alkaa muodostua tuulen nopeuden ylittäessä 4 m/s, mutta merkittävästi niitä muodostuu tuulen nopeuden ollessa 8 – 10 m/s, tai enemmän.

Testituloksiin vaikuttaa merkittävästi virtausnopeuden määrittäminen. Termoaanemometrin asettaminen kammioon on tehtävä huolellisesti tuulennopeuden asetuksen lähtötilanteessa. Termoaanemometrin mittausreikien pitää olla kohtisuorassa tuulikammion tuulenvirtaukseen nähden, jotta saadaan mittaukseen oikea lähtöarvo. Jos anturi ei ole kohtisuorassa tuulikammioon nähden, haluttuun tuuliluokkaan saattaa tulla jopa 2 m/s oleva mittausvirhe, ja sen jälkeen saadut mittaus tulokset ovat arvottomia.

Suuremman kosteuden omaavista näytteistä voidaan todeta, että näyte pysyi pidempään alustalla, myös voimakkaammilla tuuliluokilla, korkeammasta kosteudesta johtuen. Yksikään suuremman kosteuden omaava näyte ei poistunut kokonaisuudessaan alustalta. Kovemmilla tuulennopeuksilla näyte murtui paloiksi, muruiksi, eikä varsinaisesti pölynnyt kovinkaan merkittävästi.



## 7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli ottaa käyttöön hajapölyn määrittämiseen soveltuva tuulikammio. Käyttöön oton myötä selvitettiin erään rikastushiekka-altaan hajapölypäästö eri tuulenopeuksilla ja kosteuspitoisuuksilla tuulikammiossa. Tuulikammiotesteissa oli tavoitteena määrittää myös näytekohtainen ”kriittinen tuulen nopeus” rikastushiekkanäytteistä, jonka ylittyessä hiukkaset irtoavat maan pinnasta tai lähtevät vierimään. Työhön kuului myös näytteiden käsittelystä ja -jakamisesta sekä hiukkasemissipotentiaalin selvittämisestä tuulikammiossa liittyvien menetelmäohjeiden laatiminen. Kyseiset menetelmäohjeet selkeyttävät uusien toimijoiden työtä jatkossa heidän toimiessaan erilaisten näytesarjojen kanssa tuulikammiotesteissa.

Testauksen aikana tehtiin kaikilla näytesarjaan kuuluneilla näytteillä tuulikammio-testaus. Näitä näytesarjoja edustivat kuvan 7 mukaiset näytelinjat, 2 linjaa (PPPP ja PPS) sekä niiden väliin jäävä taitoskohta (kiintopiste KP). Näistä näytesarjoista tehtiin testiajot kaikilta näytteenottoetäisyyksiltä 10-150 metrin väliltä. Näytesarjoista analysoitiin rikastushiekka-altaan välittömästä pinnasta ja 15 cm syvyydeltä kerätyt näytesarjat.

Ensimmäisen näytesarjan tuulitunnelitestiajosten jälkeen otettiin tarkempaan tarkasteluun eniten pölynneet, suurimmat hajapölypäästöpitoisuudet, aiheuttaneet näytteet. Näistä suurimman hajapölypäästön aiheuttaneista näytteistä tehtiin uusinta koeajo, sarjan toisella ja kolmannella osalla. Ne ovat identtisiä ensimmäisen sarjan näytteiden kanssa, koska ne ovat samaa näytesarjakokonaisuutta. 1 sarjan näytteet olivat kuivattu täysin kuivaksi. 2 ja 3 sarjan näytteet olivat kuivattu kosteuteen 6-7 % ja 19 %. Jälkimmäiset sarjat sisälsivät suuremman kosteuspitoisuuden kuin alkuperäinen koesarja, joka oli kuivattu täysin kuivaksi. Vertailun saamiseksi testiajot suoritettiin myös kosteammilla näytesarjoilla. Havaittiin, että kosteammissa näytteissä hajapölypäästöpitoisuus oli alhaisempi kuin täysin kuivissa 1 sarjan näytteissä.

Opinnäytetyöhön liittyi myös mittauspöytäkirjan ja taulukkolaskentapohjien laadinta kyseisen testisarjan käyttöön. Nämä ovat osana tuulikammio-testausmenetelmän kokonaisuutta. Taulukkolaskentapohjaan kirjattiin kaikista testiajoista tuulikammio-mittausten tulokset eri tuuliluokilla, tilavuusvirtausten keskiarvotulokset, kokonaishiukkasmittauksen, PM<sub>10</sub> hajapölypäästöt ja PM<sub>2.5</sub> suodatinkeräyksen tulokset sekä lämpötila, ilmankosteus ja ilmanpaine vallitsevalla mittaushetkellä. Lopuksi taulukkolaskentaohjelmalla laadittiin kaaviot eri näytteiden hajapölypäästöpitoisuuksista, jotta saatiin vertailua aikaiseksi.

Opinnäytetyössä laadittiin lisäksi koesarjojen perusteella menetelmäohjeet näytteenjakamiselle ja pölypäästön määrittämiselle tuulikammiossa.

Kyseiset menetelmäohjeet toimivat käytännön ohjeina ja oppaina tuulikammion käyttäjille, jotta heidän on käyttäjätavallisempaa toimia näytesarjojen kanssa. Menetelmäohjeet ovat laadittu mahdollisimman selkeiksi ja niitä on täydennetty opastavin värikuvoin. Jatkossa jos tuulikammio-testaukseen tulee muutoksia, menetelmäohjeita on päivitettävä.

Rambollin suunnitelmissa on tehdä tämän kevään aikana myös toistamiseen tuulikammiokeita eri asiakasyritysten näytteillä. Siten saadaan myös näyttöä tuulikammion soveltuvuudesta erilaisille näytesarjoille ja niiden sisältämille hajapölypäästöille. Ramboll aikoo myös jatkaa tuulikammion kehittämistä kenttäolosuhteissa. Sovelluskohteita ovat muun muassa kaivosten kuljetusreitit, sivukivialueet sekä turvetuotantoalueet.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Euroopan unionin virallinen lehti, KOMISSIION ASETUS (EU) N: o 601/2012, 2012, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2003/87/EY tarkoitettu kasvihuonekaasupäästöjen tarkkailusta ja raportoinnista

IMMONEN Milja 2014, Sellutehtaan TRS-hajapäästöjen hallinta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. [Viitattu 2016-03-13] Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/100049>

NISSINEN, Anni 2014. Boliden Kokkolan Hiukkasmaisten hajapäästöjen arviointi, Centria-Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2016-03-18] Saatavissa: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76516/nissinen\\_anni.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76516/nissinen_anni.pdf?sequence=1)

NUUTINEN, Janne 2017. Kuva 14 PM<sub>2.5</sub> rikastushiekkanäytteiden pienhiukkasfraktion osuus kokonaismassasta

Opasnet.fi, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL) [verkkoaineisto] [Viitattu 2017-3-17] Saatavissa: [http://fi.opasnet.org/fi\\_wiki/images/0/06/Hiukkaset\\_koko.png](http://fi.opasnet.org/fi_wiki/images/0/06/Hiukkaset_koko.png)  
Polku: opasnet.fi Altistuminen hengitysilman kautta

Ramboll Finland 2017. Alustavat tulokset rikastushiekka\_altaan hajapöly.pdf. Ei julkisesti saatavilla.

RÄSÄNEN Mari 2016. Kiintoaineen tuulikammioestien suunnittelu ja päästökirjaston luonti opinnäytetyö, Savonia Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma [Viitattu 2017-03-25] Saatavissa: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110158/rasanen\\_mari.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110158/rasanen_mari.pdf?sequence=1)

Swema Air 40 käyttöohje. Swema versio 1.01 CW2002-08-02. Pietiko Oy. [www.pietiko.fi](http://www.pietiko.fi)

SÄÄMÄNEN Arto, RIIPINEN Hannu, KULMALA Ilpo ja WELLING Irma. 2004. Kansainvälinen yhteistyö- ja tiedonvälityshanke hyvien työympäristöratkaisujenedistämiseksi, Pölyntorjunta. [Viitattu 2016-04-11]

Turnkey Instruments Ltd. Osiris Operating manual [verkkoaineisto] [Viitattu 2017-3-17] Saatavissa: <http://www.turnkey-instruments.com/images/documents/Osiris-Operating-Instructions.pdf>