

# **Älyviherseinän testaus ilman epäpuhtauksien pienhiukkasten suodatuksessa**

Tuomo Kangas

Opinnäytetyö

Toukokuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Kangas, Tuomo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2016
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Älyviherseinän testaus ilman epäpuhtauksien pienhiukkasten suodatuksessa</b>		
Tutkinto-ohjelma Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Matti Siistonen, Jouni Jurvelin		
Toimeksiantaja(t) NaturVention Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Ilman epäpuhtaudet ja niissä ilmenevät pienhiukkaset ovat kasvava ongelma ihmisten terveydelle. Maailman terveysjärjestö WHO:n mukaan noin 7 miljoonaa ihmistä kuoli ilman epäpuhtauksiin vuonna 2012. Ilman epäpuhtaudet aiheuttavat mm. sydän- ja verisuonitauteja, keuhkotauteja ja syöpää.</p> <p>NaturVention Oy:n tuote on sisäilmaa puhdistava Naava-älyviherseinä. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko Naava-älyviherseinällä mahdollista puhdistaa pienhiukkasia ilman epäpuhtauksista. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lukumäärällisesti, minkä verran pienhiukkasia pystytään suodattamaan, sekä tutkia, mikä on suodatettujen hiukkasten koko-lukumääräjakauma. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston TUT:n kanssa käyttäen sen ELPI-pienhiukkasmittauslaitteistoa.</p> <p>Tulokset osoittivat, että pienhiukkasten suodatus älyviherseinällä on mahdollista. Mittauksia tehtiin usealla eri mittausasetelmalla, joissa muuttujina oli mm. älyviherseinän vesikastelu sekä tuuletusasetukset. Tulokset perustuvat mm. kasvien kasvualustan toimimiseen rakeisena suodattimena sekä vesikastelusta johtuvaan märkädeposition.</p> <p>Tuloksista tehtiin SPSS Anova -analyysi, jolla tutkittiin mittausasetelmien välisten muuttujien merkittävyyttä suhteessa toisiinsa sekä muuttujien merkittävyyttä tuloksiin. Anova -analyysin mukaan muuttujat ovat tilastollisesti merkitseviä.</p> <p>Älyviherseinän suodatusaste ei kuitenkaan ole verrattavissa markkinoilla oleviin pienhiukkassuodattimiin. Mikäli älyviherseinää halutaan tehokkaasti käyttää pienhiukkasten puhdistukseen, tulee tuotetta jatkokehittää ja suodatusastetta lisätä.</p>		
<p>Avainsanat (<a href="#">asiasanat</a>) Pienhiukkaset, ilman epäpuhtaudet, älyviherseinä, pienhiukkasten mittaukset, viherkasvit, ilmanlaatu</p>		
<p>Muut tiedot Liitteenä ELPI -tuote-esite mittauspöytäkirja, ote mittausten raakadatasta ja SPSS Anova -analyysi (yht. 9 sivua)</p>		

Author(s) Kangas, Tuomo	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 50	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Smart greenwall in filtering fine particulates from air pollutants</b>		
Degree programme Wellness technology		
Supervisor(s) Siistonen Matti, Jurvelin Jouni		
Assigned by Järvinen Niko, NaturVention Oy		
Abstract  <p>Air pollutants and the particles in the pollutants are a growing problem for human health. The World Health Organization states that approximately 7 million people died because of air pollutants in 2012. Air pollutants cause e.g cardiovascular diseases, lung diseases and cancer.</p> <p>A smart greenwall made for indoor air purification is a product of NaturVention Oy. The thesis studies if it is possible to filter the fine particles in air pollution with Naava smart greenwall. The aim of the study was to measure quantitative amount of particles that was filtered, and the size-amount range of the particles. The study was conducted in collaboration with Tampere University of Technology TUT, using their ELPI- fine particle measuring device.</p> <p>The results indicate that it is possible to filter fine particles with a smart greenwall. The measurements were made with different measurement setups, where the variables were e.g the watering in the greenwall and the ventilation settings. The results are based e.g. on the growth media acting as a granular filter, and the wet deposition caused by the watering in the smart greenwalls.</p> <p>The results were analyzed with SPSS Anova analyzer. Anova was used to evaluate the significance of the variables compared to one another, as well as the significance of the variables effecting the results. The results of Anova analysis showed that the variables are statistically significant.</p> <p>The filtration rate with the smart greenwall is not comparable to the fine particle filters on the market. If the smart greenwall is to be effectively used in fine particle filtration, the filtration rate needs to be improved with further development of the product.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Particles, air pollution, smart greenwall, particle measurement, green plants, air quality		
Miscellaneous In attachment there are ELPI –product brochure, measurement records, part raw data from measurements and SPSS Anova –analysis (tot. 9 pages)		

## Sisältö

1	Opinnäytetyön taustat .....	4
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet.....	4
1.2	NaturVention Oy .....	4
2	Ilman epäpuhtaudet.....	5
2.1	Ilman epäpuhtaudet yleisesti.....	5
2.2	Ilman epäpuhtauksien historiaa.....	6
2.3	Ilmanlaatuindeksi .....	7
3	Pienhiukkaset .....	8
3.1	Pienhiukkaset yleisesti .....	8
3.2	Pienhiukkasten terveysvaikutuksia .....	10
4	Pienhiukkasten mittaaminen ja suodatus.....	11
4.1	Pienhiukkasten mittaamisen teoriaa .....	11
4.2	Pienhiukkasten mittausmenetelmät .....	12
4.2.1	Inertiaan perustuvat mittausmenetelmät.....	12
4.2.2	Optiset mittausmenetelmät .....	14
4.2.3	Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät .....	15
4.3	Pienhiukkasten suodatus.....	17
5	Viherkasvit ilmanpuhdistuksessa .....	19
6	Varianssianalyysi .....	21
7	Opinnäytetyön toteutus.....	22
7.1	Opinnäytetyön eteneminen .....	22
7.2	Hypoteesi.....	23
7.3	Testiasetelman kuvailu.....	23
7.4	Käytetty mittalaitteisto .....	25
8	Tulokset ja niiden analysointi.....	27
8.1	Tulokset mittausasetelmittain .....	27
8.2	Pienhiukkasten suodatus kokoluokittain .....	29

	2
8.3	Tuuletusasteen vaikutus suodatusasteeseen ..... 30
8.4	SPSS Anova- analyysi ..... 31
9	Pohdinta ..... 32
9.1	Opinnäytteen työvaiheet ja eteneminen ..... 32
9.2	Työn teoria ..... 33
9.3	Mittaukset ..... 34
9.4	Tulokset ja johtopäätökset ..... 34
9.5	Tulosten luotettavuus ..... 36
9.6	Tutkimuksesta saatu hyöty ja jatkotoimenpiteet ..... 37
	Lähteet ..... 39
	Liitteet ..... 42
	Liite 1. ELPI Tuote-esite ..... 42
	Liite 2. Mittauspöytäkirja ..... 44
	Liite 3. Ote mittausten raakadatasta ..... 46
	Liite 4. SPSS Anova –analyysi ..... 47

## **Kuviot**

Kuvio 1.	Aerosolien kokojaottelu ..... 9
Kuvio 2.	Impaktori ..... 12
Kuvio 3.	Vastavirtausykloni ..... 13
Kuvio 4.	Optisen hiukkaslaskurin toimintaperiaate ..... 14
Kuvio 5.	Hiukkasen aiheuttama valon sironta ..... 14
Kuvio 6.	Kondensatiohiukkaslaskurin toimintaperiaate ..... 15
Kuvio 7.	Sähköinen liikkuvuusanalysointilaitteisto ..... 16
Kuvio 8.	DMA:n toimintaperiaate ..... 17
Kuvio 9.	Rakeisen suodattimen toimintaperiaate ..... 19
Kuvio 10.	Naava- älyvihherseinä ..... 20
Kuvio 11.	Opinnäytetyön eteneminen ..... 22

Kuvio 13. Ideakuva testikammioista .....	24
Kuvio 14. Mittalaitteisto ja mittauskammio .....	24
Kuvio 15. Dekati ELPI .....	25
Kuvio 16. ELPI:n toimintaperiaate .....	26
Kuvio 17. ELPIVI ohjelmisto .....	27
Kuvio 18. Hiukkasten kokojakauma .....	29
Kuvio 19. Mittausasetelma <i>Kasvit + kasvualusta + kastelu, tuuletusaste puolet</i> hiukkasten koko- ja lukumääräjakauma .....	29
Kuvio 20. Mittausasetelma <i>Kasvualusta + kastelu, tuuletusaste maksimi</i> hiukkasten koko- ja lukumääräjakauma .....	30
Kuvio 21. Tuuletusasteen vaikutus hiukkaspitoisuuksiin mittausasetelmassa <i>Kasvit + kasvualusta + kastelu</i> .....	30

## Taulukot

Taulukko 1. CAQI Ilmanlaatuindeksi.....	7
Taulukko 2. HSY:n ilmanlaatuindeksin määräytymispitoisuudet.....	8
Taulukko 3. SFS EN 1822-1 Suodatusluokat .....	18
Taulukko 4. Mittausasetelmat.....	25
Taulukko 5. Tulokset mittausasetelmittain .....	28
Taulukko 6. Viisi tehokkainta mittausasetelmaa .....	28
Taulukko 7. Anova-analyysin parinvertailutaulukko .....	31

# 1 Opinnäytetyön taustat

## 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Ilman epäpuhtauksien lisääntyminen on kasvava ongelma, joka vaikuttaa ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin sekä aiheuttaa ympäristöongelmia. Maailman terveysjärjestö WHO:n (World Health Organization) mukaan ilman epäpuhtauksien aiheuttamiin terveysongelmiin kuoli vuonna 2012 seitsemän miljoonaa ihmistä (7 million premature deaths annually linked to air pollution, 2014). Suomessa ilman epäpuhtauksien uskotaan aiheuttavan 1600 ennen aikaista kuolemantapausta vuosittain, valtaosa johtuu pienhiukkasista. (Hänninen, Korhonen, Lehtomäki, Asikainen & Rumrich, 2016, 10).

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka paljon NaturVention Oy:n Naava -älyviherseinä pystyy suodattamaan pienhiukkasia. Tehtävänä oli selvittää, minkä verran nykyisellä tuotteella voidaan suodattaa pienhiukkasia, ja mikä on suodatettujen hiukasten lukumäärä- ja kokojakauma. Aihe on yhteiskunnallisesti merkittävä nousevien pienhiukaspäästöjen myötä. Mikäli tulokset ovat merkittäviä, työllä voi olla suurta merkitystä suuren väestön terveyden laatuun.

Raportti pyrkii esittelemään sekä työssä käytettäviä menetelmiä kattavan teoriaosuiden avulla että tulokset johdonmukaisesti analysoituna. Työ toteutettiin kvantitatiivisena tutkimuksena, jonka tarkoituksena oli selvittää älyviherseinän vaikuttavat tekijät pienhiukasten suodatuksessa. Tutkimuksessa noudatettiin hyvää tutkimusetiikkaa, mikä näkyy mm. huolellisuutena mittauksissa ja avoimuutena raportissa. Tavoitteena oli löytää vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. *Mikä on älyviherseinän pienhiukasten suodatusaste?*
2. *Minkä kokoisia pienhiukkasia älyviherseinä suodattaa?*
3. *Mitkä tekijät vaikuttavat älyviherseinän kykyyn puhdistaa pienhiukkasia?*

## 1.2 NaturVention Oy

NaturVention Oy on vuonna 2011 perustettu jyvaskyläläinen yritys. Opinnäytetyön valmistuessa NaturVention työllisti noin 40 henkilöä, ja sen liikevaihto vuonna 2015

oli noin 1 000 000 €. Yrityksen ovat perustaneet Niko Järvinen, Aki Soudunsaari ja Mika Tyrväinen. (Järvinen, 2016)

Yrityksen päätuote on sisäilmastoa luonnollistava Naava-älyviherseinä. Yrityksen asiakkaita ovat koulut, päiväkodit, virastot ja yritykset, joista valtaosassa on havaittu sisäilmaongelmia. Yrityksen teknologian on tutkitusti todettu poistavan sisäilman VOC-kemikaaleja sekä lisäävän viihtyvyyttä. (Järvinen, 2016)

## 2 Ilman epäpuhtaudet

### 2.1 Ilman epäpuhtaudet yleisesti

Maailman terveysjärjestö WHO:n (World Health Organization) mukaan ilman epäpuhtaudet voidaan jakaa orgaanisiin, epäorgaanisiin ja klassisiin epäpuhtauksiin sekä sisäilman epäpuhtauksiin (WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2009, 7). Yleisimpiin ilman epäpuhtauksiin kuuluvat mm. hiili-, typpi- ja rikkioksidit, VOC-kemikaalit, hiukkaset ja aerosolit, raskasmetallit sekä radioaktiiviset päästöt (Bhaskar 2009, 95-100; New source review for stationary sources of air pollution 2006, 210; Interim report of the committee on changes in new source review... 2005, 50).

Bhaskarin (2009, 92) mukaan Yhdysvalloissa vapautuu vuosittain 147 miljoonaa tonnia ilman epäpuhtauksia vuosittain, ja Theodore (2008, 12) arvioi vastaavan luvun olevan jopa 200 miljoonaa tonnia. Näistä noin 25 % aiheutuu staattisista polttopaikoista, esim. voimalaitoksista ja tehtaista, ja 15 % aiheutuu teollisuuden muista päästöistä (mts. 12).

WHO:n määritelmän lisäksi ilman epäpuhtaudet voidaan jakaa myös kahteen kategoriaan: luonnollisiin epäpuhtauksiin ja ihmisen aiheuttamiin epäpuhtauksiin. Luonnon aiheuttamia ilman epäpuhtauksia ovat mm. tulivuorista aiheutuvat tuhka- ja noki-päästöt, metsäpaloista johtuvat raskaat savupilvet, soista ja biohajoamisesta aiheutuvat metaanikaasut sekä kasvien aiheuttamat VOC-päästöt ja siitepölyt. (Bhaskar 2009, 93; Theodore 2008, 248). Valtaosa suurkaupunkien ilman epäpuhtauksista on ihmisten aiheuttamia, ja vain 10 % aiheutuu luonnosta (Bhaskar 2009, 93).



Ihmisen aiheuttamat ilman epäpuhtaudet jakautuvat primaarisiin ja sekundaarisiin ilman epäpuhtauksiin. Primaariset ilman epäpuhtaudet vapautuvat suoraan lähteistään haitallisessa muodossa ilmaan, kun sekundaariset muuttuvat haitallisiksi ilmassa sekoittuessaan toiseen aineeseen tai kemiallisen reaktion myötä. Tällä tavoin syntyneet fotokemialliset oksidantit ja ilmakehässä muodostuneet hapot ovat ihmisterveydelle vaarallisimpia sekundaarisia ilman epäpuhtauksia. (Bhaskar 2009, 94; Global sources of local pollution... 2009, 68.)

## 2.2 Ilman epäpuhtauksien historiaa

Ilman epäpuhtaudet ovat yleistyneet teollistumisen jälkeen, ja niiden merkitys on muuttunut ajan myötä. 1800-luvun lopulla savusumu (engl. smog) yleistyi Lontoossa. 1950-luvulla ilman epäpuhtauksilla tarkoitettiin palamisesta aiheutuneita kaasuja, sa-  
vuhiukkasia ja pahoja hajuja, jotka aiheutuivat teollisuudesta ja liikenteestä, sekä pö-  
lypilivistä, jotka aiheutuivat pölyllästä teistä ja maatalouskoneiden työs-  
kentelystä pelloilla. (Global sources of local pollution... 2009, 11-12.)

Teollistumisen jälkeen ensimmäinen ilman epäpuhtauksista aiheutuva katastrofi ta-  
pahtui vuonna 1952, kun Lontoossa kuoli yli 4000 ihmistä ilman epäpuhtauksien vai-  
kutuksesta. Tällöin lämpötilasta ja korkeapaineesta johtunut tuulen puute aiheutti  
rankan savusumun Lontoon ylle viideksi päiväksi (Theodore, 2008, 11). 1960-luvulla  
vahvistui tieto ilman epäpuhtauksien fotokemiallisten reaktioiden vaikutuksista ilman  
paikallisiin epäpuhtauksiin. 1900-luvun lopulla tietoisuus ilman epäpuhtauksien vai-  
kutuksista terveyteen, ympäristöön ja ilmanlaatuun kasvoi nopeasti. Lisäksi huomatiin  
ilman epäpuhtauksien kulkeutuvan valtamerien yli voimakkainakin pitoisuuksina.  
(Global sources of local pollution... 2009, 11-12.)

2000-luvulla ilmanlaatu on parantunut länsimaissa ja Japanissa. Teollistuneissa kehi-  
tysmaissa ilman epäpuhtauksien määrä kuitenkin kasvaa, ja etenkin suurkaupun-  
geissa kuten Peking ja Delhi, ilman epäpuhtauksien määrä on kymmeniä kertoja kor-  
keammalla kuin ihmisille terveellisenä pidettävät raja-arvot. (Bhaskar 2009, 92)

## 2.3 Ilmanlaatuindeksi

Ilmanlaatuindeksi (air quality index, AQI) on ilmanlaadun ilmaisuun kehitetty indeksiluku. AQI kertoo ilman sen hetkisen laadun numeerisella luvulla. EU:ssa on käytössä Common Air Quality Index (CAQI). CAQI ilmaisee ilmanlaadun tunnitaisen, päivittäisen sekä vuosittaisen indeksin. Taulukossa 1 CAQI osoittaa ilmanlaadun numeerisen arvon mukaan välille 0-100, joka on jaettu viisiportaiseksi arvosteluasteikoksi. Tunnittaista ja päivittäistä indeksiä päivitetään jatkuvasti, kun vuotuinen indeksi julkaistaan kerran vuodessa, ja sitä verrataan raja-arvoihin. (Indices definition, n.d.)

Taulukko 1. CAQI Ilmanlaatuindeksi (Indices definition, n.d.)

Index Class	Grid	ROADSIDE INDEX						BACKGROUND INDEX							
		Mandatory pollutant			Auxiliary pollutant			Mandatory pollutant				Auxiliary pollutant			
		PM10			PM2.5			PM10				PM2.5			
		NO2	1 hour	24 hours	1 hour	24 hours	CO	NO2	1 hour	24 hours	O3	1 hour	24 hours	CO	SO2
Very High	>100	>400	>180	>100	>110	>60	>20000	>400	>180	>100	>240	>110	>60	>20000	>500
High	100	400	180	100	110	60	20000	400	180	100	240	110	60	20000	500
Medium	75	200	90	50	55	30	10000	200	90	50	180	55	30	10000	350
	50	100	50	30	30	20	7500	100	50	30	120	30	20	7500	100
Low	50	100	50	30	30	20	7500	100	50	30	120	30	20	7500	100
	25	50	25	15	15	10	5000	50	25	15	60	15	10	5000	50
Very Low	25	50	25	15	15	10	5000	50	25	15	60	15	10	5000	50
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- NO2, O3, SO2: hourly value / maximum hourly value in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM10, PM2.5: hourly value / maximum hourly value or adjusted daily average in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- CO: 8 hours moving average / maximum 8 hours moving average in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Suomen valtioneuvoston asetuksen (A. 38/2011) mukaan raja-arvoilla tarkoitetaan tieteellisin perustein terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi vahvistettua ilman epäpuhtauden pitoisuutta, joka on alitettava määräajassa, ja jota ei saa ylittää kyseisen määräajan jälkeen. Asetuksen A. 38/2011 mukaan raja-arvo pienhiukkasille on vuosittaisella tasolla  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kun taas WHO:n mukaan (Ambient (outdoor) air quality and health, 2014) keskimääräiset raja-arvot ovat  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vuosittaisella tasolla ja  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  päivittäisellä tasolla. Vuosittaisen raja-arvon tapahtuvia ylityksiä siis sallitaan päivittäisellä tasolla, kuitenkin niin että vuosittainen keskiarvo jää alle raja-arvojen.

CAQI:ssa mitattavia määreitä on typpidioksidi (NO<sub>2</sub>), otsoni (O<sub>3</sub>), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>), suuret hiukkaset (PM<sub>10</sub>), pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>) ja hiilimonoksidi eli häkä (CO). Ilmoitettaessa tunnittaista indeksiä, NO<sub>2</sub>:sta, O<sub>3</sub>:sta ja SO<sub>2</sub>:sta lasketaan sen tunnin maksimi, PM<sub>10</sub>:ssä ja PM<sub>2,5</sub>:ssä joko sen tunnin maksimi tai säädetty päivittäinen keskiarvo ja CO:sta kahdeksan edellisen tunnin keskiarvo. (Indices definition, n.d.)

Suomessa ilmanlaatua tarkkailee Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY). Sen ilmanlaatuindeksi on CAQI:n mukainen, viisiportainen sanallisesti kuvattu asteikko. CAQI:ssa mitattavien saasteiden lisäksi HSY:n indeksi mittaa haisevia rikkiyhdisteitä (TRS). Taulukossa 2. on esitetty HSY:n ilmanlaatuindeksin määrytymispitoisuudet.

Taulukko 2. HSY:n ilmanlaatuindeksin määrytymispitoisuudet (Ilmanlaatuindeksi, 2016)

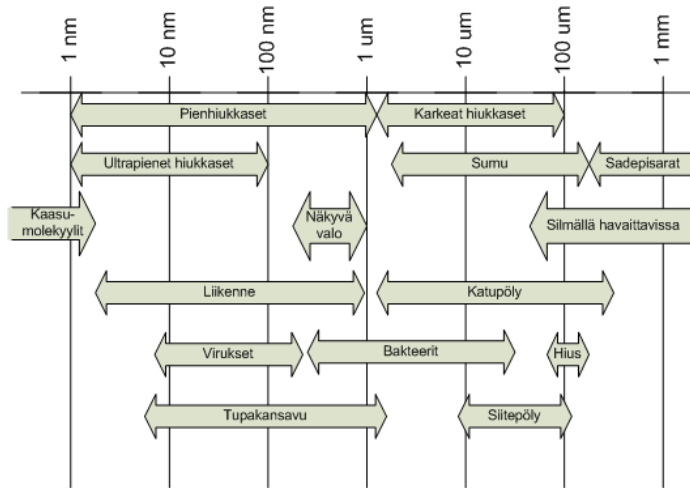
	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	TRS
Erittäin huono (>150)	>31	>201	>351	>181	>201	>76	>51
Huono (101-150)	21-30	151-200	251-350	141-180	101-200	51-75	21-50
Välttävä (76-100)	9-20	71-150	81-250	101-140	51-100	26-50	11-20
Tyydyttävä (51-75)	5-8	41-70	21-80	61-100	21-50	11-25	6-10
Hyvä (<50)	<4	<40	<20	<60	<20	<10	<5
Yksikkö on mikrogrammaa kuutiossa (µg/m <sup>3</sup> ) paitsi hiilimonoksidilla CO milligrammaa kuutiossa (mg/m <sup>3</sup> )							

### 3 Pienhiukkaset

#### 3.1 Pienhiukkaset yleisesti

Pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>) ovat aerosolihiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä. Aerosolit ovat kaasumaista väliainetta, jossa leijuu kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia. Yleisesti aerosolit lajitellaan niiden koon mukaan (ks. kuvio 1). (Bhaskar 2009,

142; Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution 2006, 18; Theodore 2008, 247)



Kuvio 1. Aerosolien kokojaottelu (Hiukkasten koko ja muoto, 2008-2016)

Kuten ilman epäpuhtaudet, pienhiukkasetkin lajitellaan primaarisiin ja sekundaarisiin niiden lähteiden mukaan. Theodoren (2008, 248) mukaan primaariset pienhiukkaset vapautuvat suoraan prosessista kuten palamisesta, ja sekundaariset muovautuvat kemiallisessa reaktiossa. Pöly, savu, sumu ja usva ovat yleisiä nimityksiä, joilla kuvailaan aerosoleja riippuen niiden koosta ja ulkomuodosta (Mts. 248). Yleensä savu koostuu kiinteistä sekä nestemäisistä hiukkasista, pöly kiinteistä hiukkasista ja usva sekä sumu nestemäisistä hiukkasista (Bhaskar, 2009, 142).

Kiinteiden tai nestemäisten pienhiukkasten ominaisuudet ja vaikutukset muuttuvat niiden vapautuessa ilmaan. Mitä pienemmäksi hiukkanen hajoaa, sitä enemmän sen pinta-alaa vapautuu kosketuksiin ilman kanssa. Riippumatta sen kemiallisesta koostumuksesta se pyrkii kemiallisesti tai fyysisesti reagoimaan muiden ilman hiukkasten tai kaasujen kanssa. Näiden reaktioiden yhteisvaikutukset ovat usein arvaamattomia. (Theodore, 2008, 248.)

Pienhiukkasten pitoisuutta ilmassa mitataan yksikkönä mikrogrammaa kuutiometrissä ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) (Bhaskar, 2009, 142). HSY:n ilmanlaatuindeksi (Ilmanlaatuindeksi, 2016) mukaan ilmanlaatu on hyvä, kun ilmassa on pienhiukkasia alle  $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . Eritäin huonon ilmanlaadun raja pienhiukkasten osalta on yli  $76 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . Ilmanlaadun

tarkkailuun suuntautuneen AQICN- websivun mukaan 6.5.2016 Shanghaissa oli pienhiukkasia  $120 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , joka on lähes kaksinkertainen erittäin huonon ilmanlaadun raja-arvoon verrattuna (Shanghai Air Pollution, 2016).

### 3.2 Pienhiukkasten terveysvaikutuksia

Pienhiukkaset ovat ihmisen terveydelle haitallisimpia hiukkasia niiden kulkeutuessa hengitysteitä pitkin keuhkorakkuloihin saakka, joissa ne vahingoittavat hengitysteiden kudoksia ja aiheuttavat syöpää (Bhaskar, 2009, 99; Hiukkasten vaikutus terveyteen, 2008-2016). On tutkittu, että pitkäaikainen altistuminen pienhiukkasille suurentaa riskiä sairastua sydän- ja verisuonitauteihin, iskeemisiin sydäntauteihin ja muihin sydän- ja keuhkotauteihin (Garcia, Yap, Park & Weller, 2015, 146).

Garcian ja muiden (2015) tutkimuksessa on vertailtu Californian osavaltion kaupunki- ja maaseutualueiden pienhiukkasmääriä sekä em. sairauksista johtuneiden kuolemien lukumäärää. Tutkimuksessa todetaan, että pienhiukkasten aiheuttamista sairauksista johtuvia kuolemia on enemmän kaupunkialueilla kuin maaseudulla. Tutkijat löysivät merkittävän yhteyden siitä, kuinka pitkäaikainen altistuminen pienhiukkasille vaikuttaa etenkin vanhempien ihmisten riskiin sairastua sydän- ja verisuonisairauksiin sekä keuhkotauteihin. (Garcia ym. 2015, 149-152)

On esitetty olevan kaksi mekanismia, joilla pienhiukkaset vaikuttavat sydän- ja verisuonitautien syntyyn. Hengittämällä pienhiukkasia ne voivat aiheuttaa tulehduksia keuhkoissa. Tulehdukset vapauttavat verenkiertoon hyyyteitä verihitaleita ja sytokiinejä, mitkä voivat aiheuttaa keuhkoverisuonten rasvoittumista ja keuhkoveritulppia. Toisen mekanismin mukaan hiukkasille ja epäpuhtaille kaasuille altistuminen vaikuttaa sydämen autonomiseen säätelyyn, mikä lisää mm. rytmihäiriöiden riskiä. (Ayres, 2006, 27)

WHO:n mukaan 7 miljoonaa ihmistä kuoli ilman epäpuhtauksien vuoksi vuonna 2012 (7 million premature deaths annually linked to air pollution, 2014). Näistä noin 40% kuoli iskeemiseen sydäntautiin, 40% halvaukseen, 11% krooniseen keuhkohtaumatautiin ja 6% keuhkosyöpään. Lisäksi 3% oli lapsia, jotka kuolivat akuuttiin hengitystietulehdukseen (7 million premature deaths annually linked to air pollution, 2014).

Suomessa hiukkasten on arvioitu aiheuttavan vuosittain 1230 ennen aikaista kuolemantapausta, ja ilman epäpuhtauksista johtuvan elinvuosien menetyksen on arvioitu olevan keskimäärin 16,3 vuotta (Hänninen ym. 2016, 11.).

## 4 Pienhiukkasten mittaaminen ja suodatus

### 4.1 Pienhiukkasten mittaamisen teoriaa

Theodoren mukaan (2009, 262), ideaali pienhiukkasten mittalaite pystyisi määrittämään partikkelien tarkan koon, ilmoittamaan datan tarkasti ilman keskiarvottamista tietyllä aikavälillä sekä määrittämään partikkeleiden olomuodon, tiheyden, materiaalin ja kemiallisen koostumuksen. Tämänhetkiset laitteet pystyvät näistä vain yhteen tai enintään kahteen kerrallaan.

Hiukkasten mittaamisen haaste on niiden koon, muodon ja koostumuksen suuri vaihtelevuus. On olemassa useita eri menetelmillä toimivia pienhiukkasten mittauslaitteita. Perinteisiä mittausmenetelmiä ovat mm. inertiaan perustuvat menetelmät, optiset menetelmät ja sähkövaraukseen perustuvat menetelmät. Hiukkasen geometrisen koon määrittäminen on yleensä mahdotonta, joten usein hiukkasissa mitataan jotain ominaisuutta, joka riippuu sen halkaisijasta. Siksi mittaustavan mukaan puhutaan joko aerodynaamisesta-, optisesta- tai liikkuvuushalkaisijasta. Tästä syystä eri mittausmenetelmien tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia. (Hiukkasten mittaaminen, 2008-2016)

Lisäksi mittauksissa tulee ottaa huomioon hiukkasten depositio, jolla tarkoitetaan sitä, kun hiukkanen poistuu ilmasta tarttumalla johonkin pintaan. Depositio mekanismeja ovat impaktio, interseptio, diffuusio, sedimentaatio ja sähköstaattinen vuorovaikutus. Lisäksi putoava vesi ja lumi aiheuttavat märkädepositiota, jolloin putoavat pisarat keräävät matkansa varrelle osuvia hiukkasia. (Depositio, 2008-2016)

Depositio saattaa joissain tapauksissa hankaloittaa hiukkasten mittaamista, mutta toisaalta depositiomekanismeja hyödynnetään hiukkasten mittaamisessa ja suodattamisessa. Tällaisia suodatusmenetelmiä on esim. hiukkasten impakti kuitusuodattimiin. (Depositio, 2008-2016)

## 4.2 Pienhiukkasten mittaamenetelmät

### 4.2.1 Inertiaan perustuvat mittaamenetelmät

Inertiassa hiukkasten massa vaikuttaa siihen, kuinka hiukkasen liike reagoi ilmavirran muutokseen. Inertiaa hyödynnetään hiukkasten mittaamisessa impaktoreissa, syklo-neissa ja lentoaika-laitteistoissa. (Inertiaan perustuvat menetelmät, 2008-2016)

Impaktori (ks. kuvio 2) koostuu keräyslevyistä, joiden yläpuolella ilmavirtauksen suuntaa muutetaan jyrkästi. Ilmavirtauksen suunnan muuttuessa rajakokoa suuremmat hiukkaset eivät kerkeä muuttaa suuntaansa ja törmäävät eli impaktoituvat keräyslevyyn. Keräyslevyjä voi olla useampia, jolloin puhutaan kaskadi-impaktorista. (Mt.)



Kuvio 2. Impaktori (Inertiaan perustuvat menetelmät, 2008-2016)

Impaktorin pienin mahdollinen leikkausraja on noin 200 nm - 300 nm, alipaineimpaktoreissa jopa 50 nm. Impaktoreiden keräyslevyt voidaan irrottaa ja punnita, jolloin hiukkasten kokojakauman lisäksi saadaan selville niiden massa. Mikäli keräyslevyihin

laitetaan esim. pietsosähköinen kide tai elektrometri, saadaan impaktorista reaaliaikainen. Impaktoreita käytetään myös muiden mittalaitteiden esisuodattimina. (Inertiaan perustuvat menetelmät, 2008-2016)

Lentoaika-laitteistoissa hiukkaset ohjataan kiihtyvään ilmavirtaan, jonka jälkeen hiukasia tarkastellaan optisesti kahdessa pisteessä. Yli 3 nm hiukkaset eivät pysy kiihtyvän ilmavirran tahdissa, jolloin hiukkasen aerodynaaminen koko vaikuttaa optisten havaintojen väliseen aikaeroon. Lentoaika-laitteistoa käytetään karkeiden hiukkasten lukumäärä- ja kokojakauman mittaamiseen. (Inertiaan perustuvat menetelmät, 2008-2016)

Syklonit (ks. kuvio 3) käyttävät keskipakoisvoimaa muodostamalla ilmavirrasta pyörteen, joka ohjaa hiukkaset syklonin ulkoreunoille. Hiukkaset törmäävät reunoihin ja liukuvat sieltä syklonin pohjan aukosta keräyssäiliöön. Sykloneita voi olla vastavirtasykloneita sekä läpivirtausykloneita. Vastavirtasykloneissa virtaus vaihtaa suuntaa, kun läpivirtausyklonissa pyörre poistuu vastakkaisen pään poistoyhteestä. Parhaimmillaan syklonit pystyvät erottamaan 98 % yli 5 mikrometrin kokoisista hiukkasista, vaikkakin niiden tavallinen suodatusaste on noin 90 % yli 10  $\mu\text{m}$  kokoisille hiukkasille. (Ohlström, Tsupari, Lehtilä, Raunemaa, 2005, 18)

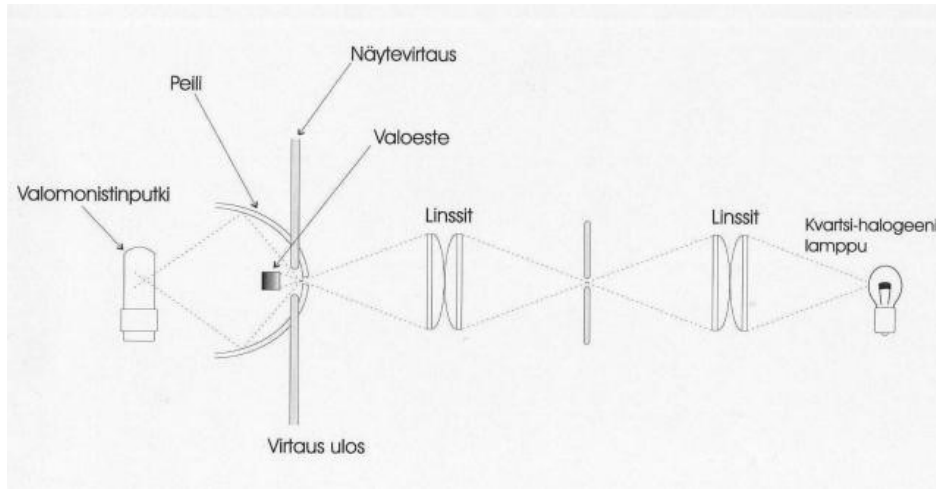


Kuvio 3. Vastavirtausykloni (Ohlström ym. 2015)

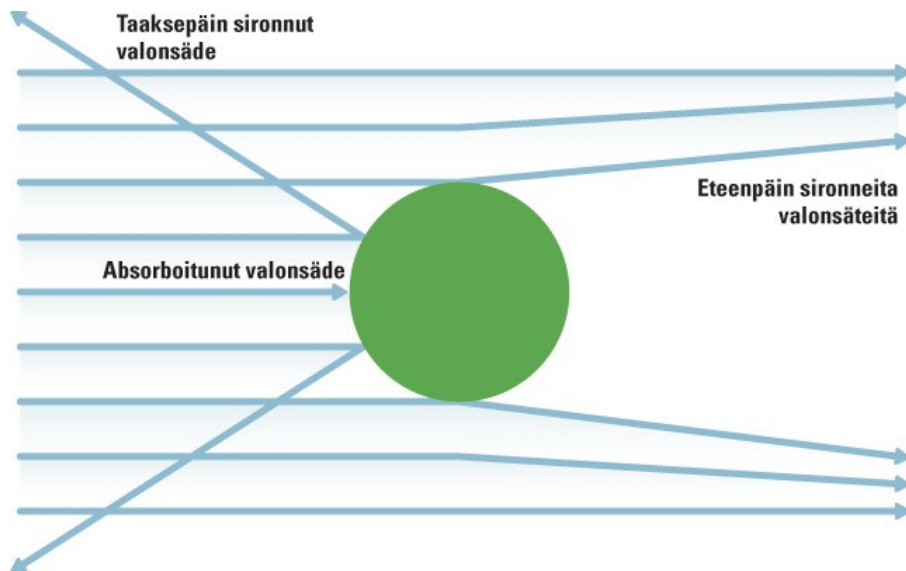


#### 4.2.2 Optiset mittausmenetelmät

Optisilla mittausmenetelmillä pystytään mittaamaan hiukkasia lähes reaaliaikaisesti ilman fyysistä kosketusta hiukkaseen. Optisessa hiukkaslaskurissa (OPC, Optical particle counter, ks. kuvio 4) hiukkaset ohjataan kulkemaan yksitellen tarkennetun valonsäteen läpi, jolloin hiukkanen aiheuttaa valonsäteelle sirontaa (ks. kuvio 5). (Optiset menetelmät, 2008-2016)



Kuvio 4. Optisen hiukkaslaskurin toimintaperiaate (Optiset menetelmät, 2008-2016)

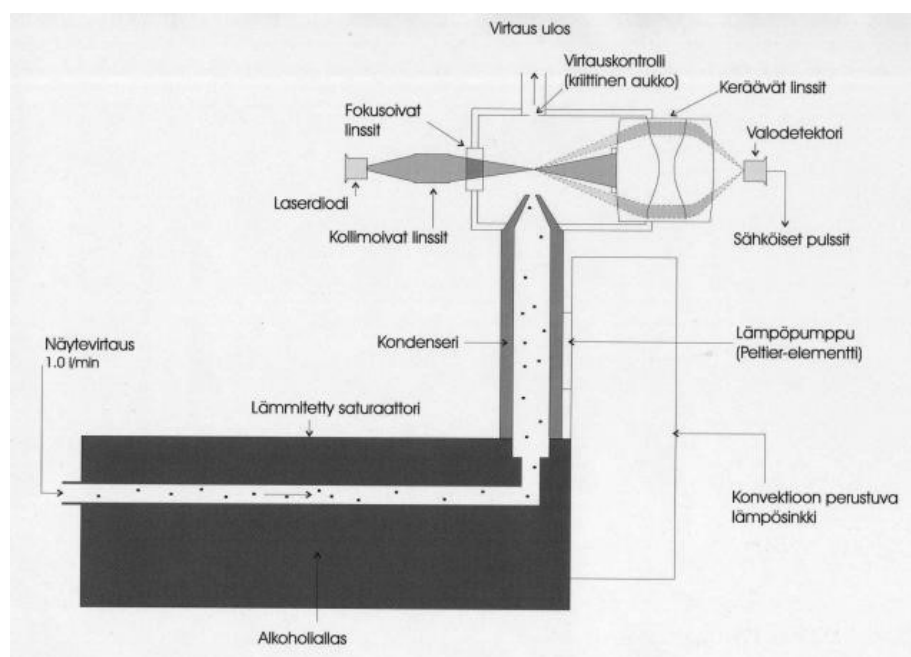


Kuvio 5. Hiukkasen aiheuttama valon sironta (Hiukkasten ja valon vuorovaikutus, 2008-2016)

Valopulssit kerätään valoilmaisimilla, jolloin pulssien saapumistaajuudesta saadaan tieto hiukkasten pitoisuudesta, sekä pulssien korkeudesta tieto hiukkasten koosta.

OPC:lla pystytään mittaamaan vain yli 100nm kokoisia hiukkasia. Optisia mittalaitteita rajoittaa valon aallonpituus. Optisia hiukkaslaskureita käytetään yleensä edullisen hintansa vuoksi pitoisuuksien valvonnassa ja puhtasilmamonitoroinnissa. (Optiset menetelmät, 2008-2016)

Kondensaatiohiukkaslaskureissa (CPC, Condensation Particle Counter, ks. kuvio 6) hiukkasten kokoa kasvatetaan tiivistämällä niiden pinnalle alkoholi- tai vesihöyryä. Koon kasvatuksen jälkeen hiukkaset pystytään laskemaan joko kokonaissironnan perusteella tai yksittäin kuten optisissa hiukkaslaskureissa. Kondensaatiohiukkaslaskureilla pystytään havaitsemaan jopa alle 3 nm kokoisia hiukkasia, mutta hiukkasten alkuperäistä kokoa ei pystytä yleensä selvittämään. CPC:t yhdistetään usein sähköiseen liikkuvuusanalysointiin, jolloin on mahdollista selvittää hiukkasten lukumäärä- ja kokojakauma. (Optiset menetelmät, 2008-2016)



Kuvio 6. Kondensaatiohiukkaslaskurin toimintaperiaate (Optiset menetelmät, 2008-2016)

#### 4.2.3 Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät

Ilmakehän hiukkasista noin 1 - 10 % on ioneja, eli sähköisesti varautuneita hiukkasia. Niiden havaitsemisessa hyödynnetään niiden kuljettamaa sähkövarausta, ja niiden

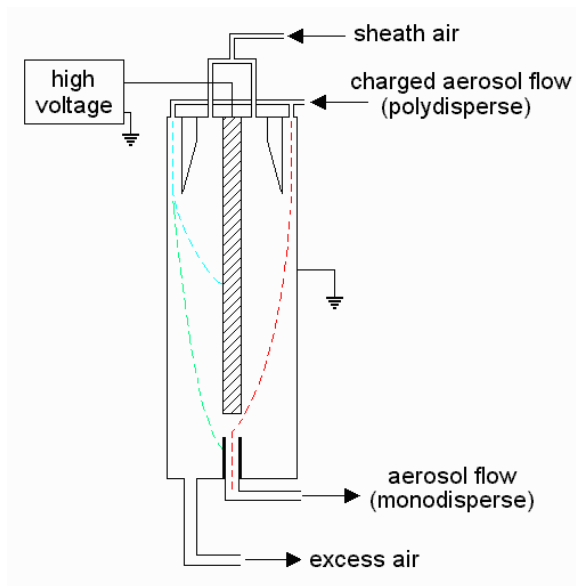
liikkeitä voidaan ohjata sähkökentän avulla. Sähköisiä menetelmiä voidaan käyttää myös ultrapienille hiukkasille, joita ei pystytä havaitsemaan inertiaan tai optiikkaan perustuvilla menetelmillä. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät, 2008-2016)

Ionispektrometrillä voidaan mitata ilmakehässä luontaisesti varautuneiden hiukkasten kokojakaumaa. Tällöin niiden kokojaottelu tehdään jännitteen avulla, jolloin ne jaotellaan eri elektrodeille, jotka havaitsevat hiukkasten pitoisuuksia sähkövirtana. Ionispektrometrillä pystytään havaitsemaan jopa alle 1 nm kokoisia varautuneita hiukkasia. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät, 2008-2016)

Sähköinen liikkuvuusanalysointilaitteisto (DMA, Differential Mobility Analyser, ks. kuvat 7-8) erottaa hiukkasten kokojakaumasta kapean näytteen. Näitä yhdenkokoisista hiukkasista koostuvia aerosolinäytteitä käytetään esimerkiksi mittalaitteistojen kalibrointiin. DMA:ssa on kaksi sisäkkäistä metallisylinteriä, joiden välissä on sähkökenttä. Sähkökenttään johdetut hiukkaset joutuvat kaarevaan liikkeeseen, ja vain tietyt kokoiset hiukkaset pääsevät tietyllä jännitteellä sisäsynterinin kapeasta raosta näytevirtaukseen. Analysointilaitteen geometria, virtaussuhteet ja hiukkasten koko vaikuttavat hiukkasten läpäisytehokkuuteen ja valitun kokojakauman leveyteen. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät, 2008-2016)



Kuvio 7. Sähköinen liikkuvuusanalysointilaitteisto (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät, 2008-2016)



Kuvio 8. DMA:n toimintaperiaate (Differential mobility analyzer, 2012)

Kun sähköiseen liikkuvuusanalysointiin kytketään kondensaatiohiukkaslaskuri, saadaan sähköinen kokoluokittelija. Sähköistä kokoluokittelijaa käytetään, kun halutaan mitata pienhiukkasia kokovälillä 3 nm - 1000 nm. Sähköisessä kokoluokittelijassa pyritään ensin saavuttamaan tasapainovarausjakauma, jonka jälkeen DMA:n jännitettä muuttamalla voidaan laskea hiukkasten lukumääräpitoisuus kokoluokittain. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät, 2008-2016)

### 4.3 Pienhiukkasten suodatus

Pienhiukkasia suodatetaan ilmastasta esimerkiksi hengitysilman parantamiseksi tai hiukkasnäytteiden keräämistä varten (Hiukkasten suodatus, 2008-2016). Euroopan normikomission laatimassa SFS-EN 1822-1 standardissa on määritelty kolme suodatusluokkaa, EPA (Efficient Particulate Air Filter), HEPA (High Efficient Particulate Air Filter) ja ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter). Nämä luokat on jaettu kolmeen alaluokkaan, E 10 – E12, H 13 – H14 ja U 15 – U 17. Taulukossa 3 on esitetty näiden suodatusluokkien suodatusasteet.

Taulukko 3. SFS EN 1822-1 Suodatusluokat

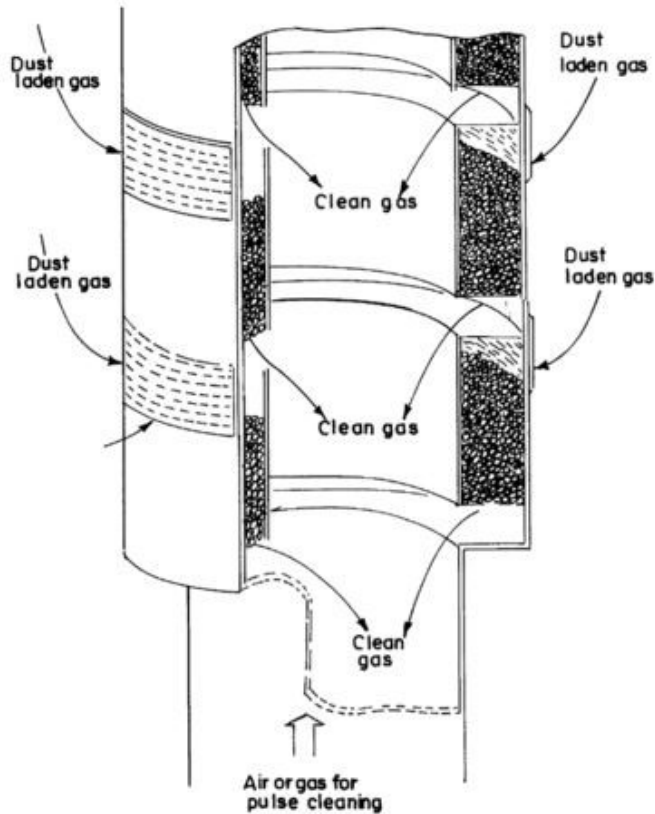
Filter Group	Integral value		Local value	
	Efficiency (%)	Penetration (%)	Efficiency (%)	Penetration (%)
E 10	≥ 85	≤ 15	---	---
E 11	≥ 95	≤ 5	---	---
E 12	≥ 99,5	≤ 0,5	---	---
H 13	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
H 14	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
U 15	≥ 99,9995	≤ 0,0005	≥ 99,9975	≤ 0,0025
U 16	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
U 17	≥ 99,999995	≤ 0,000005	≥ 99,9999	≤ 0,0001

Suodatusluokat on jaoteltu niiden suodatustehokkuuden (efficiency) ja hiukkasten tunkeutuvuuden (penetration) mukaan. Näitä ominaisuuksia mitataan pienhiukkasilla, joiden koko on tunkeutuvin ko. suodatinmateriaaleihin (MPPS, most penetrating particle size). (SFS EN 1822-1)

HEPA- ja ULPA- suodattimet ovat usein kuitusuodattimia. Kuitusuodattimet koostuvat päällekkäin olevista useista kuitukerroksista, joissa kuitujen paksuus on yleensä 0,1 µm – 100 µm, ja koko suodattimen paksuus noin 0,15 mm – 0,5 mm (Hiukkasten suodatus, 2008-2016). Kuitusuodattimien toimintaperiaate perustuu kolmeen eri depositionsomenetelmään, jotka ovat interseptio, impakti ja diffuusio. Näiden lisäksi pienhiukkaset siivilöityvät eri kuitukerroksiin (Mt.). Pienhiukkaset joiden koko on välillä 0,2 µm – 0,5 µm ovat vaikeimmin suodatettavia (Filter & filter media discussion, 2003-2016).

Kuitusuodattimien lisäksi on olemassa mm. kalvosuodattimia, reikäsuodattimia ja rakeisia suodattimia (Hiukkasten suodatus, 2008-2016). Näitä käytetään yleensä veden puhdistuksessa, mutta esim. rakeisia suodattimia voidaan käyttää myös ilmanpuhdistuksessa (Tien, 1989, 12). Tien (1989, 12-14) esittelee kolme esimerkkiä, joissa rakeista suodatinta on käytetty tehokkaasti ilmanpuhdistuksessa. Näistä esimerkeistä yksi on yli 2000m<sup>2</sup> kokoinen suodatuspelto, joka koostuu useista eri maalajeista ja materiaalikerroksista. Kaksi muuta esimerkkiä on erillisiä suodattimia, jotka perustu-

vat rakeisen suodatuksen menetelmään. Näissä toimintaperiaatteena on, että likainen ilma ajetaan rakeisen massan läpi, mikä suodattaa ilmasta epäpuhtauksia (ks. kuvio 9).



Kuvio 9. Rakeisen suodattimen toimintaperiaate (Tien, 1989)

## 5 Viherkasvit ilmanpuhdistuksessa

Viherkasvien vaikutuksia ilmanlaatuun on tutkittu jo 1980-luvulta lähtien Yhdysvaltojen ilmailu- ja avaruushallinto NASA:n toimesta. Wolvertonin (1989) tekemän tutkimuksen mukaan yhdistämällä viherkasveja ja aktiivihilisuodattimia pystytään merkittävästi vähentämään ilmasta kemikaaleja kuten bentseenejä, trikloorietyleenejä ja formaldehydejä.

Tähän tutkimukseen myös pohjautuu NaturVention Oy:n tuote, Naava-älyviherseinä (ks. kuvio 10). Älyviherseinässä ilmaa kierrätetään tuulettimien avulla viherkasvien ruukkujen läpi. Kasvit elävät ruukuissa epäorgaanisessa rakeisessa kasvualustassa. Juuristossa olevat juuristomikrobit käyttävät ilmassa olevia kemikaaleja ravintonaan,

ja tuulettimet puhaltavat puhdistetun ilman takaisin huonekiertoon. (Miten Naturbo™ toimii?, 2016)



Kuvio 10. Naava- älyvihersinä (Miten Naturbo™ toimii?, 2016)

Myös kasvien vaikutuksia pienhiukkasten määrään on tutkittu. Eräässä tutkimuksessa (Jin, Guo, Wheeler, Kan & Che, 2014) tutkittiin puiden vaikutusta kaupunkien katukanjoneissa olevien pienhiukkasten määrään. Katukanjoneilla tutkimuksessa tarkoitettiin korkeiden rakennusten ja niiden väliin jäävän kadun muodostamaa ”kanjonia”. Mittaukset tehtiin Shanghaissa, josta valittiin useita samankaltaisia katuja tietyillä muuttujilla (eri puulajisto, puiden tiheys ja lukumäärä), mutta katujen perusominaisuudet olivat samankaltaiset (kadut samaan ilmansuuntaan tuulen vaikutuksen vuoksi ja kadut enintään 3km päässä toisistaan, jotta ympäristön teollisuus ei vaikuttaisi tuloksiin). (Mts. 278-279)

Jinin ja muiden (2014) mittauksessa käytettiin optista mittalaitetta Aerocet 531:a, joka määrittää hiukkasten massan ja aerodynaamisen koon. Mittaukset tehtiin kuu-  
della mittalaitteella, kahden tunnin jaksoissa 12 tunnin ajan, kaikkina eri vuodenaikoina. Tulosten mukaan päivittäinen pienhiukkaspitoisuuden keskiarvo tilastollisesti laskee, mitä korkeampi puuton katukanjoni on. Tätä samaa laskua ei havaittu ka-  
duilla, joissa on puita, koska puiden epäiltiin heikentävän pienhiukkasten hajontaa.

Tuulen nopeudella, puiden tiheydellä, lehtien peittävydellä, puulajistolla ja puiden karsimisasteella on merkitystä pienhiukkasten pitoisuuksien laskemiseen. (Mts. 279-286)

## 6 Varianssianalyysi

Varianssianalyysi (ANOVA-analyysi) on yksi useimmin käytetyistä tilastollisista analyyseistä (Rutheford, 2012, 1). Varianssianalyysi määrittää tutkimuksessa olevien varianssien suhdetta ja merkittävyyttä sekä toisiinsa että tuloksiin nähden (Varianssianalyysi, 2002). Varianssianalyysi voi olla yksi- tai kaksisuuntainen. Yksisuuntaisessa varianssianalyysissä on yksi muuttuja, kun kaksisuuntaisessa varianssianalyysissä muuttujia on kaksi (Mt.). Varianssianalyysin tekemiseen on olemassa useita eri ohjelmistoja. Yleisimmin käytettyjä ohjelmistoja ovat mm. Excel ja IBM:n SPSS-ohjelmisto. (Taanila, 2013).

Kaksisuuntaisessa varianssianalyysissä perusjoukko jaetaan kahden muuttuvan tekijän suhteen, jonka jälkeen testataan hypoteesia, jonka mukaan muuttujien ryhmäkohtaiset odotusarvot ovat yhtä suuria (Mellin 2006, 481). Nollahypoteesin ( $H_0$ ) mukaan muuttujilla ei ole vaikutusta tuloksiin.

Kaksisuuntaisessa varianssianalyysissä suoritetaan Levenen testi, jolla osoitetaan, että ryhmien varianssit ovat yhtä suuret, sillä se on varianssianalyysin käyttöedellytys. Levenen testi antaa P-arvon, jonka ollessa yli 0,05 varianssit ovat yhtä suuret. Levenen testi osoittaa, että varianssianalyysin nollahypoteesi on väärä, ja varianssianalyysia pystytään jatkamaan. (Taanila, 2013)

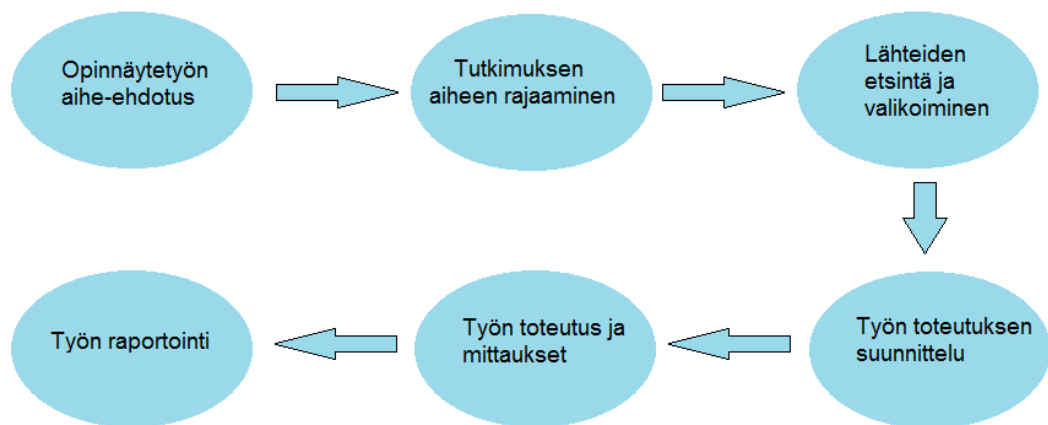
Tämän jälkeen suoritetaan itse varianssianalyysi, eli tutkitaan muuttujien välistä merkittävyyttä sekä muuttujien merkittävyyttä tuloksiin. Mikäli varianssianalyysin P-arvo on pienempi kuin 0,05, nähdään muuttujien välillä olevan merkitseviä eroja. Muuttujien väliset merkittävyydet esitetään parinvertailutaulukossa. (Taanila, 2013)



## 7 Opinnäytetyön toteutus

### 7.1 Opinnäytetyön eteneminen

Opinnäytetyön tavoitteena oli testata, onko Naava -älyviherseinällä mahdollista puhdistaa ilmasta pienhiukkasia. Opinnäytetyö alkoi tutustumalla aiheeseen sekä etsimällä lähteitä opinnäytetyön teoriaosioon. Lähteiksi valikoitui tieteellisiä artikkeleita mm. pienhiukkasista, ilman epäpuhtauksista sekä viherkasvien puhdistavista vaikutuksista. Lisäksi lähteitä löytyi esim. WHO:n raporteista sekä valtioneuvoston asetuksista ilman epäpuhtauksiin liittyen. Opinnäytetyön eteneminen on esitetty kuviossa 11.



Kuvio 11. Opinnäytetyön eteneminen

Teoriaan tutustumisen jälkeen alkoi opinnäytetyön toteuttavan vaiheen suunnittelu. Opinnäytetyön mittaukset päätettiin tehdä yhdessä Tampereen teknillisen yliopiston (Tampere University of Technology, TUT) kanssa, koska sieltä löytyi tarvittava mittalaitteisto ja ammattitaito tämän tyyppisiin mittauksiin. Mittausten suunnittelussa ja mittauksia varten rakennetun testikammion suunnittelussa käytettiin avuksi TUT:n tutkijan mielipiteitä ja ammattitaitoa mm. kammion rakennetta ja materiaaleja koskien.

Mittauksissa kiinnitettiin huomiota suodatettujen hiukkasten kokoon sekä suodatusasteeseen. Mittauksia tehtiin useilla eri mittausasetelmilla, joissa muutettiin viherseinän muuttujia, kuten viherseinän vesikastelua ja tuulettimien kierrosnopeutta. Mittausten jälkeen alkoi tulosten analysointi sekä opinnäytetyön raportointi. Tuloksia analysoitiin Excel- taulukoilla sekä IBM:n SPSS-ohjelmistolla, joka on tarkoitettu tulosten tilastolliseen analysointiin. SPSS-analyysi tehtiin yhdessä toimeksiantajan kanssa.

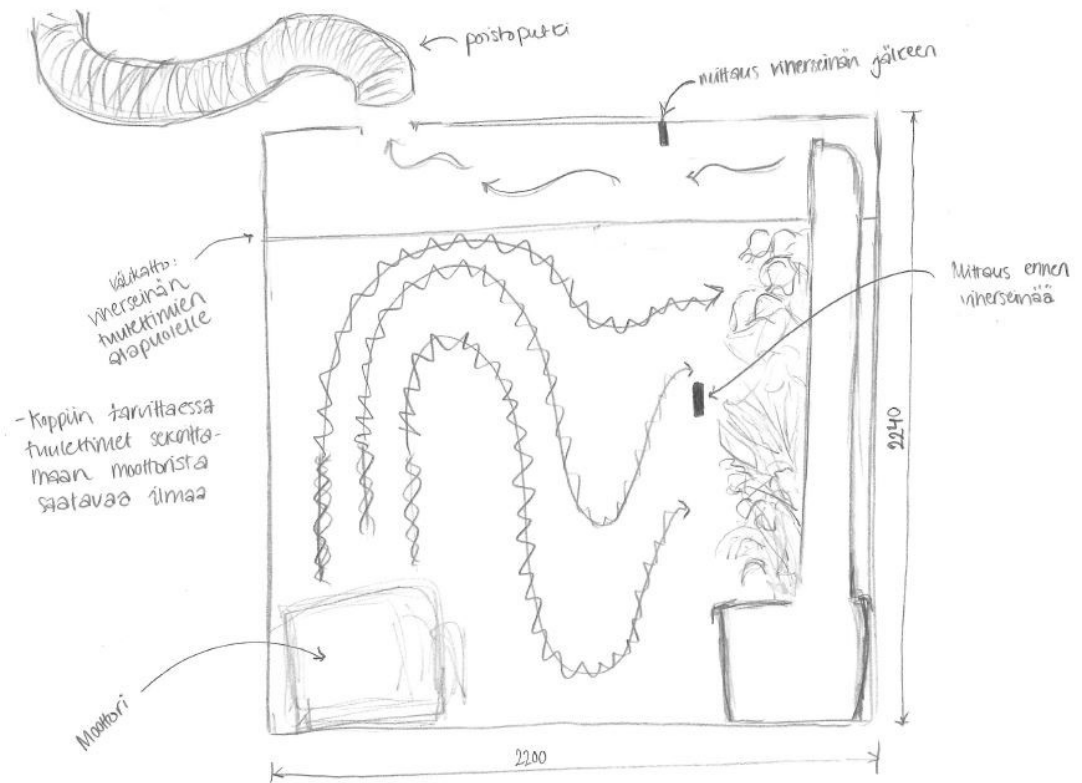
## 7.2 Hypoteesi

Pohjautuen teoriaosuuteen oletettiin, että Naava- älyviherseinällä olisi mahdollista puhdistaa pienhiukkasia ilmasta. Hypoteesi perustui teoriaosuuden *Pienhiukkasten mittauksista ja Pienhiukkasten suodatuksesta* kappaleissa esitettyihin depositiomenetelmiin. Älyviherseinän rakenteen perusteella tiedettiin, että ilma ohjattaisiin kasvien lehtien lähettäviltä rakeisen kasvatusalustan läpi, jolloin pienhiukkasia impaktoituu kasvien lehtiin, ja kasvualusta toimii rakeisena suodattimena.

Lisäksi tiedettiin, että mittauksia tehtäisiin silloin, kun älyviherseinässä on vesikastelu päällä. Tällöin älyviherseinän sisäosassa tippuu vesipisaroita ylhäältä alaspäin, jolloin hiukkasia suodattuu perustuen märkädepositioon. Näihin tekijöihin perustuen tehtiin oletamus, että parhaimmat suodatusasteet saavutetaan silloin, kun viherseinän vesikastelu on päällä.

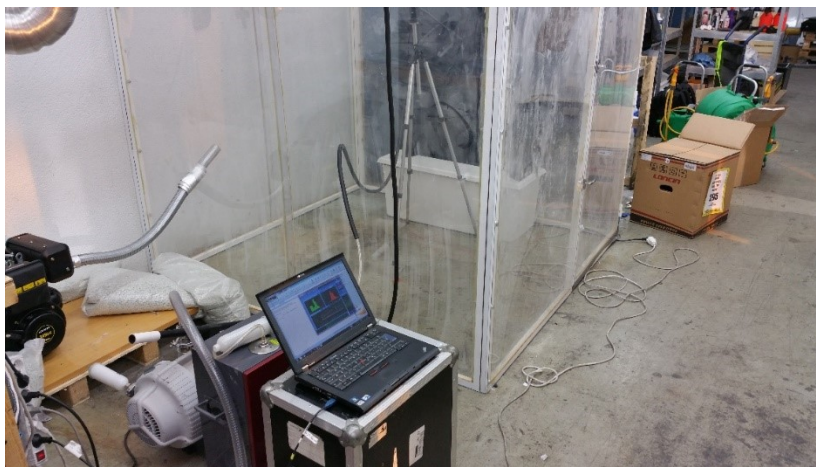
## 7.3 Testiasetelman kuvailu

Opinnäytetyön mittaukset suoritettiin 16.4.2015 NaturVention Oy:n tiloissa Jyväskylässä. Testiasetelmaa varten suunniteltiin ja rakennettiin 2,2m x 2,2m x 2,24m kokoinen testauskammio (ks. kuvio 13), johon hiukkasgeneraattorilla ajettiin dieselin palamisesta aiheutuvia pakokaasuja. Testikammion runko oli metallia ja seinät läpinäkyvää PC-muovia. Kuvioista 13 huomaa kuinka testikammion ilmatila oli jaettu kahteen osioon, joista molemmista mitattiin ilman pienhiukkasten määrää. Ilmatila oli jaettu niin, että alemmassa tilassa mittaussensori oli ennen viherseinän suodatusta, kun taas ylemmässä ilmatilassa mitattava ilma oli kiertänyt viherseinän läpi. Dieselgeneraattori oli kiinalaisen moottorivalmistaja Loncinin 349ccm3 dieselmoottori.



Kuvio 12. Ideakuva testikammioista

Mittaus aloitettiin mittalaitteistoon tutustumalla sekä testimittauksilla. Dieselgeneraattori käynnistettiin, ja mittalaitteistosta tarkkailtiin pienhiukkasmäärän pitoisuuksien nousua. Kun pitoisuus oli noussut maksimiin, mittaukset aloitettiin. Kuviossa 14 on mittalaitteisto ja mittauskammio mittausten alkaessa.



Kuvio 13. Mittalaitteisto ja mittauskammio

Mittauksissa suoritettiin 12 eri mittausasetelmaa. Taulukossa 4 on esitetty eri mittausasetelmat. Testiasetelmia oli kuusi, ja kaikki testiasetelmat toteutettiin kahdella

eri tuuletusasteella. Tuuletusasteen ollessa maksimi viherseinän tuulettimien kierroslukumäärä oli 1200rpm, kun taas tuuletusasteen ollessa puolet kierroslukumäärästä oli 600rpm. Jokaisesta mittausasetelmasta otettiin mittauspöytäkirjaan kuusi pitoisuutta, joista kolme ennen viherseinän suodatusta ja kolme viherseinän suodatuksen jälkeen.

Taulukko 4. Mittausasetelmat

Testiasetelma	Tuuletusaste
Tyhjä viherseinä	Maksimi
Tyhjä viherseinä	Puolet
Kuiva kasvualusta	Puolet
Kuiva kasvualusta	Maksimi
Kasvualusta + kastelu	Maksimi
Märkä kasvualusta	Maksimi
Kasvualusta + kastelu	Puolet
Märkä kasvualusta	Puolet
Kasvit + kasvualusta + kastelu	Puolet
Kasvit + kasvualusta	Puolet
Kasvit + kasvualusta + kastelu	Maksimi
Kasvit + kasvualusta	Maksimi

#### 7.4 Käytetty mittalaitteisto

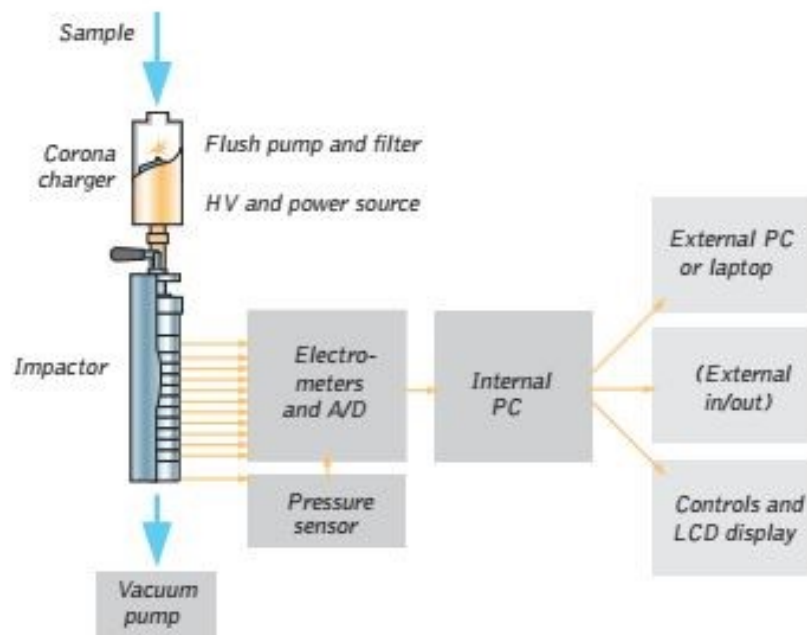
Mittalaitteistona toimi suomalaisen Dekatin ELPI mittalaitteisto (ks. kuvio 15). ELPI (Electrical Low Pressure Impactor, ks. liite 1.) on alipaineistettu impaktori, joka ilmoittaa hiukkasten kokojakauman ja pitoisuudet reaaliaikaisesti. ELPI pystyy mittaamaan hiukkasia 0.007 mikrometristä 10 mikrometriin. Mittaus tehtiin yhteistyössä TUT:n kanssa mittalaitteiston ollessa heidän.



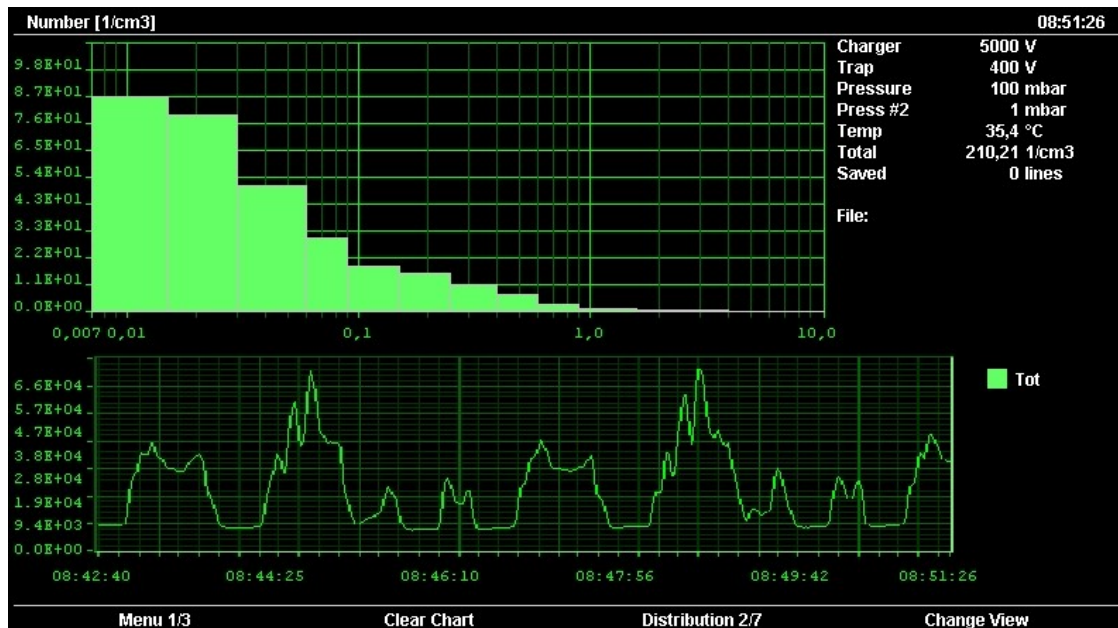
Kuvio 14. Dekati ELPI (ELPI tuote-esite, liite 1)

ELPI:llä pystyy mittaamaan yhtä pitoisuutta kerrallaan, joten ELPI:n mittasensorin letku oli jaettu venttiilillä kahteen, joista toinen oli mittauskammion tilassa ennen viherseinän suodatusta ja toinen tilassa viherseinän suodatuksen jälkeen. Venttiilillä pystyttiin ohjaamaan sitä, kumman tilan pitoisuuksia ELPI:llä mitattiin. Mittauspöytäkirjaan (ks. liite 2) merkittiin osa pitoisuuksista, mutta ELPI:n raakadataan tallentui pienhiukkasten pitoisuudet sekunnittain (ks. liite 3).

ELPI:n toiminta perustuu kolmeen toimintaperiaatteeseen: hiukkasten sähköiseen varaukseen, inertiaan sekä hiukkasten sähköiseen havaitsemiseen (ks. kuvio 16). Ensin hiukkaset varataan yksinapaisella koronapurkauksella tiettyyn jännitteeseen. Tämän jälkeen hiukkaset ohjataan alipaineistettuun kaskadi-impaktoriin, jossa ne kerätään keräyslevyille niiden aerodynaamisen halkaisijan perusteella. Sähköisen varauksen ansiosta ne pystytään havaitsemaan monikanavaisilla elektrometreillä. Mitattu jännitesignaali on suoraan verrannollinen hiukkasten pitoisuuteen ja kokoon. Saatua dataa tarkastellaan tietokoneelle asennettavalla ELPIVI- ohjelmistolla (ks. kuvio 17).



Kuvio 15. ELPI:n toimintaperiaate (ELPI tuote-esite, liite 1)



Kuvio 16. ELPIVI ohjelmisto (ELPI+)

## 8 Tulokset ja niiden analysointi

Mittauksilla saatujen tulosten perusteella Naava- älyviherseinällä on mahdollista suodattaa pienhiukkasia. Seuraavat kappaleet käsittelevät mittauksista saatuja tuloksia eri näkökulmista.

### 8.1 Tulokset mittausasetelmittain

Tulokset älyviherseinän pienhiukkasten suodatusasteista on esitetty taulukoissa 5-6 testiasetelmittain. Taulukoiden sarakkeessa PM\_ennen on hiukkasten kokonaismäärän keskiarvo mittausjakson ajalta ennen viherseinän suodatusta. Sarakkeessa PM\_jälkeen puolestaan on hiukkasten kokonaismäärän keskiarvo mittausjakson ajalta viherseinän suodatuksen jälkeen. Taulukon kohta %-muutos kertoo älyviherseinän suodatusasteen kokonaishiukkasmäärän keskiarvon suhteen. Taulukkoon 6 on koottu viisi parhaan tuloksen antanutta mittausasetelmaa.

Taulukko 5. Tulokset mittausasetelmittain

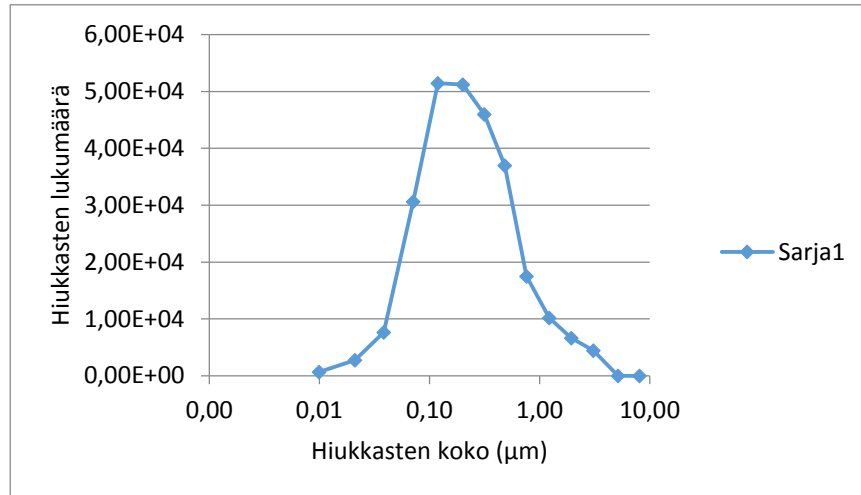
Mittausasetelma	Tuuletus-aste	PM_ennen	PM_jälkeen	Erotus	%-muutos
Tyhjä viherseinä	Maksimi	350 000	310 000	40 000	11,43
Tyhjä viherseinä	Puolet	350 000	350 000	0	0
Kuiva kasvualusta	Puolet	300 000	250 000	50 000	16,67
Kuiva kasvualusta	Maksimi	360 000	316 667	43 333	12,04
Kasvualusta + kastelu	Maksimi	360 000	273 333	86 667	24,07
Märkä kasvualusta	Maksimi	350 000	305 000	45 000	12,86
Kasvualusta + kastelu	Puolet	366 667	280 000	86 667	23,64
Märkä kasvualusta	Puolet	360 000	313 333	46 667	12,96
Kasvit + kasvualusta + kastelu	Puolet	400 000	295 000	105 000	26,25
Kasvit + kasvualusta	Puolet	400 000	310 000	90 000	22,50
Kasvit + kasvualusta + kastelu	Maksimi	390 000	300 000	90 000	23,08
Kasvit + kasvualusta	Maksimi	353 333	300 000	53 333	15,09

Taulukko 6. Viisi tehokkainta mittausasetelmaa

Mittausasetelma	Tuuletus-aste	PM_ennen	PM_jälkeen	Erotus	%-muutos
Kasvit + kasvualusta + kastelu	Puolet	400 000	295 000	105 000	26,25
Kasvualusta + kastelu	Maksimi	360 000	273 333	86 667	24,07
Kasvualusta + kastelu	Puolet	366 667	280 000	86 667	23,64
Kasvit + kasvualusta + kastelu	Maksimi	390 000	300 000	90 000	23,08
Kasvit + kasvualusta	Puolet	400 000	310 000	90 000	22,50

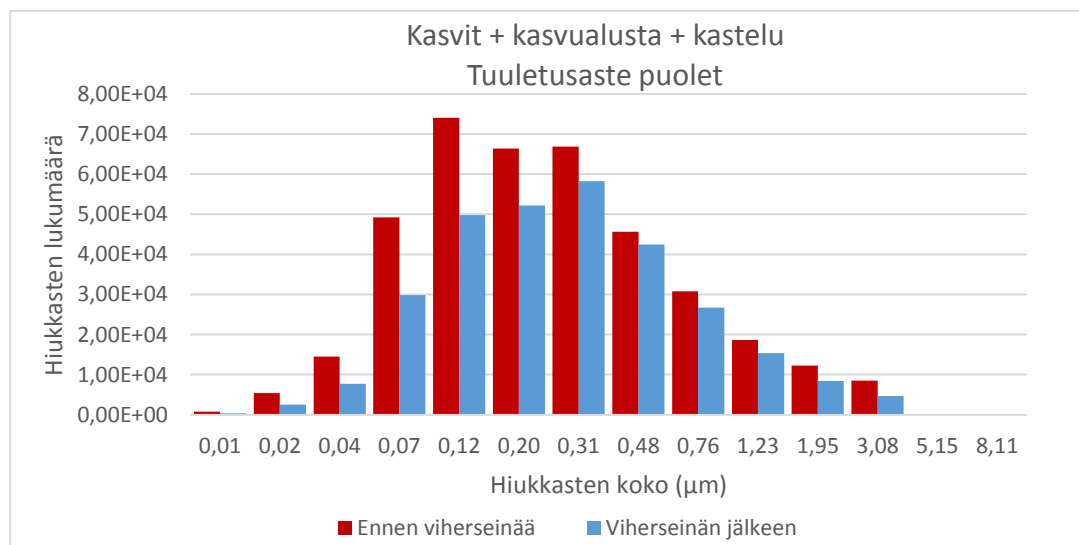
## 8.2 Pienhiukkasten suodatus kokoluokittain

Kuviossa 18 on esitetty kaikkien mittauksissa esiintyneiden hiukkasten kokojakauman keskiarvo. Kokojakauma osoittaa, että suurimmat pienhiukkaspitoisuudet ovat 0,07  $\mu\text{m}$  - 0,5  $\mu\text{m}$  kokoisilla hiukkasilla.



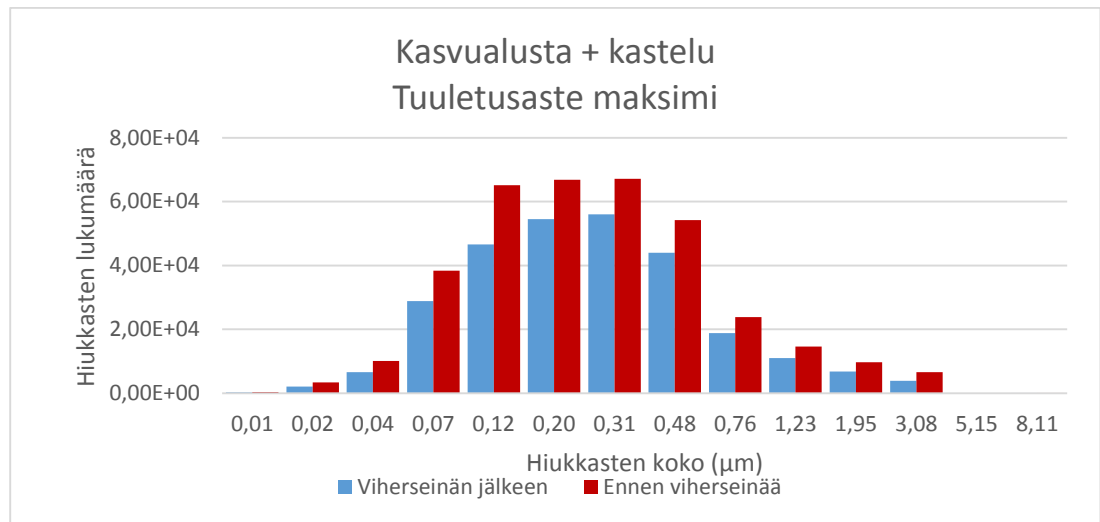
Kuvio 17. Hiukkasten kokojakauma

Koska pienhiukkasten koolla on merkittävä vaikutus niiden ominaisuuksiin ja siten myös terveydellisiin vaikutuksiin, tarkasteltiin tuloksista, millainen kahden parhaan mittausasetelman suodatusaste oli kokoluokittain. Kuvioissa 19-20 on mittausasetelman ”Kasvit + kasvualusta + kastelu, tuuletusaste puolet”, sekä ”Kasvualusta + kastelu, tuuletusaste maksimi” suodatettujen hiukkasten koko- ja määräjakaumat.



Kuvio 18. Mittausasetelma *Kasvit + kasvualusta + kastelu, tuuletusaste puolet* hiukkasten koko- ja lukumääräjakauma

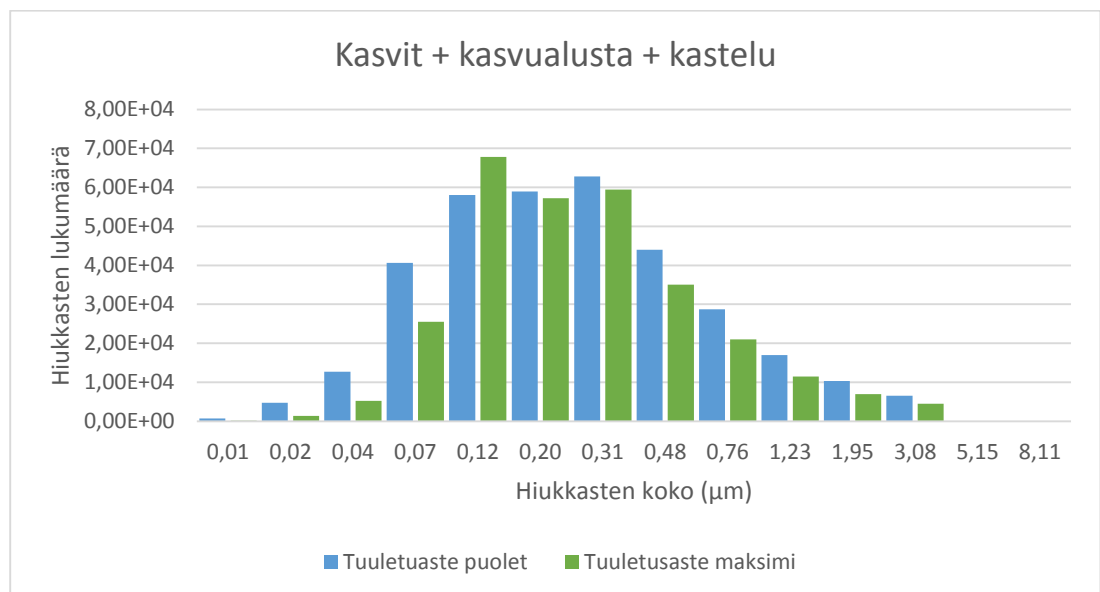




Kuvio 19. Mittausasetelma *Kasvualusta + kastelu, tuuletusaste maksimi* hiukkasten koko- ja lukumääräjakauma

### 8.3 Tuuletusasteen vaikutus suodatusasteeseen

Koska älyviherseinän tuuletusastetta joudutaan säätämään esim. kiinteistön vaatimusten vuoksi, on kuviossa 21 esitetty tuuletusasteen vaikutusta pienhiukkasten suodatukseen. Kuviossa on mittausasetelman *Kasvit + kasvualusta + kastelu* hiukkaspitoisuudet älyviherseinän suodatuksen jälkeen molemmilla tuuletusasteilla.



Kuvio 20. Tuuletusasteen vaikutus hiukkaspitoisuuksiin mittausasetelmassa *Kasvit + kasvualusta + kastelu*

## 8.4 SPSS Anova- analyysi

Tuloksista tehtiin SPSS Anova- analyysi (ks. liite 4), jolla tutkittiin, ovatko mittausasetelmissä tehdyt muutokset tilastollisesti merkittäviä. Analyysissä luotiin muuttujat (mittausasetelman muuttujat ja tuulettimen kierrosnopeus), sekä annettiin näiden mittausasetelmien tulosten keskiarvot. Anova-analyysissä annettiin nollahypoteesi  $H_0$ , jonka mukaan muuttujat eivät ole tilastollisesti merkittäviä.

Levenen testi osoitti, että muuttujat ovat homogeenisiä, koska merkittävyysluku oli 0,076 (suurempi kuin 0,05). Täten nollahypoteesi  $H_0$  voitiin hylätä, ja Anova-analyysiä pystyttiin jatkamaan. Lopuksi analyysi kertoo eri mittausasetelmien muuttujien (*Muuttuja 1 ja Muuttuja 2*) merkittävyyttä suhteessa toisiinsa (ks. taulukko 7). Merkittävyyttä (P-arvo) ilmaistaan kuvion sarakkeessa *P*, ja muuttujat ovat merkittävästi eroavia, mikäli P-arvo on pienempi kuin 0,05. Sarakkeessa *Keskiarvon hajonta* on esitetty, minkä verran mittausasetelmassa esiintyi hajontaa keskiarvoon verrattuna.

Taulukko 7. Anova-analyysin parinvertailutaulukko

Muuttuja 1	Muuttuja 2	Keskiarvon hajonta	P
Pelkät ruukut	Ruukut + Kuiva kasvualusta	-250000	0.500
	Ruukut + kasvualusta + kastelu	-66666.6667	<b>0.000</b>
	Ruukut + Märkä kasvualusta	-26000	0.270
	Kasvit + kasvualusta + kastelu	-76000	<b>0.000</b>
	Kasvit + märkä kasvualusta	-51666.6667	<b>0.000</b>
Ruukut + kuiva kasvualusta	Pelkät ruukut	25000	0.500
	Ruukut + kasvualusta + kastelu	-41666.667	<b>0.000</b>
	Ruukut + Märkä kasvualusta	-1000	1.000
	Kasvit + kasvualusta + kastelu	-51000	<b>0.000</b>
Ruukut + kasvualusta + kastelu	Pelkät ruukut	66666.667	<b>0.000</b>
	Ruukut + Kuiva kasvualusta	41666.667	<b>0.000</b>
	Ruukut + Märkä kasvualusta	40666.667	<b>0.000</b>
	Kasvit + kasvualusta + kastelu	-9333.333	0.736
	Kasvit + märkä kasvualusta	15000	0.232

(jatkuu)

Taulukko 7. Anova-analyysin parinvertailutaulukko

(jatkuu)

Ruukut + Märkä kasvu- alusta	Pelkät ruukut	26000	0.270
	Ruukut + Kuiva kasvualusta	1000	1.000
	Ruukut + kasvualusta + kastelu	-40666.667	<b>0.000</b>
	Kasvit + kasvualusta + kastelu	-50000	<b>0.000</b>
	Kasvit + märkä kasvualusta	-25666.667	0.140
Kasvit + kasvualusta + kastelu	Pelkät ruukut	76000	<b>0.000</b>
	Ruukut + Kuiva kasvualusta	51000	<b>0.000</b>
	Ruukut + kasvualusta + kastelu	9333	0.736
	Ruukut + Märkä kasvualusta	50000	<b>0.000</b>
	Kasvit + märkä kasvualusta	24333.333	<b>0.021</b>
Kasvit + märkä kasvu- alusta	Pelkät ruukut	51666.667	<b>0.000</b>
	Ruukut + Kuiva kasvualusta	26666.667	<b>0.017</b>
	Ruukut + kasvualusta + kastelu	-15000	0.232
	Ruukut + Märkä kasvualusta	25666.667	<b>0.014</b>
	Kasvit + kasvualusta + kastelu	-24333.333	<b>0.021</b>

## 9 Pohdinta

### 9.1 Opinnäytteen työvaiheet ja eteneminen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, onko NaturVentionin älyviherseinällä mahdollista puhdistaa pienhiukkasia ilman epäpuhtauksista. Toimeksiantajan tuote, Naava –älyviherseinä, on suunniteltu puhdistamaan sisäilmasta epäorgaanisia haihtuvia yhdisteitä (VOC-kemikaaleja). Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, olisiko samalla tuotteella mahdollista laajentaa myyntiä kohteisiin, joissa pienhiukkaspitoisuudet ovat ongelmana. Tutkimuskysymyksinä olivat älyviherseinän aiheuttama pienhiukkasten suodatusaste, suodatettujen hiukkasten kokojakauma sekä älyviherseinän pienhiukkasten suodatusasteeseen vaikuttavat tekijät.

Opinnäytetyö aloitettiin loppuvuodesta 2014 keräämällä aineistoa teoriaosuteen ja tutustumalla aiheeseen. Alkuvuodesta 2015 suunniteltiin ja rakennettiin tutkimuskammio mittauksia varten. Mittaukset suoritettiin keväällä 2015 yhdessä TUT:n kanssa, jonka jälkeen alkoi työn raportointi. Opinnäytetyön raportointivaihe keskeytyi johtuen opiskelijan suuresta työmäärästä työskenneltäessä toimeksiantajayrityksessä. Raportointi jatkui alkuvuodesta 2016, ja työn valmistumiseksi varmistui loppukevät 2016.

## 9.2 Työn teoria

Teorian laatiminen alkoi lähteiden etsimisellä. Lähteitä etsittäessä käytettiin hakusanoina mm. *ilman epäpuhtaudet, pienhiukkaset, air pollution, particle, health, measurement*. Näitä hakusanoja yhdistelemällä löydettiin useita hyödyllisiä lähteitä. Lähteitä valittaessa pyrittiin löytämään mahdollisimman tuoreita lähteitä sekä Suomesta että kansainvälisesti. Näistä suomalaisten lähteiden löytäminen oli hankalampaa. Lähteiksi valikoitui mm. tieteellisiä artikkeleita, asetuksia ja standardeja sekä verkkojulkaisuja.

Lähteitä tutkittaessa huomattiin lähteiden välisiä poikkeavuuksia mm. Valtioneuvoston asetuksen ja WHO:n raja-arvot pienhiukkasten terveydelle vaarallisista tasoista. WHO:n raja-arvot ovat vuosittaisella tasolla matalammat kuin valtioneuvoston asetuksen mukaiset suositukset (Valtioneuvoston suositus  $25 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , WHO:n suositus  $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ). Tämä selittyy osittain sillä, että WHO:n suositus oli päivitetty vuonna 2014, kun valtioneuvoston asetus oli asetettu voimaan vuonna 2011.

Lisäksi eroavaisuuksia ilmeni Yhdysvaltojen vuosittaisista ilman epäpuhtauspäästöjen arvioista. Bhaskar (2009, 92) arvioi Yhdysvalloissa vapautuvan vuosittain 147 miljoonaa tonnia ilman epäpuhtauksia, ja Theodoren (2008, 12) mukaan epäpuhtauksien määrä olisi 200 miljoonaa tonnia. Nämä luvut ovat kuitenkin arvioita, eikä niillä ole merkitystä tämän tutkimuksen kannalta.

### 9.3 Mittaukset

Mittaukset toteutettiin NaturVention Oy:n tiloissa 16.4.2015. Mittauksissa mitattiin mittauskammiossa olevan älyviherseinän vaikutuksia mittauskammion pienhiukkaspitoisuuksiin. Mittalaitteistona käytettiin Dekatin ELPI-pienhiukkasmittaria, ja mittaukset tehtiin yhteistyössä TUT:n kanssa.

Mittauksiin valmistauduttiin huolellisesti suunnitteleamalla etukäteen mittauskammio ja mittausasetelmat. Mittausten toteutus onnistui näiden suunnitelmien mukaisesti. Mittausten suunnitteluissa hyödynnettiin opinnoissa saatua tietoa ja ammattitaitoa sekä TUT:n tutkijan mielipiteitä ja näkemyksiä. TUT:n käytänteistä johtuen mittalaitteistoa ei saanut suoraan omaan käyttöön, joten TUT:ltä tuli korkeakoulun oma tutkija mukaan mittauksiin varmistamaan mittalaitteiston oikean käytön. Mittalaitteisto oli suunniteltu juuri tällaisen tutkimuksen mittauksia varten, ja sen käyttö sujui vaivattomasti TUT:n tutkijan ollessa mukana mittauksissa. Menettely ei vaikuttanut työn tuloksiin, paitsi mahdollisesti pienentämällä inhimillisen virheen mahdollisuutta mittalaitteiston käytössä.

Mittausten alkuun saamisessa oli haasteita, sillä hiukkasgeneraattorina käytetty dieselmoottori oli viallinen. Kuitenkin korvaava moottori saatiin nopeasti, ja mittaukset päästiin aloittamaan. Moottori sammui kahteen otteeseen mitausten aikana, mutta tämä ei vaikuttanut merkittävästi tuloksiin, sillä mittauksia jatkettiin vasta, kun pienhiukkaspitoisuudet olivat vastaavat kuin moottorin sammussa. Tämä on nähtävissä mitausten raakadatassa (ks. liite 3) esitettyssä kaaviossa, joka ilmoittaa hiukkasten kokonaispitoisuutta ajan funktiona. Moottorin sammumisesta ja uudelleenkäynnistyksestä aiheutuneet erot hiukkaspitoisuuksissa jätettiin huomioimatta tuloksissa. Lisäksi moottorin sammumisen aikana olleet mittaukset aloitettiin alusta.

### 9.4 Tulokset ja johtopäätökset

Tuloksista voidaan päätellä, että älyviherseinällä on mahdollista puhdistaa pienhiukkasia. Paras suodatustulos saatiin mittausasetelmalla, jossa viherkasvit olivat kasvualustassaan ja viherseinän vesikastelu oli päällä, tuuletusasteen ollessa puolet. Tulosten mukaan dieselin palamisesta aiheutuvia pienhiukkasia saatiin Naava-älyviherseinällä suodatettua parhaimmillaan 26,25 %. Kun otetaan, että älyviherseinää ei ole

suunniteltu pienhiukkasten poistoon, on tulos lupaava. Kuitenkaan verrattuna HEPA-suodattimiin ei älyviherseinällä nykyisellään voida ylittää merkittäviin suodatusasteisiin ilman jatkokehitystä. HEPA-suodattimien alhaisin suodatusaste E10 on 85 % (SFS EN 1822-1).

Suodatusasteeseen vaikuttavat kaikki neljä muuttujaa; viherkasvien lehdet lisäsivät pinta-alaa, mihin pienhiukkaset voivat kiinnittyä, ja kasvualusta toimi rakeisena suodattimena. Lisäksi vesikastelusta aiheutui märkädepositiota, ja kun tuuletusaste oli puolet, hiukkasilla oli enemmän impaktioaikaa verrattuna siihen, että tuuletusaste olisi ollut maksimi. Tuloksista kuitenkin ilmenee, että kasvien vaikutus pienhiukkasten suodatukseen on suhteellisen pieni. Kolmesta parhaasta mittausasetelmasta kahdessa ei ollut kasveja ollenkaan. Pääasiallisesti suodatus siis tapahtuu kasvualustan toimiessa rakeisena suodattimena ja veden aiheuttamasta märkädepositiosta. Tämä voidaan perustella sillä, että neljässä parhaassa mittausasetelmassa oli viherseinän vesikastelu päällä.

Työn tulokset ovat monipuolisia. Tuloksia tarkasteltiin esimerkiksi hiukkasten lukumäärän ja koon suhteen. Tutkimuksen hypoteesissa oletettiin pienhiukkasten suodatuksen olevan mahdollista Naava-älyviherseinällä, joten hypoteesi oli paikkaansa pitävä. Tulosten vertaaminen aiempiin tutkimuksiin on mahdotonta niiden puuttumisen vuoksi. Tulokset vastaavat kaikkiin tutkimuskysymyksiin, jotka esitettiin työn alussa.

Tulosten jatkoanalysoinnissa (luvussa 8.2, sivu 29 ) keskityttiin mittausasetelmiin, joissa oli kasvit, riippumatta parhaiden suodatusasteiden mittausasetelmista. Kasvit ja niiden juuristomikrobit ovat merkittävässä roolissa VOC-kemikaalien poistossa, joten Naava-älyviherseiniä ei ole ilman viherkasveja. Tuloksia tarkasteltaessa voidaan pitää positiivisena, että paras suodatusaste saatiin hiukkasille, joiden koko on 0,07  $\mu\text{m}$  – 0,5  $\mu\text{m}$ . Yleisesti tämän kokoluokan pienhiukkaset ovat vaikeimpia suodattaa (Filter & filter media discussion, 2003-2016). Lisäksi tämän kokoluokan hiukkaset ovat ihmiselle vaarallisimpia, koska ne kulkeutuvat ylähengitysteiden läpi keuhkoihin ja vaikuttavat sieltä ihmisen terveyteen (Bhaskar, 2009, 99).

Kuviossa 21 (sivu 30) on esitetty, kuinka tuuletusaste on merkitsevä etenkin pienille hiukkasille, eli kooltaan 0,02  $\mu\text{m}$  – 0,1  $\mu\text{m}$  oleville. Tämä voidaan selittää sillä, että

pienillä hiukkasilla impaktioaika on ratkaiseva sen suhteen, kuinka hyvä suodatusaste saadaan aikaan. Mitä kauemmin pienikokoisilla hiukkasilla kestää päästä rakeisen suodattimen ja vesikastelun läpi, sitä suurempi todennäköisyys niillä on tarttua suodattimeen tai suodattua märkädeposition vaikutuksesta.

Lisäksi tuloksista tehtiin varianssianalyysi (Anova –analyysi) IBM:n SPSS- ohjelmistoa käyttäen. Analyysi tehtiin yhdessä toimeksiantajan tutkijan kanssa, sillä hänellä oli aiempaa työkokemuksesta SPSS-ohjelmistosta. Analyysin tulokset osoittavat, että mittausasetelmien muuttujat vaikuttavat merkittävästi tuloksiin ja että muuttujat eroavat merkittävästi toisistaan. Katsomalla pelkästään mittaustulosten raakadataa voidaan helposti sanoa mittausasetelmien tulosten välillä olevan eroja, kuten esimerkiksi että kasvatusalustan kosteudella on merkitystä mittaustuloksiin. Anova -analyysin avulla voidaan osoittaa, että nämä asetelmien välillä olevat erot ovat tilastollisesti merkitseviä. Tämä osoittaa, että älyviherseinän muuttujilla, kuten tuuletusasteella ja vesikastelulla, voidaan vaikuttaa suodatettujen hiukkasten määrään.

Anova -analyysin perusteella todettiin, että kaikki muuttujat ovat merkitseviä pienhiukkasten suodatuksessa. Vaikkakin kasvien vaikutus pienhiukkasten suodatukseen mittaustulosten pohjalta näyttää pieneltä, Anova -analyysi todistaa, että tilastollisesti tarkasteltuna myös kasvit ovat merkittävässä asemassa.

## 9.5 Tulosten luotettavuus

Aiempien tutkimusten puutteen vuoksi tulosten luotettavuutta on vaikea selvittää, koska saatuja tuloksia ei voida verrata mihinkään. Mittaukset suoritettiin vain yhdellä mittalaitteistolla, joten ei voida vertailla mittalaitteistojen eroja tuloksissa. Kuitenkin mittausten suunnittelussa hyödynnettiin TUT:n ammattitaitoa ja osaamista, mikä pienentää virheen mahdollisuutta mittauksissa ja parantaa mittausten luotettavuutta. TUT:n tutkijan henkilökohtaisen mielipiteen mukaan mittaukset onnistuivat hyvin, ja tulokset vaikuttivat luotettavilta.

Tulosten analysoinnissa virheen mahdollisuuden aiheuttaa mittausasetelmien epä-säännölliset kestot. Mittauspöytäkirjaan (ks. liite 2) merkittiin aikaleimat, jolloin mittauslaitteiston venttiili käännettiin mittaamaan mittauskammion toisen tilan hiukkas-

pitoisuuksia. Nämä syklit eivät ole säännöllisiä, sillä niiden kesto vaihtelee alle minuutista yli kahteen minuuttiin. Tämän tutkimuksen tulosten analysoinnissa kuitenkin käsiteltiin mittaasetelmien tulosten keskiarvoja, joten epäsäännöllisyys ei vaikuta tuloksiin.

Mikäli mittausten realibiliteetti haluttaisiin varmistaa, tulisi mittaukset toistaa. Mittaukset tulisi tehdä useammalla mittalaitteistolla, joissa on eri toimintaperiaate, jotta mittalaitteistosta aiheutuva virhe ja erikokoisten pienhiukkasten erilaiset depositiovaikutukset saataisiin huomioitua tuloksissa. Lisäksi mittaasetelmien kestot tulisi pitää säännöllisempänä. Jo tämän tutkimuksen mittauksissa mittaukset olivat stabiilit, mikä näkyy mm. pienhiukkasten pitoisuudessa ennen älyviherseinän suodattavaa vaikutusta. Pitoisuuksien erot ovat pieniä ja ne sijoittuvat moottorin sammumisien jälkeisille hetkille.

Kuitenkin tutkimuksen uskotaan olevan reliabeeli, ja mikäli tutkimus toistettaisiin, olisivat tulokset lähes vastaavat. Tutkimuskammiolla minimoitiin ulkoisten häiriöiden vaikutukset mittauksiin, TUT:n ammattitaito hyödynnettiin mittausten suunnittelussa ja toteutuksessa, sekä tulokset ovat perusteltavissa teoriaosuudessa esiteltyjen menetelmien mukaan.

SPSS Anova -analyysillä tutkittiin eri mittaasetelmien muuttujien merkittävyksiä suhteessa toisiinsa sekä tuloksiin. Analyysiä voidaan pitää onnistuneena, sillä Levenen testin P-arvo osoittaa nollahypoteesin vääräksi.

## 9.6 Tutkimuksesta saatu hyöty ja jatkotoimenpiteet

Tutkimus osoitti, että Naava-älyviherseinällä on mahdollista suodattaa pienhiukkasia. Toimeksiantaja saa tutkimuksesta mm. tuotteen toimintaan liittyen lisää informaatiota, jota se voi käyttää tuotetiedoissa ja markkinoinnissa. Tuotteen mahdollisuuksista poistaa pienhiukkasia on herännyt kysymyksiä myös asiakkailta.

Koska aihetta ei ole tutkittu aiemmin voidaan sanoa, että aiheen jatkotutkiminen on tarpeen. Mahdollisia jatkotutkimusaiheita on mm. selvittää, kuinka hiukkasten sähköinen varaaminen vaikuttaa Naava-älyviherseinän suodatusasteeseen. Lisäksi olisi kiinnostavaa tietää, vaikuttaako pienhiukkasten suodatus älyviherseinän kykyyn poistaa VOC-kemikaaleja.



Aiheeseen liittyen tullaan tekemään jatkotutkimusta. Toimeksiantaja aikoo mm. tutkia mahdollisuuksia parantaa pienhiukkasten suodatusastetta sekä selvittää, voivatko viherkasvien juuristomikrobit käyttää suodatettuja pienhiukkasia ravintonaan. Mikäli tämä toimisi, suodatin olisi itsestään puhdistuva. Tämä olisi suodatusteknillisesti ennäkemätöntä, ja se olisi merkittävä kilpailuetu markkinoilla.

## Lähteet

7 million premature deaths annually linked to air pollution. 2014. WHO:n tiedote 25.3.2014. Viitattu 6.3.2015.

[Http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/) .

A 38/2011. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Viitattu 30.3.2016. Valtion säädöstietopankki Finlex, [Http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/5916.pdf](http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/5916.pdf) .

Air Quality Quidelines for Europe. 2009. WHO:n ohjeistus ilman epäpuhtauksista. Viitattu 1.9.2015.

[Http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/74732/E71922.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf) .

Ambient (outdoor) air quality and health. 2014. WHO:n tietosivu ulkoilman laadusta ja sen terveysvaikutuksista. Viitattu 6.3.2016.

[Http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/) .

Ayres, J., Maynard, R. & Richards, R. 2006. Air pollution and health. London: Imperial College Press.

Bhaskar, P. 2009. Air pollution and plant biotechnology. Delhi: Mangalam Publications.

Depositio. 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016.

[Http://www.hiukkastieto.fi/node/38](http://www.hiukkastieto.fi/node/38) .

Differential mobility analyzer. 2012. York Universityn verkkosivusto. Viitattu 6.5.2016. [Http://www.cac.yorku.ca/differential-mobility-analyzer/](http://www.cac.yorku.ca/differential-mobility-analyzer/) .

ELPI+. 2016. Elpi-mittalaitteiston tuotesivu. Viitattu 1.4.2016.

[Http://www.dekati.com/products/Fine%20Particle%20Measurement/ELPI%C2%AE%2B](http://www.dekati.com/products/Fine%20Particle%20Measurement/ELPI%C2%AE%2B) .

Filter & Filter media discussion. 2003-2016. Lääketieteellisten laitteiden valmistajan verkkosivusto. Viitattu 11.5.2016.

[Http://www.geigermedical.com/html.php/smoke/filter\\_discussion](http://www.geigermedical.com/html.php/smoke/filter_discussion) .

Garcia, C., Yap, P-S., Park, H-Y. & Weller, B. 2016. Association of long-term PM2.5 exposure with mortality using different air pollution exposure models: impacts in rural and urban California. International Journal of Environmental Health Research, 26;2, 145-157.

Global sources of local pollution : An assessment of long-range transport of key air pollutants to and from the united states. 2009. Committee on the significance of - international transport of air pollutants. National Academies Press.

Hiukkasten ja valon vuorovaikutus, 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.hiukkastieto.fi/node/35](http://www.hiukkastieto.fi/node/35) .

Hiukkasten koko ja muoto. 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.hiukkastieto.fi/node/22](http://www.hiukkastieto.fi/node/22) .

Hiukkasten mittaaminen. 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.hiukkastieto.fi/node/43](http://www.hiukkastieto.fi/node/43) .

Hiukkasten suodatus. 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.hiukkastieto.fi/node/133](http://www.hiukkastieto.fi/node/133) .

Hiukkasten vaikutus terveyteen. 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.hiukkastieto.fi/node/25](http://www.hiukkastieto.fi/node/25) .

Hänninen, A., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A. & Rumrich I. 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportti ilman epäpuhtauksista. Viitattu 26.4.2016. [Http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra\\_16\\_2016.pdf?sequence=1](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf?sequence=1) .

Ilmanlaatuindeksi. 2015. HSY:n verkkosivusto ilmanlaadusta 8.7.2015. Viitattu 10.3.2016. [Https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/ilmansuojelu/ilmanlaatutiedotus/Sivut/Ilmanlaatu.aspx](https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/ilmansuojelu/ilmanlaatutiedotus/Sivut/Ilmanlaatu.aspx) .

Indices definition. N.d. Ilmanlaadun seurantasivusto. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.airqualitynow.eu/about\\_indices\\_definition.php](http://www.airqualitynow.eu/about_indices_definition.php) .

Inertiaan perustuvat menetelmät. 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.hiukkastieto.fi/node/49](http://www.hiukkastieto.fi/node/49) .

Interim report of the committee on changes in new source review programs for stationary sources of air pollutants. 2005. Committee on changes in new source review programs for stationary sources of air pollutant. National Academic Press.

Jin, S., Guo, J., Wheeler, S., Kan, L. & Che, S. 2014. Evaluation of impacts of trees on PM<sub>2.5</sub> dispersion in urban streets. *Atmospheric Environment* 99/2014, 277-287.

Järvinen, N. 2016. Teknologiajohtaja. NaturVention Oy. Haastattelu 6.5.2016.

Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät. Teknillisen korkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 1.4.2016. [Http://math.tkk.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Varanal.pdf](http://math.tkk.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Varanal.pdf) .

Miten Naturbo™ toimii? N.d. NaturVentionin verkkosivusto. Viitattu 1.3.2016. [Https://www.naturvention.com/fi/teknologia/miten-tama-toimii](https://www.naturvention.com/fi/teknologia/miten-tama-toimii) .

New source review for stationary sources of air pollution, 2006, Committee on changes in new source review programs for stationary sources of air pollution. National Academies Press.

Ohlström, M., Tsupari, E., Lehtilä, A. & Raunemaa, T. 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Viitattu 14.4.2016. [Http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/t2300.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/t2300.pdf) .

Rutheford, A. 2012. ANOVA and ANCOVA : A GLM Approach. New Jersey: John Wiley & Sons.

SFS EN 1822-1. 2009. Euroopan normikomission standardi HEPA-suodattimista. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 10.3.2016. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Shanghai Air Pollution. N.d. ACIQN Ilmanlaadun tarkkailuun keskittynyt sivusto. Viitattu 6.5.2016. [Http://aqicn.org/city/shanghai/](http://aqicn.org/city/shanghai/) .

Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät. 2008-2016. Helsingin yliopiston tietosivu hiukkasista. Viitattu 6.3.2016. [Http://www.hiukkastieto.fi/node/46](http://www.hiukkastieto.fi/node/46) .

Taanila, A. 2013. SPSS: Yksisuuntainen varianssianalyysi. Blogi kvantitatiivisesta menetelmäpajasta. Viitattu 26.4.2016.

[Https://tilastoapu.wordpress.com/tag/yksisuuntainen-varienssianalyysi/](https://tilastoapu.wordpress.com/tag/yksisuuntainen-varienssianalyysi/) .

Theodore, L. 2008. Air pollution control equipment calculations. New Jersey: John Wiley & Sons.

Tien, C. 1989. Granular filtration of aerosols and hydrosols. New York: Butterworth Publishers. Viitattu 17.4.2016. [Https://books.google.fi/](https://books.google.fi/), Granular filtration of aerosols and hydrosols.

Varianssianalyysi. 2002. Menetelmäopetuksen tietovaranto – Tampereen yliopiston sähköinen oppimisympäristö. Viitattu 7.3.2016.

[Http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/varienssi/anova.html#yksisuuntainen](http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/varienssi/anova.html#yksisuuntainen) .

Wolverton, B. 1989. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. Viitattu 14.3.2016.

[Http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930073077.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930073077.pdf) .

## Liitteet

Liite 1. ELPI Tuote-esite

# DEKATI ELPI™ Electrical Low Pressure Impactor

Real-time particle size  
distribution  
Wide particle size range  
Wide range of applications



**DEKATI**  
Excellence in Particle Measurements

(jatkuu)

(jatkuu)



## DEKATI ELPI™ Electrical Low Pressure Impactor

ELPI™ (Electrical Low Pressure Impactor) enables measurement of real-time particle size distribution and concentration in the size range of 7nm - 10µm. With the ELPI™, well-known impactor technology is combined with particle charging and electrical detection. The result is a robust instrument which measures particle size distribution in a wide size and concentration range, accurately and in real-time. The use of impactor technology also enables post-measurement chemical analysis of size classified particles. The ELPI™ can also be used for real-time particle charge distribution and gravimetric impactor measurements.

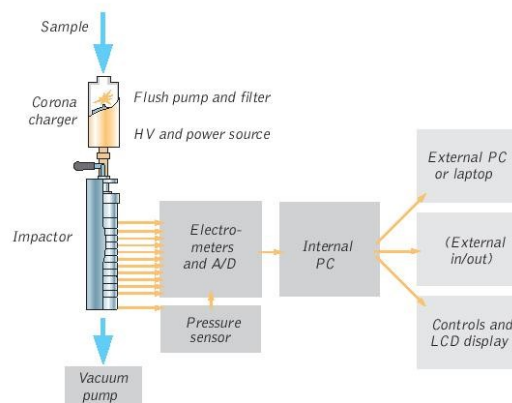
During measurement, the ELPI™ instrument is completely controlled and data is saved with easy-to-use ELPIVI software. In addition to controlling the instrument operations,

the ELPIVI enables the monitoring of total concentration and particle size distribution of the sample in real-time. The software enables operating of several ELPI™ units with one piece of software and sending the data or using the instrument via a network connection.

### Operating Principle

The ELPI™ operating principle can be divided into three major parts: particle charging in a unipolar corona charger, size classification in a cascade impactor and electrical detection with sensitive electrometers. The particles are first charged into a known charge level in the corona charger. After charging, the particles enter a cascade low pressure impactor with electrically insulated collection stages. The particles are collected in the different impactor stages according to their aerodynamic diameter, and the electric charge carried by particles into each impactor stage is measured in real time by sensitive multi-channel electrometers. This measured current signal is directly proportional to particle number concentration and size. The components are housed in a single compact unit. A standard RS232 port is used for communication with a laptop or PC using ELPIVI software, also provided with the instrument.

The particle collection into each impactor stage is dependent on the aerodynamic size of the particles. Measured current signals are converted to (aerodynamic) size distribution using particle size dependent relations describing the properties of the charger and the impactor stages. The result is particle number concentration and size distribution in real-time. By switching the charger unit off, the ELPI can be used for particle charge distribution measurements.



## Liite 2. Mittauspöytäkirja

Viherseinän hiukkassuodatusmittauksia Naturventionilla						Seinän lämpötila n. 20 C
Hiukkasgeneraattori: 350 cm <sup>3</sup> dieselmoottori						ELPI: 217+lisa, filteri päällä, trap pois
13:02:15						
<b>Aika</b>	<b>Aika loppu</b>	<b>Setup</b>	<b>Virtaus</b>	<b>RH</b>	<b>enne l_tot</b>	<b>Huom</b>
11.5.2016 13:02						ELPI nollattu
14:46:31		tyhjä seinä	maksimi	37	J 3,50E+05	
14:48:24					E 3,50E+05	
14:50:29					J 3,50E+05	
14:51:53	14:53:20				E 3,50E+05	
15:03:05		tyhjä seinä	puolet		J 3,00E+05	
15:04:12					E 3,50E+05	
15:06:19					J 3,20E+05	
15:07:50					E 3,50E+05	
15:09:28					J	
15:10:56	15:12:06				E	
15:19:37						ELPI nollattu
15:25:11		kuvat ruukut	puolet	55	E 3,00E+05	
15:26:17					J 2,50E+05	
15:27:40					E	
15:28:51					J	
15:30:08					E	
15:31:14	15:32:16				J	
15:34:00						Moottori sammui ja käynnistettiin uudelleen
15:41:26		kuvat ruukut	maksimi		E 3,80E+05	
15:42:44					J 3,40E+05	
15:44:11				61	E 3,70E+05	
15:45:27					J 3,10E+05	
15:46:40					E 3,30E+05	
15:48:06	15:50:03				J 3,00E+05	
15:51:50		ruukut+kastelu päällä	maksimi	93	J 2,70E+05	
15:53:15					E 3,50E+05	
15:54:57					J 2,70E+05	
15:56:14					E 3,60E+05	
15:57:50					J 2,80E+05	
15:59:37	16:01:37				E 3,70E+05	
16:02:05		ruukut+kastelu pois	maksimi		J 3,10E+05	
16:03:17					E 3,60E+05	
16:04:46					J 3,00E+05	
16:06:37					E 3,40E+05	
16:07:41					J 2,90E+05	

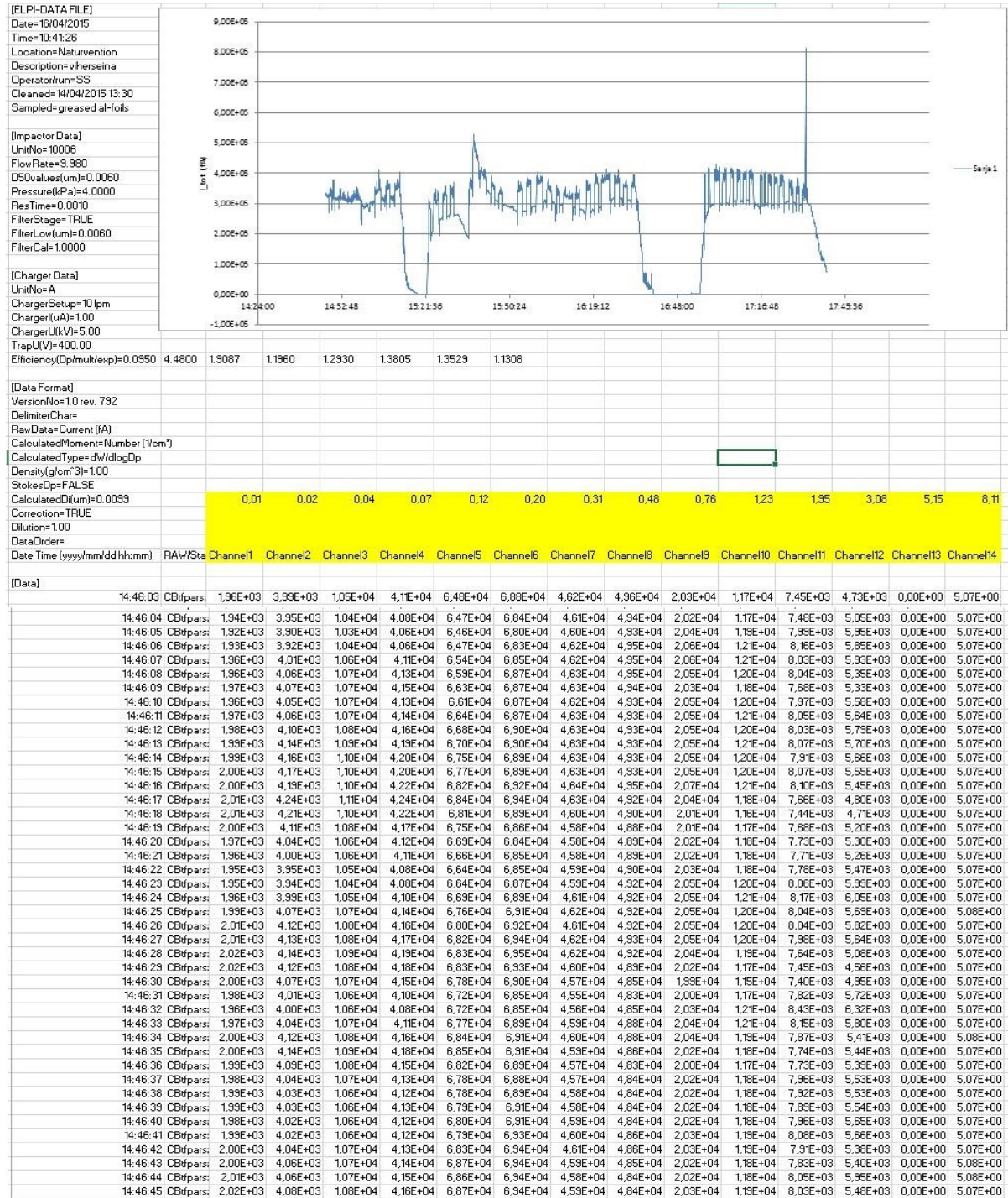
(jatkuu)

(jatkuu)

16:08:51	16:10:00			85	E		
16:15:31		ruukut+kastelu	puolet		J	2,80E+05	
16:16:43				83,5	E	3,50E+05	
16:18:11					J	2,70E+05	
16:19:32					E	3,70E+05	
16:20:53					J	2,90E+05	
16:22:04	16:23:30			93	E	3,80E+05	
16:25:20		ruukut+kastelu pois	puolet		J	3,10E+05	
16:26:27					E	3,70E+05	
16:28:06					J	3,20E+05	
16:29:25					E	3,60E+05	
16:30:55					J	3,10E+05	
16:32:18	16:33:20				E	3,50E+05	
16:53:14							ELPI nollattu
16:55:40							Moottori käynnistettiin uudelleen
16:59:32		kasvit+kastelu päällä	puolet		J	2,90E+05	
17:00:39					E	4,00E+05	
17:02:35					J	3,00E+05	
17:03:39				82	E	4,00E+05	
17:04:56					J	3,00E+05	
17:06:07	17:06:59				E		
17:07:21		kasvit+kastelu pois	puolet		J	3,10E+05	
17:08:32					E	4,10E+05	
17:09:35					J	3,10E+05	
17:10:37					E	3,90E+05	
17:11:43					J	3,10E+05	
17:12:45	17:13:45				E	4,00E+05	
17:18:25		kasvit+kastelu päällä	maksimi		J	3,00E+05	
17:19:23					E	3,90E+05	
17:20:16					J	3,00E+05	
17:21:13					E	3,90E+05	
17:22:16				85	J	3,00E+05	
17:23:12	17:24:25				E	3,90E+05	
17:25:05		kasvit+kastelu pois	maksimi		J	3,00E+05	
17:26:21					E	3,70E+05	
17:27:44					J	3,00E+05	
17:28:47				85	E	3,40E+05	
17:29:47					J	3,00E+05	
17:30:55	17:31:48				E	3,50E+05	



Liite 3. Ote mittausten raakadatesta



Liite 4. SPSS Anova –analyysi

**OUTPUT FROM SPSS**

**Between-Subjects Factors**

	Value Label	N
Treatment:	1.00 Pots only	4
	2.00 Pots + dry mammi	4
	3.00 Pots+ mammi + water running	6
	4.00 Pots + wet mammi	5
	5.00 Plants + mammi + water running	5
	6.00 Plant - wet mammi	6
Fan_status	1.00 Fan full speed	16
	2.00 Fan half speed	14

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: Particle\_count

Treatment	Fan_status	Mean	Std. Deviation	N
Pots only	Fan full speed	.0000	.00000	2
	Fan half speed	40000.00	14142.14	2
	Total	20000.00	24494.90	4
Pots + dry mammi	Fan full speed	43333.33	15275.25	3
	Fan half speed	50000.00	.	1
	Total	45000.00	12909.94	4
Pots+ mammi + water running	Fan full speed	86666.67	5773.533	3
	Fan half speed	86666.67	15275.25	3
	Total	86666.67	10377.96	6
Pots + wet mammi	Fan full speed	45000.00	7071.058	2
	Fan half speed	46666.67	11547.31	3
	Total	46000.00	8944.272	5
Plants + mammi + water running	Fan full speed	90000.00	.00000	3
	Fan half speed	105000.0	7071.058	2
	Total	96000.00	8944.272	5
Plant + wet mammi	Fan full speed	53333.33	15275.25	3
	Fan half speed	90000.00	10000.00	3
	Total	71666.67	23166.07	6
Total	Fan full speed	56875.00	30923.29	16
	Fan half speed	72142.86	26941.12	14
	Total	64000.00	29664.79	30

**Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>**

Dependent Variable: Particle\_count

F	df1	df2	Sig.
2.115	11	18	.076

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+Treatment+Fan\_status+Treatment \* Fan\_status

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Particle\_count

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.33E+010 <sup>a</sup>	11	2116969697	17.062	.000
Intercept	1.32E+011	1	1.018E+011	820.091	.000
Treatment	1.90E+010	5	3804993007	30.667	.000
Fan_status	1.37E+009	1	13750000000	15.112	.001
Treatment * Fan_status	1.91E+009	5	381839463.9	3.078	.035
Error	2.23E+009	18	124074074.1		
Total	1.48E+011	30			
Corrected Total	2.55E+010	29			

a. R Squared = .912 (Adjusted R Squared = .859)

(jatkuu)

(jatkuu)

**Estimated Marginal Means**

**1. Treatment**

Dependent Variable: Particle\_count

Treatment	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Pots only	20000.00	5569.427	8299.068	31700.932
Pots + dry mammi	46366.67	6431.021	33155.594	60177.739
Pots+ mammi + water running	86366.67	4547.418	77112.896	96220.438
Pots + wet mammi	45333.33	5084.168	35151.892	56514.774
Plants + mammi + water running	97500.00	5084.168	86818.359	108181.441
Plant + we: mammi	71366.67	4547.418	62112.896	81220.438

**2. Fan\_status**

Dependent Variable: Particle\_count

Fan_status	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Fan full speed	53055.56	2835.313	47097.732	59013.379
Fan half speed	69722.22	3215.510	62966.636	76477.753

**Treatment**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Particle\_count

Tukey HSC

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Pots only	Pots + dry mammi	-25000.000C	7876.359	.050	-50031.3452	31.3452
	Pots+ mammi + water running	-66366.6667*	7190.100	.000	-89517.0540	-43816.2793
	Pots + wet mammi	-26000.000C*	7472.171	.027	-49746.8191	-2253.1809
	Plants + mammi + water running	-76000.000C*	7472.171	.000	-99746.8191	-52253.1809
	Plant + wet mammi	-51366.6667*	7190.100	.000	-74517.0540	-28816.2793
Pots + dry mammi	Pots only	25000.000C	7876.359	.050	-31.3452	50031.3452
	Pots+ mammi + water running	-41366.6667*	7190.100	.000	-64517.0540	-18816.2793
	Pots + wet mammi	-10000.000C	7472.171	1.000	-24746.8191	22746.8191
	Plants + mammi + water running	-51000.000C*	7472.171	.000	-74746.8191	-27253.1809
Pots+ mammi + water running	Pots only	66366.6667*	7190.100	.000	43816.2793	89517.0540
	Pots + dry mammi	41366.6667*	7190.100	.000	18816.2793	64517.0540
	Pots + wet mammi	40666.6667*	6744.911	.000	19231.1033	62102.2301
	Plants + mammi + water running	-3333.3333	6744.911	.736	-30768.8967	12102.2301
Plant + wet mammi	Pots + wet mammi	15000.0000	6431.021	.232	-5438.0078	35438.0078
	Pots only	25000.0000*	7472.171	.027	2253.1809	49746.8191
	Pots + dry mammi	10000.0000	7472.171	1.000	-22746.8191	24746.8191
	Pots+ mammi + water running	-40666.6667*	6744.911	.000	-62102.2301	-19231.1033
Pots + wet mammi	Pots + mammi + water running	-53000.0000*	7044.830	.000	-72388.7158	-27611.2842
	Plant + wet mammi	-25666.6667*	6744.911	.014	-47102.2301	-4231.1033
	Pots only	25000.0000*	7472.171	.000	52253.1809	99746.8191
	Pots + dry mammi	51000.0000*	7472.171	.000	27253.1809	74746.8191
Plants + mammi + water running	Pots+ mammi + water running	3333.3333	6744.911	.736	-12102.2301	30768.8967
	Pots + wet mammi	53000.0000*	7044.830	.000	27611.2842	72388.7158
	Plant + wet mammi	24333.3333*	6744.911	.021	2897.7699	45768.8967
	Pots only	51666.6667*	7190.100	.000	28816.2793	74517.0540
Plant + wet mammi	Pots + dry mammi	26666.6667*	7190.100	.017	3816.2793	49517.0540
	Pots+ mammi + water running	-15000.0000	6431.021	.232	-35438.0078	5438.0078
	Pots + wet mammi	25666.6667*	6744.911	.014	4231.1033	47102.2301
	Plants + mammi + water running	-24333.3333*	6744.911	.021	-45768.8967	-2697.7699

Based on observed means.

\* The mean difference is significant at the .05 level

(jatkuu)

(jatkuu)

### Homogeneous Subsets

Particle\_count

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Treatment	N	Subset			
		1	2	3	4
Pots only	4	20000.00			
Pots + dry mammi	4		45000.00		
Pots + wet mammi	5		46000.00		
Plant + wet mammi	6			71666.67	
Pots+ mammi + water running	6			86666.67	86666.67
Plants + mammi + water running	5				96000.00
Sig.		1.000	1.000	.330	.778

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

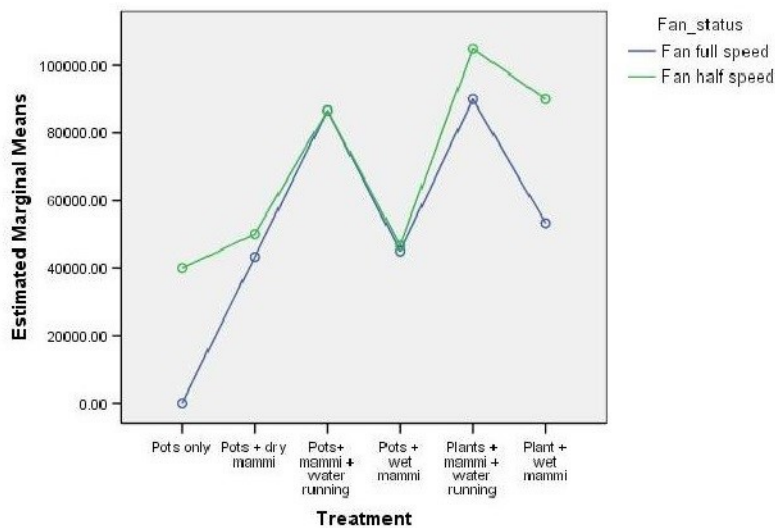
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 124074074.074.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.865.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

### Profile Plots

Estimated Marginal Means of Particle\_count



(jatkuu)

(jatkuu)

## SPSS INPUT

Particulate data [DataSet1] - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

30 : Treatment 6

	Treatment	Fan_status	Particle_count	var	var	var	var	var
1	Pots only	Fan full speed	.00					
2	Pots only	Fan full speed	.00					
3	Pots only	Fan half speed	50000.00					
4	Pots only	Fan half speed	30000.00					
5	Pots + dry mammi	Fan half speed	50000.00					
6	Pots + dry mammi	Fan full speed	40000.00					
7	Pots + dry mammi	Fan full speed	60000.00					
8	Pots + dry mammi	Fan full speed	30000.00					
9	Pots+ mammi + water run	Fan full speed	80000.00					
10	Pots+ mammi + water run	Fan full speed	90000.00					
11	Pots+ mammi + water run	Fan full speed	90000.00					
12	Pots + wet mammi	Fan full speed	50000.00					
13	Pots + wet mammi	Fan full speed	40000.00					
14	Pots+ mammi + water run	Fan half speed	70000.00					
15	Pots+ mammi + water run	Fan half speed	100000.00					
16	Pots+ mammi + water run	Fan half speed	90000.00					
17	Pots + wet mammi	Fan half speed	60000.00					
18	Pots + wet mammi	Fan half speed	40000.00					
19	Pots + wet mammi	Fan half speed	40000.00					
20	Plants + mammi + water r	Fan half speed	110000.00					
21	Plants + mammi + water r	Fan half speed	100000.00					
22	Plant + wet mammi	Fan half speed	100000.00					
23	Plant + wet mammi	Fan half speed	80000.00					
24	Plant + wet mammi	Fan half speed	60000.00					

Data View Variable View

SPSS Processor is ready