

Juha Pulkkinen

HIUKKASMITTAUKSIEN VERTAUS
(PM₁₀ ja PM_{2,5}) JYVÄSKYLÄN
KESKUSTASSA VUOSINA 2010-2011

TEOM 1405d:n ja TEOM 1400a:n välillä

Opinnäytetyö
Kestävä yhdyskunta


Toukokuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<p>Opinnäytetyön päivämäärä</p> <p>27.5.2012</p>				
<p>Tekijä(t) Juha Pulkkinen</p>	<p>Koulutusohjelma ja suuntautuminen YAMK Kestävä kehitys</p>				
<p>Nimeke Hiukkasmittauksien vertaus (PM10 ja PM2,5) Jyväskylän keskustassa vuosina 2010-2011 TEOM 1405d:n ja TEOM 1400a:n välillä</p>					
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä työssä tutkittiin TEOM 1405D hiukkasmittarin soveltuvuutta PM10 ja PM2,5 mittauksiin vertaamalla sitä Jyväskylän Lyseon ilmanlaadunmittausasemalla hyväksytyihin TEOM 1400a-mittareihin. Työ tehtiin vuosina 2010-2011. Työssä pohdittiin mahdollisuutta määrittää korjauskerroin em. laitteella mitatuille tuloksille.</p> <p>Laitteen hiukkaserottimena toimineessa virtuaali-impaktorissa ilmeni vika, jota yritettiin poistaa eristämällä sen pinta suorasta ilmakosketuksesta. Myös itse laitteen toimivuutta muutettiin testin aikana. Näin ollen tehtiin kolme erillistä testijaksoa.</p> <p>Mittauksissa todettiin laitteen kelpaavan hyvin hengitettävän pölyn mittaukseen. Pienhiukkasten mittauksissa oli testin aikana mittausteknisiä ongelmia myös vertailulaitteessa, joten laitteen sopivuutta em. mittaukseen ei voi pitää yksiselitteisenä, vaan sitä tulisi vielä selvittää lisää.</p> <p>Korjauskertoimien määrittelyssä ei saatu selville selviä poikkeamia vanhaan TEOM 1400a-laitteeseen. Raportissa suositellaankin TEOM 1405d mittausjärjestelmälle käytettäväksi samoja kertoimia, joita käytetään TEOM 1400a-laitteistolla.</p>					
<p>Asiasanat (avainsanat) ilmanlaadun mittaaminen; hengitettävä pöly; pienhiukkaset; PM10; PM2,5; TEOM</p>					
<p>Sivumäärä 67+ liite 1 s</p>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Kieli</td> <td style="border: none;">Suomi</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">URN</td> <td style="border: none;">URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A8717</td> </tr> </table>	Kieli	Suomi	URN	URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A8717
Kieli	Suomi				
URN	URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A8717				
<p>Huomautus (huomautukset liitteistä)</p>					
<p>Ohjaavan opettajan nimi Martti Poursu Eino Sarkola</p>	<p>Opinnäytetyön toimeksiantaja Jyväskylän kaupunki Ympäristövirasto</p>				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 27.5.2012
Author(s) Juha Pulkkinen	Degree programme and option YAMK Environmental technology	
Name of the bachelor's thesis Comparison of the particulate matter (PM10 and PM2, 5) measurements in the center of Jyväskylä in 2010-2011 between TEOM 1405d and the TEOM 1400a		
Abstract We explored the TEOM 1405D analyser's suitability for PM10 and PM2, 5 measurements by comparing it with 1400a TEOM instruments approved by the Jyväskylä Lyceum air quality monitoring station. The work was done in 2010-2011. We tried to determine the correction factor for the device measured in the above-mentioned results. There were some troubles in virtual particle-impaktor, which we tried to take away by isolating the surface from direct contact with air. We also modified the working operation of the device during the test. Thus, the test was carried out in three separate periods In the measurements, the device was found to fit well for respirable dust measurement. In the test of fine particle measurements there were some technical problems during the test, so the device for measuring the suitability of that effect can not be taken as an unequivocal, but it should still be researched more. In the definition of the correction factors no clear differences were found between the old and new model of TEOM instruments. We recommend that TEOM 1405d measurement system can use the same coefficients that are used by TEOM 1400a device.		
Subject headings, (keywords) air quality measurement; respirable dust; Fine particulate matter; PM10; PM2,5; TEOM		
Pages 67 + app 1p.	Language Finnish	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A8717
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Pouru Eino Sarkola	Bachelor's thesis assigned by The Environment office in the City of Jyväskylä	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	HIUKKASET	2
2.1	Hengitettävä pöly.....	2
2.2	Pienhiukkaset.....	4
2.3	Hiukkaspäästöt.....	5
2.4	Hiukkasten terveysvaikutukset.....	7
2.4.1	Hengitettävät hiukkaset.....	8
2.4.2	Pienhiukkaset.....	9
2.5	Hiukkasten ohje- ja raja-arvot	11
3	HIUKKASTEN MITTAUSMENETELMIÄ.....	13
3.1	Mittalaitteiden hengitettävän pölyn esierottimet.....	13
3.2	Betasäteilyyn perustuva mittaus	15
3.3	Optinen valon sirontaan perustuva mittaus	15
3.4	Värähtelyn muutokseen perustuva mittaus (TEOM).....	16
4	MITTAUSPAIKKA- JA -JÄRJESTELYT JYVÄSKYLÄN KESKUSTASSA ..	17
4.1	Tiedonkeruu.....	19
4.2	Tulosten käsittely.....	20
5	MITTAUSTULOSTEN LASKENTA JA KÄSITTELY.....	22
6	TESTIMITTAUSTEN ERI JAKSOT	23
6.1	Ensimmäinen vertailumittausjakso.....	24
6.1.1	Hengitettävän pölyn analyysit (1. jakso)	24
6.1.2	Pienhiukkasten (PM _{2,5}) analyysit (1. jakso).....	27
6.1.3	Hiukkasten (PM ₁₀ PM _{2,5}) erityispäästö syyskuussa 2010 (1. jakso)	30
6.2	Toinen vertailumittausjakso	32
6.2.1	Hengitettävän pölyn analyysit (2. jakso)	32
6.2.2	Pienhiukkasten (PM _{2,5}) analyysit (2. jakso).....	35
6.3	Kolmas vertailumittausjakso	38
6.3.1	Hengitettävän pölyn analyysit (3. jakso)	39
6.3.2	Pienhiukkasten (PM _{2,5}) analyysit (3. jakso).....	42
6.3.3	Vertailulaitteiden keskinäinen testi.....	45
6.4	Pienhiukkasten (PM _{2,5}) ja hengitettävän pölyn (PM ₁₀) tuntiarvotestit.....	45

Korrelaatiot ja regressiot tuntiaineistolla lämpötilan mukaan	47
7 MITTAUSTULOSTEN TULKINTA	50
7.1 Ensimmäisen mittausjakson tulkinta	53
7.2 Toisen mittausjakson tulkinta	53
7.3 Kolmannen mittausjakson tulkinta	54
7.3.1 Tuntiarvojen tarkastelu	55
7.3.2 Vertailu aiempiin mittauksiin	57
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	59
8.1 Hengitettävä pöly (PM ₁₀)	61
8.2 Pienhiukkaset (PM _{2,5})	62
9 LAIT JA ASETUKSET:	63
10 LÄHTEET	64

LIITTEET

1 Suomessa ilmanlaatuportaalin mukaan käytössä olevat hiukkasmittauslaitteet

Sanastoa:

Aerodynaaminen halkaisija: kuvitteellisen pallonmuotoisen hiukkasen halkaisija, jonka tiheys on 1000 kg/m^3 ja jolla on sama laskeutumisnopeus kyseessä olevalla hiukkasella huolimatta tämän todellisen hiukkasen koon, muodon ja tiheyden erilaisuudesta. (VTT v. 2012)

Esierotin: Esierottimen kokoerottelutehokkuuden tulee olla sellainen, että 50 % aerodynaamiselta halkaisijaltaan 2,5 (tai 10) μm :n kokoisista hiukkasista kerääntyy suodattimelle.

Hengitettävä Pöly: hiukkasen aerodynaaminen halkaisija on alle 10 μm .

Isokineettinen näytteenotto: tarkoittaa sitä, että kaasun virtausnopeus on yhtä suuri suuttimessa kuin suuttimen kohdalla kanavassa

Korrelaatio: on todennäköisyyslaskennassa ja tilastotieteessä käytetty käsite, joka kuvaa kahden muuttujan välistä riippuvuutta

Korrelaatiokerroin: tarkoittaa aineistosta laskettua havaintojen välistä korrelaatiota. Tarkkaan ottaen se on numeerinen mitta satunnaismuuttujien väliselle lineaariselle riippuvuudelle. Riippumattomien muuttujien välillä ei ole korrelaatiota

Lumettuminen: ilmassa olevan kosteuden tiivistyminen pakkasen aikana kiinteäksi hiukkaseksi.

Pienhiukkanen: hiukkasen aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5 μm .

Regressioanalyysi: Lineaarinen regressioanalyysi on tilastollinen analyysimenetelmä, jossa aineiston perusteella estimoidaan tarkasteltavan vastemuuttujan lineaarisesta riippuvuutta selittävistä muuttujista.

Selitysaste: Regressiomallin selityskykyä kuvaa selitysaste R^2 , joka kertoo kuinka paljon malli selittää kokonaisvaihtelusta.

1 JOHDANTO

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2008/50/EY) ilman laadusta ja sen parantamisesta (Suomessa Valtioneuvoston asetus 38/2011 on annettu 20.1.2011) määrittää mm. raja-arvot tiettyjen epäpuhtauksien suurimmille sallituille pitoisuuksille ulkoilmassa. Direktiivin tavoitteena on myös välttää, ehkäistä tai vähentää epäpuhtauksien haitallisia vaikutuksia ihmisen terveyteen ja ympäristöön. Raja-arvojen ohella direktiivi määrittää havaintoaineiston laatutavoitteet ja epäpuhtauksien mittaamiseen käytettävät vertailumenetelmät. Euroopan yhteisön jäsenmaa voi kuitenkin käyttää muuta kuin vertailumenetelmää, jos tämän voidaan osoittaa olevan yhdenmukainen vertailumenetelmän kanssa. Vertailumenetelmäksi on hyväksytty manuaalinen gravimetrinen menetelmä, jossa kerätään vuorokauden mittaisia näytteitä PTFE-suotimille vakioituissa olosuhteissa. Keräysvirtaukset, keräys- ja säilytyslämpötilat ja punnitusolosuhteet vakioidaan. Menetelmällä ei saa suoraan tietoja hiukkaspitoisuuksista, vaan tulosten saanti kestää usein viikkoja, joten se ei sovellu hyvin jatkuvatoimiseen ilmantarkkailuun. Jatkuvatoimisen hiukkasmittauksen laatutavoitteena on annettu sallitaksi epävarmuudeksi 25 % (asetuksen 38/2011 liite 8).

Tässä opinnäytetyössä selvitetään uuden markkinoille tulevan laitteen (TEOM 1405D) sopivuutta mittauksiin vertaamalla sitä vanhaan (TEOM 1400A) laitteeseen, jollainen oli mukana kansallisen referenssilaboratorion järjestämässä vertauksessa vv. 2007-2008. (Walden J. ym. v. 2010) Uusi laite ei ehtinyt tuohon vertailuun mukaan, eikä referenssilaitoksella ollut lähiaikoina suunnitelmia uuden vertailun järjestämiseen. Laitteen suurin ero vanhempaan laitteeseen on se, että sillä voi mitata samaan aikaan sekä hengitettävää pölyä että pienhiukkasia. Tämä on saatu aikaan jakamalla näytevirtaus kahteen eri hiukkasfraktioon virtuaali-impaktorin avulla. Laitteiden näyteilman sisäännotossa oleva PM₁₀-esierotin on aivan samanlainen. Varsinaiset mittaussuunnitelmat ovat samanlaisia. Tämän vertailun tavoitteena on osoittaa TEOM 1405D:n yhdenmukaisuus vertailumenetelmään sekä määrittää pitoisuuksille korjauskertoimet hyödyntämällä em. tutkimuksesta saatuja tuloksia.

Työ tehtiin Jyväskylän keskustassa Jyväskylän kaupungin ympäristöviraston Lyseon mittausasemalla vv. 2010-2011. Työn tilaajan ohjaajana toimi valvontakemisti Timo Sahi.

2 HIUKKASET

Hiukkaset ovat käsitteenä hieman vaikeampia kuin muut perinteiset ilmansaasteet. Hiukkasiksi kutsutaan kaikkia kiinteän olomuodon omaavia ilmassa leijuvia aineita, myös nesteitä. Olomuoto saattaa muuttua kaasuksi esim. ilman lämpötilan vaihdellessa. Hiukkasia jaotellaan monilla eri tavoilla, mutta ilmanlaadun tarkastelussa ne jaotellaan usein hiukkaskoon mukaan. Tällöin jaottelu tapahtuu hiukkasen aerodynaamisen halkaisijan mukaan. Käsite ”karkeat hiukkaset” tarkoittaa ilmanlaatukäsitteenä ilmassa leijuvia hiukkasia kokoluokaltaan n. 40 mikrometriin asti. Tällöin puhutaan ns. katupölystä ja hiukkasia mitataan ns. tehokeräysmenetelmällä. Pääosa hiukkasten massasta kaupunkiympäristössä on usein hiekoitushiekkaa. Tämän aineksen terveysvaikutukset ovat melko vähäisiä, ja ne rajataan nykyisin usein kokonaan pois terveysvaikutustarkasteluista. Kaksi muuta vaikutuksiltaan tärkeämpää kokoluokkaa ovat hengitettävä pöly ja pienhiukkaset. Hengitettävä pöly tarkoittaa kokoluokaltaan alle 10 μm :n hiukkasista ja pienhiukkaset alle 2,5 μm :n hiukkasia. Jaottelu jatkuu myös vielä pienempiin hiukkaskokoihin, joita ei erikseen tarkastella tässä yhteydessä.

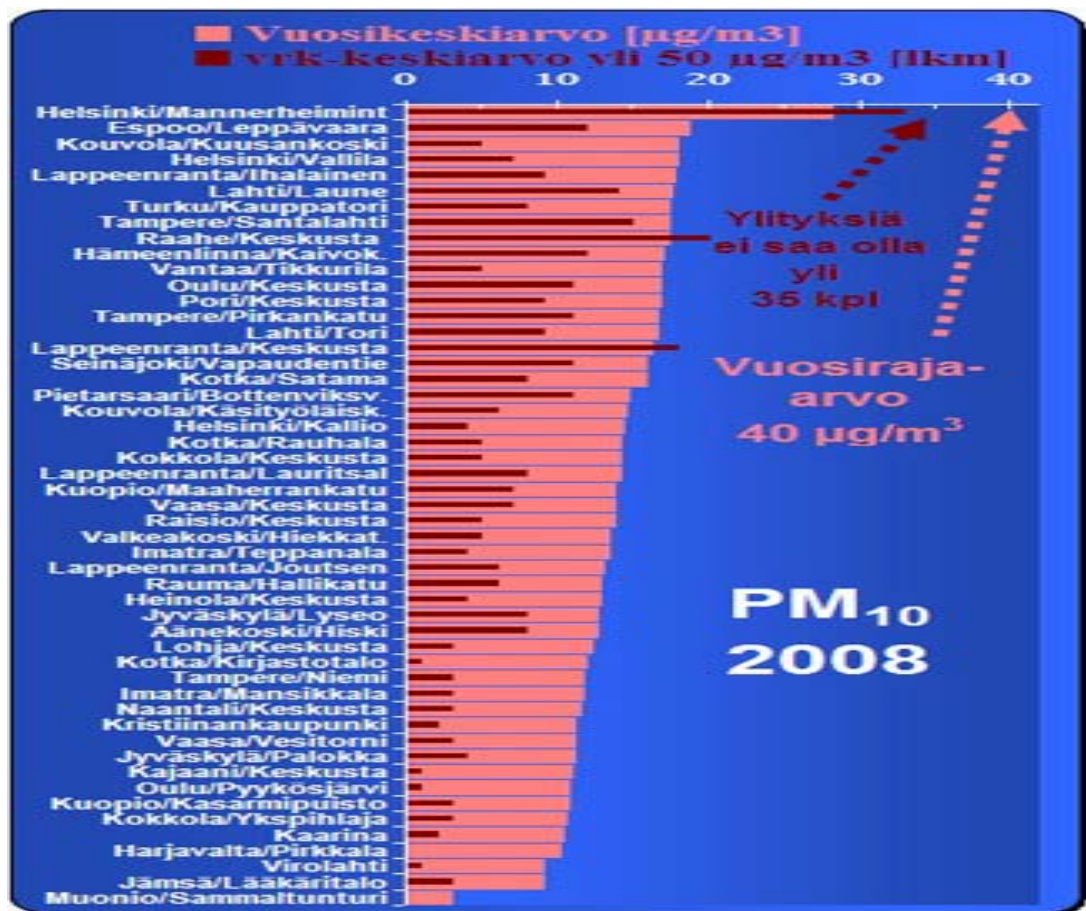
2.1 Hengitettävä pöly

Hengitettäväksi hiukkasiksi (PM_{10} eli Particulate Matter <10) kutsutaan halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin (μm) hiukkasia. Terveysvaikutuksia arvioitaessa näitä hiukkasia kutsutaan usein hieman hämäävästi karkeiksi hiukkasiksi. Tämän kokoiset hiukkaset kulkevat hengitysilman mukana ihmisen keuhkoputkiin asti. Hiukkaset voivat olla kemialliselta koostumukseltaan vaaratonta pölyä tai merisuolaa, mutta niihin voi olla sitoutuneena myös esimerkiksi haitallisia raskasmetalleja tai hiilivetyjä. (Ilmanlaatuportaali 1)

Karkeat hiukkaset pääsevät ilmaan lähinnä mekaanisesti. Hienot hiukkaset puolestaan syntyvät tiivistymällä kaasusta. Hiukkasten muodostuminen kaasusta tiivistymällä, nukleaatiolla, voi johtua esimerkiksi savukaasun jäähtymisestä tai kaasumaisten aineiden kemiallisista reaktioista, jotka johtavat faasimuutokseen. Nukleaatioissa syntyneet hiukkaset keräävät pinnalleen lisää tiivistyviä tai adsorboituvia kaasuja ja näin kasvavat kondensaation kautta. Tuoreet pienet hiukkaset myös törmäävät

nopeasti toisiinsa eli koaguloituvat ja muodostavat hiukkasrypäleitä ja –nauhoja tai pieniä nestepisaroiita. Luontoperäisesti hienoja hiukkasia syntyy epätäydellisessä palamisessa tai kun kasvien tuottamat orgaaniset yhdisteet tai vulkaanisissa kaasuissa olevat aineet reagoivat kemiallisesti ja tiivistyvät. (Laukkanen 2005, 39.)

Kuvassa 1 on esitetty hengitettävän pölyn raja-arvon ylityksiä Suomessa eri kunnissa vuonna 2008. Siitä voidaan havaita, että raja-arvon lukuarvon ylityksiä on paljon ja niiden määrässä ollaan jo lähellä varsinaista raja-arvoa.



Kuva 1. Hengitettävän pölyn vuorokausikeskiarvon raja-arvon ylityksiä eri kunnissa Suomessa 2008. (Ilmanlaatuportaali1 2010)

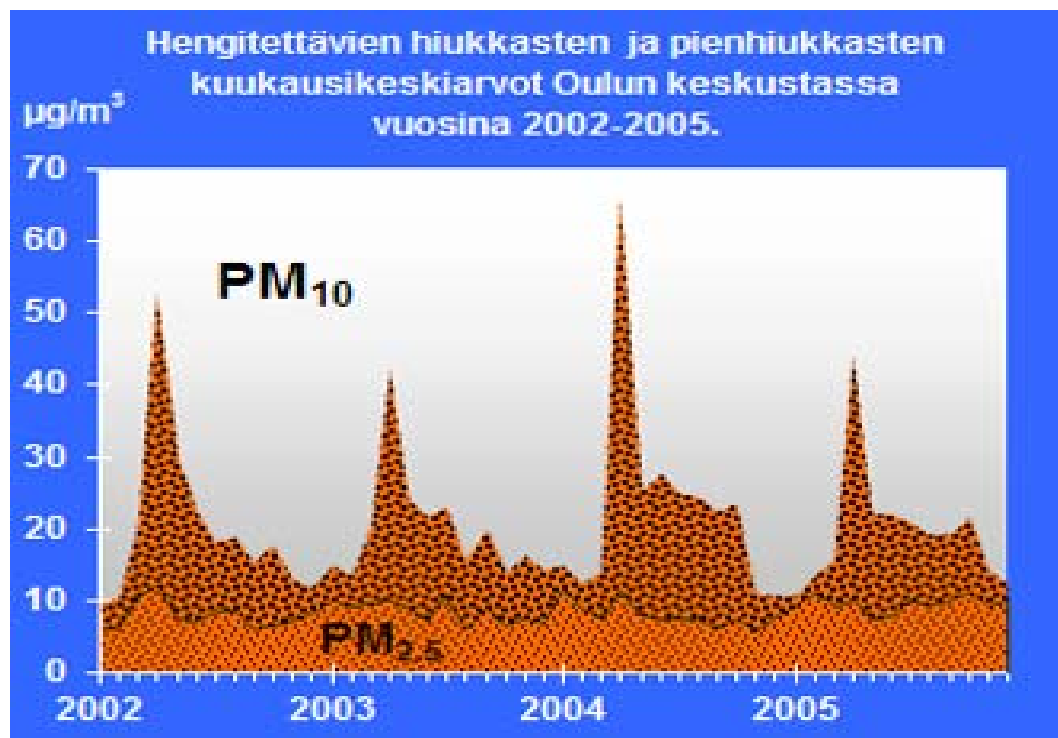
EU:n alueella 18 – 49 % kaupunkiväestöstä altistui vuorokausiraja-arvon ylittävälle PM10-pitoisuuksille vuosina 1997 – 2009. Suomessa hengitettävien hiukkasten mittauksia tehtiin 60:llä mittauspaikalla vuonna 2009. (Aarnio 2012.)

2.2 Pienhiukkaset

Halkaisijaltaan alle 2.5 mikrometrin (μm) hiukkasia kutsutaan pienhiukkasiksi ($\text{PM}_{2,5}$). Pienhiukkaset ovat osa hengitettäviä hiukkasia, jotka tunkeutuvat hengitysilman mukana syvemmälle hengitystiehyihin. Hienoissa hiukkasissa on materiaa massamääräisesti melko vähän, mutta hiukkasten lukumäärä ja niiden yhteinen pinta-ala ovat paljon suuremmat kuin karkeiden hiukkasten lukumäärä ja yhteinen pinta-ala. (Ilmanlaatuportaali2 2010.)

Pienhiukkasia tulee ilmaan polttoaineiden palamisessa, erityisesti puun pienpoltossa. Pienhiukkasiksi muuntuvat myös ilmaan päästetyt rikkidioksidi- ja typpidioksidikaasut. Pienissä hiukkasissa voi olla myös epätäydellisessä palamisessa syntyntä nokea, jonka pinnalla voi olla kiinnittyneenä muita haitta-aineita. Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmassojen mukana jopa tuhansia kilometrejä ja poistuvat ilmakehästä tehokkaasti vasta sateen mukana. (Ilmanlaatuportaali2 2010.)

Kuvassa 2 on esitetty hengitettävän pölyn ja pienhiukkasten pitoisuuksia Oulussa vuosilta 2002-2005. Kuvasta voidaan havaita, että hengitettävälle pölylle tyypilliset pitoisuusvaihtelut puuttuvat lähes kokonaan pienhiukkasilta.



Kuva 2 Hengitettävän pölyn ja pienhiukkasten pitoisuuksia Oulussa vv. 2002-2005. (Ilmanlaatuportaali2 2010)

Suomessa käytössä oleva laitekanta ilmanlaatuportaalin tietojen mukaan on esitetty liitteessä 1 (Salmi 2012). Pienhiukkasten mittauksia tehtiin 23:lla mittaustaikalla vuonna 2009. Suomessa pitoisuudet ovat alle raja-arvon tason (Aarnio 2012).

Kuvassa 3 on esitetty keskimääräinen altistumisindikaattorin arvot eri maissa vuosien 2007-2009 mukaan. Siitä voidaan havaita, että Suomessa altistuminen on vähäisintä. Muilla mailla altistumisen minimitaso ylittyy.

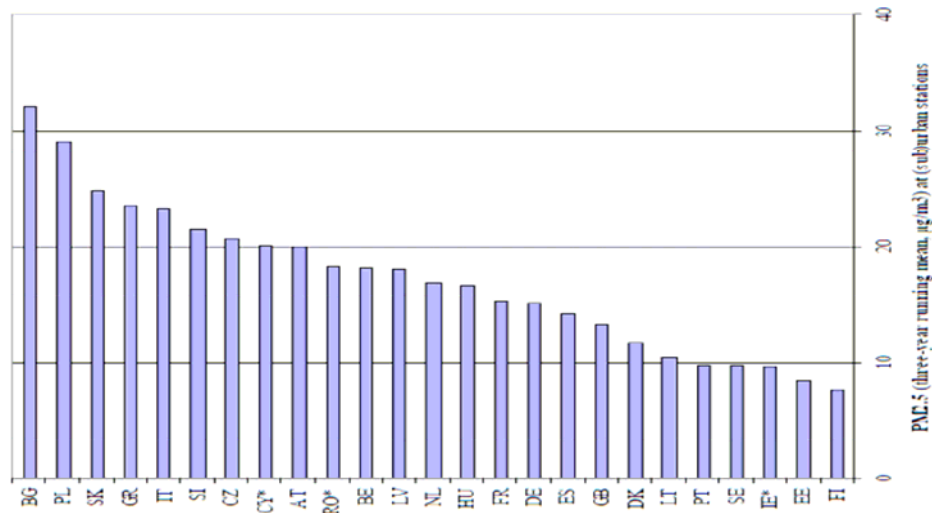


Figure 3.5 Average exposure indicator. Three-year running mean (2007-2009) over all operational (sub)urban background stations. Results for countries marked with an asterisk are based on 2009 data only. .

Kuva 3. Keskimääräinen altistumisindikaattori eri maissa (Aarnio 2012, 8)

2.3 Hiukkaspäästöt

Hiukkaspäästöjä tulee teollisuudesta, liikenteestä, maataloudesta ja asumisesta. Päästöt jakaantuvat suoriin ja sekundaarisiin päästöihin. Suorat päästöt tulevat polttotekniikan seurauksena ja sekundaariset kaasujen sublimoitumisesta hiukkasiksi tai esim. liikenteen ilmavirtojen ilmaan nostattamina. Tässä yhteydessä rajataan liikenteen ilmavirtojen nostattamat hiukkaset pois päästötarkastelusta. Pienkoneista tulee myös päästöjä, mutta niiden merkitys on vielä melko tuntematon ja oletettavasti myös pieni suhteessa muihin päästöihin. Työkoneiden keskimääräiset hiukkaspäästöt

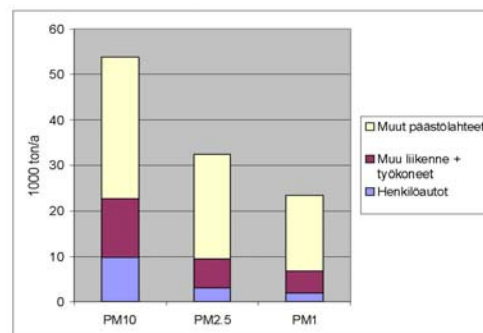
ja energiankulutus tehonkäyttöä kohden Suomessa vuonna 2010 ovat vähäisiä (Lipasto 2011). Liikenteen päästöt tapahtuvat viivamaisesti.

Energiantuotannosta hiukkaspäästöt tulevat piipuista pistemäisestä lähteestä. Yleensä hiukkaset tulevat epätäydellisen palamisen seurauksena ja niitä poistetaan erilaisilla puhdistimilla, kuten sähkösuotimella. Muun teollisuuden päästöjä on sitten hiukkasissakin enemmän. Osassa teollisuuden päästöistä hiukkasissa on mukana myös raskasmetalleja, kuten metalliteollisuudessa ja jätteenpolttolaitoksissa.

Liikenteessä hiukkaspäästöjä tulee käytettyjen moottorien poltosta. Vaikka suorat päästöt ovat murto-osa liikenteen aiheuttaman ilmapinnan nostamasta pölystä, vain sitä tarkastellaan päästötarkasteluissa. Myös liikenteen hiukkaspäästöjä vähennetään erilaisilla puhdistimilla. Kuvassa 4 on esitetty Suomen hiukkaspäästöjen määrää vuonna 2005 ja henkilöautoliikenteen päästöosuutta. Kuvasta voi havaita, että liikenteen suoraksi päästöosuudeksi saadaan alle puolet kokonaispäästöistä kokoluokasta riippuen. Liikenteen päästöosuus pienenee kokoluokan pienentyessä. Hiukkaspäästön massa ei ole ilmanlaadun kannalta oleellisin.

Henkilöautoliikenteen päästöosuus koko Suomen hiukkaspäästöistä 2005

- PM₁₀-hiukkasissa (18%)
- PM_{2.5} ja PM₁-hiukkasissa 8-9%



Kaarle Kupiainen

SYKE

Kuva 4. Hiukkastenpäästöosuudet Suomessa v. 2005 (Kupiainen 2011, 7)

Maataloudessa ja asumisessa hiukkaspäästöjä tulee lähinnä puun poltosta. Puun pienpoltto onkin noussut viimeaikoina esiin yhdeksi pahimmista hiukkaspäästölähteistä. Puun energiakäyttöä lisättäessä tuleekin huomioida myös terveys (Lanki 2010, 14).

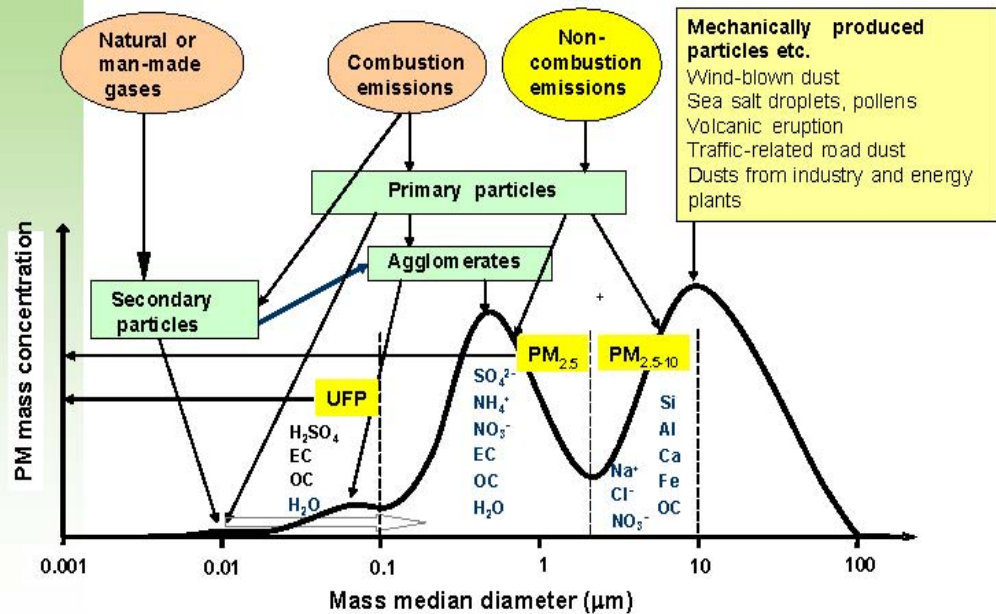
2.4 Hiukkasten terveysvaikutukset

Hiukkaset ovat terveysvaikutukseltaan Suomen merkittävin ilmansaaste. Niiden terveysvaikutusten tarkka aiheuttaja on vielä kuitenkin tutkimuksen alla. Hiukkasten jatkuvatoiminen mittaus on vielä melko uutta, eikä luotettavia tuntitason mittaustuloksia ollut juurikaan saatavilla ennen vuosituhanteen vaihtumista. Hengitettävän pölyn jatkuvatoimiset mittaukset ovat alkaneet 1990-luvun alussa ja pienten hiukkasten mittaukset vasta 2000-luvun puolivälissä. Hiukkasia on mitattu jaotteleamalla ne aerodynaamisen halkaisijan perusteella usein käyttämällä ns. hiukkaskokoleikkuria (PM_{10} ; $PM_{2,5}$). Näin ollen on samalla laitteella jäänyt mittaamatta isommat hiukkaset. Hiukkasien terveysvaikutukseen vaikuttaa moni muukin asia, kuten hiukkasen sisältämä aines, hiukkasen pinta-ala ja hiukkasten muodostumisajankohta.

Hiukkaskoon vaikutusta terveyteen arvioitiin Ilmansuojelupäivillä elokuussa 2010 seuraavasti: ilmanlaadun sääntely ja tutkimus suuntautunut yhä pienempiin hiukkasiin: leijuva pöly (TSP), hengitettävät hiukkaset (PM_{10}), pienhiukkaset ($PM_{2,5}$) sekä ultrapienet hiukkaset. Mitä pienempi hiukkanen, sitä syvemmälle keuhkoissa se voi tunkeutua => suurempi haitta? Ultrapienet hiukkaset voivat ainakin vähäisessä määrin tunkeutua keuhkoista verenkiertoon. Lisäksi suuri lukumäärä ja reaktiivinen pinta-ala (suhteessa massaan) => suuremmat haitat? Teollisten nanohiukkasten mahdolliset haitat ovat nyt huomion kohteena. Edellisellä vuosikymmenellä karkeat hiukkaset on oletettu haitallisiksi lähinnä hengityselimistöille. (Lanki 2010, 3.)

Kuvassa 5 on esitetty hiukkasten eri kokoluokkien koostumista ja muodostumisen lähteitä. Kuvasta voidaan todeta, että eri kokoluokkien lähteet ja aineetkin sekoittuvat osin keskenään. Tällä on varmasti merkitystä myös terveysvaikutuksiin.

Hiukkasten koko ↔ koostumus, lähde



TERVEYDEN JA
HYVINVOINNIN LAITOS

Salonen ja Pennanen, Tekes-FINE 2007

Kuva 5. Hiukkasten koko koostumus ja lähde. (Lanki 2010, 3)

2.4.1 Hengitettävät hiukkaset

Huomiota herättävin osa kaupunki-ilman hengitettävistä hiukkasista on liikenteen nostattamaa katupölyä. Pitoisuudet kohoavat erityisesti maaliskuussa, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat liikenteen nostattamina kuivilta kaduilta. Keväisin hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet ylittävät raja-arvon 50 mikrogrammaa kuutiometrissä ilmaa varsin yleisesti lähes kaikilla mittausasemilla.

Lappeenrannan ilmansuojelupäivillä vuonna 2010 THL:n dosentti Timo Lanki totesi, että karkeat hiukkaset ovat oletettua haitallisempia. Karkeat hiukkaset ovat vähintään yhtä vahvasti yhteydessä keuhkohtaumataudista, astmasta ja yleisesti hengityselinsairauksista johtuviin sairaalaan ottoihin kuin $PM_{2,5}$. Karkeat hiukkaset ovat ilmeisesti yhteydessä myös sydänsairauksiin, niistä on vain niukasti tutkimuksia. Osassa (uusimmissa) tutkimuksissa karkeiden hiukkasten on todettu olevan

yhteydessä myös kuolleisuuteen. Solukokeissa karkeiden hiukkasten on havaittu aiheuttavan tulehdusta vähintään yhtä tehokkaasti kuin pienhiukkasten. (Lanki 2010, 15)

Hengitettävien hiukkasten kulkeutumista sisäilmaan on myös tutkittu. Yhtenä esimerkkinä on terveysvaikutusvaikutustutkimus, joka on tehty Saksassa v. 2007-2008. Siinä todetaan, että PM_{10} -pitoisuudet luokkahuoneissa olivat 5,6 kertaa suurempia kuin ulkoilmassa, mutta aiheuttivat pienemmän vaikutuksen geenien ksenobioottiseen hajoamiseen huolimatta suuremmasta tulehduspotentialista. (Oeder ym. 2010)

2.4.2 Pienhiukkaset

Pienhiukkasia tulee ilmaan polttoaineiden palamisessa, erityisesti puun pienpoltossa. Pienhiukkasiksi muuntuvat myös ilmaan päästetyt rikkidioksidi- ja tyypidioksidikaasut. Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmamassojen mukana jopa tuhansia kilometrejä ja poistuvat ilmakehästä tehokkaasti vasta sateen mukana. Kaukokulkeutuma ilmenee usein samanaikaisina kohonneina pitoisuuksina (episodeina) laajoilla alueilla. Kaukokulkeutuma muodostaakin huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista, mikä tasaa kaupunkien välisiä pitoisuuseroja. (Ilmanlaatuportaali2 2010)

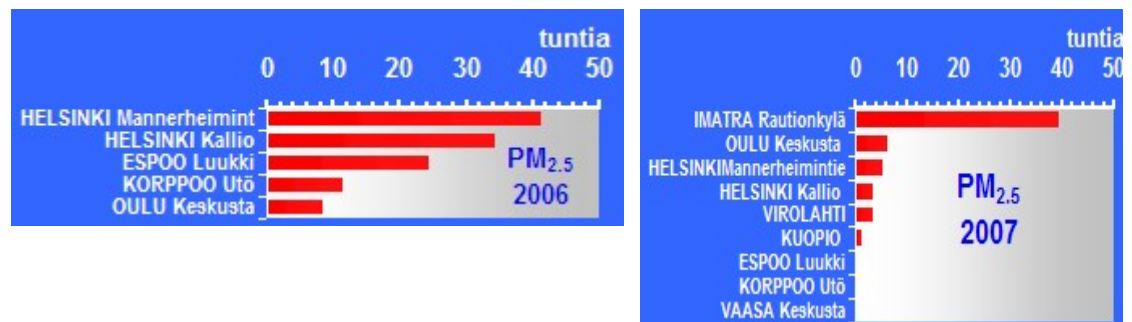
Savussa on terveydelle haitallisia aineita. Normaalioloissa maaperäpöly, merisuola ja kaukokulkeutuneet sekundaariset hiukkaset (sulfaatti, nitraatti ja ammonium) muodostavat valtaosan taustailman PM_{10} -hiukkasista. Poikkeuksellisesti elokuussa 2006 Virolahdella näiden osuus hiukkasten kokonaismassasta oli vähäinen, pienimmillään vain 10 % kokonaismassasta. Suuret orgaanisen aineksen päästöt ovat tyypillisiä metsä- ja maastopaloille, joten on todennäköistä, että valtaosa Virolahden kohonneesta hiukkaspitoisuudesta oli erilaisia orgaanisia yhdisteitä. Hyvissä olosuhteissa kuiva puu palaa puhtaasti, mutta metsä- ja maastopaloissa tilanne ei suinkaan ole paras mahdollinen. Metsäpalojen savukaasu voi sisältää satoja ei-toivottuja kemiallisia yhdisteitä. Puun epätäydelliselle palamiselle tyypillisiä yhdisteitä ovat polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli niin sanotut PAH-yhdisteet. PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisiä ja lisäävät erityisesti keuhkosityöpään

sairastumisen riskiä. Metsäpalojen aikaan Virolahden PM_{10} -hiukkasissa oli kohonneita PAH-pitoisuuksia. (Anttila 2008.)

Terveydelle vaarallisuutta arvioitiin Lappeenrannan ilmansuojelupäivillä elokuussa 2010 otsikolla ”Elinympäristön terveysriskit”. Siellä pienhiukkasten kerrottiin aiheuttavan ennenaikaisia kuolleisuustapauksia Suomessa vuosittain 1800 kpl. (Hänninen ym. 2010, 13)

Pienhiukkasten terveysvaikutuksia on arvioitu myös Tampereella tehdyssä tutkimuksessa. Sen mukaan tulokset vahvistavat aiempien epidemiologisten tutkimusten tuloksia siitä, että myös Tampereen verrattain matalilla pienhiukkaspitoisuuksilla voi olla terveysvaikutuksia. Pienhiukkasten lukumääräpitoisuudella oli tutkimuksessa mukana olleista tekijöistä vahvin tilastollinen yhteys sekä hengityselin- että sydänoireiden lisääntymiseen. (Hilli-Lukkarinen 2009, 41)

Kuvassa 6 on esitetty yli $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n pitoisuuksien ylitysten lukumäärät Suomessa vuosina 2006 ja 2007. Kuvasta voidaan havaita, että mittauspisteitä on vähän ja korkeat pitoisuudet ovat harvinaisia.



Kuva 6. Pienhiukkasten, $PM_{2,5}$, heikentämä ilmalaatu. Ilmanlaatu luokitellaan huonoksi, kun $PM_{2,5}$ -tuntipitoisuus ylittää $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (Anttila ym. 2008)

Pienhiukkasten ilmastonmuutoksen kautta vaikuttavuutta kuolleisuuteen vuonna 2050 on arvioitu USA:ssa v. 2010. Vaikuttavuus tulee ilmaston lämpenemisen nostamista VOC-päästöistä ja sen vaikuttamisesta PM_{2,5}-hiukkasten laatuun. Ennenaikaisen kuolleisuuden arvioidaan lisääntyvän USA:ssa yli 4000 tapauksella vuodessa vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 2001. (Tagaris ym. 2010)

2.5 Hiukkasten ohje- ja raja-arvot

Valtioneuvosto on antanut päätöksissään 480/96; 711/01 ja 38/2011 ilmanlaatua koskevat ohje-, raja- ja kynnsarvot, jotka astuivat voimaan 1.9.1996, 9.8.2001, 4.9.2003 sekä 25.1.2011. Ohjearvoilla pyritään ehkäisemään ensisijaisesti ilman epäpuhtauksien aiheuttamia terveyshaittoja, mutta myös luonnon vaurioitumista ja viihtyvyyshaittoja. Ohjearvot on tarkoitettu ensisijaisesti ohjeeksi viranomaisille. Niitä sovelletaan mm. kaavoituksessa, muussa rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa sekä ympäristölupien käsittelyssä. Taulukossa 1 esitetään hengitettävän pölyn ohjearvo.

Taulukko 1. Ilmanlaadun hengitettävän pölyn ohjearvoja (Vnp 480/96)

Epäpuhtaus	Ohjearvo	Tilastollinen määrittely (20°C, 1atm)	Peruste
Hengitettävät hiukkaset(PM ₁₀)	70 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo	Terveyshaittojen ehkäiseminen

Raja-arvot määrittelevät ne ilman epäpuhtauksien ehdottomat enimmäispitoisuudet, joiden ylittäminen velvoittaa viranomaiset toimenpiteisiin ilman laadun parantamiseksi. Ilmansuojelusta vastaavien viranomaisten tulee käytettävissään olevin keinoin ehkäistä raja-arvojen ylittyminen. Raja-arvoja on esitetty taulukossa 2. Tammikuussa 2011 asetus 711/01 korvattiin uudella asetuksella 38/2011. Uudessa asetuksessa tuli raja-arvo myös PM_{2,5}:lle. Samassa yhteydessä päätettiin 9§:ssä kansallinen altistumisen pitoisuuskatto ja altistumisen vähennystavoite pienhiukkasille.

Alustavan tiedon HSY:n alueella tehdyn uuden, vielä julkaisemattoman tutkimuksen vuosilta 2009-2011 mukaan altistumisen taso Suomessa jää juuri alle $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joten vähennystavoitetta ei ole. (Aarnio 2012)

Taulukko 2. Ilmanlaadun raja-arvoja terveyshaittojen ehkäisemiseksi (Vnp 711/01 korvattu Vnp 38/11) (pitoisuudet laskettu vallitsevaan lämpötilaan ja ilmanpaineeseen)

Epäpuhtaus	Raja-arvo	Tilastollinen määrittely
Hiukkaset (PM ₁₀)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	vuorokausiarvo; sallittu 35 ylitystä/a vuosikeskiarvo
Hiukkaset (PM _{2,5})	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	vuosikeskiarvo

Taulukossa 3 on esitetty ylempät ja alemmat arviointikynnykset hiukkasille. Arviointikynnykset muuttuivat hieman edellisestä vuoden 2001 asetuksesta.

Taulukko 3. Hengitettävien- ja pienhiukkasten ylempät ja alemmat arviointikynnykset (Vnp 38/11) (pitoisuudet laskettu vallitsevaan lämpötilaan ja ilmanpaineeseen)

Määrite	Terveyshaittojen ehkäiseminen Hiukkaset (PM ₁₀)	Terveyshaittojen ehkäiseminen Hiukkaset (PM _{2,5})
Ylempi arviointikynnys	70% 24-tunnin raja-arvosta 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (saa ylittyä 35 kertaa vuodessa) ja 70% vuosiraja-arvosta (28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70% vuosiraja-arvosta (17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Alempi arviointikynnys	50% 24-tunnin raja-arvosta 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (saa ylittyä 35 kertaa vuodessa) ja 50% vuosiraja-arvosta (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50% vuosiraja-arvosta (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

3 HIUKKASTEN MITTAUSMENETELMIÄ

Hiukkasten määrä voidaan ilmoittaa massan tai lukumäärän (joskus myös pinta-alan) avulla tilavuusyksikössä. (hiukkasfoorumi v. 2012) Hiukkasten viranomaismittauksissa on päädytty määrittämään massapitoisuutta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Tämä vaikeuttaa hiukan mittauksia, sillä jatkuvatoimisista mittausmenetelmistä ei mikään mittaa suoraa massaa. Mittauksissa ei myöskään haluta mitata vesipisaroita hiukkasina, joten näyte usein lämmitetään ennen mittausta. Tämä taas saattaa poistaa näytteestä helposti haihtuvia hiukkasia, kuten ammoniumnitraatti. (EPA 1998, 2-7)

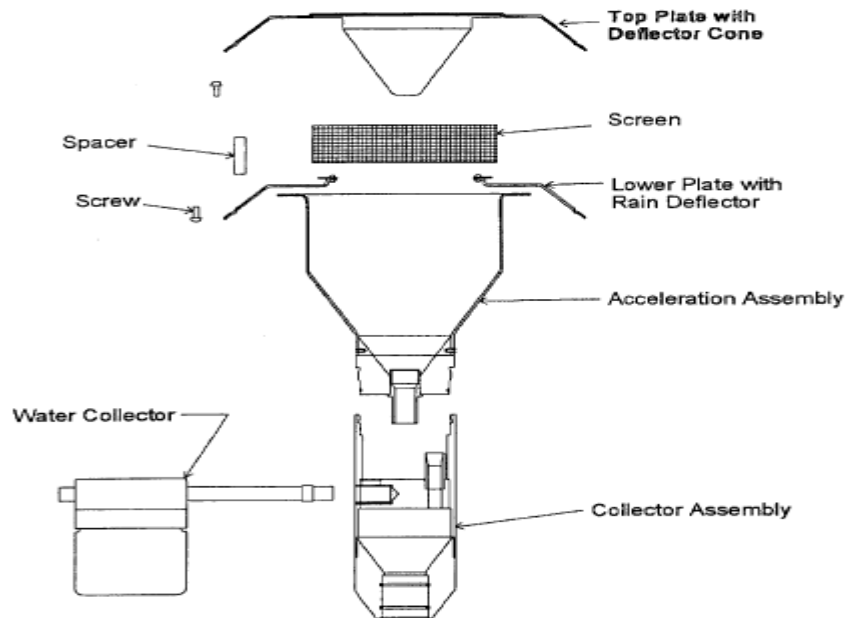
Hiukkasten mittausta on jatkuvatoimisesti suoritettu Suomessa 1980-luvulta lähtien. Sitä ennen mittaukset olivat keräintyyppisiä (ns. tehokeräysmenetelmä), jolloin kerättiin hiukkasia pölynimurin moottorilla vuorokauden ajan suodattimelle, jotka vakioitiin ja punnittiin ennen ja jälkeen keräyksen. Tunnetun virtausmittauksen avulla voitiin laskea tälle ”leijuvalla pölyllä” pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Leijuvalla pölyllä oli annettu Valtioneuvoston ohjeavot, joiden mukaan mittaustuloksia arvioitiin. Keräimillä oli mahdollista mitata myös hengitettävää pölyä tai pienhiukkasia vaihtamalla keräyskotelon päälle sisäänottoon haluttua hiukkaskokoa vastaava esierotin.

Ensimmäiset jatkuvatoimiset mittarit normaalissa ilmanlaadunseurannassa olivat betasäteilyyn perustuvia hiukkasmittareita. Massan aiheuttaman taajuuden muutokseen perustuvat TEOM mittaukset alkoivat 1980-luvun lopulla ja tulivat yleisimmäksi mittausmenetelmäksi Suomessa 1990-luvulla. Optisia mittauksia (menetelmänä valon sironta) on tullut viimeaikoina mukaan mittauksiin haluttujen mitattavien hiukkaskokojen pientyessä. Myös eri mittausmenetelmien yhdistelmiä (beta-säteilyn ja optisen yhdistelmä) on tullut käyttöön 2010-luvulla.

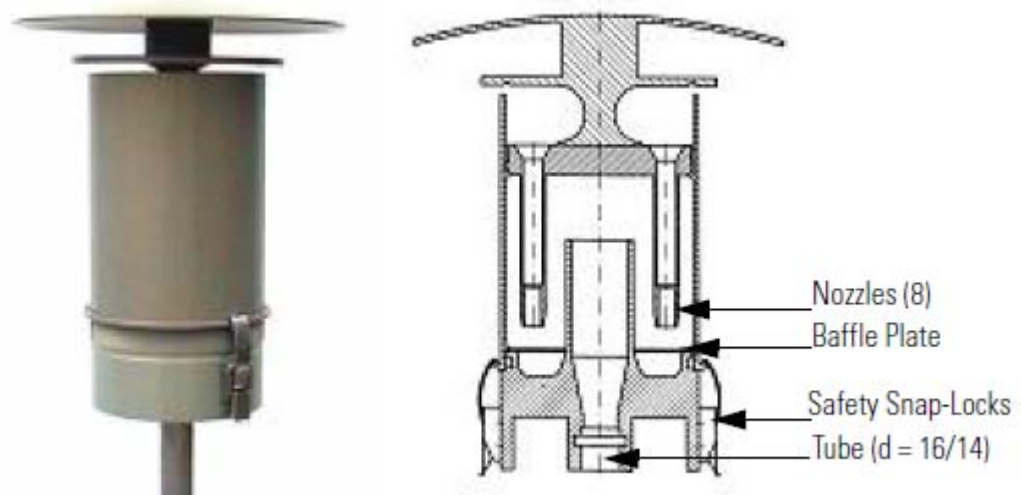
3.1 Mittalaitteiden hengitettävän pölyn esierottimet

Hiukkaslaitteiden esierottimina on käytössä kahta erilaista laitetta, joista toinen on amerikkalainen (kuva 7) ja toinen eurooppalainen (kuva 8). Näillä molemmilla on useita toisistaan hieman poikkeavia versioita. Karkeampien hiukkasten erotus tapahtuu hitausvoimien avulla. Erottimissa vakioidaan näytteen virtausnopeus ulkolämpötilan mukaan. Jyrkissä 90 asteen mutkissa poistuvat painavammat raskaat

hiukkaset näytevirrasta. Poistuvia hiukkasia varten on varattu tilaa esierottimen sisällä. Kerääntyneet raskaammat hiukkaset tulee poistaa aina ajoittain, vähintään 3 kk:n välein. Optisissa valonsirontaan perustuvissa laitteissa ei varsinaista esierotinta tarvita.



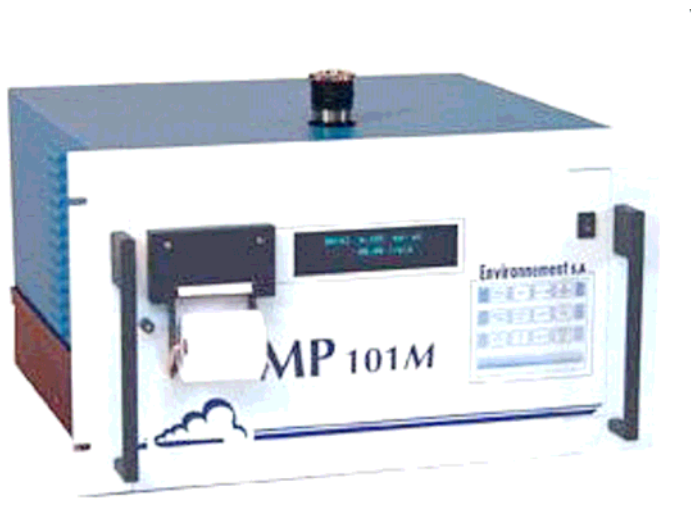
Kuva 7. Hengitettävän pölyn PM_{10} -esierotin USEPA PM_{10} inlet, (Teom)



Kuva 8. Hengitettävän pölyn PM_{10} -esierotin European PM_{10} inlet tai European $PM_{2,5}$ - inlet (FH 62 I-R)

3.2 Betasäteilyyn perustuva mittaus

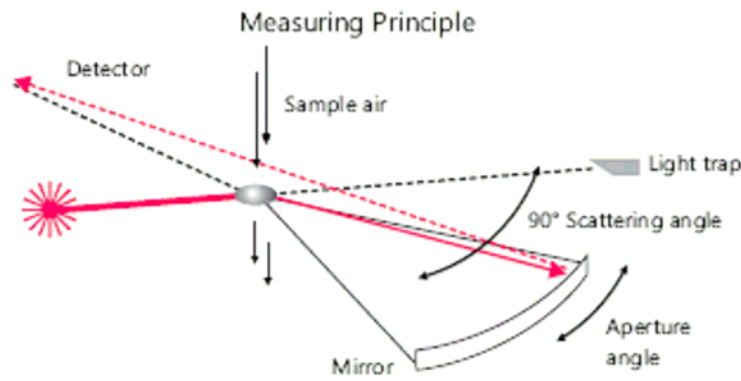
Mittauksessa hiukkanäyte kerätään suodatinrullalle, joka on säteilytetty ja mitattu ennen ja jälkeen mittaussyklin (yleensä 1 h tai 24 h). Näytevirtaus säädetään keräyspäässä 1 m³/h. Näistä tuloksista lasketaan säteilyn vaimenemisen mukaan hiukkaspitoisuus (µg/m³). Nykyinen betasäteilyyn perustuva mittaus tapahtuu yleensä mittaussuotimen jatkuvalla säteilyttämisellä ja –mittaamisella. Näin saadaan hieman nopeampi vaste mittaukselle, merkkinä esimerkiksi ESM FH 62 I-R ja kuvan 9 Environnement MP101.



Kuva 9. *Environnement MP101* Hiukkasten Beta-säteilyn mittaukseen perustuva laite (Walden ym. 2010)

3.3 Optinen valon sirontaan perustuva mittaus

Osueessaan hiukkaseen näkyvä valo joko siroaa tai absorboituu. Mitattauksessa näyte kulkee kyvetissä, jonka läpi menee valosäde ja sironnut valo mitataan spektrometrillä. Kuvassa 10 on Grimm:n EDM 180-laitteen periaatekuva. Grimm takaa havaitsevansa ja mittaavansa kaikki partikkelit näytteestä. (Grimm 2011) Suurin ongelma optisissa mittauksissa onkin löytää oikea massa erilaisille hiukkasille.



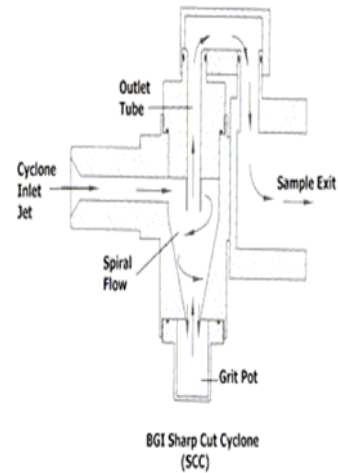
Kuva 10. GRIMM EDM 180 Hiukkasten optinen mittausperiaate (GRIMM 2011)

3.4 Värähtelyn muutokseen perustuva mittaus (TEOM)

Analysaattorin toiminta perustuu värähtelevään onttoon sauvaan, jonka läpi kulkee näytevirtaus. Näytevirtaus erotetaan ohivirtauksesta esierottimen jälkeen isokineettisesti. Sauvan päässä on keräyssuodatin ja sauvan värähtelytaajuuden muutos on verrannollinen suodattimen massan muutokseen ja näin ollen suodattimelle kerääntyneen pölyn määrään. Laite säätää suodattimen läpi virtaavaa ilmamäärää laskien värähtelytaajuuden ja virtauksen avulla ilman pölypitoisuuden. Näyte lämmitetään + 50 °C:een ennen mittausta. Kuvassa 11 on esitetty TEOM 1400 a laitteisto.

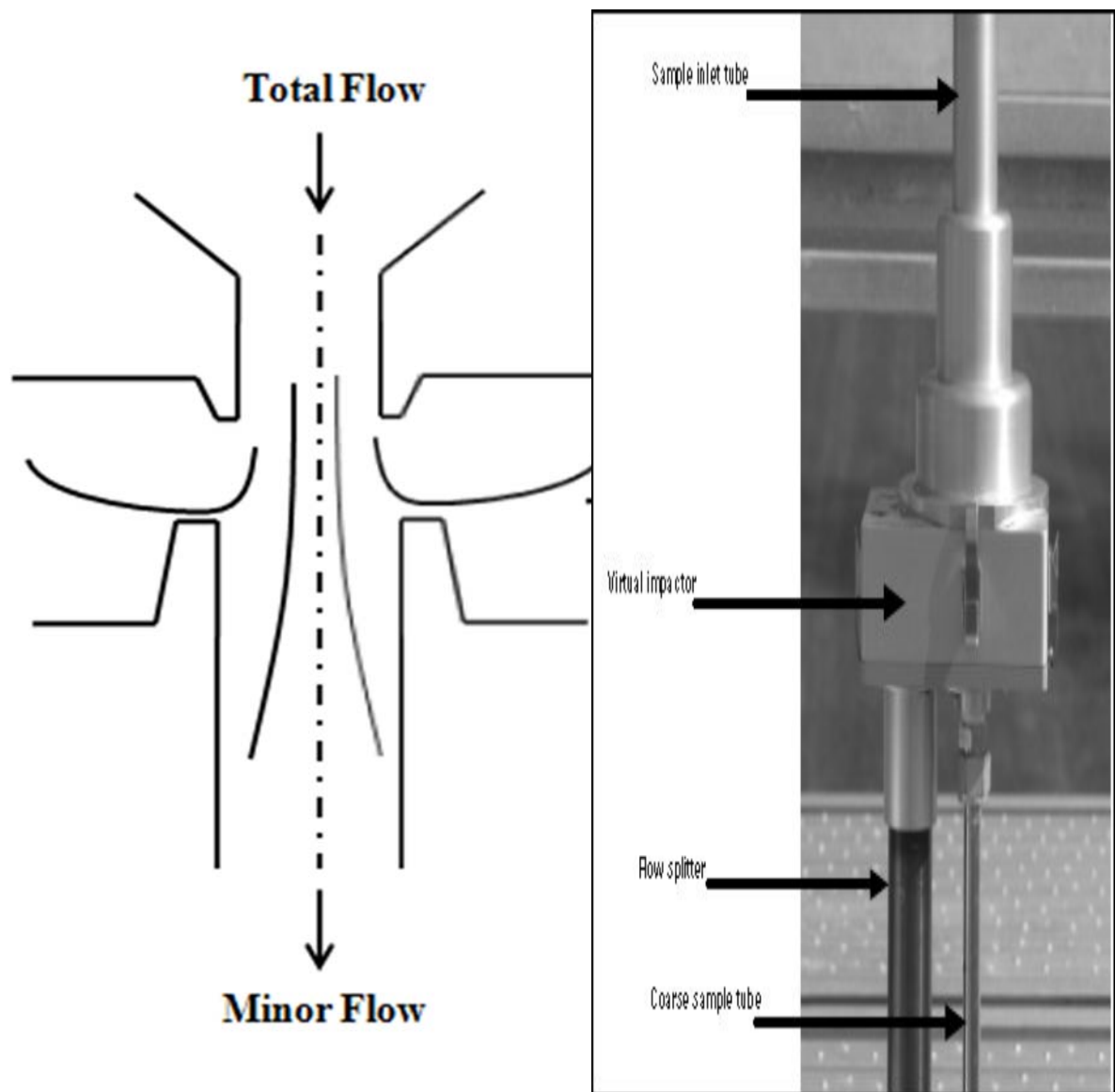


Kuva 11. TEOM 1400 a Hiukkasten värähtelytaajuuden muutoksen mittaukseen perustuva laite (TEOM:n myyntiesite)



Kuva 12. TEOM 1400 a PM_{10} -esierotin, jonka alaosassa on $PM_{2,5}$ -esierotin (TEOM:n myyntiesite). Oikealla puolella on $PM_{2,5}$ -esierottimen virtauskaavio (Edwards ym. 2009)

Kuvassa 13 on vasemmalla esitetty virtuaali-impaktorin virtauskaavio ja oikealla puolella on kuva laitteesta. Virtuaali-impaktorissa näytevirtaus jaetaan siten, että virtaus menee suoraan ja toiselta osalta käännetään sivuun. Virtauksen taipuessa vain pienemmät hiukkaset pystyvät kulkemaan mukana hitausvoimien takia. Suoraan menevässä osassa on mukana ns. karkeat hiukkaset 2,5 - 10 μm ja taipuneessa osassa on alle 2,5 μm :n hiukkaset. Alle 2,5 μm :n virtausmäärä on 3 l/min ja 2,5 - 10 μm :n virtausmäärä on 1,67 l/min.



Kuva 13. TEOM 1405:n virtuaali-impaktori ja sen periaate (Acosta ym. 2010).

4.1 Tiedonkeruu

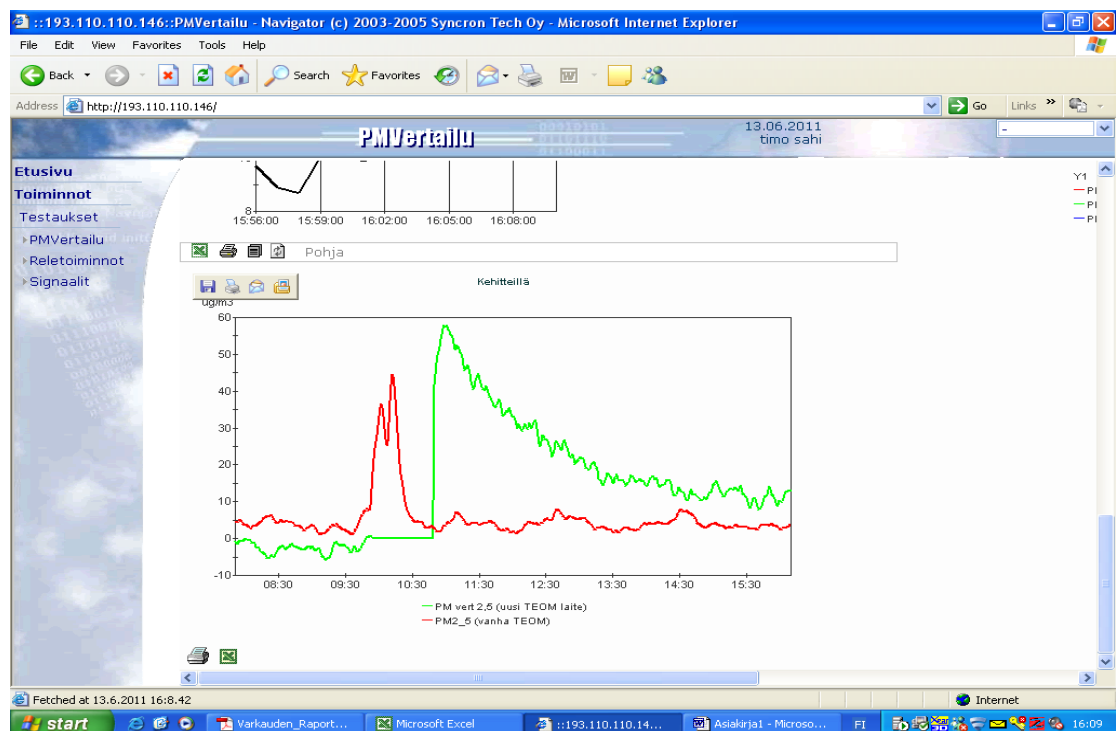
Tiedonkeruu tapahtui mittauskopilla olevalla tietokoneella sitä varten erikseen suunnitellulla Synchron Tech Oy:n testiohjelmalla. Siinä tiedot kerättiin RS232-portista 5 sekunnin välein, muodostaen yhden minuutin arvoja. Näistä arvoista tietokannassa laskettiin tuntikeskiarvot jotka molemmat tallennettiin tietokantaan. Tulosten käsittelyssä käytettiin tuntiarvoja sekä niistä excel2007-ohjelmalla laskettuja vuorokausiarvoja. Tiedonkeruussa eroja mittauksiin tuli TEOM 1405:n toisista poikkeavasta aikavakiosta. Sen laitteen hetkellisarvo muodostui 60 minuutin mittauksen keskiarvosta. Toisissa TEOM:ssa vastaava aikavakio oli 10 min.

Uusi TEOM 1405 saatiin muutettua samaan 10 minuutin aikavakioon vuoden 2011 keväällä samalla kun vaakayksikön suodinosan kiinnitys uudistettiin ja paineanturi korjattiin. Joulukuussa 2010 eristettiin virtuaali-impaktorin erotuskohta ulkopuolelta. Mittauksia tehtiin siten kolme erilaista jaksoa.

4.2 Tulosten käsittely

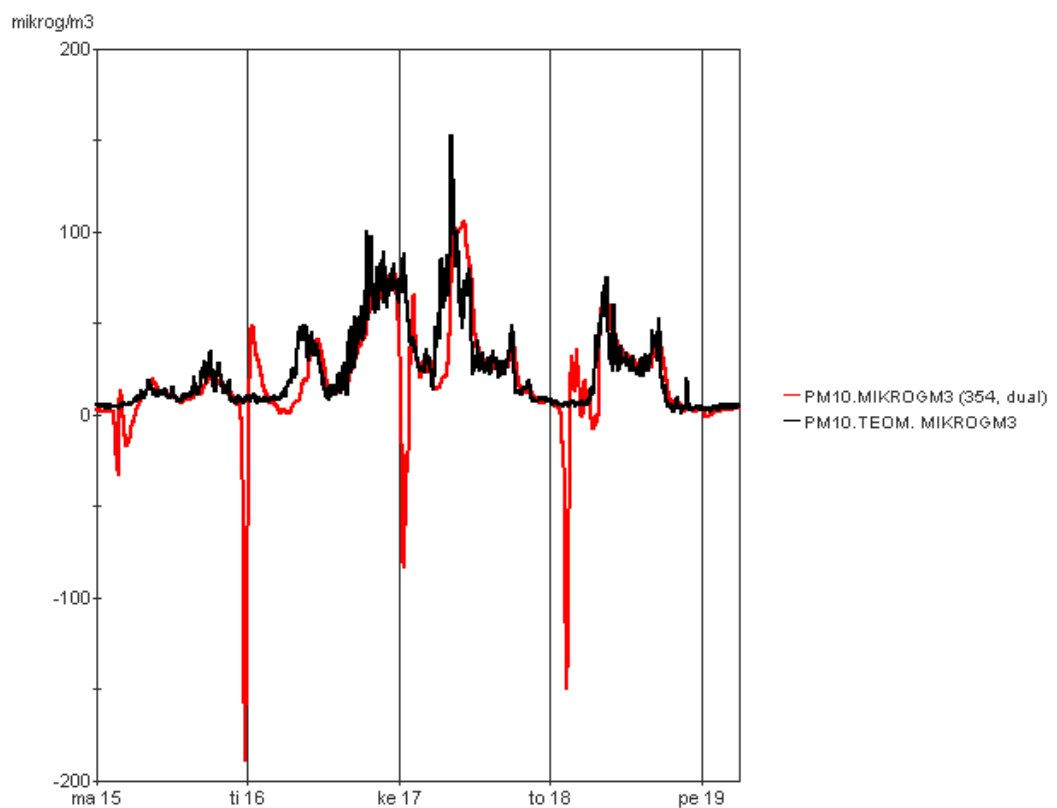
Eri laitteilla oli pitoisuuslaskenta asetettu erilaisiin olosuhteisiin. Ennen tulosten käsittelyä kaikki tulokset muutettiin vallitseviin olosuhteisiin ja korjauskertoimina käytettiin TEOM:eissa vakiona olevia laskentoja, joissa tuloksiin lisättiin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja se kerrottiin kertoimella 1,03.

Mitatuista tuloksista poistettiin erilaiset käyttöhäiriöt ennen tulosten laskentaa. Häiriöt olivat pääasiassa huoltoihin liittyviä (erilaisten suotimien vaihto, esierottimen puhdistus, virtaustarkistus sekä K0-vaakavakion määrittäminen). Laitteille tehtiin esierottimien puhdistus n. 3 kk:n välein ja virtaus ja K0-vaakavakion tarkistus kahdesti vuodessa. Suotimen vaihdon aiheuttamat piikit näkyvät kuvasta 14. Mittausaineistoa jouduttiin hylkäämään myös PM_{2,5}-vertailulaitteen vuodon takia toukokuussa 2011.



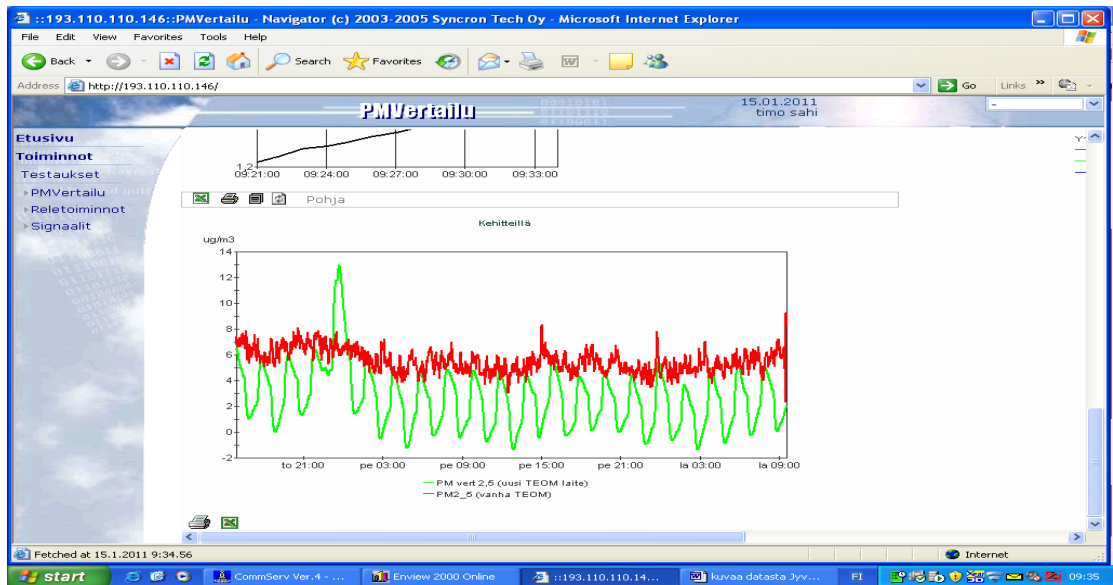
Kuva 14. Suotimen vaihdon näkyvyys kopilla 13.06.2011 (otettu mittausohjelmasta)

Tutkittavana olleessa laitteessa havaittiin mittausten aikana vika, ns. lumettuminen. Vika ilmeni kosteissa, kylmissä olosuhteissa, kun yleinen ilmanala oli pakastuva. Tällöin ilman hetkellisesti lämmitessä, kylmän virtuaali-impaktorin pinnalla ylittyi kastepiste, joka sai aikaan häiriön mittauksiin useiden tuntien ajaksi. Tuloksia on käsitelty vian kanssa ja ilman vikaa. Vian vaikutus tuloksiin on esitetty kuvassa 15. Lumettumista pyrittiin ehkäisemään eristämällä joulukuussa 2010 virtuaali-impaktorin alumiinipinta suojalaatikolla. Vaikka laitetta ei varsinaisesti lämmitetty, saattaa muutos vaikuttaa inertiaan perustuvaan hiukkaskokoon eri jaoksissa. Tämän takia aloitettiin uusi mittaustulosten käsittelyjakso.



Kuva 15. Virtuaali-impaktorin ”lumettumisesta” johtuva häiriö kopilla 15-19.03.2010 (otettu mittaushjelmasta)

Tutkittavan laitteen painemittaukseen tuli vika, joka alkoi jo kesäkuussa 2010, mutta alkoi vaikuttaa mittaustuloksiin loppuvuodesta 2010. Vian vaikutus mittaustuloksiin on esitetty kuvassa 16. Vian ollessa pahimmillaan tulokset hylättiin.



Kuva 16. Paineanturista johtuva häiriö kopilla 14-15.01.2011 (otettu mittausohjelmasta)

5 MITTAUSTULOSTEN LASKENTA JA KÄSITTELY

Tehdyssä vertailussa saatiin tunti ja vuorokausiarvoja kolmelta eri laitteelta vuosina 2010 - 2011. Tulosten laskennassa pyrittiin hyödyntämään SFS:n standardia SFS-EN 12341 ja SFS-EN 14907 sekä CEN raporttia CR 14377 määreitä. Tulosten tulkinnassa huomioitiin, että vertailulaitteena on gravimetrinen vertailumenetelmän sijaan TEOM 1400a laitteet. Tuloksia tarkasteltiin em. standardien vrk-arvoista poiketen myös tuntitasolla. Hyväksytyissä arvoissa oli vähintään 75 % aineistoa, kuten jatkuvien mittauksien laskennassa on yleensä. Mittauksissa ei ollut käytössä rinnakkaislaitteita. Laitteet toimivat samassa mittauskopissa, joten olosuhteista ei tullut mittauksiin lisää epävarmuutta. Säättietoja ei lämpötilaa lukuun ottamatta ole huomioitu vertailussa.

Mittausaineistosta kolmannen testijakson aineistoa jaoteltiin soveltuvin osin talvidataan (pakkas-) ja kesädataan (lämpimän ajan-) ja lisäksi vertailua tehtiin PM_{2,5}:lla ja PM₁₀:llä kaikilla vrk-arvoilla. Pitoisuusarvoja yli 18 µg/m³ (PM_{2,5}) / tai yli 30 µg/m³ (PM₁₀) oli liian vähän. Testimenetelmien mukaan aineistossa pitäisi olla vähintään 20 % em. lukuarvon mukaisia pitoisuuksia (huom. vrk-arvo). Tuloksista laskettiin korrelaatiot ja regressioanalyysi (pienimmän neliösumman menetelmä). Viimeisestä jaksosta tehtiin tarkastelut myös tuntiarvoista erikseen.

6 TESTIMITTAUSTEN ERI JAKSOT

Jyväskylässä kaikki testihiukkasmittaukset tehtiin Lyseon pihassa olevassa kopissa. Kuvassa 17 voi nähdä kopin katolla olevat esierottimet. Oikealla oleva esierotin kuului normaalimittauksessa olevalle PM₁₀-laitteistolle. Keskimmäinen oli testattava TEOM 1405-laitteisto, jossa mitattiin kumpaakin fraktiota ja vasemmalla oli PM_{2,5}-laitteisto.



Kuva 17. Mittauskoppi Jyväskylän Lyseon pihalla testijakson aikana vuosina 2010-2011.

Mittausjaksoja oli kaikkiaan kolme. Ensimmäinen mittausjakso oli helmikuusta joulukuuhun 2010. Tällöin mitattiin tutkittavan laitteen alkuperäisillä toimitusasetuksilla. Toinen jakso alkoi joulukuun 10. päivä 2010 ja jatkui helmikuun loppuun 2011. Joulukuussa tehtiin virtuaali-impaktorin lämpöeristys. Viimeinen jakso kesti maaliskuusta vuoden 2011 loppuun asti. Välillä 18.08 - 08.11 verrattiin vanhoja PM₁₀-laitteita toisiinsa, jonka ajan PM_{2,5}-vertailu oli keskeytyksissä. Viimeiseen kolmanteen jaksoon muutettiin verrattavan laitteen aikavakio ja vaakayksikkö samanlaisiksi kuin vanhoissa laitteissa.

6.1 Ensimmäinen vertailumittausjakso

Ensimmäinen mittausjakso tapahtui 12.2.2010-8.12.2010. Mittausjakson aikana havaittiin heti virtuaali-impaktorin aiheuttama häiriö mittaustuloksissa. Tämä aiheutti koejärjestelyihin lisäjaksuja tehtyjen muutostöiden takia.

Mittauksissa oli ensimmäisen jakson aikana käynnistysongelmia ohjelman ja toisen vertailulaitteen (PM_{2,5:n}) toiminnan kanssa. Ongelmat liittyivät tiedonkeruuseen, jota ei heti saatu toimimaan ko. laitteessa.

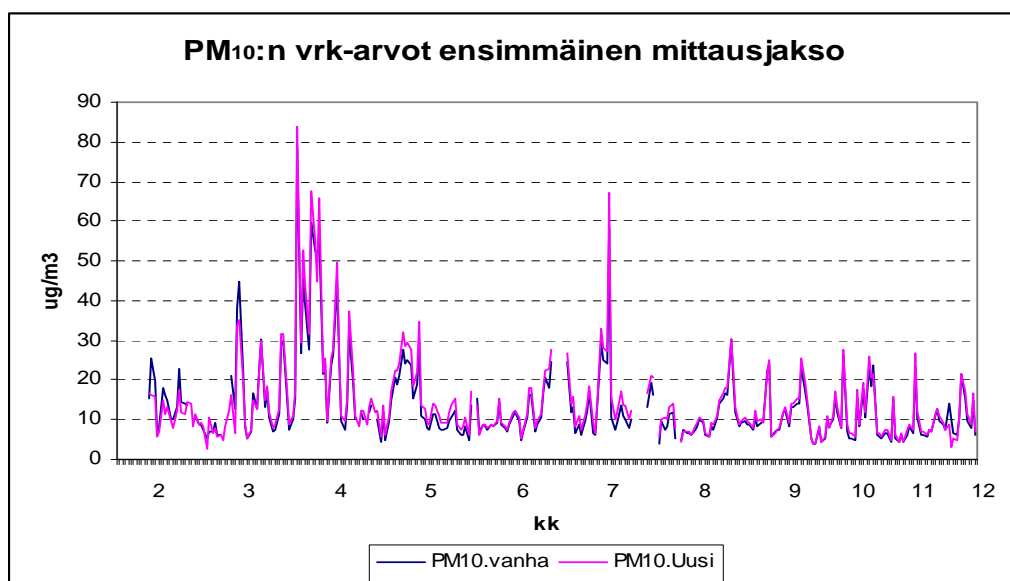
Tuntiaineistosta laskettiin vrk-arvot, joissa tarvitsi olla 75% (18h) tuntiarvoista, jotta ne hyväksyttiin käsiteltäviksi. Vuorokausiarvoista laskettiin regressiot excelin analyysityökalulla 95%:n luottamusvälillä sellaisille arvoille, joissa oli mukana lumettumis-häiriö ja sellaisille, joista häiriön aiheuttamat arvot olivat poistettu.

6.1.1 Hengitettävän pölyn analyysit (1. jakso)

Ensimmäinen jakso hengitettävänpölyn mittauksissa sujui vertailulaitteen osalta hyvin.

Kuvassa 18 on esitetty hengitettävän pölyn vuorokausiarvot mittausjakson ajalta.

Kuvasta voidaan havaita, että mittausaineistot vastaavat varsin hyvin toisiaan.



Kuva 18. Jyväskylän PM₁₀-hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvot vuonna 2010.

Ensimmäisen jakson hengitettävän pölyn vuorokausiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat lumettumishäiriön kanssa 0.997168957 ja häiriö poistettuna 0.998224967. Pitoisuudet jakson aikana olivat melko pieniä ja yli 30 µg/m³:n vrk-pitoisuuksia oli vain 4,3 % aineistosta.

Taulukosta 4 voidaan havaita että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille häiriön kanssa antoi selitysasteeksi $R^2=0.962075$, joka on erittäin merkitsevä: vakioksi tuli 0,3 µg/m³, muuttujaksi 1,05 ja keskivirheeksi 2,1 %. Tämä tarkoittaa sitä, että 96,2 % uuden laitteen mittaamasta aineistosta selittyy vanhan laitteen mittauksilla em. vakiolla ja kertoimella.

Taulukko 4 Regressioanalyysi häiriöllä Jyväskylän PM₁₀-hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista.

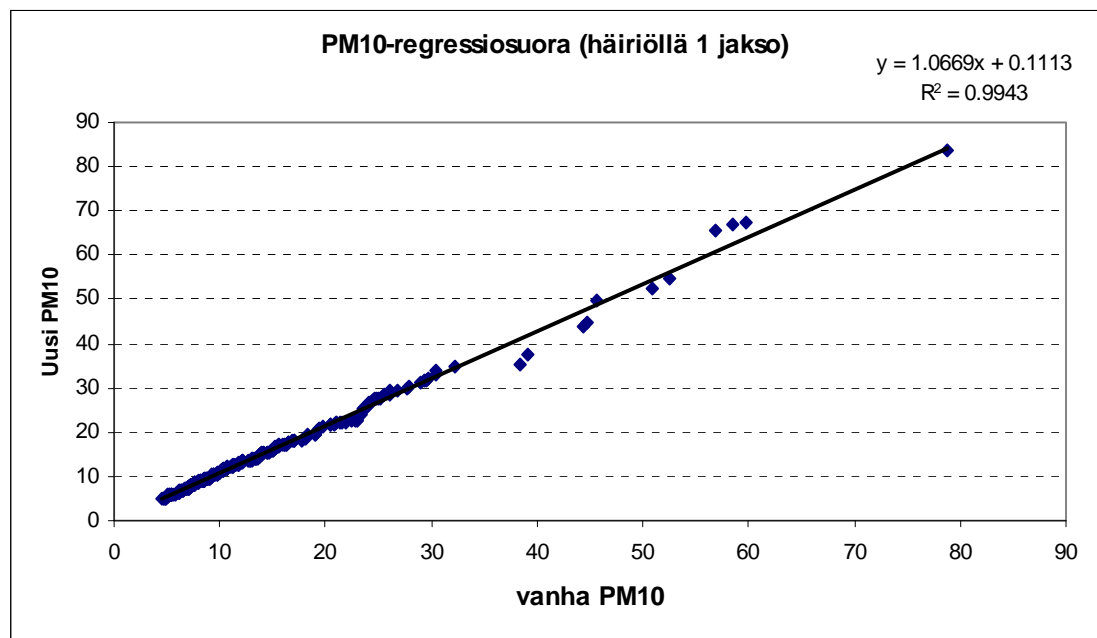
YHTEENVETO TULOSTUS		PM10 Regressio häiriöllä 95%-luottamusvälillä 2201009122010						
<i>Regressiotunnusluvut</i>								
Kerroin R	0.9808542							
Korrelaatiokerr	0.962075							
Tarkistettu kon	0.9619396							
Keskivirhe	2.1285438							
Havainnot	282							
ANOVA								
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>			
Regressio	1	32181.558	32181.5581	7103.00144	5.4428E-201			
Jäännös	280	1268.5956	4.530698518					
Yhteensä	281	33450.154						
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspiste	0.3165351	0.211545	1.496301714	0.135701347	-0.099885658	0.73295583	-0.099885658	0.73295583
Muuttuja X 1	1.0507722	0.0124677	84.27930612	5.4428E-201	1.026229813	1.07531464	1.026229813	1.07531464

Taulukosta 5 voidaan havaita, että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille ilman häiriötä antoi selitysasteeksi $R^2=0.981394$. Luku on erittäin merkitsevä: vakioarvoksi tuli 0,2 µg/m³, muuttujaksi 1,08 ja keskivirheeksi tuli 1,5 %.

Taulukko 5 Regressioanalyysi ilman häiriötä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista.

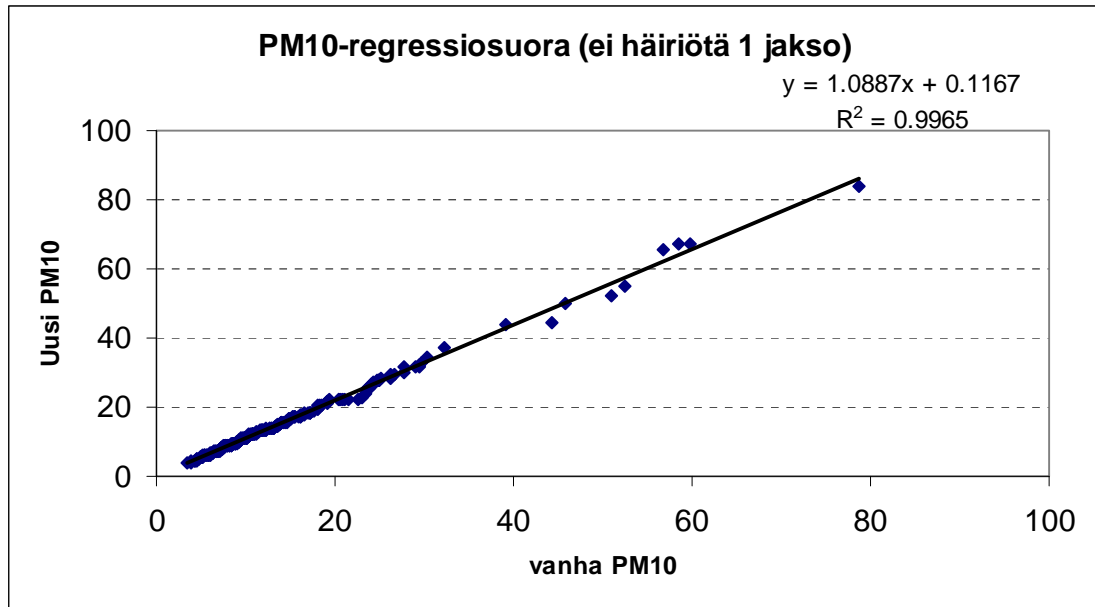
YHTEENVETO TULOSTUS		PM10 Regressio ilman häiriötä 95%-luottamusväillä 2201009122010						
<i>Regressiotunnusluvut</i>								
Keroin R	0.990653							
Korrelaatio	0.981394							
Tarkistettu	0.981326							
Keskivirhe	1.48213							
Havainnot	274							
ANOVA								
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KV</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>			
Regressio	1	31516.35	31516.35	14347.07	2.3E-237			
Jäännös	272	597.5051	2.19671					
Yhteensä	273	32113.85						
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>Tunnuslvt.</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspi	0.226008	0.149261	1.51418	0.131141	-0.067846	0.519862	-0.067846	0.519862
Muuttuja X	1.080439	0.00902	119.7793	2.3E-237	1.06268	1.098197	1.06268	1.098197

Kuvassa 19 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista häiriön kanssa. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista on pieniä pitoisuuksia, mutta että myös isommat pitoisuudet pysyvät hyvin suoralla.



Kuva 19. Regressiosuora häiriöllä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista.

Kuvassa 20 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista ilman häiriötä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista on pieniä pitoisuuksia, mutta myös isommat pitoisuudet pysyvät hyvin suoralla.

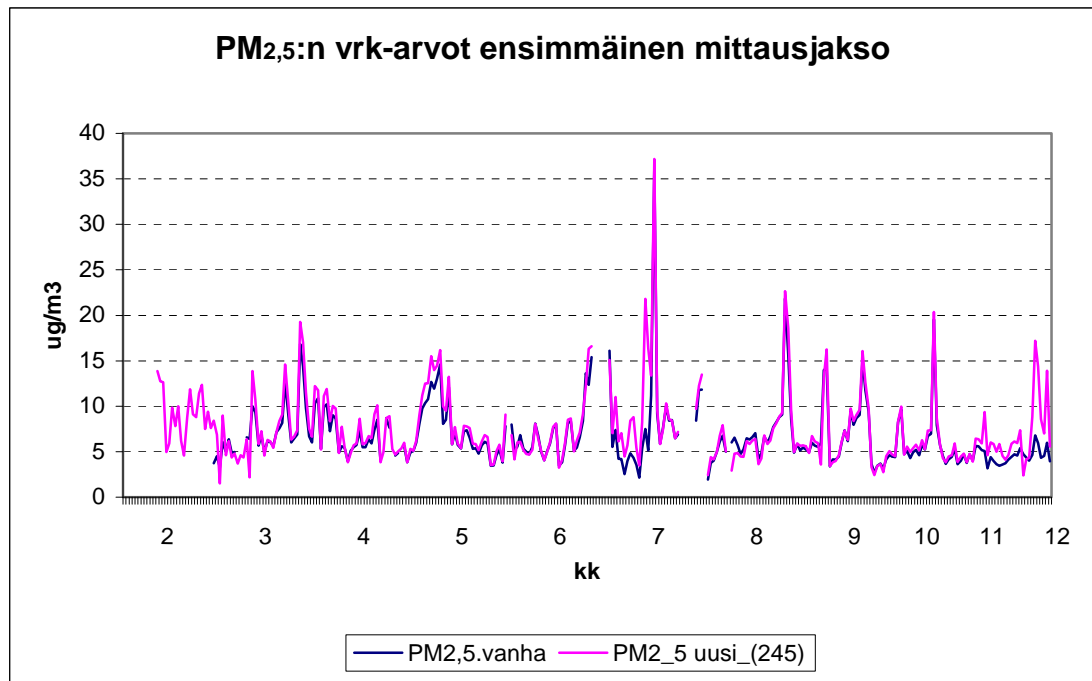


Kuva 20. Regressiosuora ilman häiriötä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvista.

6.1.2 Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) analyysit (1. jakso)

Ensimmäinen jakso pienhiukkasten mittauksissa sujui vertailulaitteen osalta hyvin. Kuvassa 21 on esitetty hengitettävän pölyn vuorokausiarvot mittausjakson ajalta. Kuvasta voidaan havaita, että mittausaineistot vastaavat varsin hyvin toisiaan, siltä osin kun on mitattu yhtä aikaa eri laitteilla.

Ensimmäisen jakson pienhiukkasten vuorokausiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat lumettumishäiriön kanssa 0.993237484 ja häiriö poistettuna 0.994377834. Pitoisuudet jakson aikana olivat melko pieniä ja yli $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n vrk-pitoisuuksia oli vain 1,1 % aineistosta.



Kuva 21. Jyväskylän pienhiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvot v. 2010.

Taulukosta 6 voidaan havaita että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille häiriön kanssa antoi selityksasteeksi $R^2=0.9865207$, joka on erittäin merkitsevä: vakioksi tuli $-0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muuttujaksi 1,16 ja keskivirheeksi 0,475 %.

Taulukko 6 Regressioanalyysi häiriöllä Jyväskylän pienhiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvista.

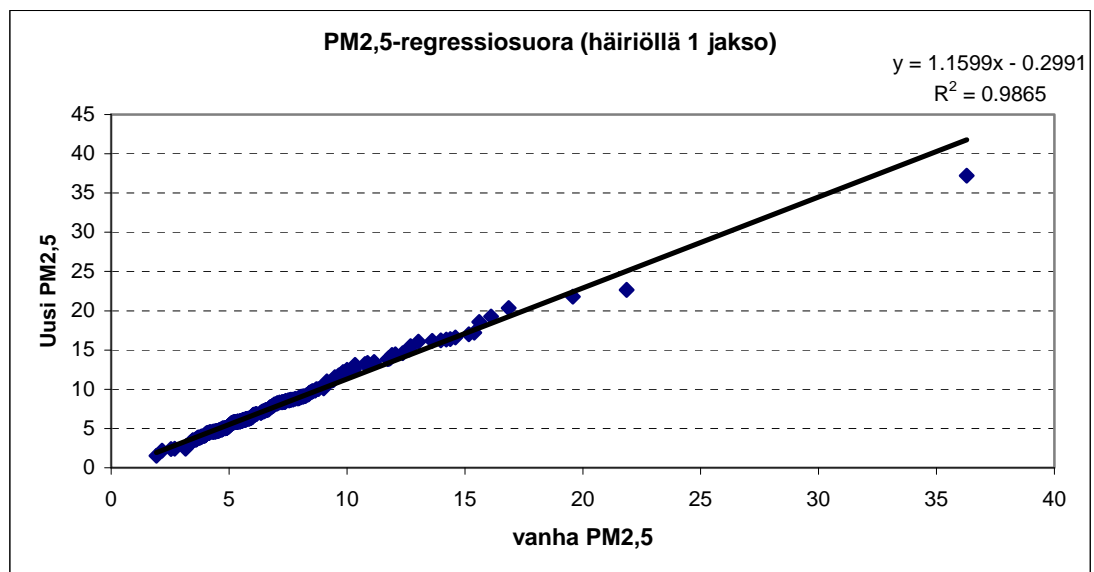
YHTEENVETO TULOSTUS		PM _{2,5} Regressio häiriöllä 1. jakso 95% luottamusvälillä							
<i>Regressiotunnusluvut</i>									
Kerroin R	0.99323748								
Korrelaatiokerroin	0.9865207								
Tarkistettu korrelaatio	0.98646945								
Keskivirhe	0.474624								
Havainnot	265								
ANOVA									
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus				
Regressio	1	4336.04713	4336.04713	19248.399	5.568E-248				
Jäännös	263	59.2454681	0.22526794						
Yhteensä	264	4395.2926							
	Kertoimet	Keskivirhe	t	Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95.0%	Ylin 95.0%
Leikkauspiste	-0.29907964	0.06304543	-4.74387526	3.443E-06	-0.42321761	-0.17494167	-0.42321761	-0.17494167	
Muuttuja X 1	1.15988054	0.00836019	138.738599	5.57E-248	1.14341913	1.17634194	1.14341913	1.17634194	

Taulukosta 7 voidaan havaita, että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille ilman häiriötä antoi selityksasteeksi $R^2=0.988787$. Luku on erittäin merkitsevä: vakioarvoksi tuli $-0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muuttujaksi 1,141 ja keskivirheeksi 0,428 %.

Taulukko 7 Regressioanalyysi ilman häiriötä Jyväskylän pienhiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista

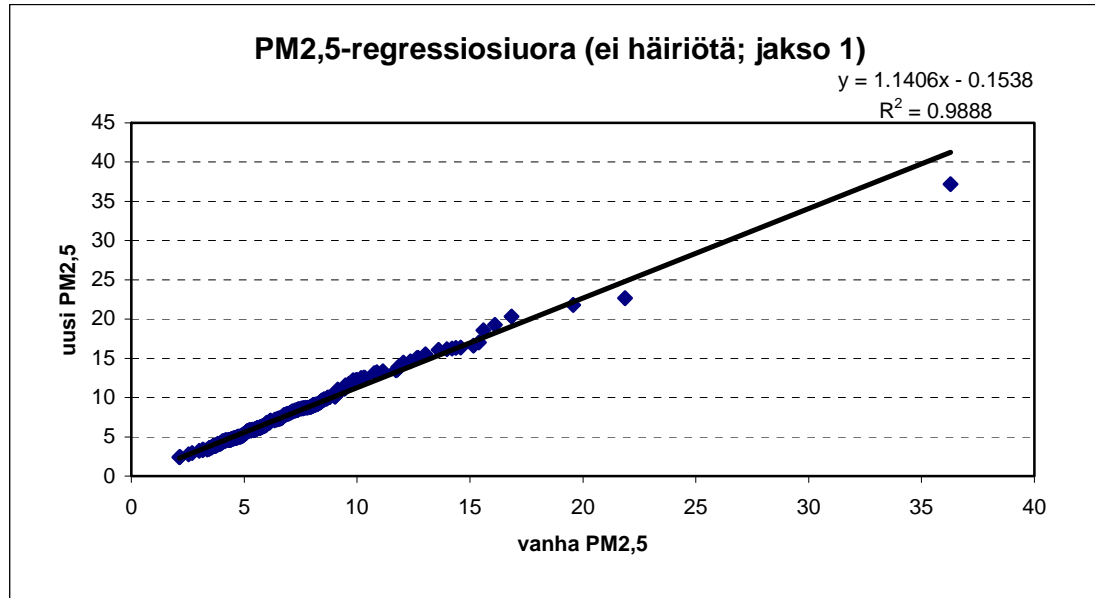
YHTEENVETO TULOSTUS		PM2,5 Regressio ei häiriötä 1. jakso 95% luottamusvälillä							
<i>Regressiotunnusluvut</i>									
Kerroin R	0.99437783								
Korrelaatiokerroin	0.98878728								
Tarkistettu korrelaatio	0.98874382								
Keskivirhe	0.42820295								
Havainnot	260								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	4171.6779	4171.6779	22751.575	1.291E-253				
Jäännös	258	47.3063033	0.18335776						
Yhteensä	259	4218.98421							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t</i>	<i>Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspiste	-0.15379019	0.05707729	-2.69441991	0.007514	-0.26618688	-0.0413935	-0.26618688	-0.0413935	-0.0413935
Muuttuja X 1	1.14056372	0.0075616	150.836252	1.29E-253	1.1256734	1.15545404	1.1256734	1.15545404	1.15545404

Kuvassa 22 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista häiriöllä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista on pieniä pitoisuuksia, mutta pari isointa pistettä hieman taipuvat suoralta.



Kuva 22. Regressiosuora häiriöllä Jyväskylän pienhiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista.

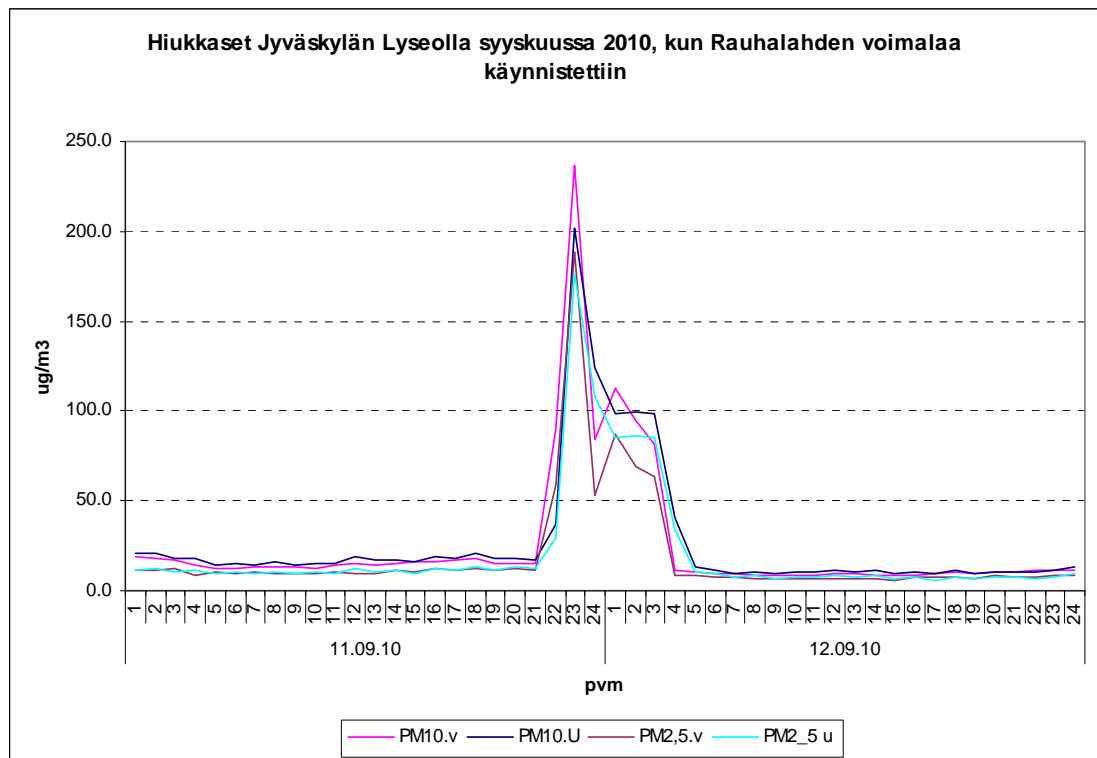
Kuvassa 23 on esitetty regressiosuora Jyväskylän pienhiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista ilman häiriötä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista on pieniä pitoisuuksia, mutta että isommat pitoisuudet taipuvat hieman suoralta.



Kuva 23. Regressiosuora ilman häiriötä Jyväskylän pienhiukkasvertailun ensimmäisen jakson vuorokausiarvoista.

6.1.3 Hiukkasten (PM₁₀ PM_{2,5}) erityispäästö syyskuussa 2010 (1. jakso)

Ensimmäisellä jaksolla sattui 11-12. syyskuuta Rauhalahden voimalan käynnistyksen yhteydessä hiukkaspäästö, joka näkyi mittauksissa keskustan mittausasemalla. Tuuli kävi voimalaitoksen suunnalta n. 135 ° ja oli nopeudeltaan heikkoa (0,8-1,8 m/s). Hiukkaset kulkeutuivat siten jyväs kylän keskustaan ja nostivat pitoisuuksia n. 8 tunnin ajaksi. Kuvassa 24 on esitetty hiukkasten tuntiarvopitoisuudet kahden vuorokauden ajalta syyskuussa. Kuvasta voidaan todeta, että kaikki laitteet seuraavat hyvin toisiaan. Uuden laitteen arvot nousevat hieman hitaammin ja pitoisuudet jäävät ensin matalammiksi, mutta pitoisuuksien laskiessa arvot ovat hieman korkeampia. Tämä johtuu uuden laitteen hitaammasta aikavakiosta.



Kuva 24. Hiukkasten tuntipitoisuuksia Jyväskylän pienhiukkasvertailun ensimmäiseltä jaksolta 11-12.9.2010, kun Rauhalahden voimalaa käynnistettiin.

Taulukossa 8 on korrelaatiokertoimet syyskuun hiukkasepisodista. Siitä voi havaita, että pitoisuudet korreloivat parhaiten laitetyyppien mukaan keskenään. Korrelointi on erinomaista myös ristiin. Poikkeama eri laitetyyppien kesken on aikavakiosta johtuvaa. Voimalaitoksesta tullut päästö on alle 2,5:n μm :n hiukkaskokoa, joista osa kasvaa isommaksi kulkeutumisen aikana.

Taulukko 8 Korrelaatiokertoimet Jyväskylän hiukkasvertailun ensimmäisen jakson tuntiarvoista 11.-12.9.2010

Korrelaatiokertoimet 11.-12.9.2010				
	PM10.v	PM10.u	PM2,5.v	PM2,5 u
PM10.v	1			
PM10.u	0.95144815	1		
PM2,5.v	0.99112724	0.94011939	1	
PM2,5 u	0.94427072	0.99022039	0.94665809	1

6.2 Toinen vertailumittausjakso

Toinen mittausjakso kesti 11.12.2010 - 18.02.2011. Ennen mittausjaksoa eristettiin virtuaali-impaktorin pinta suojalaatikolla lumettumis-ilmiötä hillitsemään. Mittausjakson aikana laitteiston toimintaa häiritsi paineanturin aiheuttama vika, joka näkyi myös ylimääräisenä huojuntana mittaustuloksissa.

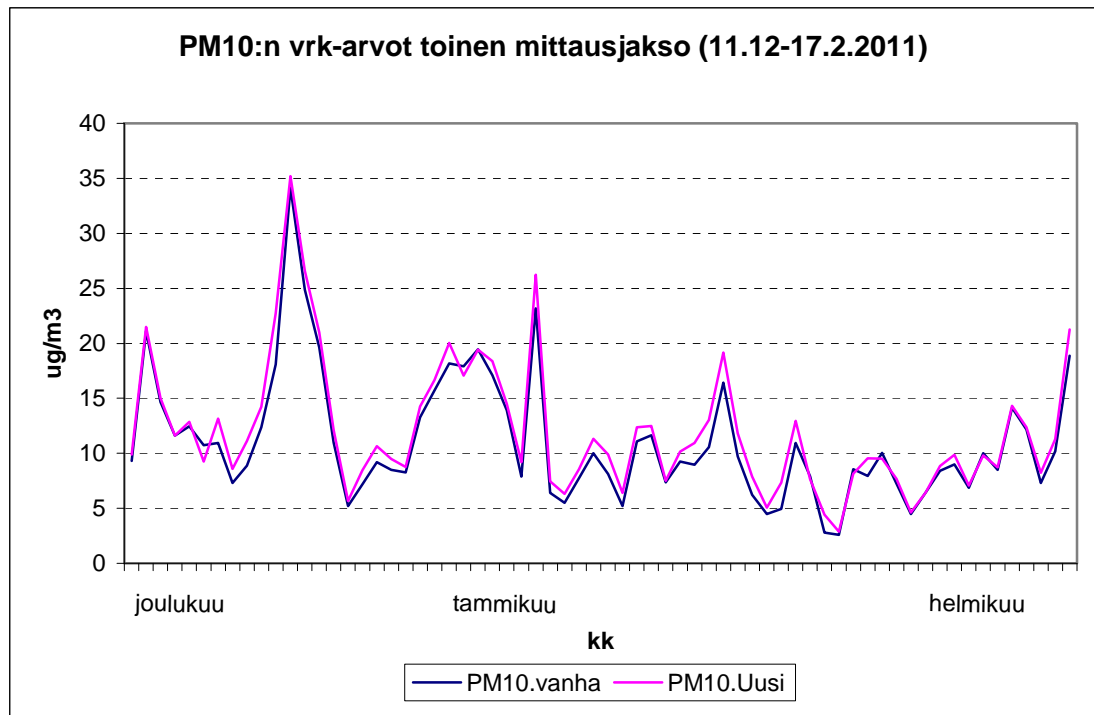
Mittauksissa jouduttiin tammikuun loppupuolella toinen vertailulaite ($PM_{2,5:n}$) ottamaan muuhun käyttöön, joten vertailuaineisto jää melko pieneksi.

Tuntiaineistosta laskettiin vrk-arvot, joissa tarvitsi olla 75 % (18h) tuntiarvoista, jotta ne hyväksyttiin käsiteltäviksi. Vuorokausiarvoista laskettiin regressiot excelin analyysityökalulla 95 %:n luottamusvälillä sellaisille arvoille, joissa oli mukana lumettumis-häiriö ja sellaisille, joista häiriön aiheuttamat arvot olivat poistettu.

6.2.1 Hengitettävän pölyn analyysit (2. jakso)

Toisen jakson hengitettävän pölyn vuorokausiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat lumettumishäiriön kanssa 0.969141901 ja häiriö poistettuna 0.960819904. Pitoisuudet jakson aikana olivat melko pieniä ja yli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n vrk-pitoisuuksia oli vain 1,6 % aineistosta.

Kuvassa 25 on esitetty hengitettävän pölyn vuorokausiarvot mittausjakson ajalta. Kuvasta voidaan havaita, että mittausaineistot vastaavat varsin hyvin toisiaan.



Kuva 25. Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvot 11.12.2010 -17.02.2011.

Taulukosta 9 voidaan havaita että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille häiriön kanssa antoi selitysasteeksi $R^2=0.92302$, joka on erittäin merkitsevä: vakioksi tuli $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kertoimeksi 0,93 ja keskivirheeksi 1,69 %.

Taulukko 9 Regressioanalyysi häiriöllä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista

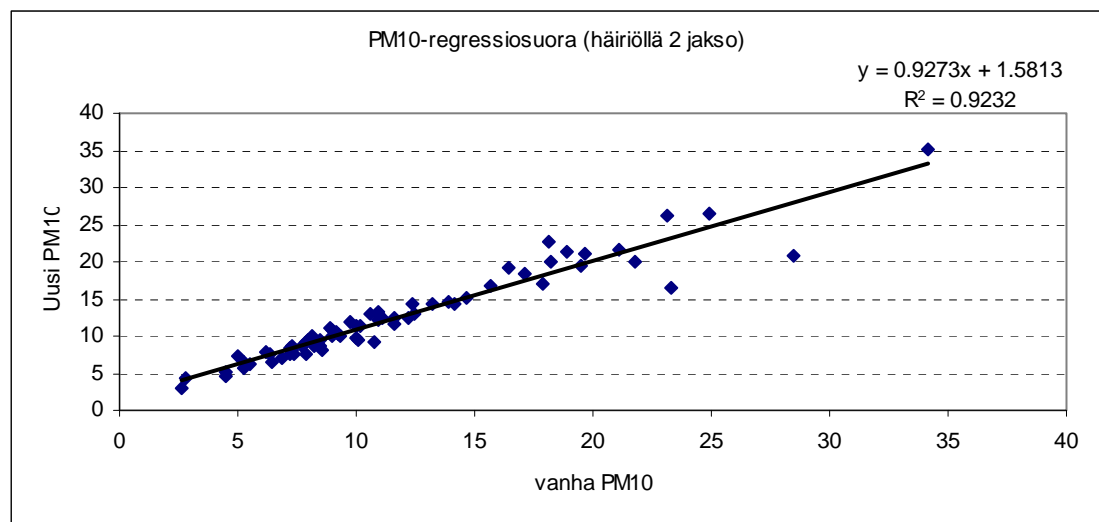
YHTEENVETO TULOSTUS		122010-022011 PM10 Regressio 95%-luottamusvälillä häiriöllä						
<i>Regressiotunnusluvut</i>								
Kerroin R	0.96073923							
Korrelaatioker	0.92301988							
Tarkistettu ko	0.92185351							
Keskivirhe	1.6879625							
Havainnot	68							
ANOVA								
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>			
Regressio	1	2254.76857	2254.76857	791.364174	1.8108E-38			
Jäännös	66	188.048348	2.8492174					
Yhteensä	67	2442.81692						
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspiste	1.58936374	0.43595313	3.64572155	0.00052653	0.71895554	2.45977194	0.71895554	2.45977194
Muuttuja X 1	0.92701321	0.03295321	28.1311958	1.8108E-38	0.86122003	0.9928064	0.86122003	0.9928064

Taulukosta 10 voidaan havaita, että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille ilman häiriötä antoi selityssasteeksi $R^2=0.939093$. Luku on erittäin merkitsevä: vakioarvoksi tuli $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muuttujaksi 0,94 ja keskivirheeksi 1,5 %.

Taulukko 10 Regressioanalyysi ilman häiriötä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista

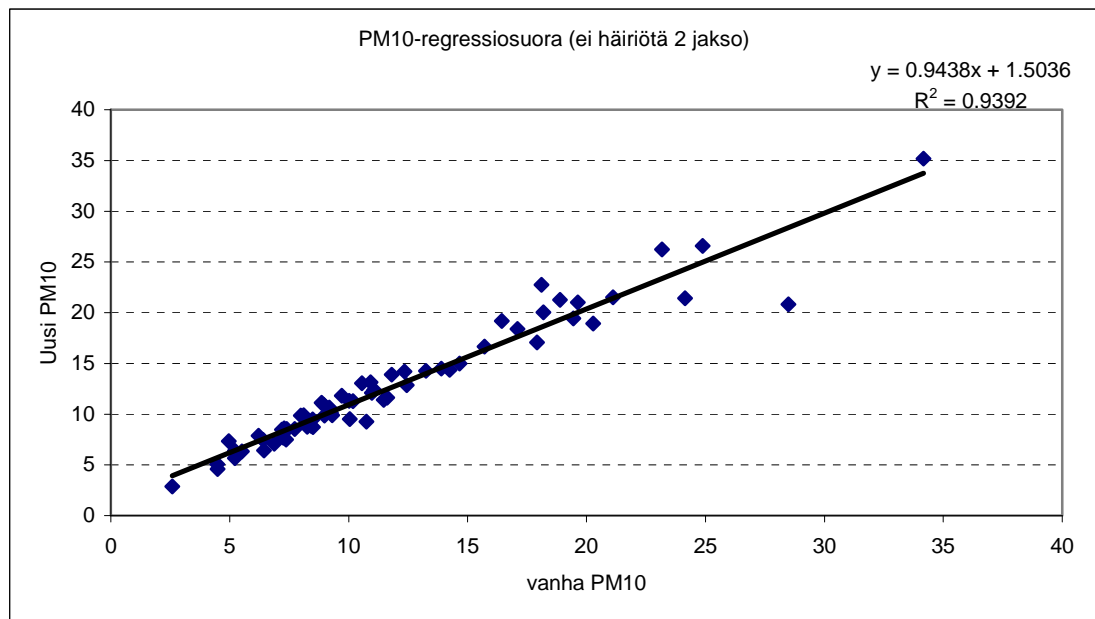
YHTEENVETO TULOSTUS		122010-022011 PM_{10} Regressio 95%-luottamusvälillä ilman häiriötä							
<i>Regressiotunnusluvut</i>									
Kerroin R	0.96906801								
Korrelaatioker	0.9390928								
Tarkistettu ko	0.93809433								
Keskivirhe	1.54101804								
Havainnot	63								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	2233.49607	2233.49607	940.52371	8.9761E-39				
Jäännös	61	144.858932	2.37473659						
Yhteensä	62	2378.355							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t</i>	<i>Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspiste	1.51483987	0.41559057	3.64502949	0.00055425	0.68381494	2.3458648	0.68381494	2.3458648	
Muuttuja X 1	0.94338517	0.03076126	30.667959	8.9761E-39	0.88187421	1.00489614	0.88187421	1.00489614	

Kuvassa 26 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista häiriöllä. Siitä voidaan havaita, että hajonta kasvaa pitoisuuksien suuretessa.



Kuva 26. Regressiosuora häiriöllä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista.

Kuvassa 27 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista ilman häiriötä. Siitä voidaan havaita, että hajonta kasvaa pitoisuuksien suuretessa. Isoissa pitoisuuksissa on yksi selvästi poikkeava arvo.

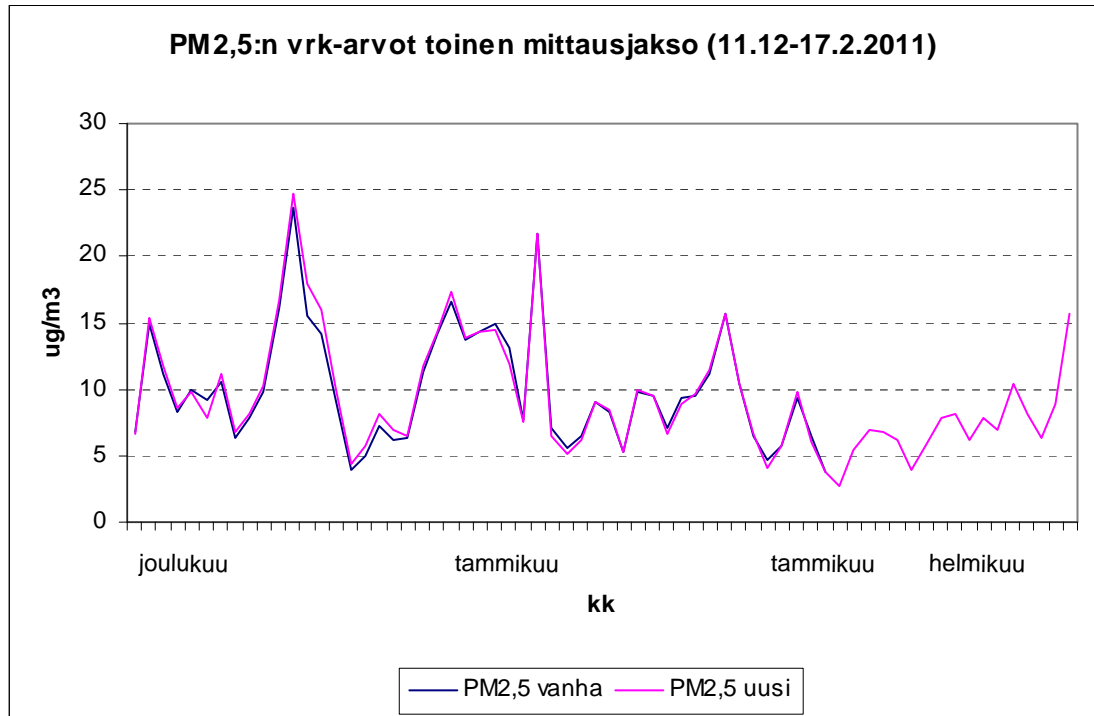


Kuva 27. Regressiosuora ilman häiriötä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista.

6.2.2 Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) analyysit (2. jakso)

Toinen jakso pienhiukkasten mittauksissa oli ongelmallinen. Vertailulaite jouduttiin ottamaan muuhun käyttöön tammikuun loppupuolella, joten mittausaineiston määrä jäi vähäiseksi. Kuvassa 28 on esitetty pienhiukkasten vuorokausiarvot mittausjakson ajalta. Kuvasta voidaan havaita, että mittausaineistot vastaavat varsin hyvin toisiaan, siltä osin kun on mitattu yhtä aikaa eri laitteilla.

Toisen jakson pienhiukkasten vuorokausiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat lumettumishäiriön kanssa 0.990870695 ja häiriö poistettuna 0.989979764. Pitoisuudet jakson aikana olivat melko pieniä ja yli $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n vrk-pitoisuuksia oli vain 4,3 % aineistosta.



Kuva 28. Jyväskylän pienhiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvot 11.12.2010 - 17.2.2011.

Taulukosta 11 voidaan havaita että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille häiriön kanssa antoi selitysteeksi $R^2=0.981611$, joka on erittäin merkitsevä: vakioksi tuli $-0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kertoimeksi 1,04 ja keskivirheeksi 0,63 %.

Taulukko 11. Regressioanalyysi häiriöllä Jyväskylän pienhiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista.

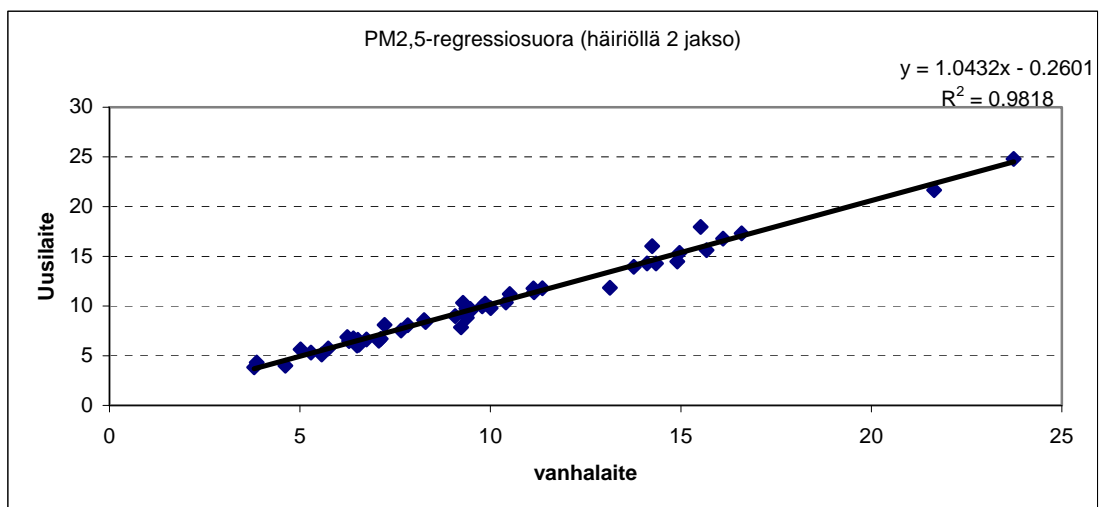
YHTEENVETO TULOSTUS		122010-022011 PM2,5 Regressio 95%-luottamusvälillä häiriöllä						
Regressiotunnusluvut								
Kerroin R	0.99076304							
Korrelaatioker	0.9816114							
Tarkistettu ko	0.98121165							
Keskivirhe	0.63468578							
Havainnot	48							
ANOVA								
	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus			
Regressio	1	989.159333	989.159333	2455.5496	1.4344E-41			
Jäännös	46	18.5299981	0.40282604					
Yhteensä	47	1007.68933						
	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95.0%	Ylin 95.0%
Leikkauspiste	-0.25261199	0.2311565	-1.09281804	0.28016397	-0.71790546	0.21268147	-0.71790546	0.21268147
Muuttuja X 1	1.04272788	0.02104247	49.5535024	1.4344E-41	1.00037163	1.08508412	1.00037163	1.08508412

Taulukosta 12 voidaan havaita, että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille ilman häiriötä antoi selityksasteeksi $R^2=0.979777$. Luku on erittäin merkitsevä: vakioarvoksi tuli $-0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muuttujaksi 1,04 ja keskivirheeksi 0,7 %.

Taulukko 12. Regressioanalyysi ilman häiriötä Jyväskylän pienhiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista.

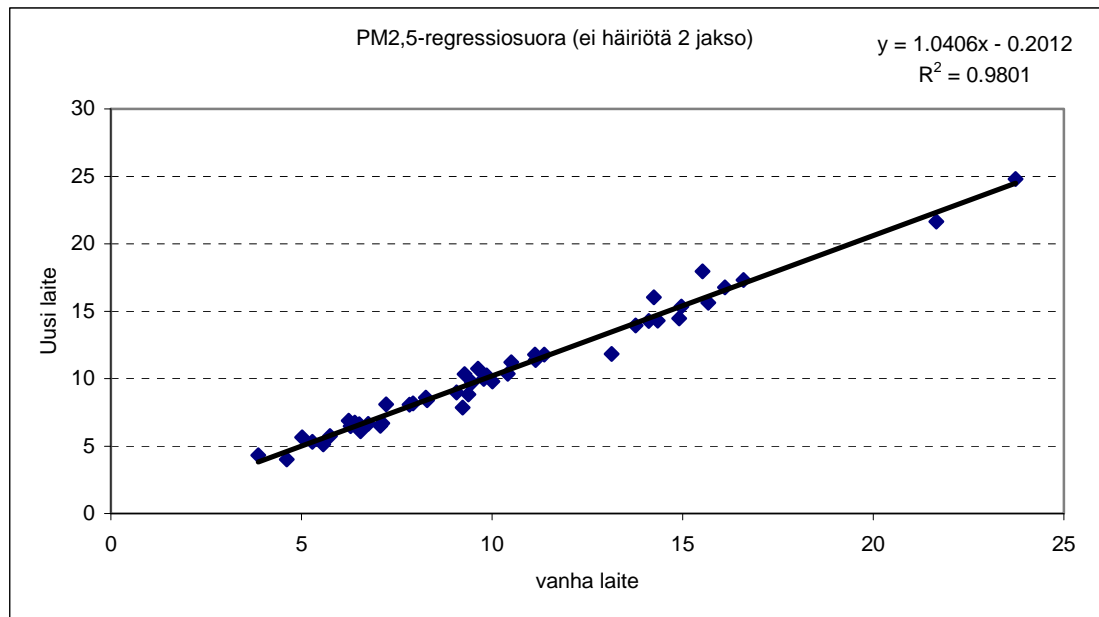
YHTEENVETO TULOSTUS		122010-022011 PM2,5 Regressio 95%-luottamusvälillä ilman häiriötä						
Regressiotunnusluvut								
Kerroin R	0.98983677							
Korrelaatioker	0.97977682							
Tarkistettu ko	0.97930652							
Keskivirhe	0.66533235							
Havainnot	45							
ANOVA								
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>			
Regressio	1	922.19664	922.19664	2083.27336	4.5992E-38			
Jäännös	43	19.0346866	0.44266713					
Yhteensä	44	941.231326						
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspiste	-0.18997801	0.25540668	-0.74382554	0.4610274	-0.70505431	0.32509829	-0.70505431	0.32509829
Muuttuja X 1	1.03990037	0.0227834	45.6428894	4.5992E-38	0.99395328	1.08584745	0.99395328	1.08584745

Kuvassa 29 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista häiriöllä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista vastaavat hyvin toisiaan.



Kuva 29. Regressiosuora häiriöllä Jyväskylän pienhiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista.

Kuvassa 30 on esitetty regressiosuora Jyväskylän pienhiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista ilman häiriötä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista on pieniä pitoisuuksia, mutta että myös isommat pitoisuudet pysyvät suoralla.



Kuva 30. Regressiosuora ilman häiriötä Jyväskylän pienhiukkasvertailun toisen jakson vuorokausiarvoista.

6.3 Kolmas vertailumittausjakso

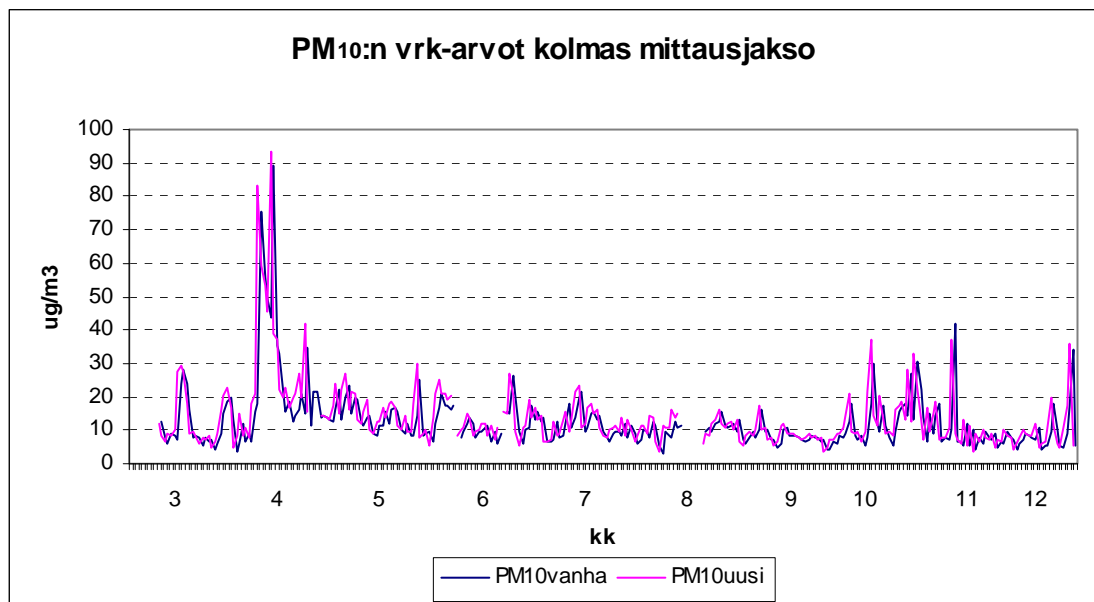
Kolmas mittausjakso kesti 10.03 - 29.12.2011. Ennen mittausjaksoa vaihdettiin vertailtavaan laitteeseen uusi paineanturi, uusittiin vaakayksikön kiinnitys ja muutettiin laitteen mittaamien tulosten aikavakio nopeammaksi, 10 minuuttiin. Mittausjakson aikana oli vertailulaite PM_{2,5}:n käytössä vuoto-ongelma touko-kesäkuussa, jonka takia täytyi tuloksia hylätä. PM_{2,5}-vertailulaite oli PM₁₀-vertailussa 18.8 - 8.11. Laite palasi vielä loppuvuodeksi PM_{2,5}-vertailuun.

Tuntiaineistosta laskettiin vrk-arvot, joissa tarvitsi olla 75 % (18h) tuntiarvoista, jotta ne hyväksyttiin käsiteltäviksi. Vuorokausiarvoista laskettiin regressiot excelin analyysityökalulla 95 %:n luottamusvälillä sellaisille arvoille, joissa oli mukana lumettumis-häiriö ja sellaisille, joista häiriön aiheuttamat arvot olivat poistettu. Tästä vertailujaksosta laskettiin vastaavat arvot myös tuntiarvoille ja erikseen siltä ajalta kun ulkolämpötila oli pakkasella. Tämä tarkastelu tehtiin korvaamaan talviajan testejä.

6.3.1 Hengitettävän pölyn analyysit (3. jakso)

Kolmannen jakson hengitettävän pölyn vuorokausiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat lumettumishäiriön kanssa 0.990595414 ja häiriö poistettuna 0.992335745. Pitoisuudet jakson aikana olivat melko pieniä ja yli 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$:n vrk-pitoisuuksia oli vain 3,5 % aineistosta.

Kuvassa 31 on esitetty hengitettävän pölyn vuorokausiarvot mittausjakson ajalta. Kuvasta voidaan havaita, että mittausaineistot vastaavat varsin hyvin toisiaan myös kevään suurempien pölyjen aikana.



Kuva 31. Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvot 10.03. - 29.12.2011.

Taulukosta 13 voidaan havaita että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille häiriön kanssa antoi selitysasteeksi $R^2=0.981360$, joka on erittäin merkitsevä: vakioksi tuli $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muuttujaksi 1,07 ja keskivirheeksi 1,37 %

Taulukko 13. Regressioanalyysi häiriöllä Jyväskylän PM₁₀-hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.

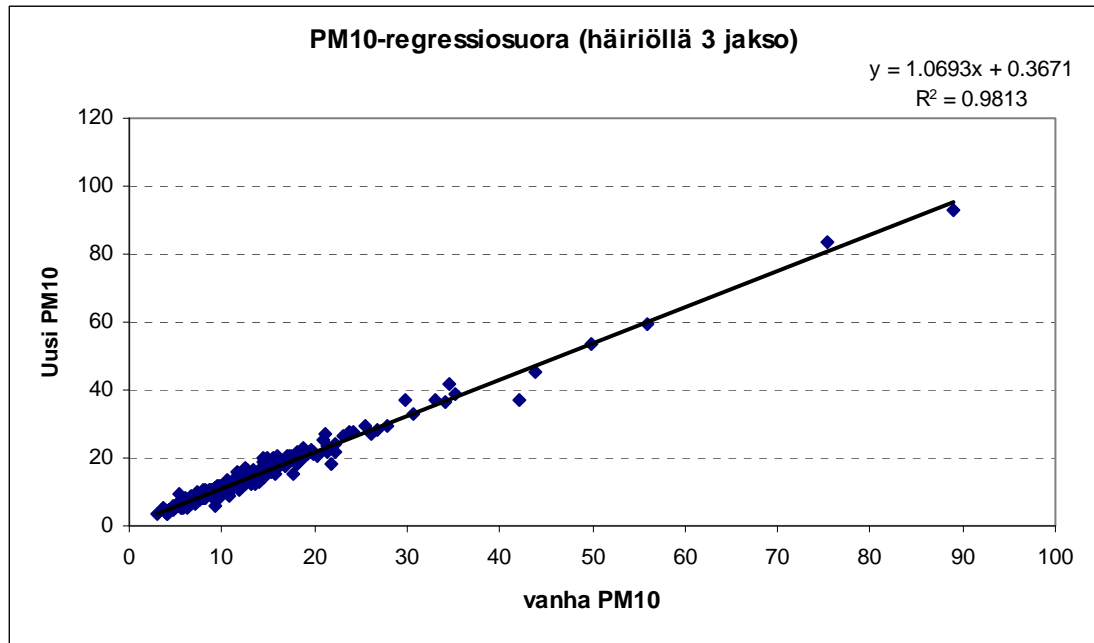
YHTEENVETO TULOSTUS		PM10 Regressio häiriöllä 3. jakso 95% luottamusvälillä							
<i>Regressiotunnusluvut</i>									
Kerroin R	0.99063623								
Korrelaatioker	0.98136014								
Tarkistettu ko	0.98129404								
Keskivirhe	1.37087288								
Havainnot	284								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	27901.603	27901.603	14846.8659	6.5E-246				
Jäännös	282	529.96047	1.8792924						
Yhteensä	283	28431.563							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>Tunnusluku</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>	
Leikkauspiste	0.37251225	0.136547	2.7280885	0.00677012	0.10373177	0.64129273	0.10373177	0.6412927	
Muuttuja X 1	1.06932687	0.0087759	121.84772	6.5E-246	1.05205224	1.08660149	1.05205224	1.0866015	

Taulukosta 14 voidaan havaita, että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille ilman häiriötä antoi selitysasteeksi $R^2=0.9810098$. Luku on erittäin merkitsevä: vakioarvoksi tuli $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muuttujaksi 1,10 ja keskivirheeksi 1,2 %.

Taulukko 14. Regressioanalyysi ilman häiriötä Jyväskylän PM₁₀-hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.

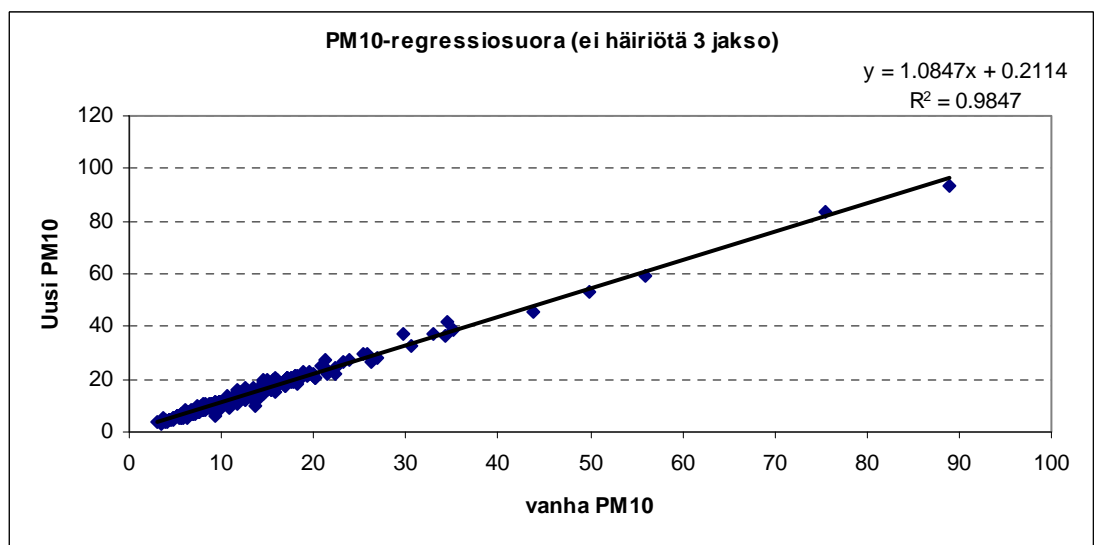
YHTEENVETO TULOSTUS		PM10 Regressio ilman häiriötä 3. jakso 95% luottamusvälillä							
<i>Regressiotunnusluvut</i>									
Kerroin R	0.99045939								
Korrelaatioker	0.98100981								
Tarkistettu ko	0.98094199								
Keskivirhe	1.20705285								
Havainnot	282								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	21074.37	21074.37	14464.4538	4.745E-243				
Jäännös	280	407.95344	1.4569766						
Yhteensä	281	21482.324							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>Tunnusluku</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>	
Leikkauspiste	0.03341124	0.1315808	0.2539219	0.79974228	-0.22560211	0.29242459	-0.22560211	0.2924246	
Muuttuja X 1	1.10057214	0.009151	120.26826	4.745E-243	1.08255868	1.1185856	1.08255868	1.1185856	

Kuvassa 32 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista häiriöllä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista on pieniä pitoisuuksia, mutta että myös isommat pitoisuudet pysyvät hyvin suoralla.



Kuva 32. Regressiosuora häiriöllä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.

Kuvassa 33 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista ilman häiriötä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista on pieniä pitoisuuksia, mutta että myös isommat pitoisuudet pysyvät hyvin suoralla.

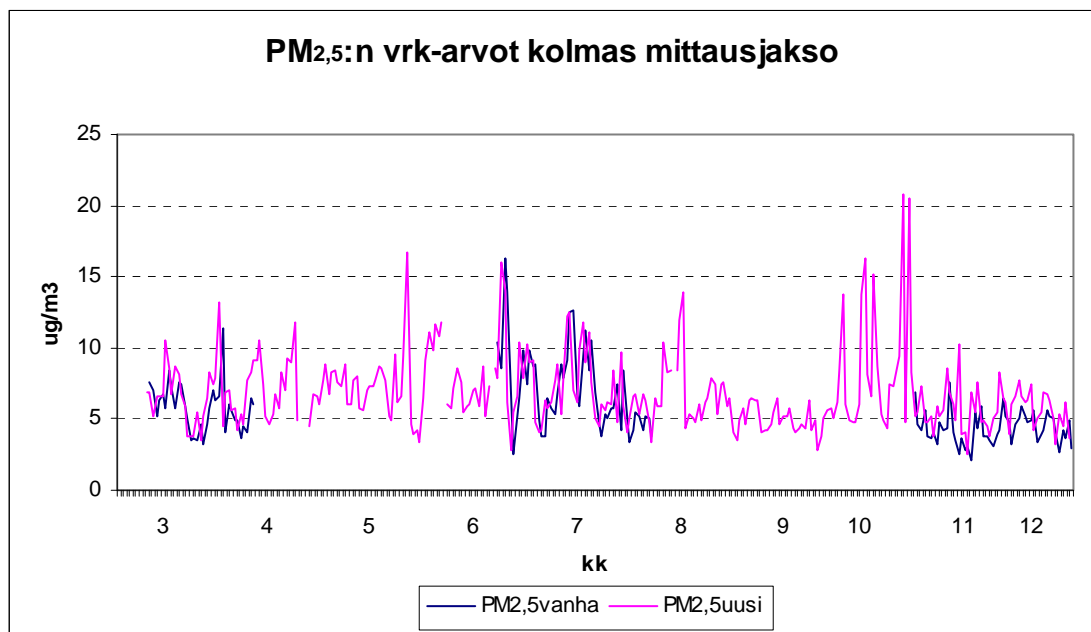


Kuva 33. Regressiosuora ilman häiriötä Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.

6.3.2 Pienhiukkasten (PM_{2,5}) analyysit (3. jakso)

Kolmas jakso pienhiukkasten mittauksissa oli katkonainen. Vertailulaitteen tuloksia jouduttiin hylkäämään 13.4 - 28.6.2011. Kuvassa 34 on esitetty pienhiukkasten vuorokausiarvot mittausjakson ajalta. Kuvasta voidaan havaita, että mittausaineistot vastaavat varsin hyvin toisiaan siltä osin, kun on mitattu yhtä aikaa.

Kolmannen jakson pienhiukkasten vuorokausiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat lumettumishäiriön kanssa 0.928671667 ja häiriö poistettuna 0.92987204. Pitoisuudet jakson aikana olivat melko pieniä ja yli 18 µg/m³:n vrk-pitoisuuksia ei ollut aineistossa.



Kuva 34. Jyväskylän pienhiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvot 10.03. - 29.12.2011.

Taulukosta 15 voidaan havaita että regressioanalyysi 95 %:n luottamusvälillä vuorokausiarvoille häiriön kanssa antoi selitysasteeksi $R^2=0.862431$, joka on erittäin merkitsevä: vakioksi tuli 1,5 µg/m³, muuttujaksi 0,88 ja keskivirheeksi 0,85 %.

Taulukko 15. *Regressioanalyysi häiriöllä Jyväskylän pienhiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.*

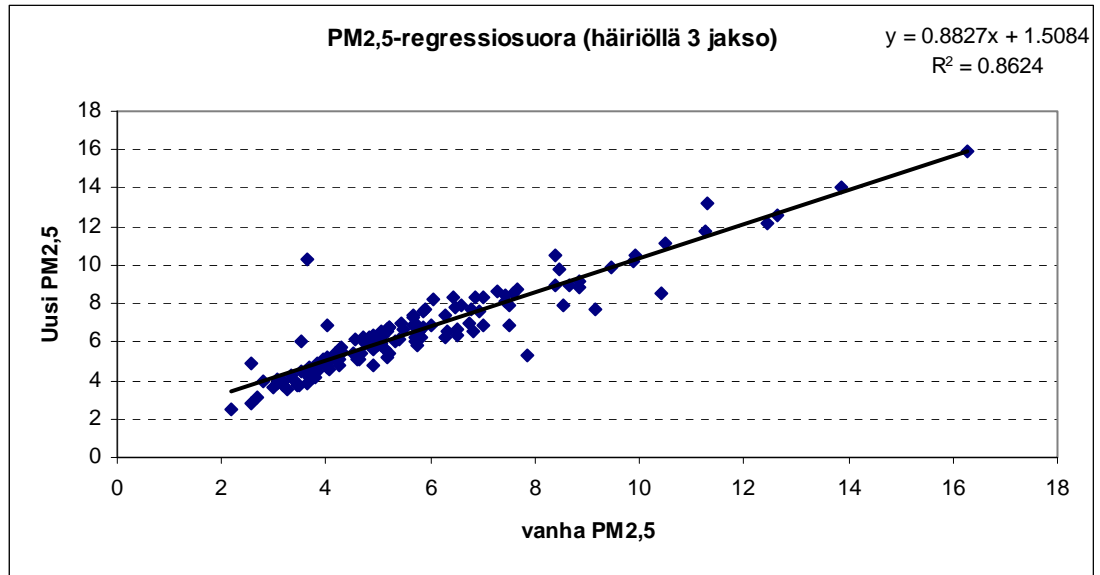
YHTEENVETO TULOSTUS		PM2,5 Regressio häiriöllä 3. jakso 95% luottamusväillä							
<i>Regressiotunnusluvut</i>									
Kerroin R	0.92867167								
Korrelaatioker	0.86243106								
Tarkistettu ko	0.86139671								
Keskivirhe	0.84574319								
Havainnot	135								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	596.393193	596.393193	833.788032	3.8232E-59				
Jäännös	133	95.13244567	0.71528155						
Yhteensä	134	691.5256386							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t</i>	<i>Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspiste	1.50843984	0.18945828	7.96185757	6.6337E-13	1.13369894	1.88318073	1.133699	1.883181	
Muuttuja X 1	0.8827277	0.030570245	28.875388	3.8232E-59	0.82226098	0.94319442	0.822261	0.943194	

Taulukosta 16 voidaan havaita, että regressioanalyysi 95 %:n luottamusväillä vuorokausiarvoille ilman häiriötä antoi selitysasteeksi $R^2=0.864662$. Luku on erittäin merkitsevä: vakioarvoksi tuli $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muuttujaksi 0,88 ja keskivirheeksi 0,8 %.

Taulukko 16. *Regressioanalyysi ilman häiriötä Jyväskylän pienhiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.*

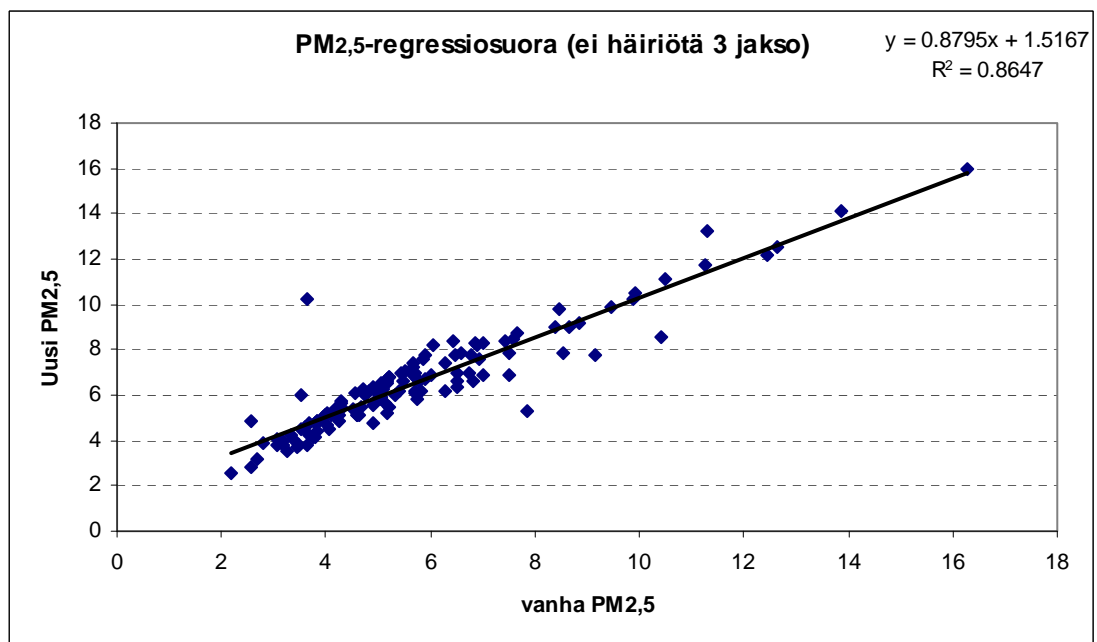
YHTEENVETO TULOSTUS		PM2,5 ilman häiriötä 3. jakso 95% luottamusväillä							
<i>Regressiotunnusluvut</i>									
Kerroin R	0.92987204								
Korrelaatioker	0.86466201								
Tarkistettu ko	0.86361288								
Keskivirhe	0.83133745								
Havainnot	131								
ANOVA									
	<i>va</i>	<i>NS</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>F:n tarkkuus</i>				
Regressio	1	569.601415	569.601415	824.169175	7.1357E-58				
Jäännös	129	89.1547329	0.69112196						
Yhteensä	130	658.756148							
	<i>Kertoimet</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t</i>	<i>Tunnusluvut</i>	<i>P-arvo</i>	<i>Alin 95%</i>	<i>Ylin 95%</i>	<i>Alin 95.0%</i>	<i>Ylin 95.0%</i>
Leikkauspiste	1.5166814	0.18867595	8.03855165	5.0432E-13	1.14338152	1.88998128	1.14338152	1.88998128	
Muuttuja X 1	0.8794614	0.03063434	28.7083468	7.1357E-58	0.81885061	0.94007218	0.81885061	0.94007218	

Kuvassa 35 on esitetty regressiosuora Jyväskylän hiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista häiriöllä. Siitä voidaan havaita, että valtaosa arvoista vastaavat hyvin toisiaan myös isoimmilla pitoisuuksilla, mutta hajontaa on etenkin keskipitoisuuksissa.



Kuva 35. Regressiosuora häiriöllä Jyväskylän pienhiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.

Kuvassa 36 on esitetty regressiosuora Jyväskylän pienhiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista ilman häiriötä. Siitä voidaan havaita, että pitoisuudet ovat pieniä. Poikkeamia suoralta on paljon, mutta isoimmat pitoisuudet pysyvät suoralla.

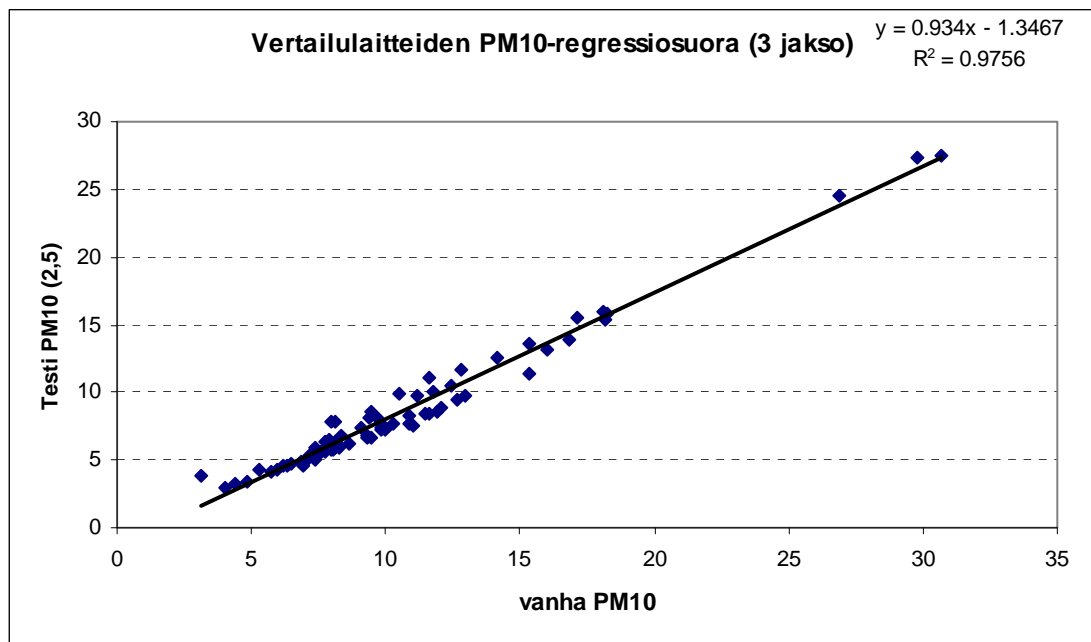


Kuva 36. Regressiosuora ilman häiriötä Jyväskylän pienhiukkasvertailun kolmannen jakson vuorokausiarvoista.

6.3.3 Vertailulaitteiden keskinäinen testi

Elokuusta marraskuun alkuun vuonna 2011 tehtiin vertailulaitteiden vertailu. Tämä vertailu tehtiin käyttämällä PM_{10} -esierottimia. Vertailussa mukana $PM_{2,5}$ -laitteena olleen TEOM:in varustuksista poistettiin siis vertailun ajaksi $PM_{2,5}$ -esierotin.

Mittaukset onnistuivat hyvin, mutta pitoisuustasot jäivät pieniksi. Kuvassa 37 on esitetty Jyväskylän vertailulaitteista kolmannen jakson vuorokausiarvoista regressiosuora. Vuorokausiarvoja oli 74 kappaletta. Kuvasta voidaan havaita, että laitteet seuraavat hyvin toistensa pitoisuuksia, mutta $PM_{2,5}$:na toiminut laite antoi keskimäärin 6 % pienempiä pitoisuuksia.

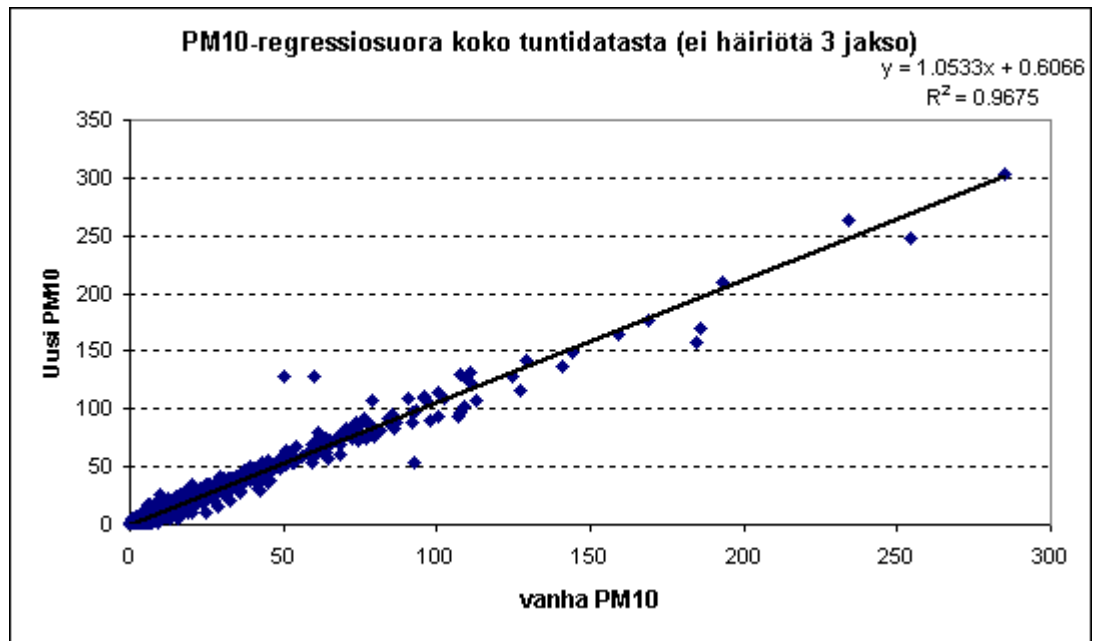


Kuva 37. Jyväskylän vertailulaitteiden vuorokausiarvojen regressiosuora PM_{10} -hiukkaserottimella 3:n jakson aikana.

6.4 Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja hengitettävän pölyn (PM_{10}) tuntiarvotestit

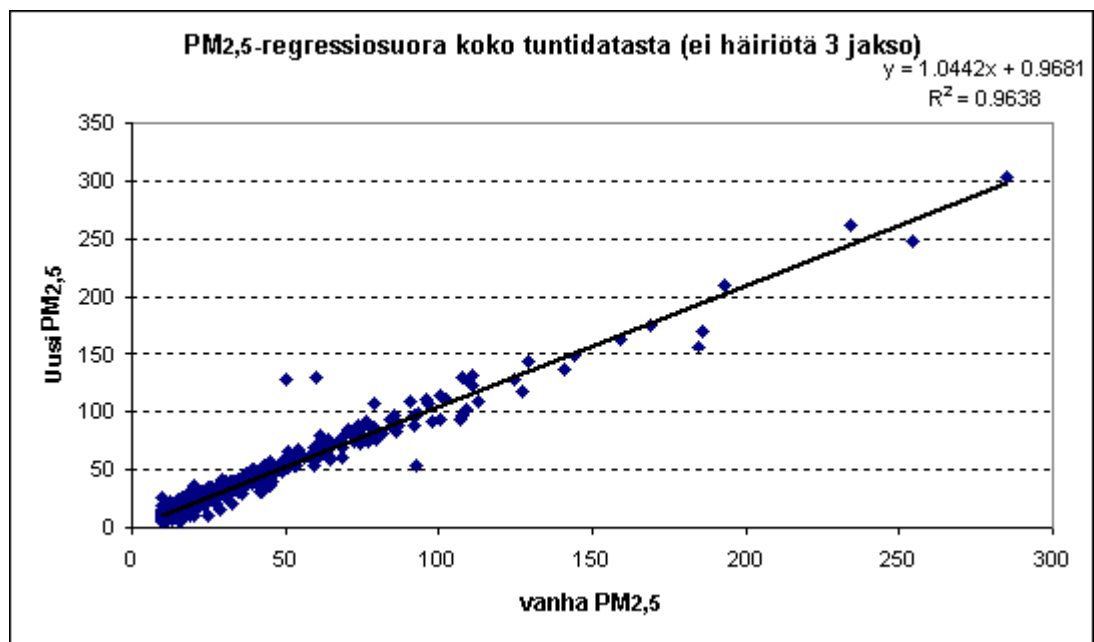
Kolmannen jakson mittausaineistoa, josta oli poistettu lumettumishäiriö, tutkittiin myös tuntitasolla. Hengitettävän pölyn tuntiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat PM_{10} -aineistolla 0.983592104 ja $PM_{2,5}$ -aineistolla 0.915740925. Kuvassa 38 on esitetty regressiosuora kolmannen jakson PM_{10} -

tuntiarvoista. Siitä voidaan havaita että pitoisuudet pysyvät hyvin suoralla muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta.



Kuva 38. Regressiosuora Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun kolmannen jakson tuntiarvoista 10.03. - 29.12.2011 (häiriö poistettuna).

Kuvassa 39 on esitetty regressiosuora kolmannen jakson $PM_{2,5}$ -tuntiarvoista. Siitä voidaan havaita että pitoisuudet pysyvät hyvin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta suoralla.

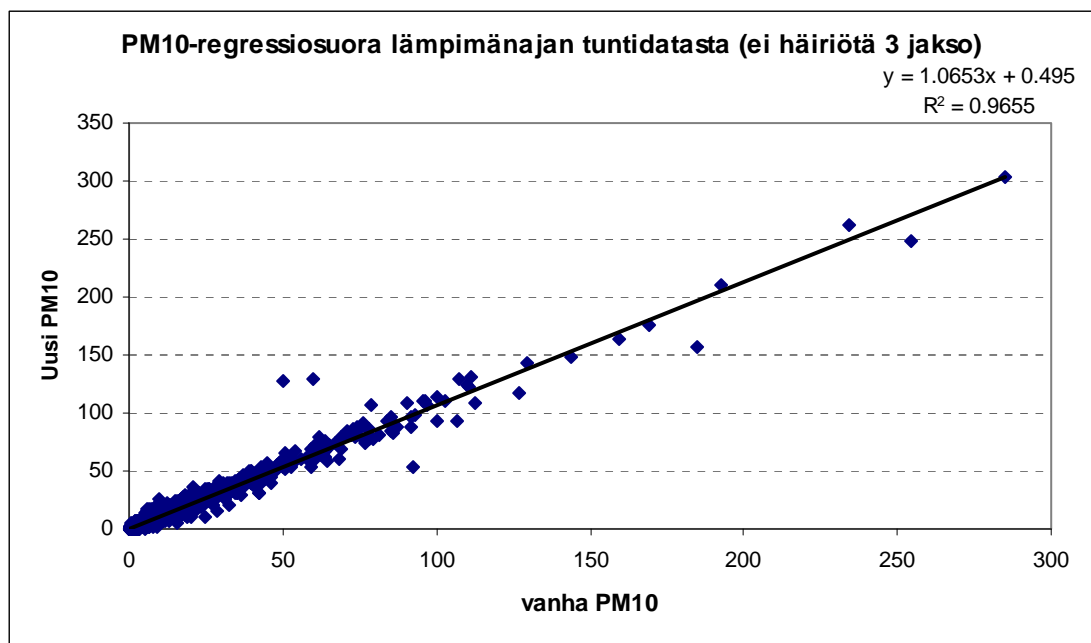


Kuva 39. Regressiosuora Jyväskylän $PM_{2,5}$ -hiukkasvertailun kolmannen jakson tuntiarvoista 10.03. - 29.12.2011 (häiriö poistettuna).

Korrelaatiot ja regressiot tuntiaineistolla lämpötilan mukaan

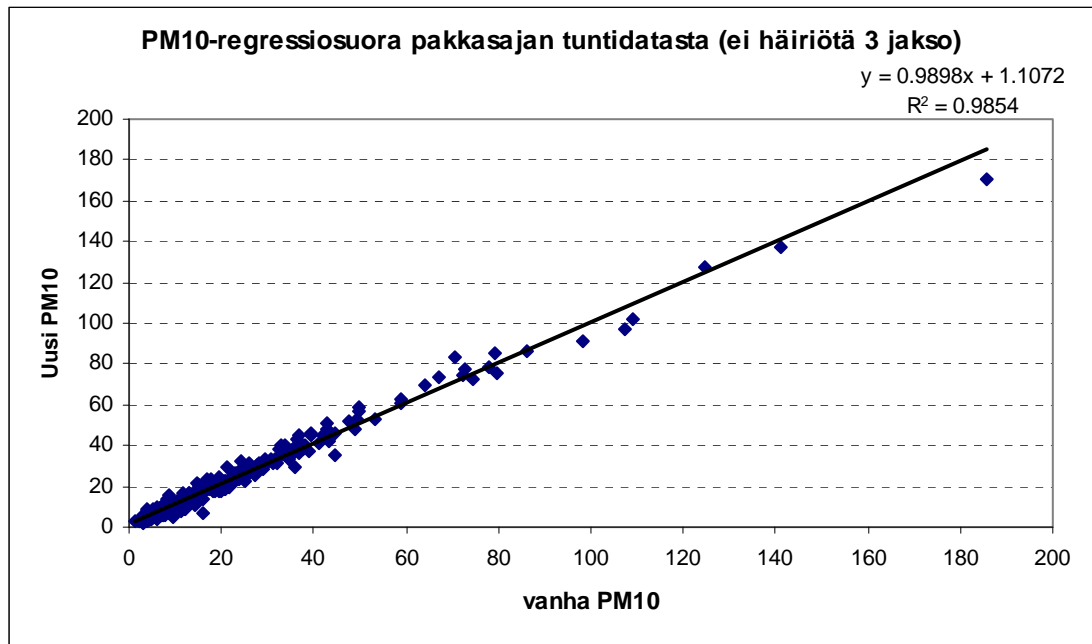
Hiukkasvertailuja tulisi tehdä eri vuodenaikoina. Tehtyjä mittauksia ei voinut luokitella vuodenaikojen mukaan niiden vähäisyyden vuoksi, joten luokittelu tehtiin lämpötilan mukaan. Leikkausrajaksi valittiin 0 °C, jonka jälkeen tulokset on luokiteltu ”pakkasajan” tuloksiksi tai lämpimän ajan tuloksiksi. Lämpötilaluokitellusta tuntiarvojen mittausaineistosta lasketut korrelaatiokertoimet ovat PM₁₀-aineistolla lämpimällä ajalla 0.98258396 ja pakkasajalla 0.992670998 sekä PM_{2,5}-aineistolla lämpimällä ajalla 0.919668552 ja pakkasajalla 0.915938502.

Kuvassa 40 on esitetty regressiosuora kolmannen jakson lämpimän ajan PM₁₀-tuntiarvoista. Siitä voidaan havaita että pitoisuudet pysyvät melko hyvin suoralla.



Kuva 40. Regressiosuora Jyväskylän PM₁₀-hiukkasvertailun lämpimän ajan tuntiarvoista 10.03. - 29.12.2011.

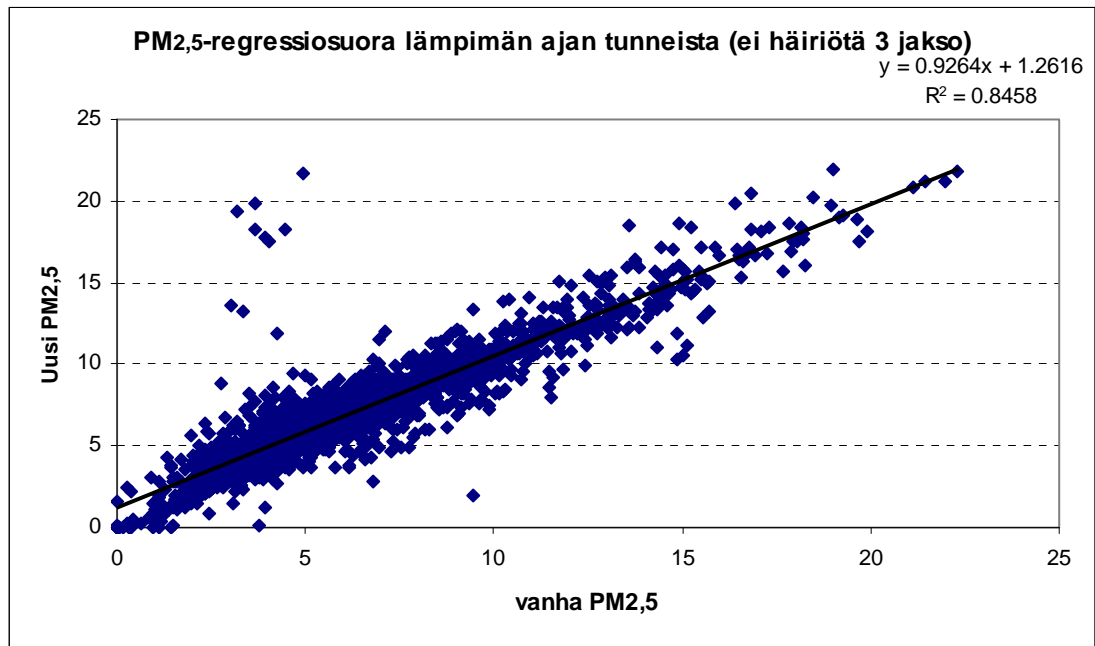
Kuvassa 41 on esitetty regressiosuora kolmannen jakson pakkasajan PM₁₀-tuntiarvoista. Siitä voidaan havaita että pitoisuudet pysyvät suoralla paremmin kuin lämpimänajan pitoisuudet. Kulmakerroin poikkeaa lämpimän ajan regressiosuorasta.



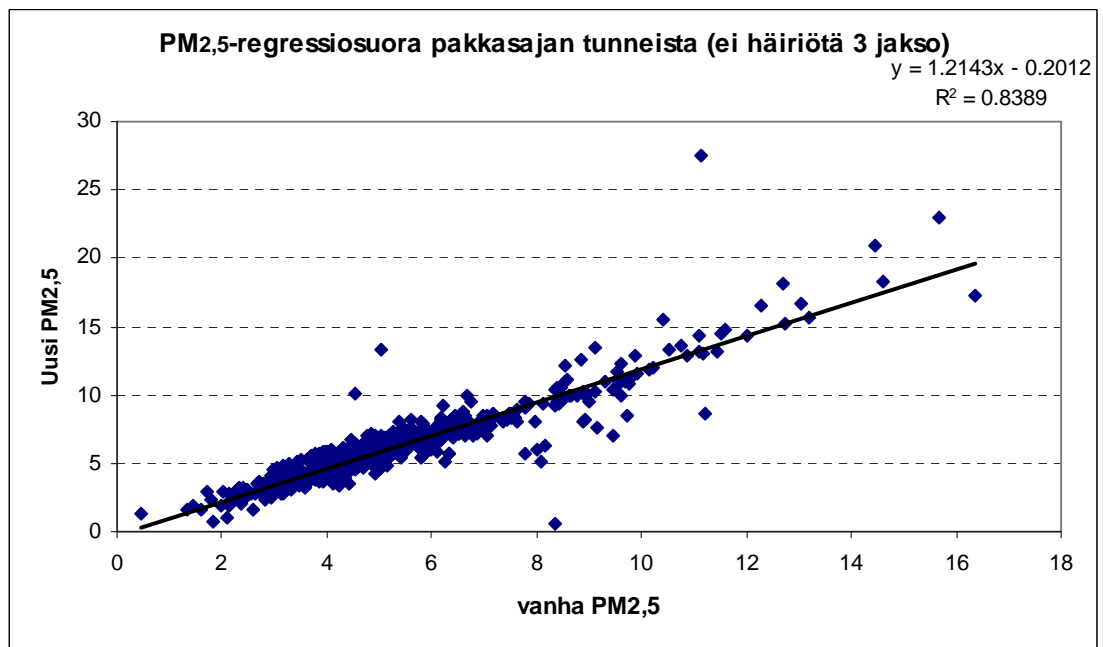
Kuva 41. Regressiosuora Jyväskylän PM_{10} -hiukkasvertailun pakkasajan tuntiarvoista 10.03. - 29.12.2011.

Hengitettävän pölyn pakkasajan mittausaineistoa oli vain 8,7 % ja lämpimän ajan aineistoa 91,3 %, aineistoa oli yhteensä 6812 tuntia. Pienhiukkasilla pakkasajan mittausaineistoa oli 17,2 % ja lämpimän ajan aineistoa 82,8 %, aineistoa oli yhteensä 3207 tuntia.

Kuvassa 42 on esitetty regressiosuora kolmannen jakson lämpimän ajan $PM_{2,5}$ -tuntiarvoista. Siitä voidaan havaita, että pitoisuudet pysyvät pääasiassa hyvin suoralla, mutta pienissä pitoisuuksissa on selvä poikkeamakin. Poikkeama-aika tapahtuu yhdellä kertaa 24.11.2011. Kuvassa 43 on esitetty kolmannen jakson pakkasajan $PM_{2,5}$ -tuntiarvoista regressiosuora. Pitoisuudet pysyvät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta hyvin suoralla, mutta kulmakerroin poikkeaa selvästi lämpimän ajan kertoimesta.



Kuva 42. Regressiosuora Jyväskylän PM_{2,5}-hiukkasvertailun lämpimän ajan tuntiarvoista 10.03. - 29.12.2011.



Kuva 43. Regressiosuora Jyväskylän PM_{2,5}-hiukkasvertailun pakkasajan tuntiarvoista 10.03. - 29.12.2011.

7 MITTAUSTULOSTEN TULKINTA

Jyväskylän keskustan mittausasema ei sijaitse lähellä liikennettä. Vaikka aseman ympäristössä on liikennettä paljon, ei sen suorat päästöt pääse mittausasemalle asti. Asema on luokiteltu liikenneasemaksi, mutta sen luokitus on pitoisuustasojen perusteella lähempänä kaupunkitausta-asemaa.

Jyväskylässä tehtiin kolme erillistä vertailumittausjaksoa. Tehdyt mittausjaksot eivät täyttäneet täysin ajalliselta kestoltaan vertailuun tarvittavaa määrää. Jaksoista laskettiin kuitenkin regressioanalyysit ja korrelaatiokertoimet. Viimeisestä jaksosta tehtiin hieman tarkempia tarkasteluja, sillä käytössä oli ne asetukset, jollaiset on jatkossa laitteessa kun sillä tehdään mittauksia.

Taulukossa 17 on esitetty hengitettävän pölyn kulmakertoimet, selitysasteet, keskivirheet, keskiarvot ja näytteiden lukumäärät. Taulukosta voi nähdä, että kaikki selitysasteet ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Kulmakertoimet ovat lähellä toisiaan myös häiriön kanssa. Talvi- ja pakkasajan vertailuista lasketut kulmakertoimet ovat matalampia kuin lämpimästä ajasta lasketut kertoimet. Tuntiaineiston selitysaste on arvona heikoin. Sekin on tilastollisesti erittäin merkitsevä, etenkin kun mittausaineisto määrä oli suuri. Uuden laitteen pitoisuudet ovat vanhoja laitteita isompia. Keskivirhe oli pienempi ilman häiriötä, mutta taso oli samaa luokkaa.

Taulukko 17. Regressiosuorien kertoimet, vakiot ja selitysasteet; sekä keskivirhe, keskiarvo, mediaani ja näytteiden lukumäärä Jyväskylässä v 2010- 2011 eri vertailujaksoilla.

Regressiosuorien kertoimet ja vakiot								
Hengitettävä pöly (PM ₁₀)						vanha; uusi	vanha; uusi	
keräysaika		vakio	kerroin	selitysaste(R ²)	keskivirhe	ka	mediaani	N
I jakso vrk	häiriöllä	0.11	1.067	0.9943	0.7	13.6;14.6	10.2;11.2	282
	ilmanhäiriötä	0.12	1.089	0.9965	0.6	13.2;14.5	10.1;11.2	274
II jakso vrk	häiriöllä	1.58	0.927	0.9232	1.7	11.6;12.4	10.0;10.9	69
	ilmanhäiriötä	1.5	0.944	0.9392	1.6	11.9;12.7	10.0;11.2	64
III jakso vrk	häiriöllä	0.37	1.069	0.9813	1.3	12.5;13.7	9.9;11.0	285
	ilmanhäiriötä	0.21	1.085	0.9847	1.1	12.8;13.4	10.0;10.8	283
	vertailulaitteet	-1.35	0.934	0.9756	0.8	10.4;8.4	9.2;7.2	74
III jakso tuntiaineisto	kokoaineisto	0.6	1.053	0.9675	2.4	12.5;13.7	9.2;10.3	6812
	lämminaika	0.5	1.065	0.9655	2.9	12.3;13.6	9.4;10.4	6219
	pakkasaika	1.11	0.990	0.9854	2.1	14.1;15.0	7.8;8.8	593

Taulukossa 18 on esitetty hengitettävän pölyn regressio- ja korrelaatioanalyysin tuloksia. Taulukosta voi nähdä, että kaikki korrelaatiokerroimet ovat erittäin hyviä, eikä lumettumishäiriö niissä juurikaan näy. Keskivirheet ovat riittävän pieniä (<5 %).

Taulukko 18. *Regressioanalyysin muuttujat, vakiot, keskivirhe ja korrelaatiokerroin sekä korrelaatioanalyysin korrelaatiokerroin Jyväskylässä v 2010- 2011 eri vertailujaksoilla.*

Regressioanalyysin muuttuja, vakio, keskivirhe ja korrelaatiokerroin Hengitettävä pöly (PM ₁₀)					Korrelaatioanalyysi	
keräysaika		vakio	muuttuja	keskivirhe	selitysaste (%)	korrelaatiokerroin
I jakso vrk	häiriöllä	0.32	1.051	2.13	96,2	0.997169
	ilmanhäiriötä	0.23	1.080	1.48	98,1	0.998225
II jakso vrk	häiriöllä	1.59	0.927	1.69	92,3	0.969142
	ilmanhäiriötä	1.51	0.943	1.54	93,8	0.960820
III jakso vrk	häiriöllä	0.37	1.069	1.37	98,1	0.990595
	ilmanhäiriötä	0.03	1.101	1.21	98,1	0.992336
III jakso tuntiaineisto	kokoaineisto					0.983592
	lämminaika					0.982584
	pakkasaika					0.992671

Taulukossa 19 on esitetty pienhiukkasten kulmakertoimet, selitysasteet, keskivirheet, keskiarvot ja näytteiden lukumäärät. Siitä voi havaita, että 3 jakson kulmakertoimet vuorokausiarvoilla ovat pienemmät kuin aiemmissa vertailujaksoissa. Kuitenkaan tuntiarvovertailuissa kertoimet eivät ole niin pieniä. Vuorokausiarvojen selitysasteetkin jäävät pienemmiksi. Kolmannen jakson tuntiarvojen kulmakertoimen pakkasajalta poikkeaa muista kertoimista ollen aineiston suurin kerroin, samalla selitysaste on hieman heikompi. Tämä viittaa siihen, että virtuaali-impaktorin eristyksellä saattaa olla vaikutusta hiukkasten leikkausrajaan. Mittausaineisto painottuu kuitenkin lämpimään aikaan ja pakkasajan pitoisuudet jäävät pieniksi, joten kyseessä saattaa olla sattuma.

Taulukko 19. Regressiosuorien kertoimet, vakiot ja selityksasteet; sekä keskivirhe, keskiarvo, mediaani ja näytteiden lukumäärä Jyväskylässä v 2010- 2011 eri vertailujaksoilla.

Regressiosuorien kertoimet ja vakiot								
Pienhiukkaset (PM _{2,5})						vanha;uusi	vanha; uusi	
keräysaika		vakio	kerroin	selitysaste(R ²)	keskivirhe	ka	mediaani	
I jakso vrk	häiriöllä	-0.3	1.160	0.9865	0.5	6.7;7.5	5.7;6.2	265
	ilmanhäiriötä	-0.15	1.141	0.9888	0.4	6.7;7.5	5.7;6.2	260
II jakso vrk	häiriöllä	-0.26	1.043	0.9818	0.6	10.0;10.2	9.4;8.4	49
	ilmanhäiriötä	-0.2	1.041	0.9801	0.6	10.0;10.5	9.4;9.8	46
III jakso vrk	häiriöllä	1.51	0.883	0.8624	0.9	5.7;6.6	5.2;6.2	135
	ilmanhäiriötä	1.52	0.880	0.8647	0.9	5.7;6.5	5.2;6.2	131
III jakso tuntiaineisto	kokoaineisto	1.12	0.953	0.8386	1.2	5.7;6.6	5.0;5.9	3207
	lämminaika	1.26	0.926	0.8458	1.3	5.8;6.6	5.0;6.0	2655
	pakkasaika	-0.2	1.214	0.8389	0.9	5.3;6.2	4.8;5.7	552

Taulukossa 20 on esitetty pienhiukkasten regressio- ja korrelaatioanalyysin tuloksia. Taulukosta voi nähdä, että kaikki korrelaatiokerroimet ovat erittäin hyviä, eikä lumettumishäiriö niissä juurikaan näy. Keskivirheet ovat riittävän pieniä (<5 %).

Taulukko 20. Regressioanalyysin muuttujat, vakiot, keskivirhe ja korrelaatiokerroin sekä korrelaatioanalyysin korrelaatiokerroin Jyväskylässä v 2010- 2011 eri vertailujaksoilla.

Regressioanalyysin muuttuja, vakio, keskivirhe ja korrelaatiokerroin						Korrelaatioanalyysi
Pienhiukkaset (PM _{2,5})						
keräysaika		vakio	muuttuja	keskivirhe	selitysaste (%)	korrelaatiokerroin
I jakso vrk	häiriöllä	-0.3	1.160	0.47	98,7	0.993237
	ilmanhäiriötä	-0.15	1.141	0.43	98,9	0.994378
II jakso vrk	häiriöllä	-0.25	1.043	0.63	98,2	0.990871
	ilmanhäiriötä	-0.19	1.040	0.67	98,0	0.989980
III jakso vrk	häiriöllä	1.51	0.883	0.85	86,2	0.928672
	ilmanhäiriötä	1.52	0.879	0.83	86,5	0.929872
III jakso tuntiaineisto	kokoaineisto					0.915741
	lämminaika					0.919669
	pakkasaika					0.915939

7.1 Ensimmäisen mittausjakson tulkinta

Ensimmäisen jakson aikana esiin tullut lumettumishäiriö vaikutti mittausaineistoon paljon. Häiriötä esiintyi usein ja ne olivat suuria. Mitattujen vuorokausiarvojen korrelaatiot olivat kuitenkin erinomaisia myös häiriön kanssa. Selitysasteetkin olivat tilastollisesti erittäin merkittäviä. Vaikuttaisi siltä että muutaman tunnin kestävät häiriöt eivät näkyneet juurikaan vuorokausitasolla. Erityistapaus syyskuussa (kun häiriötä ei ollut) osoitti laitteiden yhdenmukaisen toiminnan myös tuntitasolla. Mittausten poikkeava aikavakio näkyi kuitenkin tuloksissa.

Hengitettävällä pölyn vuorokausiarvojen regressiosuorien kulmakertoimet poikkeavat toisistaan häiriöllä (1,067) ja ilman häiriötä (1,089) vain vähän, selitysasteet lähenevät 100 %. Regressioanalyysin muuttujat olivat häiriöllä 1,051 ja ilman häiriötä 1,081. Muuttujat olivat aina isompia ilman häiriötä, keskiarvo pysyi aina alle 5 %.

Pienhiukkasten vuorokausiarvojen regressiosuorien kulmakertoimet häiriöllä (1,160) ja ilman häiriötä (1,141) eivät poikkea paljon toisistaan, selitysasteiden ollessa erittäin merkitseviä (n. 99 %). Regressioanalyysin muuttujat olivat häiriöllä 1,060 ja ilman häiriötä 1,041. Muuttujat olivat aina pienempiä ilman häiriötä, keskiarvo pysyi aina alle 5 %.

7.2 Toisen mittausjakson tulkinta

Toisen jakson kesto jäi melko lyhyeksi ja sen aikana esiintyi vertailtavana olleessa laitteessa painemittauksesta aiheutunut häiriö. Pienhiukkasten vertailulaite poistettiin testistä, mikä vähensi PM_{2,5}-tuloksien määrää. Testiaika oli talviaikana. Mitattujen vuorokausiarvojen korrelaatiot olivat kuitenkin erinomaisia vaikkakin heikompia, kuin edellisellä testijaksolla. Selitysasteetkin olivat tilastollisesti merkittäviä. Vaikuttaisi siltä, että hetkelliset säännölliset häiriöt eivät näkyneet juurikaan vuorokausitasolla.

Hengitettävällä pölyn vuorokausiarvojen regressiosuorien kulmakertoimet poikkeavat toisistaan häiriöllä (0,927) ja ilman häiriötä (0,943) vain vähän selitysasteiden ollessa

92 % /94 %. Selitysaste oli siis parempi ilman häiriötä, joten ilmeisesti häiriö näkyi hieman edellistä testiä enemmän tuloksissa. Regressioanalyysin muuttujat olivat häiriöllä 0,927 ja ilman häiriötä 0,943. Muuttujat olivat aina isompia ilman häiriötä, keskivirhe pysyi aina alle 5 %.

Pienhiukkasten vuorokausiarvojen regressiosuorien kulmakertoimet häiriöllä (1,043) ja ilman häiriötä (1,041) eivät poikkea paljon toisistaan, selitysasteiden ollessa erittäin merkitseviä (98 %). Regressioanalyysin muuttujat olivat häiriöllä 1,043 ja ilman häiriötä 1,040. Muuttujat olivat aina pienempiä ilman häiriötä, keskivirhe pysyi aina alle 5 %.

7.3 Kolmannen mittausjakson tulkinta

Kolmas mittausjakso sujui tutkittavalla laitteella hyvin. Mittauspaikalla tutkittavat hiukkaspitoisuudet jäivät pieniksi. Kolmannen jakson aikana jouduttiin pienhiukkasvertailulaitteen tuloksia hylkäämään yli kahden kuukauden ajalta näytelinjan vuodon takia. Pienhiukkasten vertailulaitteella tehtiin välillä vertailutesti hengitettävällä pölyllä, joka vähensi PM_{2,5}-tuloksien määrää. Mittausten kesto jäi melko lyhyeksi. Mitattujen tulosten selitysasteet olivat tilastollisesti merkittäviä.

Hengitettävällä pölyn vuorokausiarvojen regressiosuorien kulmakertoimet poikkeavat toisistaan häiriöllä (1,069) ja ilman häiriötä (1,085) vain vähän, selitysasteiden ollessa erittäin merkitseviä (98 %). Regressioanalyysin muuttujat olivat häiriöllä 1,069 ja ilman häiriötä 1,101. Muuttujat olivat aina isompia ilman häiriötä, keskivirhe pysyi aina alle 5 %.

Pienhiukkasten vuorokausiarvojen regressiosuorien kulmakertoimet häiriöllä (0,883) ja ilman häiriötä (0,879) eivät poikkea paljoa toisistaan. Selitysasteet olivat edelleenkin erittäin merkittäviä (86 %), joskin edellisiä testejä huonompia. Kulmakertoimiin vaikuttaa suuri vakio. Mikäli vakion pakottaisi nolnaan, olisi kerroin häiriöllä 1,107, mutta selitysaste heikkenisi 80 %. Regressioanalyysin muuttujat olivat häiriöllä 0,883 ja ilman häiriötä 0,879. Muuttujat olivat aina pienempiä ilman häiriötä, keskivirhe pysyi aina alle 5 %.

Tällä jaksolla tehtiin loppukesästä vuonna 2011 vertailu vertailulaitteilla keskenään. Selitysasteeksi tuloksille tuli erittäin merkitsevä (97,6 %), mutta pienhiukkastestissä mukana ollut laite näytti yli 6 % pienempää pitoisuutta kuin hengitettävän pölyn laite. Vertailumittarit olivat samoilla paikoillaan. Näytteen keräyskorkeudessa oli kuitenkin n. 1 metrin ero, joka voi olla syynä em. tulokseen.

7.3.1 Tuntiarvojen tarkastelu

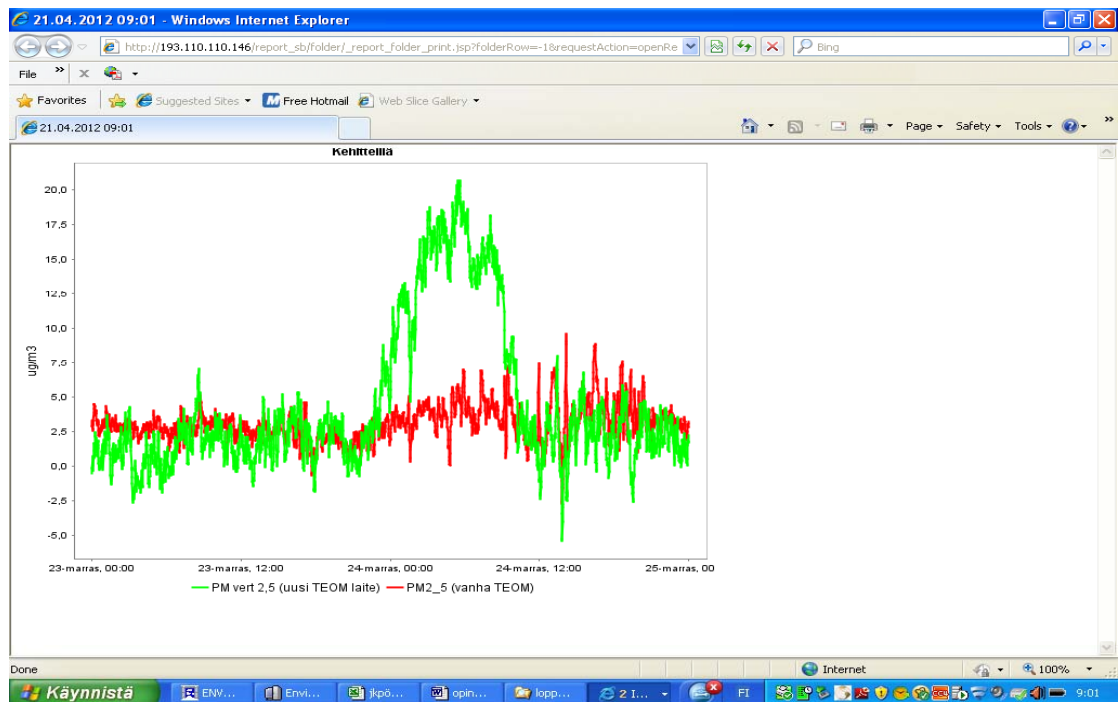
Kolmannen jakson tuntiarvoja jaoteltiin myös lämpötilan mukaan. Koska vertailuaineistossa ei ollut tuloksia eri vuodenaajoilta riittävästi, jaottelu tehtiin lämpimän ajan tunteihin (lämpötila yli 0 °C) ja pakkastunteihin (lämpötila alle 0 °C). Tuloksissa edelleenkin ajoittain näkyneet häiriöt huomioitiin myös tulosten käsittelyssä.

Koko tuntiaineistosta lasketut korrelaatiot ja selitysasteet olivat tilastollisesti erittäin merkittäviä. Kulmakertoimet olivat hengitettävällä pölyllä 1,053 ja pienhiukkasilla 0,953.

Korrelaatiokertoimet olivat hengitettävällä pölyllä pakkasajalla paremmat kuin lämpimällä ajalla, mutta molemmilla tilastollisesti erittäin merkitseviä. Mittausaineistoa oli riittävästi ja suurimmat pitoisuudet lähentelivät 300 µg/m³. Regressiosuorien kulmakertoimet poikkeavat toisistaan selvästi (lämpimän ajan kerroin 1,065 ja pakkasajan kerroin 0,99). Kerroinpoikkeamat voivat aiheutua pienemmästä otoksesta, sillä pakkasajan tuntien osuus on alle 9 % koko aineistosta.

Pienhiukkasilla korrelaatiokertoimet eivät poikenneet paljoa toisistaan, ja selitysasteet olivat erittäin merkitseviä. Mittausaineistoa ei ollut niin kattavasti kuin hengitettävällä pölyllä. Pitoisuustasot jäivät vertailuajana pieniksi (lämpimän ajan maksimi oli 22 µg/m³ ja pakkasajan 16 µg/m³). Regressiosuorien kulmakertoimet poikkeavat toisistaan paljon (lämpimän ajan kerroin 0,926 ja pakkasajan kerroin 1,214). Selitysasteet pysyvät erittäin merkitsevinä, mutta ovat selvästi aiempia tarkasteluja huonompia. Lämpimän ajan regressiosuorassa on selvä pitoisuuspiikki uuden PM_{2,5}:n tuloksissa. Kuvasta 44 voidaan havaita pitoisuuspoikkeama eri pienhiukkaslaitteilla. Poikkeama syntyi 24.11.2011, jolloin uusilaite havaitsi pitoisuuksia, joita vanha laite

ei havainnut. Lämpötila häiriön aikana oli + 5- +6 °C ja ilman suhteellinen kosteus oli 91-95%.

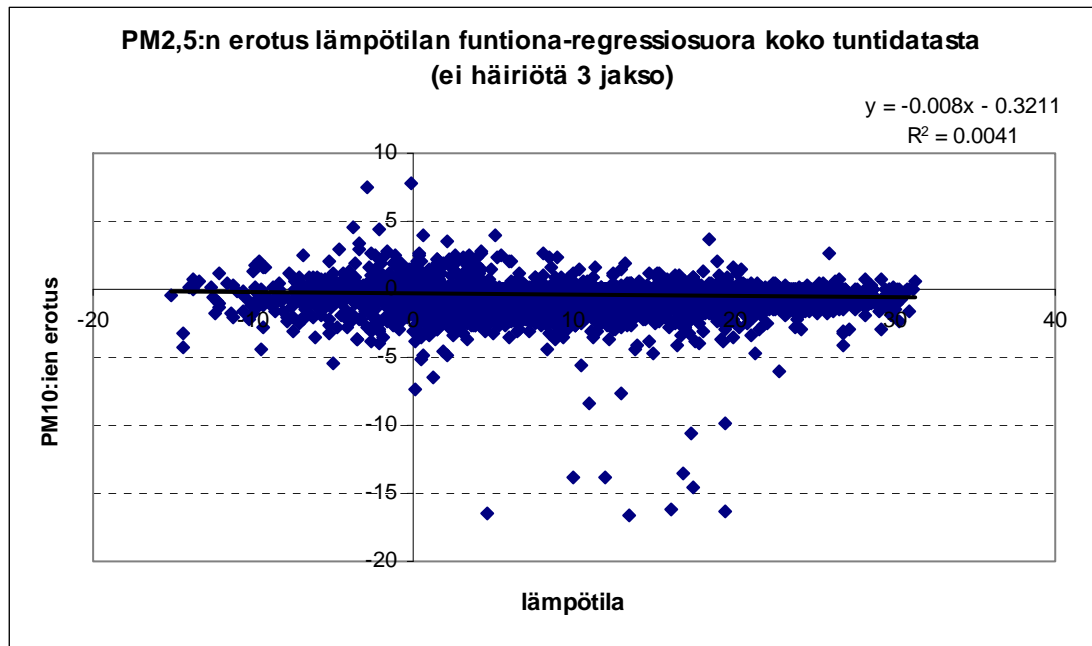


Kuva 44 Pienhiukkasten poikkeamakuva Jyväskylän PM_{2,5}-hiukkasvertailun lämpimän ajan tuntiarvoista 23.11. - 24.11.2011.(kuva otettu mittausohjelmasta)

Pakkasajan pienhiukkasten tuntivertailussa tulee vertailun suurin kulmakerroin aineistolle (1,214). Vaikuttaakin siltä, että uudessa laitteessa olevan virtuaali-impaktorin toiminta kylmässä poikkeaa lämpimän ajan toiminnasta.

Pienhiukkasien pitoisuudet voivat herkästi muuttua ammoniumnitraatin suhteen. Nouseva lämpötila pienentää nitraattipitoisuuksia hiukkasfraktiossa. Lämpötilan ollessa 0 °C lähes kaikki tyypiyhdisteet ovat hiukkasmuodossa (vain NH₄-yhdiste voi poiketa). Myös ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa yhdisteiden olomuotoon. (EPA 1998 s 2-10)

Kuvassa 45 on esitetty regressiosuora Jyväskylän PM_{2,5}-hiukkasvertailun tuntiarvojen erotuksesta 10.03. - 29.12.2011. Siitä voidaan nähdä, että laitteiden poikkeamalla ja lämpötilalla ei ole minkäänlaista riippuvuutta keskenään.



Kuva 45. Regressiosuora Jyväskylän PM_{2,5}-hiukkasvertailun tuntiarvojen erotuksesta 10.03. - 29.12.2011.

7.3.2 Vertailu aiempiin mittauksiin

Tiedossa ei ole, että Jyväskylässä tehdyn kaltaista vertailua olisi tehty aiemmin. TEOM malli 1400 a on hyväksytty PM₁₀- ja PM_{2,5}- mittauksiin soveltuvaksi laitteeksi USA:ssa (EPA 2011, 8).

Suomessa Ilmatieteenlaitoksella toimiva referenssilaboratorio on tehty testauksia, jossa määritettiin korjauskertoimia jatkuvatoimisille laitteille verrattuna referenssilaitteisiin. Referenssilaitteet ovat ominaisuuksiltaan keräimiä, joten niillä saa vain vuorokausinäytteitä, ei tuntinäytteitä. Tästä testistä on tehty raportti vuonna 2010. Siinä vertailussa oli mukana myös TEOM 1400a-laitteisto, jollainen oli käytössä myös Jyväskylän vertailussa. Testauksessa laitteet hyväksyttiin sopiviksi PM₁₀- ja PM_{2,5}-mittauksiin, tosin testijaksot eivät olleet ajallisesti kattavia. Testin tuloksena saatiin vertailulaitteina nyt olleille laitteille korjauskertoimiksi PM₁₀- mittauksiin 1,12, vakioksi 1,26 ja epävarmuudeksi 3,4 % sekä PM_{2,5}- mittauksiin kertoimeksi 1,25 ja vakioksi 1,56, epävarmuudeksi 8,2 %. Rinnakkaisnäytteiden kulmakertoimet poikkesivat toisistaan PM₁₀-mittauksissa pahimmillaan kesäaikana 21 %-yksikköä ja PM_{2,5}-mittauksissa 8 %-yksikköä. (Walden ym. 2010, 68).

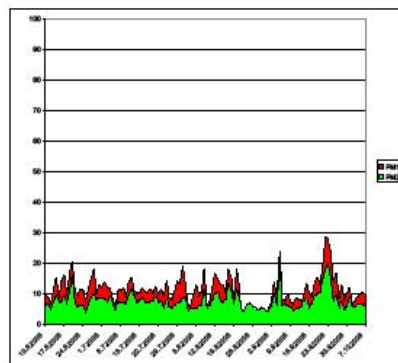
Jyväskylässä tehdyssä tutkimuksessa TEOM:ien kulmakertoimet keskenään eri jaksoissa (vuorokausituloksissa) vaihtelivat PM_{10} -mittauksissa 0,97-1,09 ja $PM_{2,5}$ -mittauksissa 0,88-1,16. Talviajan $PM_{2,5}$ -mittauksien korrelaatiokertoimet olivat testissä kesäaikoja huonompia. Kolmannen jakson tuntiaineiston muuttujakertoimet olivat PM_{10} :lla 1,05; vakion ollessa 0,6 sekä $PM_{2,5}$:lla 0,95 ja vakioksi tuli 1,1.

Kuvassa 46 on esitetty hiukkaskokojakaumia Helsingissä vuonna 2008 tehdyissä mittauksissa. Kuvista voi nähdä, että kesäaikana pienihiukkasten osuus on selvästi suurempi kuin keväällä.

PM_{10} vertailun edustavuus

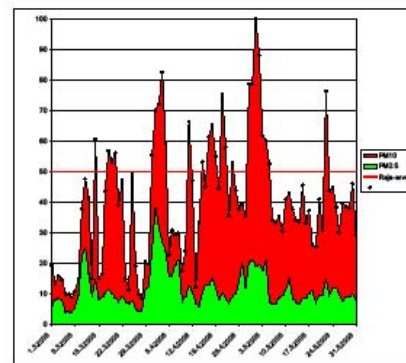
Kallio $PM_{10}/PM_{2.5}$

9.6. - 7.10.2008



Mannerheimintie $PM_{10}/PM_{2.5}$

1.3. - 31.5.2008



18.5.2012

Anssi Julkunen

6

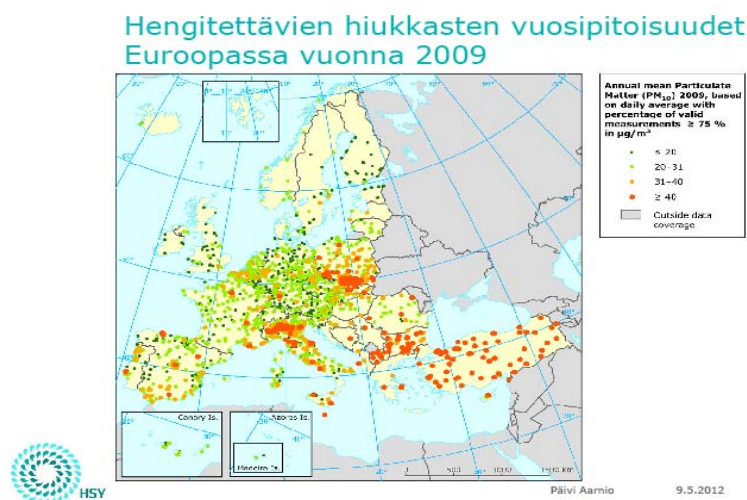
Kuva 46. HSY:n tekemiä hiukkaskoon vertailuja Helsingissä vuonna 2008 (Julkunen 2012, 6)

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pienhiukkaset aiheuttivat Suomessa vuonna 2000 arviolta lähes 1 300 ennen aikaista kuolemaa ja yli 600 uutta pysyvää keuhkoputkentulehdusta. Lisäksi arviolta kymmenien tuhansien hengitys- ja sydänsairaiden ja lasten vointi huononi toistuvasti ulkoilman pienhiukkasten vuoksi. Myös lääkkeiden käyttö lisääntyi. Lisääntyneet terveydelliset haitat aiheuttivat arviolta 1–2,9 miljardin euron suorat ja epäsuorat taloudelliset menetykset vuodessa. (Salonen R. ym. s.20 v. 2006)

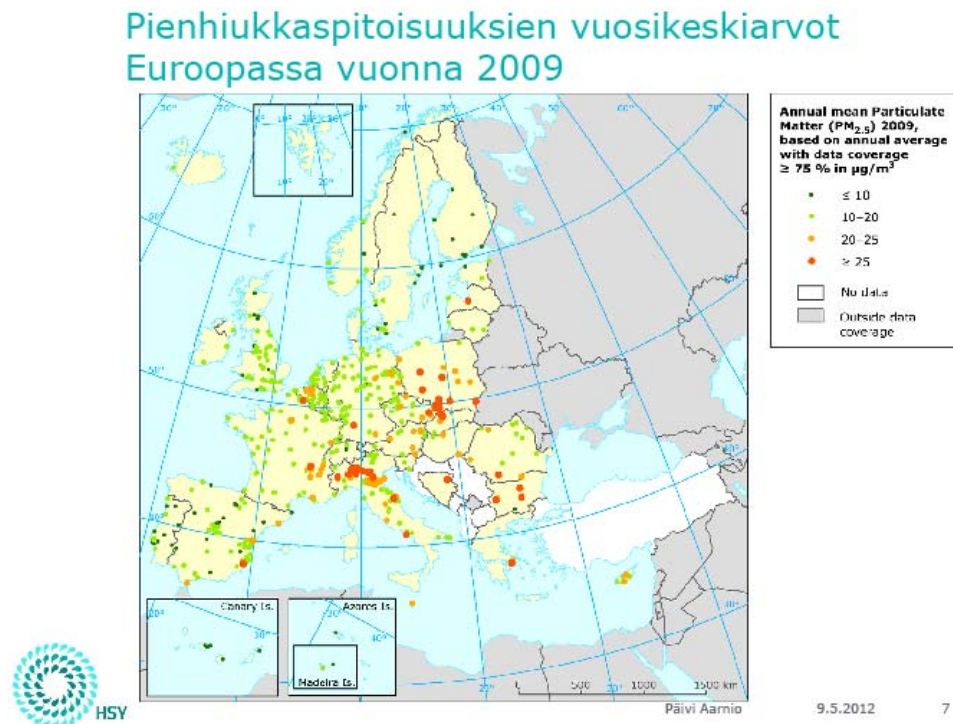
Ilmassa leijuvilla hiukkasilla on terveysvaikutuksia. Hiukkasten ihmisen terveyteen vaikuttavat syyt eivät vielä ole täysin selvillä. Vaikuttaako siihen hiukkasen koko, muoto, aktiivinen pinta-ala, muodostumisaika, sisältämät aineet vai kenties lukumäärä on vielä tutkinnan alla. Näin ollen uusi mittalaite, joka tuo esiin uuden tutkittavan hiukkasfraktion mittaukseen (PM_{2,5}- PM₁₀), on tarpeellinen.

Kuvassa 47 on esitetty hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuuksia Euroopassa vuonna 2009. Siitä voi havaita, että mittauksia tehdään varsin kattavasti Keski-Euroopassa, mutta Pohjoismaissa mittausverkko ei vielä ole järin runsas. Vuosikeskiarvon raja-arvo ylittyy varsin monessa paikassa, etenkin itäisessä ja eteläisessä Euroopassa.



Kuva 47. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvot Euroopassa vuonna 2009 (Aarnio 2012, 4)

Kuvassa 48 on esitetty pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Euroopassa vuonna 2009. Siitä voi havaita, että alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n pitoisuuksia on harvassa, lähinnä Suomessa. Raja-arvon ylittäviä pitoisuuksia on varsin runsaasti.



Kuva 48. Pienhiukkasten vuosikeskiarvot Euroopassa vuonna 2009 (Aarnio 2012, 7)

Vertailtaessa mittauksia keskenään tulee tiedostaa, että mittausmenetelmät vaihtelevat suuresti. Tulosten käsittelyssä käytettyjä kertoimia on vasta alettu kerätä ja siten tulokset saattavat poiketa suuresti keskenään.

Tutkittavana olleeseen TEOM 1405-laitteeseen tuli mittausten aikana useita vikoja. Viat saatiin kuitenkin maahantuojan taholta korjattua. Laitteiston hiukkasleikkurissa esiintynyt ”lumettumisvika” on virtuaali-impaktorin lisäeristyksistä huolimatta edelleenkin ongelma, mutta vika on niin selvä, että sen pystyy kuitenkin tulosten editoinnissa huomioimaan.

On huomattava, että PM_{2,5}-hiukkasten kemiallinen koostumus eroaa huomattavasti PM₁₀-hiukkasten kemiallisesta koostumuksesta, ja varsinkin puolihaihtuvat hiukkaset (esimerkiksi ammoniumnitraatti ja orgaaniset yhdisteet) rikastuvat pieniin PM_{2,5}-fraktioihin. PM₁₀- PM_{2,5}-kokoluokan hiukkaset koostuvat lähinnä inerteistä aineista,

kuten muun muassa silikasta ja metallioksidoista, ja näin ollen PM₁₀-hiukkasnäytteiden keruussa havaittu puolihaihtuvien hiukkasten häviö voi olla PM_{2,5}-mittauksissa vielä tuntuvampi. Häviöt riippuvat olennaisesti aerosolien koostumuksesta, haihtuvien hiukkasten määrästä ilmassa sekä mahdollisista ulkoilman ja keräimen lämpötilan eroista. Tämän vuoksi häviöissä voi esiintyä tärkeitä vuodenaikaan ja maantieteelliseen sijaintiin liittyviä vaihteluja. Esimerkiksi Skandinaviassa on saatu tuloksia, joissa häviö oli kevätepisodin aikana, jolloin teiden hiekoituksesta ilmaan pääsevien hiukkasten merkitys on suuri, lähellä 0 %, kun taas Keski-Euroopassa talviepisodin aikana todettu häviö oli jopa 70 % (syynä aerosolit, joiden ammoniumnitraattipitoisuus on korkea). Tätä taustaa vasten voidaan ennakoita, että lämmitetyn näytteenottojärjestelmän keräämistä näytteistä mitatut PM_{2,5}-massakonsentraatiot ovat huomattavasti alhaisempia kuin sellaisten järjestelmien, joiden näytteet on kerätty ulkoilman lämpötilassa. (Eur Lex 2003)

8.1 Hengitettävä pöly (PM₁₀)

Hengitettävän pölyn aineistoa oli vertailussa riittävästi. Aineisto painottui enemmän lämpimään aikaan, etenkin tärkeimmässä kolmannessa jaksossa. Virtuaali-impaktorin lisäeristys ei vaikuttanut PM₁₀:n leikkausrajaan, sillä eristys tehtiin vasta jo leikatuille hiukkasille. Pitoisuudet seurasivat hyvin toisiaan läpi testauksen. ”Lumettumisilmiö” tapahtui pääasiassa alle 2,5:n µm:n hiukkaskoossa. Massapitoisuuteen vaikuttavat pienemmät hiukkaset selvästi isoja hiukkasia vähemmän. Hengitettävän pölyn hiukkasiin sisältyvät myös alle 2,5:n µm:n hiukkaset, joten em. ongelma näkyy myös tässä aineistossa.

Taulukkojen 16 - 17 kulmakertoimien perusteella ei ole syytä lähteä muuttamaan aiemmin TEOM 1400a:lle määriteltyjä kertoimia. Mitattaessa hengitettävää pölyä TEOM 1405-laitteella voi käyttää 1400a-laitteelle määriteltyjä kertoimia (nykyisin käytössä on kerroin 1,03 ja vakio + 3). Ilmanlaadun mittaajatapaamisessa Seinäjoella toukokuussa 2012 päätettiin, ettei referenssilaboratorion määrittämiä uusia kertoimia hengitettävälle pölylle (kerroin 1,25 ja vakio + 1,56) oteta käyttöön, koska mittaukset tehtiin pääasiassa kesällä. Testijakson aikana oli siten tuloksissa keskimääräistä suurempi osuus pienhiukkasia. Ennen uusien kertoimien käyttöönottoa tulee tehdä vielä mittauksia ainakin kevätpölyjen aikana.

8.2 Pienhiukkaset (PM_{2,5})

Pienhiukkasten aineisto jäi tässä vertailussa vajaaksi. Mittausaineisto painottuu selvästi lämpimään aikaan ja pitoisuustasot jäävät siten mataliksi. Virtuaali-impaktorin lisäeristys ei näyttänyt suoraan vaikuttavan vertailutuloksiin. ”Lumettumishäiriö” tapahtui pääasiassa tässä alle 2,5:n µm:n hiukkaskoossa, joten se vaikutti enemmän tähän aineistoon. Häiriön esiintymiskerrat saatiin vähenemään alle neljäsosaan ja sen vaikutukset pienemmäksi yksinkertaisella lämpöeristyksellä. Vaikuttaisi siltä, että lisäämällä eristystä hieman laajemmalle, saattaisi häiriö poistua kokonaan. Pienikin lämpötilamuutos saattaa kuitenkin aiheuttaa ongelmia itse leikkauskohtaan muuttamalla virtausnopeutta virtuaali-impaktorin leikkauskohdalla.

Tuntiaineistoa tarkastellessa voi selvästi nähdä pakkasajan poikkeavuuden muuhun aikaan verrattuna. Kulmakerroin on isoin ja selitysaste huonoin. Syy saattaa olla, että virtuaali-impaktorin hiukkasen leikkaustoiminta ei ole samanlaista PM_{2,5}-esierottimen kanssa. Vaikka laite kerää saman määrän pitoisuutta (PM₁₀), se jaottelee sen erilailla hiukkaskokoon mukaan. Tutkittava TEOM 1405d-laite havaitsi marraskuussa 2011 pienhiukkasia, joita vanha TEOM järjestelmä piti isompina hiukkasina. Lämpötila ei ollut pakkasella siinä tilanteessa (n.+5 °C). Laitteen virtuaali-impaktorin toiminta sen jakaessa näytettä alle PM_{2,5} / yli PM_{2,5}-fraktioon vaatisi vielä jatkoselvittelyä. Lämpötilan ohella myös kosteuden vaikutusta virtuaali-impaktorin toimintaan tulisi mielestäni vielä selvittää.

Taulukkojen 18 - 19 kulmakertoimien perusteella ei ole syytä lähteä muuttamaan aiemmin TEOM 1400a:lle määriteltyjä kertoimia. Mitattaessa pienhiukkasia TEOM 1405-laitteella voi käyttää 1400a-laitteelle määriteltyjä kertoimia. Tässä tutkimuksessa käytettiin korjauskerrointa 1,03 sekä vakiota +3. Mitatut tulokset muutetaan referenssilaboratorion antamiin korjauskertoimiin seuraavasti:

$((\text{mitattu tulos} - 3) / 1,03) * 1,12 + 1,26 = \text{referenssilaboratorion määrittämä arvo.}$

9 LAIT JA ASETUKSET:

38/2011 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY EYVL
(32008L0050); EUVL N:o L 152, 11.6.2008, s. 1

Valtioneuvoston asetusilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 20 päivänä tammikuuta
2011 JULKAISIJA: OIKEUSMINISTERIÖ EDITA PRIMA OY / EDITA
PUBLISHING OY ISSN 1455-8904 / 1237-3419 (painettu)

SFS- EN 12341 ILMAN LAATU. Hiukkasten PM10-osuuden määrittäminen.
Referenssimenetelmä ja kenttätesti mittausten menetelmien vastaavuuden osoittamiseksi.
21.12.1998; Suomen standardisoimisliitto SFS ry PL 116 00241 Helsinki

SFS- EN 14907 Ambient air quality. Standard gravimetric measurement method for
determination of the PM_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter. 07.11.2007
Suomen standardisoimisliitto SFS ry PL 116 00241 Helsinki

SFS- CR 14377 Air quality. Approach to uncertainty estimation for ambient air refer-
ence measurement methods. 01.01.2002 Suomen standardisoimisliitto SFS ry PL 116
00241 Helsinki

10 LÄHTEET

Aarnio, Päivi HSY 2012. Luentomoniste Ilmansuojeluyhdistyksen järjestämässä ilmanlaadun mittaajatapaamisessa Seinäjoella 8-9.5.2012 otsikolla ”Suomen ilmanlaatu Euroopan kartalla”. <http://www.isy.fi/mittaajat.html>. Luettu 25.5.2012

Acosta, Ritchie, Dhaniyala S., May A., & Holsen T. Moniste Characterization of a Virtual Impactor Department of Civil and Environmental Engineering Saatu sähköpostitse Kontram Oy:ltä 25.1.2010.

Anttila, Pia, Salmi, Timo Ilmatieteen laitos 2008.

http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/metsapalot_06.php. Luettu 17.10.2010

Edwards, Alice, Trost, Barbara, Fremgen, Dan 2009. FDMS (filter dynamics measurement system) standard operating procedure. Alaska Department of environmental conservation.

EPA 1998. Guidance for using continuous monitoring in PM_{2,5} monitoring networks. EPA-454/R-98-012. Office of air quality planning and standards U: S Environmental protection agency. Research triangle park, NC 27711.

<http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/p-98-012.pdf>. Luettu 14.08.2011

EPA 2011. List of designated reference and equivalent methods. United states environmental protection agency. National exposure research laboratory. Human exposure & atmospheric sciences division (md-d205-03). Research triangle park, NC 27711. 919-541-5691

Eur Lex 2003. <http://eur->

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003D0037:FI:HTML](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003D0037:FI:HTML)

Luettu 29.4. 2012

GRIMM 2011; www.grimm-aero-sol.com/downloads/datasheets/en/GrimmAerosolTechnik_Enviro_GeneralCatalogue.pdf Luettu 15.4.2012

Hilli-Lukkarinen, Milla 2009. Pienhiukkasten lukumääräpitoisuus ja terveysvaikutukset (aktiivinen pinta-ala) vuosina 2005-2007 Tampereella. Tampereen kaupunki Ympäristösuojelun julkaisuja 3/2009 46 s. ISSN: 1798-0197; ISBN: 978-951-609-407-9 Tampereen yliopistopaino Oy

Hiukkasfoorumi 2012. <http://hiukkastieto.fi/taxonomy/term/27>. Luettu 15.4.2012

Hänninen, Otto, Leino, Olli, Kuusisto, Erkki, Komulainen, Hannu, Priha, Eero, Meriläinen, Päivi, Haverinen-Shaughnessy, Ulla, Pekkanen, Juha 2010. Esitys Lappeenrannan ilmansuojelupäivillä elokuussa v. 2010 otsikolla ”Elinympäristön terveysriskit” .

Ilmanlaatuportaali1. 2010.

<http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/pm10.html>. Luettu 13.10.2010

Ilmanlaatuportaali2. 2010.

<http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/pm25.html>. Luettu 15.10.2010

Ilmatieteenlaitos 2011. Pienhiukkasten alustava arviointi Suomessa v 2011.

http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/pienhiukkasten_alustava_arviointi_2011_2.pdf. Luettu 15.4.2012.

Jokiniemi, Jorma, Tissari, Jarkko, Lamberg, Heikki, Nuutinen, Kati, Ruusunen, Jarno, Willman, Pentti, Ihalainen, Mika, Hukkanen, Annika, Penttilä, Terhi, Nuutinen, Ilpo 2010 (Itä-Suomen yliopisto; pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorio).

”Puun pienpolton hiukkaspäästöt”.

<http://www.greenetfinland.fi/fi/images/b/ba/ISYO19022010.pdf>. Luettu 27.7.2011

Julkunen, Anssi HSY 2012. Luentomoniste Ilmansuojeluyhdistyksen järjestämässä ilmanlaadun mittaajatapaamisessa Seinäjoella 8-9.5.2012 otsikolla ”Näkemyksiä

jatkuvatoimisista hiukkasmittalaitteista ja korjauskertoimista”.

<http://www.isy.fi/mittaajat.html>. Luettu 25.5.2012.

Kupiainen, Kaarle 2011 (vanhempi tutkija SYKE Tutkimusosasto, Globaalimuutoksen tutkimusohjelma) ”Liikenteen pienhiukkaspäästöt ja niiden vaikutus

väestöaltistukseen” 15s. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=86530>.

Luettu 27.7.2011

Lanki, Timo 2010 (ympäristöepidemiologian yksikkö; THL) luentomuistio hiukkaseminaarista Kuopiossa 6/2010 ”Henkilökohtainen pienhiukkasaltistuminen ja terveyshaitat”.

http://www.kuopioinnovation.fi/upload/7015440590904d38e35615ff0672d21c/Asiakirjat/2010/Lanki_PM-altistuminen_ja_terveys_kuopio_030610_e.pdf. Luettu

20.07.2010.

Lanki, Timo 2010 Terveyden ja hyvinvoinnin laitos Ympäristöepidemiologian yksikkö. Esitys Lappeenrannan ilmansuojelupäivillä elokuussa v. 2010 otsikolla

”Ultrapienet, pienet ja karkeat hiukkaset; Miten terveyshaitat eroavat?”.

Laukkanen, Timo 2005. ”Ilmansuojelun perusteet oppikirja ilman pilaantumisesta ja sen ehkäisemisestä. J. P. Pulkkisen kalibrointi Ky Mikkeli 2005. ISBN 952-91-9391-2. Savilahden kirjapaino Ky.

Laukkanen, Timo 2009 powerpoint esitys Jyväskylän ilmanlaadusta. J. P. Pulkkisen kalibrointi Ky Mikkeli 2009.

Lipasto, VTT 2011. http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/bens_s_t.htm.

Luettu 13.04.2012.

Oeder S., Schober W., Weichenmeier I., Schierl R. Dietrich S., Fromme H., Lintelmann J., Behrendt H. and Buters J. Supistelma esitys otsikolla ”Differential gene expression of inflammatory and xenobiotic metabolizing genes after exposure to elementary classroom indoor/outdoor PM10” Helsingissä syyskuussa 2010 (IAC 2010 International Aerosol Conference).

Salmi, Timo Ilmatieteenlaitos 2012. Sähköpostilla 4.4.2012 saatu tieto ilmanlaatuportaalissa olevasta laitekannasta.

Salonen, Raimo, Pennanen, Arto 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta. FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys. TEKES. Taitto: Quickmac Oy Kirjapaino: Libris Oy, Helsinki. ISBN 952-457-250-8. www.tekes.fi/fi/document/43037/fine_terveys_pdf. Luettu 2.5.2012.

Tagaris E., Liao K., Delucia A., Deck L. Amar P. and Russell A. Supistelma esitys otsikolla ”Climate-induced changes on PM_{2,5} related premature mortality in 2050 over US” Helsingissä syyskuussa 2010 (IAC 2010 International Aerosol Conference).

VTT 2012. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_1_1.htm. Luettu 28.4.2012.

Walden, Jari, Hillamo, Risto, Aurela, Minna, Mäkelä, Timo, Laurila, Sisko 2010. Demonstration of equivalence of PM_{2,5} and Pm₁₀ measurement methods in Helsinki 2007-2008 104 s. Ilmatieteenlaitos Helsinki 2010. ISBN 978-751-697-725-9 (nid) ISBN 978-751-697-726-6 (pdf) ISSN 1796-1203.

LIITE 1

Suomessa ilmanlaatuportaalin mukaan käytössä olevat hiukkasmittauslaitteet

Timo Salmelta saatujen tietojen mukaan ilmanlaatuportaalissa 22.3.2012 olevien eri hengitettävän pölyn mittalaitteiden lukumäärät laitetyypeittäin:

PM10-mittauslaitteita Suomessa; Ilmanlaatuportaali 22.3.2012	
Mittauslaite	Kpl
FH 62 I-R	12
Grimm 180	6
TEOM 1400	5
TEOM 1400A	20
TEOM 1400 AB	2
TEOM 1405	2
TEOM 1405D	1
TEOM 1405-DF	1
Environnement MP101M	4
ThermoESMAndersen FH 62 I-N	1
ThermoESMAndersen FH 62 I-R	3
PM10, Sharp 5030	3
Yhteensä	60

Timo Salmelta saatujen tietojen mukaan ilmanlaatuportaalissa 22.3.2012 olevien eri pienhiukkasten mittalaitteiden lukumäärät laitetyypeittäin:

PM2,5-mittauslaitteita Suomessa; Ilmanlaatuportaali 22.3.2012	
Mittauslaite	kpl
FH 62 I-R	7
Grimm 180	5
TEOM 1400	1
TEOM 1400A	7
TEOM 1400 AB	4
TEOM 1405	1
TEOM 1405D	1
TEOM 1405-DF	1
Environnement MP101M	2
Yhteensä	29