



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ULKOILMAN ILMANLAADUN HIUKKASMITTALAITTEIDEN VASTAAVUUDEN MÄÄRITYS

TEKIJÄ: Taneli Mäkelä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Taneli Mäkelä	
Työn nimi Ulkoilman ilmanlaadun hiukkasmittalaitteiden vastaavuuden määrittäminen	
Päiväys	13.4.2015
Sivumäärä/Liitteet	32/2
Ohjaaja(t) päätoiminen tuntiopettaja Teemu Räsänen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion kaupunki, kaupunkiympäristön palvelualue, alueelliset ympäristönsuojelupalvelut	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää optiseen menetelmään perustuvaa Osiri-hiukkasmittalaitteen käyttökelpoisuutta jatkuvatoimiseen tai suuntaa-antaviin ulkoilmanlaadun mittauksiin. Hyvän ilmanlaadun turvaamiseksi on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/50/EY täytäntöön panemiseksi säädetty Suomessa Valtioneuvoston asetus 38/2011, jonka tarkoituksena on antaa muun muassa ulkoilmanlaadun mittaamisen laatutavoitteet jatkuvatoimille ja suuntaa antaville mittauksille. Kaupungin käytössä oleva mittalaite Osiris ei saavuttanut laatutavoitteita, kun mitattiin hiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä. Työssä tarkoituksena oli vertailla keskenään Osirista ja muita Kuopion kaupungin käytössä olevia hiukkasmittalaitteita ja selvittää miten hyvin tuloksia voidaan vertailla keskenään ja voiko vertailun avuksi tehdä korjauskertomia laitteiden välille.</p> <p>Opinnäytetyötä varten Kuopion kaupungin alueelliset ympäristönsuojelupalvelut ovat mitanneet hiukkaspitoisuuksia vuosina 2013 - 2015 Kuopiossa kolmesta eri mittauspisteestä Kasarmipuistosta, Tasavallankadulta ja Niiralasta. Mittauksissa oli rinnan Osiris, TEOM 1400a tai TEOM 14005 ja MP101M ja Osiriksen tuloksia verrattiin näihin kahteen laitteeseen. Hiukkasia mitattiin kokoluokassa alle 10 mikrometriä sekä alle 2,5 mikrometriä. Saaduista mittaus-tuloksista tehtiin regressioanalyysi pienimmänneliösumman suoran avulla sekä hajontakuvat, joiden avulla pyrittiin vertailemaan eri laitteiden tuloksia.</p> <p>Tulokset eivät olleet täysin yhteneviä joka mittauspisteessä ja Kasarmipuiston mittaus tulokset olivat hieman ristiriitaisia muihin mittauspisteisiin verrattuna. Osiriksen ja TEOM 1400a/14005 laitteiden välille saatiin laskettua korjauskertoimet mutta epävarmuus tuloksissa on suurta, joka on yleistä näillä ulkoilman hiukkasmittalaitteilla. Kasarmipuiston ja Niiralan mittausjaksot jäivät melko lyhyeksi, joten paremman arvion saamiseksi tarvitsisi mitata pidempi mittausjakso, esimerkiksi koko kalenterivuosi, jolloin tulisi mukaan koko vuoden sääolosuhteet ja -ilmiöt.</p>	
Avainsanat Ilmanlaatu, hiukkaset, regressio, korjauskertoimet, hiukkasmittalaite	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Taneli Mäkelä			
Title of Thesis Evaluation of Equivalence of Ambient Air Particle Monitors			
Date	13 April 2015	Pages/Appendices	32/2
Supervisor(s) Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners City of Kuopio, Regional Environmental Protection services			
<p>Abstract</p> <p>The goal of this thesis was to study the suitability of the Osiris environmental monitor for monitoring particulate matter in fixed or indicative measurements of ambient air. The Government Decree for securing good air quality (38/2011) has been set to enforce the European directive for Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe (2008/50/EC) and it includes data quality objectives for fixed and indicative measurement of ambient air. The Osiris environmental monitor, which uses an optical measuring method, did not meet these data quality objectives when monitoring particle sizes less than 2.5 micrometers. City of Kuopio has these instruments and the aim of this thesis was to compare the measurements of the Osiris environmental monitor to other instruments used to measure ambient air and analyze if measurements are comparable and is it possible to calibrate the data between Osiris and other instruments to make data more comparable. The city of Kuopio aims to keep on using Osiris environmental monitors for indicative measurements.</p> <p>Regional Environmental Protection Services of the city of Kuopio have measured particle concentrations between 2013 and 2015 in three different locations for this thesis. The locations are Kasarmipuisto, Tasavallankatu and Niirala and they all are located in Kuopio. During these measurements, there were Osiris and TEOM 1400 or TEOM 14005 measuring particle concentrations simultaneously and in Tasavallankatu also MP101M particulate monitor was included. Particles smaller than 10 micrometers and less than 2.5 micrometers were included in the measurement. After measurements, a regression analysis was made using least square approximation and scatterplots were made between different monitors and these were used to compare the results.</p> <p>The results were not fully consistent. The results in Kasarmipuisto were contradictory in comparison to other locations and the reason for it is not clear. Calibration factors were calculated between Osiris and TEOM 1400a/14005 but the uncertainty in the results was quite high, which is common with outdoor particle monitors, so the calibration factors are not definite. For more accurate calibration factors more measurements are needed because the measuring periods in Kasarmipuisto and Niirala were quite short. For a better estimate of calibration factors, the measurement period of a full calendar year would be ideal so that measurements would include all the different weather conditions.</p>			
Keywords Air quality, particles, regression, calibration, real time particle monitor			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin kevään 2015 aikana ja haluaisin kiittää Kuopion kaupungin alueellisia ympäristönsuojelupalveluita tämän mielenkiintoisen opinnäytetyön tarjoamisesta. Erityisesti haluan kiittää ympäristönsuojelutarkastaja Erkki Pärjälää ja ympäristötarkastaja Mikko Sokuraa työn ohjaamisesta.

Savonia-ammattikorkeakoulun puolelta haluan kiittää työn ohjaajaa Teemu Räsästä työn ohjauksesta.

Kuopiossa 10.4.2015

Taneli Mäkelä

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	ILMAKEHÄN HENGITETTÄVÄT- JA PIENHIUKKASET.....	7
2.1	Hiukkasten ominaisuuksia.....	7
2.2	Hiukkasten vaikutukset ihmiseen ja ympäristöön.....	9
3	ULKOILMAN HIUKKASTEN MITTAAMINEN	10
3.1	Ulkoilman hiukkasten seuranta sekä ohje- ja raja-arvot	10
3.2	Jatkuvatoimisten mittareiden vastaavuuden todistaminen referenssilaitteeseen	11
3.3	Vertailussa olevat Kuopion kaupungin hiukkasmittalaitteet.....	12
3.3.1	TEOM Series 1400a/1405	12
3.3.2	MP101M	14
3.3.3	Osiris.....	16
4	KOEJÄRJESTELY	18
4.1	Mittauspaikat ja mitattavat hiukkaset	18
4.2	Datan keruu ja huoltotoimenpiteet	19
4.3	Datan käsittely analysointia varten ja analysoinnissa käytetty tilastollinen menetelmä	19
5	HIUKKASMITTALAITTEIDEN VERTAILUN TULOKSET	20
5.1	Kasarmipuisto.....	20
5.1.1	Hengitettävien hiukkasten mittaustulosten vertailu	20
5.1.2	Pienhiukkasten mittaustulosten vertailu	22
5.2	Tasavallankatu.....	24
5.3	Niirala	24
5.4	Tulosten korjaus	26
6	TULOSTEN TULKINTA.....	27
7	YHTEENVETO.....	28
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	30
	LIITE 1: MITTAUSASEMIEN SIJANNIT	33

1 JOHDANTO

Kuntien on seurattava ympäristön tilaa asianmukaisin menetelmin paikallisista oloista riippuen ja turvattava hyvä ilmanlaatu alueellaan (Ympäristönsuojelulaki 2014, 143 § ja 144 §). Muun muassa näiden lain pykälien velvoittamana Kuopion kaupunki, monen muun Suomen kaupungin lisäksi, mittaavat jatkuvatoimisesti ilmanlaatua alueellaan.

Hyvän ilmanlaadun turvaamiseksi on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/50/EY täytäntöön panemiseksi säädetty Suomessa Valtioneuvoston asetus 38/2011, jonka tarkoituksena on antaa sitovat ja tavoitteelliset enimmäispitoisuudet, ohjeet ilmanlaadun mittaamiseen tai arvioimiseen, ohjeet suunnitelmien ja raporttien sisältöön ja yleisön tiedottamiseen (Valtioneuvoston asetus 38/2011, 1 §). Direktiivissä 2008/50/EY on annettu ilmanlaadun mittaamiseen vertailumenetelmä mutta mitä tahansa muuta menetelmää, joka on yhtenevä vertailumenetelmän kanssa, voidaan käyttää ilmanlaadun jatkuvatoimiseen mittaukseen (Valtioneuvoston asetus 38/2011, liite 10.) Hiukkasten mittaamiseen vertailumenetelmänä käytetään gravimetristä menetelmää, jossa ilmavirta kulkee sopivien suodattimien läpi ja suodattimille kerääntyneiden hiukkasten massan ja läpi kulkeneen ilmamäärän perusteella saadaan hiukkaspitoisuus (Ballesta, Febo, Fernandez-Patier, Fröhlich, Garcia, Hafkenschied, Jacobi, Meulen, Munns, Pfeffer, Poulleau, Saunders, Walden, Woods 2010, 15.) Vertailumenetelmä ei itse ole käytännöllinen jatkuvatoimiseen mittaukseen, koska tulokset joudutaan analysoimaan laboratoriossa eikä tuloksia siis saada reaaliajassa.

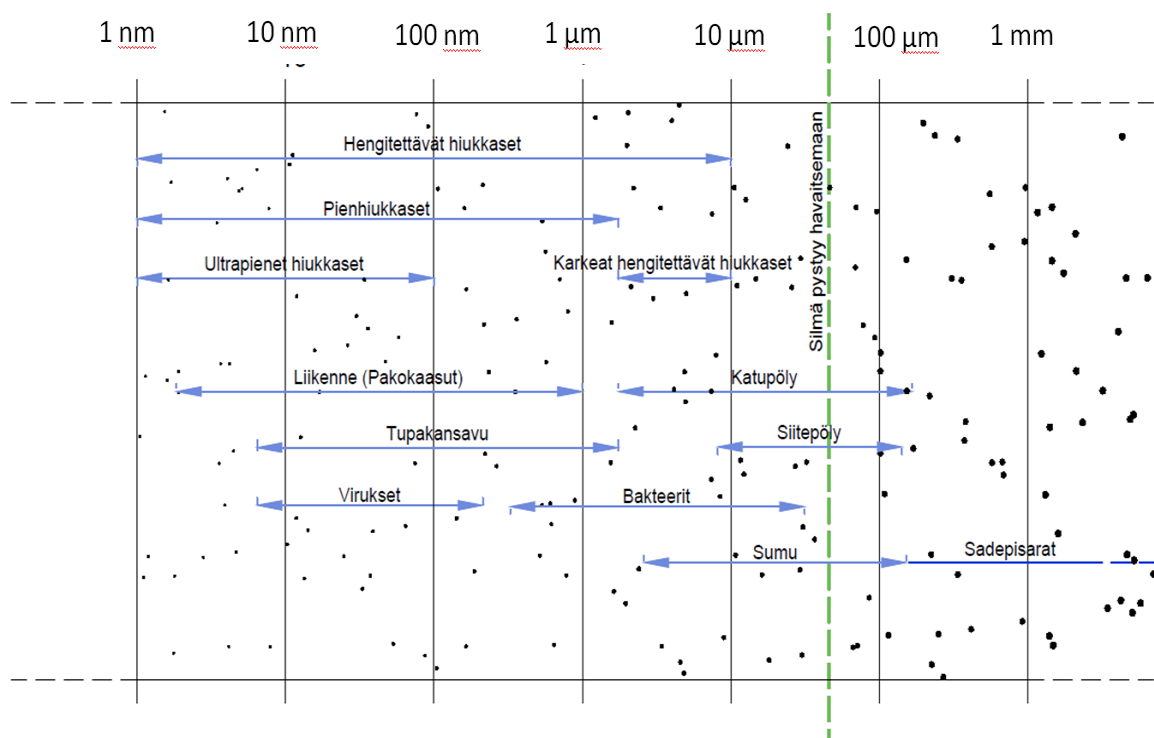
Kuopion kaupungin alueelliset ympäristönsuojelupalvelut ovat vastuussa Kuopion kunnan alueen ilmanlaadun seurannasta, ja lisäksi Kuopion kaupunki vastaa Varkauden ja Siilinjärven kunnan ilmanlaadun seurannasta kuntien välisten sopimuksien mukaisesti. Kuopion kunnan alueella toimii viisi pitkäaikaista jatkuvatoimista ilmanlaadun mittausasemaa ja kolme Varkaudessa (Ilmanlaatuportaalii.fi a). Hiukkasia mitataan jatkuvatoimisesti seitsemässä näistä mittausasemista.

Ilmatieteen laitos testasi vuosina 2007–2008 hiukkasmittalaitteiden sopivuutta jatkuvatoimiseen mittaukseen direktiivin 2008/50/EY mukaisesti (Waldén, Hillamo, Aurela, Mäkelä, Laurila 2010.) Tutkimuksen tuloksena mm. Osiris-mittalaite ei läpäissyt kaikkia valtioneuvoston asetuksen 38/2011 liitteen 10 mukaisia laatutavoitteita ja kyseinen laite näin ollen ei sopisi kaikilta osin viralliseen jatkuvatoimiseen tai suuntaa-antavaan mittaukseen. Kuopion kaupungilla on kuitenkin näitä laitteita hallussa, joten tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena selvittää, miten näitä Osiris-laitteita voitaisiin käyttää suuntaa-antavina mittalaitteina hiukkaspitoisuuksista. Osiris on ollut käytössä rinnan muiden Kuopion kaupungin testin läpäisseiden hiukkasmittalaitteiden kanssa vuosina 2013–2015 kolmella eri mittausasemalla. Opinnäytetyössä tehdään näistä mittaustuloksista regressioanalyysit ja havainnolliset kuvaajat ja yritetään selvittää niiden avulla miten Osirista voitaisiin verrata muihin mittalaitteisiin. Tavoitteena on, että kyseisiä Osiris-laitteita voitaisiin käyttää jatkossa suuntaa-antavina mittalaitteina arvioitaessa ilmanlaatua tai jatkuvan ilmanlaadun mittauksen tarvetta.

2 ILMAKEHÄN HENGITETTÄVÄT- JA PIENHIUKKASET

2.1 Hiukkasten ominaisuuksia

Ilmakehän hiukkaset ovat kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia, joiden koko vaihtelee sadoista mikrometreistä muutamiin nanometriihin. Hiukkasten koon lisäksi, hiukkasten koostumus ja muoto vaihtelevat paljon ja näihin ominaisuuksiin vaikuttaa se, mistä lähteestä hiukkaset ovat peräisin. Yleensä jako pienhiukkasten ja karkeiden hiukkasten välillä tehdään 2,5 mikrometrin kohdalta. Ultrapienet hiukkaset ovat tavallisesti alle 100 nanometriä. Koko on tärkeä parametri hiukkasten kulkeutumiseen ilmakehässä, vuorovaikutukseen ympäristön kanssa ja terveysvaikutuksiin. Kuvassa 1 on tavallisia ilmakehässä olevia hiukkasia ja niiden halkaisijoiden kokoluokkia. (Hiukkastieto.fi b, Hiukkastieto.fi g.)



Kuva 1. Tyypillisiä hiukkasia ja niiden halkaisijoita(Hiukkastieto.fi b)

Vaikka hiukkaset lajitellaan yleensä halkaisijan perusteella, hiukkaset eivät ole välttämättä pyöreitä vaan ne voivat olla esimerkiksi ketjumaisia hiukkasryppäitä tai kuitumaisia. Yleensä hiukkasia mittaamalla ei mitata sen todellista geometristä kokoa tai muotoa vaan ominaisuutta, joka riippuu halkaisijasta. Tämän vuoksi, riippuen mittaustavasta, voidaan puhua esimerkiksi aerodynaamisesta tai optisesta halkaisijasta. Eri mittaustavoilla mitattuja tuloksia ei voida siis suoraan verrata keskenään. Kokojakauma ilmoittaa, miten hiukkaset ovat jakautuneet koon perusteella ilmassa. Kokojakauma voidaan ilmoittaa esimerkiksi massan tai lukumäärän avulla. Massajakaumassa suurin massa on keskittynyt karkelle hiukkasille, kun taas lukumääräjakaumassa eniten hiukkasia on pienissä- tai ultrapienissä hiukkasissa. Hiukkasten suuri koon vaihtelevuus on suuri haaste hiukkasten mittaamisessa, koska ei ole olemassa mittalaitetta, joka pystyisi mittaamaan kaikkia hiukkaskokoja, ja kaikkein pienimpien hiukkasten mittaamenetelmät ovat vasta kehitteillä. Lisäksi hiukkasmittareihin tuleva näytevirta tulee olla edustava kokojakauman ja pitoisuuden mukaan. (Hiukkastieto.fi b, Hiukkastieto.fi e.)

Yleensä ilmanlaatua mitattaessa hiukkaset jaetaan alle 10 mikrometrin kokoiisiin halkaisijaltaan oleviin hiukkasiin, joita kutsutaan hengittäviksi hiukkasiksi, ja alle 2,5 mikrometrin kokoiisiin, joita kutsutaan pienhiukkasiksi. Karkeat hengitettävät hiukkaset ovat välillä 2,5–10 mikrometriä. Lyhenteenä ilmassa olevien hiukkasten massapitoisuuteen käytetään lyhennettä PM(particulate matter), ja alaindeksinä hiukkasten halkaisijan kokoluokkaa mikrometreinä esimerkiksi PM₁₀ ja PM_{2,5} (Ilmanlaatuportaali.fi b, Ilmanlaatuportaali.fi c, Salonen ja Pennanen 2006, 5.)

Koska pien- ja karkeat hengitettävät hiukkaset ovat peräisin eri lähteistä, on niiden koostumus myös erilainen. Ilmakehässä pienhiukkaset koostuvat pääosin metalleista, hiilivedyistä, hiilestä sekä rikki- ja typpiyhdisteistä, ja karkeiden hengitettävien hiukkasten tavallisimmat aineet ovat maankuoren alkuaineet esimerkiksi pii, kalsium, rauta ja alumiini sekä orgaaninen materiaali ja merisuola. Pienhiukkasten tärkeimmät päästölähteet ovat mm. polttoprosessit ja tulivuoret, ja vastaavasti karkeiden hengitettävien hiukkasten päästölähteitä ovat esimerkiksi liikenne, rakentaminen, kaivokset ja maaperän eroosio ja muokkaus. (Hiukkastieto.fi c.)

Yhdyskuntailmanlaatu vaihtelee suuresti eri paikoissa ja eri aikoina. Ilmakehän hiukkasseos koostuu primäärisistä ja sekundäärisistä hiukkasista. Primääriset hiukkaset ovat suoraan hiukkasmuodossa syntyneitä hiukkasia, ja sekundääriset hiukkaset muodostuvat vasta ilmakehässä. Liikenteessä muodostuu jarru- ja rengäspölynä sekä asfaltin kulumisessa primäärisiä karkeita hengitettäviä hiukkasia, joten kaupunkiympäristössä nämä päästöt ovat suuria. Lisäksi teollisuudessa, esimerkiksi materiaalien käsittelyssä, rakennus- ja louhintatöissä ja maansiirroissa muodostuu primäärejä karkeita hengitettäviä hiukkasia. Primäärihiukkasia voi muodostua myös eri polttolähteistä mutta ne ovat kooltaan jopa alle 0,1 mikrometriä eli ultrapieniä hiukkasia. Polttoprosessit voivat olla esimerkiksi energialaitoksia, puun pienpolttoja tai autojen moottoreita. Näiden ultrapienien hiukkasten kemiallinen koostumus vaihtelee kuitenkin suuresti riippuen polttoprosessista, poltontehokkuudesta, epätäydellisestä palamisesta tai polttoaineen laadusta ja koostumuksesta. Suomessa suurin yksittäinen pienhiukkasten lähde oli vuonna 2004 kotitalouksien puun pienpoltto. Sekundääriset hiukkaset muodostuvat ilmakehään tulleista kaasumaisista päästöistä. Kaasut voivat tiivistyä nestemäisiksi hiukkasiksi tai kiinnittyä hiukkasten pinnalle ja yhdistyä keskenään eri yhdisteiksi. Muutokset tapahtuvat lämpötilan, auringon valon ja muiden kaasujen, kuten happiradikaalien otsonin ja typen oksidien aikaansaamana. Muutosten nopeus voi vaihdella minuuteista vuorokausiin riippuen yhdisteistä ja olosuhteista. Primääriset ultrapienet hiukkaset kasvavat nopeasti yhdistyessään muiden hiukkasten tai nesteiden kanssa ilmakehässä. Näitä kutsutaan kertymähiukkasiksi ja ovat yleensä 0,1–2,5 mikrometrin kokoisia halkaisijaltaan. (Hiukkastieto.fi d, Salonen ja Pennanen 2006, 7-10.)

2.2 Hiukkasten vaikutukset ihmiseen ja ympäristöön

Ilmansaasteet ovat kaasuja tai hiukkasia, joilla on mitattava vaikutus ihmiseen tai luonnolliseen tai rakennettuun ympäristöön. Vaikutukset voivat liittyä esimerkiksi ihmisen terveyteen, materiaalien rapautumiseen tai kasvillisuuden vaurioitumiseen. Suomessa merkittävimmät hiukkassaasteet ovat peräisin liikenteestä, polttoprosesseista, katu- ja siitepölystä sekä kaukokulkeutuneista hiukkasista esimerkiksi metsäpalojen seurauksena. Ilmanlaatua seurataan hiukkasten osalta tavallisesti mittamalla tiettyä hiukkaskokoa pienempiä pitoisuuksia. (Hiukkastieto.fi f.)

Hengitysilman hiukkasilla on monenlaisia terveyshaittoja. Tavallisimmat terveyshaitat liittyvät hengityselin- ja sydän- ja verisuonitauteihin. Haitat voivat olla sekä akuutteja, että kroonisia, ja haittojen vakavuus vaihtelee viihtyvyyshaitoista ennenaikaiseen kuolemaan. Yleensä kuoleman aiheuttaa pitkäaikainen altistuminen hiukkasille, joka pahentaa esimerkiksi astmaa tai sepelvaltimotautia. Suuri hiukkaspitoisuus voi myös terveissä ihmisissä aiheuttaa muun muassa päänsärkyä ja hengityselimien ärsytystä, mikä alentaa työtehoa, lisää poissaoloja töistä ja terveydenhuoltopalveluiden käyttöä. Terveysvaikutukset ovat hyvin yksilöllisiä ja niihin vaikuttaa muun muassa perimä, ikä sekä myös sosioekonomiset tekijät, kuten esimerkiksi elintaso. (Salonen ja Pennanen 2006, 7, 14.)

Hiukkasten terveysvaikutukseen vaikuttaa oleellisesti se, mihin asti hengityselimistössä hiukkaset päätyvät. Valtaosa hiukkasista jäävät joko ylähengitysteiden ja keuhkoputkien pintaa peittäviin värekarvoihin tai eivät ehdi laskeutua keuhkoissa ennen, kuin päätyvät ulos hengitysteistä uloshengityksen kuljettamana. Yli 10 mikrometrin kokoiset hiukkaset eivät juuri päädy hengitysteihin. Karkeat hengitettävät hiukkaset eli 2,5–10 mikrometrin kokoiset ja pienimmät 0,001–0,01 mikrometrin kokoiset hiukkaset jäävät pääosin ylähengitysteiden alueelle. Näiden kokoluokkien väliin jäävät hiukkaset tunkeutuvat tehokkaimmin alahengitysteihin. Lisäksi hengitystapa vaikuttaa hiukkasten määrään hengityselimissä riippuen hengittääkö suun vai nenän kautta. Osa hiukkasista laskeutuu keuhkorakuloihin tai keuhkoputkeen, ja sieltä hiukkaset voivat päätyä laskimoverkoston kautta verenkiertoon. Terveysvaikutuksiin vaikuttaa mitatun halkaisijan lisäksi myös kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Esimerkiksi vesiliukoiset yhdisteet liukenevat verenkiertoon ja poistuvat munuaisten kautta melko nopeasti virtsaan. Rasvaliukoiset yhdisteet poistuvat huomattavasti hitaammin. (Hiukkastieto.fi a, Salonen ja Pennanen 2006, 12 -14.)

Hiukkasten ympäristövaikutuksia ovat muun muassa heikentynyt näkyvyys (sumu), kasvien ja muiden materiaallinen vaurioituminen, yläilmakehän otsonikato, ja lisäksi ilmakehän hiukkasilla on ilmastoa viilentävä vaikutus, koska hiukkaset toimivat ytiminä pilvien muodostumisessa (Hiukkastieto.fi h, Epa.gov.)

3 ULKOILMAN HIUKKASTEN MITTAAMINEN

Suomessa kuntien vastuulla on mitata tai arvioida muilla tavoin kunnan alueen ilmanlaatua paikallisten olojen edellyttämällä tavalla. Kunnat voivat hoitaa usein ilmanlaadun mittauksen yhteistyössä muiden lähikuntien kanssa. Myös alueella toimiva teollisuus, jolla on merkittäviä päästöjä ilmaan, voi osallistua kunnan mittaustoiminnan rahoitukseen tai mitata ilmanlaatua itse, yleensä ympäristölupa-ehdojen mukaisesti. Alueelliset elinkeino-, liikenne-, ja ympäriskeskukset (ELY-keskukset) valvovat, että ilmanlaadun seuranta on riittävää alueellaan. Ilmatieteen laitos on vastuussa maaseututaustasemien ylläpidosta, ja ilmatieteen laitos toimii myös ilmanlaadun kansallisena vertailulaboratoriona sekä ylläpitää ympäristösuojelulain 222 § mukaista tietojärjestelmää ilmanlaadun osalta. (Ilmanlaatuportaali.fi, Valtioneuvoston asetus 38/2011, 3 §, ympäristösuojelulaki 2014, 222 §)

Ilmanlaatuportaali on Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä sivusto, johon kuntien ja muiden tahojen jatkuvatoimiset mittaukset siirtyvät. Sivustolla voi seurata ilmanlaatua reaaliajassa ja sieltä löytyy myös ilmanlaadun historiatietoa. Lisäksi sivusto tarjoaa tietoa ilmanlaadun mittauksista, mitattavista aineista ja niiden haitoista.

3.1 Ulkoilman hiukkasten seuranta sekä ohje- ja raja-arvot

Ilmanlaadun jatkuvatoimisten mittausten tarve määritellään ilman päästöjen pitoisuuksien ylempien ja alempien arviointikynnyksien perusteella. Ylempi ja alempi arviointikynnys määritetään ilman epäpuhtauksille asetetuista raja-arvoista. Taulukossa 1 on hiukkasten osalta raja-arvot sekä ylempät ja alemmat arviointikynnykset. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiarvo saa ylittyä 35 kertaa vuoden aikana ennen, kuin se katsotaan ylitetyksi.

Taulukko 1. Hiukkasten raja-arvot sekä ylempi ja alempi arviointikynnys (Valtioneuvoston asetus 38/2011, 4 § ja liite 4)

	Arvon laskenta-aika	Raja-arvo µg/m ³	Ylempi arviointikynnys µg/m ³	Alempi arviointikynnys µg/m ³
Hengitettävät hiukkaset PM10	24 h	50	35	25
	Kalenterivuosi	40	28	20
Pienhiukkaset PM2,5	Kalenterivuosi	25	17	12

Jo alemman arviointikynnyksen ylitettyä, tulee alueella mitata jatkuvatoimisesti ilmanlaatua. Riippuen siitä, ylittyykö ylempi vai alempi arviointikynnys ja kuinka paljon kyseisellä alueella on väestöä, määräytyy tarvittavien mittausasemien määrä. Esimerkiksi jos alueella on väestöä 250 000–499 000, tulee ylempien arviointikynnyksen ylitettyä mitata kolmella mittausasemalla ja alemman ylitettyä kahdella. Jos alempi arviointikynnys ei ylity, ilmanlaadun mittaamiseen riittää suuntaa-antavat mittaukset, mallinnukset, päästökartoitukset tai muut vastaavat menetelmät. Edellä mainittu mittausasemien määrä koskee hajapäästölähteitä. Jos alueella on pistemäisiä päästölähteitä, tulee tarvittavien mittausasemien määrä selvittää tapauskohtaisesti. Mittausalueet tulisi sijoittaa siten, että ne edustu-

vat korkeita pitoisuuksia ja toisaalta myös pitkäaikaista altistumista. (Valtioneuvoston asetus 38/2011, 11 §, liitteet 2, 3 ja 5)

3.2 Jatkuvat toimisten mittareiden vastaavuuden todistaminen referenssilaitteeseen

Suomessa valtioneuvoston asetuksessa 38/2011, EU direktiivin 2008/50/EY täytäntöön panemiseksi, on säädetty muun muassa raja- ja ohjearvoja ilmakehän epäpuhtauksille ja asetus määrittelee referenssimenetelmän näiden epäpuhtauksien mittaamiseen. Lisäksi direktiivissä määritellään seuranta-menettelmien laatutavoitteet (Data quality objectives), jotka pitää täyttää. Laatutavoitteet sisältävät kolme minimi vaatimusta:

- laajennettu epävarmuus raja- tai ohjearvon pitoisuus alueella, 95 % luottamustasolla
- ajallinen kattavuus suhteessa raja- tai ohjearvon aikajaksoon (esim. vuorokausikeskiarvo tai vuosikeskiarvo)
- aineiston vähimmäismäärä eli tietty %-osuus, joka pitää olla hyväksyttyä aineistoa (data capture).

Taulukossa 2 on esitetty mittausdatan laatutavoitteet hiukkasille valtioneuvoston asetuksen 38/2011 mukaan.

Taulukko 2. Hiukkasten mittaamiselle annetut laatutavoitteet jatkuvissa ja suuntaa-antavissa mittauksissa

	Jatkuvat mittaukset	Suuntaa-antavat mittaukset
Sallittu epävarmuus	25 %	50 %
Ajallinen kattavuus	100 %	14 %
Aineiston vähimmäismäärä	90 %	90 %

Seurantamenetelminä voi olla jatkuvien ja suuntaa-antavien mittausten lisäksi mallintaminen, jolle sallittu epävarmuus vuositasolla on 50 % ja muut menetelmät, esimerkiksi päästökartoitukset, joilla sallittu epävarmuus on 100 %. Mallintamiseen tai muihin menetelmiin ei ole asetettu muita laatutavoitteita.

Referenssimenetelmä, johon direktiivissä 2008/50/EY viitataan, on standardin SFS-EN 12341 Ambient air (2014) mukainen manuaalinen gravimetrinen menetelmä. Standardin mukaista menetelmää sovelletaan PM₁₀- ja PM_{2,5}-pitoisuuksien seurantaan. Menetelmäkuvauksen lisäksi standardi sisältää myös muun muassa vaatimukset testilaboratorioille ja laadunvarmistukselle kentällä mitattaessa. (Ambient air 2014, 5).

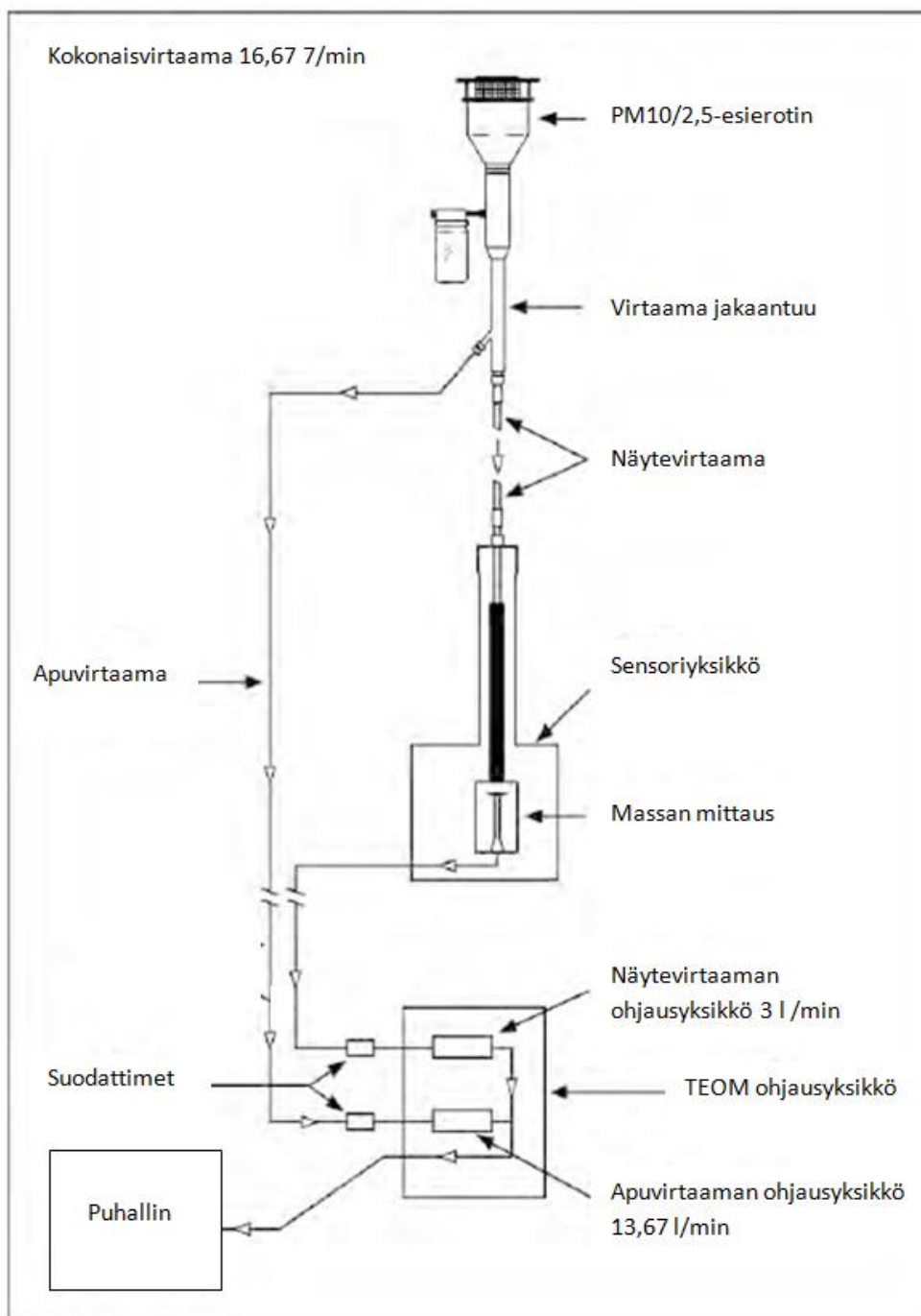
Referenssimenetelmän periaatteena on, että ilma virtaa esisuodattimella varustetusta tuloaukosta (size-selective inlet) tietyllä vakiovirtaamalla. Sitten haluttu PM-jae kerätään siihen sopivalla suodattimella tietyn aikajakson ajan. PM-materiaalin massa määritetään punnitsemalla suodatin ennen ja jälkeen keräyksen vakio-olosuhteissa. Avaintekijät, jotka vaikuttavat mittaustuloksiin ovat:

- vaihtelut esisuodattimen mallissa ja asennuksessa
- virtaaman vaihtelu
- häviöt esisuodattimen ja suodattimen välillä putkistossa.
- kontrolloimattomat häviöt putkistossa ja suodattimella johtuen veden ja muiden haihtuvien yhdisteiden haihtumisesta.
- suodattimen massan tai hiukkasten määrän muutos, johtuen veden tai haihtuvien yhdisteiden adsorptiosta, virheellisestä materiaalin lisäyksestä tai vähenemisestä, nosteesta tai staattisesta sähköstä (Ambient air 2014, 12.)

3.3 Vertailussa olevat Kuopion kaupungin hiukkasmittalaitteet

3.3.1 TEOM Series 1400a/1405

TEOM Series 1400a/1405 (tästä lähtien pelkkä TEOM) on suodattimelle kertyvän massan mittaamiseen perustuva mittalaite, joka jatkuvatoimisesti mittaa suodattimelle kerääntyneiden hiukkasten massan ja laskee lähes reaaliajassa keskiarvot ilman hiukkaspitoisuuksille. Ilma menee ensin PM₁₀- (tai PM_{2,5}-)esierottimen läpi virtaamalla 16,7 l/min, jonka jälkeen ilmavirta jaetaan, ja 3 l/min menee massan mittaamiseen tarkoitetulle suodattimelle. TEOM käyttää hydrofobista suodatinta ja laite esilämmittää ilman lämpötilaan 50 °C, joka vähentää ilman kosteutta, pitäen kosteusprosentin suhteellisen vakiona. Laite mittaa suodattimelle kerääntyneen massan 2 sekunnin välein, ja nykyisen ja alkuperäisen suodattimen massan erotuksesta saadaan suodattimelle kerääntynyt massa. Kuvassa 2 on esitetty TEOMin virtauskaavio ja laitteen eri osat. (Operating Manual, TEOM Series 1400a Ambient Particulate (PM-10) Monitor, 9.)



Kuva 2. TEOM series 1400a virtauskaavio, muokattu (operating Manual, TEOM Series 1400a Ambient Particulate (PM-10) Monitor)

TEOM mittaa massan muutosta suodattimelle, perustuen taajuuden muutoksiin. Suodatin on kiinni sauvassa, jossa toinen pää on kiinnitetty toisesta päästä ja suodattimessa oleva pää on vapaana. ilma virtaa suodattimen läpi vakiovirtaamalla ottaen huomioon lämpötilan ja ilmanpaineen. Sauva värähtelee koko ajan luonnollisella taajuudellaan amplitudin ollessa koko ajan vakio. Kun suodattimelle kertyy hiukkasia, sauvan massa kasvaa ja fysiikan lakien mukaisesti värähtelyn taajuus laskee massan kasvaessa. Tämän taajuuden muutoksen perusteella voidaan laskea värähtelevän kappaleen massan muutos eli suodattimelle kertyneiden hiukkasten massa. (Operating Manual, TEOM Series 1400a Ambient Particulate (PM-10) Monitor, 13)

TEOM series 1400ab läpäisi Ilmatieteen laitoksen tekemän direktiivin 2008/50/EY mukaisen testin kalibrointiyhtälön avulla. PM_{10} -mittauksissa kalibrointi yhtälö oli kulmakertoimella 1,12 ja vakioterminillä 1,26 ja vastaavat luvut $PM_{2,5}$ -mittauksiin olivat 1,25 ja 1,56. (Aurela ym. 2010, 52, 66)

3.3.2 MP101M

MP101M (Tästä lähtien pelkkä MP101) mittaa hiukkasia perustuen beta-säteilyn absorptioon. Tietty ilmamäärä ohjataan lasikuitusuodattimen läpi ja suodatin altistetaan beta-säteily lähteelle. Beta-säteilyn määrästä, joka läpäisee suodattimen ennen ja jälkeen hiukkasten keräämisen, voidaan johdattaa suodattimelle kerääntyneiden hiukkasten massa. Beta-säteilyn lähteenä toimii hiilen radioaktiivinen isotooppi C-14, joka on matala intensiteettinen ja puoliintumisaika noin 5730 vuotta. Radioaktiivisuutta mittaa Geiger-Müller-ilmaisin. Kuvassa 3 on MP101 sisäosat ja niiden eri osat nimettyinä. (Technical manual MP101M 2010, 1-3)



(1) reference gauge, (3) source holder, (4) fitting, (5) capstan, (6) disengageable pinch roller, (7) take-up reel, (8) Geiger-Müller tube detector, (9) pressure assembly, (10) pay-out reel.

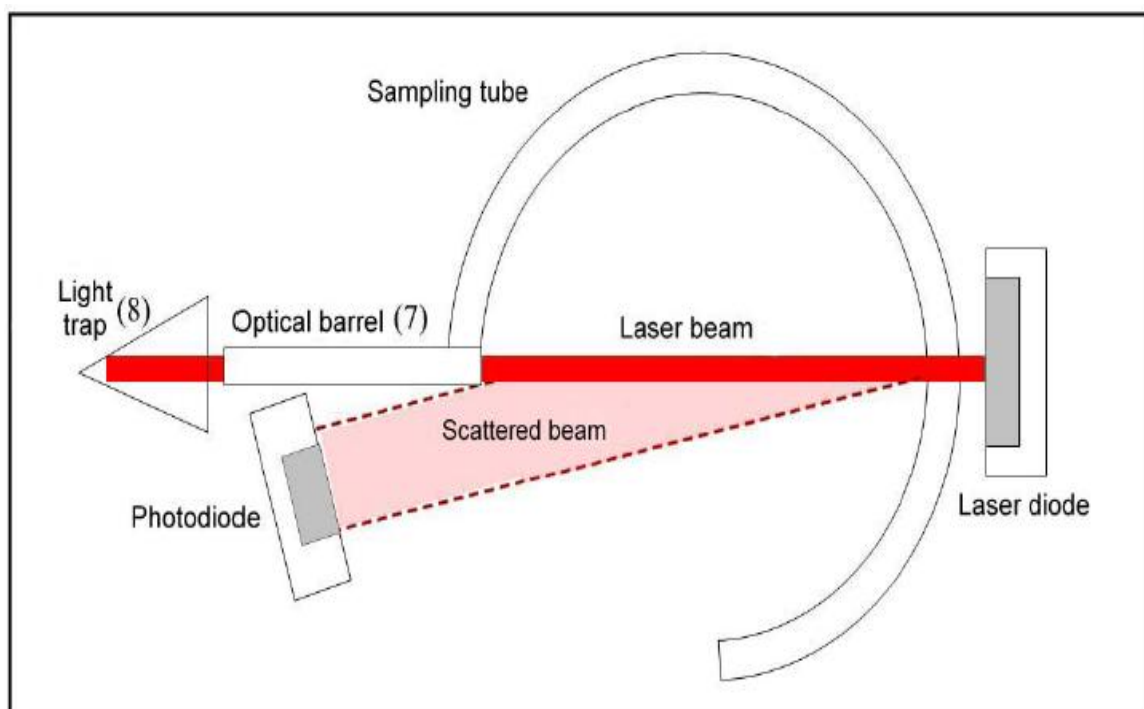
Kuva 3. MP101M beta-säteilyyn perustuvan hiukkasmittarin osat (Technical manual MP101M 2010)

MP101 mukana on myös CPM-moduuli, joka mittaa hiukkasia perustuen valon sirontaan ilman hiukkasista. CPM-moduuli mittaa hiukkasia samanaikaisesti MP101 kanssa ja mittaa useita eri hiukkaskokoja yhtä aikaa (PM_{10} , $PM_{2,5}$ ja PM_1). CPM-moduuli ei voi toimia itsenäisesti. Kuvassa 4 on alempana MP101 ja ylempänä CPM-moduuli. (Technical manual CPM 2012, 1-3)



Kuva 4. MP101 ja CPM-moduuli

Ilmavirta ohjataan laservalosäteen läpi ja laservalo siroaa ja absorboituu hiukkasiin osuessaan. Sironneen laservalo mitataan 15 asteen kulmassa alkuperäisen laservalon suuntaan nähden. (kuva 5) Ilmais in laskee hiukkasten lukumäärän sironnan perusteella. Hiukkasten lukumäärä muutetaan pitoisuudeksi $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ilmamäärän, kokojakauman ja kalibrointikerroimen perusteella. Kalibrointikerroin lasketaan jokaisesta uudesta MP101 mittauksesta ja käytetään niin kauan kunnes uusi MP101M mitaus on saatu. (Technical manual CPM 2012, 2-2 – 2-3)



Kuva 5. MP101M CPM-moduulin optisen mittauksen mittausperiaate (Techical manual CPM 2012)

MP101 läpäisi Ilmatieteen laitoksen tekemän direktiivin 2008/50/EY mukaisen testin, kalibrointiyhtälön avulla. PM_{10} -mittauksissa kalibrointi yhtälö oli kulmakertoimella 1,85 ja vakiotermillä 1,10 ja vastaavat luvut $PM_{2,5}$ -mittauksiin olivat 1,97 ja 0,85. (Aurela ym. 2010, 51;66)

3.3.3 Osiris

Osiris mittaa valon sirontaan perustuvalla optisella menetelmällä jatkuvatoimisesti ja yhtäaikaaisesti TSP-, PM_{10} -, $PM_{2,5}$ - ja PM_1 -jakeita. Kyseessä on sama periaate, kuin CPM-moduulissa, mutta sironneen säteen ilmaisimet keräävät enintään 10 asteen kulmassa sironneet säteet. Laitteen pumppu imee ilmaa $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ lasersäteen ja suodattimen läpi. Säteen ilmaisimet laskevat sironneen lasersäteen intensiteetin perusteella hiukkasen koon. Osiris käyttää hiukkasen tiheyden arvona $1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$. Lisäksi massapitoisuuden laskuun vaikuttaa myös hiukkasen todennäköisyys päästä laitteeseen riippuen käytettävästä esisuodattimesta, kuten esimerkiksi PM_{10} - tai $PM_{2,5}$ -esisuodatin. Kuvassa 6 on esitetty Osiris ja suojakotelo. (Topas & Osiris Environmental Monitor, 3; Osiris operating instructions, 23-25)



Kuva 6. Osiris, optinen hiukkasmittalaite suojakotelossaan (Topas & Osiris Environmental Monitor)

Ilmatieteen laitoksen tekemässä testissä (Aurela ym. 2010), $PM_{2,5}$ -jakeen osalta, Osiris ei saavuttanut laatutavoitteita vertailutestissä referenssilaitteen kanssa edes kalibrointiyhtälön avulla eikä soveltuisi jatkuvatoimiseen mittaukseen. Suuntaa-antaviin mittauksiin Osiris saavutti tavoitteet kalibrointiyhtälön avulla, kun käytettiin koko mittausdataa mutta ei saavuttanut laatutavoitteita, kun data jaettiin pitoisuuksien perusteella. PM_{10} -jakeen osalta Osiris saavutti kaikki laatutavoitteet kalibrointiyhtälön avulla koko mittausjaksolta ja syysmittausjaksolta mutta epäonnistui kesämittausjaksolta. (Aurela ym. 2010, 52;66)

4 KOEJÄRJESTELY

4.1 Mittauspaikat ja mitattavat hiukkaset

Opinnäytetyötä varten mitattiin hengitettäviä- ja pienhiukkasia Kuopiossa kolmessa eri paikassa, Kasarmipuistossa, Tasavallankadulla ja Niiralassa. Liitteessä 1 on esitetty mittausasemien sijainnit tarkemmin kartalla.

Kasarmipuiston mittausasema sijaitsee puistossa toimistorakennuksien ympäröimänä ja lähimpään tiehen (Puistokatu) on matkaa noin 50 metriä. Ilmanlaatuportaalin mukaan aseman tyyppi on tausta-asema eli se ei mittaa minkään yksittäisen päästölähteen, kuten liikenne, teollisuus jne., pitoisuuksia, vaan asema mittaa yleistä kaupungin ilmanlaadun tasoa. Tasavallankadun mittausasema sijaitsee noin 10 metriä lähimmästä isosta tiestä (Tasavallankatu) ja Ilmanlaatuportaalin mukaan aseman tyyppi on liikenneasema. Liikennemäärä 50 metrin säteellä on 22 000 moottoriajoneuvoa vuorokaudessa. Niiralassa mittausasema sijaitsee omakotitaloalueen keskellä, jossa pääasiallinen päästölähde on kiinteistökohtainen lämmitys. Niiralan mittausasema on väliaikainen eikä kuulu ilmanlaatuportaalin verkostoon.

Taulukosta 3 nähdään mittauspaikat, mittausjaksot sekä laitteet ja mitattavat hiukkaset.

Kasarmipuistossa oli käytössä yksi Osiris, joka mittasi samanaikaisesti TSP-, PM₁₀-, PM_{2,5}- ja PM₁-jakeita sekä TEOM, joka mittasi PM₁₀- ja PM_{2,5}-jakeita. TSP tarkoittaa kokonaisleijuntaa, eikä kyseistä jaetta otettu mukaan tähän vertailuun, kuten ei myöskään PM₁-jaetta. Tasavallankadulla oli rinnan kaksi Osiris-laitetta, jotka mittasivat TSP-, PM₁₀-, PM_{2,5}- ja PM₁-jakeita. MP101 mittasi Tasavallankadulla PM₁₀-jaetta beta-säteilyyn perustuvalla menetelmällä sekä CPM-moduuli PM₁₀-, PM_{2,5}- ja PM₁-jakeita optisesti. Tasavallankadun mittaus on jaettu kahteen ajanjaksoon, joissa ensimmäisessä jaksossa TEOM mittasi PM_{2,5}-jaetta ja toisessa jaksossa PM₁₀-jaetta. Niiralassa oli käytössä yksi Osiris, joka mittasi samanaikaisesti TSP-, PM₁₀-, PM_{2,5}- ja PM₁-jakeita sekä TEOM, joka mittasi PM_{2,5}-jaetta.

Taulukko 3. Mittausajanjaksot, mittalaitteet ja mitatut hiukkaset.

	Osiris	TEOM	MP101	mittausajanjakso
Kasarmipuisto	TSP/PM10/PM2,5/PM1	PM10/PM2,5	Ei mukana	5.8.2013 - 25.2.2014
Tasavallankatu	TSP/PM10/PM2,5/PM1	PM2,5	PM10/PM2,5/PM1	1.3.2014 - 14.7.2014
Tasavallankatu	TSP/PM10/PM2,5/PM1	PM10	PM10/PM2,5/PM1	15.7.2014 - 30.11.2014
Niirala	TSP/PM10/PM2,5/PM1	PM2,5	Ei mukana	16.12.2014 – 31.1.2015

Kaikki laitteet toimivat jatkuvatoimisesti koko mittausajanjakson ajan lukuunottamatta Osiris-mittalaitetta Kasarmipuistossa, jolloin mittari mittasi eripituisia mittausjaksoja vaihdellen noin vuorokaudesta noin 8 vuorokautteen. Yhteensä Osiris oli yhteensä päällä noin 42 % koko mittausajanjaksosta. Mittausresoluutiot vaihtelivat yhdestä minuutista kolmeen minuuttiin. Laitteiden asennuksesta,

datan keruusta sekä huoltotoimenpiteistä vastasivat Kuopion kaupungin alueelliset ympäristönsuojelupalvelut.

4.2 Datan keruu ja huoltotoimenpiteet

Mittausjaksojen aikana Osiris-laitteille on tehty ajoittain virtauksen tarkistus ja säätö sekä esisuodatimen vaihto. Perushuoltoa laitevalmistajalla ei koejaksojen aikana tehty ja syksyllä 2014 Osiriksesta, joka mittasi Kasarmipuistossa ja Niiralassa, vaihdettiin näytepumppu. Tiedot kerättiin laitteen valmistajan omalla AirQ-ohjelmalla puhelinmodeemin välityksellä. Datan keruussa ilmeni ongelma, jossa ohjelma saattoi jumiutua tuntemattomasta syystä. Kyseisen ongelman ja ajanpuutteen vuoksi Kasarmipuistossa, jouduttiin mittaamaan jaksottaisesti ja esim. viikonlopun ajaksi laitetta ei usein voitu jättää mittaustilaan.

Muut mittaustulokset ja Niiralassa myös Osiriksen tulokset, tulivat suoraan puhelinmodeelin välityksellä keskustietokoneeseen, Envidas-ohjelman avulla.

4.3 Datan käsittely analysointia varten ja analysoinnissa käytetty tilastollinen menetelmä

Osiriksen mittaama data oli käsittelemätöntä ns. raakadataa ja TEOMin ja MP101 data oli käynyt alustavan tarkistuksen. Alustavassa tarkistuksessa kuukausittain data katsotaan läpi JPP-kalibrointi Oy yrityksen toimesta ja virheelliset tulokset merkataan pois. Opinnäytetyössä datassa olevat negatiiviset arvot merkattiin virheellisiksi eikä otettu huomioon. Lisäksi jos datassa oli huomattavia pitoisuuspiikkejä, ne merkattiin virheellisiksi jos muissa laitteissa ei näkynyt mitään erityistä pitoisuudet kasvua kyseisellä ajanhetkellä. Data muutettiin sen jälkeen 1, 2 tai 3 minuutin keskiarvoista tuntikeskiarvoiksi jos 100 % tunnin sisältämistä aikaleimoista oli hyväksytty arvo. Hajontakuviin (scatterplot) ja regressioanalyysiin otettiin mukaan vain ne aikaleiman arvot, joissa molemmissa laitteissa oli hyväksytty arvo. Regressioanalyysit tehtiin 95 % luottamusvälillä ja hajontakuvista tehtiin pienimmän neliösumman periaatteella pistejoukkoa kuvaava suora.

Regressioanalyysissa pyritään selittämään muuttujan käyttäytymistä yhden tai useamman muun muuttujan avulla. Usein voidaan olettaa, että selitettävän ja selittävien muuttujien välinen regressiofunktio riippuu yhdestä tai useammasta tuntemattomasta parametrinä, jotka tässä tapauksessa ovat suoran kulmakerroin ja vakio. Pienimmän neliösumman menetelmä on yksi keino estimoida näitä tuntemattomia parametrejä. Pienimmän neliösumman menetelmässä valitaan parametrien arvot siten, että jäännös- eli virhetermien neliösumma tulee mahdollisimman pieneksi. Tapauksessa, jossa muuttujilla oletetaan olevan lineaarinen riippuvuus ja selittäviä tekijöitä on yksi, valitaan kulmakerroin k ja vakio a siten, että neliösumman

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - kx_i)^2 \quad (1)$$

virhetermi ε minimoituu. Kaavassa x_i ja y_i ovat havaittuja selittävän ja selitettävän muuttujien arvoja. (Mellin 2006, 273, 277.

5 HIUKKASMITTALAITTEIDEN VERTAILUN TULOKSET

5.1 Kasarmipuisto

Kasarmipuistossa mitattiin 5.8.2013–25.2.2014 eli noin 7 kuukauden ajan. Mittauksissa oli rinnan TEOM ja Osiris ja vertailtavana PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkaset. Taulukko 4 on esitetty kyseisen mittausjakson tunnuslukuja.

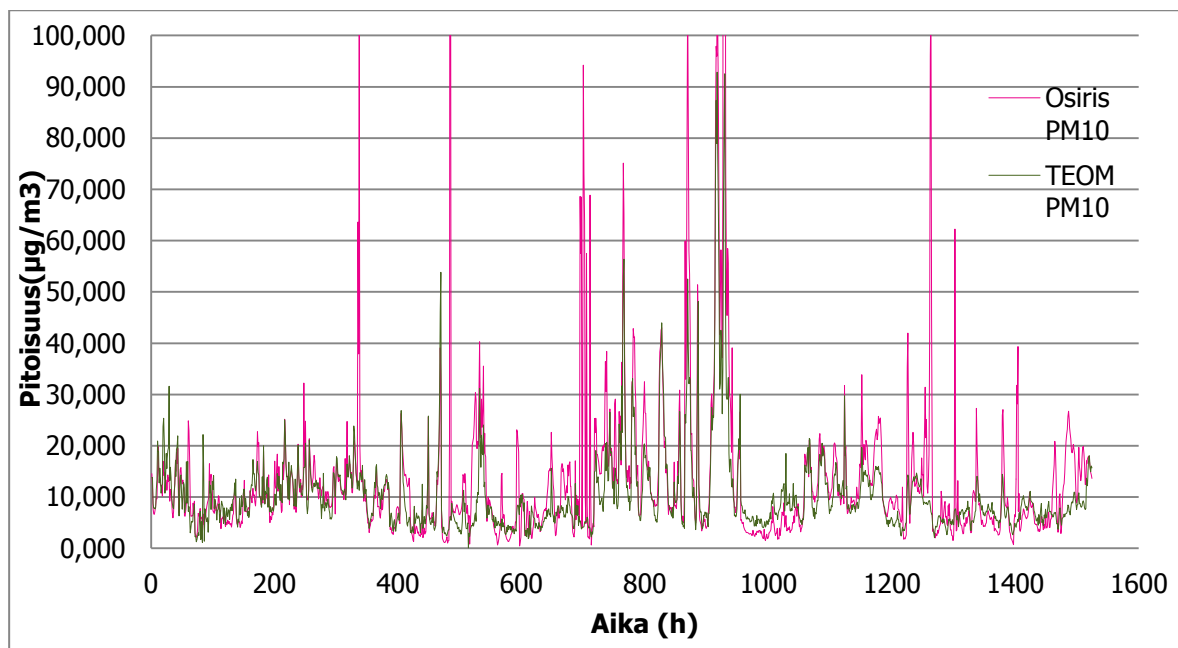
Taulukko 4. Kasarmipuiston mittausjakson tunnuslukuja

	Osiris PM10 µg/m ³	TEOM PM10 µg/m ³	Osiris PM2.5 µg/m ³	TEOM PM2.5 µg/m ³	Lämpötila °C	Tuulen nopeus m/s	Ilmanpaine hPa	Kosteus- %
Keskiarvo	13,5	10,4	5,3	6,5	0,2	1,4	1003,6	83,3
Min	0,5	0,1	0,3	0,1	-24,2	0,2	963,0	36,6
Max	267,3	92,9	198,7	74,1	25,7	8,5	1030,2	95,2
Keskihajonta	18,3	8,7	10,0	4,7	11,7	1,0	11,5	9,5
Havaintojen lkm	1524	1524	1503	1503	1503	1503	1503	1503

Säätiedot ovat Tasavallankadun mittausasemalla sijaitsevalta sääasemalta. Havaintojen lukumäärä tarkoittaa tarkistettujen ja hyväksytyjen havaintojen lukumäärää. Taulukosta nähdään, että eri hiukkaskokojen keskiarvot poikkeavat toisistaan ja Osiriksen PM₁₀-keskihajonta on poikkeavan suuri verrattuna muihin. Säätiöiden perusteella mittausjakso on ollut hyvin vaihteleva ja tuloksia on sekä kesä-, että talviolosuhteissa.

5.1.1 Hengitettävien hiukkasten mittaustulosten vertailu

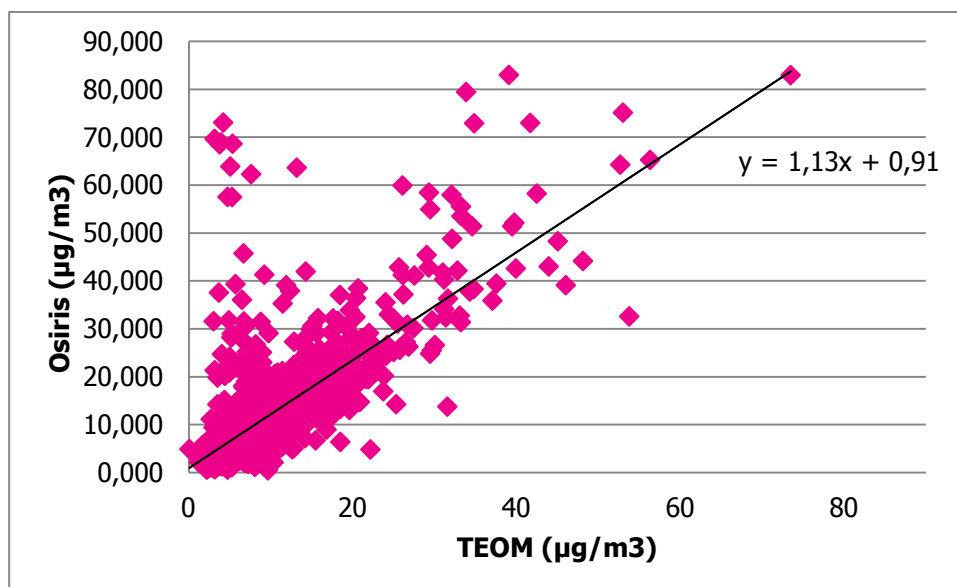
Kuviossa 1 on Kasarmipuiston PM₁₀-havaintojen aikasarja, jossa havainnot ovat muutettu tunnin keskiarvoiksi. Kuvioista nähdään, että havainnot vastaavat melko hyvin toisiaan mutta Osiris näyttää suurempia arvoja pitoisuuspiikkien kohdalla. Kuvioista tulee huomioida, että aikajana ei ole jatkuva vaan kuvioon on otettu vain ne aikajaksot, jolloin molemmista mittalaitteista oli dataa saatavilla.



Kuvio 1. Kasarmipuiston PM₁₀ havaintojen aikasarja 5.8.2013–25.2.2014

Kuviossa 2 on hajontakuva (scatterplot) Kasarmipuiston PM₁₀-pitoisuuksista Osiriksen ja TEOMin välillä tuntikeskiarvoina. Lisäksi kuvioon on piirretty pienimmän neliösumman menetelmällä arvoja kuvaava suora ja sen yhtälö. Ideaalitulanteessa kaikki pisteet olisivat lähellä suoraa ja suoran yhtälössä kulmakerroin olisi 1 ja vakio 0.

Tässä tapauksessa kuviossa 2 kulmakerroin (1,13) ja vakio (0,91) ovat lähellä ideaalitulannetta mutta pisteiden hajonta suoran ympärillä on melko suurta ja Osiriksellä on selvästi enemmän suuria piikkejä pitoisuuksissa, mikä näkyy pisteinä kaukana suorasta suoran yläpuolella.



Kuvio 2. Hajontakuva PM₁₀-hiukkasista Osiriksen ja TEOMin välillä Kasarmipuiston mittauksista

Taulukossa 5 on pienimmän neliösumman menetelmää hyväksikäyttäen laskettu PM₁₀-hiukkasten regressiotunnusluvut. Pearsonin korrelaatiokerroin kertoo miten vahva lineaarinen riippuvuus muuttujilla on ja selitysaste kertoo miten hyvin pienimmän neliösumman suora sopii kyseiselle pistepilvel-

le. Molemmissa tapauksissa tunnusluvut sijoittuvat aina 0 ja 1 välille, ja mitä lähempänä ykköstä luku on, sitä suurempi on riippuvuus/sopivuus. Keskivirheen yksikkö on sama $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja se kertoo hajonnan suuruuden suoran ympärillä. Joten mitä suurempi keskivirhe, suhteessa arvojen suuruuteen, sitä huonommin pisteet sijoittuvat suoralle, ja sitä huonommin suora kuvaa kyseistä ilmiötä. Suoran tunnusluvut kuvaavat samaa suoraa, kuin kuviossa 2, ja lisäksi tunnusluvuissa ovat mukana keskivirheet.

Korrelaatiokerroin on 0,72 eli mittauksilla on lineaarinen riippuvuus, selitysaste on 0,52 eli vain hie-
man yli puolet arvoista sopii malliin. Keskivirhe 7,48 on melko suuri eli suora ei kuvaa ilmiötä kovin hyvin.

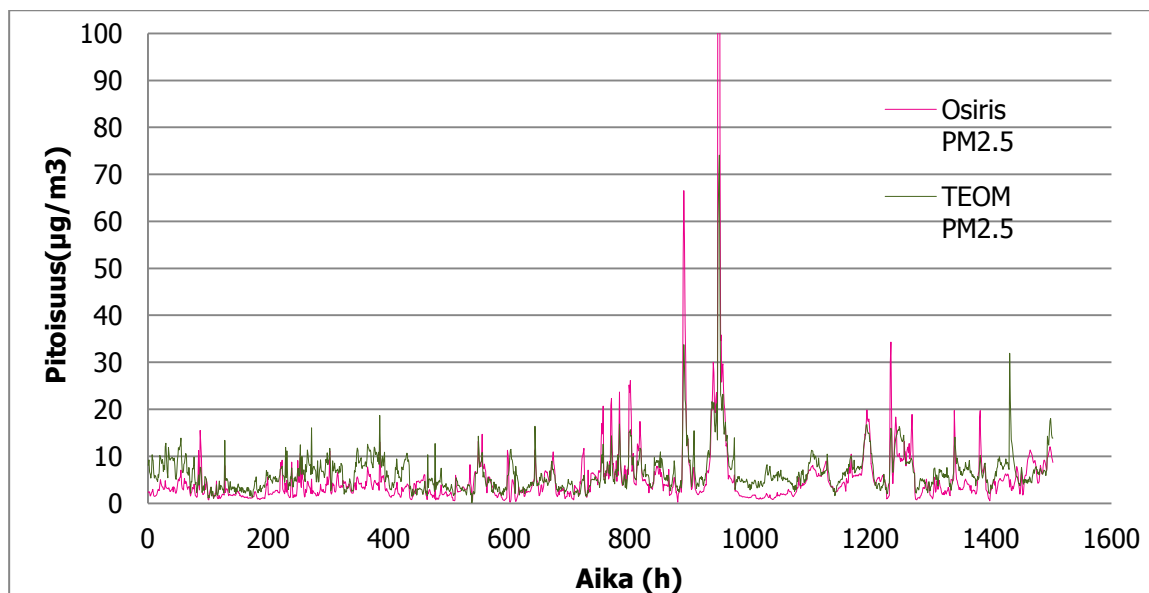
Taulukko 5. Regressiotunnusluvut Osiriksen ja TEOMin välillä Kasarmipuiston PM_{10} -mittauksista

Regressiotunnusluvut		
Korrelaatiokerroin	0,72	
Selitysaste	0,52	
Keskivirhe	7,48	
Havainnot	1521	

Suoran tunnusluvut	Kertoimet	Keskivirhe
Leikkauspiste	0,91	0,34
Kulmakerroin	1,13	0,03

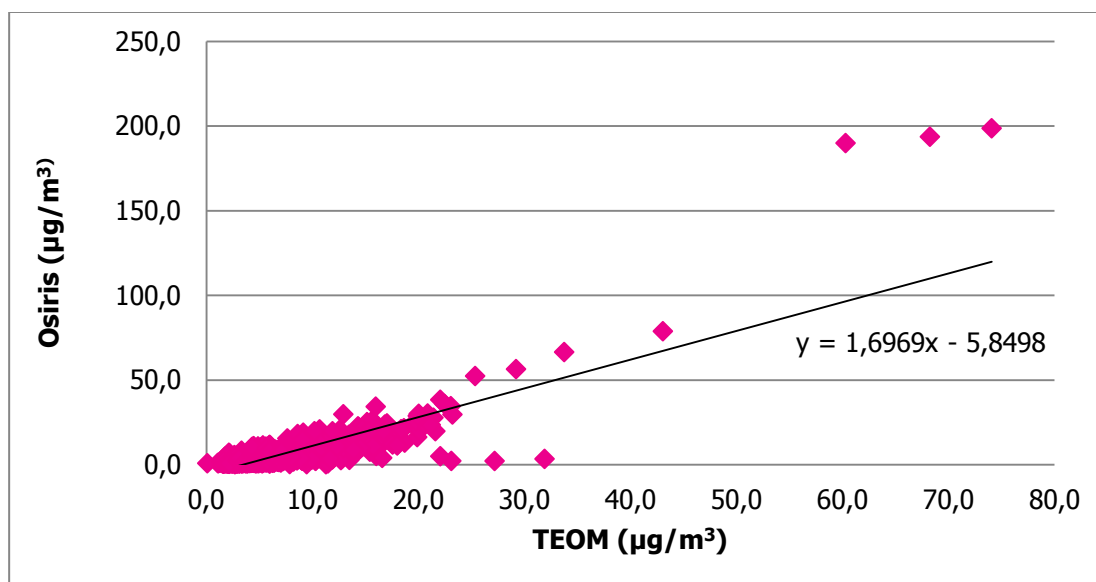
5.1.2 Pienhiukkasten mittaustulosten vertailu

Kuviossa 3 on Kasarmipuiston $\text{PM}_{2,5}$ -havaintojen aikasarja, jossa havainnot ovat muutettu tunnin keskiarvoiksi. Kuviosta nähdään, että havainnot vastaavat melko hyvin toisiaan siltä osin, kun on molemmista havaintoja saatavilla. Kuviosta nähdään myös, että Osiris näyttäisi matalampia pitoisuuksia verrattuna TEOMiin. Kuviosta tulee huomioida, että aikajana ei ole jatkuva vaan kuvioon on otettu vain ne aikajaksot, jolloin molemmista mittalaitteista oli dataa saatavilla.



Kuvio 3. Kasarmipuiston PM_{2,5}-havaintojen aikasarja 5.8.2013–25.2.2014

Kuviossa 4 on hajontakuva (scatter plot) Kasarmipuiston PM_{2,5}-pitoisuuksista Osiriksen ja TEOMin välillä tuntikeskiarvoina. Lisäksi kuvioon on piirretty pienimmän neliösumman menetelmällä arvoja kuvaava suora ja sen yhtälö. Hajontakuva ja suoran yhtälö viittaavat siihen, että Osiris näyttää suurempia arvoja kuin TEOM, joka on ristiriidassa kuvion 3 aikasarjan antamaan vaikutelmaan, että TEOM näyttäisi suurempia arvoja.



Kuvio 4. Hajontakuva PM_{2,5}-hiukkasista Osiriksen ja TEOMin välillä Kasarmipuiston mittauksista

Taulukossa 6 on esitetty PM_{2,5}-mittausten regressiotunnusluvut. Selitysasteen ja keskivirheen perusteella suora ei sovi kovin hyvin kuvaamaan ilmiötä. Suoran kulmakertoimen perusteella Osiris näyttää keskimäärin 1,7 kertaa suurempia arvoja kuin TEOM.

Taulukko 6. Regressiotunnusluvut Osiriksen ja TEOMin välillä Kasarmipuiston PM_{2,5}-mittauksista

Regressiotunnusluvut		
Korrelaatiokerroin	0,81	
Selitysaste	0,66	
Keskivirhe	5,84	
Havainnot	1514	

Suoran tunnusluvut	Kertoimet	Keskivirhe
Leikkauspiste	-5,85	0,26
Kulmakerroin	1,70	0,031

5.2 Tasavallankatu

Tasavallankadun tulokset ovat esitetty liitteessä 2, jotka ovat toistaiseksi salaista, joten niitä ei voida julkaista julkisessa opinnäytetyössä.

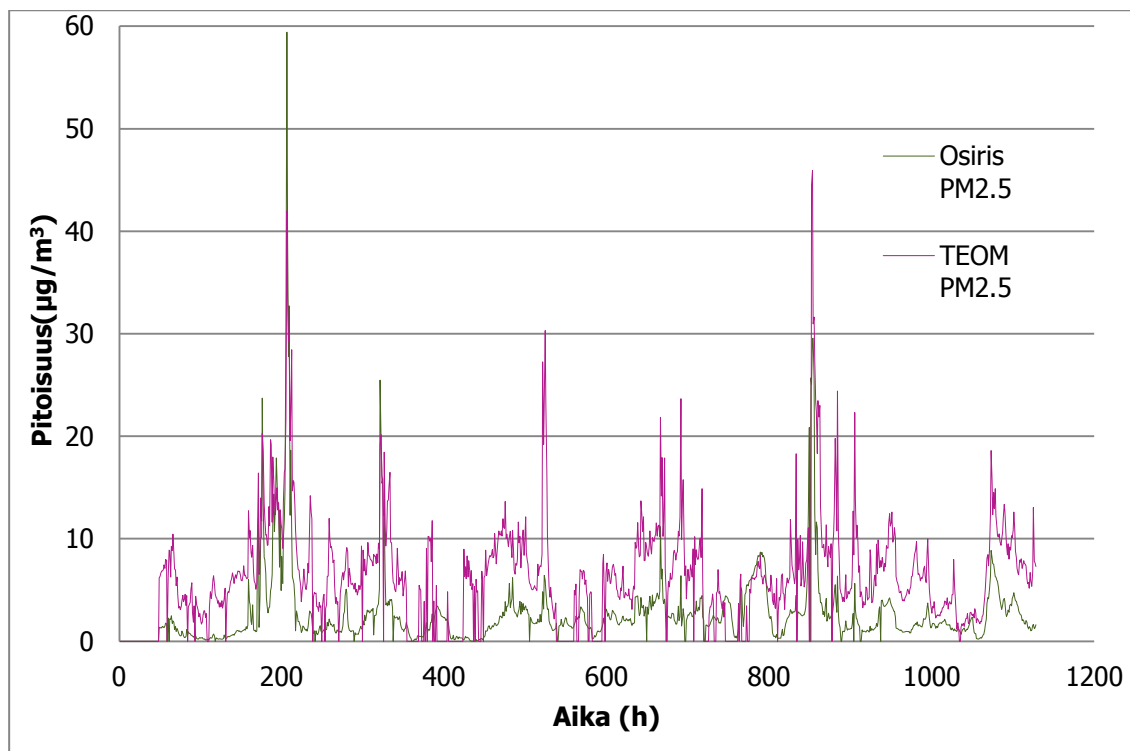
5.3 Niirala

Niiralassa mitattiin tähän opinnäytetyöhön 16.12.2014–31.1.2015 välisenä aikana eli noin 1,5 kuukautta. TEOM mittasi Niiralassa vain PM_{2,5}-jaetta, joten vertailuun tulee vain PM_{2,5}. Taulukossa 7 on esitetty kyseisen mittausjakson tunnuslukuja sekä säätiedot Niiralan sääasemalta. Pitoisuuksien keskiarvossa on jo suuri ero laitteiden välillä. Data% eli hyväksytyjen tulosten prosenttiosuus on TEOMilla alle 90, joka osittain selittyy tavalla, jolla tuntikeskiarvot laskettiin minuuttikeskiarvoista. Mittausjaksolla lämpötila oli pääosin nollan alapuolella ja keskimääräinen kosteusprosentti melko korkea. Keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta on laskettu aikaleimoista, joissa kaikissa mittalaitteissa oli hyväksytty arvo.

Taulukko 7. Niiralan mittausjakson tunnuslukuja

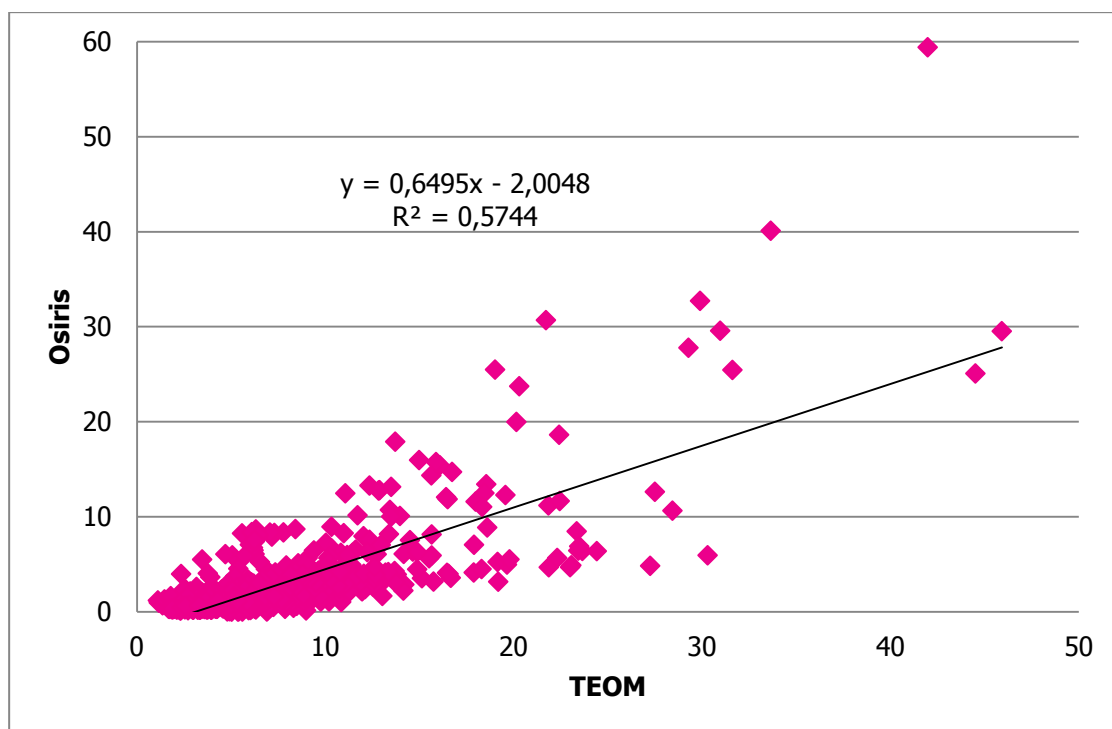
	Osiris PM2.5 µg/m3	TEOM PM2.5 µg/m3	Lämpötila °C	Tuulen nopeus m/s	Ilmanpaine hPa	Kosteus-% %
Keskiarvo	2,9	7,7	-7,0	1,0	987,5	82,1
Min	0,0	1,1	-21,5	0,2	945,7	62,4
Max	59,4	45,9	3,3	2,9	1020,5	94,0
Keskihajonta	4,1	4,9	6,9	0,4	16,4	6,5
Havaintojen lkm	1055	917	1065	1065	1065	1065
Data%	93,5	81,3	94,4	94,4	94,4	94,4

Kuviossa 5 on Niiralan havaintojen aikasarja PM_{2,5}-pitoisuuksien aikasarja. Kuviosta nähdään, että Osiris näyttää lähes koko mittausjakson pienempiä arvoja kuin TEOM.



Kuvio 5. Niiralan PM_{2,5}-havaintojen aikasarja, 16.12.2014–31.1.2015

Kuviossa 6 on hajontakuva Niiralan PM_{2,5}-mittauksista. Suoran kulmakertoimen perusteella Osiris näyttää pienempiä arvoja ja pisteiden etäisyys suorasta kasvaa pitoisuuksien kasvaessa.



Kuvio 6. Hajontakuva PM_{2,5}-pitoisuuksista Osiruksen ja TEOMin välillä Niiralan mittauksista

Taulukossa 8 on regressiotunnusluvut Niiralan PM_{2,5}-mittauksista. Selitysaste on melko matala ja keskivirhe korkea, joten suora ei kuvaa kovin hyvin pistejoukkoa.

Taulukko 8. Regressiotunnusluvut Osiriksen ja TEOMin välillä Niiralan PM_{2,5}-mittauksista

Regressiotunnusluvut		
Korrelaatiokerroin	0,76	
Selitysaste	0,57	
Keskivirhe	2,76	
Havainnot	901	

Suoran tunnusluvut	Kertoimet	Keskivirhe
Leikkauspiste	-2,00	0,17
Kulmakerroin	0,65	0,02

5.4 Tulosten korjaus

Opinnäytetyössä lasketut pienimmän neliösummansuorat voidaan korjata siten, että suora saadaan mahdollisimman lähelle muotoa $y = x$, eli kulmakerroin olisi yksi ja vakio nolla. Kun saadaan korjauskertoimet määritettyä, niin tulevaisuudessa voitaisiin käyttää näitä kertoimia apuna tulosten tulokinnassa. Korjauksessa saadun suoran kulmakerrointa ja vakiota käytetään korjattavan mittalaitteen mittaustulosten uudelleen laskennassa. Tässä tapauksessa mittalaite, jonka mittaustulokset halutaan korjata, on Osiris, ja mittalaite, jonka suhteen Osiris korjataan, on TEOM. Korjaus tapahtuu kaavalla

$$y_{kor} = \frac{y-a}{b}, \quad (2)$$

jossa y_{kor} on mittaustulos korjauksen jälkeen, y on korjattava mittaustulos, a ja b ovat alkuperäisen pienimmän neliösumman suoran vakio ja kulmakerroin. (Ballesta ym. 2010, 64.)

6 TULOSTEN TULKINTA

Tulosten tulkinta on esitetty liitteessä 2, koska osaa tuloksista ei voida julkistaa opinnäytetyön julkisessa versiossa.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla optiseen menetelmään perustuvan Osiris hiukkasmittalaitteen tuloksia muihin Kuopion kaupungin alueellisten ympäristönsuojeluiden käyttämiin ulkoilmanlaadun hiukkasmittalaitteisiin, käyttäen regressioanalyysiä ja havainnollistavia kuvaajia. Tavoitteena oli saada keino vertailla Osiriksin mittaustuloksia muiden laitteiden kanssa, että Osirista voitaisiin käyttää jatkossa paremmin itsenäisesti suuntaa-antaviin mittauksiin. Suomen ja Euroopan unionin lainsäädäntö antaa laatutavoitteet ulkoilmanlaadun mittaamiselle ja Osiris ei ole täyttänyt kaikkia tavoitteita, joten laitteen antamien tulosten tarkempi tutkinta on ollut tarpeen. Suurimpia hiukkaspäästöjä tuottavat muun muassa liikenne, teollisuus, rakentaminen ja puun pienpoltto. Tämän vuoksi hiukkasten mittaaminen on tulevaisuudessa tarpeen eikä nykytiedon valossa mittaamisen tarve tule ainakaan Kuopion seudulla vähenemään.

Mittauksia suoritettiin kolmesta eri mittauspisteestä, Kasarmipuistosta, Tasavallankadulta ja Niiralasta ja mittaustuloksista laskettiin regressioanalyysit pienimmän neliösumman suorasta ja tehtiin hajontakuvat sekä laskettiin korjauskertoimet Osiris- ja TEOM-hiukkasmittalaitteen välille.

Hengitettäviä hiukkasia, eli PM_{10} -hiukkasia, mitattiin vain Kasarmipuistossa ja Tasavallankadulla ja tulokset olivat ristiriitaisia. Suoran yhtälöiden perusteella Kasarmipuistossa Osiris näytti suurempia arvoja, kun taas Tasavallankadulla tilanne oli päinvastoin. Lisäksi Tasavallankadulla olleet kaksi Osirista eivät näyttäneet yhteneväisiä tuloksia. Myös Tasavallankadulla olleiden TEOM- ja MP101M-laitteiden tuloksien välillä oli suurta hajontaa varsinkin suurilla pitoisuuksilla. Syitä näihin ristiriitoihin ja eriävyyksiin ei löytynyt. Näiden tulosten pohjalta korjauskertoimien määrittäminen Osiriksen ja TEOMin välille on kyseenalaista ja lisämittauksia tarvittaisiin korjauskertoimen määrittämistä varten.

Pienhiukkasia eli $PM_{2,5}$ -hiukkasia mitattiin kaikissa kolmessa mittauspisteessä ja niissä tulokset olivat paremmin yhteneväisiä Osiriksen ja TEOMin välillä. Kasarmipuistossa, koko mittausdatalla, Osiris näytti suurempia arvoja, kuin TEOM mutta pienillä pitoisuuksilla pitoisuudet olivat samalla tasolla, kuin muissa mittauspisteissä. Tasavallankadulla olleet kaksi Osirista olivat hyvin yhteneviä $PM_{2,5}$ -hiukkasten osalta. $PM_{2,5}$ -mittauksissa mukana olleen MP101M optisen CPM-moduulin tulokset olivat hyvin poikkeuksellisia, koska CPM-moduulin pitoisuudet ja tulosten hajonta olivat paljon suurempia verrattuna muihin. Korjauskertoimet $PM_{2,5}$ -mittauksista voitaisiin näiden tulosten pohjalta laskea tietyn varauksin.

Mittaustuloksista lasketut suorat ovat kuitenkin parhaimmillaankin silti melko epätarkkoja, koska selitysasteet ovat niin matalia ja keskivirheet suhteellisen korkeita. Suuri epätarkkuus ei ole yksinomaan näiden mittausten ongelma vaan se on yleistä ulkoilman hiukkasten jatkuvatoimisissa mittauksissa ja tämä on huomioitu esimerkiksi valtioneuvoston asetuksen 38/2011 laatutavoitteissa (taulukko 2). Epävarmuuksia mittauksiin tuovat eri mittauslaitteiden sisäiset epävarmuudet ja eri mittausperiaatteista johtuvat erot. Lisäksi eri sijainneista ja vuodenaajoista johtuen esimerkiksi pitoisuustasot ja sääolot vaihtelivat eri mittauspisteiden välillä huomattavasti, mikä tuo epävarmuutta mittausten välille. Kasarmipuiston ja Niiralan mittausjaksot jäivät melko lyhyeksi eikä niihin tullut mukaan esimer-

kiksi kaikkia vuodenaikoja. Tarkemman arvoon saamiseksi Osiriksen vertailukelpoisuudesta, varsinkin PM₁₀-hiukkasten osalta, tulisi suorittaa lisää mittauksia ja mittausjakson olisi hyvä olla koko kalenterivuoden mittainen.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AMBIENT AIR 2014. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM10 or PM2,5 mass concentration of suspended particulate matter. SFS-EN 12341. Vahvistettu 2014-6-16. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

AURELA, Minna, HILLAMO, Risto, LAURILA, Sisko, MÄKELÄ, Timo ja WALDÉN, Jari 2010. Demonstration of the equivalence of PM2.5 and PM10 measurement methods in Helsinki 2007–2008. Ilmatieteen laitos.

BALLESTA, Pascual, FEBO, Antonio, FERNANDEZ-PATIER, Rosalia, FRÖHLICH, Marina, GARCIA, Saul, HAFKENSCHIED, Theo, JACOBI, Stefan, MEULEN, Ton, MUNNS, Don, PFEFFER, Hans-Ulrich, POULLEAU, Jean, SAUNDERS, Kevin, WALDEN, Jari, WOODS, Peter 2010. Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-03-23]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>

CPM CONTINUOUS PARTICULATE MEASUREMENT 2012. Technical manual. Environnement S.A.

Hiukkastieto.fi. a [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-13] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Hiukkasten depositio hengityselimistöissä.

Hiukkastieto.fi. b [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-13] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Hiukkasten koko ja muoto.

Hiukkastieto.fi. c [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-16] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Hiukkasten koostumus.

Hiukkastieto.fi. d [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-13] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Hiukkasten lähteet.

Hiukkastieto.fi. e [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-16] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Hiukkasten mittaaminen.

Hiukkastieto.fi. f [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-18] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Ilmanlaatu.

Hiukkastieto.fi. g [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-18] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Perustietoa hiukkasista.

Hiukkastieto.fi. h [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-18] Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/>
Polku: Hiukkastieto.fi. Hiukkaskäsikirja. Ympäristövaikutukset.

- Ilmanlaatuportaali.fi a. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-02-10] Saatavissa: <http://www.ilmanlaatu.fi/>
Polku: Ilmanlaatu.fi. Ilmanlaadun mittaaminen. Verkot ja asemat.
- Ilmanlaatuportaali.fi b. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-02-25] Saatavissa: <http://www.ilmanlaatu.fi/>
Polku: Ilmanlaatu.fi. Tietoa ilmansaasteista. Hengitettävät hiukkaset.
- Ilmanlaatuportaali.fi c. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-02-25] Saatavissa: <http://www.ilmanlaatu.fi/>
Polku: Ilmanlaatu.fi. Tietoa ilmansaasteista. Pienhiukkaset.
- MELLIN, Ilkka. 2006. Tilastolliset menetelmät. Lineaarinen regressioanalyysi. Aalto-yliopisto. Saatavissa: <http://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Regranal.pdf>
- MP101M SUSPENDED PARTICULATE BETA GAUGE MONITOR 2010. Technical manual. Environnement S.A.
- OSIRIS. Operating instructions. Turnkey Instruments Ltd.
- PENNANEN, Arto ja SALONEN, Raimo. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys. TEKES. Saatavissa : http://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/fine_terveys.pdf
- TEOM SERIES 1400A AMBIENT PARTICULATE MONITOR 2007. Operating manual. Thermo Fisher Scientific Inc.
- TOPAS & OSIRIS 2008. Environmental Monitor training manual. Turnkey Instruments Ltd.
- Epa.gov. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-03-14] . Saatavissa: <http://www.epa.gov>
Polku: Epa.gov. Air & radiation. Six common pollutants. Particulate matter. Health.
- VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, 1 §. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>
- VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, 3 §. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>
- VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, 4 §. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>
- VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, 11 §. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>

VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, Liite 2. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>

VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, Liite 3. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>

VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, Liite 4. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>

VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, Liite 5. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>

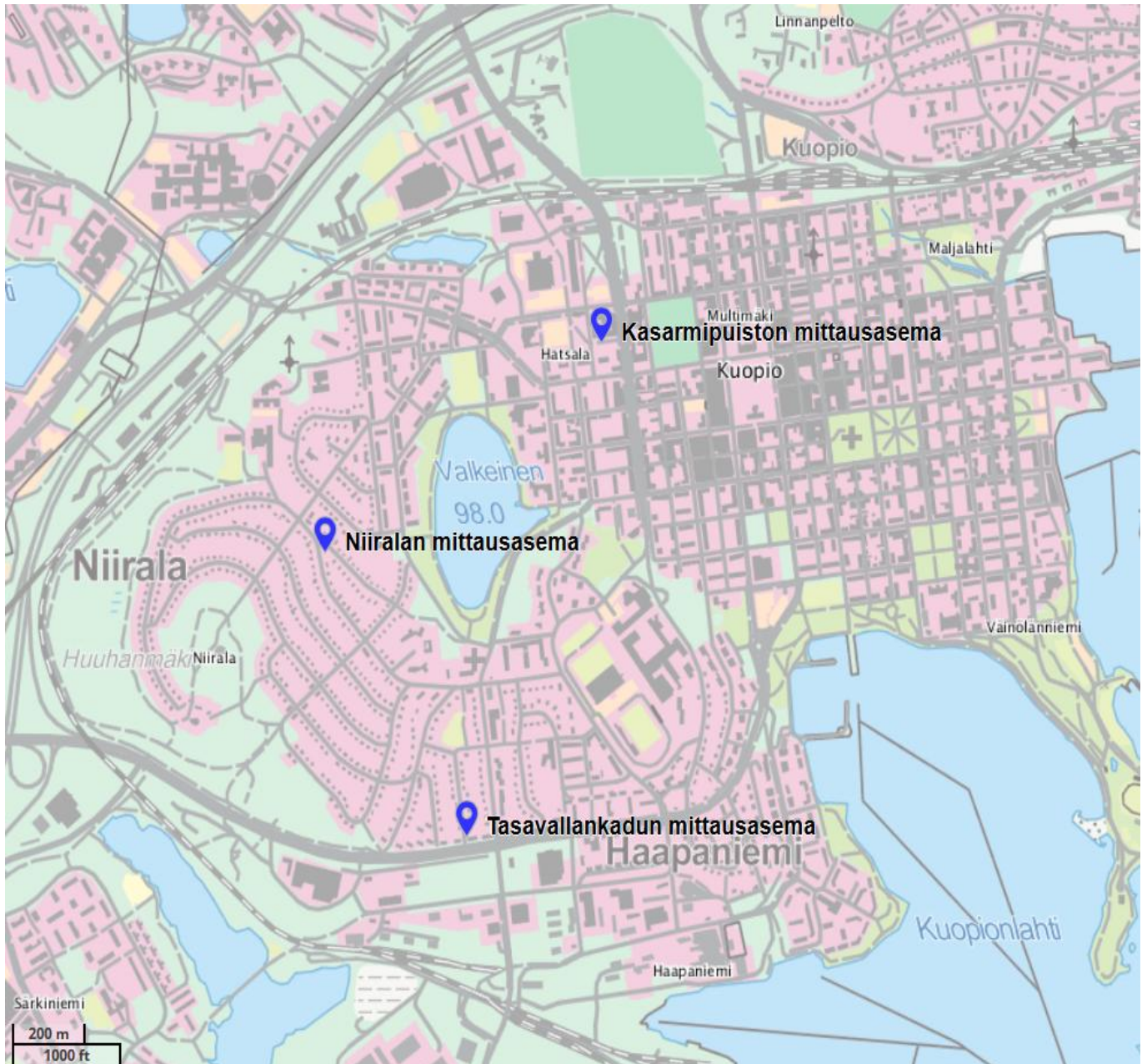
VALTIONEUVOSTON ASETUS ILMANLAADUSTA 38/2011, Liite 10. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110038>

YMPÄRISTÖNSUOJELULAKI L 27.6.2014/527, 143 §. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

YMPÄRISTÖNSUOJELULAKI L 27.6.2014/527, 144 §. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

YMPÄRISTÖNSUOJELULAKI L 27.6.2014/527, 222 §. [verkkoaineisto]
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

LIITE 1: MITTAUSASEMIEN SIJANNIT



Kuva. Mittausasemien tarkempi sijainti. Kuvakaappaus: Paikkatietoikkuna 2015. Karttaikkuna. Muokattu