



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTEJA
RAPPORTER
REPORTS
2021:2

HIUKKASMITTAUSTEN VAATIMUKSEN- MUKAISUUDEN TODENTAMINEN (HIVATO) 2019-2020

KARRI SAARNIO
MIKA VESTENIUS
KATRIINA KYLLÖNEN



Hiukkasmittausten vaatimustenmukaisuuden todentaminen (HIVATO) 2019–2020

Karri Saarnio
Mika Vestenius
Katriina Kyllönen

Ilmatieteen laitos
Meteorologiska Institutet
Finnish Meteorological Institute

Helsinki 2021

ISBN 978-952-336-133-1 (pdf)

ISSN 0782-6079

Helsinki 2021



Julkaisija	Ilmatieteiden laitos Erik Palménin aukio 1 PL 503, 00101 Helsinki	Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi: Raportteja-Rapporter-Reports Julkaisu-aika: Joulukuu 2021	2021:2
------------	--	---	--------

Tekijä(t)

Karri Saarnio, Mika Vestenius ja Katriina Kyllönen

Nimeke

Hiukkasmittausten vaatimuksen mukaisuuden todentaminen (HIVATO) 2019–2020

Tiivistelmä

Kansallinen ilmanlaadun vertailulaboratorio varmistaa Suomessa tehtävien ilmanlaatumittausten korkean laadun tekemällä ilmanlaatumittausten auditointeja ja vertailumittauksia. Tässä hankkeessa arvioitiin hiukkasmittausten vaatimuksen mukaisuutta keskittyen erityisesti keskimääräisen altistumisindikaattorin (AEI) määrittämiseen käytettävään mittaukseen. Tutkimuksessa arvioitiin Helsingin Kalliossa mitatun PM_{2,5}-altistumisindikaattorin mittauksen tulosten soveltuvuutta ja edustavuutta Suomessa. Havaittiin, että Kallion mittaus edustaa hyvin keskimääräistä pienhiukkassaltistusta sekä pienhiukkaspitoisuuden vuositrendiä Suomessa. Lisäksi vuodesta 2015 eteenpäin Suomen kaupunkitausta-aseilla tehtyjen PM_{2,5}-mittausten keskiarvot niin asemakohtaisesti kuin asemien yhteisenä keskiarvona alittavat kokonaisuudessaan vuoden 2020 keskimääräisen altistumisindikaattorin enimmäisarvon 8,5 µg/m³, jota käytetään altistumisen vähennystavoitteen arvioinnissa.

AEI-mittaukseen käytetyn TEOM 1405 -hiukkasmittorin mittaustuloksia vertailtiin Kalliossa menetelmästandardin SFS-EN 12341:2014 mukaisella vertailumenetelmällä saatuihin tuloksiin. Havaittiin, että AEI-laskentaan käytettävä Kallion TEOM 1405 -laite täyttää niukasti standardissa määritetyn 25 %:n epävarmuusvaatimuksen ja sillä tehtävän mittauksen laatu riittää altistumisindikaattorin määrittämiseen, vaikka vertailtavat pitoisuudet olivat yleisesti ottaen pieniä eikä menetelmästandardin SFS-EN 16450:2017 mukaisen vertailumittauksen pitoisuusvaatimus täyttynyt vertailujaksolla korkeiden pitoisuuksien puuttuessa.

Tässä raportissa esitellään myös tulokset jatkuvatoimisille hiukkasmittalaitteille järjestetyistä vertailumittauksista Virolahdella ja Helsingissä sekä PM₁₀- että PM_{2,5}-hiukkaskokojakeelle sekä näiden lisäksi Kuopiossa ja Lahdessa PM_{2,5}-hiukkaskokojakeelle. Vertailumittauksista saatujen tulosten perusteella määritettiin ensimmäistä kertaa korjauskertoimet FIDAS 200 -hiukkasmittalaitteen PM₁₀- ja PM_{2,5}-mittaukselle Suomessa. Tulosten perusteella FIDAS 200 -hiukkasmittorin soveltuu ulkoilman PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkaskokojakeiden mittaukseen Suomessa käyttäen tässä raportissa esitettyjä korjauskertoimia, vaikkakin on huomioitava, että kertoimet eivät täytä ekvivalenttisuuden osoittamiselle asetettuja vaatimuksia. Kyseisiä kertoimia on kuitenkin suositeltavaa käyttää siihen asti, kunnes ekvivalenttisuus on osoitettu seuraavassa ekvivalenttisuuden osoittamiskampanjassa.

Kahta muuta jatkuvatoimista laitetta (SHARP 5030 ja TEOM 1405) verrattiin referenssikeräimeen Virolahdella ja Helsingissä. Havaittiin, että Kuopion vertailumittauksessa 2014–2015 eri laitteille määritetyt korjauskertoimet eivät aina sovellu eri paikoissa ja eri vuodenaikoina PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkaspitoisuuksien mittauksiin, koska mittauspaikat ja niiden olosuhteet vaihtelevat. Tämän takia vertailulaboratorio esittää ekvivalenttisuuden osoitusta viiden vuoden välein sekä jatkuvaa ohjelmaa käytettävien kertoimien soveltuvuuden osoittamiseksi paikallisilla vertailumittauksilla, joissa jatkuvatoimisten hiukkasmittorin mittaustuloksia verrataan vertailumenetelmää vastaan eri paikoissa ja vaihtelevissa olosuhteissa jatkuvana kampanjana pitempiaikaisesti, puolesta vuodesta vuoteen kestäville paikallisilla vertailuilla. Näillä ns. ongoing-mittauksilla voidaan osaltaan varmentaa Suomessa mitattavien PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasmittausten laatu ja vertailukelpoisuus myös varsinaisten ekvivalenttisuuden osoittamiseen soveltuvien vertailumittauskampanjojen välillä.

Julkaisijayksikkö

Ilmakehän koostumuksen tutkimus

Luokitus (UDK)

Asiasanat: ilmanlaatu, PM_{2,5}, pienhiukkaset, jatkuvatoimiset hiukkasmittaukset, vaatimuksen mukaisuus, keskimääräinen altistumisindikaattori

ISSN ja avainnimeke

ISBN

0782-6079 Raportteja-Rapporter-Reports

978-952-336-133-1

DOI:10.35614/isbn.9789523361331

Kieli: suomi

Sivumäärä: 33



Published by **Finnish Meteorological Institute**
Erik Palménin aukio 1, P.O. Box 503
FIN-00101 Helsinki, Finland

Series title, number and report code of
publication:
Raportteja-Rapporter-Reports 2021:2

Date: December 2021

Author(s)

Karri Saarnio, Mika Vestenius and Katriina Kyllönen

Title

Attestation of conformity of particulate matter measurements (HIVATO) 2019–2020

Abstract

The National Reference Laboratory for Air Quality (NRL) ensures the high quality of air quality measurements in Finland by organising audits and intercomparison campaigns. In this project, the conformity of the particulate matter measurements was evaluated with a particular focus on the measurement used for calculating the average exposure index (AEI) of Finland. The representativity and applicability of the AEI measurements made at the Kallio station in Helsinki were evaluated. It was noticed that the results of the Kallio measurement represent well the average fine particle (PM_{2.5}) concentrations and the yearly based trend of fine particles in Finland. In addition, the yearly average concentrations of fine particles have been smaller than the AEI limit value of 8.5 µg/m³, at all individual urban background stations in Finland since year 2015.

The measurement results made with the PM monitor used for AEI measurement, i.e. TEOM 1405 analyser at the Kallio station, were compared to the results from the reference method that follows the standard SFS-EN 12341:2014. It was noticed that the uncertainty requirement of 25% was reached and therefore the quality of the measurement is sufficient to use it for the calculation of AEI. However, the fine particle concentrations were generally very low and therefore the requirements given in the standard SFS-EN 16450:2017 for an intercomparison against the reference method were not perfectly fulfilled.

This report presents also results from intercomparison measurements made for automated continuous measurement systems (AMS). At the Virolahti station and at the Mäkelänkatu station in Helsinki, PM₁₀ and PM_{2.5} measurements were compared. In Kuopio and in Lahti, intercomparison measurements were made for PM_{2.5} only. Based on the results from these intercomparisons, the calibration coefficients both for PM₁₀ and PM_{2.5} were defined for the first time in Finland for a FIDAS 200 analyser that is a new PM monitor in the Finnish market. It was concluded that FIDAS 200 analysers can be used for the PM measurements in Finland when the calibration coefficients are applied for the data; however, one must note that the presented calibration coefficients do not fulfil the requirements given for the demonstration of equivalence (DoE). Nevertheless, these coefficients are recommended to be used until the official coefficients will be delivered from the next DoE campaign.

Two AMS (SHARP 5030 and TEOM 1405) were compared to the reference method for the measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} in Virolahti and in Helsinki, respectively. It was revealed that the calibration coefficients based on the DoE in Kuopio (2014–2015) do not always fit ideally at different locations and seasons due to differences in the environmental characteristics of the measurement sites. Therefore, NRL recommends that DoE should be organised every five years and in between the DoE's so called ongoing-intercomparison measurements should be carried out continuously. In the ongoing-intercomparison, suitability of the calibration coefficients from DoE will be verified in different locations with varying environmental characteristics. The ongoing-intercomparison campaigns should take place at one site from a half a year to one year and after that, the campaign should continue at a different location similarly. This would ensure that the influence of seasonal differences to the suitability of coefficients will be verified at each measurement site.

Publishing unit

Atmospheric Composition Research

Classification (UDC)

Keywords: air quality, PM_{2.5}, fine particles, continuous particle measurements, conformity, average exposure index (AEI)

ISSN and series title

ISBN

0782-6079 Raportteja-Rapporter-Reports

978-952-336-133-1

DOI:10.35614/isbn.9789523361331

Language: Finnish

Pages: 33

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE	6
1. JOHDANTO.....	7
2. HANKKEEN TOTEUTUS.....	9
3. ALTISTUMISINDIKAATTORIMITTAUKSEN VAATIMUKSEN MUKAISUUS	12
3.1 AEI-aseman edustavuus	12
3.2 Korjauskertoimien soveltuvuus AEI-aseman TEOM 1405 -hiukkasmonitorille	13
4. JATKUVATOIMISTEN HIUKKASMITTALAITTEIDEN VERTAILUMITTAUKSET	16
4.1 FIDAS 200 -hiukkasmonitorin korjauskertoimet.....	16
4.2 Aiemmin määritettyjen korjauskertoimien varmentaminen	22
4.2.1 Korjauskertoimien varmentaminen TEOM 1405 -laitteelle	22
4.2.2 Korjauskertoimien varmentaminen SHARP 5030 -laitteelle	24
5. MALLI JATKUVIEN HIUKKASVERTAILUMITTAUSTEN TOTEUTTAMISEKSI	27
6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	29
VIITTEET JA LÄHDEKIRJALLISUUS.....	30
LIITTEET	31

ESIPUHE

Tämä on ympäristönsuojelulain 527/2014 25 §:n mukaisesti nimetyn ilmanlaadun kansallisen vertailulaboratorion valmisteleva raportti, joka sisältää tulokset vuosina 2019–2020 suoritetusta hankkeesta ”Ilmanlaatumittausten kansallinen laadunvarmennusohjelma: Hiukkasmittausten vaatimuksenmukaisuuden todentaminen (HIVATO)”. Hankkeessa arvioitiin Suomen AEI-asemana (*Average Exposure Index*, keskimääräinen altistumisindikaattori) toimivalla Helsingin Kallion mittausasemalla tehtävän pienhiukkasmittauksen vaatimuksenmukaisuus ja edustavuus AEI-näkökulmasta.

Hankkeessa todennettiin jatkuvatoimisten hiukkasmittausten kalibroitukertoimien soveltumista AEI-asemalla sekä kahdella muulla asemalla. Lisäksi raportissa esitellään kalibroitukerroin vertailumenetelmää vastaan yhdelle uudelle markkinoille tulleelle jatkuvatoimiselle hiukkasanalysaattorille, joka ei ole ollut mukana Suomessa aiemmin järjestetyissä PM-mittausmenetelmien yhdenmukaisuuden osoittamisen vertailuissa.

Tämän hankkeen tulosten ja vuosina 2017–2018 tehdyn *Ilmanlaatumittausten laadunvarmennusohjelma: Hiukkas- ja kaasumaiset yhdisteet* -hankkeen perusteella laadittiin malli jatkuvien hiukkasvertailumittausten toteuttamiseksi jatkossa.

Kiitämme mittauksiin osallistuneita mittausverkkojen edustajia Anssi Julkusta (HSY), Kaarina Kähäriä (Lahti), Matti Montoa (IL) ja Erkki Pärjälää (Kuopio) hyvästä yhteistyöstä ja avusta sekä Ilmatieteen laitoksen laboratoriohenkilökuntaa hankkeen käytännön töissä avustamisesta. Raportin tarkastusvaiheessa saaduista kommentteista kiitämme Tarja Lahtista ympäristöministeriöstä.

Tekijät

1. JOHDANTO

EU:ssa ilmanlaatudirektiivillä 2008/50/EY säädetään ulkoilman rikkidioksidia, typen oksideja, hengitettäviä hiukkasia (PM₁₀), pienhiukkasia (PM_{2,5}), lyijyä, hiilimonoksidia ja bentseeniä koskevista raja-arvoista, otsonia koskevista tavoitearvoista ja pitkän ajan tavoitteista sekä rikkidioksidia ja typen oksideja koskevista kriittisistä tasoista. Ilmanlaatudirektiivissä säädetään lisäksi ilmanlaadun seurantamenetelmistä ja niiden laatutavoitteista, mittauspaikkojen valinnasta, sijoittamisesta ja lukumäärästä, väestölle tiedottamisesta, ilmansuojelusuunnitelmien ja lyhyen aikavälin toimintasuunnitelmien laatimisesta ja toimeenpanemisesta sekä tietojen toimittamisesta Euroopan komissiolle.

Suomessa ilmanlaadun seuranta tehdään noin 30 mittausverkon toimesta ja yli 100 mittausasemalla. Valtaosa mittauksista tehdään jatkuvatoimisesti automaattisilla analysaattoreilla, ja näitä ovat muun muassa hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) massapitoisuudet sekä kaasumaisten rikkidioksidin, typen oksidien ja otsonin pitoisuudet ilmassa.

Ilmatieteen laitoksen ilmanlaadun kansallinen vertailulaboratorio (myöh. vertailulaboratorio) varmentaa Suomen ilmanlaatumittausten laatua järjestämällä kansallisia vertailumittauksia, auditoidulla kotimaisten mittausverkkojen laatu järjestelmiä säännöllisesti sekä huolehtimalla mittausjärjestelmien säännöllisestä vaatimuksenmukaisuuden tarkastamisesta.

Vertailulaboratorio varmentaa oman mittaus- ja kalibrointikykyänsä laatua osallistumalla Euroopan komission järjestämiin Euroopan laajuisiin ilmanlaatumittausten laadunvarmennusohjelmiin, jotka koskevat niin kaasumaisia (NO, NO₂, O₃, SO₂, CO) kuin hiukkasmittauksia (PM₁₀, PM_{2,5}) ja joissa eri maiden kansalliset ilmanlaadun vertailulaboratoriot osoittavat suorituskykyänsä kyseisten komponenttien määrittämisessä.

Komission direktiivissä 2015/1480/EY PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasten näytteenotossa ja massapitoisuuden määrittämisessä käytettäväksi vertailumenetelmäksi on määritelty standardissa SFS-EN 12341:2014 kuvattu suodatinkeräys- ja gravimetrinen menetelmä. Käytännössä ilmanlaadun hiukkasmittaukset tehdään kuitenkin jatkuvatoimisilla automaattisilla hiukkasmonitoreilla (*automated continuous measuring system, AMS*), joiden ekvivalenttisuus vertailumenetelmää vastaan Suomessa on osoitettu vertailulaboratorion järjestämissä ekvivalenttisuuden osoittamisen vertailumittauksissa (*Demonstration of Equivalence, DoE*) vuosina 2007–2008 Helsingissä (Waldén ym. 2010) ja vuosina 2014–2015 Kuopiossa (Waldén ym. 2017). Hiukkasmittausjärjestelmien vaatimuksenmukaisuuden tarkastamisessa olennaisessa osassa ovat ns. ongoing-vertailut, joissa jatkuvakäyttöisten hiukkasmittalaitteiden kalibrointikertoimien soveltuvuutta todennetaan eri puolilla Suomea eri vuodenaikoina. Vertailulaboratorio teki vuosina 2017–2018 kahden kuukauden mittaisia ongoing-vertailumittauksia, joiden tavoitteena oli osoittaa, miten hyvin Kuopion vertailumittauksissa hyväksytyt mittalaitteet toimivat eri puolella Suomea (Waldén & Vestenius, 2018) ja tässä raportissa esitellyn hankkeen yhteydessä tätä työtä on jatkettu.

Pienhiukkasille altistumisen vähennystavoitteen laskennassa ja pitoisuuskaton toteutumisen seurannassa käytetään keskimääräisen altistumisen indikaattoria (*Average Exposure Index, AEI*), joka on määritelty ilmanlaatudirektiivissä. AEI:n on perustuttava kaupunkien tausta-aluemittauksiin taajamissa ja alueilla koko jäsenvaltion alueella ilmanlaatudirektiivissä kerrottujen kriteerien mukaisesti. Se olisi arvioitava näytteenotto paikan tai -paikkojen kolmen kalenterivuoden liukuvana pitoisuuskeskiarvona ja se ilmaistaan yksikköinä µg/m³. Vertailuvuoden 2010 AEI on vuosien 2008, 2009 ja 2010 pitoisuuskeskiarvo, vuoden 2015 AEI on vuosien 2013, 2014 ja 2015 pitoisuuskeskiarvo ja vuoden 2020 AEI on vuosien 2018, 2019 ja 2020 kolmen vuoden pitoisuuskeskiarvo. AEI:n avulla tarkastellaan, onko altistus pitoisuutta koskeva velvoite täyttynyt ja onko kansallinen vähennystavoite täyttynyt. Ympäristönsuojelulaissa 527/2014 ja Valtioneuvoston asetuksessa ilmanlaadusta 79/2017 säädetään pienhiukkasten jatkuvatoimisesta seurannasta pääkaupunkiseudulle pysyvästi sijoitetulla kaupungin yleistä

ilmanlaatua edustavalla kaupunkitausta-asemalla, jolla mitatuista pienhiukkasten pitoisuuksista määritetään Suomen AEI-arvo, jota käytetään altistumisen pitoisuuskaton toteutumisen seurannassa sekä altistumisen vähennystavoitteen laskennassa ja sen seurannassa. Helsingin Kallion asema on valittu toimimaan Suomen AEI-asemana. Vuoden 2010 AEI määritettiin Kalliossa vuosien 2009–2011 keskiarvona ollen $8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula ym. 2014). Täten Suomen alkuperäinen AEI oli alle alimman määritellyn altistumisen vähennystavoitteen pitoisuusarvon ($8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja vähennystavoitteeksi määräytyi nolla, eli Suomen AEI:n tulee pysyä seurantajakson (2010–2020) ajan samalla tasolla tai sen alapuolella.

Tässä raportissa esitellyn hankkeen ”Ilmanlaatumittausten kansallinen laadunvarmennusohjelma: Hiukkasmittausten vaatimuksenmukaisuuden todentaminen” eli HIVATO-hankkeen tavoitteet ja tulokset voidaan jakaa neljään eriteltyyn osatehtävään:

1. AEI-aseman (Kallion $\text{PM}_{2,5}$ mittaukset) tulosten arviointi,
2. jatkuvatoimisten hiukkasmittausten kalibrointikertoimien todentaminen standardin SFS-EN 16450:2017 mukaisesti; vertailumittaukset kolmella mittausasemalla Suomessa, joista yksi on AEI-asema,
3. aiemman projektin (Ilmanlaatumittausten laadunvarmennusohjelma: Hiukkas- ja kaasumaiset yhdisteet) tulosten jatkojalostus tämän hankkeen tulosten kanssa sekä
4. ohjelma jatkuvien vertailumittausten toteuttamiseksi jatkossa.

2. HANKKEEN TOTEUTUS

Vertailulaboratorio käytti hankkeen mittauksissa vertailumenetelmänä menetelmästandardin SFS-EN 12341:2014 mukaista suodatinkeru- ja punnitusmenetelmää. Suodatinkeruut tehtiin Leckel SEQ47/50 -merkkisillä koteloiduilla keräimillä, joissa on automaattinen näyteenvaihtaja. Keräyksissä käytettiin polytetrafluoroetyleni (PTFE) suodattimia (Millipore Fluoropore FSLW04700 3 µm). Suodattimien punnitukset tehtiin akkreditoitulla gravimetrisellä menetelmällä vertailulaboratorion vakio-olosuhdekaapissa.

Mittauskampanja aloitettiin Helsingin Kallion asemalla kesäkuussa 2019 ja 24 tunnin PM_{2,5}-suodatinnäytteitä kerättiin pääsääntöisesti joka kolmas päivä syyskuuhun 2020 asti. Kallion asema toimii Suomen AEI-asemana ja sitä ylläpitää Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) verkko. Suomen AEI-mittaus perustuu aseman TEOM 1405 -laitteella tehtyyn PM_{2,5}-mittaukseen, jonka mittaustulos raportoidaan tietokantaan käyttäen Kuopion ekvivalenttisuuden osoituksessa laitemallille määritettyä korjausyhtälöä.

Mittauskampanjat kahdella muulla asemalla suoritettiin tiiviinä kahden kuukauden pituisina jaksoina, joissa 24 tunnin PM_{2,5}-suodatinnäytteitä kerättiin joka päivä ja tavoitteena oli saada kultakin jaksolta 60 näytettä. Vertailupaikkakunniksi valikoituivat Kuopio ja Lahti, joissa kummassakin järjestettiin kaksi kahden kuukauden vertailumittausta, yksi kylmemmällä kaudella ja toinen lämpimämmällä. Kummallakin näistä kahdesta paikkakunnasta mittausasemaksi valikoitui asema, jolla PM_{2,5}-mittaus tehdään uudella FIDAS 200 -sarjan hiukkasmonitorilla. Tälle laitteelle ei ole vielä olemassa Suomessa ekvivalenttisuuden osoitusta eikä siten hyväksytyä korjausyhtälöä PM_{2,5}- tai PM₁₀-mittaukselle. Tämän hankkeen mittauksilla voidaan havaita, kuinka hyvin TÜV:in ja MCERT:n laitetyypille tekemän ns. tyyppitestauksen perusteella saatu korjausyhtälö soveltuu Suomessa hankkeessa mukana olleilla asemilla eri vuodenaikoina. Vertailulaboratorio asensi Kallion AEI-asemalle lisäksi yhden FIDAS 200 -hiukkasmonitorin kesän 2020 ajaksi. Tällä mittauksella oli tarkoitus tuoda lisää vertailupisteitä FIDAS 200 -monitorien soveltuvuusarvioon.

Lisäksi tähän raporttiin lisättiin vuosien 2018–2019 aikana tehtyjen vertailumittausten aineisto, joka sisältää Ilmatieteen laitoksen (IL) tausta-asemaverkon Virolahden asemalla ja HSY:n Mäkelänkadun asemalla tehdyt kahden kuukauden vertailujaksot sisältäen AMS:ien mittaustulosten vertailun vertailumenetelmää vastaan sekä PM_{2,5}- että PM₁₀-kokojakeelle. Näihin vertailuihin oli saatu laite-edustajalta lainaan uusi markkinoille tuolloin tulossa ollut FIDAS 200 -hiukkasmonitori. Lisäksi aineisto sisältää ko. asemien oman PM-monitorin datan vertailujaksojen ajalta kummallekin em. hiukkaskokojakeelle.

Kaikkien vertailussa olevien AMS:ien mittausdata vertailtiin vertailumenetelmää vastaan siten, että tulosvertailussa pystyttiin tarkistamaan, kuinka hyvin velvoiteseurantatulosten raportoinnissa käytettävät korjausyhtälöt toimivat. Vertailumittauksiin osallistuneiden mittausverkkojen mittausten kuvaukset ovat taulukossa 1. Kuvassa 1 on havainnollistettu hankkeeseen osallistuneiden mittausasemien sijainnit sekä Suomessa vuosien 2019–2020 aikana tehtyjen PM_{2,5}-mittausten sijaintipaikkakunnat ja mittausasemien tyyppiluokittelu.

Taulukko 1. Hankkeeseen osallistuneet mittaukset.

Mittausverkko	Mittausasema	AMS	Korjausyhtälö raportoinnissa	Vertailujakso(t)
HSY	Helsinki Kallio 2 (AEI)	TEOM 1405 FIDAS 200 S *	$y=1,009x-1,681$ (PM _{2,5}) -	15.6.–13.9.2020 6.6.–13.9.2020
HSY	Helsinki Mäkelänkatu	TEOM 1405 TEOM 1405 FIDAS 200 **	$y=1,009x-1,681$ (PM _{2,5}) $y=0,868x-2,068$ (PM ₁₀) -	2.3.–2.5.2019
IL tausta-aseverkko	Virolahti 2	Thermo 5030 SHARP Thermo 5030 SHARP FIDAS 200 **	$y=0,998x$ (PM _{2,5}) $y=1,242x$ (PM ₁₀) -	11.10.–9.12.2018
Kuopio	Maaherrankatu	FIDAS 200 E	-	22.11.2019–4.2.2020, 18.4.–20.6.2020
Lahti	Saimaankatu	FIDAS 200 E	-	7.2.–10.4.2020, 4.7.–4.9.2020

*) Vertailulaboratorion AMS viety asemalle vertailtavaksi.

**) Laite-edustajalta lainattu AMS viety asemalle vertailtavaksi.

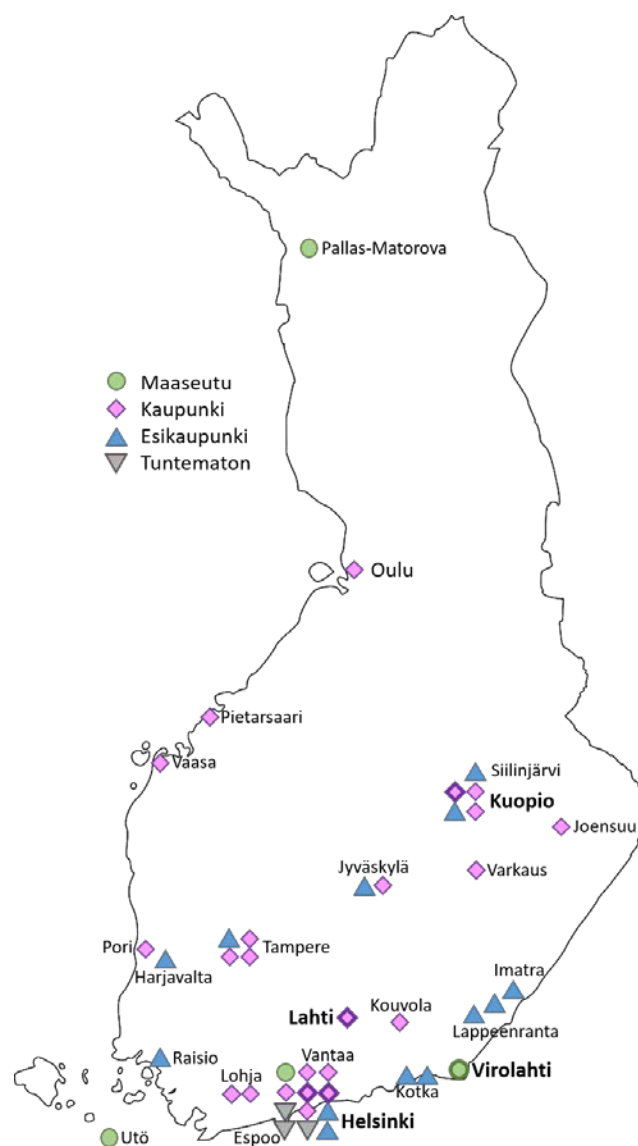
HSY Helsinki Kallio 2 on kaupunkitausta-asema Brahen urheilukentän laidalla. Asema sijaitsee kaupunkialueella, mutta etäällä vilkkaista teistä ja päästölähteistä. Kallion asemalla mitattavaa PM_{2,5}-tulosta käytetään Suomen AEI-laskennassa.

HSY Helsinki Mäkelänkatu on liikenneasema, joka sijaitsee vilkkaasti liikennöidyn kadun reunalla katukuilussa. Mäkelänkatu on yksi Helsingin pääsisäntuloväylistä.

Virolahti 2 on Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä maaseututausta-asema, joka sijaitsee alavan peltoaukeaman ja metsänreunan rajalla.

Kuopio Maaherrankatu on kaupunkiasema, joka sijaitsee Kuopion pääkirjaston pysäköintialueella. Aseman vieressä on kirjaston pieni pysäköintialue, joka voi vähäisessä määrin vaikuttaa tuloksiin.

Lahti Saimaankatu on liikenneasema Lahden keskustassa vilkkaan liikenteen alueella.

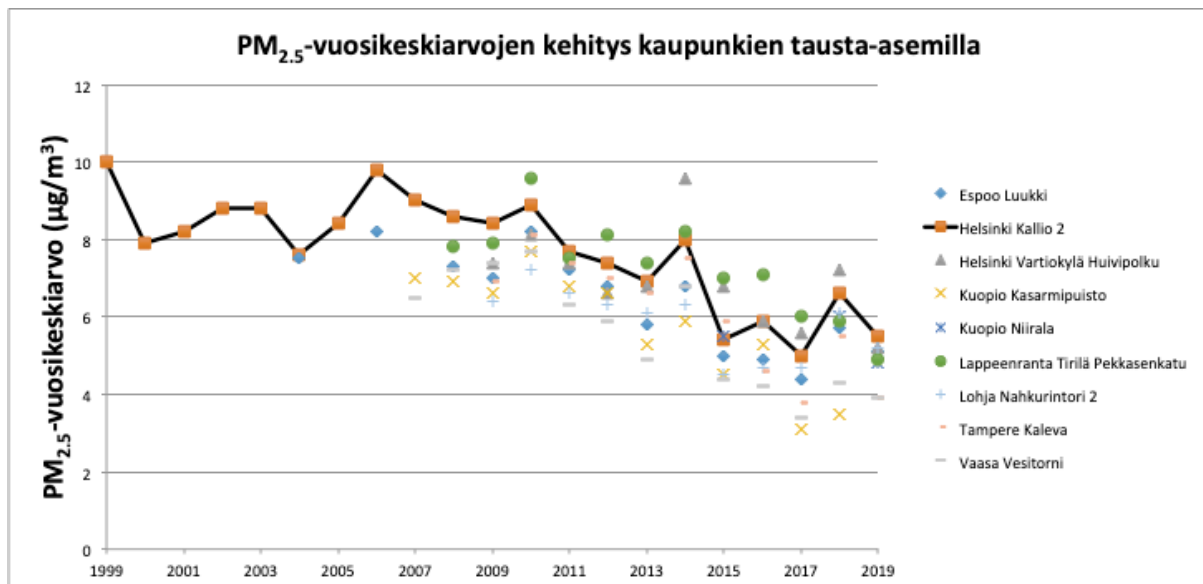


Kuva 1. Ilmanlaadun mittausverkkojen suorittamat PM_{2,5}-mittaukset Suomessa vuosina 2019–2020. Mittausasemien tyyppiluokittelu on ilmaistu erilaisilla symboleilla. Tiedot on poimittu AQUESTI-tietokannasta. Tähän hankkeeseen osallistuneet mittauspaikkakunnat ja -asemat on esitetty paksunnetuin tekstein ja symbolein.

3. ALTISTUMISINDIKAATTORIMITTAUKSEN VAATIMUKSEN MUKAISUUS

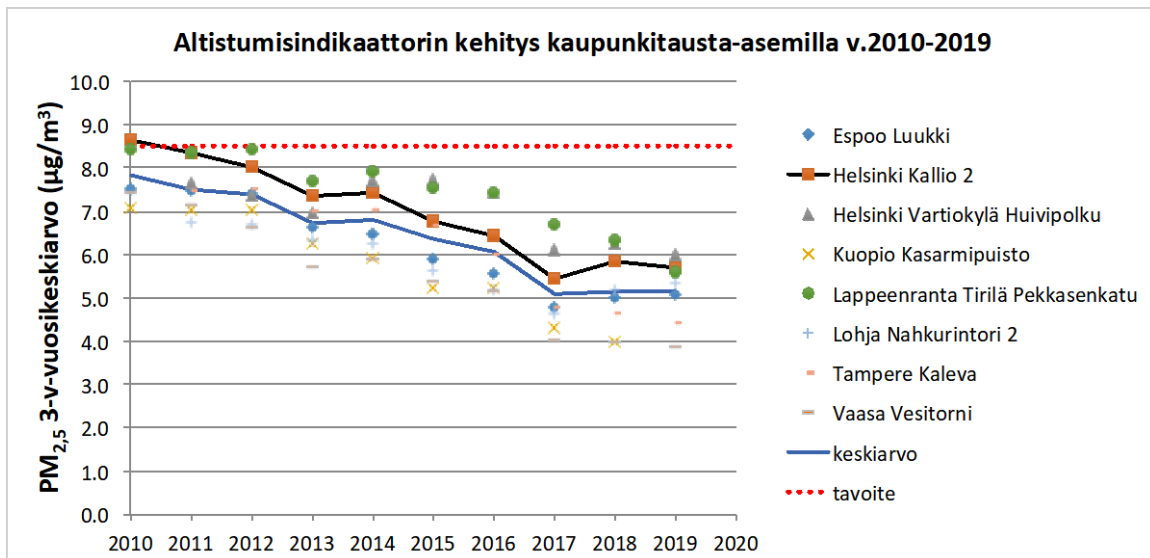
3.1 AEI-aseman edustavuus

Kaikista vuodesta 1999 vuoteen 2019 Suomessa kaupunki- ja esikaupunkiasemilla mitattujen PM_{2.5}-pitoisuuksien vuosikeskiarvoista tehtiin yhteenveto, jonka avulla arvioidaan Kallion AEI-aseman soveltuvuutta altistumisindikaattorin tarkoitukseen. Suomessa PM_{2.5}-pitoisuutta mitataan n. 40 mittausasemalla, joista noin neljäsosa edustaa kaupunki- tai esikaupunkitaustaa. PM_{2.5}-vuosikeskiarvopitoisuudet ovat alentuneet vuosien 1999 ja 2019 välillä Kallion asemalla n. 30 prosentilla (Kuva 2). PM_{2.5}-vuosikeskiarvopitoisuudet ovat alentuneet myös muilla Suomen kaupunkitausta-asemilla keskimäärin samansuuruisesti. Kallion asemalla mitattu PM_{2.5}-pitoisuusaikasarja edustaa keskimääräistä PM_{2.5}-pitoisuuden kehitystä Suomessa. Kallion aikasarja edustaa pitoisuuksien yläpäättä, mutta kaupunkien väliset erot eivät ole merkittäviä.



Kuva 2. Kaupunkitausta-asemien PM_{2.5}-vuosikeskiarvopitoisuuksien kehitys vuodesta 1999 vuoteen 2019 Suomessa. Aineisto on haettu Ilmatieteen laitokselle raportoitujen aineistojen tietokannasta. Aineistoa ei ole korjattu takautuvasti.

Altistumisindikaattorin kehitystä Kallion asemalla tarkasteltiin laskemalla aseman PM_{2.5}-mittauksesta kolmen vuoden liukuva keskiarvo ja sitä verrattiin muissa suomalaisissa kaupungeissa mitattuihin ja vastaavalla tavalla laskettuihin liukuviin kolmen vuoden keskiarvoihin kaupunki- ja esikaupunkiasemilta (Kuva 3). Tällöin esimerkiksi vuoden 2019 altistusindikaattori on vuosien 2017, 2018 ja 2019 keskiarvo. Kun tarkastellaan tilannetta pidemmällä aikavälillä, voidaan havaita, että kyseisellä tavalla laskettu kolmen vuoden keskiarvo Kallion asemalla mitatusta datasta on vuosien 2001 ja 2019 välillä vaihdellut 5,4 µg/m³ (v. 2017) ja 9,1 µg/m³ (v. 2008) välillä, keskiarvon ollessa em. aikavälillä 7,8 µg/m³. Tänä aikana Kallion altistumisindikaattorin arvo on laskenut lähtötasosta alle 6 µg/m³:aan eli noin 30 prosentilla, ja samanlainen kehitys on nähtävissä myös muilla mittausasemilla. Lappeenrannan Tirilässä ja Helsingin Vartiokylässä mitattu vuosikeskiarvo on pääsääntöisesti suurempi kuin Kalliossa mitattu. Kaikki muilla aineiston asemilla mitatut PM_{2.5}-pitoisuuden kolmen vuoden keskiarvot ovat pienempiä kuin Kalliossa.



Kuva 3. Altistumisindikaattorin (AEI) kehitys kaupunki- ja esikaupunkiasemilla Suomessa 2010–2019. Helsinki Kallio 2 on Suomen AEI-asema. Keskiarvokäyrä kuvaa kaikkien kuvassa olevien asemien keskiarvon kehittymistä ajanjaksolla. Altistumisen vähennystavoitteen arvioinnissa käytettävä vuoden 2020 keskimääräinen AEI:n enimmäisarvo on 8,5 µg/m³.

Tämän kymmenen vuoden aikajaksolta kerätyn mittausaineiston data-analyysin perusteella Kallion mittaus näyttäisi edustavan keskimäärin yleistä altistumista pienhiukkasille kaupunkien tausta-alueilla Suomessa, kun otetaan huomioon myös altistuvan väestön määrä. Lisäksi vuodesta 2013 eteenpäin Suomen kaupunkitausta-aseilla tehtyjen PM_{2,5}-mittausten keskiarvot niin asemakohtaisesti kuin asemien yhteisenä keskiarvona alittavat kokonaisuudessaan vuoden 2020 keskimääräisen altistumisindikaattorin enimmäisarvon 8,5 µg/m³, jota käytetään altistumisen vähennystavoitteen arvioinnissa.

3.2 Korjauskertoimien soveltuvuus AEI-aseman TEOM 1405 -hiukkasmonitorille

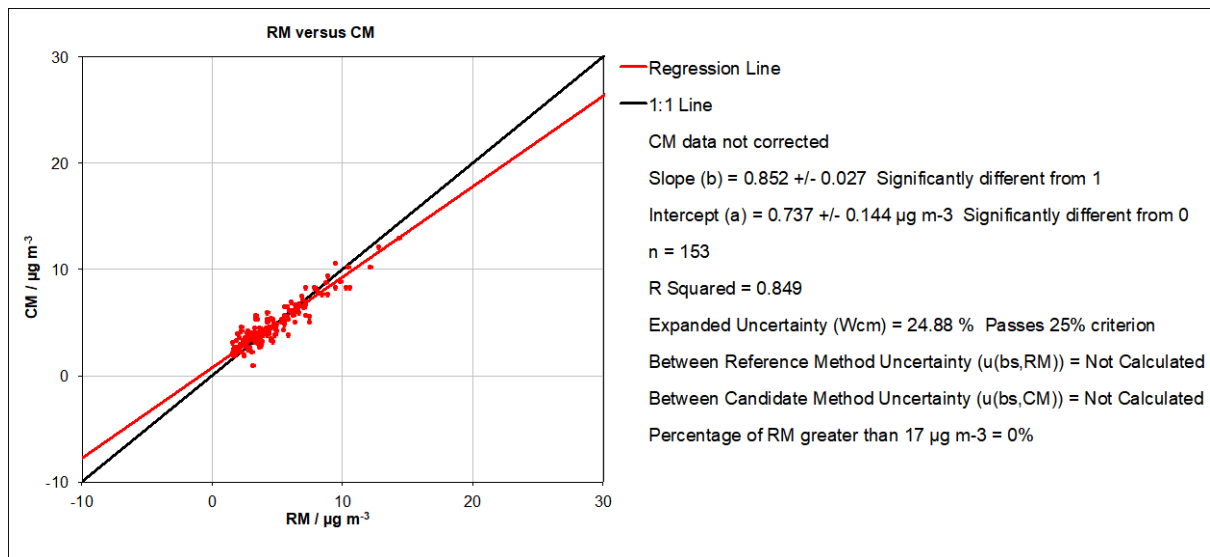
Kallion asemalla sijaitsevaa TEOM 1405 -laitteen tuloksia, joita käytetään altistumisindikaattorin laskentaan Suomessa, verrattiin vertailumenetelmänä käytettyyn referenssikeräimeen (REF) ajanjaksolla 15.6.2019–13.9.2020. Näytteitä kerättiin tuolla ajanjaksolla pääsääntöisesti joka kolmas päivä. Huolimatta 15 kuukauden pituisesta mittausjaksosta vuorokausipitoisuudet jäivät alhaisiksi ollen mittausajanjaksolla keskimäärin 4,8 µg/m³ ja korkeimmillaankin alle 15 µg/m³ (taulukko 2).

Taulukko 2. Kallion PM_{2,5}-vertailun tilastollisia tunnuslukuja.

µg/m ³	REF PM _{2,5}	TEOM 1405 PM _{2,5}
Maksimi	14,87	12,91
Minimi	1,10	0,88
Keskiarvo	4,83	4,87
Mediaani	4,25	4,28
Lukumäärä	157	159

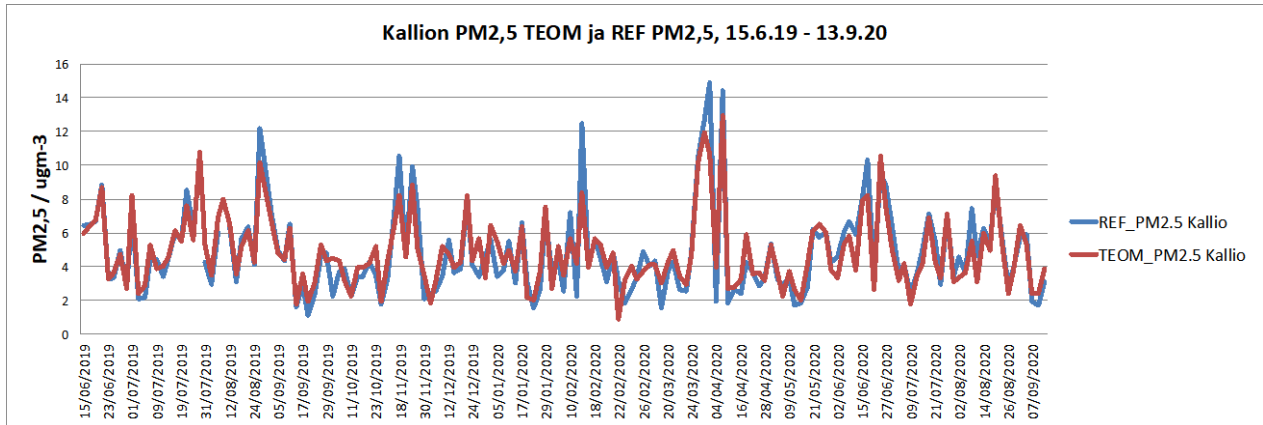
Kun altistumisindikaattorin raportoinnissa käytettävää Kallion aseman TEOM 1405 -dataa Kuopiossa määritetyllä TEOM 1405:n korjausyhtälöllä ($1,009x-1,681$) korjattuna verrattiin referenssikeräimellä kerättyä dataa vastaan, saatiin menetelmien väliseksi epävarmuudeksi 25,03 %, joka oli aivan 25 %:n epävarmuusvaatimuksen rajalla.

Menetelmästandardissa SFS-EN 16450:2017 ohjeistetaan, että vertailupisteitä ei saa poistaa muutoin kuin ilmiselvistä toimintahäiriöistä tms. johtuen ja korkeintaan 2,5 % pisteistä saa näillä ehdoilla poistaa aineistosta. Kun datasta poistettiin selkeät virhepisteet ja referenssikeräimellä mitatut alle $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuudet, Kallion mittaus TEOM 1405 -laitteella läpäisi niukasti 25 %:n epävarmuusvaatimuksen epävarmuuden ollessa 24,9 % (kuva 4).



Kuva 4. Referenssikeräimen (RM) ja TEOM 1405 -laitteen (CM) $\text{PM}_{2.5}$ -vertailu Kallion asemalla.

Menetelmästandardiin SFS-EN 16450:2017 perustuvassa ekvivalenssimittauksessa käytettävän vertailuaineiston laadulle on asetettu tavoitteita, kuten vähintään 20 %:ssa mittaustuloksista (tai 32 dataparissa) tulisi olla pitoisuus yli $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämä tavoite ei tässä vertailussa täytynyt, sillä kaikki mittaussjakson pitoisuudet olivat alhaisia, eikä joukossa ollut yhtään $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittävää pitoisuutta (Kuva 5). Vertailumittauksen painottuessa pieniin pitoisuuksiin epävarmuuden laskennassa käytetty menetelmästandardiin SFS-EN 16450:2017 perustuva laskentaohjelma ei toimi ideaalisesti. Tästä huolimatta vertailun lopputulosta voidaan kuitenkin pitää riittävän luotettavana. Koko Suomessa oli vuonna 2020 ainoastaan kolme pienhiukkasten vuorokausiraja-arvon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylityspäivää, joten pienhiukkaspitoisuudet ovat yleisesti hyvin alhaisia Suomessa verrattuna esimerkiksi Keski-Eurooppaan. Tästä voidaankin tehdä johtopäätös, että eurooppalaisten menetelmästandardien vaatimukset eivät aina ole Suomen olosuhteissa täysin sopivia tai että niitä joudutaan käytännössä soveltamaan.



Kuva 5. PM_{2,5}-aikasarja Kallion asemalla TEOM 1405 -laitteella ja vertailumenetelmällä mitattuna. TEOM 1405 -laitteen datalle käytettiin korjausyhtälöä $y=1,009x-1,681$.

TEOM 1405 -laitteen mittaustarkkuus yhden tunnin aikaresoluutiolla on valmistajan ilmoituksen mukaan kaksi (2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Yhteensä 12 päivänä 154:stä Kalliossa referenssikeräimellä mitatusta päivästä vuorokauden keskiarvopitoisuus jäi alle kahden $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Näissä tapauksissa mitatun pitoisuuden voidaan lähinnä sanoa olevan alhainen, epävarmuuden ollessa suuri, jopa 100 %:n luokkaa. Nämä alhaiset pitoisuudet aiheuttavat ongelmia mittaustarkkuudessa mille tahansa jatkuvatoimiselle laitteelle. Koko mittausjaksoa tarkasteltaessa referenssikeräimen tulosten keskiarvoksi saatiin $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Kallion TEOM 1405 -laitteen antamaksi keskiarvopitoisuudeksi $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun TEOM 1405 -laitteen data oli korjattu Kuopiossa määritetyllä korjausyhtälöllä.

Voidaan todeta, että tämän aineiston perusteella Kallion TEOM 1405 -laitteella tehtävä altistumisindikaattorimittaus täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. Kuopion ekvivalenttisuuden osoittamisen mittauskampanjassa 2014–2015 määritetty korjausyhtälö TEOM 1405 -laitteelle ei tämän perusteella näyttäisi toimivan parhaalla mahdollisella tavalla Helsingin Kalliossa, mutta se kuitenkin läpäisee epävarmuustarkastelun niukasti. Tämän mittausjakson perusteella TEOM 1405 -laite näyttäisi yliarvioivan pitoisuuksia Kalliossa. Tämän vertailujakson aineiston perusteella määritetty korjauskerroin ko. mittaukselle olisi $0,818x+2,5310$ epävarmuuden ollessa 16,1 %. Täten TEOM 1405 näyttäisi Kallion asemalla aliarvioivan pienimpiä pitoisuuksia ja vastaavasti yliarvioivan suuria pitoisuuksia, kun käytetään Kuopiossa määritettyjä korjauskertoimia.

4. JATKUVATOIMISTEN HIUKKASMITTALAITTEIDEN VERTAILUMITTAUKSET

4.1 FIDAS 200 -hiukkasmonitorin korjauskertoimet

Muulla Euroopassa jo useamman vuoden PM-mittauksissa käytetty FIDAS 200 -hiukkasmonitori (Palas GmbH) on hiljattain tullut myös Suomen markkinoille. Kyseessä on jatkuvatoiminen mittalaite, jossa hiukkaspiteisyyksien määrittäminen perustuu hiukkasten optiseen määrittämiseen. Laite ei ole ollut mukana hiukkasmonitoreille järjestetyissä suomalaisissa ekvivalenttisuuden osoittamisvertailuissa eikä muissakaan hiukkasvertailuissa Suomessa. Ilmanlaadun mittaajat ovat alkaneet hankkia laitteita käyttöönsä, ja laite onkin yleistynyt nopeasti Suomessa, joten laitteen soveltuvuuden osoittamiselle Suomessa oli kysyntää ja tarvetta.

FIDAS 200 -laitteelle määritettiin tämän hankkeen vertailumittausten ja aiempien, vuosina 2018–2019 tehtyjen soveltuvuusmittausten perusteella PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkaskokoluokkien mittaukseen Suomessa soveltuvat korjauskertoimet menetelmästandardin SFS-EN 12341:2014 mukaista referenssikieräntä ja punnitusmenettelyä vastaan.

Tässä tutkimuksessa FIDAS 200 -hiukkasmonitorin korjauskertoimiksi saatiin:

- PM₁₀-hiukkaskokoluokalle 0,95 (taulukko 3)
- PM_{2,5}-hiukkaskokoluokalle 0,915 (taulukko 4)

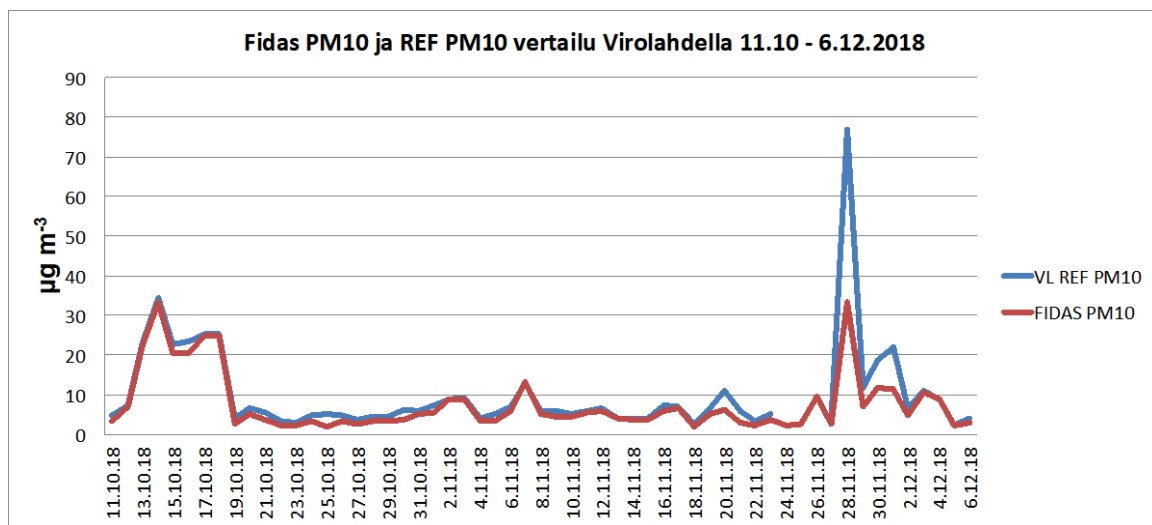
Näiden vertailumittausten tulosten perusteella FIDAS 200 soveltuu Suomessa tehtäviin PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasmittauksiin, kun laitteella mitattu hiukkaspiteisyysdata korjataan käyttäen em. kertoimia. Tällöin laitteella mitatut PM₁₀- ja PM_{2,5}-pitoisuustulokset ovat yhdenmukaisia menetelmästandardin SFS-EN 12341:2014 mukaista vertailumenetelmää vastaan Suomessa. Näillä kertoimilla korjattu mittausdata on vertailukelpoista, ja se voidaan raportoida kansallisesti ja kansainvälisesti. Näitä kertoimia voi käyttää FIDAS 200 -laitteella vuonna 2019 ja sen jälkeen mitatulle datalle toistaiseksi, ennen kuin saadaan tuloksia seuraavasta Suomessa järjestettävästä ekvivalenttisuuden osoittamisen vertailumittauksesta, jossa kyseisen laitteen tulisi olla mukana. Käytettäessä näitä kertoimia voidaan tulosten raportoinnin yhteydessä viitata tähän raporttiin, kuten kerrottiin myös ilmanlaadun mittausverkoille 31.12.2020 asiasta lähetetyssä tiedoksiannossa (Liite 1).

Muissa eurooppalaisissa vertailumittauksissa TÜV Rheinland on määrittänyt FIDAS 200 -laitteelle tehdyn tyyppitestauksen perusteella korjauskerroksi 0,945b+1,422 PM₁₀:lle ja 0,929b+0,315 PM_{2,5}:lle (TÜV Report 936/21227195/C) ja vastaavasti MCERTS Britannian vaatimuksenmukaisuussertifioinnissa tasan yksi (1) PM₁₀:lle ja 0,943y+0,210 PM_{2,5}:lle (Sira MC 160290/02). Kummassakin edellä mainitussa testissä on päädytty samansuuntaisiin tuloksiin kuin vertailulaboratorion tässä raportissa esittämissä mittauksissa.

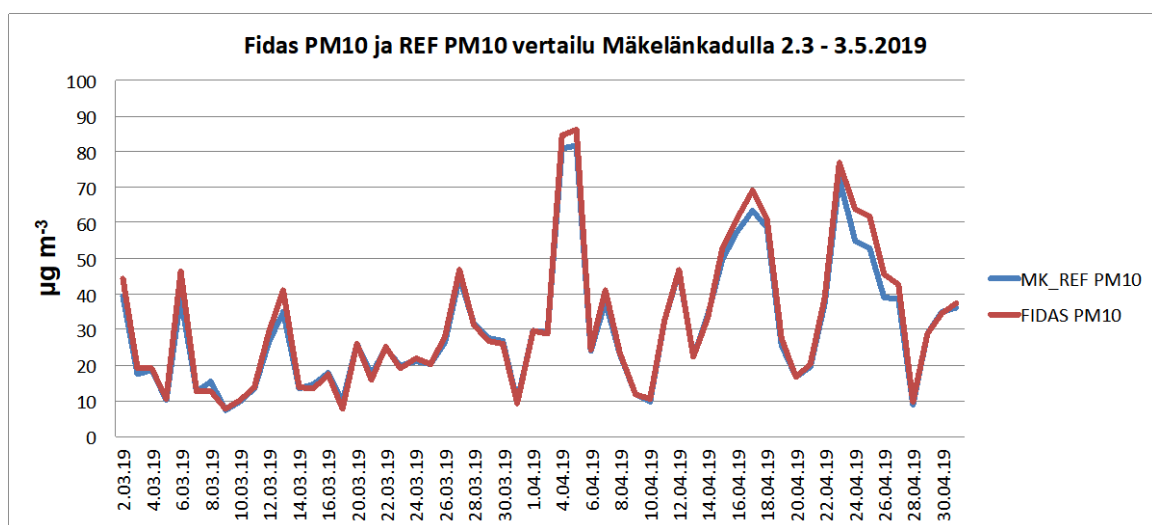
Hengitettävät hiukkaset, PM₁₀

FIDAS 200 -laitteelle soveltuva korjauskerroin PM₁₀-hiukkaskokoluokalle määritettiin kahdella ilmanlaadun mittausasemalla eli Virolahdella syksyllä 2018 (kuva 6) ja Helsingin Mäkelänkadulla keväällä 2019 (kuva 7). Näiden asemien voidaan ajatella edustavan ilmanlaadun ääripäitä Suomessa; Virolahden asema on syrjäinen maaseutuasema, josta lähimpään kylään on matkaa viisi kilometriä, ja Mäkelänkadun asema on liikenneasema vilkasliikenteisen kadun varrella katukuilussa Helsingissä. Korkein pitoisuus oli kummallakin asemalla samaa luokkaa (Virolahti 77 µg/m³ ja Mäkelänkatu 82 µg/m³), mutta mediaanipitoisuuksia tarkasteltaessa pitoisuuserot tulevat selkeästi näkyviin: Virolahden PM₁₀-pitoisuuksien mediaani mittausjakson aikana oli 6 µg/m³. Mäkelänkadun PM₁₀-pitoisuuksien mediaani keväällä 2019 oli 30 µg/m³.

Taulukossa 3 on esitelty PM₁₀-mittausdata, jonka perusteella korjauskertoimet on määritetty. Virolahden ja Mäkelänkadun mittausaineistot yhdistämällä korjauskertoimeksi FIDAS 200-laitteen PM₁₀-mittaukselle saatiin 0,95 (kuva 8). FIDAS 200 -laitteen soveltuvuutta eri paikkakunnilla ja eri ympäristöissä tutkittiin määrittämällä informatiiviset ns. paikalliset korjauskertoimet. Näitä ei ole kuitenkaan tarkoitus käyttää mittausdatan korjaamiseen, vaan mittajien tulee käyttää yhdistetyn aineiston perusteella määritettyä korjauskerrointa (0,95). Virolahdella FIDAS 200 -laitteen paikalliseksi kertoimeksi saatiin 1,1. Tämän mukaan FIDAS 200 -laite hieman aliarvioi PM₁₀-pitoisuutta Virolahdella mittausjakson aikana. Mäkelänkadun mittausjakson kertoimeksi tuli 0,94. Mäkelänkadulla oli Virolahtea enemmän suurempia pitoisuuksia, joissa hiukkasmonitorin mittaus yleensä toimii paremmin. Tämän takia Mäkelänkadun mittauksille määritettävän korjauskertoimen epävarmuus on alhaisempi kuin Virolahden mittauksille määritetyn paikallisen korjauskertoimen.



Kuva 6. PM₁₀-aikasarja Virolahden asemalla FIDAS 200 -laitteella ja vertailumenetelmällä (REF) mitattuna syksyllä 2019.



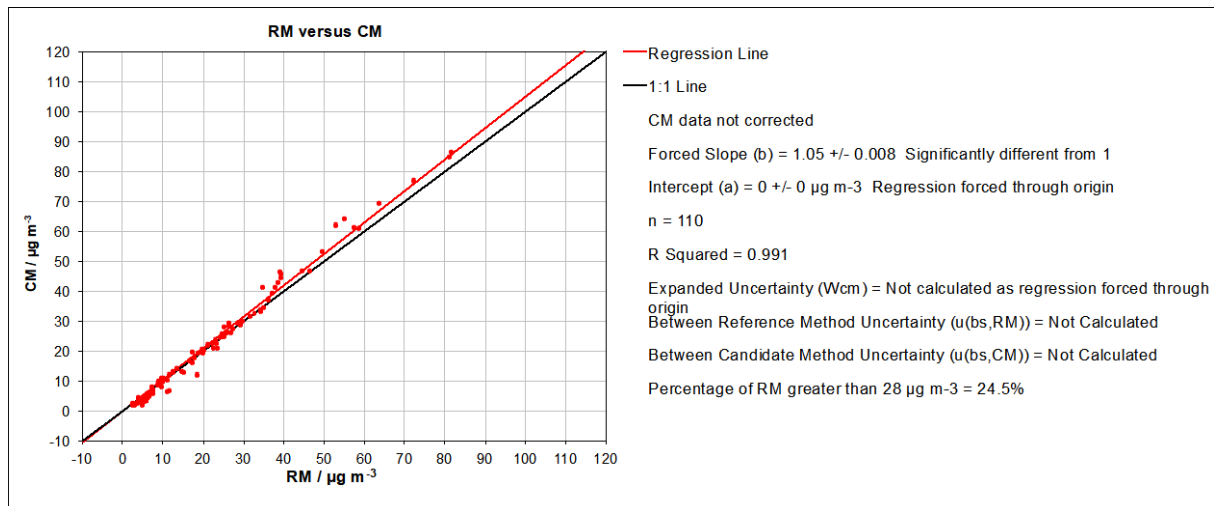
Kuva 7. PM₁₀-aikasarja Helsingin Mäkelänkadulla FIDAS 200 -laitteella ja vertailumenetelmällä (REF) mitattuna keväällä 2019.

Taulukko 3. FIDAS 200 -laitteen tulokset PM₁₀-hiukkaskokoluokalle. Sarakkeessa 'kaikki' esitetyt korjauskertoimet pätevät koko maassa toistaiseksi. Taulukossa esitetyt paikalliset korjauskertoimet* ovat ainoastaan informatiivisia, eikä niitä tule käyttää.

PM ₁₀	kaikki	Virolahti	Mäkelänkatu
Minimi (µg/m ³)	2,40	2,40	7,38
Maksimi (µg/m ³)	81,87	76,66	81,87
Keskiarvo (µg/m ³)	20,45	10,00	30,32
Mediaani (µg/m ³)	14,17	5,96	26,59
Lukumäärä, <i>n</i>	110	52	58
>28 µg/m ³	24,50 %		
Virhepisteitä (tulosten ero >5 µg/m ³)	1,82 %	2 kpl	0 kpl
Mittauksen ajankohdat		10-12/2018	3-4/2019
*Paikallinen korjauskerroin		1,10 b=0,903 Wcm=15,3 %	0,94 b=1,062 Wcm=7,3 %
FIDAS 200 korjauskerroin ⁽¹⁾	0,95		
Kulmakerroin <i>b</i> ⁽¹⁾	1,05		
Mittausepävarmuus <i>Wcm</i>	7,2 %		
Mittausepävarmuus <25 % ⁽²⁾	kyllä		

⁽¹⁾ Korjausyhtälöstä $CM=b*RM$, jossa *b* = kulmakerroin, *CM* (*candidate method*) = FIDAS 200 ja *RM* (*reference method*) = keräimen punnitustuloksesta saatu vertailuarvo.

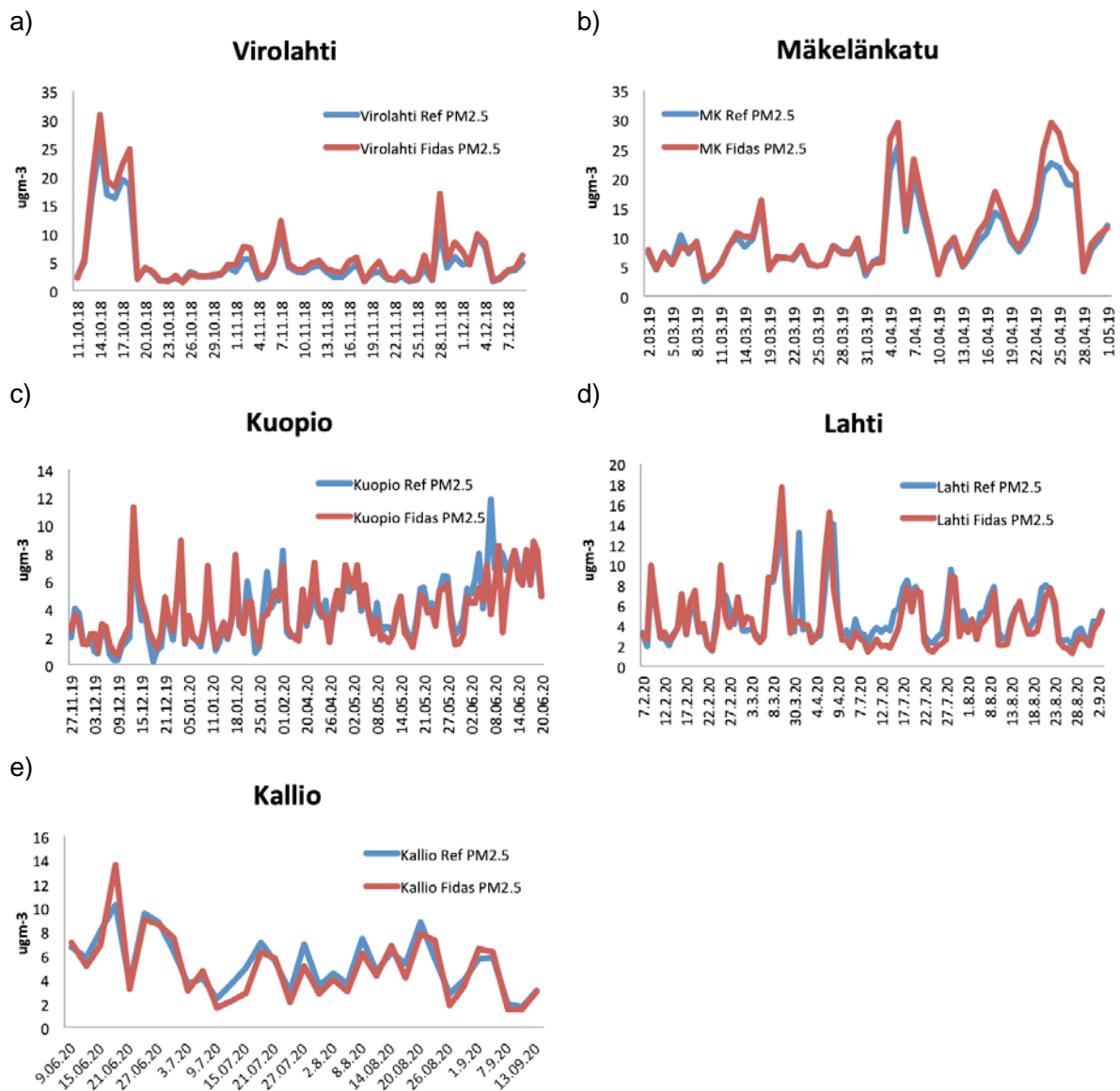
⁽²⁾ Mittausepävarmuuden pitää olla alle 25 % raja-arvopitoisuudessa ilmanlaatuasetuksen 79/2017 mukaan.



Kuva 8. Referenssikeräimen (RM) ja FIDAS 200 -laitteen (CM) PM₁₀-vertailu käyttäen yhdistettyä aineistoa Virolahdeltä ja Mäkelänkadulta.

Pienihiukkaset, PM_{2,5}

FIDAS 200 -laitteelle soveltuva korjauskerroin PM_{2,5}-hiukkaskokoluokalle määritettiin viidellä ilmanlaadun mittausasemalla: Virolahdella syksyllä 2018 (kuva 9a), Helsingin Mäkelänkadulla keväällä 2019 (kuva 9b), Kuopion Maaherrankadulla talvella ja keväällä 2019–2020 (kuva 9c), Lahden Saimaankadulla kevättalvella ja kesällä 2020 (kuva 9d) sekä Helsingin Kallion asemalla kesällä 2020 (kuva 9e). Taulukossa 4 on esitelty PM_{2,5}-mittausdata, jonka perusteella korjauskertoimet on määritetty. Kaikkien viiden mittausaseman aineistot yhdistämällä korjauskertoimeksi FIDAS 200 -laitteen PM_{2,5}-mittaukselle saatiin 0,915 (kuva 10).

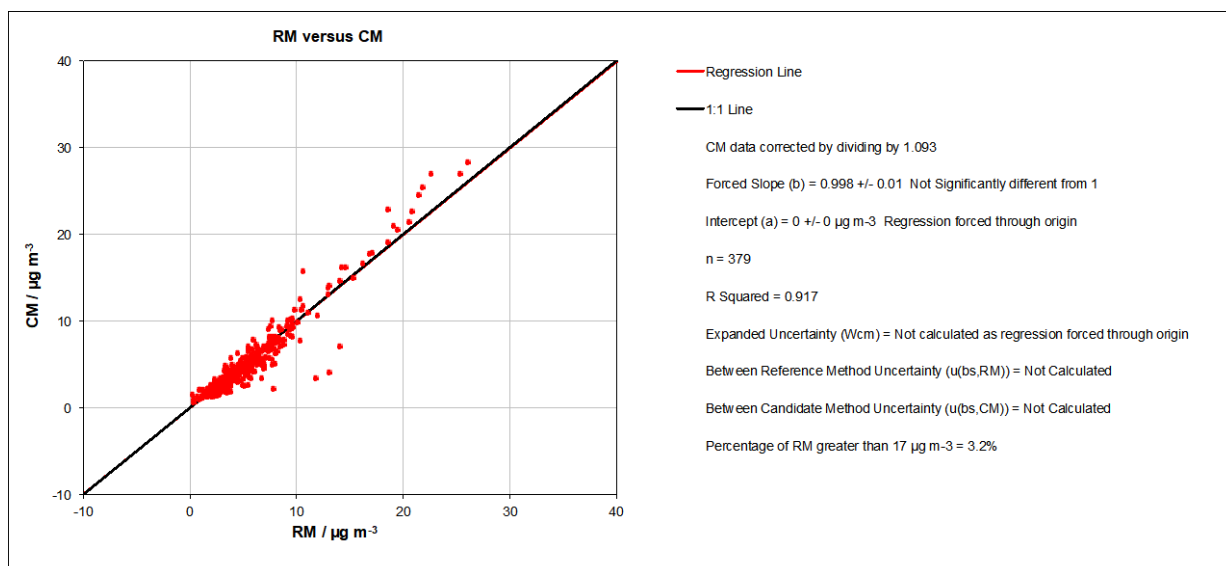


Kuva 9. PM_{2,5}-aikasarjat FIDAS 200 -laitteella ja vertailumenetelmällä (REF) mitattuna Virolahden asemalla syksyllä 2018 (a), Helsingin Mäkelänkadulla keväällä 2019 (b), Kuopion Maaherrankadulla talvella sekä keväällä ja kesällä 2019–2020 (c), Lahden Saimaankadulla kevättalvella ja kesällä 2020 (d) ja Helsingin Kalliossa kesällä 2020 (e).

FIDAS 200 -laitteen soveltuvuutta eri paikkakunnilla ja eri ympäristöissä tutkittiin määrittämällä informatiiviset ns. paikalliset korjauskertoimet (taulukko 4). Näitä ei ole kuitenkaan tarkoitus käyttää mittausdatan korjaamiseen, vaan mittajien tulee käyttää yhdistetyn aineiston perusteella määritettyä korjauskerrointa (0,915). FIDAS 200 -laitteen mittaaman PM_{2,5}-hiukkaskokoluokan korjauskerron vaihteli 0,83 ja 1,09 välillä, ollen alhaisin Virolahdella ja korkein Lahdessa. Virolahden, Kuopion ja Helsingin Mäkelänkadun mittausten perusteella paikalliseksi kertoimeksi tuli alle yhden kerroin, Kalliossa korjauskerron oli 1,02 ja Lahdessa 1,09.

Aerosolin koostumus vaihtelee eri paikoissa riippuen siitä, onko kyseessä merellinen ilmasto kuten Virolahdella ja Helsingissä vai mannermaisempi ilmasto kuten Lahdessa ja Kuopiossa, sekä siitä, onko kyseessä maaseutuvaltaista taustaa edustava, kaupunkitaustaa edustava vai liikenteen suorassa vaikutuspiirissä oleva asema. Kuitenkin näissä vertailujaksoissa näyttäisi tuloksiin vaikuttavan paikkakunta- ja asematyyppikohtaisten erojen lisäksi myös erityisesti mittausajankohta. Lahdessa ja Mäkelänkadulla vertailun ajankohta osui kevään katupölyaikaan. Korkeimmat PM_{2,5}-pitoisuudet havaittiin Mäkelänkadulla kevättalvella 2019 sekä yllättäen Virolahden tausta-aseamalla loppusyksyllä 2018. Virolahdella korkeat pitoisuudet johtuivat luultavasti kaukokulkeumaepisodista, koska siellä ei ole liikennettä tai muuta merkittävää päästölähdettä lähellä mittausasemaa.

Alhaisin PM_{2,5}-pitoisuus mitattiin Kuopiossa 18.12.2019.: Referenssikeraimella mitattuna pitoisuus oli 0,24 µg/m³, joka on jo niin alhainen pitoisuus, että hiukkasmittalaitteiden havaintoraja tulee vastaan, jolloin mittauksen suhteellinen epävarmuus on erittäin suuri. Ilmatieteen laitoksen havaintopalvelun mukaan kyseisenä päivänä Kuopiossa satoi lunta vesisateeksi muutettuna 3 mm, joka vastaa noin 5 cm lumisadekertymää mitatussa keskimäärin kolmen asteen pakkasessa. Lumisade pyyhkäisi ilman tehokkaasti puhtaaksi hiukkasista kyseisenä päivänä. PM_{2,5}- ja PM₁₀-pitoisuudet Maaherrankadun aseman vertailtavalla FIDAS 200 -hiukkasmonitorilla mitattuna olivat tuona päivänä vastaavasti 1,7 µg/m³ ja 3,6 µg/m³.



Kuva 10. Referenssikeraimen (RM) ja FIDAS 200 -laitteen (CM) PM_{2,5}-vertailu käyttäen yhdistettyä aineistoa Virolahdelta, Mäkelänkadulta, Kuopiosta, Lahdesta ja Kalliosta.

Taulukko 4. FIDAS 200 -laitteen tulokset PM_{2,5}-hiukkaskokoluokalle. Sarakkeessa 'kaikki' esitetyt korjauskertoimet pätevät koko maassa toistaiseksi. Taulukossa esitetyt paikalliset korjauskertoimet* ovat ainoastaan informatiivisia, eikä niitä tule käyttää.

PM _{2,5}	kaikki	Virolahti	Kuopio	Lahti	Mäkelän -katu	Kallio
Minimi (µg/m ³)	0,24	1,49	0,24	1,49	2,55	1,69
Maksimi (µg/m ³)	26,10	26,10	11,87	14,57	25,37	10,29
Keskiarvo (µg/m ³)	5,42	5,17	3,94	4,90	9,81	5,32
Mediaani (µg/m ³)	4,39	3,35	3,66	3,83	8,40	5,35
Lukumäärä, <i>n</i>	379	59	121	107	58	33
>28 µg/m ³	3 %					
Virhepisteitä (tulosten ero >5 µg/m ³)	2 %					
Mittauksen ajankohdat	10/2018 - 9/2020	10-12/ 2020	12/2019 -1/2020, 4-6/2020	2-4/2020 7-9/2020	3-4/2019	6-9/2020
*Paikallinen korjauskerroin		0,83 b=1,209 Wcm = 4,7 %	0,948 b=1,055 Wcm = 11,2 %	1,093 b=0,998 Wcm = 18,5 %	0,87 b=1,144 Wcm = 12,8 %	1,02 b=0,984 Wcm = 40,8 % (b=1,231 c=-1,545 Wcm = 17,1 % (³))
FIDAS 200 korjauskerroin ⁽¹⁾	0,915					
Kulmakerroin <i>b</i> ⁽¹⁾	1,093					
Mittausepävarmuus Wcm	15,79 %					
Mittausepävarmuus <25 % ⁽²⁾	kyllä					

⁽¹⁾ Korjausyhtälöstä $CM=b*RM$, jossa *b* = kulmakerroin, *CM* (*candidate method*) = FIDAS 200 ja *RM* (*reference method*) = keräimen punnitustuloksesta saatu vertailuarvo.

⁽²⁾ Mittausepävarmuuden pitää olla alle 25 % raja-arvopitoisuudessa ilmanlaatuasetuksen 79/2017 mukaan.

⁽³⁾ Korjausyhtälöstä $CM=b*RM+c$, jossa *b* = kulmakerroin, *c* = vakiokerroin, *CM* (*candidate method*) = FIDAS 200 ja *RM* (*reference method*) = keräimen punnitustuloksesta saatu vertailuarvo.

4.2 Aiemmin määritettyjen korjauskertoimien varmentaminen

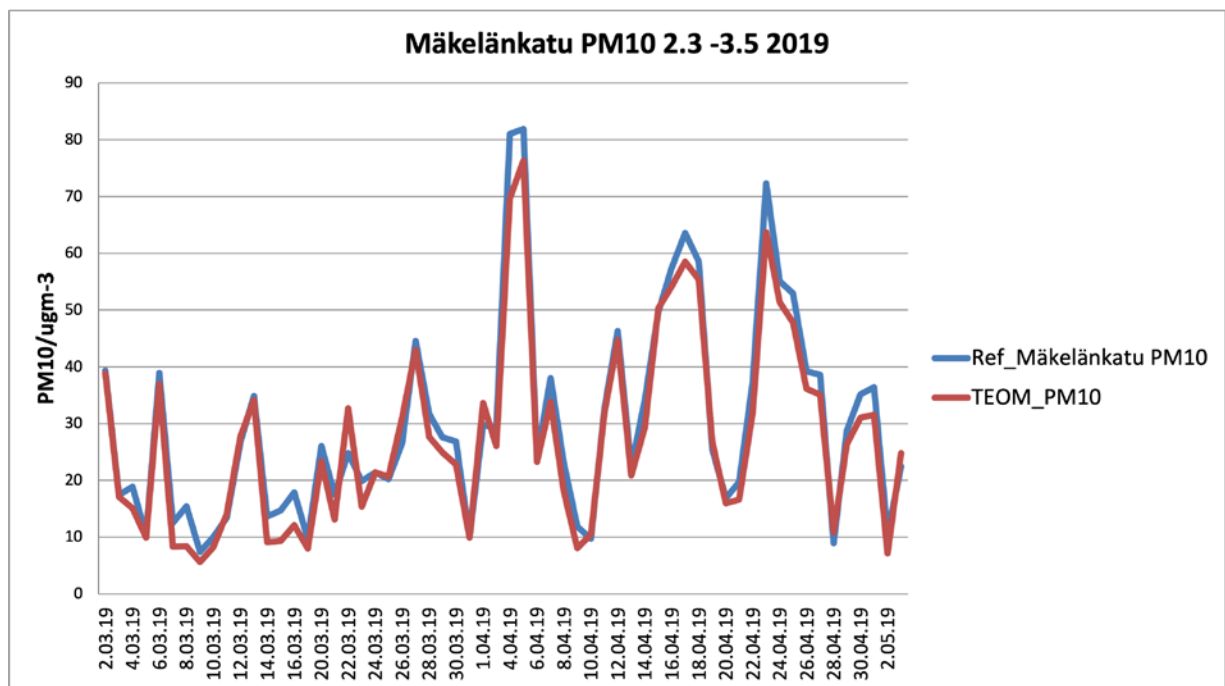
Edellisessä kappaleessa mainittujen FIDAS 200 -laitteelle tehtyjen soveltuvuusmittausten rinnalla tutkittiin myös vertailupaikkoina käytettyjen mittausasemien (Virolahti 2 ja Helsinki Mäkelänkatu) omilla PM-monitoreilla käytössä olevien korjauskertoimien soveltuvuutta PM₁₀- ja PM_{2,5}-mittauksille kyseisillä mittauspaikoilla. Mäkelänkadun liikenneasemalla vertailtiin TEOM 1405-laitteella ja Virolahden tausta-asemalla SHARP 5030 -laitteella tehtäviä mittauksia vertailumenetelmää vastaan.

4.2.1 Korjauskertoimien varmentaminen TEOM 1405 -laitteelle

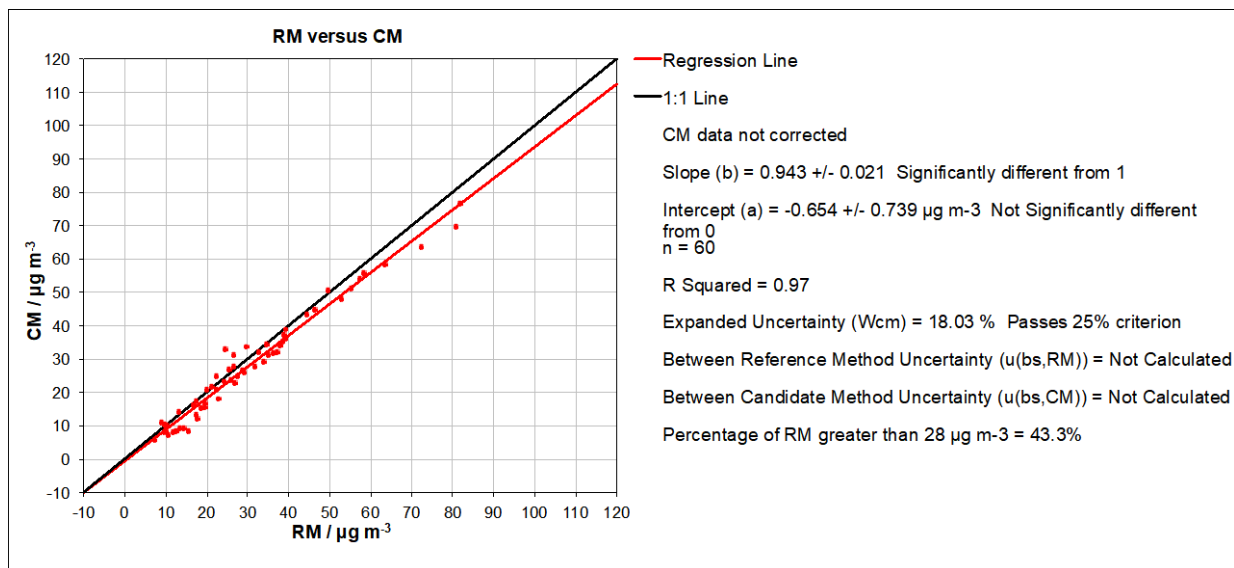
TEOM 1405 -hiukkasmonitorin mittauksia verrattiin vertailumenetelmää vastaan Helsingin Mäkelänkadulla keväällä 2019 sekä PM₁₀- että PM_{2,5}-kokoluokissa.

Hengitettävät hiukkaset, PM₁₀

TEOM 1405 näyttäisi ajoittain hieman aliarvioivan melko korkeitakin PM₁₀-pitoisuuksia Mäkelänkadulla (kuva 11). Kuitenkin Kuopion kertoimilla korjattu tulos läpäisee vertailun 18 % mittausepävarmuudella liikenneasemalla Helsingissä (kuva 12).



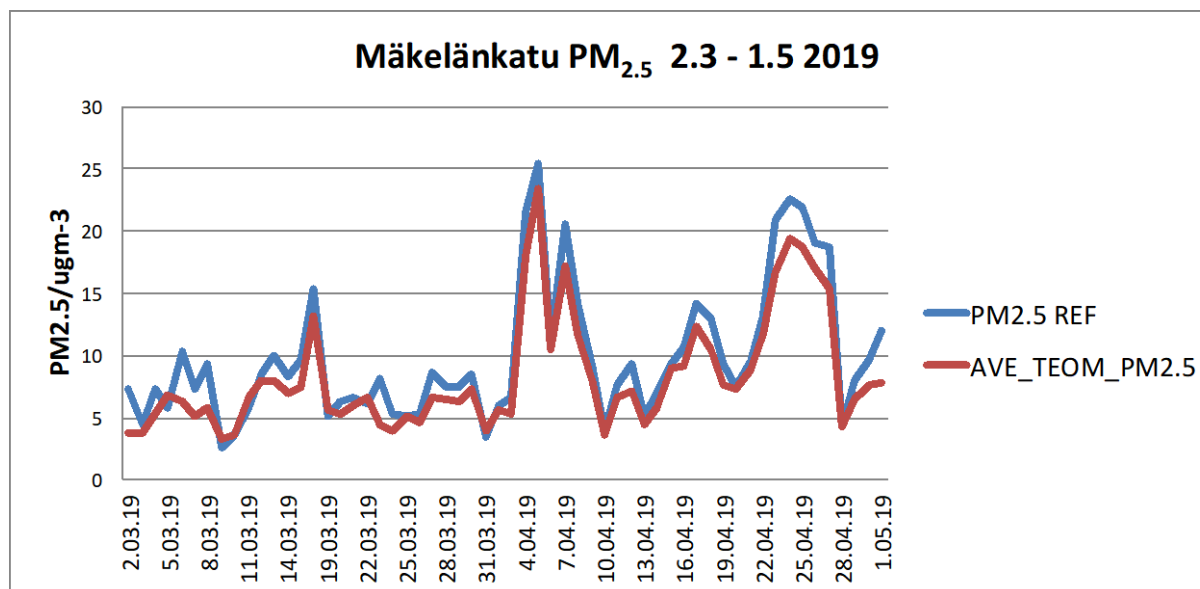
Kuva 11. PM₁₀-aikasarja Mäkelänkadulla TEOM 1405 -laitteella ja vertailumenetelmällä (REF) mitattuna keväällä 2019. TEOM 1405 -laitteen datalle käytettiin Kuopion kerrointa $y=0,868x-2,068$.



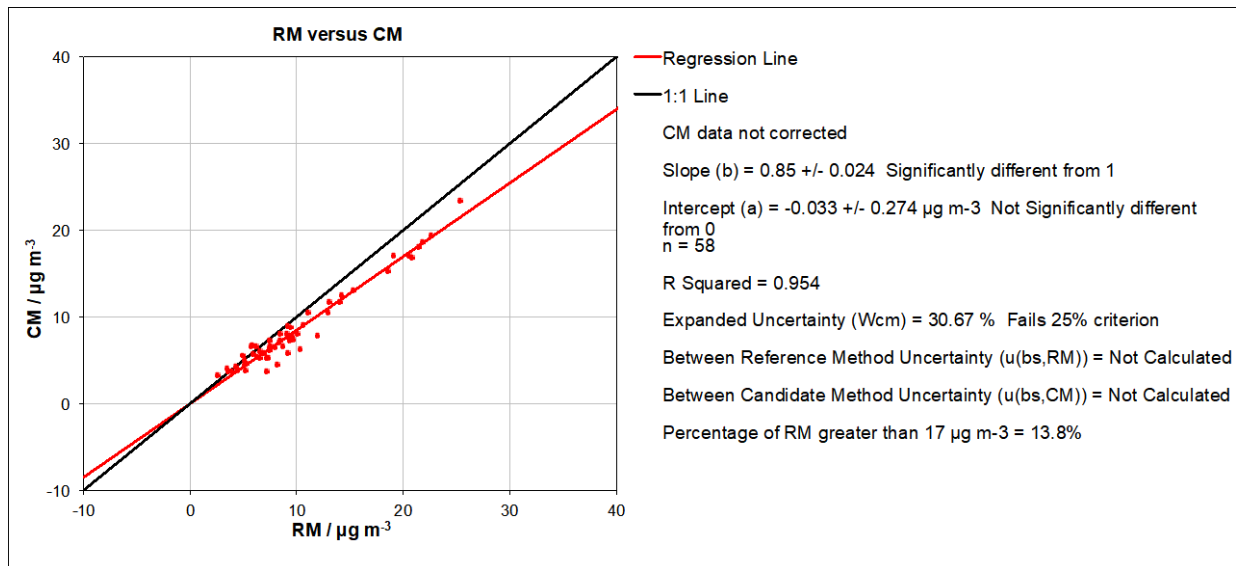
Kuva 12. Referenssikeräimen (RM) ja TEOM 1405 -laitteen (CM) PM₁₀-vertailu Helsingin Mäkelänkadulla.

Pienhiukkaset, PM_{2,5}

TEOM 1405 -hiukkasmonitori hieman aliarvioi PM_{2,5}-pitoisuuksia Mäkelänkadun asemalla (kuva 13). Tässä vertailussa TEOM 1405 -laitteelle saatu epävarmuustulos 30,7 % ei läpäissyt 25 %:n epävarmuusvaatimusta (kuva 14). Mittausjakso oli kuitenkin verrattain lyhyt, vain kaksi kuukautta. Tämän perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että Kuopiossa 2014–2015 TEOM 1405 -laitteelle PM_{2,5}-mittaustulosten korjaamiseen määritetty korjausyhtälö ei toimi erityisen hyvin kevään katupölykaudella liikenneasemalla Helsingissä. Kuopion kertomien soveltuvuutta pääkaupunkiseudulla tehtävissä hiukkasmittauksissa kannattaa tutkia perusteellisemmin, jolloin vertailumittauksen tulee kattaa muitakin kausia kuin kevään katupölykauden.



Kuva 13. PM_{2,5}-aikasarja Helsingin Mäkelänkadulla TEOM 1405 -laitteella ja vertailumenetelmällä (REF) mitattuna keväällä 2019. TEOM 1405 -laitteen datalle käytettiin Kuopion kerrointa $y=1,009x-1,681$.



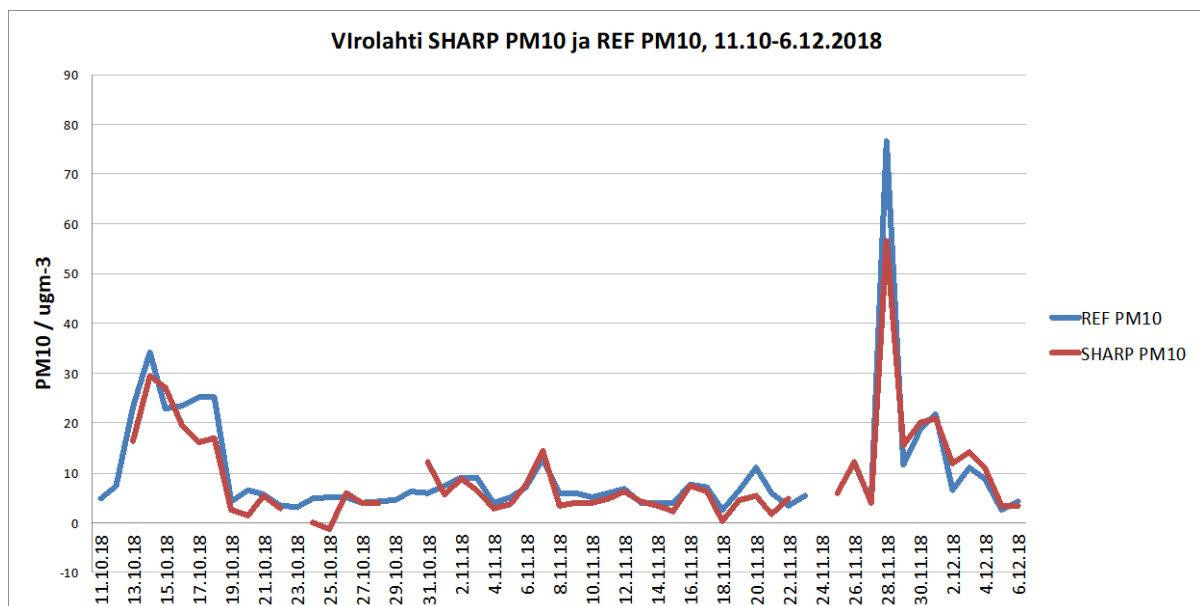
Kuva 14. Referenssikeräimen (RM) ja TEOM 1405 -laitteen (CM) PM_{2,5}-vertailu Helsingin Mäkelänkadulla.

4.2.2 Korjauskertoimien varmentaminen SHARP 5030 -laitteelle

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämällä Virolahden tausta-aseamalla vertailtiin referenssikeräintä vastaan kahta SHARP 5030 -laitetta (PM₁₀, PM_{2,5}) kahden kuukauden ajan syksyllä 2018.

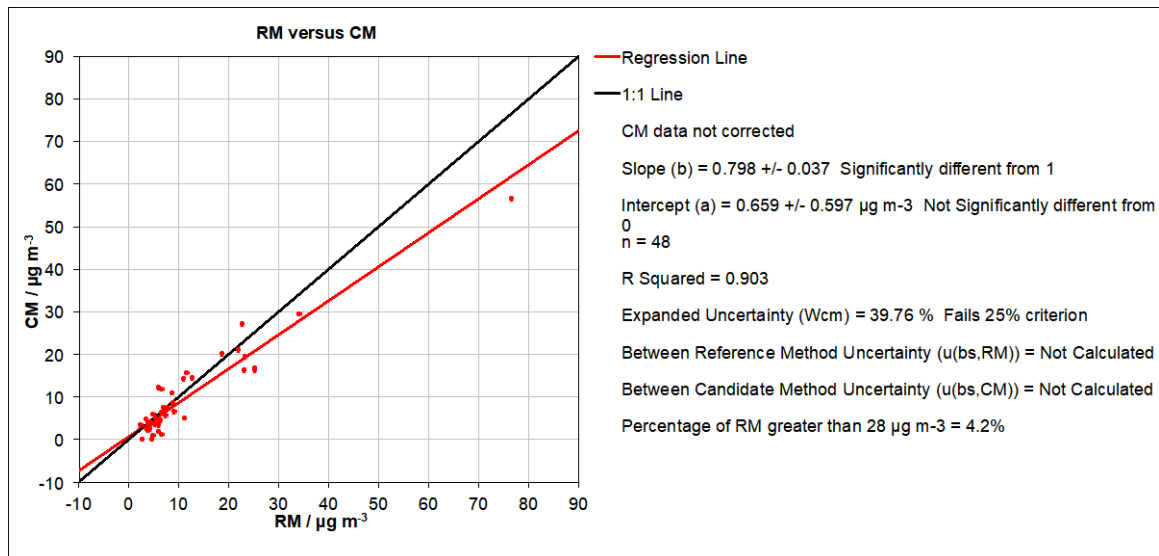
Hengitettävät hiukkaset, PM₁₀

Vertailun perusteella SHARP 5030 -laite soveltuu PM₁₀:n mittaamiseen muuten hyvin, mutta mittaustulos poikkeaa vertailumenetelmästä ainoassa vertailujakson korkean pitoisuuden pisteessä: PM₁₀-referenssi oli 76,7 µg/m³ ja SHARP 5030:n mittaustulos 56,4 µg/m³ (kuva 15).

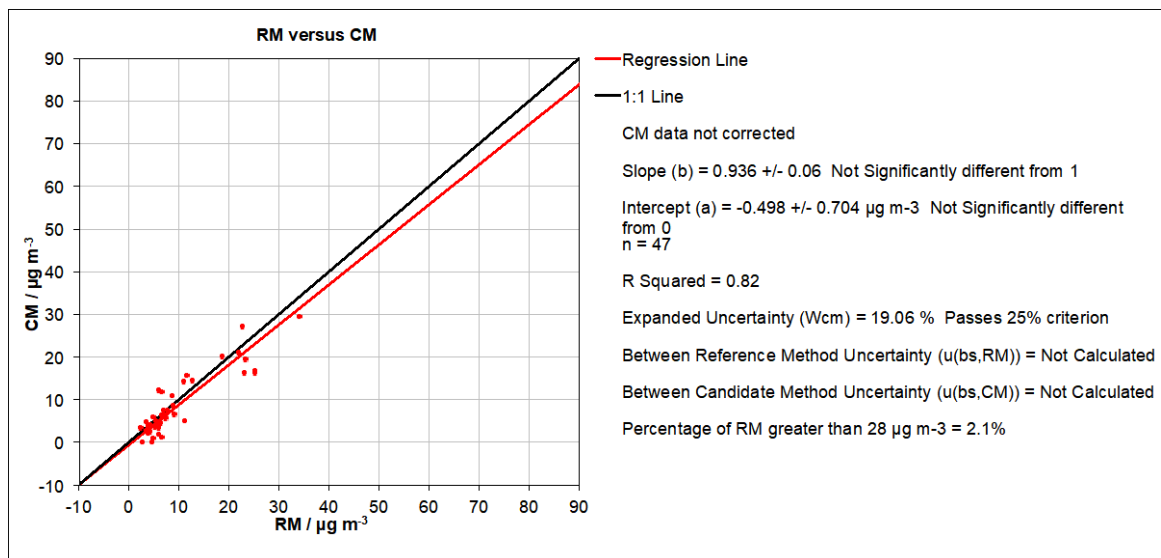


Kuva 15. PM₁₀-aikasarja Virolahden asemalla SHARP 5030 -laitteella ja vertailumenetelmällä (REF) mitattuna syksyllä 2018. SHARP 5030 -laitteen datalle käytettiin korjausyhtälöä $y=1,242x$.

Tämä yksi suuri poikkeama nostaa vertailun epävarmuuden 39,8 %:iin, joka ei läpäise 25 %:n epävarmuusvaatimusta (kuva 16). Jos mahdollinen virhepiste poistettaisiin, epävarmuusvaatimus täyttyisi epävarmuuden ollen 19,1 % (kuva 17). Vertailujakson perusteella SHARP 5030 aliarvioi varsinkin korkeita pitoisuuksia Virolahdella. Huomioitavaa kuitenkin on, että johtopäätös perustuu ainoastaan kahden kuukauden pituiseen vertailuaineistoon.



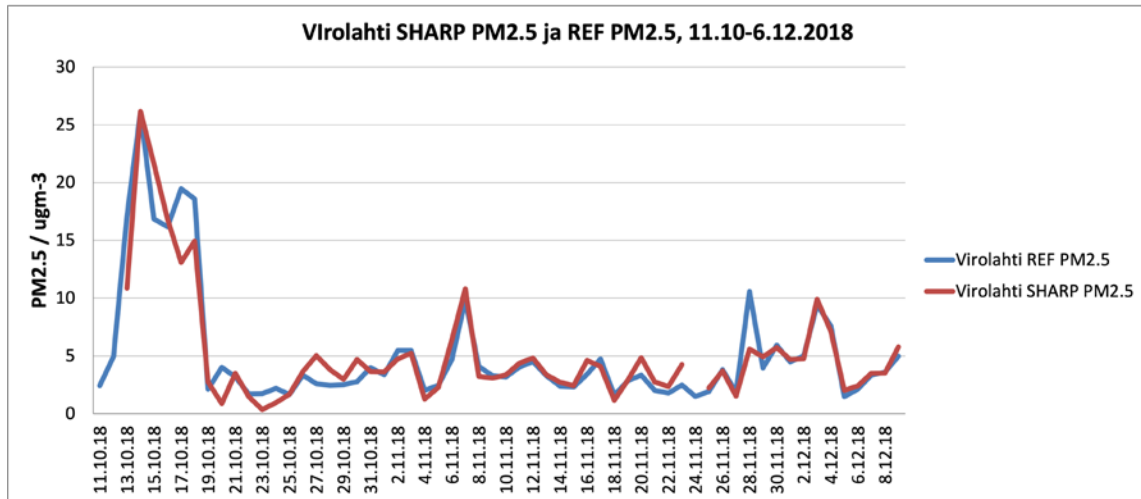
Kuva 16. Referenssikeräimen ja SHARP 5030 -laitteen PM₁₀-vertailu Virolahden asemalla. Kuvassa näkyvä yksi korkean pitoisuuden mittauspiste, jossa on suuri ero pisteparien välillä, vaikuttaa mittauksen epävarmuuteen niin paljon, että tulos ei läpäise 25 %:n epävarmuusvaatimusta.



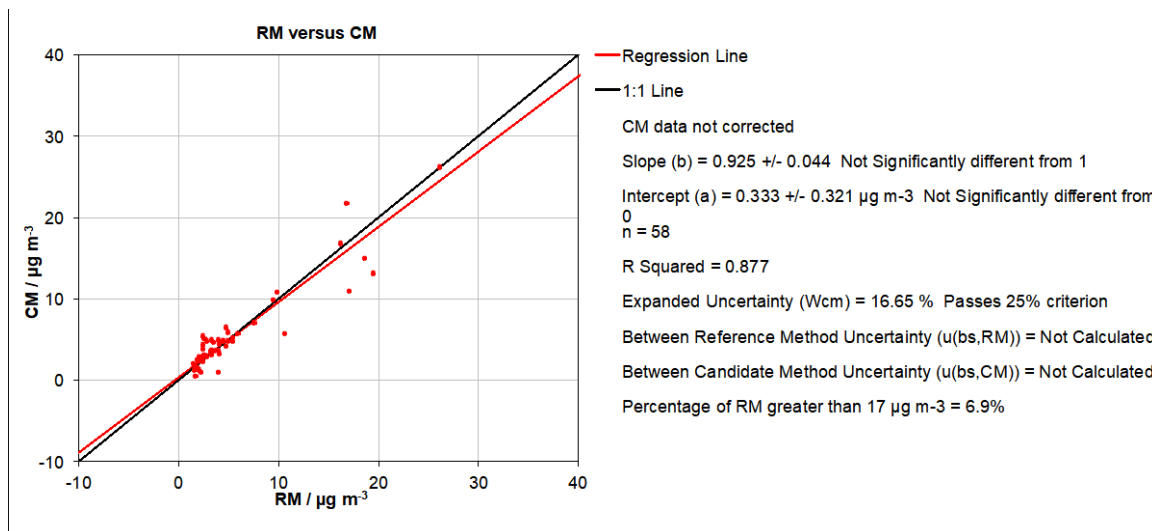
Kuva 17. Referenssikeräimen ja SHARP 5030 -laitteen PM₁₀-vertailu Virolahden asemalla perustuen samaan aineistoon kuin kuvassa 16, mutta datasetistä on poistettu korkein piste virhepisteenä. Tällöin SHARP 5030 -laite läpäisee 25 %:n epävarmuusvaatimuksen.

Pienihiukkaset, PM_{2,5}

Tämän aineiston perusteella Kuopion kertoimilla korjatut SHARP 5030:n tulokset (kuva 18) läpäisivät 25 %:n epävarmuusvaatimuksen referenssikeräintä vastaan PM_{2,5}-kokoluokassa epävarmuuden ollen 16,7 % (kuva 19), vaikka SHARP 5030:n hajonta oli melko suurta vertailujakson korkeimmilla pitoisuuksilla Virolahdella.



Kuva 18. PM_{2,5}-aikasarja Virolahden asemalla SHARP 5030 -laitteella ja vertailumenetelmällä (REF) mitattuna syksyllä 2018. SHARP 5030 -laitteen datalle käytettiin kerrointa $y=1,009x-1,681$.



Kuva 19. Referenssikeräimen ja SHARP 5030 -laitteen PM_{2,5}-vertailu Virolahden asemalla.

5. MALLI JATKUVIEN HIUKKASVERTAILUMITTAUSTEN TOTEUTTAMISEKSI

Suomessa käytössä olevien automatisoitujen, jatkuvatoimisten hiukkasmittalaitteiden ekvivalenttisuuden osoittaminen vertailumenetelmää vastaan on suuri työ. Edelliset Suomessa tehdyt ekvivalenttisuuden osoittamiset on suoritettu vuosina 2007–2008 Helsingissä ja 2014–2015 Kuopiossa. Yhtenä tämän hankkeen tehtävistä oli laatia malli jatkuvien hiukkasvertailumittauksen eli ns. ongoing-vertailumittauksen toteuttamiseksi ekvivalenttisuuden osoittamisvertailumittauksen välissä. Vuosien 2017–2018 aikana vertailulaboratorio teki ongoing-vertailumittauksia kahdeksan mittausaseman hiukkasmittauksille ympäri Suomea (Walden & Vestenius, 2018), ja ongoing-vertailua jatkettiin tässä hankkeessa. Kyseisillä ongoing-vertailumittauksilla todennettiin Kuopion ekvivalenttisuusvertailun perusteella saatujen mittalaittekohtaisten kalibrintikertoimien soveltuvuutta eri puolilla Suomea noin kahden kuukauden mittaisina kampanjoina.

Ilmanlaatudirektiivin 2008/50/EY liitteessä VI määritellään vastaavuuden osoittamisesta, että jäsenvaltio voi käyttää hiukkasten määrittämisen osalta mitä tahansa muuta menetelmää, jonka kyseinen jäsenvaltio voi osoittaa olevan vertailumenetelmän kanssa yhdenmukainen. Tällaisella menetelmällä saatuja tuloksia on korjattava, jotta saataisiin vertailumenetelmää käyttämällä saatavia tuloksia vastaavat tulokset. Kaikkien kiinteissä mittauksissa käytettävien laitteiden on oltava vertailumenetelmän tai sitä vastaavan menetelmän mukaisia.

Eurooppalaisen menetelmästandardin SFS-EN 16450:2017 kappaleessa 8.6 kuvataan vaatimukset jatkuvatoimisten hiukkasmittalaitteiden (AMS) jatkuvaksi soveltuvuuden varmistamiseksi (*Ongoing verification of suitability*). Yleisesti vaatimukset AMS-laitteiden vertailusta vertailumenetelmää vastaan riippuvat mittausverkon laajuudesta ja asemaverkon sisäisten asemien keskinäisistä eroista sekä soveltuvuusarvioinnin perusteella määritetystä AMS-laitteen epävarmuudesta. Oleellinen osuus mittauksien laadunvarmistamisen kannalta ovat kentällä säännöllisesti tehtävät toimenpiteet kuten virtauksen sekä lämpötila- ja paineanturien kalibrointi. Mittalaitteen tyyppitestaus sekä Suomessa tehty ekvivalenttisuuden osoittaminen tehdään ulkoilman hiukkasten kenttämittauksilla. Hiukkasten pitoisuudet sekä hiukkasten fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet saattavat kuitenkin poiketa paikasta toiseen jokseenkin paljon riippuen paikallisten ja alueellisten hiukkaslähteiden eroista. Tämän vuoksi ekvivalenttisuuden osoittamiseen käytetyn paikkakunnan ja mittausaseman hiukkaskoostumus ei välttämättä edusta toista paikkakuntaa ja toista mittausasemaa. Ongoing-vertailumittauksien tarkoituksena onkin varmentaa aiempien vertailumittauksen perusteella määritettyjen kalibrintikertoimien soveltuvuus laitteen omalla sijoituspaikalla. Ongoing-vertailu voidaan suorittaa yksillä mittalaitteilla eli kevyempänä vertailuna kuin ekvivalenttisuuden osoittaminen, jossa vertailuun vaaditaan kaksi rinnakkaista referenssikieräintä ja kaksi rinnakkaista kutakin vertailtavaa AMS:ia.

Vuosien 2017–2018 ongoing-vertailuissa havaittiin, että eri laitteille määritetyt ns. Kuopion kertoimet soveltuivat käytettäväksi eri puolella Suomea muutamien poikkeuksin. Testiohjelmaa oli kuitenkin muunneltu menetelmästandardin SFS-EN 16450:2017 mukaisesta vertailusta, jotta vertailuun voitiin sisällyttää useampi mittausasema ja AMS; tämän takia vertailussa jouduttiin tinkimään vuodenaikavaihtelun aiheuttamasta vaikutuksesta, mikä vaaditaan standardin mukaisessa vertailussa.

Tässä raportissa esitellyn HIVATO-hankkeen tulosten perusteella havaittiin, että yhdellä paikkakunnalla (eli Kuopiossa) tehtyjen ekvivalenttisuuden osoittamismittauksen perusteella määritetyt laitekohtaiset korjauskertoimet eivät aina toimi ideaalisesti toisilla paikkakunnilla ja erilaisissa ympäristöissä. Tämän vuoksi jatkuvan ongoing-vertailun suorittaminen vaihtelevissa paikoissa ja erilaisissa ympäristöissä on erittäin tärkeää hiukkasmittauksen korkean laadun ja oikeellisuuden varmistamiseksi Suomessa.

Jatkuvien hiukkasvertailumittausten malliksi kansallinen ilmanlaadun vertailulaboratorio esittää seuraavaa:

Ekvivalenttisuuden osoittamisen vertailumittauksia pyritään jatkossa järjestämään viiden vuoden välein. Ekvivalenttisuusmittausten toteutuspaikkakunnan valinnassa huomioidaan edellisten vertailumittausten suorituspaikat ja niissä tehdyt huomiot sekä toisaalta pyritään mahdollistamaan alueellinen kattavuus Suomessa huomioiden lisäksi erilaisia mittausympäristöjä kuten rannikon läheisyydessä oleva merellinen ilmasto ja sisämaan mantereinen ilmasto, liikenneasema ja kaupunkitausta. Lisäksi ilmanlaadun mittauksia suorittavien tahojen sekä mittalaittevalmistajien ja laitteiden jälleenmyyjien toiveita ja tarpeita pyritään huomioimaan mahdollisuuksien mukaan. Ekvivalenttisuuden osoittamisen vertailumittauksia ei ole mahdollista järjestää jatkuvana vertailuna johtuen sen vaatimista suurista resursseista. Tämän vuoksi laitevalmistajilta ja mittalaitteiden jälleenmyyjiltä odotetaan myös panostusta ekvivalenttisuuden osoittamiskampanjoiden toteutuksessa, mikäli uusia mittalaitteita halutaan saattaa Suomen markkinoille.

Ekvivalenttisuuden osoittamisvertailumittausten välissä AMS-mittausten soveltavuus osoitetaan ns. ongoing-vertailumittausohjelmalla, jossa Suomessa tehtävien AMS-mittausten soveltavuus varmennetaan standardin SFS-EN 16450:2017 mukaisesti. Soveltavuuden osoittaminen toteutetaan vertailumittauksilla, joissa AMS-mittaus tuloksia verrataan vertailumenetelmää vastaan eri paikoissa ja vaihtelevissa olosuhteissa jatkuvana kampanjana. Vertailukeräimellä tehtävät suodatinkeruut, sisältäen sekä PM_{10} - että $PM_{2,5}$ -kokojakeet, tehdään joka kolmas tai joka neljäs päivä jollain ilmanlaadun mittausasemalla Suomessa siten, että vertailu yhdellä mittausasemalla kestää pidemmän ajanjakson, esimerkiksi puolesta vuodesta yhteen vuoteen kerrallaan, siten että eri vuodenaikojen aiheuttama vaihtelu mittausasemalla mitattavassa hiukkasten koostumuksessa ja pitoisuustasoissa tulee huomioitua. Mittausjakson jälkeen ongoing-vertailun olisi tarkoitus jatkuu toisella mittausasemalla Suomessa. Vertailumittaukseen valitun mittausaseman laitevalikoimaa pyritään monipuolistamaan mahdollisuuksien mukaan siten, että asemalla on vertailtavina erilaisia AMS-laitteita samanaikaisesti useampi kuin yksi. Tähän toivotaan panostusta myös laitevalmistajilta ja laitteiden jälleenmyyjiltä sekä yhteistyötä ilmanlaadun mittausverkkojen kesken. Vertailumittausasemaksi pyritään löytämään sopivin asema seuraavien valintakriteerien pohjalta:

1. Asemalla ja/tai paikkakunnalla tai mittausverkon alueella ei ole aiemmin tai pitkään aikaan suoritettu käytössä olevien korjauskertoimien varmentamista.
2. Suomen eri alueiden tasapuolisuus maantieteellisesti sekä väestöpainotetusti.
3. Aiemmat vertailut ovat osoittaneet, että ekvivalenttisuuden osoittamisen vertailukokeiden perusteella määritetyt korjauskertoimet eivät toimi paikkakunnalla tai mittausverkon alueella tai tietyntyyppisessä ympäristössä.
4. Mittausasemalle on järjestettävissä mahdollisimman laaja AMS-laittevalikoima vertailukampanjan ajaksi.

Ongoing-vertailumittausten tulokset raportoidaan nopeasti vertailujakson jälkeen ja tuloksista tiedotetaan ilmanlaadun mittausverkkoja Ilmanlaadun mittaajatapaamisissa. Tarvittaessa tuloksista tiedotetaan nopeamminkin esimerkiksi järjestämällä mittaajille avoimia webinaareja. Vertailulaboratorio saattaa omat mittaus tuloksensa Ilmatieteen laitoksen avoimen datan verkkopalvelun kautta julkisesti saataville.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa tutkittiin Helsingin Kalliossa mitatun PM_{2,5}-altistumisindikaattorin mittauksen tulosten soveltuvuutta ja edustavuutta Suomessa. Havaittiin, että Kallion mittaus edustaa hyvin keskimääräistä pienhiukkasaltistusta sekä pienhiukkaspitoisuuden vuositrendiä Suomessa. Lisäksi vuodesta 2013 eteenpäin Suomen kaupunkitausta-asemilla tehtyjen PM_{2,5}-mittausten keskiarvot niin asemakohtaisesti kuin asemien yhteisenä keskiarvona alittavat kokonaisuudessaan vuoden 2020 keskimääräisen altistumisindikaattorin enimmäisarvon 8,5 µg/m³, jota käytetään altistumisen vähennystavoitteen arvioinnissa.

Altistumisindikaattorimittaukseen käytetyn TEOM 1405 -hiukkasmonitorin mittaustuloksia Kallion asemalla vertailtiin referenssikeräimellä saatuihin tuloksiin. Havaittiin, että vaikka vertailtavat pitoisuudet olivat yleisesti ottaen pieniä eikä standardin vertailumittauksen pitoisuusvaatimus täyttynyt vertailujaksolla korkeiden pitoisuuksien puuttuessa, altistumisindikaattorin laskentaan käytettävä Kallion TEOM 1405 -laite täyttää niukasti standardissa määritetyn 25 %:n epävarmuusvaatimuksen ja sillä tehtävän mittauksen laatu riittää altistumisindikaattorin määrittämiseen. On huomioitava, että standardin epävarmuusvaatimus koskee raja-arvopitoisuutta, ja Kallion pitoisuudet olivat mitatulla mittausjaksolla selvästi tätä tasoa alhaisemmat, mikä itsessään vaikeuttaa epävarmuusvaatimuksen toteuttamista. Kyseisellä laitteella ja referenssikeräimellä kampanjan aikana mitatun jakson PM_{2,5}-pitoisuuskeskiarvot olivat hyvin lähellä toisiaan.

Tähän projektiin liittyen tehtiin myös jatkuvatoimisten hiukkasmittalaitteiden vertailumittauksia kahden kuukauden jaksoin Virolahdella ja Helsingissä sekä PM₁₀- että PM_{2,5}-hiukkaskokojakeelle sekä näiden lisäksi Kuopiossa ja Lahdessa PM_{2,5}-hiukkaskokojakeelle kahden kuukauden jaksoin vuorotellen yhteensä kahdeksan kuukauden ajan. Vertailumittauksista saatujen tulosten perusteella määritettiin ensimmäistä kertaa korjauskertoimet FIDAS 200 -hiukkasmittalaitteen PM₁₀- ja PM_{2,5}-mittaukselle Suomessa. Tulosten perusteella FIDAS 200 soveltuu ulkoilman PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkaskokojakeiden mittaukseen Suomessa käyttäen tässä raportissa esitettyjä korjauskertoimia, vaikkakin on huomioitava, että kertoimet eivät täytä ekvivalenttisuuden osoittamiselle asetettuja vaatimuksia. Kyseisiä kertoimia on kuitenkin suositeltavaa käyttää siihen asti, kunnes ekvivalenttisuus on osoitettu seuraavassa ekvivalenttisuuden osoittamiskampanjassa.

Kahta muuta jatkuvatoimista laitetta (SHARP 5030 ja TEOM 1405) verrattiin referenssikeräimeen Virolahdella ja Helsingissä. Havaittiin, että Kuopion vertailumittauksessa 2014–2015 eri laitteille määritetyt korjauskertoimet eivät aina sovellu eri paikoissa ja eri vuodenaikoina PM_{2,5}- ja PM₁₀-hiukkaspitoisuuksien mittauksiin, koska mittauspaikat ja niiden olosuhteet vaihtelevat. Tästä johtuen vertailulaboratorio ehdottaa ekvivalenttisuuden osoitusta viiden vuoden välein sekä jatkuvaa ohjelmaa käytettävien kertoimien soveltuvuuden osoittamiseksi paikallisilla vertailumittauksilla, joissa AMS-mittaustuloksia verrataan vertailumenetelmää vastaan eri paikoissa ja vaihtelevissa olosuhteissa jatkuvana kampanjana pitempiaikaisesti, puolesta vuodesta vuoteen kestävillä paikallisilla vertailuilla. Näillä ns. ongoing-mittauksilla voidaan osaltaan varmentaa Suomessa mitattavien PM_{2,5}- ja PM₁₀-hiukkasmittausten laatu ja vertailukelpoisuus myös varsinaisten ekvivalenttisuuden osoittamiseen soveltuvien vertailumittauskampanjoiden välillä. Ekvivalenttisuuden osoittaminen ja siihen liittyvät jatkuvat vertailumittaukset osoittavat Suomessa tehtyjen mittausten vertailukelpoisuuden kansallisen vertailtavuuden lisäksi myös kansainvälisesti.

VIITTEET JA LÄHDEKIRJALLISUUS

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY, annettu 21 päivänä toukokuuta 2008, ilmanlaadusta ja sen parantamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti, L 152/1-44, 11.6.2008, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=FI>.

Instruction Manual, Sequential Sampler SEQ 47/50, Ed. 11-14, Sven Leckel Ingeniuerbüro GmbH.

Komission direktiivi (EU) 2015/1480, annettu 28 päivänä elokuuta 2015, ilmanlaadun arvioinnissa käytettäviä vertailumenetelmiä, tietojen validointia ja näytteenottoa paikkojen sijaintia koskevien sääntöjen vahvistamista koskevien Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivien 2004/107/EY ja 2008/50/EY useiden liitteiden muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti, L 226/4-11, 29.8.2015, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L1480&from=FI>.

Komppula B., Anttila P., Vestenius M., Salmi T. & Loven K.: Ilmanlaadun seurantarpeen arviointi, Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja Energia, Helsinki, 10.9.2014. http://expo.fmi.fi/aqes/public/Raportti_Ilmanlaadun_seurantarpeen_arviointi.pdf.

Lagler F., Barbieri M., Borowiak A. & Putaud J.-P.: Evaluation of the field comparison exercise for PM₁₀ and PM_{2.5} Ispra, 18 January to 14 March 2018 - European Commission Harmonisation Programme for Air Quality Measurements. EUR 29939 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-10168-0, doi:10.2760/32013, JRC118170, pp. 108, 2019.

SFS-EN 12341:2014. Ambient air. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2.5} mass concentration of suspended particulate matter.

SFS-EN 16450:2017:en. Ambient air. Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀; PM_{2.5}).

Sira MC 160290/02, <https://www.csagroupuk.org/wp-content/uploads/2019/01/MCERTSCertifiedProductsDEFACAMS.pdf>.

TÜV Report 936/21227195/C, https://www.qal1.de/report/0000040212_21227195C_palas_Fidas200S_en.pdf.

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 2017/79, annettu 26.1.2017.

Waldén J., Hillamo R., Aurela M., Mäkelä T. & Laurila S.: Demonstration of the equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ measurement methods in Helsinki 2007-2008. Finnish Meteorological Institute Studies No. 3, pp. 103, 2010.

Waldén J., Waldén T., Laurila S. & Hakola H.: Demonstration of the equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ measurement methods in Kuopio 2014-2015. Finnish Meteorological Institute Reports 2017:1, pp. 134, 2017.

Waldén J. & Vestenius M.: Verification of PM-analyzers for PM₁₀ and PM_{2.5} with the PM reference method. Finnish Meteorological Institute Reports 2018:2, pp. 68, 2018.

Ympäristönsuojelulaki 2014/527, annettu 27.6.2014.

LIITTEET

LIITE 1. Mittausverkoille 31.12.2020 sähköpostitse lähetetty tiedoksianto koskien FIDAS 200 -hiukkasmonitorille määritettyjä korjauskertoimia.

FIDAS 200 -hiukkasmonitorin korjauskertoimet

Ilmatieteen laitoksen kansallinen ilmanlaadun vertailulaboratorio on määrittänyt FIDAS 200 -laitteella (Palas GmbH) mitattaville suureille PM10 ja PM2.5 Suomessa käyttöön soveltuvat korjauskertoimet. FIDAS 200 ei ole aikaisemmin ollut hiukkasvertailuissa mukana Suomessa. Näiden korjauskertoimien määrittämisessä tehtiin soveltuvuusmittauksia laitteen PM10- ja PM2.5-hiukkasmittauksille Virolahdella ja Helsingissä Mäkelänkadulla 2018-2019. Lisäksi FIDAS 200 -hiukkasmonitorilla tehtävien PM2.5-mittausten soveltuvuutta tutkittiin Hiukkasmittausten vaatimuksenmukaisuuden todentamisen (HIVATO) hankkeen yhteydessä 2019-2020 Helsingin Kalliossa sekä Kuopiossa ja Lahdessa, joista saatiin merkittävästi lisää vertailuaineistoa tutkimusta varten. Standardin EN 12341 mukaisina referenssikeräiminä, joita vastaan laitteita testattiin, käytettiin vertailulaboratorion Leckel SEQ47/50 -keräimiä. Suodattimet punnittiin vertailulaboratoriossa akkreditoitulla standardin EN 12341 mukaisella olosuhdekontrolloidulla punnitusjärjestelmällä.

Näiden mittausten perusteella FIDAS 200 -laite soveltuu PM10- ja PM2.5-hiukkasmittauksiin Suomessa. Laitteella mitattu hiukkaspitoisuusdata tulee korjata käyttäen alla esitettyjä kertoimia, jotka perustuvat taulukoissa 1 ja 2 esitettyihin aineistoihin. Käytettäessä näitä kertoimia FIDAS 200 -laitteella mitatut PM10- ja PM2.5-pitoisuustulokset ovat yhdenmukaisia EN12341-standardin mukaista referenssimenetelmää vastaan Suomessa.

FIDAS 200 -hiukkasmonitorin korjauskertoimiksi saatiin tässä tutkimuksessa:

- PM2.5-hiukkaskokoluokalle 0.915
- PM10-hiukkaskokoluokalle 0.95

FIDAS 200 yliarvioi hieman pitoisuutta kummassakin kokoluokassa.

Näitä kertoimia voi käyttää FIDAS 200 -hiukkasmonitorilla Suomessa vuonna 2019 ja sen jälkeen mitatulle datalle toistaiseksi, ennen kuin saadaan tuloksia seuraavasta Suomessa järjestettävästä ekvivalenttisuuden osoittamisen vertailumittauksesta, jossa kyseisen laitteen tulisi olla mukana. Nämä taulukot kertyvät julkaisemaan osana työn alla olevaa HIVATO-hankkeen raporttia vuoden 2021 alkupuolella. Käytettäessä näitä kertoimia voidaan tulosten raportoinnin yhteydessä viitata kyseiseen raporttiin.

Muissa eurooppalaisissa vertailumittauksissa TÜV Rheinland määrittä FIDAS 200 -laitteelle tehdyn tyyppitestauksen perusteella korjausyhtälöksi 0,929b+0,315 PM2,5:lle ja 0,945b+1,422 PM10:lle (TÜV Report 936/21227195/C, https://www.gal1.de/report/0000040212_21227195C_palas_Fidas200S_en.pdf) ja MCERTS Britannian vaatimuksenmukaisuussertifioinnissa 0,943b+0,210 PM2.5:lle ja 1 PM10:lle (Sira MC 160290/02, <https://www.csagroupuk.org/wp-content/uploads/2017/02/MC16029002.pdf>). Kummassakin em. testissä on päädytty samansuuntaisiin tuloksiin kuin vertailulaboratorion mittauksissa.

Helsingissä 31.12.2020

Mika Vestenius ja Karri Saarnio,
Ilmatieteen laitos



Taulukko 1. FIDAS 200 -laitteen tulokset PM2.5-hiukkaskokoluokalle

PM2.5	kaikki	Virolahti	Kuopio	Lahti	Mäkelänkatu	Kallio
Minimi ($\mu\text{g m}^{-3}$)	0.24	1.49	0.24	1.49	2.55	1.69
Maksimi ($\mu\text{g m}^{-3}$)	26.10	26.10	11.87	14.57	25.37	10.29
Keskiarvo ($\mu\text{g m}^{-3}$)	5.42	5.17	3.94	4.90	9.81	5.32
Mediaani ($\mu\text{g m}^{-3}$)	4.39	3.35	3.66	3.83	8.40	5.35
n	378	59	121	107	58	33
>17 $\mu\text{g m}^{-3}$	3 %					
Virhepisteitä (tulosten ero >5 $\mu\text{g m}^{-3}$)	2 %	2 kpl	2 kpl	2 kpl	3 kpl	0 kpl
Mittausten ajankohdat	10/2018 - 9/2020	10-12/ 2020	12/2019 - 1/2020, 4-6/2020	2-4/ 2020, 7-9/ 2020	3-4/2019	6-9/2020
FIDAS korjauskerroin⁽¹⁾	0.915					
b ⁽¹⁾	1.093					
Mittausepävarmuus W_{CM}	15.8 %					
$W_{\text{CM}} < 25 \%$ ⁽²⁾	kyllä					

(1) Korjausyhtälöstä $\text{CM} = b \cdot \text{RM}$, jossa b = kulmakerroin, CM = candidate method eli FIDAS 200 ja RM = reference method, eli keräimen punnitustuloksesta saatu vertailuarvo.

(2) Mittausepävarmuuden pitää olla alle 25 % ilmanlaatuasetuksen 79/2017 mukaan.

Taulukko 2. FIDAS 200 -laitteen tulokset PM10-hiukkaskokoluokalle.

PM10	kaikki	Virolahti	Mäkelänkatu
Minimi ($\mu\text{g m}^{-3}$)	2.40	2.40	7.38
Maksimi ($\mu\text{g m}^{-3}$)	81.87	76.66	81.87
Keskiarvo ($\mu\text{g m}^{-3}$)	20.45	10.00	30.32
Mediaani ($\mu\text{g m}^{-3}$)	14.17	5.96	26.59
n	110	52	58
>28 $\mu\text{g m}^{-3}$	24.5 %		
Virhepisteitä (tulosten ero >10 $\mu\text{g m}^{-3}$)	2 %	2 kpl	0 kpl
Mittausten ajankohdat		10-12/2018	3-4/2019
FIDAS korjauskerroin⁽¹⁾	0.95		
b ⁽¹⁾	1.05		
mittausepävarmuus W_{CM}	7.2 %		
$W_{\text{CM}} < 25 \%$ ⁽²⁾	kyllä		

(1) Korjausyhtälöstä $\text{CM} = b \cdot \text{RM}$, jossa b = kulmakerroin, CM = candidate method eli FIDAS 200 ja RM = reference method, eli keräimen punnitustuloksesta saatu vertailuarvo.

(2) Mittausepävarmuuden pitää olla alle 25 % ilmanlaatuasetuksen 79/2017 mukaan.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Erik Palménin aukio 1
P.O. Box 503
FI-00560 HELSINKI
tel. +358 29 539 1000

WWW.FMI.FI

FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

REPORTS 2021:2

ISSN 0782-6079

ISBN 978-952-336-133-1 (pdf)

<https://doi.org/10.35614/isbn.9789523361331>

Helsinki 2021

