

Johanna Kainulainen

LIIKENTEEN JA PUUN PIENPOLTON
AIHEUTTAMAT HIUKKASPÄÄSTÖT
MIKKELIN TAAJAMA-ALUEELLA

Opinnäytetyö
Ympäristötekniologia


Tammikuu 2017




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 27.1.2017
Tekijä(t) Johanna Kainulainen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan (AMK) insinööri
Nimeke Liikenteen ja puun pienpolton aiheuttamat hiukkaspäästöt Mikkelin taajama-alueella	
Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää liikenteen ja puun pienpolton aiheuttamia hiukkaspäästöjä Mikkelin taajama-alueella siellä suoritettujen hiukkaspitoisuusmittausten avulla sekä arvioida niiden vaikutusta alueen ympäristöterveyteen. Opinnäytetyön tilaajana toimi Mikkelin ammattikorkeakoulun VIM-hanke eli Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa -hanke. Opinnäytetyössä analysoitiin jo aiemmin VIM-hankkeessa suoritettujen hiukkaspitoisuusmittausten tuloksia, jotka suoritettiin kevään 2016 aikana. Lisäksi opinnäytetyössä tehtiin itse hiukkasmittauksia syksyn 2016 aikana. Ensimmäinen hiukkasmittaus tehtiin pientaloalueella 30.9–14.10.2016. Toisena hiukkasmittauspisteinä oli Mikkelin ammattikorkeakoulun A-rakennuksen katto, jossa hiukkasmittaus suoritettiin 17.10–31.10.2016. Mittarina käytettiin TSI DustTrak™ DRX 8533 mittaria, jolla mitataan ulkoilman hiukkaspitoisuuksia (PM ₁₅ , PM ₁₀ , PM ₄ , PM _{2.5} , PM _{1.0}). Saatuja mittaustuloksia verrattiin kyseisenä aikana vallinneisiin sääoloihin sekä kaupungin keskimääräisiin liikennemääriin. Opinnäytetyön tulosten perusteella hiukkaspitoisuudet olivat korkeammat keväällä 2016 tehdyissä mittauksissa kuin syksyn 2016 mittauksissa. Pientaloalueella kohonneet hiukkaspitoisuudet johtuivat pääasiassa puun pienpoltosta, kun taas Mikkelin ammattikorkeakoululla tehdyissä mittauksissa kohonneet hiukkaspitoisuudet johtuivat pääasiassa liikenteestä. Tulosten mukaan sääolosuhteilla ja liikennemäärillä oli jonkin verran vaikutusta ilman hiukkaspitoisuuksiin. Työn tulosten mukaan Mikkelin taajama-alueen keskimääräiset hiukkaspitoisuudet jäivät pääasiassa alle kaikkien raja- ja ohjearvojen, jotka on tehty terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi. Hiukkaspitoisuuksien ei siis pitäisi nykyisen tiedon sekä raja- ja ohjearvojen perusteella aiheuttaa ihmisille terveyshaittaa. Ajoittain hiukkasten pitoisuudet kuitenkin nousivat mittausten aikana erittäinkin korkeiksi, tosin vain lyhyeksi aikaa. Erityisesti herkat väestöryhmät kuten esimerkiksi astmaatit, ikääntyneet sepelvaltimotautia tai keuhkohtaumatautia sairastavat ihmiset sekä lapset saattavat saada oireita jo tällaisesta lyhytaikaisesta altistuksesta.	
Asiasanat (avainsanat) Hiukkaspäästöt, hiukkaset, pienhiukkaset, mittaus, ympäristöterveys, terveyshaitat	
Sivumäärä 61 + 26	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Timo Ålander	Opinnäytetyön toimeksiantaja Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa -hanke Mikkelin ammattikorkeakoulu

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 27.1.2017
Author(s) Johanna Kainulainen	Degree programme and option Environmental Engineering
Name of the bachelor's thesis Fine particle emissions from traffic and small scale wood combustion in built-up area in Mikkeli	
Abstract The purpose of this thesis was to find out fine particle emissions from traffic and small scale wood combustion with concentration measurements performed in built-up area in Mikkeli. The aim was also to evaluate the environmental health effects of fine particles. The thesis was ordered by a project for monitoring water and air to protect environment of southern Savo i.e. the VIM project at Mikkeli University of Applied Sciences. In addition to the fine particle concentration measurements made in the autumn 2016, the VIM project had also performed concentration measurements in the spring 2016 and the results were analysed in this thesis. The first measurement was performed between 30.9 and 14.10.2016 in small residential building area. The second measurement was performed between 17.10 and 31.10.2016 at the roof of A-building on the campus of Mikkeli University of Applied Sciences. The monitor that was used was TSI DustTrak™ DRX 8533. The results of the measurements were compared to the weather conditions and average traffic count of the city. Based on the result the concentration of fine particles was higher in the spring 2016 than in the autumn 2016. In built-up area the elevated concentrations mainly resulted from small scale wood combustion whereas the elevated concentrations on the campus of Mikkeli University of Applied Sciences were caused by traffic. The weather conditions and traffic counts had an effect on the fine particle concentrations. The average concentrations of the fine particles mainly remained under all the limit and guideline values made to prevent and reduce the health hazards caused by fine particles. Occasionally the concentrations of the fine particles increased very high in a short period of time. For example, old people, children and people who are suffering from asthma, coronary artery disease or chronic obstructive pulmonary disease can get symptoms from short-term exposure.	
Subject headings, (keywords) Fine particle emissions, particle, particulate matter, measurement, environmental health, health hazards	
Pages 61 + 26	Language Finnish
Remarks, notes on appendices 	
Tutor Timo Ålander	Bachelor's thesis assigned by The VIM project Mikkeli University of Applied Sciences

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	HIUKKASET	2
2.1	Kokonaispöly	4
2.2	Hengitettävät hiukkaset	5
2.3	Karkeat hiukkaset	7
2.4	Pienhiukkaset	8
2.5	Ultrapienet hiukkaset	9
3	HIUKKASPITOISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	10
3.1	Liikenne	10
3.2	Puun pienpoltto	12
3.3	Vuodenaika ja sää	13
4	HIUKKASTEN MITTAAMINEN	14
4.1	Inertiaan perustuvat menetelmät	14
4.2	Optiset menetelmät	15
4.2.1	TSI DustTrak™ DRX 8533	16
4.3	Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät	17
5	HIUKKASTEN TERVEYSVAIKUTUKSET	18
6	TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT	20
6.1	Keväällä 2016 tehdyt mittaukset	20
6.2	Syksyllä 2016 tehdyt mittaukset	21
6.2.1	Gravimetrinen määrittäminen	21
6.2.2	Pientaloalue	22
6.2.3	Mikkelin ammattikorkeakoulu	24
7	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	26
7.1	Liikenne	26
7.1.1	Pientaloalueen liikenne	26
7.1.2	5-tien ja Rinnekadun liikenne	28
7.2	Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet	29
7.2.1	Pientaloalueella keväällä 2016 tehdyt mittaukset	29
7.2.2	Päiväkoti Vilttihatun pihalla keväällä 2016 tehdyt mittaukset	35
7.2.3	Urpolan koululla keväällä 2016 tehdyt mittaukset	39

7.2.4	Pientaloalueella syksyllä 2016 tehdyt mittaukset	43
7.2.5	Pientaloalueella syksyllä 2016 tehtyjen mittausten hiukkasten 24 tunnin keskiarvot	47
7.2.6	Mikkelin ammattikorkeakoululla syksyllä 2016 tehdyt mittaukset .	49
7.2.7	Mikkelin ammattikorkeakoululla syksyllä 2016 tehtyjen mittausten hiukkasten 24 tunnin keskiarvot	53
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	54
	LÄHTEET	59

LIITTEET

- 1 Hiukkasmittaus gravimetrinen määrittäminen
- 2 Hiukkasmittaus mittauspöytäkirja
- 3 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 4.–5.4.2016
- 4 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 25.–27.5.2016
- 5 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkotikiukaan pihalla 14.3.2016
- 6 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkotikiukaan pihalla 29.3.2016
- 7 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkotikiukaan pihalla 2.6.2016
- 8 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 14.3.2016
- 9 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 31.5.2016
- 10 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 31.5.2016
- 11 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 30.9–7.10.2016
- 12 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 7.–14.10.2016
- 13 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Mamkin A-rak. katolla 17.–24.10.2016
- 14 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Mamkin A-rak. katolla 24.–31.10.2016

1 JOHDANTO

Suomessa ilmansaastepitoisuuksiin vaikuttaa sekä kotimaiset päästölähteet että ulkomailta peräisin oleva kaukokulkeuma, joka vaikuttaa erityisesti ilman pienhiukkasten pitoisuuksiin. Kotimaisista päästölähteistä eniten vaikuttavat liikenteen tiepöly ja pako-kaasupäästöt sekä puun pienpoltto taajama-alueilla, joissa kyseiset päästöt tapahtuvat lähellä ihmisiä. Näiden merkitys korostuu, sillä ne ovat usein lähempänä väestökeskitymiä teollisuuteen ja muihin lähteisiin verrattuna. Pienhiukkasten lähteitä ovat myös energiantuotannon SO₂ ja NO_x -päästöt, jotka hapettuvat ilmakehässä sulfaateiksi ja nitraateiksi. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) altistuksesta noin puolet tulee Suomen rajojen ulkopuolelta. Liikenne aiheuttaa myös hengitettävien hiukkasten päästöjä muun muassa nastarenkaiden käytön seurauksena. (Hänninen ym. 2016, 15–17.)

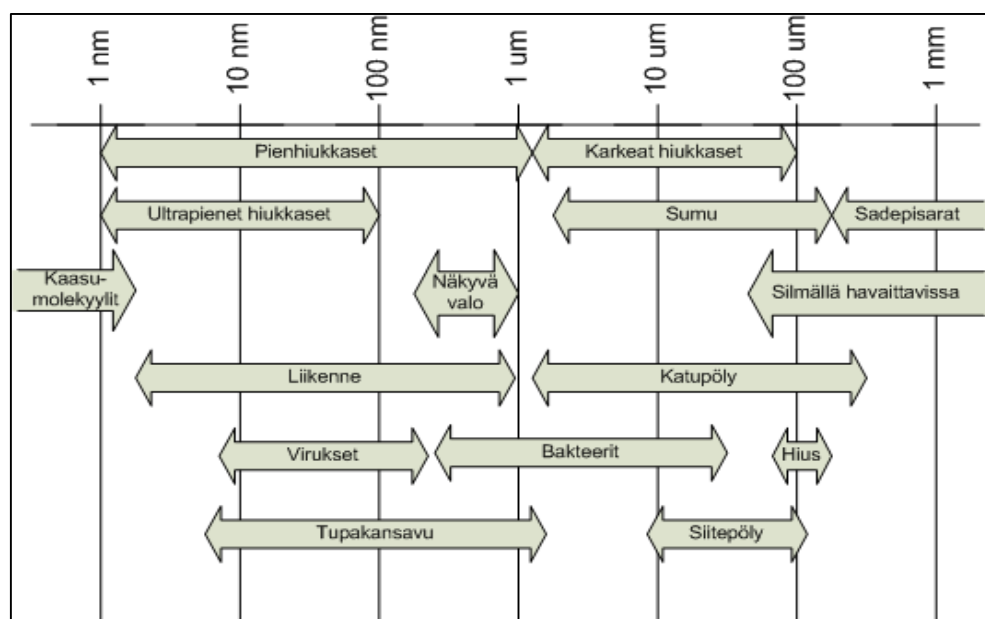
Erilaiset ilmansaasteet aiheuttavat haittaa ympäristön lisäksi myös ihmisen terveydelle. Yksi merkittävin ilmansaasteiden aiheuttama haitta on pienhiukkasten aiheuttamat terveyshaitat. EU:n hiukkaspitoisuuksien raja-arvot ylittyvät suuressa osassa Eurooppaa, mutta Suomessa ne ylittyvät vain harvoin. Tästä huolimatta myös raja-arvoja alhaisemmillä pitoisuuksilla on todettu olevan vaikutuksia ihmisen terveyteen. Useiden tutkimusten mukaan pienhiukkaset liittyvät erilaisiin terveysvaikutuksiin, kuten ennenaikaiseen kuolleisuuteen, sydän- ja verisuonisairauksiin, keuhkosityöpään sekä hengityselinsairauksiin, esimerkiksi astmaan ja keuhkohtaumatautiin. (Hänninen ym. 2016, 10.)

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Mikkelin ammattikorkeakoulun VIM-hanke eli Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa -hanke. Hankkeen tavoitteena on ennaltaehkäistä ja vähentää ympäristöpäästöjä sekä lisätä ympäristöturvallisuutta Etelä-Savossa muun muassa tuottamalla ympäristömittaustietoa sekä selvittämällä ilma- ja vesipäästöjen suuruutta, koostumusta ja vaikutuksia. Yhtenä hankkeen toimenpiteistä mitataan ja analysoidaan liikenteen ja energiantuotannon ilma- ja melupäästöjen vaikutuksia taajama-alueen ympäristöterveyteen. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehittämisrahastosta sekä Etelä-Savon Energia Oy, Metsäsairila Oy ja Mikkelin Vesilaitos. (Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa 2016.) Tällä opinnäytetyöllä oli tarkoitus tuottaa tietoa VIM-hankkeen käyttöön ja sen tuloksia voidaan käyttää hankkeen loppuraportoinnissa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää liikenteen ja puun pienpolton hiukkaspäästöjen suuruutta ja hiukkastenpitoisuutta ilmassa Mikkelin taajama-alueella suoritettujen hiukkaspitoisuusmittausten pohjalta. Lisäksi työssä arvioitiin hiukkaspäästöjen vaikutusta alueen ympäristöterveyteen. Opinnäytetyössä analysoitiin aiemmin tehtyjen hiukkasmittausten tuloksia ja itse suoritettujen hiukkasmittausten tuloksia. Mittaustuloksia verrattiin kyseisenä aikana vallinneisiin sääoloihin sekä kaupungin keskimääräisiin liikennemääriin ja tarkasteltiin niiden välisiä yhteyksiä.

2 HIUKKASET

Ilmakehässä hiukkasia on kaikkialla, mutta niiden pitoisuus vaihtelee sen mukaan, miten lähellä hiukkasten lähteitä ollaan. Hiukkasten määrää voidaan ilmaista massan tai lukumäärän avulla tilavuusyksikössä. Suurkaupungeissa hiukkaspitoisuudet ovat huomattavasti suurempia kuin syrjäisemmillä seuduilla. (Hiukkasten pitoisuus 2016.) Hiukkasten koon mittayksikkö on mikrometri (μm) tai nanometri (nm). Hiukkaset voivat olla halkaisijaltaan 1 nm–100 μm :n kokoisia (kuva 1). Pienimmät hiukkaset koostuvat vain muutamista molekyyleistä, kun taas suurimmat ovat esimerkiksi pölyhiukkasia. Karkeat hiukkaset ovat halkaisijaltaan yli 2,5 μm ja pienhiukkaset alle 2,5 μm . Alle 100 nm halkaisijaltaan olevat hiukkaset ovat ultrapieniä hiukkasia. (Hiukkasten koko ja muoto 2016.)



KUVA 1. Tyypillisiä hiukkasia ja niiden koot (Hiukkastieto)

Hiukkasten koko ilmoitetaan yleensä halkaisijan avulla mutta se ei ole kuitenkaan yksiselitteinen ominaisuus. Hiukkaset eivät ole välttämättä muodoltaan pyöreitä, vaan ne koostuvat usein molekyyli- tai hiukkasryppäistä. Ne voivatkin olla muodoltaan esimerkiksi ketjumaisia agglomeraatteja tai kuutiomaisia kiteitä. Myös esimerkiksi kuitumaisissa hiukkasissa niiden pituus vaikuttaa niiden aiheuttamiin terveyshaittoihin. Ilmakehä koostuu monen kokoisista hiukkasista. (Hiukkasten koko ja muoto 2016.)

Hiukkasia syntyy niin luonnossa kuin ihmisen toiminnan seurauksenakin. Luonnossa syntyvistä hiukkasista tärkeimpiä ovat tuulen irrottama pöly maaperästä, kasvien tuottamat orgaaniset pienhiukkaset, metsäpalojen seurauksena syntyvät savu- ja nokihiukkaset, valtameristä peräisin olevat merisuola- ja sulfaattihiukkaset sekä tulivuorten rikkipäästöistä muodostuvat sulfaattihiukkaset. Ihmisen toiminnan seurauksena hiukkasia puolestaan muodostuu teollisuuden ja liikenteen yhteydessä sekä käytettäessä fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa. Lisäksi hiukkasia muodostuu biomassan palaessa esimerkiksi puun, turpeen tai lannan polton yhteydessä. Ihmisen toiminnan seurauksena maan pintaa tuulelta suojaavaa kasvipeitettä on hävitetty, jolloin myös ilmakehässä esiintyvän pölyn määrä on lisääntynyt. Ihmisten tuottamat pienhiukkaset sisältävät muun muassa sulfaatteja, nokea ja erilaisia orgaanisia yhdisteitä. (Pienhiukkaset ilmakehässä 2016.)

Hiukkasia esiintyy eniten alueilla, joilla niitä myös syntyy eniten, sillä pienhiukkasten viipymäaika ilmakehässä on muutamasta päivästä muutamaan kuukauteen. Tässä ajassa hiukkaset eivät kerkeä jakautua tasaisesti ilmaan. (Pienhiukkaset ilmakehässä 2016.) Siksi kaupunkialueilla ihmisen toiminnan vaikutus on suurempaa. Hiukkaset voivat olla joko paikallisista lähteistä syntyneitä tai kaukokulkeutuneita. Suomeen hiukkasia kulkeutuu ilmavirtojen mukana erityisesti Keski- ja Itä-Euroopasta. (Hiukkasten lähteet 2016.) Hiukkaset voivat kulkeutua ilmavirtausten mukana jopa useiden tuhansien kilometrien päähän. Maailmanlaajuisesti suurimmat hiukkaspitoisuusalueet ovat esimerkiksi Intiassa, Kiinan itäosassa sekä Euroopan ja Amerikan tiheään asutuissa osissa. (Pienhiukkaset ilmakehässä 2016.)

Karkeat hiukkaset ja pienhiukkaset ovat pääasiassa peräisin eri lähteistä. Karkeiden hiukkasten lähteitä ovat esimerkiksi maaperän eroosio, rakentaminen, kaivokset sekä liikenne. Pienhiukkasten lähteitä ovat esimerkiksi polttoprosessit sekä kaasuhiukkas-

muuntuma. (Hiukkasten koostumus 2016.) Karkeat hiukkaset syntyvät usein mekaanisen hankauksen tai tuulen vaikutuksesta, kun taas pienhiukkaset syntyvät kaasuista, esimerkiksi liikenteen pakokaasuista, tiivistymällä (Hiukkasten lähteet 2016). Erikokoisten hiukkasten koostumus on myös erilainen. Karkeat hiukkaset koostuvat pääasiassa maankuoren alkuaineista ja niiden oksideista, kuten esimerkiksi piistä, raudasta, kalsiumista ja alumiinista sekä merisuolasta ja orgaanisesta materiaalista. Pienhiukkaset koostuvat puolestaan pääasiassa rikki- ja typpiyhdisteistä, jotka päätyvät ilmaan esimerkiksi polttoprosessien yhteydessä, tulivuorista tai merestä, hiilivedyistä, jotka ovat peräisin esimerkiksi kasvillisuudesta sekä hiilestä ja metalleista. (Hiukkasten koostumus 2016.)

Hiukkaset ovat kooltaan pieniä ja törmätessään ilman molekyyleihin niiden putoamisnopeus hidastuu niin paljon, että ne pysyvät ilmassa ja leijailevat ilman virtausten mukana. Hiukkaset voivat poistua ilmakehästä laskeutumalla hitaasti painovoiman vaikutuksesta maan pinnalle tai osumalla ilmakehän pyörteisten virtausten takia maahan tai veteen. (Pienhiukkaset ilmakehässä 2016.) Tätä kutsutaan kuivadepositioksi (Niemi 2002, 5). Hiukkasia poistuu myös sateiden vaikutuksesta sadepisaroiden ja lumihiihtäneiden kerätessä ilman hiukkasia itseensä (Pienhiukkaset ilmakehässä 2016). Tätä puolestaan kutsutaan märkädepositioksi (Niemi 2002, 5). Sopivissa olosuhteissa hiukkaset voivat myös kerätä ympärilleen vettä muodostaen ensin pilvipisaran ja sen jälkeen sadepisaran, joka tulee sateen mukana maahan (Pienhiukkaset ilmakehässä 2016).

2.1 Kokonaispöly

Kokonaispöly eli kokonaisleijuma (PM₁₅-hiukkaset) tarkoittaa ilman pölyä, johon sisältyy varsin suuren kokoisia hiukkasia, jotka voivat olla halkaisijaltaan jopa kymmenien mikrometrien kokoisia. Tällaiset suuret hiukkaset ja niiden korkea pitoisuus ilmassa vaikuttavat merkittävimmin ympäristössä viihtyvyyteen ja saattavat aiheuttaa likaantumista erityisesti keväisin, jolloin esimerkiksi hiekoitushiekasta peräisin oleva katupöly nousee kadun pinnasta ilmaan. Iso osa kokonaispölyn hiukkasista on kooltaan niin suuria, että ne eivät etene ihmisten hengitysteissä ylähengitysteitä pidemmälle, vaan yleensä poistuvat kehosta melko tehokkaasti. (Saari & Kompula 2016, 8.)

Valtioneuvoston päätöksen ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista 2. §:ssä määrätään ohjearvot terveydellisten haittojen ehkäisemiseksi muun muassa

hiukkasten kokonaisleijumalle. Päätöksen mukaan ohjearvot on otettava huomioon ilman pilaantumisen ehkäisemiseksi suunnittelussa kuten esimerkiksi maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen ohjauksessa ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa sekä lupakäsittelyssä. Jotta ilman epäpuhtauksien aiheuttamia terveydellisiä haittoja voitaisiin ehkäistä, päätöksessä on annettu ohjearvot kokonaisleijumalle. Esimerkiksi kokonaisleijuma ulkoilmassa alueilla, missä asuu ja oleskelee ihmisiä ja missä ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille, saa olla enintään taulukon 1 mukaisten pitoisuuksien verran. (Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista 480/1996.)

TAULUKKO 1. Kokonaisleijuman ohjearvot (Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista 480/1996)

Ohjearvo ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Tilastollinen määrittely
120	vuoden vuorokausiarvojen 98. prosenttipiste
50	vuosikeskiarvo

2.2 Hengitettävät hiukkaset

Hengitettävillä hiukkasilla eli PM_{10} -hiukkasilla tarkoitetaan halkaisijaltaan alle 10 μm :n hiukkasia. PM_{10} -hiukkaset voivat olla kemialliselta koostumukseltaan vaaratonta pölyä mutta niihin voi olla myös sitoutuneena haitallisia aineita esimerkiksi raskasmetalleja ja hiilivetyjä. Hengitettävät hiukkaset kulkevat hengitysilman mukana aina ihmisen keuhkoputkiin asti. (Hengitettävät hiukkaset 2016.)

Suurin osa kaupunki-ilman hengitettävistä hiukkasista on liikenteen tien pinnasta nostattamaa katupölyä. PM_{10} -pitoisuudet ovat korkeammat keväällä maaliskuusta huhtikuussa. Liikenne nostattaa tällöin jauhautunutta hiekoitushiekkaa ja asfalttipölyä kivi- ja betonipinnoilta. Erityisesti keväisin hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet saattavat ylittää niille asetetun raja-arvon, mutta vuositasolla pitoisuudet ovat yleensä raja-arvon alapuolella. (Hengitettävät hiukkaset 2016.)

Valtioneuvoston asetuksen ilmanlaadusta 4. § määrittää raja-arvot ilman epäpuhtauksille terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi. Hengitettävien hiukkasten (PM_{10})

pitoisuudet ulkoilmassa ei saa ylittää niille asetettuja raja-arvoja. (Taulukko 2.) (Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 38/2011.)

TAULUKKO 2. Hengitettävien hiukkasten raja-arvot (Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 38/2011)

Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
24 tuntia	50	35
kalenterivuosi	40	-

Valtioneuvoston päätöksen ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista 2. § asettaa ohjearvot ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveydellisten haittojen ehkäisemiseksi. Hengitettävien hiukkasten pitoisuus ulkoilmassa alueilla, missä asuu tai oleskelee ihmisiä ja missä ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille, saa olla enintään taulukon 3 mukainen pitoisuus. (Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta 480/1996.)

TAULUKKO 3. Hengitettävien hiukkasten ohjearvo (Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta 480/1996)

Ohjearvo ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Tilastollinen määrittely
70	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Myös Maailman terveysjärjestö (WHO) on määrittänyt vuonna 2005 hengitettävillä hiukkasilla ohjearvot (taulukko 4). Ohjearvojen tarkoituksena on toimia maailmanlaajuisina raja-arvoina tärkeimmille terveysriskiä aiheuttaville ilmansaasteille. Mikäli WHO:n määrittämiä raja-arvoja noudatettaisiin, voitaisiin vähentää ilmansaasteiden aiheuttamien akuuttien ja kroonisten sairauksien riskiä. Monissa maissa hengitettävien PM_{10} -hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on noin $70 \mu\text{m}/\text{m}^3$. WHO:n ilmanlaadun ohjearvoja laadittaessa on arvioitu, että hengitettävien hiukkasten vuosikeskipitoisuuden laskiessa $70 \mu\text{m}/\text{m}^3$:sta WHO:n ohjearvoon $20 \mu\text{m}/\text{m}^3$, ilmansaasteisiin liittyvien kuolemien määrä vähenisi noin 15 %. Hiukkaset vaikuttavat terveyteen pieninäkkin pitoisuuksina, joten ohjearvot on pyritty laatimaan mahdollisimman alhaisiksi. (Ambient (outdoor) air quality and health, 2016.)

TAULUKKO 4. Hengitettävien hiukkasten ohjearvot (Ambient (outdoor) air quality and health, 2016)

Keskiarvon laskenta-aika	Ohjearvo ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)
24 tuntia	50
vuosi	20

Korhosen ym. (2015, 14 – 15) mukaan suomalaisten keskimääräinen väestöpainotettu altistustaso ulkoilmassa oleville hengitettäville hiukkasille on noin $11,4 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Keskimääräinen altistustaso on laskettu kirjallisuuslähteiden, kuten European Environment Agencyn (EEA) ja WHO:n, sekä vuoden 2013 ulkoilmamittaustuloksista regressioekstrapolaatiomallilla lasketun pitoisuuden keskiarvona. Keskimääräiset altistustasot ovat selvästi ilmanlaadun raja-arvon ($40 \mu\text{m}/\text{m}^3$) ja WHO:n ohjearvon ($20 \mu\text{m}/\text{m}^3$) alapuolella. Vuodesta 2000 lähtien hengitettävien hiukkasten päästöt ovat olleet noin 50 000–60 000 tonnia vuodessa. Vuonna 2013 suurimmat PM_{10} -hiukkasten pitoisuudet on mitattu liikenneympäristöissä, joissa keskimääräinen pitoisuus oli $14,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Teollisuusympäristöissä keskimääräiset pitoisuudet olivat noin $12,2 \mu\text{m}/\text{m}^3$, esikaupunkitausta-asezilla $10,2 \mu\text{m}/\text{m}^3$, kaupunkitausta-asezilla $11,4 \mu\text{m}/\text{m}^3$ ja maaseututausta-asezilla keskiarvo oli $5,9 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Maaseututausta-asemien etelän ja pohjoisen vuosikeskiarvoissa oli suurta eroa, sillä Etelä-Suomen pitoisuus oli $10,2 \mu\text{m}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomen pitoisuus oli $3,2 - 3,9 \mu\text{m}/\text{m}^3$.

2.3 Karkeat hiukkaset

Karkeat hengitettävät hiukkaset ovat halkaisijaltaan $10-2,5 \mu\text{m}$. Yhdyskuntailman karkeat hiukkaset ovat pääosin peräisin ihmisen tuottamista lähipäästöistä eli esimerkiksi liikenteen jarru-, rengas- ja nastapölystä, asfalttipölystä, hiekoitushiekan pölystä sekä teollisuuden ja energiantuotannon materiaalikäsitteystä. (Salonen & Pennanen 2006, 8 - 10.) Suuri osa katupölyhiukkasista kuuluu hengitettävien hiukkasten $\text{PM}_{10-2,5}$ -luokkaan eli karkeaan kokoluokkaan (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 18). Karkeat hiukkaset poistuvat ilmakehästä kuivalaskeumana maan painovoiman vaikutuksesta (Salonen & Pennanen 2006, 8 - 10).

Karkeiden hiukkasten ikä ilmakehässä on yleensä muutamista minuuteista tunteihin. Luonnossa karkeita hiukkasia syntyy esimerkiksi tuulen kuljettaman hiekkapölyn, merisuolan, kasvijäänteiden, siitepölyosasten sekä homeitiöiden vaikutuksesta. Luonnosta tulevat karkeat hiukkaset, kuten siitepölyhiukkaset, voivat kulkeutua tuulen mukana pitkiäkin matkoja. Myös esimerkiksi Saharan hiekkamyrskyistä saattaa joskus kulkeutua huomattavia määriä hiukkasia Etelä- ja Keski-Eurooppaan asti. (Salonen & Pennanen 2006, 8 - 10.)

Karkeiden hengitettävien hiukkasten keskimääräinen väestöpainotettu altistustaso ulkoilmassa on noin $6,4 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Pitoisuudet on laskettu hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksien erotuksena niiltä 21 asemalta, joissa mitattiin sekä $\text{PM}_{2.5}$ - että PM_{10} -hiukkasia. Väestöpainotettu pitoisuus on laskettu 3-portaisella allokatiomallilla. Ulkoilman $\text{PM}_{10-2.5}$ -hiukkasten pitoisuus on pääkaupunkiseudulla $10,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$, muissa kaupungeissa $6,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$ ja maaseudulla $5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$. (Korhonen ym. 2015, 14.)

2.4 Pienhiukkaset

Pienhiukkasilla eli $\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasilla tarkoitetaan halkaisijaltaan alle $2,5 \mu\text{m}$:n hiukkasia. Pienhiukkaset kuuluvat hengitettäviin hiukkasiin. Pienhiukkaset menevät kuitenkin hengitysilman mukana syvemmälle keuhkojen hengitystiehyeisiin verrattuna PM_{10} -hiukkasiin. (Pienhiukkaset 2016.) Pienhiukkaset saattavat tunkeutua aina keuhkorakuihin asti (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 19). $\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasia syntyy muun muassa polttoaineiden palamisessa ja erityisesti puun pienpoltossa. Myös ilmaan päässeet rikkidioksidi- ja typpidioksiditkaasut muuntautuvat pienhiukkasiksi. Pienhiukkaset voivat kulkeutua kaukokulkeutena ilmamassojen mukana jopa tuhansia kilometrejä. Kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttaa siis huomattavasti myös kaukokulkeuman mukana tulleet hiukkaset. Ilmakehästä hiukkaset poistuvat sateen mukana. (Pienhiukkaset 2016.)

Valtioneuvoston asetuksen ilmanlaadusta 4. §:n mukaan pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) pitoisuudet ulkoilmassa ei saa ylittää niille asetettua raja-arvoa (taulukko 5). (Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 38/2011).

TAULUKKO 5. Pienhiukkasten raja-arvo (Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 38/2011)

Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
kalenterivuosi	25	-

Myös WHO on määrittänyt vuonna 2005 pienhiukkasille ohjearvot (taulukko 6). Ohjearvojen tarkoituksena on toimia maailmanlaajuisina raja-arvoina terveysriskiä aiheuttaville ilmansaasteille. (Ambient (outdoor) air quality and health, 2016.)

TAULUKKO 6. Pienhiukkasten ohjearvot (Ambient (outdoor) air quality and health, 2016)

Keskiarvon laskenta-aika	Ohjearvo ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)
24 tuntia	25
vuosi	10

Suomessa keskimääräinen väestöpainotettu altistustaso ulkoilman $\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasille on noin $6,8 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Tulos on laskettu kirjallisuuslähteiden, kuten EEA:n ja WHO:n, sekä vuonna 2013 tehdyistä ulkoilmamittaustuloksista regressioekstrapolaatiomallilla lasketun pitoisuuden keskiarvona. Altistustasot ovat selvästi alhaisempia kuin ilmanlaadun raja-arvo ($25 \mu\text{m}/\text{m}^3$) ja WHO:n ohjearvo ($10 \mu\text{m}/\text{m}^3$). Vuodesta 2000 lähtien pienhiukaspäästöt ovat olleet noin 35 000–45 000 tonnia vuodessa. Suurimmat pienhiukkaspitoisuudet on mitattu esikaupunkitausta-aseilla, joissa pitoisuus oli $7,6 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Liikenne- sekä teollisuusympäristöissä pitoisuudet olivat $7,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$. Maaseututausta-aseilla keskiarvopitoisuus oli $4,4 \mu\text{m}/\text{m}^3$, pitoisuudet vaihtelivat niiden ollessa Etelä-Suomessa $5,8$ – $6,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa $1,8 \mu\text{m}/\text{m}^3$. (Korhonen ym. 2015, 11 – 12.)

2.5 Ultrapienet hiukkaset

Ultrapienet hiukkaset ovat halkaisijaltaan alle $0,1 \mu\text{m}$:n hiukkasia. Ultrapieniä hiukkasia eli $\text{PM}_{1.0}$ -hiukkasia muodostuu esimerkiksi puun pienpoltossa tulisijoissa, autojen moottoreista, erityisesti polttoaineen palaessa epätäydellisesti vanhassa dieselmootto-

riissa sekä energialaitosten kattiloista. (Salonen & Pennanen 2006, 9 - 10.) Ihmisen kehossa ultrapienet hiukkaset saattavat tunkeutua keuhkorakkuloiden kautta verenkiertoon asti (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 19).

Ultrapienet hiukkaset kestävät ilmakehässä lämpimällä säällä yleensä vain minuutteja mutta talvipakkasella ne saattavat kestää ilmakehässä jopa tunteja. Ultrapienet hiukkaset kasvavat nopeasti kertymähiukkasiksi, jotka koaguloituvat toistensa ja isompien hiukkasten kanssa. Pääosa kertymähiukkasista muodostuu pilvissä vuorokausien aikana tapahtuvan satojen tai tuhansien kilometrien kulkeutumisen aikana. Kertymähiukkaset poistuvat ilmakehästä yleensä joko sateen mukana tai kuivana laskeutumaan. (Salonen & Pennanen 2006, 9 - 10.)

3 HIUKKASPITOISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

3.1 Liikenne

Päästölähteet jaotellaan yleensä piste-, viiva- ja aluelähteiksi. Tieliikenne luokitellaan viivalähteeksi. Liikenteestä muodostuvilla päästöillä on usein suuri vaikutus kaupunkien ilmanlaatuun johtuen sen matalasta päästökorkeudesta. (Niemi 2002, 3.) Liikenne on monien hiukkasmaisten ilman epäpuhtauksien merkittävin lähde. Ajoneuvojen pakokaasujen hiukkaset ovat pääasiassa pienhiukkasia ja ne koostuvat muun muassa mustasta hiilestä, orgaanisista yhdisteistä, metallien oksideista, sulfaatista ja vedestä. Pakokaasuista peräisin olevien päästöjen määrään vaikuttavat liikennemäärät, ajoneuvojen ja polttoaineiden ominaisuudet sekä ajo-olosuhteet. Yleisesti ottaen päästöt ovat suuria muun muassa dieselajoneuvoilla, vanhoissa, huonokuntoisissa ja katalysaattorittomissa ajoneuvoissa, ajoneuvojen moottorin tai sään ollessa kylmä, ajoneuvojen nopeuden ollessa hyvin pieni tai hyvin suuri tai liikenteen ollessa ruuhkaista. (Niemi 2002, 12.)

Pakokaasujen lisäksi haitallista on myös liikenteen tien pinnasta nostattamat katupölyhiukkaset. Katupölyhiukkaset muodostuvat ajoneuvojen ja renkaiden kulumisesta, hiekoitushiekasta, tien ja sen päällysteen kulumisesta, teiden suolauksesta sekä kadulle laskeutuneista pakokaasuhiukkasista ja kaukokulkeuman mukana tulleista hiukkasista. Hiukkasten määrään vaikuttaa muun muassa liikenteen määrä ja nopeus, ajoneuvojen koko, renkaiden ja niiden nastojen ominaisuudet sekä käytetyn hiekoitusmateriaalin määrä ja laatu. Erityisesti hiukkasia on ilmassa tilanteissa, joissa tien pinta on sula ja

kuiva ja liikenteestä johtuva ajoviima sekä tuuli ovat voimakkaita. (Niemi 2002, 12.) Katupölyongelma onkin pahimmillaan yleensä keväisin, jolloin myös hiukkasten ohjearvot saattavat ylittyä toistuvasti. Katupölyongelmaa ja hiukkasten pitoisuuksia ilmassa voidaan hillitä katujen kastelulla sekä tehostamalla hiekoitushiekan puhdistusta kaduilta. (Liikenteen hiukkaspäästöt 2016.)

Niemen mukaan (2002, 20) liikenteestä peräisin olevien epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavat sekä liikennemäärät, meteorologiset tekijät että ympäristön ominaisuudet. Liikenteestä peräisin olevien epäpuhtauksien pitoisuudet ovat korkeimmillaan tien välittömässä läheisyydessä ja pitoisuuksien laskua tapahtuu jo ensimmäisten metrien tai kymmenien metrien etäisyydellä. Yleensä pitoisuudet laskevat taustapitoisuuksien tasolle viimeistään muutamien satojen metrien päässä tiestä. Kuitenkin alle 10 µm:n kokoisten hengitettävien hiukkasten gravitaatiosta johtuva putoamisnopeus on melko hidas, joten hengitettävät hiukkaset voivat pysyä ilmassa useita tunteja kulkeutuen kymmenien kilometrien päähän. Pienhiukkaset saattavat kulkeutua ilmassa tätäkin pidempiä matkoja. Yksittäisen tien ja sen liikenteestä peräisin olevien pienhiukkasten vaikutus paikallisiin pitoisuuksiin tulisi parhaiten esille tarkastelemalla liikenteelle tyypillisten hiukkasten, esimerkiksi pakokaasuperäisten lyijyhiukkasten tai mustan hiilen, pitoisuuksia.

Liikennemäärät vaihtelevat viikonpäivän ja vuorokauden ajan mukaan. Tämän vuoksi myös liikenteen aiheuttamat hiukkaspitoisuudet vaihtelevat eri viikonpäivinä ja vuorokauden aikoina. Liikennettä on enemmän arkipäivisin kuin viikonloppuina ja myös liikenneperäiset saastepitoisuudet kuten hiukkaspitoisuudet ovat korkeampia arkipäivinä ja matalampia viikonloppuisin. Liikenteestä peräisin olevat hiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan aamuruuhkan aikana. Pitoisuudet yleensä laskevat keskipäivällä ja kohoavat taas uudestaan iltaruuhkan aikana. Iltapäivisin paluuliikenne kestää yleensä aamuruuhkaa pidempään ja jakaantuu siis pidemmälle aikavälille, mikä tarkoittaa sitä, että pitoisuudet eivät nouse yhtä korkeiksi verrattuna aamuruuhka-aikaan. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 42.)

3.2 Puun pienpoltto

Suomessa puun poltto on yksittäisistä hiukkaslähteistä merkittävin. Puun pienpolton aiheuttamia hiukkaspäästöjä muodostuu sekä epätäydellisestä palamisesta että palokasuisista tiivistymällä ilmakehässä. Puun poltossa syntyvä savu sisältää pienhiukkasten lisäksi myös häkää ja hiilivetyjä. Mitä tummempaa puunpoltossa syntyvä savu on, sitä enemmän se sisältää nokea ja hiukkasia. (Puun pienpoltto 2016.)

Suomessa varaavat takat ovat yleisiä. Uusilla takoilla hiukkaspäästöt voivat olla huomattavasti pienemmät verrattuna vanhoihin takkoihin. Myös puukiukailla päästöt ovat yleensä suuret. Polttolaitteen lisäksi muodostuviin päästöihin vaikuttavat myös polttotapa ja polttoaineen laatu. Polttolaitteen päästöt voivat kasvaa moninkertaisiksi esimerkiksi käytettäessä kosteaa puuta tai jos poltto-olosuhteet ovat huonot. Puun poltossa hiukkaspäästöt ovat yleensä suuret johtuen puun epätäydellisestä palamisesta. Myös päästökorkeus on varsin matala, jolloin hiukkaset eivät leviä kovinkaan kauas lähteestä. Siksi puun polton terveysvaikutukset jäävät yleensä paikallisiksi. Samansuuruinen päästö aiheuttaa suuremman väestöaltistuksen paikassa, jossa väestöä on tiheämmin. Täten puun poltto kaupungissa voi olla terveyden kannalta haitallisempaa kuin haja-asutusalueen puun pienpoltto. (Paunu 2012, 7.)

Vuonna 2005 noin 70 % pientalojen puulämmityksen päästöistä tuli lisälämmityksestä eli puiden poltosta takassa, uunissa tai kiukaassa. Merkittävin osa lisälämmityksen päästöistä tapahtui pientaloalueilla taajama-alueella. Kaikkiaan taajama-alueet tuottivat 43 % puun pienpolton päästöistä. Takkojen, uunien ja kiukaiden käyttö taajama-alueilla aiheutti 80 % kokonaisväestöaltistuksesta. Terveysvaikutusten vähentämiseksi puun pienpolton päästövähennykset tulisi kohdistaa nimenomaan taajama-alueiden takka-, kiuas- sekä uunikäyttöön. (Paunu 2012, 8.)

Puun pienpolton aiheuttamat savupitoisuudet ja sitä kautta myös ilman hiukkaspitoisuudet ovat yleensä korkeimmillaan viikonloppuisin ja erityisesti ilta-aikaan, jolloin saunoja ja muita tulisijoja käytetään eniten (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 42).

3.3 Vuodenaika ja sää

Meteorologiset tekijät, kuten esimerkiksi tuulen suunta, nopeus ja turbulentsisuus, lämpötila, ilman suhteellinen kosteus sekä pilvisuus ja sadanta, vaikuttavat ilmanlaadun paikallisiin eroihin. Ne vaikuttavat ilman epäpuhtauksien leviämiseen, muutuntaan ja poistumiseen ilmakehästä. Ilman epäpuhtauksien kulkeutuminen ja sekoittuminen ilmassa on heikointa tyynellä ja kirkkaalla säällä, erityisesti inversiotilanteissa. (Niemi 2002, 4.)

Inversio syntyy yleensä selkeän ja tyynen yön aikana. Tällöin maanpinnan läheisyydessä oleva ilma jäähtyy kylmemmäksi kuin korkeammalla oleva ilma eikä ilmamassat pääse sekoittumaan pystysuunnassa. Tällöin myös liikenteestä aiheutuvat päästöt kertyvät hengitysilmaan. Kylminä pakkaspäivinä inversiotilanne voi kestää pitkäänkin. Yleensä kuitenkin auringon tuottama lämpö lopettaa inversion aamuruuhkien jälkeen. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 40.) Inversiotilanteissa ilman epäpuhtaudet, esimerkiksi hiukkaset ja niiden pitoisuudet kohoavat erityisesti taajamissa liikeneruuhkien aikana, jolloin epäpuhtaudet kertyvät matalalle päästölähteiden lähelle. Pientaloasutusalueilla hiukkaspitoisuudet voivat kohota kylminä talvi-iltoina puun polton vuoksi. Kesäisin liikenteestä muodostuvat päästömäärät ovat pienempiä ja ilma sekoittuu tehokkaammin, joten ilmanlaatu huononee silloin inversion takia harvemmin. (Talvinen inversiotilanne 2016.)

Keväisin lumen sulaessa ja katujen kuivuessa erityisesti liikenne ja tuuli nostavat teiden pinnalta ilmaan katupölyä, mikä johtaa hiukkaspitoisuuksien nousuun ja ajoittain myös ohjearvojen ylittymiseen. Syksyllä puolestaan sateet vähentävät hiukkaspitoisuuksia ilmassa ja sateen lisäksi myös tuulet pitävät ilmanlaadun myös hiukkasten osalta melko hyvänä. Talvella suorien päästöjen aiheuttamat pitoisuudet ovat yleensä korkeimmillaan. Pitoisuudet yleensä kohoavat talvisin myös heikompien sekoitus- ja laimennemisolosuhteiden takia, sillä talvisin tuulet ovat heikompia ja silloin saattaa esiintyä inversiotilanteita. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 42.)

4 HIUKKASTEN MITTAAMINEN

Hiukkasten koko, muoto, koostumus ja pitoisuudet vaihtelevat suuresti, mikä tekee niiden mittaamisesta haastavaa. Mittalaitteet hyödyntävät mittauksessa erilaisia fysikaalisia ilmiöitä. Hiukkasten mittauksessa käytetään tekniikoita, jotka perustuvat esimerkiksi niiden sirottamaan valoon, sähkövaraukseen tai massan hitauteen. Mittauslaitteen valintaan vaikuttaa myös se, tarvitaanko tietoa esimerkiksi hiukkasten pitoisuudesta, kokojakaumasta, massasta vai lukumäärästä. (Hiukkasten mittaaminen 2016.)

4.1 Inertiaan perustuvat menetelmät

Hiukkasten inertia tarkoittaa sitä, että mitä suurempi hiukkasen massa on, sitä hitaammin hiukkasen liike reagoi ilmavirrassa tapahtuviin muutoksiin. Hiukkasten inertiaa voidaan hyödyntää hiukkasten keräämisessä sekä hiukkasten koon mittaamisessa. Inertiaan perustuvia mittalaitteita ovat esimerkiksi syklonit, impaktorit sekä lentoaika-laitteistot. (Inertiaan perustuvat menetelmät 2016.)

Impaktorilla tarkoitetaan hiukkaskeräintä, jossa ilmavirran liikesuunta muuttuu jyrkästi keräimen keräyslevyn yläpuolella. Tällöin tiettyä rajakokoa suuremmat hiukkaset törmäävät keräyslevyyn, sillä ne eivät ehdi kääntyä ilmavirran mukana. Impaktorin tarkoituksena on jakaa hiukkaset niiden koon perusteella kahteen osaan. Hiukkasten kokojakaumasta saadaan tietoa asettamalla impaktoriin useita peräkkäisiä keräysasteita. Hiukkasten kimpoamisen ehkäisemiseksi impaktorin keräyslevy voidaan öljytä tai vaihtoehtoisesti keräyslevyn tilalla on aukko, johon pienen sivuvirtauksen avulla suuremmat hiukkaset menevät. Impaktorin leikkausrajaan vaikuttavat sen dimensio sekä virtausnopeus. Pienin leikkausraja on noin 200–300 nm, mutta alipaineimpaktoreissa leikkausraja voi olla jopa 50 nm. Impaktorin keräyslevyt vaihdetaan yleensä muutaman tunnin tai päivän välein. Keräyslevyt punnitaan, jonka ansiosta saadaan selville hiukkasten massapitoisuus. Tämän lisäksi levyistä voidaan tehdä kemiallinen analyysi. (Inertiaan perustuvat menetelmät 2016.)

Karkeiden hiukkasten lukumääräkokojakauman mittaamiseen voidaan käyttää lentoaikalaitteistoa. Hiukkasten päästessä laitteistoon ne ohjataan kiihtyvään ilmavirtaukseen, jonka jälkeen kahdessa pisteessä tapahtuu hiukkasten optinen havainnointi. Suuret hiukkaset eli hiukkaset, joiden halkaisija on yli 0,3 μm , eivät pysy kiihtyvän ilmavirran

vauhdissa ja havaintojen väliin syntyy aikaero, joka riippuu hiukkasten koosta. (Inertiaan perustuvat menetelmät 2016.)

4.2 Optiset menetelmät

Optisia mittaamenetelmiä käytetään yleensä hiukkasten pitoisuuden sekä kokoja-kauman mittaamiseen. Niiden etuna ovat mittaamenetelmän herkkyys sekä se, että menetelmät ovat lähes reaaliaikaisia. Hiukkasia voidaan havainnoida valon sironnan tai vaimenemisen avulla laajallakin pitoisuusalueella. Rajoittavana tekijänä optisissa mittalaitteissa on valon aallonpituus. Mitattavien hiukkasten koon alarajana on noin 100 nm. Tätä pienempiä hiukkasia ei voida optisesti mitata, ellei niitä ensin kasvateta tiivistämällä niiden pinnalle höyryä. (Optiset menetelmät 2016.)

Optinen hiukkaslaskuri mittaa sekä hiukkasten lukumääräpitoisuutta, että hiukkasten kokoa. Optisessa hiukkaslaskurissa hiukkaset kulkevat fokusoidun valonsäteen läpi sirtottaen samalla valoa. Sironneet valopulssit ohjataan ilmaisimelle, josta saadaan valopulssien saapumistaajuus ja korkeus. Pulssien saapumistaajuus kertoo hiukkasten pitoisuuden ja pulssien korkeus hiukkasten koon. Käyttämällä laservaloa, voidaan mitata pienempiä hiukkasia verrattuna valkoisen valon käyttöön. Pienempiä hiukkasia mitattaessa mittausepävarmuutta aiheuttavat esimerkiksi muutokset hiukkasten taitekertoimessa ja muodossa. Suurilla pitoisuuksilla mittausepävarmuutta aiheuttaa puolestaan se, että useampi hiukkanen saapuu havaintotilavuuteen samanaikaisesti tai liian pienen väliajan sisään, jolloin laskuri tulkitsee ne yhdeksi hiukkaseksi. Optinen hiukkaslaskuri on halpuutensa ja helppokäyttöisyytensä vuoksi laajasti käytössä oleva mittalaite, jota käytetään yleisesti esimerkiksi hiukkasten tutkimuksessa sekä pitoisuuksien valvonnassa. (Optiset menetelmät 2016.)

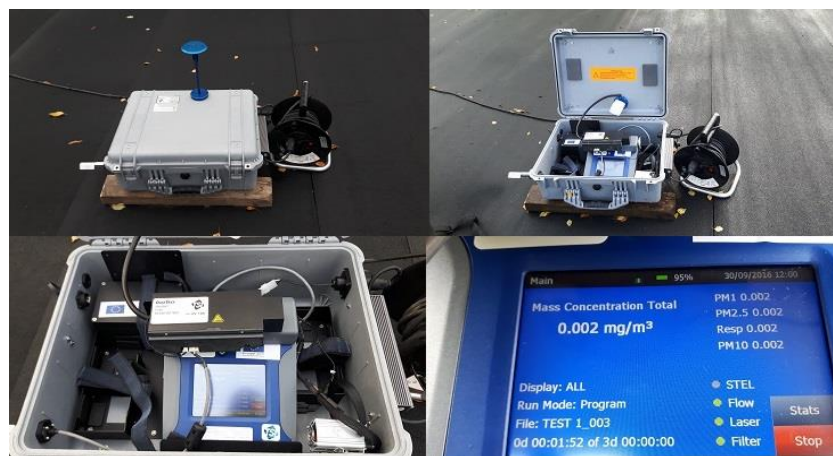
Kondensaatiohiukkaslaskurissa hiukkasten kokoa kasvatetaan tiivistämällä niiden pinnalle joko alkoholi- tai vesihöyryä, jotta ne olisivat tarpeeksi suuria optista havainnointia varten. Hiukkasten kasvatuksen jälkeen ne voidaan laskea joko kokonaissironnan perusteella tai yksittäin optisen hiukkaslaskurin tapaan. Kondensaatiohiukkasmittarilla voidaan havainnoida jopa alle 3 nm:n kokoisia hiukkasia mutta yleensä samalla menetetään tieto hiukkasten alkuperäisestä koosta. Laskurilla voidaan havainnoida siis hiukkasten kokonaislukumääräpitoisuutta. Usein laskuri yhdistetään kuitenkin sähköiseen

liikkuvuusanalysointiin, jonka avulla saadaan selville myös hiukkasten lukumääräkojakauma. Kondensatiohiukkaslaskureita käytetään yleensä alle 200 nanometrin hiukkasten mittaamiseen. (Optiset menetelmät 2016.)

Koko hiukkaspopulaatiosta siroavan valon määrän mittaamiseen käytetään fotometriä tai nefelometriä. Fotometri mittaa tiettyyn kulmaan sironneen valon. Nefelometrissä puolestaan hiukkasista siroava valo kerätään kaikissa sirontakulmissa yhden tai useamman aallonpituuden avulla. Fotometriä ja nefelometriä voidaan käyttää hiukkasten pitoisuuden määrittämiseen tai hiukkasten valonsirontaominaisuuksien tutkimiseen, mikä on tärkeää esimerkiksi hiukkasten ilmastovaikutusten arvioimisen kannalta. (Optiset menetelmät 2016.)

4.2.1 TSI DustTrak™ DRX 8533

TSI DustTrak™ DRX 8533 mittaria käytetään ilmassa olevien hiukkasten mittaukseen (kuva 2). Mittari mittaa kokonaispölyä (PM₁₅) sekä PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} ja PM_{1.0}-hiukkasia. Laitteen mittaus perustuu laser-fotometriaan. (TSI DustTrak DRX 8533 & 8534 2016.) DustTrak mittaa sekä näyteilman hiukkasten kokojakaumaa, että määrää fotometrisesti. (DustTrak™ DRX aerosol monitor theory of operation 2016). Mittauskohteiksi sopii esimerkiksi erilaiset pölyt ja savut. Laitteen mittausalue on 0,001–150 mg/m³ ja mitattava hiukkaskoko 0,1–15 µm. DustTrak sopii sekä sisäilmassa tehtäviin mittauksiin, että ulkoilmassa tehtäviin mittauksiin. (TSI DustTrak DRX 8533 & 8534 2016.)



KUVA 2. Opinnäytetyössä käytetty TSI DustTrak™ DRX 8533 mittari ja ulkoilmaan soveltuva säänkestävä suojasalkku (Kainulainen 2016).

Laitteen sisäinen pumppu pumppaa ilmanäytteen, joka imetään optiseen näytekammioon. Näytekammiossa lasersäde osuu ilmanäytteen hiukkasiin. Hiukkasten määrä lasketaan ohjelmallisesti ja tulos saadaan yksikössä mg/m^3 . Hiukkasten määrän laskemisen jälkeen ilmanäyte johdetaan kokoluokittelijaan. (TSI DustTrak DRX 8533 & 8534 2016.) Laite on kalibroitu käyttäen testiaerosolina Arizona testipölyä (DustTrak™ DRX aerosol monitor theory of operation 2016).

DustTrak antaa mittaustietoa reaaliaikaisesti suoraan laitteen näytölle tai tallentaa tehdyt mittaukset laitteen muistiin, jotta dataa voidaan analysoida ja dokumentoida tarvittaessa tarkemmin. Laitteessa on myös paikka 37 mm:n suodattimelle. Suodattimelle saadaan kerättyä näyte, joka voidaan punnita tai tarvittaessa selvittää näytteen sisältämiä ainesosia. (TSI DustTrak DRX 8533 & 8534 2016.) Laitteen 37 mm:n suodatinkasetin avulla voidaan suorittaa gravimetrinen analyysi ilman erillistä pumppua tai suodatinpidikettä (DustTrak™ DRX aerosol monitor theory of operation 2016). DustTrak mittariin saa myös automaattinollauksen sekä ulkoilmavarustuksen. Mittarin mukana tulee TrakPro-ohjelma, jolla voidaan analysoida ja dokumentoida mittaustuloksia. (TSI DustTrak DRX 8533 & 8534 2016.)

4.3 Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät

Sähköisesti varautuneita hiukkasia eli ioneja voidaan havaita niiden kuljettaman sähkövarauksen avulla. Lisäksi sähköisesti varautuneiden hiukkasten liikkeitä voidaan ohjalla sähkökentän avulla. Sähköisiä mittaamenetelmiä voidaan käyttää esimerkiksi ultrapientien hiukkasten mittauksessa, jotka ovat kooltaan liian pieniä optisille tai inertiaan perustuville mittaamenetelmille. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät 2016.)

Ionispektrometrillä voidaan mitata ilmakehässä olevien luontaisesti varautuneiden hiukkasten kokojakaamaa. Mittauksessa hiukkaset jaotellaan koon mukaan eri elektrodeille jännitteen avulla, jossa hiukkasten pitoisuus havaitaan sähkövirtana. Ionispektrometrillä voidaan havainnoida jopa alle 1 nanometrin kokoisia hiukkasia. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät 2016.)

Sähköisen liikkuvuusanalysointilaitteen avulla erotetaan hiukkasten kokojakaumasta kapea kaistale. Tällä tavalla saatuja yhden kokoisia hiukkasia käytetään esimerkiksi laitteiden kalibrointiin. Sähköisessä liikkuvuusanalysointilaitteessa on yleensä kaksi sisäkkäistä metallisylinteriä, joiden välissä on sähkökenttä. Sähkökentässä hiukkaset joutuvat kaarevaan liikkeeseen, jolloin tietyllä jännitteellä vain tietyt kokoiset hiukkaset pääsevät sisimmäisen sylinterin kapeasta raosta näytevirtaukseen. Hiukkasten läpäisytehokkuus ja valitun kokojakauman leveys riippuvat sekä analysointilaitteen geometriasta, että virtaus-suhteista sekä hiukkasten koosta. Yleensä sähköisten liikkuvuusanalysointilaitteiden avulla pystytään mittaamaan noin 1 nm:n–1 µm:n hiukkasia. Analysointilaitteet optimoidaan usein mittaamaan tiettyjä kokoluokkia. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät 2016.)

Kun sähköiseen liikkuvuusanalysointilaitteeseen yhdistetään varaaja sekä kondensaatiohiukkaskasuri, saadaan sähköinen kokoluokittelija. Sähköisen kokoluokittelijan toiminta perustuu siihen, että ensin saavutetaan tasapainovarausjakauma, jonka jälkeen hiukkasten lukumääräpitoisuus saadaan eri kokoluokittain sähköisen liikkuvuusanalysointilaitteen jännitettä muuttamalla. Yleensä sähköistä kokoluokittelijaa käytetään pienhiukkasten, joiden koko on 3–1000 nm, lukumääräkokojakauman mittaamiseen. (Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät 2016.)

5 HIUKKASTEN TERVEYSVAIKUTUKSET

Länsimaissa ulkoilman sisältämiä hiukkasia pidetään haitallisimpana ympäristötekijänä, joka vaikuttaa ihmisen terveyteen. Ilmansaasteista terveyshaittoja eniten aiheuttavat liikenteestä, puun pienpoltosta ja muusta epätäydellisestä palamisesta johtuvat pienhiukkaset. Suomessa ilmansaaste-pitoisuudet ovat yleensä kohtalaisen matalia, joten useimmille ihmisille niistä ei aiheudu merkittäviä terveyshaittoja. Herkkyys ilmansaasteille on yksilöllistä. Tietyt väestöryhmät ovat kuitenkin erityisen herkkiä ilmansaasteille kuten esimerkiksi astmaatit, ikääntyneet sepelvaltimotautia tai keuhko- ja sydäntautia sairastavat ihmiset sekä lapset. Talvisin pakkasella saattaa pahentaa ilmansaasteiden aiheuttamia oireita. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 16 – 19.)

Hiukkaspitoisuuksien lyhytaikainen kohoaminen voi lisätä ihmisten sydän- ja hengityselinoireita sekä niihin liittyvistä sairauksista aiheutuvia sairaalakäyntejä ja kuolleisuutta. Vielä haitallisempaa terveydelle on kuitenkin pitkäaikainen altistuminen ilman

hiukkasille. Tällaista pitkäaikaista altistumista voi tapahtua esimerkiksi asumalla vilkasliikenteisen tien välittömässä läheisyydessä. Pitkäaikainen altistuminen hiukkasille voi johtaa hengityselin- ja sydänsairauksien kehittymiseen ja lyhentää elinikää. Pienemmät hiukkaset ovat haitallisempia terveydelle verrattuna suurempiin, sillä pienemmät hiukkaset pääsevät hengitysilman mukana syvemmälle keuhkoihin. Suuremmat hiukkaset aiheuttavat likaantumista sekä viihtyvyyshaittaa. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015, 19.)

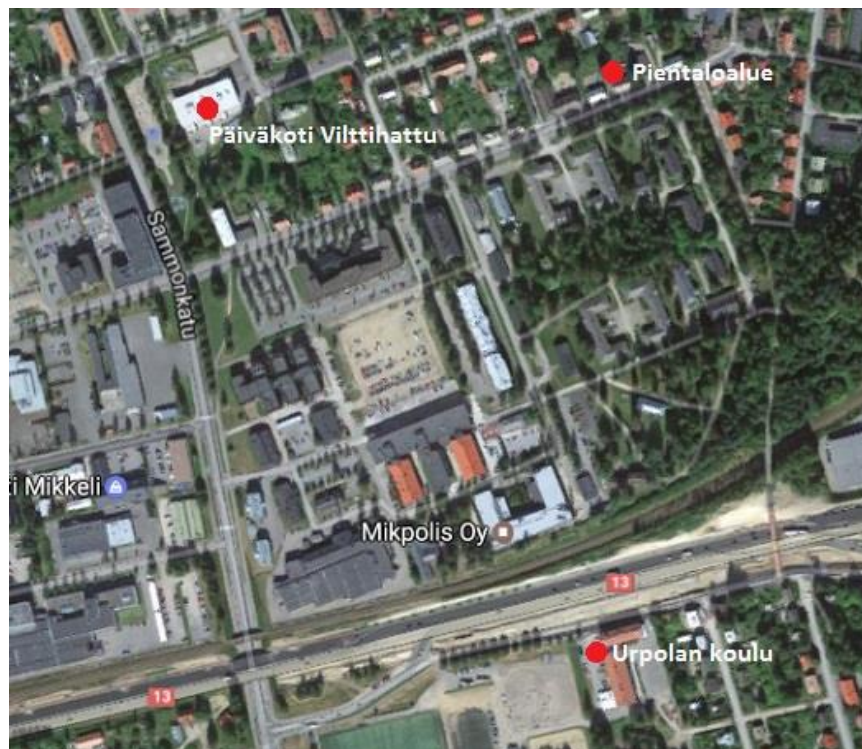
Tutkimusten mukaan pienhiukkaset kytkeytyvät erilaisiin terveysvaikutuksiin, kuten ennenaikaiseen kuolleisuuteen, sydän- ja verisuonisairauksiin, keuhkosityöpään sekä hengityselinsairauksiin esimerkiksi astmaan ja keuhkohtaumatautiin. Suomessa ilmansaasteiden on arvioitu aiheuttavan noin 1600 kuolemantapausta vuodessa, joista noin 1100 aiheutuu PM_{2.5}-hiukkasista ja 130 PM₁₀-hiukkasista. Ilmansaasteiden aiheuttamassa kuolemantapauksessa ihmisen elinikä lyhenee keskimäärin 16 vuotta. Koko väestölle keskimääräistettynä jokaisen eliniänodote lyhenee noin 5,3 kuukaudella. Lisäksi ilmansaasteet lisäävät myös sairastumista. Koko väestössä sairauksien lisääntyminen vastaa suuruudeltaan esimerkiksi tilannetta, jossa jokainen ihminen sairastaisi noin 100 päivää lievää flunssaa vuosittain. Suurin osa terveyshaitoista eli 64 % aiheutuu pienhiukkaista ja 13 % aiheutuu hengitettävistä hiukkasista. (Hänninen ym. 2016, 10 – 22.)

Ilman mukana hiukkaset kulkeutuvat hengitysteihin ja aiheuttavat suoria allergisia, immunologisia ja toksisia vaikutuksia keuhkoissa. Lisäksi hiukkaset voivat siirtyä osittain myös verenkiertoon ja sitä kautta ympäri kehoa esimerkiksi sydänlihakseen ja aivoihin. Hiukkaset siis lisäävät systeemisten tulehdusvaikutusten kautta sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia sekä lisäävät kuolleisuutta. Näihin vaikuttavat myös muut ilmansaasteet mutta niiden vaikutus on pienhiukkasiin verrattuna vähäisempi. (Hänninen ym. 2016, 22.)

6 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

6.1 Keväällä 2016 tehdyt mittaukset

Opinnäytetyössä analysoitiin jo aiemmin VIM-hankkeessa suoritettujen hiukkaspitoisuusmittausten tuloksia. Mittarina oli käytetty TSI DustTrak™ DRX 8533 hiukkaspitoisuuden mittaria, jolla mitataan sekä kokonaispöly- (PM_{15}) että hengitettäviä, karkeita ja pienhiukkaspitoisuuksia (PM_{10} , PM_4 , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$). Mittauksia suoritettiin kevään 2016 aikana Mikkelin taajama-alueella pientaloalueella (Jääkärintie), Urpolan koulun pihalla ja päiväkoti Vilttihatun pihalla (kuva 3). Pientaloalueella mittauksia suoritettiin kaksi kertaa: 4.–5.4.2016, jolloin mittauksen kesto oli 16 h 02 min sekä 25.–27.5.2016, jolloin mittaus oli kestoltaan 1 vrk 12 h 20 min. Urpolan koululla mittauksia suoritettiin 14.3.2016, jolloin mittaus kesti 0,5 h sekä 5.4.2016 ja 31.5.2016, jolloin kummankin mittauksen kesto oli 1 h. Päiväkoti Vilttihatun pihalla mittauksia puolestaan suoritettiin 14.3.2016, jolloin mittauksen kesto oli 0,5 h sekä 29.3.2016 ja 2.6.2016, jolloin kumpikin mittaus oli kestoltaan 1 h.



KUVA 3. Keväällä 2016 suoritettujen mittausten mittauspisteet kartalla (Google maps)

6.2 Syksyllä 2016 tehdyt mittaukset

Opinnäytetyötä varten tehtiin myös itse hiukkasmittauksia Mikkelin alueella syksyn 2016 aikana. Mittarina käytettiin samaa TSI DustTrak™ DRX 8533 hiukkaspitoisuuden mittaria kuin aiemminkin suoritetuissa mittauksissa. Mittauksia tehtiin osittain samassa mittauspisteessä kuin keväällä ja osittain uudessa mittauspisteessä.

Opinnäytetyötä suunniteltaessa tarkoituksena oli suorittaa mittaukset aikaisempien mitausten tapaan myös päiväkotit Vilttihatun pihassa sekä Urpolan koulun alueella. Päiväkotit Vilttihatun ympäristöön käytiin tutustumassa mittaussuunnitelmaa tehdessä ja tässä vaiheessa todettiin, että mittaussympäristö ei eroa merkittävästi pientaloalueen ympäristöstä. Siksi päädyttiin jättämään päiväkodin alue pois mittauspisteistä, sillä siellä tehdyillä mittauksilla olisi saatu todennäköisesti hyvin samansuuntaisia tuloksia kuin pientaloalueella tehdyissä mittauksissa.

Mittaussuunnitelmaa tehdessä käytiin tutustumassa myös Urpolan kouluun ja sen ympäristöön. Samalla yritettiin selvittää opinnäytetyössä käytettävälle hiukkaspitoisuusmittarille sopivaa paikkaa koululta. Koulu sekä sen piha ovat julkisia alueita, jossa liikkuu paljon ihmisiä ja tässä tapauksessa erityisesti paljon lapsia. Mittari tulisi saada paikkaan, jossa siihen ei pääsisi ulkopuoliset henkilöt vahingossa tai ilkivaltatarkoituksella käsiksi. Lisäksi mittarin paikkaa mietittäessä tuli huomioida mittarin sähköntarve. Selvitystä tehtäessä ilmeni, että koululla ei ollut sellaista paikkaa, johon mittarin olisi saanut suojan ulkopuolisilta ihmisiltä tai siihen olisi saanut vedettyä sähköä ja joka olisi samalla ollut mitattavien hiukkasten kannalta edustavassa paikassa eli viivamaisen päästölähteen vieressä. Siksi myös Urpolan koulun ympäristö päätettiin jättää pois mittauspisteistä.

6.2.1 Gravimetrinen määrittäminen

Mittausten yhteydessä oli tarkoitus suorittaa myös hiukkasten gravimetrinen määrittäminen. Gravimetrisen määrittäminen tarkoituksena oli saada vertailukohtaa TSI DustTrak™ hiukkasmittarista saatuihin tuloksiin ja arvioida hiukkasmittausten luotettavuutta. Gravimetrinen määrittäminen suoritettiin saman mittarin avulla, jota muutenkin mittauksissa käytettiin. Mittarin sisälle laitettiin erillinen suodatin, johon hiukkaset kerättiin hiukkasmittauksen ollessa käynnissä. Suodattimet punnittiin sekä ennen hiukkaskeräystä, että sen

jälkeen. Ennen suodattimien punnitusta niitä pidettiin eksikaattorissa tasaantumassa vähintään kolme vuorokautta ennen hiukkaskeräystä ja sen jälkeen. Punnitustulokset merkittiin ylös pöytäkirjaan (liite 1). Varsinaisten hiukkasmittausten yhteydessä mittariin vaihdettiin suodatin 3–4 vuorokauden välein. Käytetyssä mittarissa ei ollut mahdollista pysäyttää käynnissä olevaa mittausjaksoa suodattimen vaihdon ajaksi, vaan mittari piti tätä varten sammuttaa ja aloittaa uusi mittausjakso suodattimen vaihdon jälkeen.

Saadut punnitustulokset eivät kuitenkaan olleet luotettavia. Punnitustulosten mukaan osassa suodattimissa niiden paino oli vähentynyt tehdyn hiukkaskeräyksen aikana eli niiden paino oli suurempi ennen hiukkaskeräystä suoritettussa punnituksessa kuin sen jälkeen suoritettussa punnituksessa. Tämän epäiltiin johtuvan siitä, että suodattimesta on saattanut irrota suodattimen vaihdon ja sen käsittelyn yhteydessä pieniä palasia ja siksi suodattimen paino on vähentynyt. Osassa suodattimissa niiden paino oli noussut hieman tehdyn hiukkaskeräyksen jälkeen, mutta painon nousu oli hyvin pientä. Suodattimien väri oli kuitenkin huomattavasti muuttunut tehdyn hiukkaskeräyksen aikana, joten oletettavasti niihin oli kertynyt hiukkasia. Koska saadut tulokset olivat niin epäluotettavia, päätettiin hiukkasten gravimetrinen määrittäminen jättää kokonaan pois opinnäytetyön tuloksista.

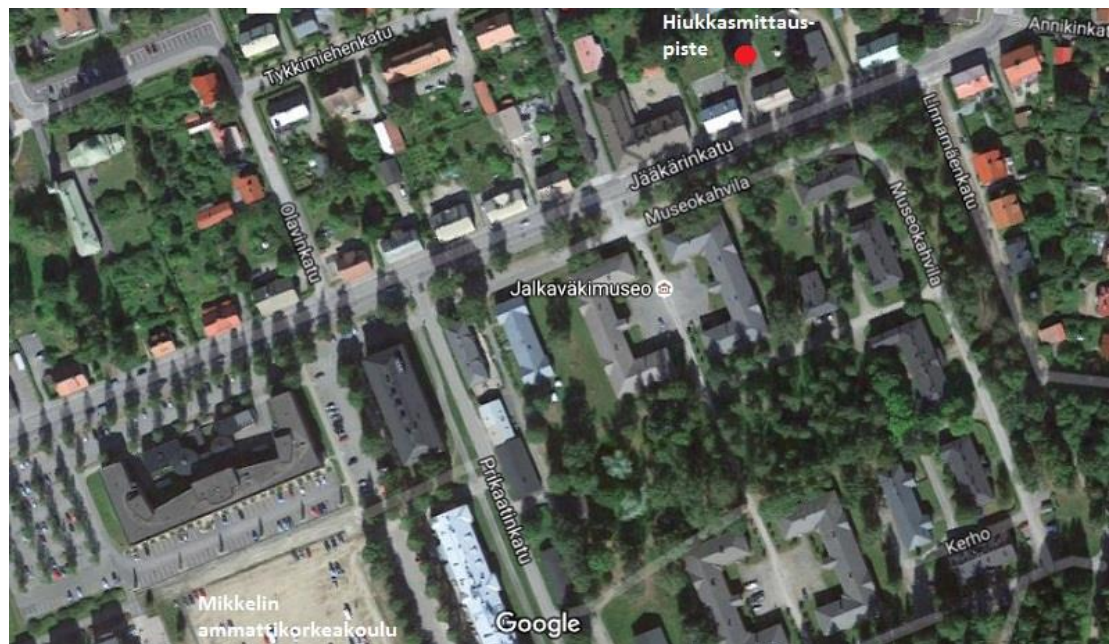
6.2.2 Pientaloalue

Samalla pientaloalueella kuin keväänkin mittauksissa eli Jääkärikadulla suoritettiin 14 vuorokauden mittaus. Mittaus tehtiin 30.9–14.10.2016. Pientaloalueella mittari sijoitettiin Jääkärikadulla sijaitsevan omakotitalon pihalla olevan autotallin katolle (kuva 4). Mittarin logging interval asetettiin 3 minuuttiin eli mittari tallensi dataa muistiinsa 3 minuutin välein. Mittari myös nollattiin 6 tunnin välein siihen asennetun auto zero -lisäosan avulla. Pientaloalueen hiukkasmittaus suoritettiin neljässä mittausjaksossa, sillä gravimetrinen määrittäminen ja siihen liittyvän suodattimen vaihdon vuoksi mittari tuli sammuttaa 3–4 vuorokauden välein hetkeksi. Mittarissa ei ollut mahdollisuutta pysäyttää käynnissä olevaa mittausjaksoa vaan suodattimen vaihdon jälkeen tuli aloittaa uusi mittausjakso. Tarkemmin mittausjaksot näkyvät liitteessä 2.



KUVA 4. TSI DustTrak™ DRX 8533 hiukkaspitoisuuden mittari pientaloalueen mittauspisteessä (Kainulainen 2016)

Omakotitalo, jonka pihassa hiukkasmittaus suoritettiin, sijaitsee aivan kadun varressa. Taloa ympäröivät toiset omakotitalot, joissa käytetään muun lämmityksen lisänä puulämmitystä sekä puilla lämmitettäviä saunoja. Pientaloalueen välittömässä läheisyydessä sijaitsevat Mikkelin ammattikorkeakoulu (Mamk) sekä toimistorakennuksia, joten alueen liikenne koostuu sekä alueen asukkaiden ajoneuvojen käytöstä, että myös koulu- ja työpaikkaliikenteestä. (Kuva 5.)



KUVA 5. Pientaloalueen hiukkasmittauspiste kartalla (Google Maps)

Mittaustulosten vertailtavuuden vuoksi mittari sijoitettiin kyseiselle pientaloalueelle, jossa oli tehty opinnäytetyössä analysoitavat aiemmatkin mittaukset. Pientaloalueen mittauksella pyrittiin saamaan selville alueen liikenteen ja alueella tapahtuvan puun pienpolton aiheuttamia hiukkasten pitoisuuksia sekä tietoa hiukkaspitoisuuksien mahdollisesta vaihtelusta esimerkiksi liikennemäärien ja sääolosuhteiden mukaan. Saatuja mittaustuloksia verrattiin kyseisenä aikana valinneisiin sääoloihin sekä liikennemääriin.

Valinneita sääolosuhteita selvitettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun sääaseman tiedoista sekä ilmatieteenlaitoksen avoimesta säädatasta. Mamkin sääasema sijaitsee keskustassa kaupungin virastotalon katolla, josta on matkaa hiukkasmittauspisteeseen noin 0,5 km. Ilmatieteenlaitoksen säähavaintoasema on Mikkelin lentoasemalla, joka on noin 3 km:n etäisyydellä hiukkasmittauspisteestä. Mamkin sääaseman ja hiukkasmittauspisteiden sääolosuhteet olivat todennäköisesti lähempänä toisiaan kuin kauempana sijaitsevan ilmatieteenlaitoksen havaintoaseman sääolosuhteet. Täten Mamkin sääaseman tiedot olivat kyseisissä mittauksissa luotettavampia ja vertailukelpoisempia. Tulosten tarkastelussa käytettiin siis ensisijaisesti Mamkin sääaseman säätietoja. Tältä sääasemalta ei kuitenkaan ollut saatavilla tietoja 3.10 klo 17.12 edeltävältä ajalta, joten pientaloalueen mittausjakson alun säätiedot otettiin ilmatieteenlaitoksen avoimesta datasta. Kaupungin keskimääräiset liikennemäärät ja muut tarkemmat tiedot liikennemääristä saatiin Mikkelin kaupungilta.

6.2.3 Mikkelin ammattikorkeakoulu

Toisena hiukkasmittauspisteenä oli Mikkelin ammattikorkeakoulun A-rakennuksen katto (kuva 6), jossa hiukkasmittaus suoritettiin 17.10–31.10.2016. Mittaus kesti yhteensä 14 vuorokautta. Tässä mittauksessa mittari tallensi dataa muistiinsa 3 minuutin välein ja mittari nollattiin 6 tunnin välein auto zero -lisäosan avulla. Mikkelin ammattikorkeakoululla suoritettu mittaus tehtiin neljässä mittausjaksossa, jotka olivat kestoltaan 3–4 vuorokautta. Tarkemmin mittausjaksot näkyvät liitteessä 2.



KUVA 6. TSI DustTrak™ DRX 8533 hiukkaspitoisuuden mittari Mikkelin ammattikorkeakoulun katon mittauspisteessä (Kainulainen 2016)

Mittari sijoitettiin Mamkin A-rakennuksen katolle, sillä toiseksi mittauspisteeksi haluttiin paikka, jossa voitaisiin mitata hiukkaspitoisuuksia pääasiassa lineaarisesta päästölähteestä eli tiestä ja sen liikenteestä. Mamkin A-rakennuksen välittömässä läheisyydessä kulkee 5-tie, jossa liikennettä kulkee paljon. Samansuuntaisesti 5-tien kanssa ja sen vieressä kulkee myös Rinnekatu. Mittari sijoitettiin A-rakennuksen katon 5-tien puoleiselle reunalle, jolloin oletettavasti suurin osa hiukkaspäästöistä oli lähtöisin 5-tien ja Rinnekadun liikenteestä. A-rakennuksen mittauspisteen läheisyydessä, 5-tien ja Rinnekadun toisella puolella sijaitsevat muun muassa Urpolan koulu, kauppoja ja liikekeskuksia. Tästä johtuen 5-tien ohitusliikenteen lisäksi alueella on paljon päivittäistä koulu-, työpaikka- ja asiointiliikennettä. (Kuva 7.)



KUVA 7. Mikkelin ammattikorkeakoulun A-rakennuksen katon hiukkasmittauspiste kartalla (Google maps)

Saatuja mittaustuloksia verrattiin kyseisenä aikana valinneisiin sääoloihin sekä liikennemääriin. Valinnea sääolosuhteita selvitettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun sääaseman tiedoista. Mamkin sääaseman etäisyys hiukkasmittauspisteestä on noin 0,9 km, joten sääaseman tietoja voitiin pitää luotettavina ja vertailukelpoisina. Kaupungin keskimääräiset liikennemäärät sekä muut tarkemmat liikennetiedot saatiin Mikkelin kaupungilta.

7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Mittauksissa saatua dataa käsiteltiin ja analysoitiin sekä DustTrak-mittarin mukana tulleen Trakpro-ohjelman, että Excel-ohjelman avulla. Sääolosuhteiden selvittämiseksi käytettyjä Mikkelin ammattikorkeakoulun sääaseman tietoja, ilmatieteenlaitoksen avointa säädataa sekä selvitettyjä liikennemäärätietoja käsiteltiin Excel-ohjelman avulla. Hiukkasten pitoisuuksia verrattiin valtioneuvoston asetuksen ilmanlaadusta (38/2011) asettamiin raja-arvoihin niiltä osin, kun raja-arvoja on määritetty (PM₁₀, PM_{2,5}) sekä WHO:n asettamiin ohjearvoihin. Hiukkasten aiheuttamia ympäristöterveysvaikutuksia arvioitiin kirjallisuudesta löytyvän tiedon avulla.

7.1 Liikenne

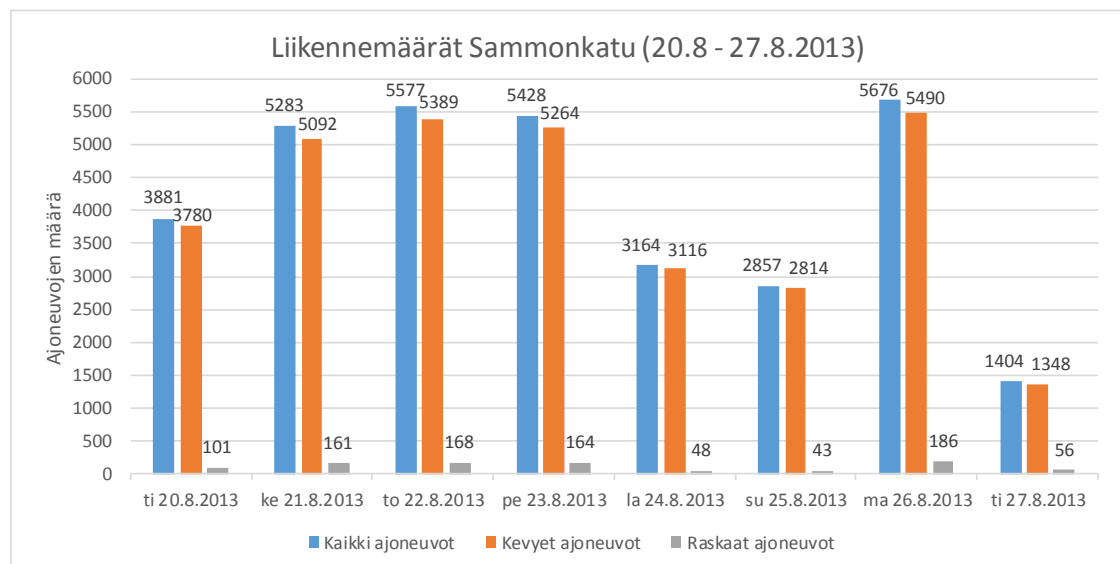
7.1.1 Pientaloalueen liikenne

Kaupungin katuverkolla Jääkärinkadun pientaloaluetta lähin liikenteen laskentapiste on ollut Sammonkadulla välillä Jääkärinkatu ja Hevosmiehenkatu (kuva 8). Tässä laskentapisteessä liikennemääriä on laskettu 20.8–27.8.2013. Liikennemäärän laskentaa ei ole suoritettu aivan pientaloalueen hiukkasmittauspisteen kohdalla eikä saman kadun varrella. Laskentapiste on kuitenkin ollut lähellä pientaloalueen hiukkasmittauspistettä. Liikennemäärien laskenta on suoritettu hieman yli kolme vuotta sitten. Voitiin siis olettaa, että pientaloalueen hiukkasmittauspisteen kohdalla liikennemäärät ovat määriltään samansuuntaisia kuin elokuussa 2013.



KUVA 8. Liikenteen laskentapiste ja pientaloalueen hiukkasmittauspiste kartalla (Google Maps)

Liikennelaskennan mittauspisteen keskimääräinen liikennemäärä oli 4800 ajoneuvoa/vrk eli alueella oli liikennettä melko paljon. Liikennelaskennan mukaiset liikennemäärät vuorokautta kohti näkyvät kuvasta 9. Tietojen perusteella alueella oli liikennettä selvästi enemmän arkipäivisin kuin viikonloppuna.



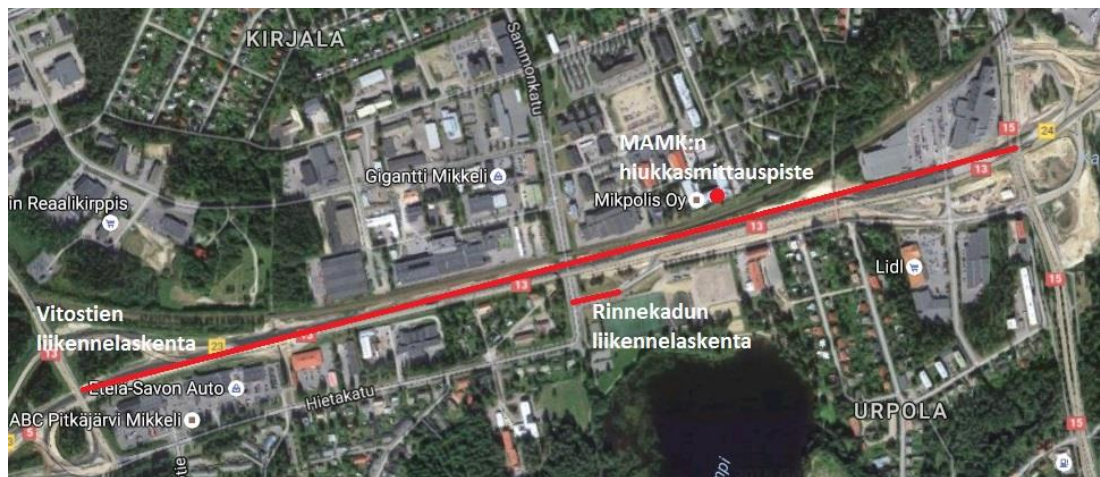
KUVA 9. Liikennelaskennan mukaiset liikennemäärät Sammonkadulla elokuussa 2013.

Liikennelaskennan tietojen mukaan eniten ajoneuvoja liikkui arkipäivisin klo 7.00–19.00, jolloin liikennemäärät olivat yli 100 ajoneuvoa/tunti. Liikennemäärät alkoivat kasvaa pääsääntöisesti klo 6.00–7.00 ja laskea klo 16.00–17.00. Vähiten liikennettä oli klo 1.00–4.00, jolloin liikennemäärät olivat alle 10 ajoneuvoa/tunti.

Viikonloppuna eniten ajoneuvoja liikkui klo 10.00–18.00, jolloin liikennemäärät olivat yli 100 ajoneuvoa/tunti. Liikennemäärät alkoivat kasvaa pääsääntöisesti klo 9.00–10.00 ja laskea klo 17.00–19.00. Liikennemäärät alkoivat lisääntyä viikonloppuisin siis myöhempään kuin arkipäivinä ja liikennemäärät olivat aamuisin huomattavasti pienemmät, joten viikonloppuisin ei ollut havaittavissa samanlaista aamuruuhka-aikaa kuin arkipäivinä. Vähiten liikennettä oli klo 1.00–4.00, jolloin liikennemäärät olivat alle 30 ajoneuvoa/tunti. Viikonloppuisin liikennemäärät olivat yöaikaan hieman korkeammat kuin arkipäivinä.

7.1.2 5-tien ja Rinnekadun liikenne

Liikenneviraston teettämästä vuosittaisesta liikennemääräkartasta selviää, että 5-tien keskimääräinen vuorokausiliikenne on vuonna 2015 ollut 14 528 ajoneuvoa/vrk. Tämä liikennemäärä on saatu Pitkäjärven ja Kaihun eritasoliittymien väliltä (kuva 10). (Liikennemääräkartat 2015.) 5-tiellä liikennettä on siis paljon.



KUVA 10. Liikenteen laskentapaikat sekä Mikkelin ammattikorkeakoulun hiukkasmittauspiste kartalla. (Google Maps)

Rinnekadulla on tehty lyhytaikaiset eli niin sanotut huipputuntilaskennat vuonna 2012. Näiden lyhytaikaisten laskentojen perusteella on arvioitu keskimääräiseksi vuorokausiliikenteeksi 7400 ajoneuvoa/vrk. Rinnekadun liikennemäärät ovat siis noin puolet 5-tien liikennemäärästä.

7.2 Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet

Tulosten tarkastelussa otettiin huomioon pienhiukkasten ja karkeampien hiukkasten pitoisuuksien suhde. Jos mittausten perusteella ultrapienien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä tai samat kuin karkeampien hiukkasten pitoisuudet, lähes kaikki ilman hiukkaset olivat pientä kokoluokkaa. Tämä johtuu siitä, että ultrapienet ja pienhiukkaset sisältyvät suuremman kokoluokan hiukkaspitoisuuksiin. Jos taas karkeampien hiukkasten pitoisuudet ilmassa olivat suuremmat kuin ultrapienien hiukkasten ja pienhiukkasten, ilmassa oli enemmän karkeampia hiukkasia suhteessa pienhiukkasiin. Mitä isompi ero esimerkiksi ultrapienien hiukkasten pitoisuuden ja kokonaispölyn pitoisuuden välillä oli, sitä isompi osa hiukkasista oli suurempaa kokoluokkaa.

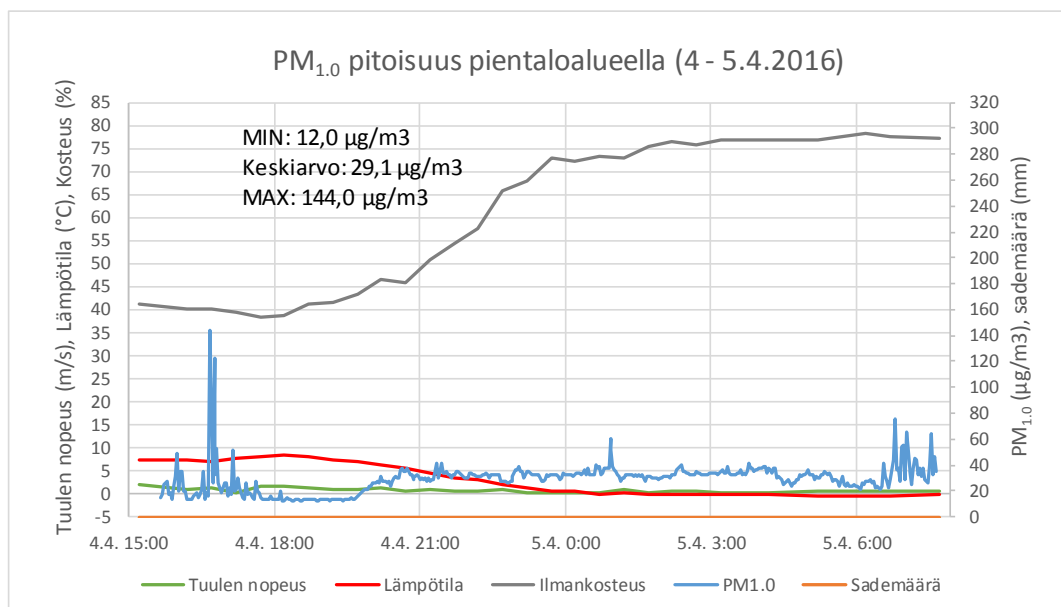
Tulosten analysoinnin yhteyteen liitettiin kaaviokuvia hiukkaspitoisuuksista ja sääolosuhteista. Koska kaaviokuvia oli hyvin runsaasti, tekstiin on liitetty vain osa kaavioista. Mittauspisteistä, joissa ultrapienien hiukkasten ja karkeiden hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan, tekstiin on liitetty vain $PM_{1,0}$ -hiukkasista kaaviokuva, sillä muiden kokoluokkien hiukkasten kaaviokuvat ovat lähes samanlaiset. Puolestaan mittauspisteistä, joissa ultrapienien hiukkasten ja karkeiden hiukkasten pitoisuuksissa oli eroja, tekstiin on liitetty kaaviokuvat sekä $PM_{1,0}$ - että PM_{15} -hiukkasista. $PM_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuudet olivat pienimmät ja PM_{15} -hiukkasten pitoisuudet suurimmat, joten kuvista näkyy näiden väliset erot. Muiden kokoluokkien hiukkasten pitoisuuskäyrät asettuvat näiden käyrien välille. Eri mittauspisteiden kaikki kaaviokuvat löytyvät opinäytetyön lopusta työn liitteistä 3–14.

7.2.1 Pientaloalueella keväällä 2016 tehdyt mittaukset

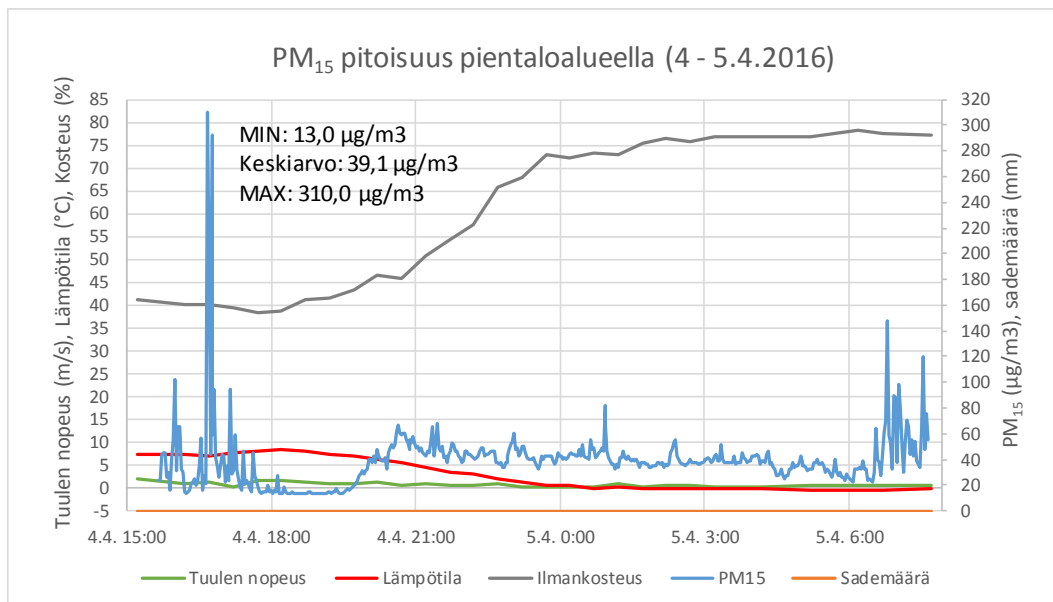
Mittauksessa, joka suoritettiin 4.4.2016 klo 15:39–5.4.2016 klo 7.39, oli jonkin verran eroja erikokoisten hiukkasten ($PM_{1,0}$, $PM_{2,5}$, PM_4 , PM_{10} , PM_{15}) pitoisuuksissa. Erikoisten hiukkasten minimipitoisuudet olivat saman suuruisia pitoisuuksien vaihdella

12,0–13,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Keskiarvopitoisuuksissa oli sen sijaan suurempia eroja, sillä pitoisuudet vaihtelivat 29,1–39,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikkein suurimmat erot olivat erikokoisten hiukkasten maksimipitoisuuksissa, jotka vaihtelivat 144,0–310,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienimmät keskiarvo- ja maksimipitoisuudet olivat $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasilla, kun taas suurimmat pitoisuudet olivat PM_{15} -hiukkasilla.

Pientaloalueen huhtikuisen mittauksen $\text{PM}_{1,0}$ - ja PM_{15} -hiukkasten pitoisuudet sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet näkyvät kuvista 11–12. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet olivat kokonaisuudessaan korkeat eli 29,1–39,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, joka on tyypillistä tähän vuodenaikaan nähden. Pitoisuudet nousivat ajoittain myös keskiarvoa huomattavasti korkeammiksi. Korkeimmat hiukkaspitoisuudet kaikkien kokoluokkien hiukkasissa mitattiin 4.4 iltapäivällä klo 16.39, jolloin pitoisuudet olivat 144–310 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja toiseksi korkeimmat pitoisuudet mitattiin 5.4 aamulla klo 6.47 pitoisuuksien ollessa 75–148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Suurin hyppäys edellisen kokoluokan hiukkaspitoisuuksiin verrattuna tapahtui PM_4 - ja PM_{10} -hiukkasten välillä. Pienhiukkasten lisäksi ilmassa oli siis paljon myös karkeampia, isompia hiukkasia. Nämä isommat hiukkaset olivat todennäköisesti peräisin alueen liikenteen nostattamasta katupölystä, jota on kevätaikaan paljon ilmassa, erityisesti teiden ollessa kuivia.



KUVA 11. $\text{PM}_{1,0}$ -pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet pientaloalueella 4–5.4.2016



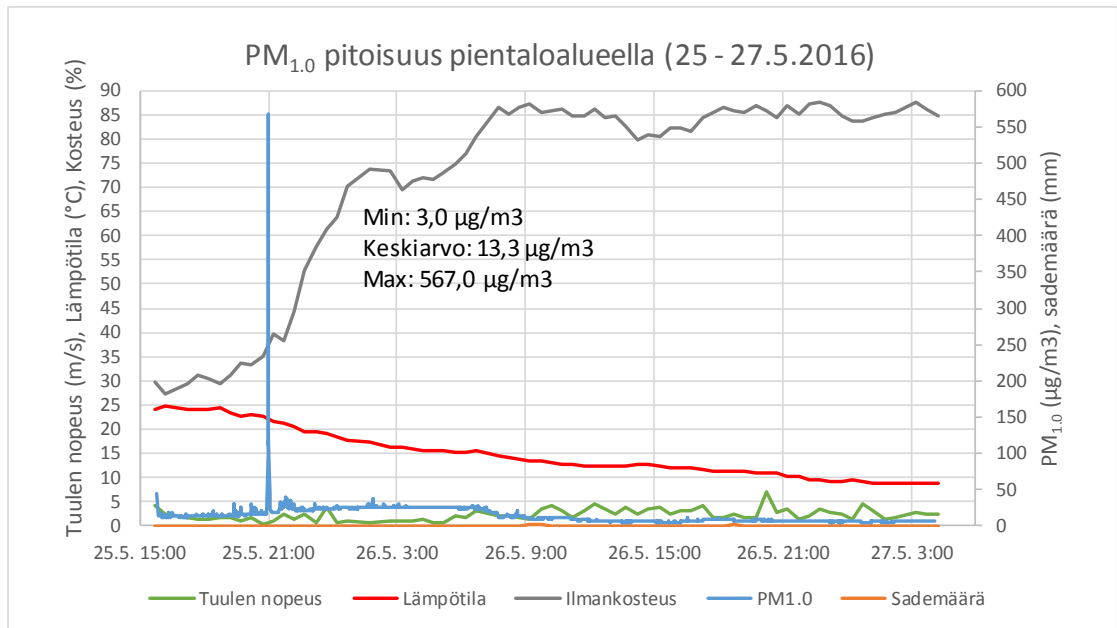
KUVA 12. PM₁₅-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet pientaloalueella 4–5.4.2016

Mittausjakson aikana ei satanut vettä, joten se ei vaikuttanut hiukkasten pitoisuuksiin ilmassa. Kaikkien kokoluokkien hiukkasten pitoisuudet olivat kohonneita mittausvuorokauden iltapäivän ja alkuillan ajan eli 4.4.2016 noin klo 15.45–18.00 välisenä aikana. Tämän ajateltiin johtuvan iltapäivän paluuliikenteestä. Tuulen nopeus oli reilusti alle 5 m/s, joten tuuli puhalsi heikosti. Tämän takia myös ilman hiukkaset sekoittuivat ja laimentuivat heikosti ja niiden pitoisuudet pysyivät korkeampina. Noin klo 18.00-19.30 hiukkasten pitoisuudet olivat alimmillaan, sillä myös päästölähteitä, erityisesti liikennettä ja puun pienpoltoa, oli tällöin todennäköisesti vähemmän.

Ilta-aikana klo 20.00 jälkeen hiukkasten pitoisuudet lähtivät taas kasvamaan, minkä arveltiin johtuvan tulisijojen käytöstä. Hiukkasten pitoisuus ilmassa lähti kasvuun suurin piirtein samoihin aikoihin, kun ilman lämpötila lähti laskemaan. Ilta ja yö olivat vielä sen verran kylmiä, että niihin saatettiin varautua lämmittämällä taloja puunpolton avulla. Lämpötilan laskiessa ja tuulen nopeuden pysyessä heikkona yön aikana syntyi mahdollisesti myös inversiotilanne. Tämän takia hiukkaspitoisuudet pysyivät hieman korkeampina koko yön ajan. Hiukkaspitoisuudet lähtivät taas kohoamaan entisestään aamulla noin klo 6.30 jälkeen, jolloin myös liikennemäärät yleensä alkavat kasvaa aamuruuhkan myötä. Yöllä kehittynyt inversio vaikutti mahdollisesti vielä aamulla ja pitoisuudet kohosivat mittausjakson toiseksi korkeimpiin arvoihin tästä johtuen.

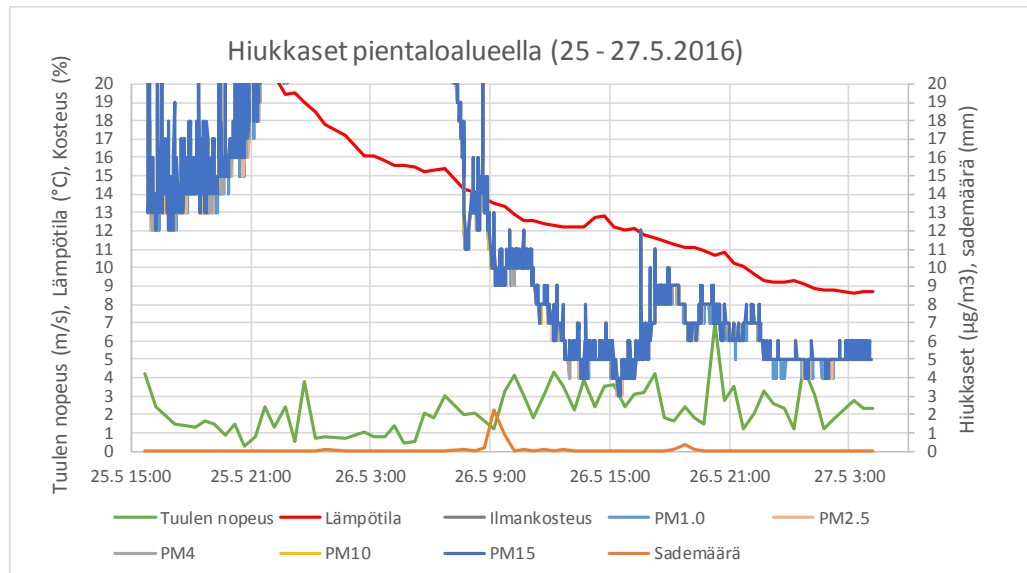
25.5.2016 klo 15:48–27.5.2016 klo 4.07 suoritetussa mittauksessa kaikkien kokoluokkien hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan ja niissä oli vain pieniä eroja keskenään. Erikokoisten hiukkasten minimipitoisuus oli kaikissa kokoluokissa $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet vaihtelivat $13,3\text{--}14,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja korkeimmat pitoisuudet olivat $567,0\text{--}575,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koska PM_{15} - ja $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan, lähes kaikki ilmassa olleet hiukkaset kuuluivat ultrapieniin hiukkasiin, joita syntyy pääasiassa puun pienpolton ja polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena. Toukokuun lopulla kadut olivat todennäköisesti jo suurimmaksi osaksi puhdistettuja eikä katupöly ja sen karkeammat hiukkaset näkyneet mittauksissa enää niin vahvasti kuin huhtikuussa tehdyissä mittauksissa. Katujen puhdistaminen pölystä on saattanut vaikuttaa suurelta osilta myös siihen, että toukokuun mittauksissa hiukkasten keskiarvopitoisuudet olivat huomattavasti matalammat verrattuna huhtikuun hiukkaspitoisuuksiin.

Pientaloalueen toukokuisen mittauksen $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet näkyvät kuvasta 13. Erikokoisten hiukkasten pitoisuudet ilmassa olivat kokonaisuudessaan kohtalaisia, sillä keskiarvopitoisuudet vaihtelivat $13,3\text{--}14,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimmat hiukkaspitoisuudet mitattiin kaikkien kokoluokkien hiukkasissa 25.5.2016 illalla klo 20.58, jolloin pitoisuudet olivat $567,0\text{--}575,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli todella korkeat. Pitoisuudet olivat huomattavasti kohonneena alle 5 minuutin ajan pitoisuuksien ollessa $101\text{--}575 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mittausjaksolla pitoisuudet pysyivät muuten melko tasaisena pitoisuuksien ollessa korkeintaan $45\text{--}98 \mu\text{g}/\text{m}^3$. PM_{15} -hiukkasten toiseksi korkein mitattu pitoisuus $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oli jonkun verran korkeampi verrattuna muiden kokoluokkien toiseksi korkeimpiin pitoisuuksiin, jotka olivat $45\text{--}61 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



KUVA 13. PM_{1.0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet pientaloalueella 25 – 27.5.2016

Kuvalla 14 pyrittiin saamaan mittausjakson sääolosuhteet, erityisesti vesisateen määrä, paremmin esille pienentämällä hiukkaspitoisuuksien ja sääolosuhteiden arvojen mitta-kaavaa kaaviossa. Hiukkasten mittaus aloitettiin keskiviikkona iltapäivällä hieman ennen klo 16.00, jolloin oletettavasti liikennettä oli alueella jonkin verran. Runsaammasta liikenteestä johtuen myös hiukkaspitoisuudet ilmassa olivat pääasiassa 10–20 µg/m³ eli kohtalaisia. Iltapäivän ja illan ajan tuuli puhalsi heikosti ja ilmankosteus oli alhainen, joten myös hiukkaspitoisuudet pysyivät melko tasaisina pientä vaihtelua lukuun ottamatta.



KUVA 14. Kaikki hiukkaset ja mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet tarkemmin pientaloalueella 25 – 27.5.2016

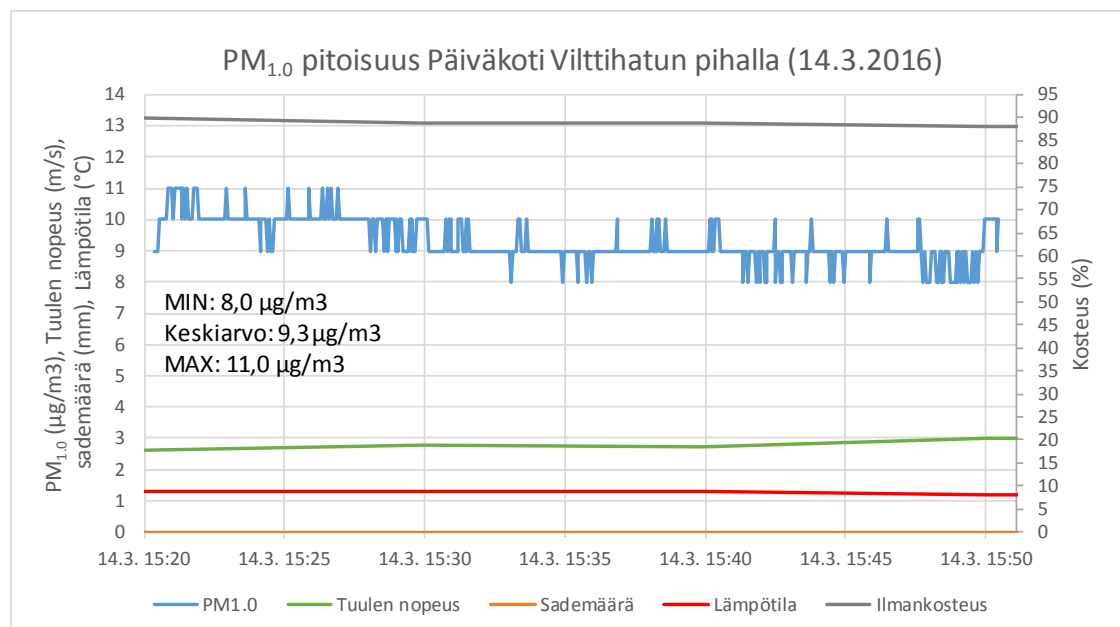
Mittausjakson suurin ja ainoa muista hiukkaspitoisuuksista huomattavasti poikkeava pitoisuuspiikki mitattiin keskiviikkoiltana 25.5.2016 noin klo 21.00, jolloin pitoisuudet nousivat kaikkien kokoluokkien hiukkasissa todella korkeaksi. Hiukkaspitoisuudet pysyivät huomattavasti kohonneina noin viiden minuutin ajan, jonka jälkeen pitoisuudet lähtivät laskemaan. Koska kaikkien kokoluokkien hiukkaspitoisuudet olivat koholla, hiukkaset olivat pääasiassa pienhiukkasia. Hiukkaspitoisuuksien nousun syyksi arvioitiin alueella tapahtunut puun pienpoltto. Liikennettä ei pidetty todennäköisenä hiukkaspitoisuuksien kasvattajana, sillä kyseessä oli ilta-aika ja hiukkaspitoisuuksien nousu oli voimakas ja lyhytaikainen. Lyhytaikaisen hiukkaspitoisuuksien nousun on mahdollistanut heikko tuulen nopeus sekä sateettomuus. Ilmankosteus oli noin 35 %.

Yön ajan tuulen nopeudet vaihtelivat 0–4 m/s välillä. Heikosta tuulesta ja sateettomuudesta johtuen hiukkaspitoisuudet pysyivät kohtalaisina koko yön ajan hiukkaspitoisuuksien ollessa pääasiassa 20–30 µg/m³ välillä. Torstaiaamuna 26.5.2016 noin klo 7.40 alkoi sataa vettä. Sade loppui noin klo 13 aikaan. Sateen alettua myös ilman hiukkaspitoisuudet lähtivät laskemaan. Sateen ja hieman koventuneen tuulen vaikutuksesta hiukkaspitoisuudet pysyivät melko matalina aamupäivän ja päivän ajan. Iltapäivän ja alkuihlän aikana hiukkaspitoisuudet lähtivät taas hieman kasvamaan todennäköisesti lisää-

tyneen liikenteen vaikutuksesta. Noin klo 18.00 uudelleen alkaneen sateen ja koventuneen tuulen takia hiukkaspitoisuudet kuitenkin laskivat uudestaan niiden ollessa loppuillaan ja yön ajan 4–8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

7.2.2 Päiväkoti Vilttihatun pihalla keväällä 2016 tehdyt mittaukset

Mittauksessa, joka suoritettiin 14.3.2016 klo 15.20 – 15.50, erikokoisten hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Kaikkien kokoluokan hiukkasten minimipitoisuus oli 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet vaihtelivat 9,3–9,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja hiukkasten maksimipitoisuudet vaihtelivat 11–12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Päiväkoti Vilttihatun läheisyydessä tehdyn maaliskuisen mittauksen $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet näkyvät kuvasta 15.

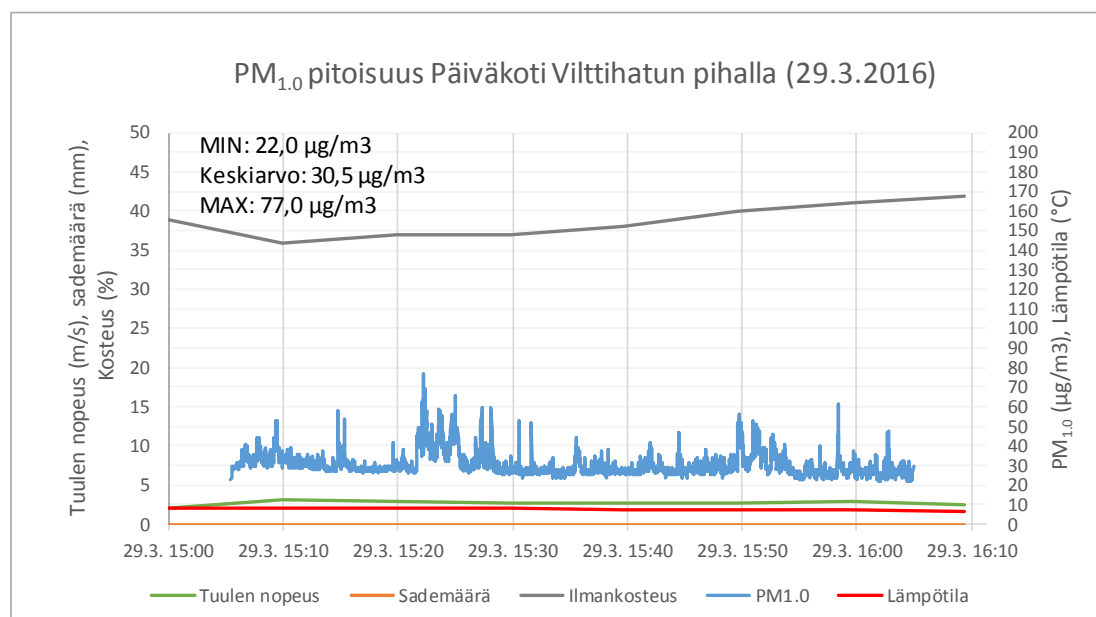


KUVA 15. $\text{PM}_{1,0}$ -pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Päiväkoti Vilttihatun pihalla 14.3.2016.

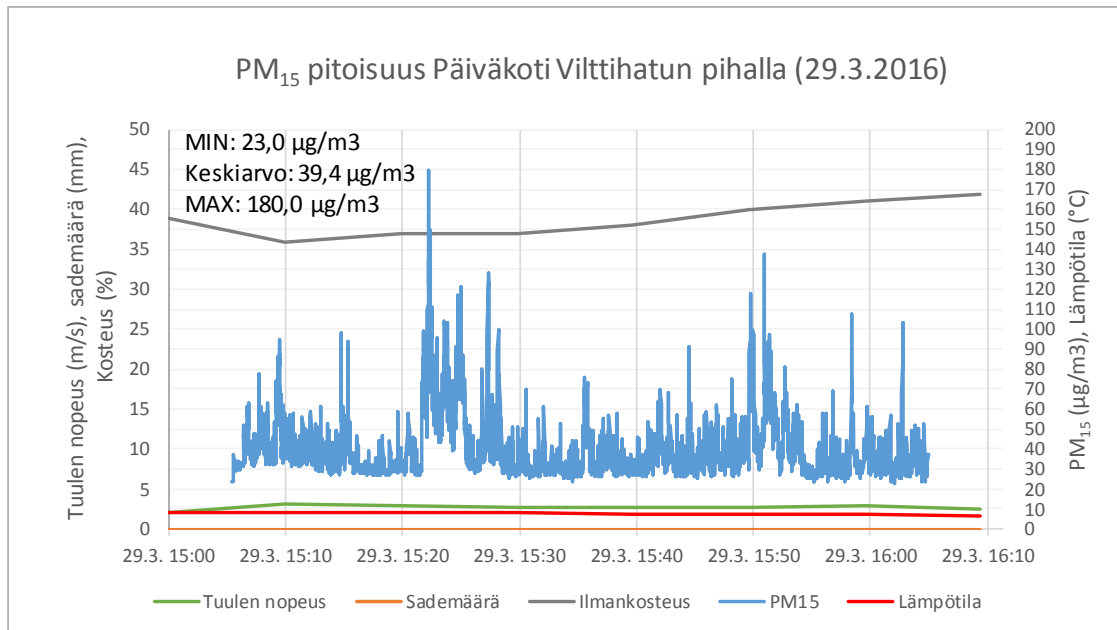
Tehty mittaus oli hyvin lyhykestoinen ja sen aikana sekä hiukkaspitoisuudet että sääolosuhteet pysyivät tasaisena. Kokonaisuudessa hiukkasten pitoisuus ilmassa oli melko vähäistä eikä pitoisuuksissa ilmennyt suurempia nousuja tai laskuja. Koska kaikkien kokoluokkien hiukkasten pitoisuudet olivat lähes samat, hyvin suuri osa ilman hiukasta oli ultrapieniä hiukkasia, jotka olivat peräisin todennäköisesti alueen liikenteestä

ja polttoaineen pakokaasupäästöistä. Tästä mittauksesta ei ollut vielä havaittavissa katupölyn vaikutusta alueen ilman hiukkaspitoisuuksiin. Mittausjakson aikana ei satanut vettä. Mittauksen aikana lämpötila oli hieman päälle 1 °C ja tuulennopeus hyvin heikkoa sen ollessa noin 3 m/s koko mittauksen ajan. Ilmankosteus oli korkea sen ollessa noin 90 %.

Mittauksessa, joka suoritettiin 29.3.2016 klo 15.05–16.05, erikokoisten hiukkasten pitoisuuksissa oli jonkin verran eroavaisuuksia. Kaikkien kokoluokan hiukkasten minimipitoisuudet vaihtelivat 22–23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet olivat 30,5–39,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Maaliskuun lopulla hiukkaspitoisuudet olivat siis korkeat. Ne olivat huomattavasti korkeammat verrattuna maaliskuun puolessa välissä tehtyyn mittaukseen verrattuna, vaikka vuorokauden aikakin oli lähes sama. Hiukkasten maksimipitoisuudet vaihtelivat 77–180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Matalimmat keskiarvo- ja maksimipitoisuudet olivat $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasilla ja korkeimmat pitoisuudet PM_{15} -hiukkasilla. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmassa oli pienhiukkasten lisäksi paljon myös karkeampia hiukkasia, erityisesti PM_{10} - ja PM_{15} -hiukkasia. Tämä on hyvin tyypillistä vuodenaikaan nähden ja tästä voitiin päätellä, että suuri osa ilmassa olevista hiukkasista oli peräisin liikenteen nostattamasta katupölystä. Päiväkoti Vilttihatun läheisyydessä tehdyn maaliskuisen mittauksen $\text{PM}_{1,0}$ - ja PM_{15} -hiukkasten pitoisuudet sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet näkyvät kuvista 16–17.



KUVA 16. $\text{PM}_{1,0}$ -pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Päiväkoti Vilttihatun pihalla 29.3.2016.



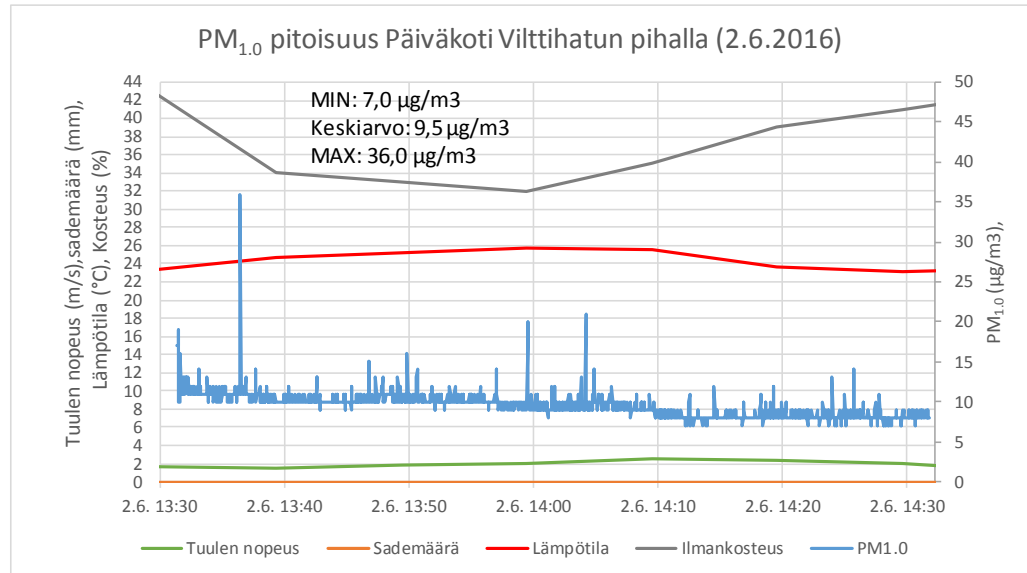
KUVA 17. PM₁₅-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Päiväkoti Vilttihatun pihalla 29.3.2016.

Tehty mittaus oli lyhykestoinen ja sen aikana sääolosuhteet pysyivät hyvin tasaisena. Mittauksen aikana ei satanut vettä, joten se ei vaikuttanut hiukkasten pitoisuuteen ilmassa. Mittauksen aikana lämpötila oli 7–8 °C. Tuuli oli heikkoa (noin 3 m/s) koko mittauksen ajan, joten se ei merkittävästi vaikuttanut hiukkasten pitoisuuteen. Ilmankosteus oli matala sen ollessa noin 35–40 %.

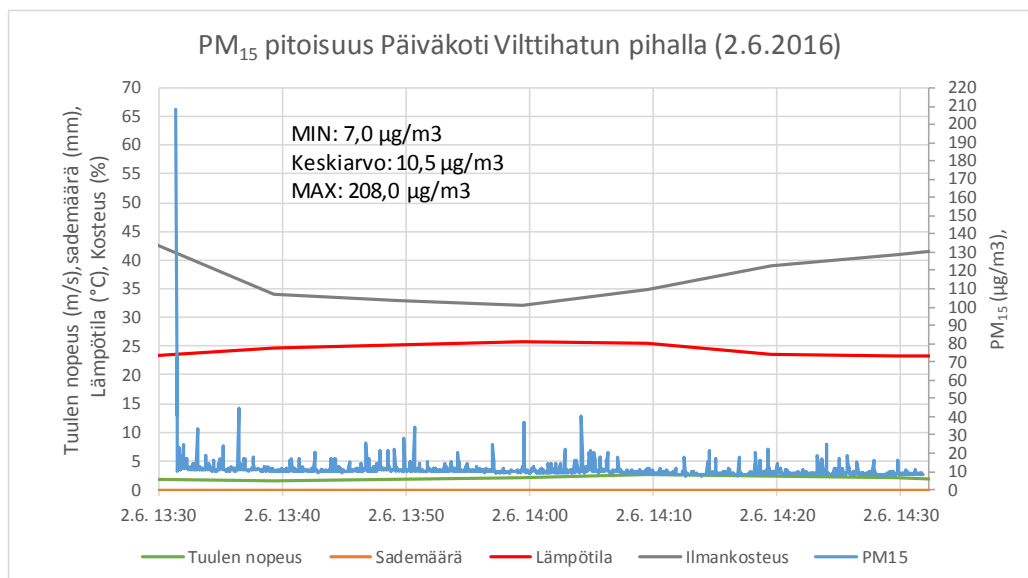
Mittauksessa, joka tehtiin 2.6.2016 klo 13.32–14.32, erikokoisten hiukkasten pitoisuuksissa oli jonkin verran eroavaisuuksia. Kaikkien kokoluokan hiukkasten minimipitoisuus oli 7 µg/m³ ja keskiarvopitoisuudetkin olivat lähellä toisiaan niiden ollessa 9,5–10,5 µg/m³. Keskiarvopitoisuudet olivat siis huomattavasti pienemmät verrattuna maaliskuun lopussa tehtyihin mittauksiin, mikä on tyypillistä mittausajankohtaan nähden. Tällöin suurin osa kevään katupölystä on jo puhdistettu pois eivätkä hiukkaspitoisuudet nouse niin korkeiksi kuin pahimpaan katupölyaikaan.

Hiukkasten maksimipitoisuudet erosivat erikokoisilla hiukkasilla huomattavasti toisistaan niiden ollessa 36–208 µg/m³. Erityisesti PM₁₅-hiukkasten maksimipitoisuudet erosivat huomattavasti muun kokoluokan hiukkasista. PM₁₅-hiukkasten pitoisuudet olivat myös muissa korkeammissa pitoisuuspiikeissä jonkin verran korkeammat verrattuna

muiden kokoluokkien hiukkasiin. Pitoisuuksien noustessa hiukkaset olivat pääsääntöisesti suurikokoisia hiukkasia, jotka todennäköisesti olivat peräisin liikenteen kadun pinnasta nostattamasta pölystä. Päiväkoti Vilttihatun läheisyydessä tehdyn kesäkuisen mittauksen PM_{1,0}- ja PM₁₅-hiukkasten pitoisuudet sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet on esitetty kuvissa 18–19.



KUVA 18. PM_{1,0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Päiväkoti Vilttihatun pihalla 2.6.2016

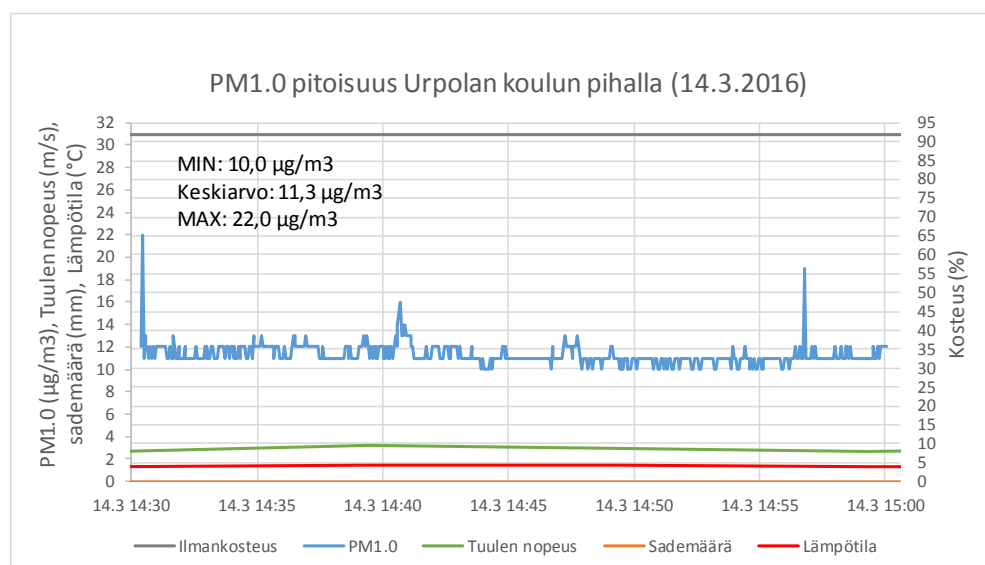


KUVA 19. PM₁₅-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Päiväkoti Vilttihatun pihalla 2.6.2016

Mittauksen lyhytkestoisuuden vuoksi mittausjakson sääolosuhteissa ei kerennyt tapahtua suuria muutoksia vaan ne pysyivät mittauksen ajan tasaisina. Mittausjakson aikana ei satanut vettä, joten se ei vaikuttanut hiukkasten pitoisuuteen. Lämpötila pysyi noin 23–25 °C:n välillä. Tuuli oli heikkoa sen nopeuden ollessa noin 1,5–2,5 m/s koko mittauksen ajan, joten myös sen vaikutus hiukkasten pitoisuuteen oli vähäistä. Ilmankosteus oli matala sen ollessa noin 30–45 %.

7.2.3 Urpolan koululla keväällä 2016 tehdyt mittaukset

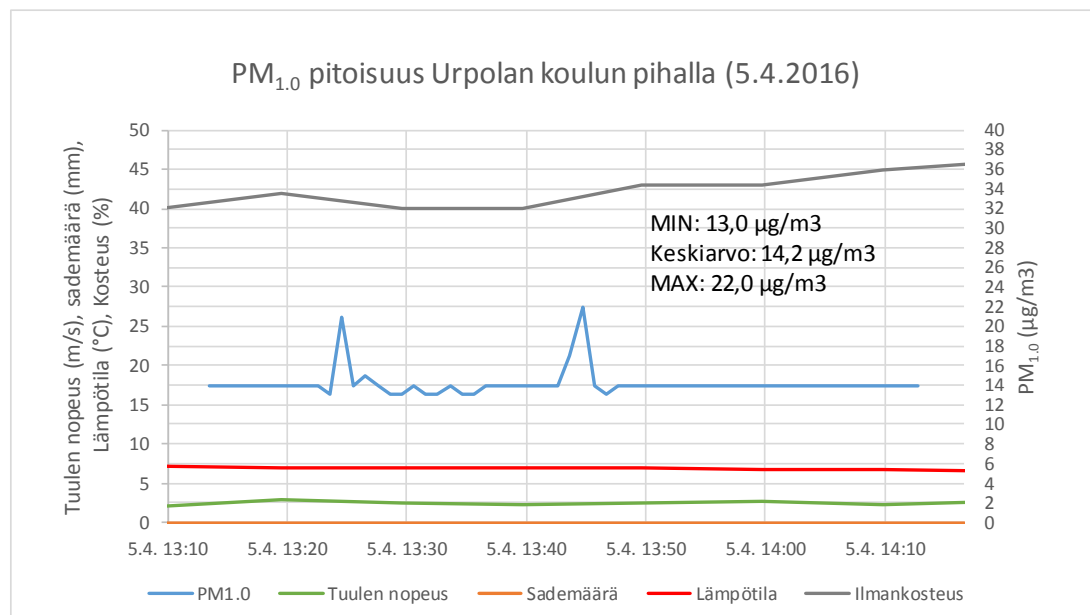
Mittauksessa, joka tehtiin 14.3.2016 klo 14.30–15.00, erikokoisten hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin samansuuntaisia ja niissä oli vain pieniä eroja keskenään. Kaikkien kokoluokan hiukkasten matalin mitattu pitoisuus oli 10 µg/m³. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet vaihtelivat 11,3–11,6 µg/m³ ja hiukkasten maksimipitoisuudet vaihtelivat 22–29 µg/m³. Eri kokoluokan hiukkasten pitoisuuksien ollessa lähellä toisiaan, suurin osa ilman hiukkasista oli ultrapieniä hiukkasia, jotka todennäköisesti ovat peräisin alueen liikenteestä. Ainoastaan PM₁₅-hiukkasten korkeimmat pitoisuushuiput olivat hieman korkeammat verrattuna muiden kokoluokkien hiukkasiin. Hiukkasten pitoisuus ilmassa oli myös kokonaisuudessaan melko pieni, joten tällöin ei ilmassa vielä näkynyt juurikaan katupölyn ja sen karkeampien hiukkasten vaikutus. Urpolan koululla tehdyn maaliskuisen mittauksen PM_{1.0}-hiukkasten pitoisuudet sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet näkyvät kuvasta 20.



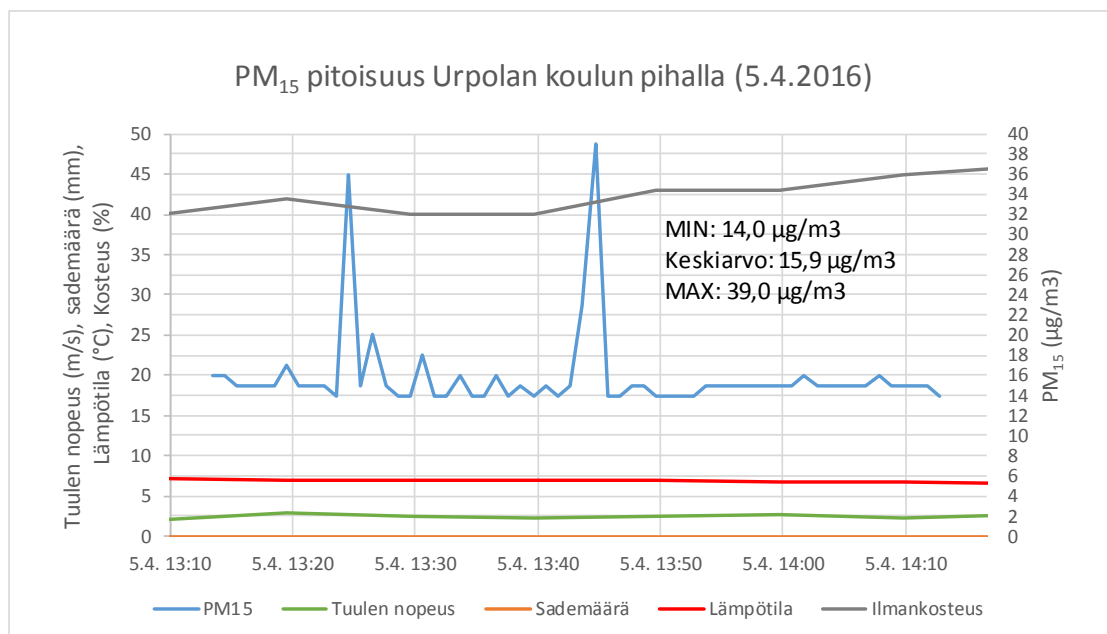
KUVA 20. PM_{1.0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Urpolan koululla 14.3.2016.

Mittausjakso oli hyvin lyhyt eikä sääolosuhteissa kerennyt tällä aikavälillä tapahtumaan juurikaan muutoksia. Ilmankosteus oli korkea sen ollessa 92 %. Mittauksen aikana ei satanut. Lämpötila oli 1,5 °C ja tuuli melko heikkoa sen nopeuden ollessa noin 3 m/s. Sääolosuhteissa ei siis ollut tekijöitä, jotka olisivat merkittävästi vaikuttaneet hiukkaspitoisuuksiin tai niiden vaihteluun.

5.4.2016 klo 13.14–14.13 suoritettussa mittauksessa erikokoisten hiukkasten pitoisuuksissa oli jonkin verran eroja keskenään. Kaikkien kokoluokan hiukkasten minimipitoisuus vaihteli 13–14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten pitoisuus ilmassa oli kohtalainen keskiarvopitoisuuksien vaihdellessa 14,2–15,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuodenaikaan nähden hiukkasten pitoisuudet olivat melko matalia, sillä Urpolan koulun vieressä kulkee sekä Rinnekatu että 5-tie ja niistä liikenteen nostattaman katupölyn voisi olettaa nostavan hiukkaspitoisuuksia. Suhteellisen matalat hiukkaspitoisuudet voivat johtua siitä, että katuja oli osittain jo puhdistettu ennen kuin mittaus tehtiin. Hiukkasten maksimipitoisuudet vaihtelivat 22–39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Matalimmat keskiarvo- ja maksimipitoisuudet olivat $\text{PM}_{1.0}$ -hiukkasilla ja korkeimmat pitoisuudet PM_{15} -hiukkasilla. Tämän perusteella ilmassa oli pienhiukkasten lisäksi myös jonkin verran karkeampia hiukkasia, erityisesti PM_{10} - ja PM_{15} -hiukkasia. Urpolan koululla tehdyn huhtikuisen mittauksen $\text{PM}_{1.0}$ - ja PM_{15} -hiukkasten pitoisuudet sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet on esitetty kuvissa 21–22.



KUVA 21. $\text{PM}_{1.0}$ -pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Urpolan koululla 5.4.2016



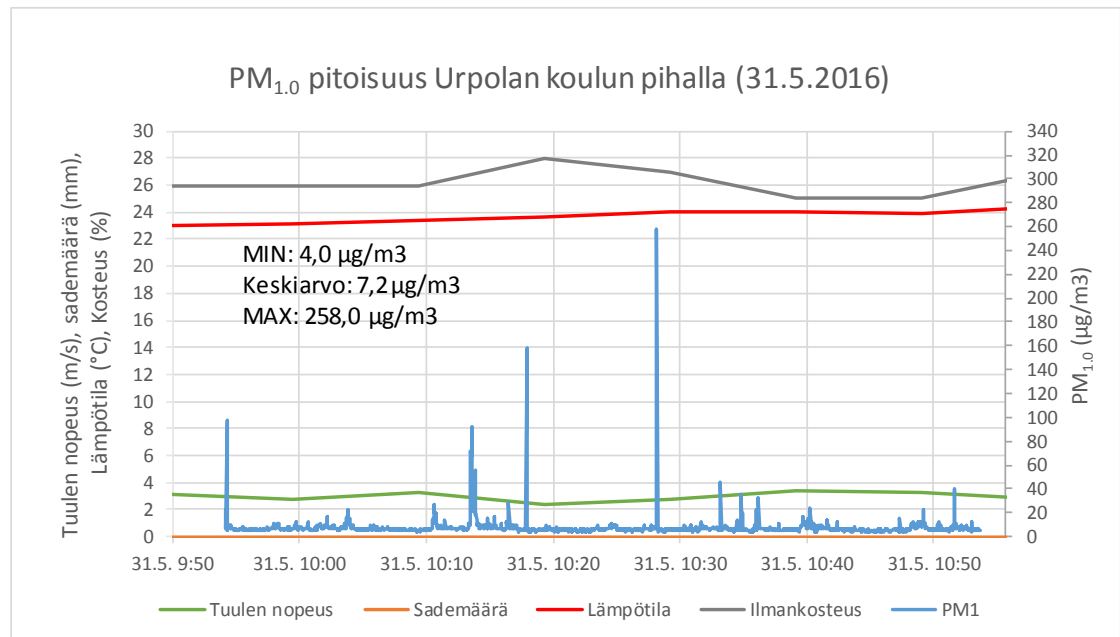
KUVA 22. PM₁₅-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Urpolan koululla 5.4.2016

Koko mittausjakson ajan sääolosuhteet pysyivät melko tasaisina. Ilmankosteus vaihteli noin 40–45 %:n välillä. Mittauksen aikana ei satanut. Lämpötila oli koko mittauksen ajan noin 7 °C. Tuuli oli heikkoa sen nopeuden ollessa 2–3 m/s. Sääolosuhteet eivät siis merkittävästi vaikuttaneet hiukkaspitoisuuksiin tai niiden vaihteluun.

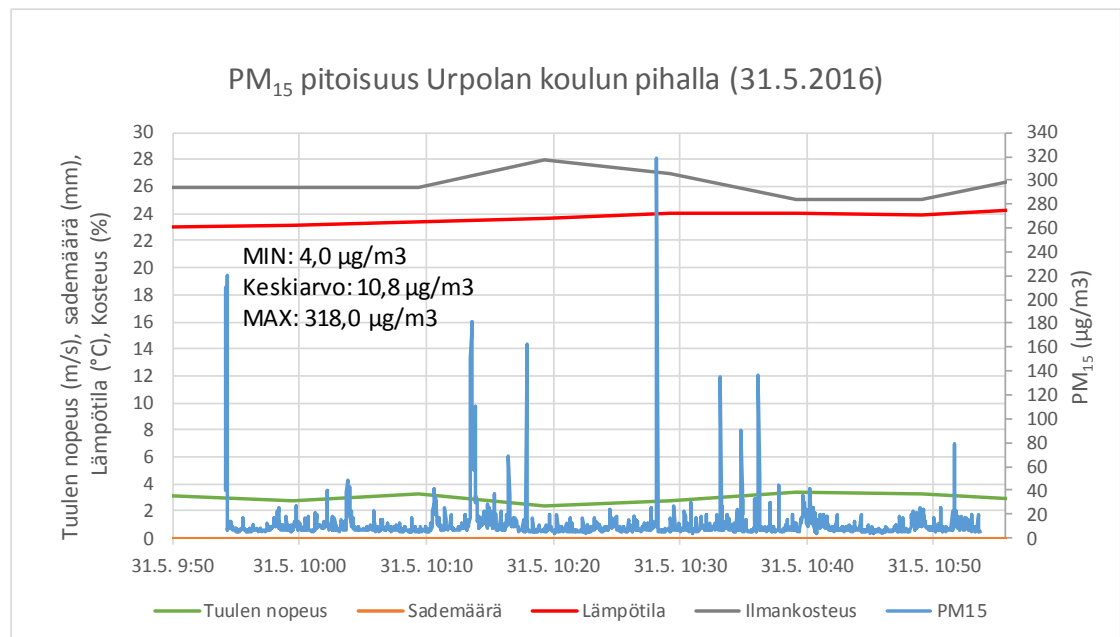
Mittauksessa, joka suoritettiin 31.5.2016 klo 9.54–10.54, erikokoisten hiukkasten pitoisuuksissa oli jonkin verran eroja keskenään. Kaikkien kokoluokkien hiukkasten matalin mitattu pitoisuus oli 4 µg/m³. Hiukkasten pitoisuus ilmassa oli kaikkiaan melko vähäistä hiukkasten keskiarvopitoisuuksien vaihdella 7,2–10,8 µg/m³. Hiukkaspitoisuudet olivat keskimäärin pienempiä kuin huhtikuussa tehdyissä mittauksissa. Tämän ajateltiin johtuvan siitä, että suurin osa kevään katupölystä oli keretty jo puhdistaa kaduilta.

Hiukkasten maksimipitoisuudet vaihtelivat 258–318 µg/m³. Hiukkaspitoisuudet nousivat siis ajoittain todella korkeiksi. Hetkittäin kohonneet hiukkaspitoisuudet voivat selittyä aamupäivällä Urpolan koululle ja Mikkelin ammattikorkeakoululle suuntautuvasta vilkkaasta liikenteestä. Matalimmat keskiarvo- ja maksimipitoisuudet olivat PM_{1,0}-hiukkasilla ja korkeimmat pitoisuudet PM₁₅-hiukkasilla, joten ilmassa oli pienhiukkas-

ten lisäksi myös jonkin verran karkeampia hiukkasia, erityisesti PM₁₅-hiukkasia. Urpolan koululla tehdyn toukokuisen mittauksen PM_{1.0}- ja PM₁₅-hiukkasten pitoisuudet sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet on esitetty kuvissa 23–24.



KUVA 23. PM_{1.0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Urpolan koululla 31.5.2016



KUVA 24. PM₁₅-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet Urpolan koululla 31.5.2016

Sääolosuhteissa ei mittausjakson aikana kerennyt tapahtumaan suuria muutoksia. Tuulenopeus vaihteli 2–3,5 m/s. Liikennemäärien lisäksi heikko tuuli saattoi vaikuttaa siihen, että hiukkaspitoisuudet ilmassa nousivat ajoittain todella korkeiksi. Mittauksen aikana ei satanut, joten se ei vaikuttanut hiukkasten pitoisuuksiin ilmassa. Lämpötila vaihteli mittauksen aikana noin 23–24 °C. Ilmankosteus oli alhainen sen ollessa koko mittausjakson ajan alle 30 %.

7.2.4 Pientaloalueella syksyllä 2016 tehdyt mittaukset

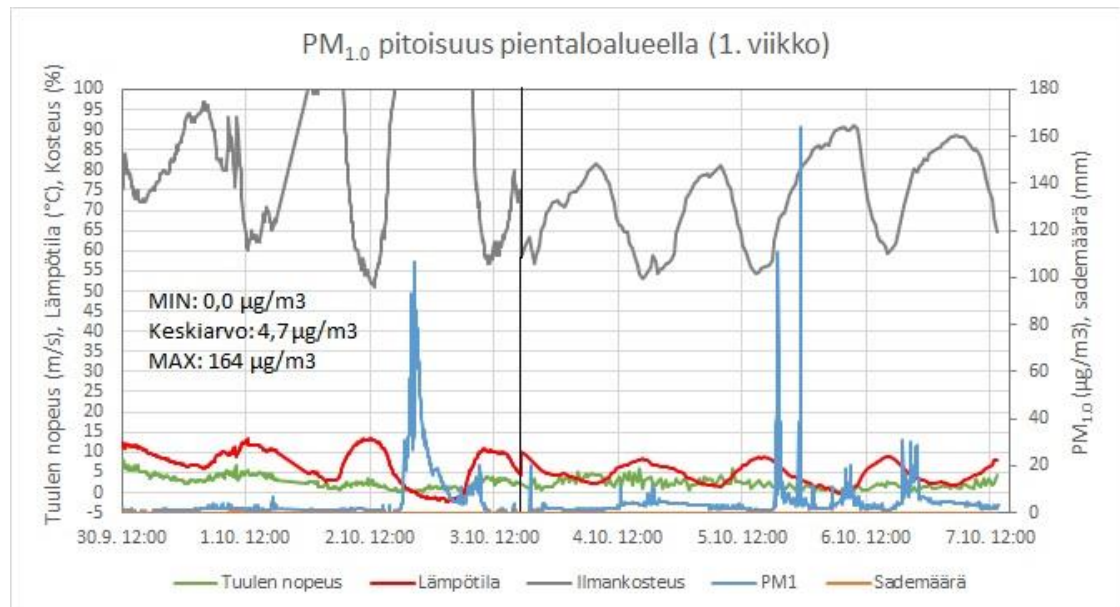
Pientaloalueen syksyn mittaus suoritettiin 30.9.2016 klo 12.01–14.10.2016 klo 13.40. Tulosten tarkastelun helpottamiseksi mittausjakso jaettiin kahteen viikon kestävään jaksoon eli 30.9.2016 klo 12.01–7.10.2016 klo 13.34 (1. viikko) ja 7.10.2016 klo 13.37–14.10.2016 klo 13.40 (2.viikko). Sekä ensimmäisellä että toisella viikolla kaikkien kokoluokkien hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan ja niissä esiintyneet keskinäiset erot olivat pieniä.

Ensimmäisellä viikolla kaikkien kokoluokkien hiukkasten minimipitoisuus oli 0,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet vaihtelivat 4,7–5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä ja korkeimmat mitatut pitoisuudet olivat kaikkien kokoluokkien hiukkasissa 164,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikkien hiukkasten osalta hiukkaspitoisuuksien arvot aikavälillä 1.10 klo 18.01–23.58 olivat negatiivisia, mikä ei ole käytännössä mahdollista hiukkaspitoisuuksissa. Kyseisen aikavälin mittaustuloksia ei siis käytetty tulosten tarkastelussa.

Hyvin suuri osa ensimmäisen viikon aikana ilmasta mitatuista hiukkasista kuului ultra-
pieniin hiukkasiin, sillä PM_{15} - ja $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Näitä pienhiukkasia syntyy pääasiassa puun pienpolton ja polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena, joten tuloksista voitiin päätellä, että mitatut hiukkaspitoisuudet johtuivat pääasiassa joko liikenteestä tai puun pienpoltosta. Syksyllä esimerkiksi katupölystä peräisin olevia karkeampia hiukkasia oli vähemmän kevääseen verrattuna.

Pientaloalueen lokakuisen mittauksen $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet ensimmäisen viikon ajalta on esitetty kuvassa 25. Kaikkiaan eri kokoluokan hiukkasten pitoisuudet ilmassa olivat hyvin pieniä, sillä niiden

keskiarvopitoisuudet vaihtelivat 4,7–5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikista korkeimmat hiukkaspitoisuudet mitattiin kaikkien kokoluokkien hiukkasissa keskiviikkoillan aikana 5.10.2016 klo 23.13, jolloin pitoisuudet olivat erikokoluokan hiukkasissa 164 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten pitoisuudet pysyivät kohonneena verrattuna muihin illan aikana mitattuihin pitoisuuksiin reilun 5 minuutin ajan.



KUVA 25. PM_{1.0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet pientaloalueella 30.9–7.10.2016. Kaaviossa näkyvän mustan pystyviivan vasemmalla puolella olevat sääolosuhdekäyrät on saatu ilmatieteenlaitoksen avoimesta datasta, oikeanpuoleiset on saatu Mikkelin ammattikorkeakoulun sääaseman tiedoista.

Toiseksi korkeimmat pitoisuudet (111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mitattiin kaikkien kokoluokan hiukkasissa aiemmin keskiviikkoiltana 5.10.2016 klo 18.58. Tällöin hiukkaspitoisuudet pysyivät reilusti kohonneina muista mitatuista pitoisuuksista noin 20 minuutin ajan. Kolmas selkeästi muuta mittausjaksoa korkeampi pitoisuuspiikki mitattiin kaikkien kokoluokkien hiukkasten osalta sunnuntai-iltana 2.10.2016 klo 20.40, jolloin eri kokoluokan hiukkasten pitoisuudet olivat 107–109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tällöin pitoisuudet pysyivät kohonneina reilu tunnin ajan. Pitoisuudet olivat keskiarvoa hieman korkeammat melkein koko sunnuntai-illan ajan noin klo 18.30 alkaen jatkuen seuraavan vuorokauden puolelle 3.10.2016n. klo 3.00 asti.

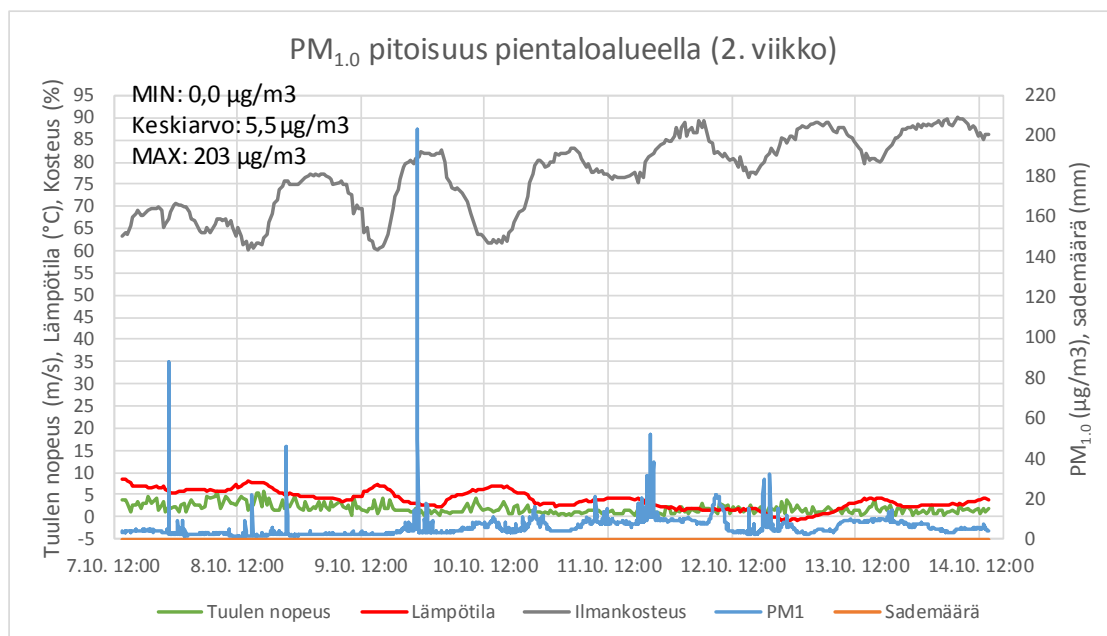
Ensimmäisen mittausviikon ajalta Mikkelin ammattikorkeakoulun sääaseman tiedot olivat käytettävissä vain 3.10.2016 klo 17.12 jälkeiseltä ajalta. Mittausjakson alun sää-tiedot on otettu ilmatieteenlaitoksen avoimesta datasta. Sääolosuhdetietojen mukaan ensimmäisen viikon mittausjakson aikana ei satanut vettä, joten se ei vaikuttanut hiukkaspitoisuuksiin ilmassa. Lämpötilat olivat pääsääntöisesti 0–10 °C. Hieman pakkasta oli 2.10.2016 klo 21.00–3.10 klo 6.00, alimmillaan – 2,2 °C. Myös 6.10.2016 aamulla klo 6.00–8.00 välillä lämpötila kävi hieman pakkasen puolella lämpötilan ollessa alimmillaan – 0,4 °C. Alhaisten lämpötilojen vuoksi tulisijoja on todennäköisesti käytetty alueen omakotitalojen lämmitykseen. Erityisesti tämä näkyi sunnuntai-illan 2.10.2016 aikana, jolloin lämpötila oli pakkasen puolella ja myös hiukkaspitoisuudet ilmassa korkeita.

Ensimmäisen mittausviikon aikana kohonneita pitoisuuksia ilmassa mitattiin sekä sunnuntai- että keskiviikkoiltoina. Tämän arveltiin johtuvan siitä, että ilta-aikaan oli todennäköisesti poltettu puuta tulisijoissa tai lämmitetty saunaa. Ilta-aikaan liikenne tuskin oli syynä hiukkaspitoisuuksien nousuun. Sunnuntai-iltana 2.10.2016 tuulen nopeus oli 0,0–1,7 m/s. Myös keskiviikkoiltana 5.10.2016 hiukkaspitoisuuksien ollessa kohonneita, tuulen nopeus oli 1,0–1,3 m/s. Heikko tuuli on voinut vaikuttaa siihen, että pitoisuudet pysyivät kohonneina puolesta tunnista useampaan tuntiin.

Toisella viikolla kaikkien kokoluokkien hiukkasten matalimmat mitatut pitoisuudet olivat 0,0 µg/m³. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet vaihtelivat 5,5–5,6 µg/m³ ja korkeimmat mitatut pitoisuudet vaihtelivat 203,0–204,0 µg/m³. Lähes kaikki toisen viikon aikana mitatuista hiukkasista kuuluivat ultrapieniin hiukkasiin, koska PM₁₅- ja PM_{1,0}-hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Mitatut hiukkaspitoisuudet johtuivat siis pääasiassa joko liikenteestä tai puun pienpoltosta myös toisen viikon mittauksen aikana.

Pientaloalueen lokakuisen mittauksen PM_{1,0}-hiukkasten pitoisuus sekä mittauksen sääolosuhteet toisen viikon ajalta näkyvät kuvasta 26. Kokonaisuudessaan eri kokoluokan hiukkasten pitoisuudet ilmassa olivat hyvin pieniä keskiarvopitoisuuksien ollessa 5,5–5,6 µg/m³. Toisen viikon aikana pitoisuudet olivat keskimäärin hieman korkeampia kuin ensimmäisellä viikolla. Korkeimmat hiukkaspitoisuudet mitattiin kaikkien kokoluokkien hiukkasissa sunnuntai-illan aikana 9.10.2016 klo 23.01, jolloin pitoisuudet olivat 203–204 µg/m³. Hiukkasten pitoisuudet olivat koholla vain noin 5 min ajan, jonka

jälkeen ne palasivat keskimääräisiin pitoisuuksiin. Toiseksi korkeimmat pitoisuudet mitattiin kaikkien kokoluokan hiukkasissa perjantai-illan 7.10.2016 aikana klo 22.37, jolloin pitoisuudet olivat $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuden nousu oli hyvin lyhytkestoinen, sillä pitoisuudet olivat lähellä keskiarvolukemaa jo alle 5 minuutin kuluttua.



KUVA 26. PM_{1.0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet 7.10–14.10.2016 pientaloalueella

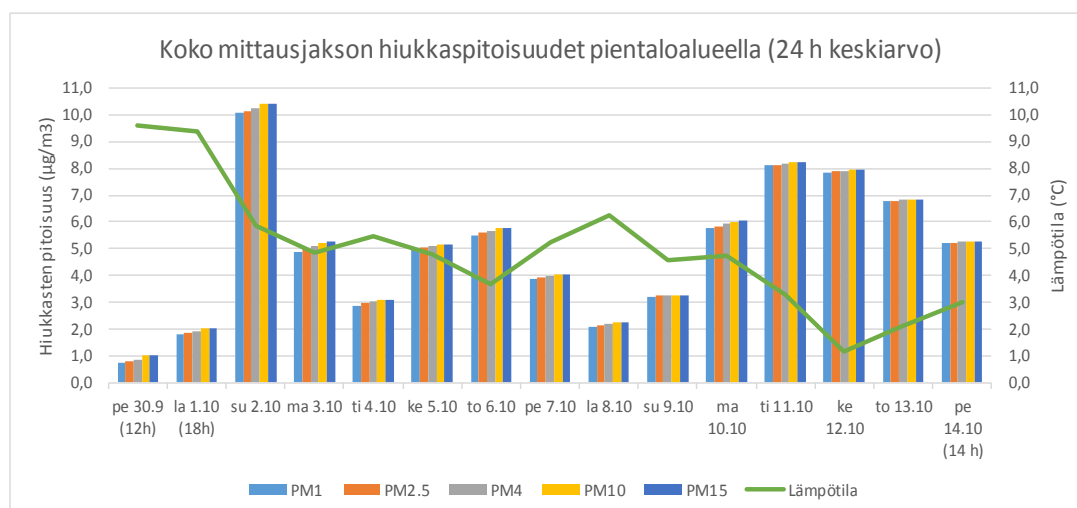
Käytettävissä olleiden sääolosuhdetietojen mukaan toisen viikon mittausjakson aikana ei satanut vettä, joten se ei vaikuttanut ilman hiukkaspitoisuuksiin. Lämpötilat olivat pääsääntöisesti 0–10 °C, mutta 12.10.2016 klo 19.00 ja 13.10.2016 klo 3.00 välillä lämpötila kävi hieman pakkasen puolella lämpötilan ollessa alimmillaan –0,8 °C. Lämpötilat olivat mittausjaksolla sen verran matalia, että tulisijoja saatettiin käyttää omakotitalojen lämmitykseen. Kohonneita pitoisuuksia ilmassa mitattiin sekä myöhään sunnuntai- että perjantai-iltoina. Myös toisen viikon kohonneiden hiukkaspitoisuuksien arveltiin johtuvan siitä, että ilta-aikaan oli todennäköisesti poltettu puuta tulisijoissa tai lämmitetty saunaa, sillä myöhäisilta-aikaan liikenne tuskin oli syynä hiukkaspitoisuuksien nousuun.

Toisen viikon mittausjakson pitoisuudet olivat kohonneina kuitenkin vain lyhyen aikaa (noin 10 min). Sääolosuhdetietoja oli saatavilla 0,5–1 tunnin väliajoin, joten oli vaikea arvioida, kuinka tuuli ja sen nopeus vaikuttivat lyhytkestoisiiin hiukkaspitoisuuksien

nousuihin. Voimakkaammat tuulenpuuskat ovat saattaneet laskea kohonneita hiukkaspitoisuuksia.

7.2.5 Pientaloalueella syksyllä 2016 tehtyjen mittausten hiukkasten 24 tunnin keskiarvot

Jokaiselle mittausvuorokaudelle laskettiin myös 24 tunnin keskiarvot erikokoisten hiukkasten pitoisuuksista sekä lämpötilan vuorokausikeskiarvot (kuva 27). Mittaukset aloitettiin kesken vuorokauden perjantaina 30.9.2016 klo 12.01, joten tältä päivältä keskiarvo laskettiin 12 tunnin datasta. Lauantaina 1.10.2016 mittausdatan arvot aikavälillä 18.01–23.58 eivät ole luotettavia, joten kyseisen aikavälin data jätettiin pois keskiarvon laskennasta ja keskiarvo laskettiin 18 tunnin tiedoista. Mittaukset puolestaan lopetettiin kesken vuorokauden perjantaina 14.10 klo 13.40, joten tältä päivältä keskiarvo laskettiin 14 tunnin datasta.



KUVA 27. Koko mittausjakson hiukkaspitoisuuksien 24 tunnin keskiarvot sekä lämpötilojen vuorokausikeskiarvot pientaloalueella 30.9–14.10.2016.

Erikokoisten hiukkasten 24 tunnin keskiarvopitoisuudet olivat hyvin samanlaiset ja niissä oli vain pieniä eroja keskenään. Kokonaisuudessaan 24 tunnin keskiarvopitoisuudet olivat varsin matalat, korkeimmilleen pitoisuudet nousivat sunnuntaina 2.10.2016, jolloin keskiarvopitoisuus oli noin $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Muuna aikana keskiarvopitoisuudet olivat alle $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Keskiarvopitoisuudet olivat arkipäivinä (maanantai–perjantai) korkeammat kuin viikonloppuna (lauantai–sunnuntai). Arkipäivinä keskiarvopitoisuudet olivat

0,8–8,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kun taas viikonloppuina keskiarvopitoisuudet olivat 1,8–3,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Arkipäivien korkeammat keskiarvopitoisuudet johtuivat todennäköisesti suuremmista liikennemääristä, erityisesti suuremmasta liikenteestä aamu- ja iltapäiväaikaan. Tätä tukee myös saadut tiedot liikennemääristä alueella.

Viikonlopun pienemmistä keskiarvopitoisuuksista poikkeuksena oli sunnuntai 2.10.2016, jolloin 24 tunnin keskiarvopitoisuus oli koko mittausjakson korkein. Keskiarvopitoisuutta nosti sunnuntai-illan aikana mitatut korkeat hiukkaspitoisuudet. Syyksi tähän epäiltiin sitä, että alueella oli tapahtunut puun pienpolttoa tavallista enemmän. Asukkaat olivat mahdollisesti olleet viikonlopun poissa kotoaan ja sunnuntaina kotiin palatessaan olivat alkaneet lämmittää taloaan polttamalla puuta tulisijoissa tai alkaneet lämmittää saunojaan. Liikenteen lisääntyminen ja sitä kautta hiukkaspitoisuuksien kasvu ei ollut kovin todennäköinen vaihtoehto sunnuntaina, etenkin ilta-aikaan.

Sunnuntai-illan 2.10.2016 aikana oli myös hieman pakkasta, mikä on voinut vaikuttaa tulisijojen käyttöön lisäten sitä. Koko mittausjakson 24 tunnin keskiarvoista voitiinkin havaita, että ulkoilman lämpötilalla oli vaikutusta ilman hiukkaspitoisuuksiin. Ulkoilman lämpötilan lähtiessä laskuun hiukkaspitoisuudet kasvoivat, kun taas lämpötilojen ollessa korkeammat, hiukkaspitoisuudet olivat pienemmät. Tämän arveltiin johtuvan puulämmityksen lisääntyneestä käytöstä omakotitaloissa silloin, kun ulkoilman lämpötilat olivat alhaisemmat.

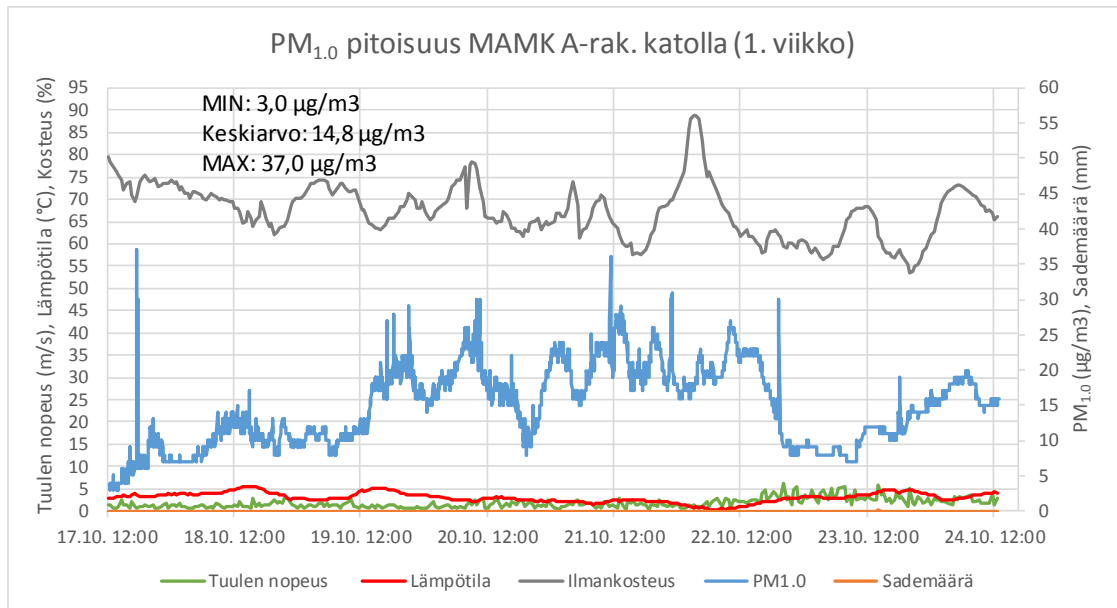
Perjantaina 30.9.2016 keskiarvopitoisuus oli poikkeuksellisen matala verrattuna muihin arkipäivien keskiarvopitoisuuksiin. Tähän on voinut vaikuttaa se, että keskiarvopitoisuus laskettiin 12 tunnin mittausdatasta 24 tunnin datan sijaan. Myös tiistaina 4.10.2016 keskiarvopitoisuus oli jonkin verran matalampi verrattuna muihin arkipäiviin mutta muiden arkipäivien tapaan kuitenkin hieman korkeampi verrattuna viikonlopun keskiarvopitoisuuksiin. Tähän on voinut vaikuttaa se, että kyseisen vuorokauden aikana tuulen nopeus vaihteli välillä 1,1–5,8 m/s. Ajoittain tuuli oli kohtalaisen voimakasta ja se on voinut vähentää hiukkasten pitoisuutta ilmassa. Hiukkasten keskiarvopitoisuuksien ollessa matalimmillaan ilman lämpötila oli korkeampi, joten myöskään taloja ei ole tarvinnut lämmittää puulla yhtä paljon kuin kylmempinä päivinä. Tästä johtuen myös ilman hiukkaspitoisuudet pysyivät matalampina.

7.2.6 Mikkelin ammattikorkeakoululla syksyllä 2016 tehdyt mittaukset

Mikkelin ammattikorkeakoulun A-rakennuksen katolla mittaukset suoritettiin 17.10.2016 klo 12.34–31.10.2016 klo 13.20. Mittausjakso jaettiin kahteen viikon kestävään jaksoon eli 17.10.2016 klo 12.34–24.10.2016 klo 12.57 (1. viikko) ja 24.10.2016 klo 13.12–31.10.2016 klo 13.20 (2.viikko), jotta tulosten tarkastelu olisi helpompaa. Kummankin viikon kaikkien kokoluokkien hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan koko mittausjakson ajan ja niissä oli vain pieniä eroja keskenään.

Ensimmäisellä viikolla kaikkien kokoluokkien hiukkasten matalin mitattu pitoisuus oli $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten keskiarvopitoisuudet vaihtelivat $14,8\text{--}15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksimipitoisuudet vaihtelivat $37,0\text{--}38,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koska PM_{15} - ja $\text{PM}_{1.0}$ -hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan, hyvin suuri osa ensimmäisen viikon aikana ilmasta mitatuista hiukkasista kuului ultrapieniin hiukkasiin eikä karkeampia hiukkasia ollut ilmassa kovinkaan paljon. Tuloksista voitiinkin päätellä, että mitatut hiukkapitoisuudet johtuivat pääasiassa joko liikenteen pakokaasupäästöistä tai puun pienpoltosta, ei niinkään esimerkiksi katupölystä. Tämä on tyypillistä vuodenaikaan nähden.

Mikkelin ammattikorkeakoulun lokakuisen mittauksen $\text{PM}_{1.0}$ -hiukkasten pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet ensimmäisen viikon ajalta on esitetty kuvassa 28. Kokonaisuudessaan erikokoluokan hiukkasten pitoisuudet ilmassa olivat kohdallaisia keskiarvopitoisuuksien ollessa $14,8\text{--}15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Keskimäärin hiukkasia oli siis runsaammin ilmassa kuin lokakuussa 2016 tehdyissä pientaloalueen mittauksissa. Mamkin mittauksissa hiukkasten maksimipitoisuudet olivat kuitenkin huomattavasti pienemmät verrattuna pientaloalueen maksimipitoisuuksiin. Mamkin mittauksissa pitoisuudet pysyivät tasaisempina eikä niissä esiintynyt niin korkeita lyhytaikaisia pitoisuuspiikkejä kuin pientaloalueen mittauksissa.



KUVA 28. PM_{1.0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet 17.10–24.10.2016 Mikkelin ammattikorkeakoulun A-rakennuksen katolla

Ajoittain hiukkasten pitoisuudet nousivat hieman keskiarvopitoisuuksia korkeammiksi. Hiukkasten maksimipitoisuudet mitattiin kaikkien kokoluokkien hiukkasissa maanantai iltapäivän aikana 17.10.2016 klo 17.40, jolloin pitoisuudet vaihtelivat 37–38 µg/m³. Hiukkasten pitoisuudet pysyivät kohonneena verrattuna keskiarvopitoisuuteen noin 10 minuutin ajan. Toiseksi korkeimmat pitoisuudet kaikkien kokoluokkien hiukkasten osalta mitattiin perjantaina hieman ennen keskipäivää 21.10.2016 klo 11.22, jolloin pitoisuudet vaihtelivat 36–37 µg/m³. Tällöin hiukkaspitoisuudet pysyivät hieman kohonneina noin 20 minuutin ajan.

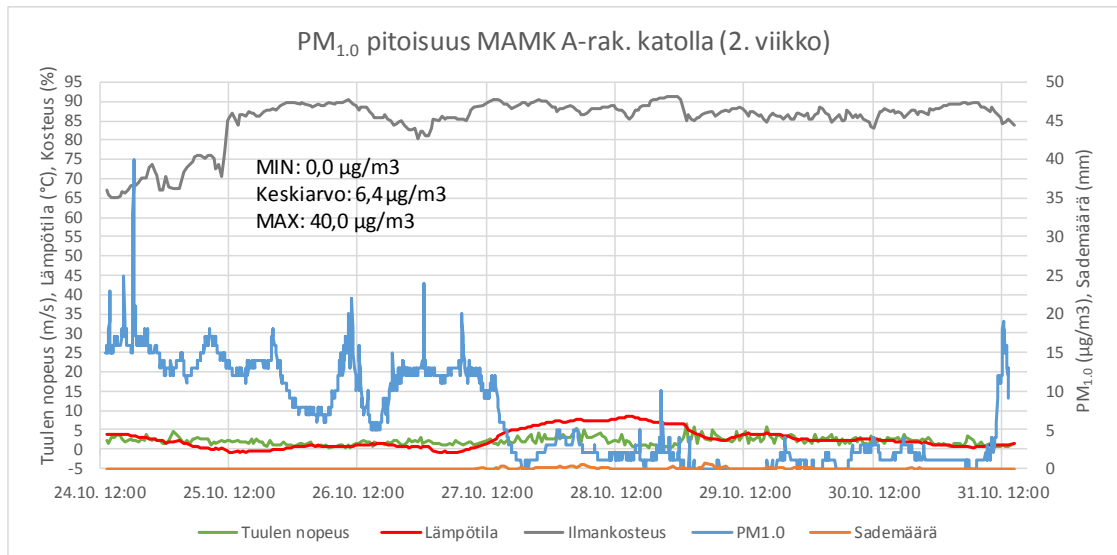
Kaikkiaan ensimmäisen viikon aikana kaikkien kokoluokan hiukkasten osalta pitoisuudet olivat alhaisimmillaan yöaikaan. Pitoisuudet lähtivät pääsääntöiset kohoamaan aamulla noin klo 6.00–7.00 ja pitoisuudet olivat korkeimmillaan yleensä iltapäivisin ja iltaisin noin klo 11.00–19.00. Tämän arveltiin johtuvan alueella esiintyvistä liikenteestä ja sen vaihtelusta vuorokauden ajan mukaan. Viikonlopun ajan eli 22.10–23.10.2016, erityisesti lauantai-illan ja sunnuntaipäivän ajan hiukkaspitoisuudet olivat hieman matalimmat verrattuna muuhun mittausjaksoon. Pitoisuudet lähtivät taas kohoamaan maanantaiaamun aikana todennäköisesti lisääntyneen liikenteen vuoksi.

Ensimmäisen viikon jakson aikana lämpötilassa ei esiintynyt suuria vaihteluja vaan se pysyi koko viikon ajan noin 0–5 °C:n välillä. Myös ilmankosteus pysyi varsin tasaisena

sen ollessa pääasiassa noin 50–75 %. Tästä poikkeuksena 22.10.2016 aamuyö, jonka aikana ilmankosteus nousi noin 90 %:iin. Jaksolla ei juurikaan satanut vettä. Ainoastaan 23.10.2016 noin klo 14.00 satoi hieman, mutta määrä oli niin pieni (0,02 ml), että se ei juurikaan vaikuttanut ilman hiukkaspitoisuuksiin. Tuulennopeus pysyi pääsääntöisesti alle 5 m/s eli heikkona. 22.10.–23.10.2016 tuulennopeus kävi välillä yli 5 m/s ja tällöin myös ilman hiukkaspitoisuudet olivat matalampia. Hieman voimakkaamman tuulen lisäksi matalampiin pitoisuuksiin vaikutti todennäköisesti viikonlopun pienemmät liikennemäärät.

Toisella viikolla kaikkien kokoluokkien hiukkasten minimipitoisuudet olivat $0,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hiukkasten keskiarvopitoisuudet vaihtelivat $6,4\text{--}6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja korkeimmat mitatut pitoisuudet vaihtelivat $40,0\text{--}41,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lähes kaikki toisen viikon aikana mitatuista hiukkasista olivat ultrapieniä hiukkasia, sillä PM_{15} - ja $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Myös toisen viikon mittausten hiukkaspitoisuudet johtuivat siis pääasiassa joko liikenteen pakokaasuista.

Mamkin lokakuisen mittauksen $\text{PM}_{1,0}$ -hiukkasten pitoisuus sekä mittauksen sääolosuhteet toisen viikon ajalta on esitetty kuvassa 29. Kaikkiaan erikokoluokan hiukkasten pitoisuudet ilmassa olivat melko pieniä, sillä niiden keskiarvopitoisuudet olivat $6,4\text{--}6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toisen viikon aikana pitoisuudet olivat jonkin verran pienempiä verrattuna ensimmäisen viikon pitoisuuksiin. Keskimäärin hiukkasia oli ilmassa lähes saman verran kuin lokakuussa 2016 tehdyissä pientaloalueen mittauksissa. Hiukkasten maksimipitoisuudet olivat kuitenkin huomattavasti pienemmät kuin pientaloalueen maksimipitoisuudet.



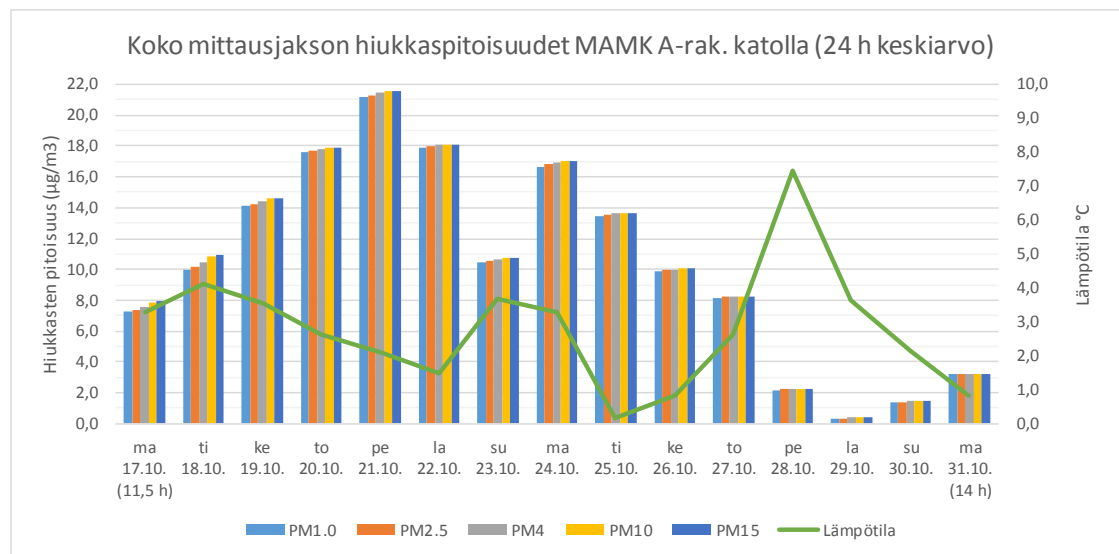
KUVA 29. PM_{1.0}-pitoisuus sekä mittauksen aikana vallinneet sääolosuhteet 24.10–31.10.2016 Mikkelin ammattikorkeakoulun A-rakennuksen katolla

Korkeampia pitoisuuksia mitattiin kuitenkin ajoittain. Korkeimmat hiukkaspitoisuudet mitattiin kaikkien kokoluokkien hiukkasissa maanantai-iltana 24.10.2016 klo 18.21, jolloin pitoisuudet olivat 40–41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasten pitoisuudet olivat koholla noin 15 min ajan. Toiseksi korkeimmat pitoisuudet mitattiin kaikkien kokoluokan hiukkasissa keskiviikon ja torstain välisenä yönä 27.10.2016 aikana klo 00.18, jolloin pitoisuudet olivat 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuden nousu oli hyvin lyhykestoinen (alle 5 min).

Toisen viikon alkupuoliskon aikana hiukkasten pitoisuudet olivat alimmillaan yleensä yöaikaan ja pitoisuudet lähtivät kohoamaan aamulla ja iltapäivällä lisääntyneen liikenteen mukaan. Tästä poikkeuksena oli keskiviikon ja torstain välinen yö 27.10.2016, jolloin hiukkasten pitoisuus nousi vuorokauden korkeimpaan arvoon noin puolen yön aikaan. Loppuviikon aikana, alkaen torstai aamupäivästä, satoi vettä välillä tauoten ja alkaen taas uudestaan. Tällä aikavälillä hiukkasten pitoisuudet ilmassa olivat huomattavasti matalammat kuin alkuvuikosta ja tämä myös pienensi koko toisen viikon jakson keskiarvopitoisuuslukemia. Viimeiset sateet tulivat sunnuntai-iltana, jonka jälkeen hiukkasten pitoisuudet lähtivät taas kasvamaan maanantaiaamuna sateen loputtua ja liikenteen määrän kasvaessa. Toisen viikon aikana ilmankosteudessa ei esiintynyt suuria vaihteluja vaan se pysyi koko viikon ajan noin 65–90 %:n välillä. Lämpötilat vaihtelivat noin –1–10 °C:n välillä. Myös tuulennopeudet pysyivät melko heikkoina niiden ollessa pääasiassa koko viikon ajan 0–5 m/s.

7.2.7 Mikkelin ammattikorkeakoululla syksyllä 2016 tehtyjen mittausten hiukkasten 24 tunnin keskiarvot

Erikokoisten hiukkasten pitoisuuksista laskettiin jokaiselle mittausvuorokaudelle 24 tunnin keskiarvot sekä lämpötilan vuorokausikeskiarvot (kuva 30). Mittaukset aloitettiin kesken vuorokauden maanantaina 17.10 klo 12.34, joten tältä päivältä keskiarvo laskettiin 11,5 tunnin datasta. Mittaukset puolestaan lopetettiin kesken vuorokauden maanantaina 31.10 klo 13.20, joten tämän päivän keskiarvo laskettiin 14 tunnin datasta.



KUVA 30. Koko mittausjakson hiukkaspitoisuuksien 24 tunnin keskiarvot sekä lämpötilojen vuorokausikeskiarvot Mikkelin ammattikorkeakoululla 17.10 – 31.10.2016

Erikokoisten hiukkasten 24 tunnin keskiarvopitoisuudet olivat samankaltaiset ja niissä oli vain pieniä eroja keskenään. Hiukkaset olivat pääasiassa pienhiukkasia ja peräisin todennäköisesti liikenteen pakokaasupäästöistä. Kokonaisuudessaan 24 tunnin keskiarvopitoisuudet olivat kohtalaiset. Korkeimmilleen pitoisuudet nousivat perjantaina 21.10.2016, jolloin keskiarvopitoisuudet olivat noin $21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Muuten keskiarvopitoisuudet olivat alle $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ensimmäisen viikon aikana keskiarvopitoisuudet olivat korkeimmillaan torstai–lauantai välisenä aikana, jolloin erikokoisten hiukkasten pitoisuudet olivat $17,9$ – $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämän arveltiin johtuvan erityisesti 5-tien liikennemääristä, jotka saattoivat olla suuremmat loppuviikosta verrattuna alkuviikkoon viikonloppua kohden lisääntyvästä ohitus- ja reissuliikenteestä.

Sunnuntaina 23.10.2016 keskiarvopitoisuudet laskivat, kunnes ne lähtivät taas maanantaina 24.10.2016 nousuun todennäköisesti lisääntyneen arkena tapahtuvan koulu- ja työmatkaliikenteen vuoksi. Toisella viikolla keskiarvopitoisuudet olivat alkuvuikosta korkeammat verrattuna ensimmäisen viikon alkuvuikon pitoisuuksiin. Tämän ajateltiin johtuvan laskeneesta ulkoilman lämpötilasta, sillä keskiarvopitoisuuksien tulosten perusteella se näyttäisi vaikuttavan ilmassa olevien hiukkasten pitoisuuksiin. Lämpötilan lähtiessä laskuun hiukkaspitoisuudet ilmassa lähtivät nousuun ja päinvastoin. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että kylmemmällä säällä autoista tulee enemmän pakokaasupäästöjä kuin lämpimämmällä säällä.

Torstaina 27.10.2016 alkaen alkoi sataa vettä, mikä näkyy myös hiukkasten 24 tunnin keskiarvopitoisuuksissa, sillä hiukkasten keskiarvopitoisuudet olivat huomattavasti pienemmät verrattuna edellisen viikon loppuviikon pitoisuuksiin. Matalimmillaan keskiarvopitoisuus oli lauantaina 29.10.2016, jolloin pitoisuudet olivat vain noin $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkaspitoisuuksien keskiarvot lähtivät taas nousuun vesisateen loputtua sunnuntai-illan 30.10.2016 aikana.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kevään 2016 aikana tehdyt mittaukset Päiväkoti Vilttihatun sekä Urpolan koulun pihalla olivat hyvin lyhytkestoisia, joten mittaustulokset kertovat lähinnä kyseisen päivän hetkellisestä hiukkaspitoisuudesta. Tästä johtuen mittaustuloksia voidaan pitää ainoastaan karkeasti suuntaa antavina. Myös kevään 2016 aikana tehdyt hiukkasmittaukset pientaloalueella olivat melko lyhyitä, mutta riittävän pitkiä vuorokauden ajan ja sääolosuhteiden muutosten havainnointiin. Näitä mittaustuloksia voidaan pitää hieman luotettavampina verrattuna Päiväkoti Vilttihatun ja Urpolan koulun mittauksiin, mutta kuitenkin edelleen suuntaa-antavina.

Puolestaan syksyllä 2016 tehdyt mittaukset pientaloalueella ja Mikkelin ammattikorkeakoululla olivat kahden viikon mittaiset ja näiden mittausten tulokset kertovat jo laajemmin ja tarkemmin viikonpäivien ja vuorokauden aikojen sekä sääolosuhteiden vaikutuksesta ilman hiukkaspitoisuuksiin.

Työssä saatujen tulosten perusteella Mikkelin taajama-alueella hiukkaspitoisuudet olivat kokonaisuudessaan suuremmat keväällä 2016 tehdyissä mittauksissa kuin syksyllä 2016 tehdyissä mittauksissa. Tämä on hyvin tyypillistä, sillä hiukkaspitoisuudet ja erityisesti karkeiden hiukkasten pitoisuudet ovat koholla yleensä maalishuhtikuussa katupölykauden ollessa pahimmillaan. Katupölykausi voitiin havaita myös tämän työn tuloksissa. Hiukkaspitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan sekä maaliskuun lopulla päiväkotit Vilttihaatun läheisyydessä tehdyssä mittauksessa (keskiarvopitoisuudet 30,5–39,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), että huhtikuun alussa tehdyssä pientaloalueen mittauksessa (keskiarvopitoisuudet 29,1–39,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Päiväkodin läheisyydessä tehdyt mittaukset olivat lyhytaikaisuuden vuoksi suuntaa-antavia. Kummassakin mittauksessa matalimmat keskiarvo- ja maksimipitoisuudet olivat $\text{PM}_{1.0}$ -hiukkasilla ja korkeimmat pitoisuudet PM_{15} -hiukkasilla. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmassa oli pienhiukkasten lisäksi paljon myös karkeampia hiukkasia, erityisesti PM_{10} - ja PM_{15} -hiukkasia. Tästä voitiin päätellä, että suuri osa keväällä ilmassa olevista hiukkasista oli peräisin liikenteen nostattamasta katupölystä. Pientaloalueella keskiarvopitoisuuksia todennäköisesti nosti myös alueella tapahtunut puun pienpoltto.

Tulosten mukaan hiukkaspitoisuudet olivat ilmassa matalimmillaan syyskuun lopun ja lokakuun 2016 aikana tehdyissä pientaloalueen mittauksissa. Myös lokakuun aikana tehdyssä Mikkelin ammattikorkeakoulun mittauksessa hiukkaspitoisuudet olivat melko pienet erityisesti toisen viikon aikana, jolloin hiukkasten pitoisuuksia ilmassa vähensi vesisade. Syksyllä tehdyissä mittauksissa suuri osa ilmasta mitatuista hiukkasista kuului ultrapieniin hiukkasiin, sillä PM_{15} - ja $\text{PM}_{1.0}$ -hiukkasten pitoisuudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Näitä ultrapieniä hiukkasia syntyy pääasiassa puun pienpoltton ja polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena, joten tuloksista voitiin päätellä, että mitatut hiukkaspitoisuudet johtuivat pääasiassa joko liikenteestä tai puun pienpoltosta. Syksyllä esimerkiksi katupölystä peräisin olevia karkeampia hiukkasia oli vähemmän kevääseen verrattuna.

Pientaloalueella kohonneiden hiukkaspitoisuuksien arveltiin johtuvan erityisesti puun pienpoltosta, sillä alueella hiukkaspitoisuudet olivat pääasiassa korkeimmillaan ilta-aikaan. Tällöin oli todennäköisesti poltettu puuta tulisijoissa tai lämmitetty saunaa. Ilta-aikaan liikenne tuskin oli syynä hiukkaspitoisuuksien nousuun, sillä liikenteestä saatujen tietojen perusteella ilta-aikaan liikenne alueella oli vähäisempää. Pientaloalueen mittauksissa liikenteellä ei siis ollut kovin suurta osuutta hiukkaspitoisuuksien kasvuun.

Mikkelin ammattikorkeakoululla tehdyissä mittauksissa kohonneiden hiukkaspitoisuuksien ajateltiin johtuvan puolestaan liikenteestä ja polttoaineen epätäydellisen palamisen seurauksena syntyneistä pienhiukkasista. Mamkin mittauksissa kaikkien kokoluokkien hiukkasten pitoisuudet olivat pääasiassa alhaisimmillaan yöaikaan. Pitoisuudet lähtivät kohoamaan aamuisin ja pitoisuudet olivat korkeimmillaan yleensä iltapäivisin ja iltaisin. Viikonloppuna, erityisesti lauantai-illan ja sunnuntaipäivän ajan hiukkaspitoisuudet olivat hieman matalammat. Mamkin mittausjakson toisen viikon vesisade pienensi hiukkasten pitoisuutta ilmassa niin paljon, ettei ensimmäisen ja toisen viikon hiukkaspitoisuudet olleet keskenään vertailukelpoisia.

Pientaloalueella, jossa kohonneiden hiukkaspitoisuuksien oletettiin olevan pääasiassa puun pienpoltosta johtuvaa, hiukkaspitoisuuksien maksimi-arvot olivat huomattavasti korkeampia verrattuna Mamkin alueella tehtyihin mittauksiin, jossa kohonneiden hiukkaspitoisuuksien ajateltiin johtuvan liikenteestä. Tulosten mukaan puun pienpoltto aiheutti siis huomattavasti korkeampia, mutta varsin lyhytkestoisia pitoisuuspiikkejä ilman hiukkaspitoisuuksiin. Liikenteen päästöt sen sijaan pitivät hiukkaspitoisuudet tasaisemmin korkeampina mutta niissä ei esiintynyt yhtä isoja yksittäisiä pitoisuuksia.

Tulosten mukaan sääolosuhteilla oli jonkin verran vaikutusta ilman hiukkaspitoisuuksiin. Tuloksissa näkyi erityisesti sateen vaikutus hiukkaspitoisuuksia laskevana tekijänä. Vesisateen aikana ilman hiukkaspitoisuudet lähtivät hyvin nopeasti laskemaan ja myös pysyivät huomattavasti matalampana niin kauan kuin vesisadetta kesti. Hiukkaspitoisuudet lähtivät taas nousuun vesisateen loputtua. Ilman lämpötila vaikutti tulosten mukaan hiukkaspitoisuuksiin. Ulkoilman lämpötilan lähtiessä laskuun hiukkaspitoisuudet kasvoivat, kun taas lämpötilojen ollessa korkeammat, hiukkaspitoisuudet olivat pienemmät. Tämän ajateltiin johtuvan siitä, että kylmemmällä säällä autoista tulee enemmän pakokaasupäästöjä kuin lämpimämmällä säällä. Lisäksi omakotitaloissa puulämmitys ja puun pienpoltto todennäköisesti lisääntyivät silloin, kun ulkoilman lämpötilat lähtivät laskemaan. Myös tuulen nopeus näytti tulosten perusteella vaikuttavan hiukkaspitoisuuksiin ilmassa. Mitä kovempaa tuuli puhalsi, sitä nopeammin ilman kohonneet hiukkaspitoisuudet laimenivat ja laskivat. Ilmankosteudella ei tulosten mukaan todettu olevan yksiselitteistä vaikutusta ilman hiukkaspitoisuuksiin.

Keväällä 2016 päiväkotit Vilttihaan ja Urpolan koulun pihalla tehtyjen mittausten lyhytkestoisuuden vuoksi näissä mittauksissa saatuja tuloksia ei lähdetty vertaamaan raja- eikä ohjearvoihin. Keväällä 2016 tehdyt pientaloalueen mittaukset olivat riittävän pitkiä suunta-antaviin tuloksiin alueen hiukkaspitoisuuksista. Huhtikuun alussa tehdyn mittauksen mukaan hiukkaspitoisuudet olivat varsin korkeat ja ne ylittivät osittain raja- ja ohjearvoja. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet jäivät alle raja- ja ohjearvojen mutta pienhiukkasten keskiarvopitoisuus ($32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylitti WHO:n ohjearvon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pienhiukkasten keskiarvo oli laskettu 16 tunnin mittausdatasta ja ohjearvo on tehty 24 tunnin arvoille, joten ne eivät ole täysin verrattavia keskenään. Toukokuussa 2016 tehdyissä mittauksissa kaikkien kokoluokkien hiukkasten 36 tunnin mittausdatasta lasketut keskiarvopitoisuudet jäivät alle raja- ja ohjearvojen.

Pientaloalueella tehtyjen mittaustulosten perusteella syksyllä kaikkien kokoluokkien hiukkasten 24 tunnin keskiarvopitoisuudet olivat niin matalat, että ne eivät ylittäneet raja- eikä ohjearvoja. Mikkelin ammattikorkeakoululla tehdyissä mittauksissa hiukkasten 24 tunnin keskiarvopitoisuudet olivat pääasiassa korkeammat, mutta ne jäivät kuitenkin alle raja- ja ohjearvojen. Korkeimmillaan PM_{10} -hiukkasten keskiarvopitoisuus oli $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun Valtionneuvoston asetuksen ilmanlaadusta (38/2011) asettama raja-arvo on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja WHO:n ohjearvo $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasten keskiarvopitoisuus oli $21,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun WHO:n antama 24 tunnin ohjearvo on $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tämän työn tulosten perusteella Mikkelin taajama-alueen keskimääräiset hiukkaspitoisuudet jäivät pääasiassa alle kaikkien raja- ja ohjearvojen. Raja- ja ohjearvot on tehty terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi ja niiden on tarkoitus toimia maailmanlaajuisina raja-arvoina terveysriskiä aiheuttaville ilmansaasteille. Hiukkaspitoisuuksien ei siis pitäisi nykyisen tiedon sekä raja- ja ohjearvojen perusteella aiheuttaa Mikkelin taajama-alueella ihmisille terveyshaittaa.

Ajoittain hiukkasten pitoisuudet saattoivat nousta mittausten aikana erittäinkin korkeiksi. Korkeimmat pitoisuushuiput kestivät yleensä vain hetken aikaa. Tutkimusten mukaan terveydelle haitallisinta on pitkäaikainen altistuminen kohonneille hiukkaspitoisuuksille. Vaikka korkeimmat pitoisuushuiput olivatkin merkittävän korkeita, ne kestivät kuitenkin niin lyhyen aikaa, että terveyshaittoja ei pääse välttämättä muodostumaan. Herkkyys ilmansaasteille on kuitenkin yksilöllistä ja erityisen herkeit väestöryh-

mät, kuten lapset, astmaatit sekä ikääntyneet sepelvaltimotautia tai keuhkohtaumatautia sairastavat ihmiset, saattavat saada oireita jo lyhytaikaisesta altistuksesta. Hiukaspitoisuuksien lyhytaikainenkin kohoaminen voi lisätä ihmisten sydän- ja hengityselinoireita sekä niihin liittyvistä sairauksista aiheutuvia sairaalakäyntejä sekä kuolleisuutta. Vielä haitallisempaa terveydelle on kuitenkin pitkäaikainen altistuminen ilman hiukkasille, joka saattaa johtaa hengityselin- ja sydänsairauksien kehittymiseen sekä voi lyhentää elinikää. Pienemmät hiukkaset ovat haitallisempia terveydelle verrattuna suurempiin, sillä ne pääsevät hengitysilman mukana syvälle keuhkoihin.

LÄHTEET

Ambient (outdoor) air quality and health, 2016. World Health Organisation. WWW-dokumentti. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>. Ei päivitystietoa. Luettu 13.10.2016.

DustTrak™ DRX aerosol monitor theory of operation 2012. TSI. PDF-dokumentti. http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Application_Notes/EXPMN-002_DustTrak_DRX_Theory_of_Operation.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 23.10.2016.

Hengitettävät hiukkaset 2016. Ilmanlaatuportaali. WWW-dokumentti. <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/pm10.html>. Päivitetty 27.1.2014. Luettu 11.9.2016.

Hiukkasten koko ja muoto 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/22>. Ei päivitystietoa. Luettu 11.9.2016.

Hiukkasten koostumus 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/30>. Ei päivitystietoa. Luettu 11.9.2016.

Hiukkasten lähteet 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/34>. Ei päivitystietoja. Luettu 11.9.2016.

Hiukkasten mittaaminen 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://www.hiukkastieto.fi/node/43>. Ei päivitystietoa. Luettu 13.9.2016.

Hiukkasten pitoisuus 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/29>. Ei päivitystietoa. Luettu 11.9.2016.

Hänninen, Otto ym. 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016. PDF-dokumentti. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf?sequence=1. Ei päivitystietoa. Luettu 11.9.2016.

Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymä. PDF-dokumentti. <https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/6-2016-Ilmanlaatu-pks-2015.pdf>. Päivitetty 17.6.2016. Luettu 12.10.2016.

Inertiaan perustuvat menetelmät 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/49>. Ei päivitystietoa. Luettu 27.9.2016.

Korhonen, Antti ym. 2015. Ilmansaasteille altistuminen Suomessa vuonna 2013. Ilmanlaadun mittausverkostoon pohjautuen. PDF-dokumentti. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/129713/Korhonen%20ym.2015.ISTE%20Altistustasot.pdf?sequence=1>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.11.2016.

Liikennemääräkartat 2015. Liikennevirasto. WWW-dokumentti. <http://www.liikennevirasto.fi/kartat/liikennemaarakartat#.WdfUoC2LTIV>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.11.2016.

Liikenteen hiukkaspäästöt 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/199>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.11.2016.

Niemi, Jarkko 2002. Kasvillisuuden vaikutus tienvarsien ilmanlaatuun. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2002:2. Helsinki: YTV:n monistamo.

Optiset menetelmät 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/45>. Ei päivitystietoa. Luettu 27.9.2016.

Paunu, Ville-Veikko 2012. Pientalojen puunpoltto aiheuttaa merkittävää altistumista pienhiukkasille. Ilmansuojeluyhdistys ry:n jäsenlehti 4/2012. PDF-dokumentti. https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/07/isu4_2012.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 25.11.2016.

Pienhiukkaset 2016. Ilmanlaatuportaali. WWW-dokumentti. <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/pm25.html>. Päivitetty 27.1.2014. Luettu 11.9.2016.

Pienhiukkaset ilmakehässä 2016. Ilmasto-opas. WWW-dokumentti. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/03ad6e5e-41c8-4dc3-b365-1897dd7c37c9/pienhiukkaset-ilmakehassa.html>. Ei päivitystietoa. Luettu 11.10.2016.

Puun pienpoltto 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/200>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.11.2016.

Saari, Helena & Komppula, Birgitta 2016. Valtatie 12 Tampereen tunneli. Ilmanlaadun seuranta. Mittaustulokset vuodelta 2015. PDF-tiedosto. http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23134/Vuosiraportti+2015_12.4.2016_RGB_kansissa.pdf/57f9033b-7b6d-4177-b580-ebb75b33b87a. Ei päivitystietoa. Luettu 25.11.2016.

Salonen, Raimo O. & Pennanen, Arto 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys. Tekes. PDF-dokumentti. https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/fine_terveys.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 11.10.2016.

Sähkövaraukseen perustuvat menetelmät 2016. Hiukkastieto. WWW-dokumentti. <http://hiukkastieto.fi/node/46>. Ei päivitystietoa. Luettu 27.9.2016.

Talvinen inveriotilanne 2016. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/talviset-inversiotilanteet>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.11.2016.

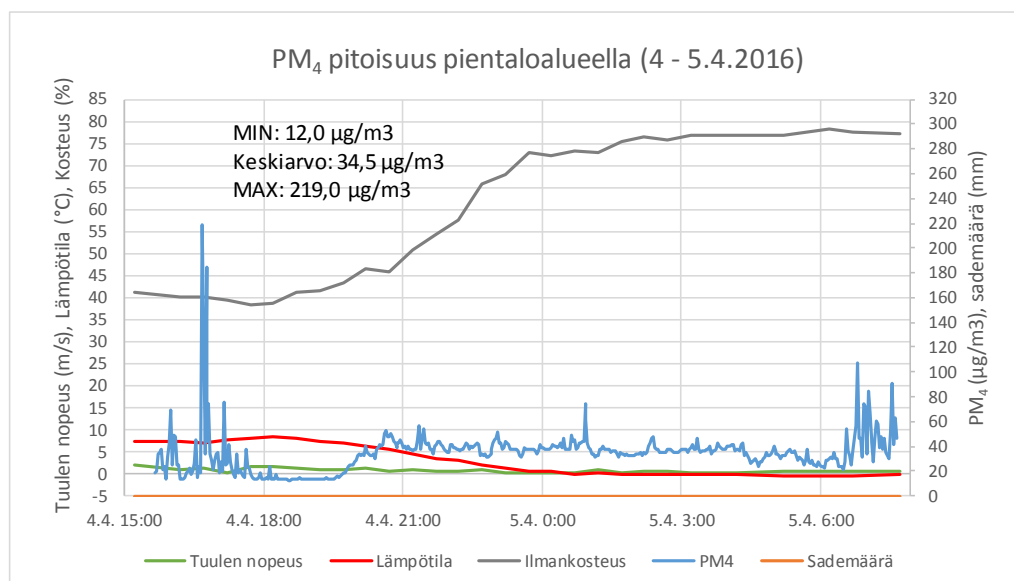
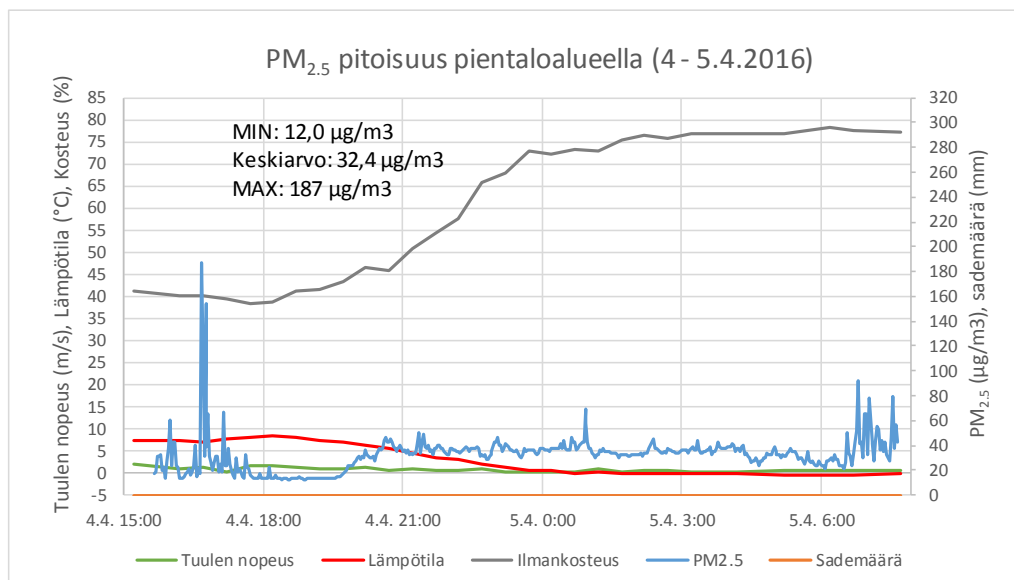
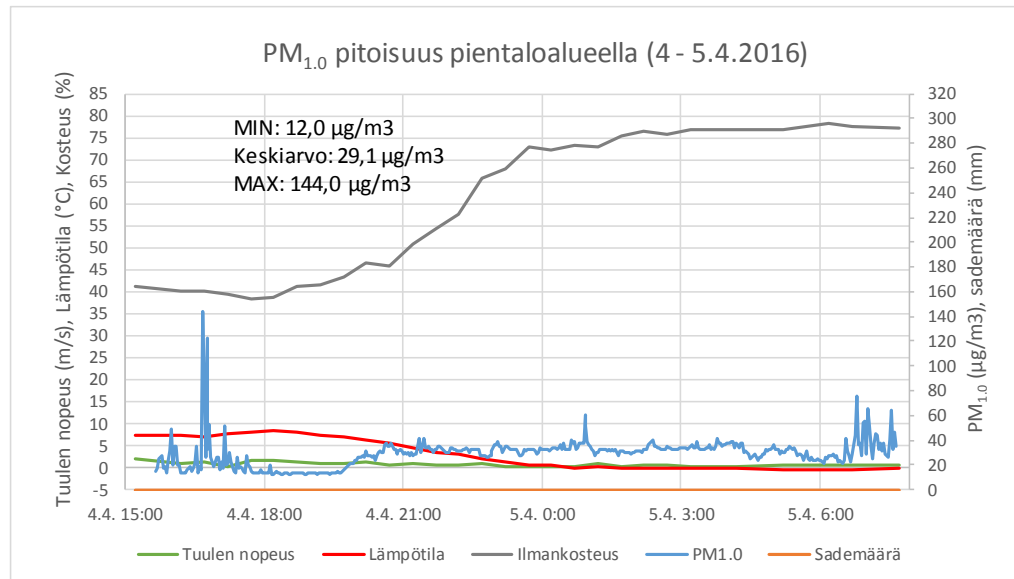
TSI DustTrak DRX 8533 & 8534 2016. Teknocalor. WWW-dokumentti. <http://www.teknocalor.fi/fi/mittauslaitteet/tuotteet/sisailman-laatu/hiukkasmittarit/tsi-dustrak-drx-8533>. Ei päivitystietoa. Luettu 22.10.2016.

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta (38/2011). PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/5916.pdf>. Päivitetty 20.1.2011. Luettu 11.9.2016.

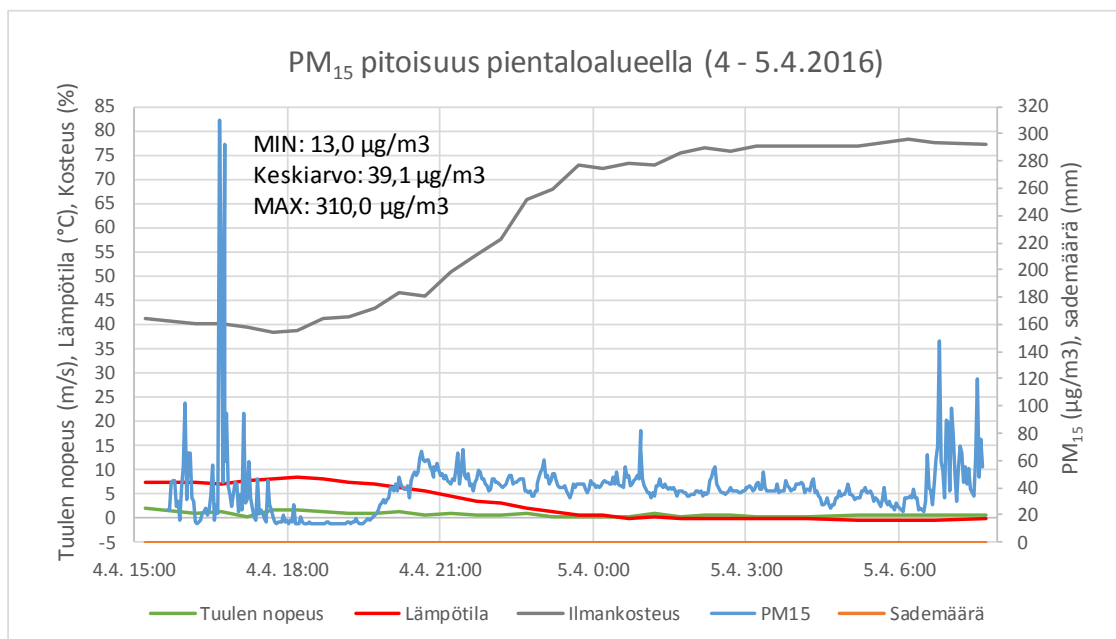
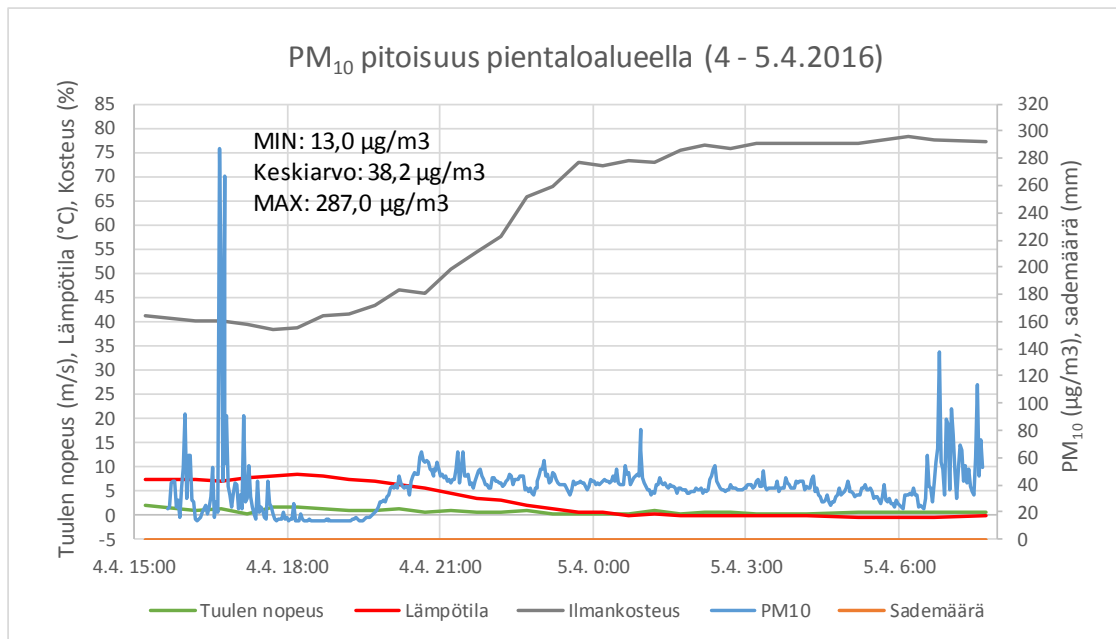
Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista (480/1996). WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960480>. Päivitetty 19.6.1996. Luettu 13.10.2016.

VIM – Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa.
Hankkeen tiedot. Mikkelin ammattikorkeakoulu. WWW-dokumentti.
http://www.mamk.fi/ulkoiset/hanke/materiaalit_ja_ymparisto/index.cfm?action=1&Hanke_ID=308. Ei päivitystietoja. Luettu 9.9.2016.

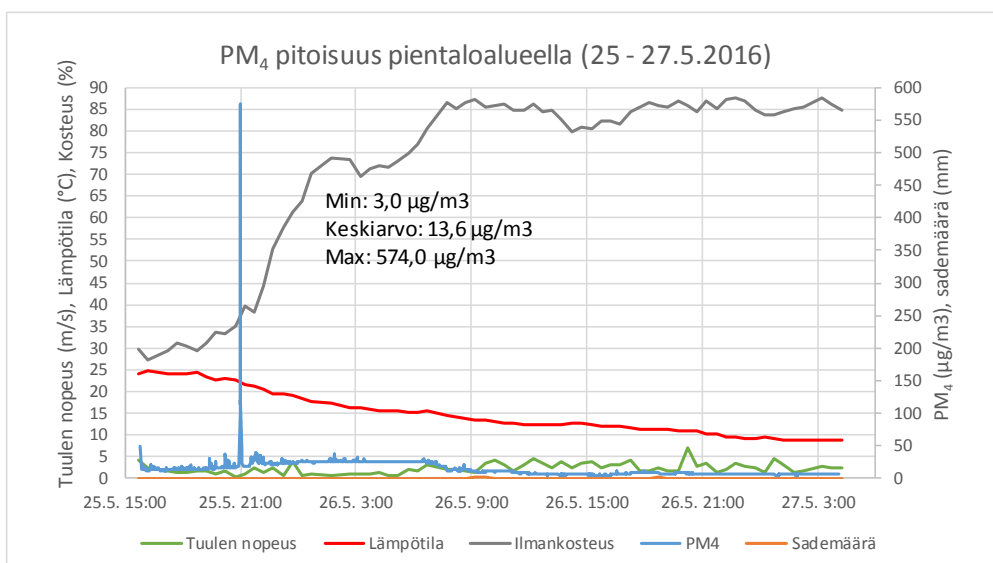
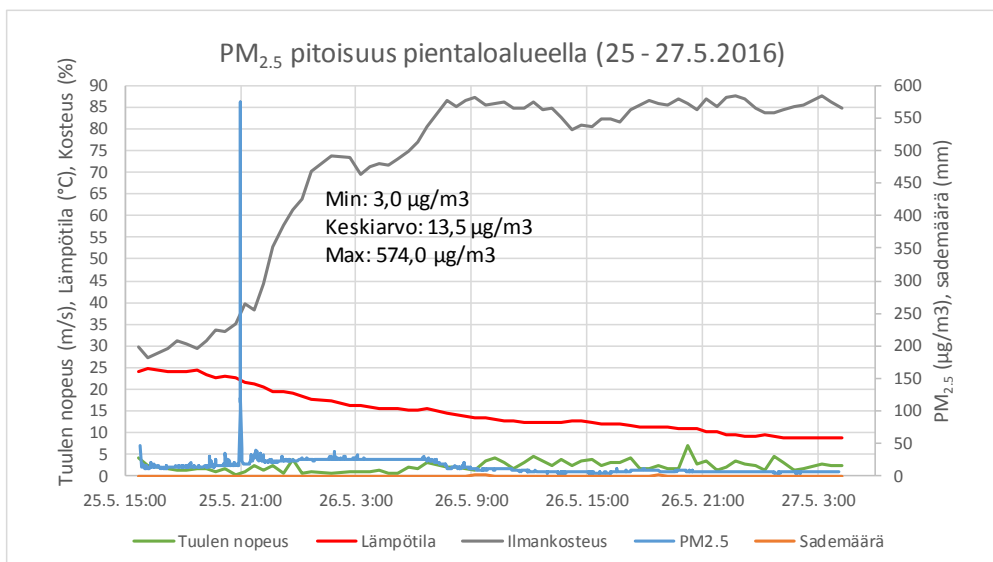
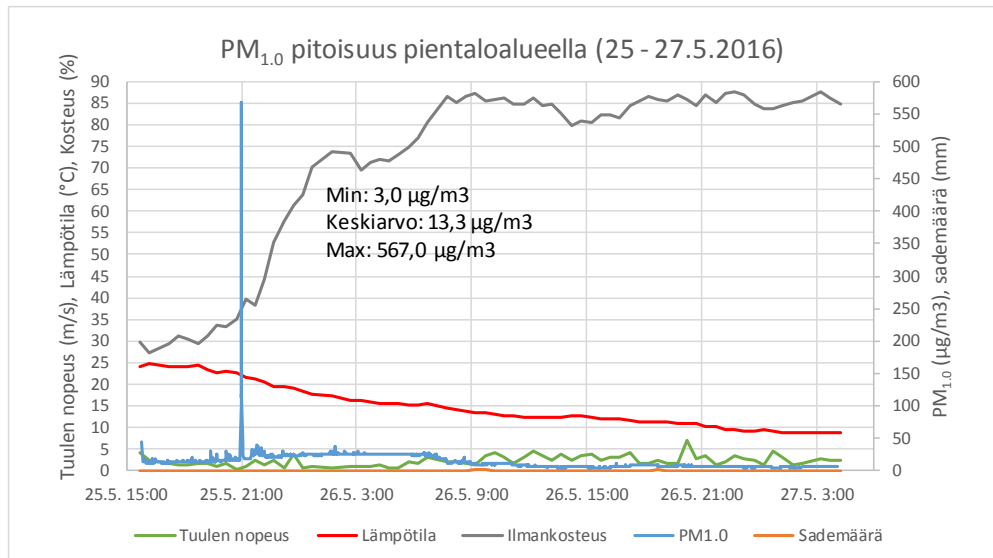
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 4.–5.4.2016



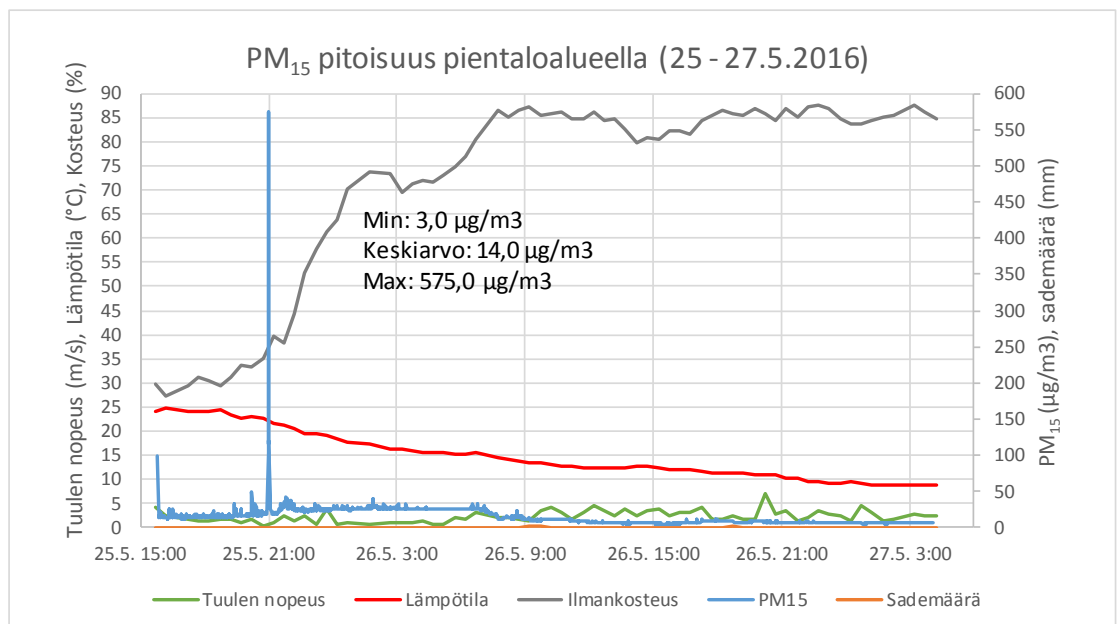
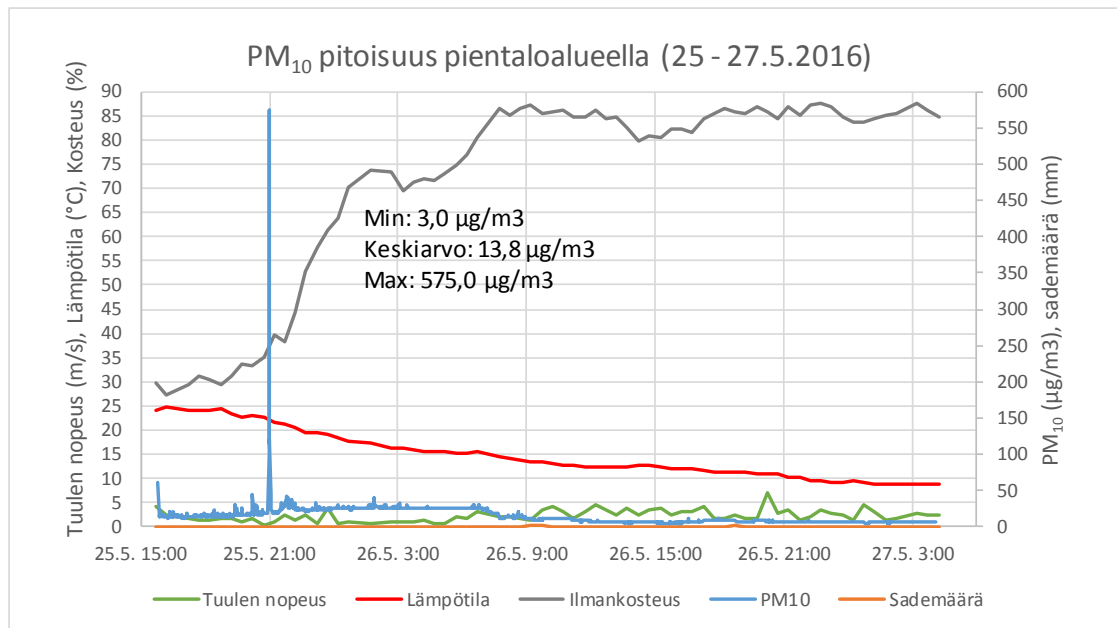
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 4.–5.4.2016



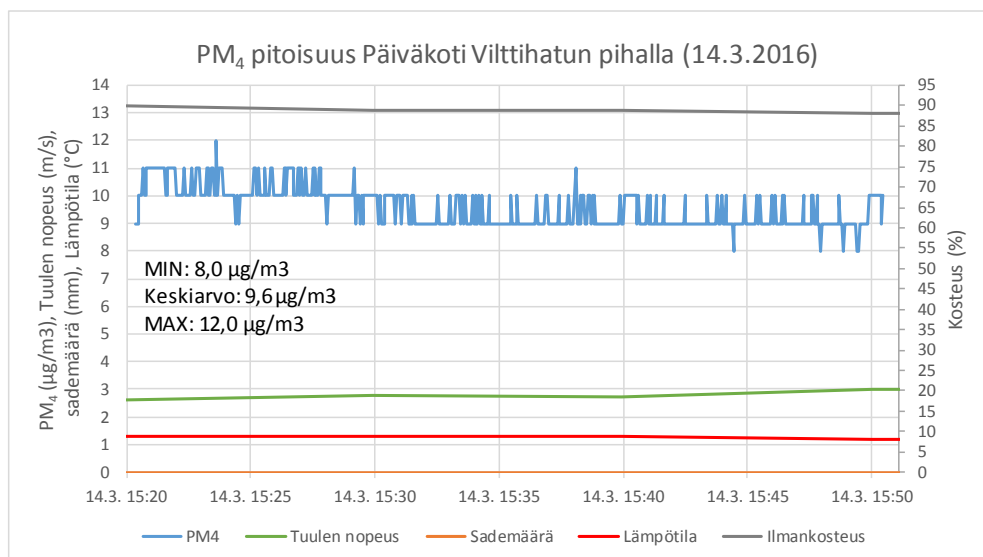
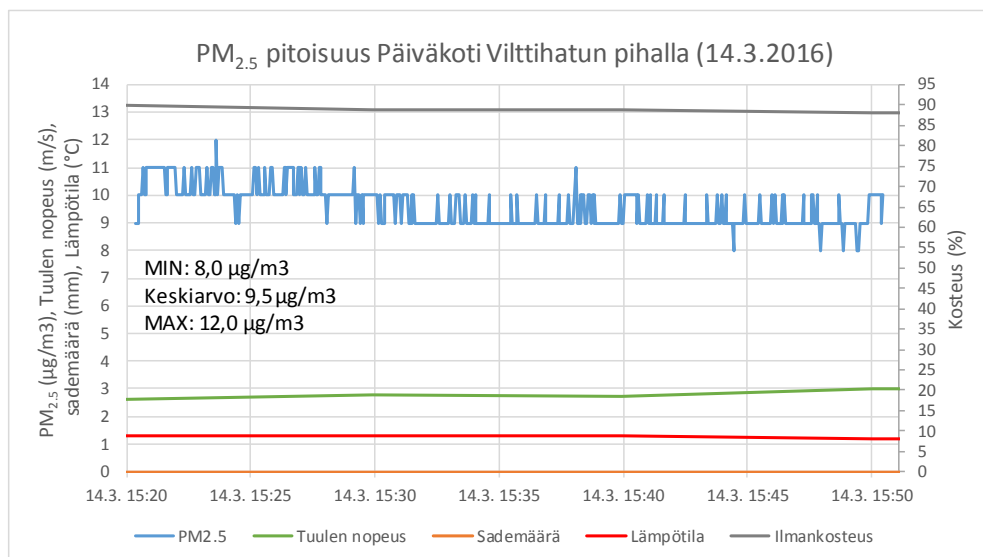
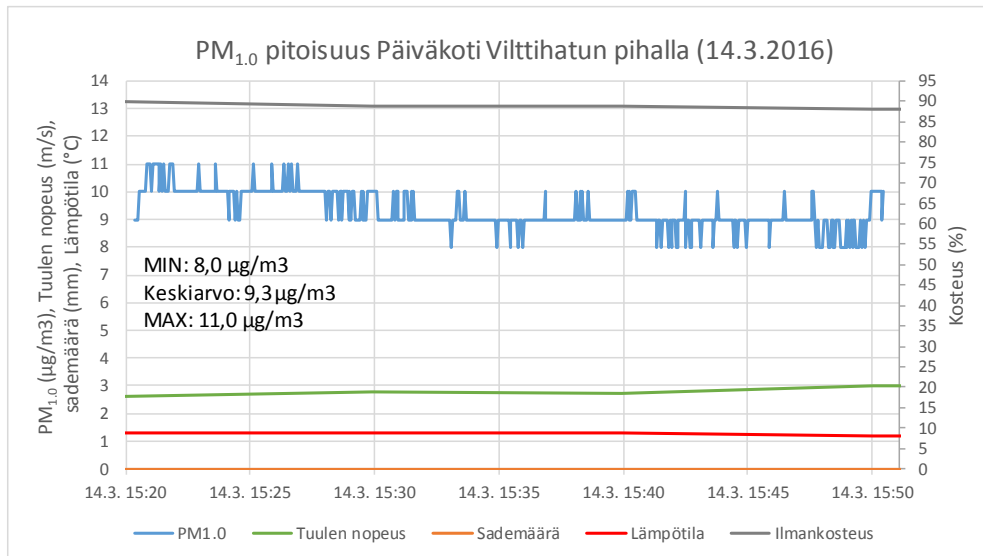
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 25.–27.5.2016



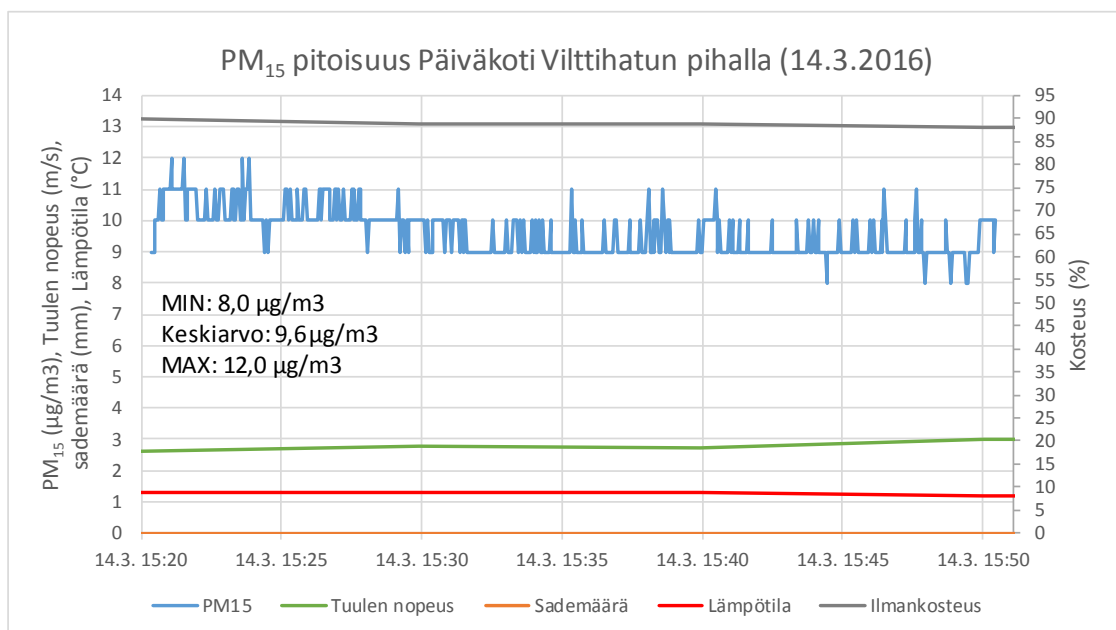
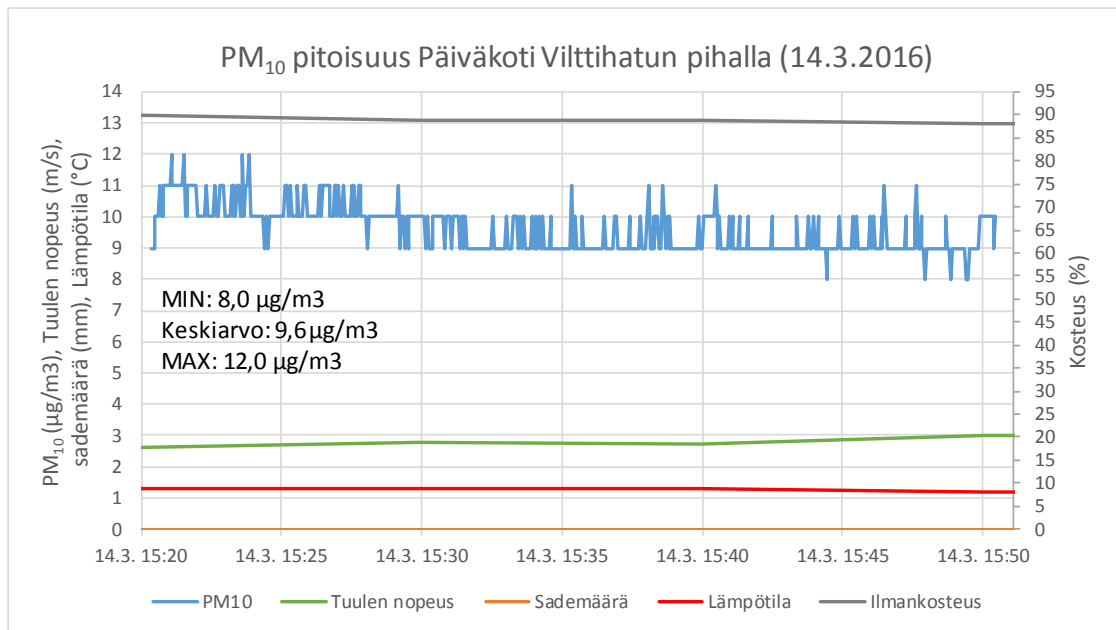
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 25.–27.5.2016



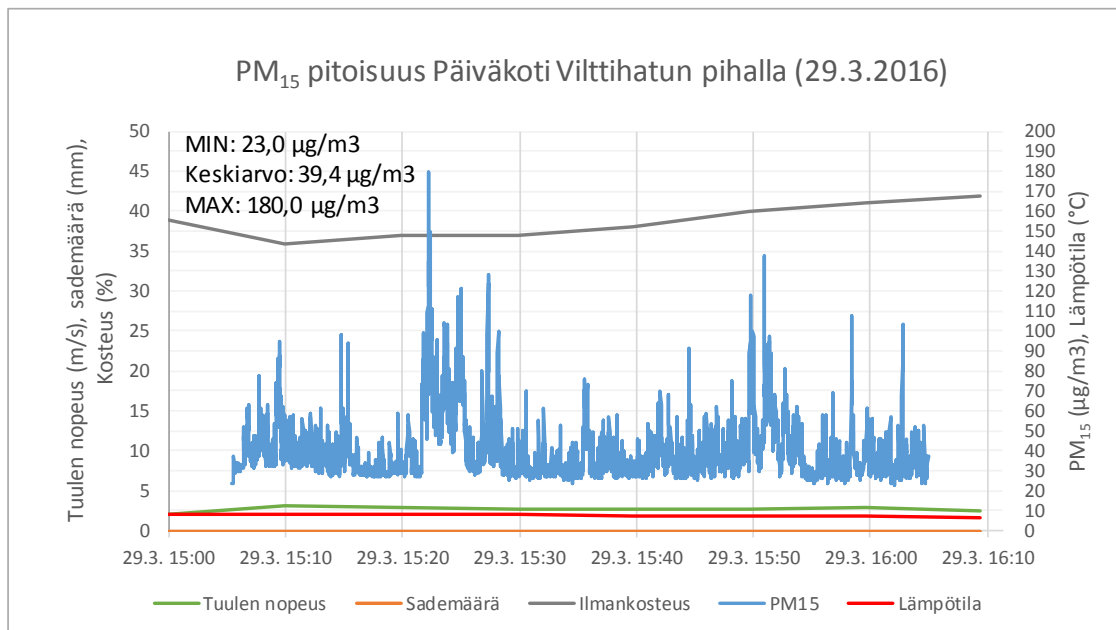
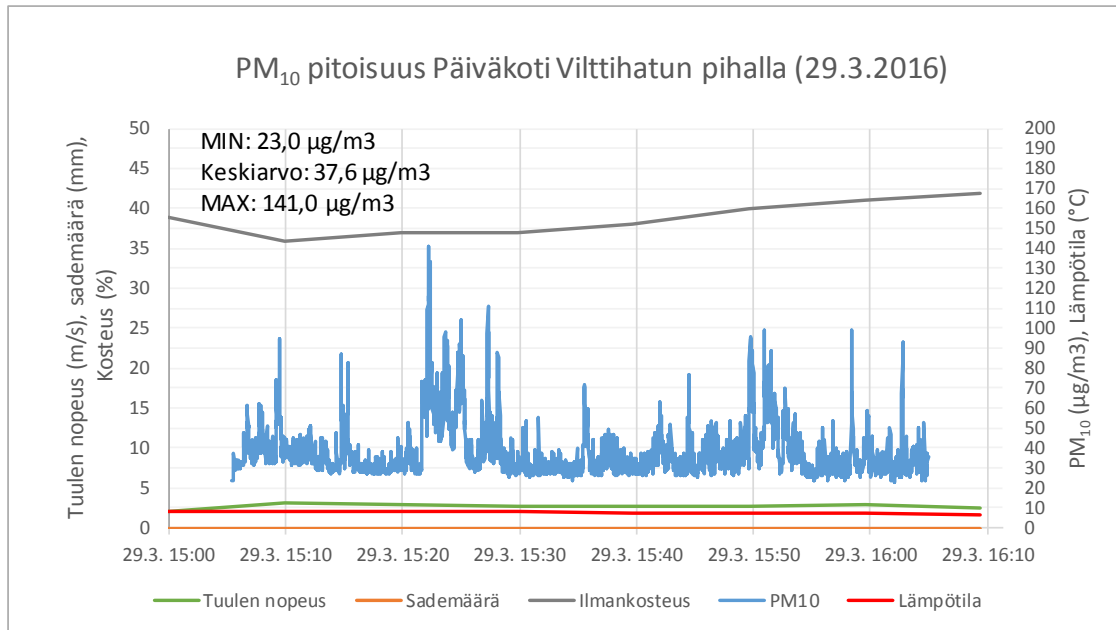
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkotiki Vilttihatun pihalla 14.3.2016



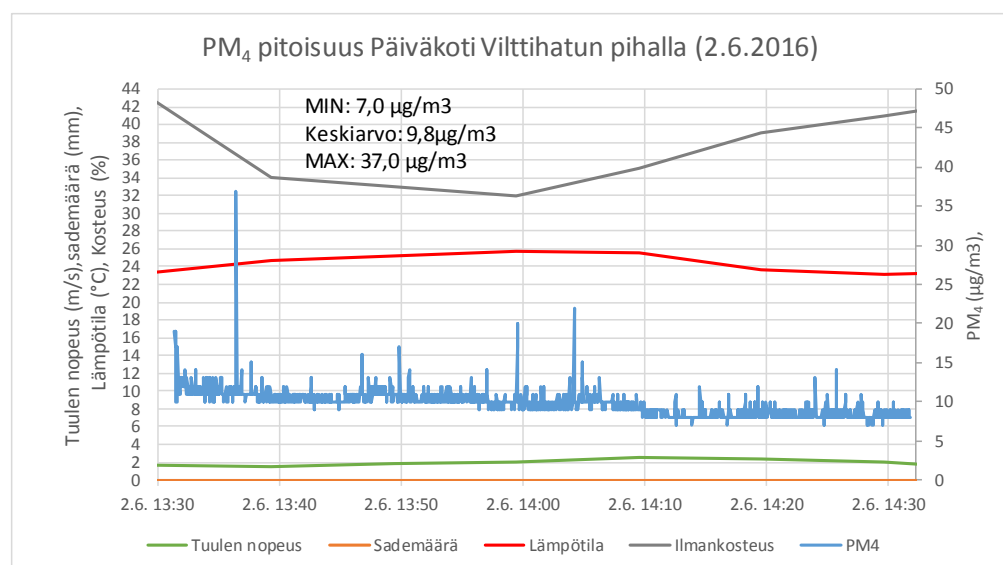
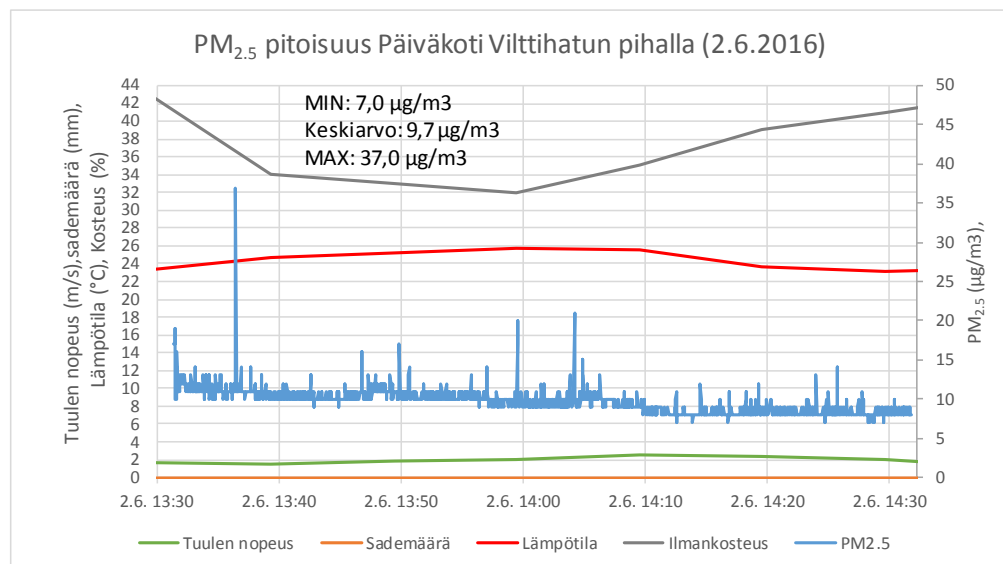
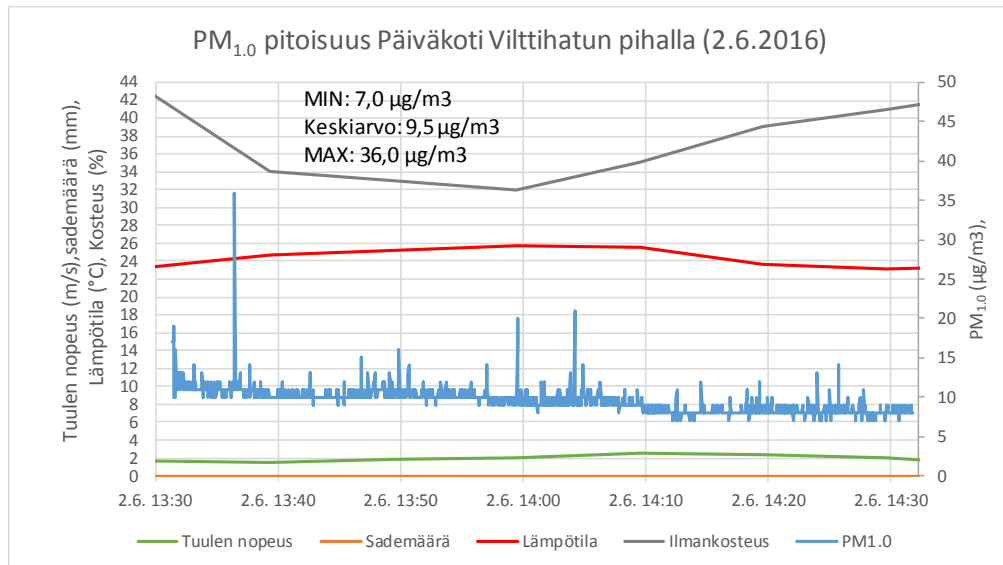
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkotit Vilttihtatun pihalla 14.3.2016



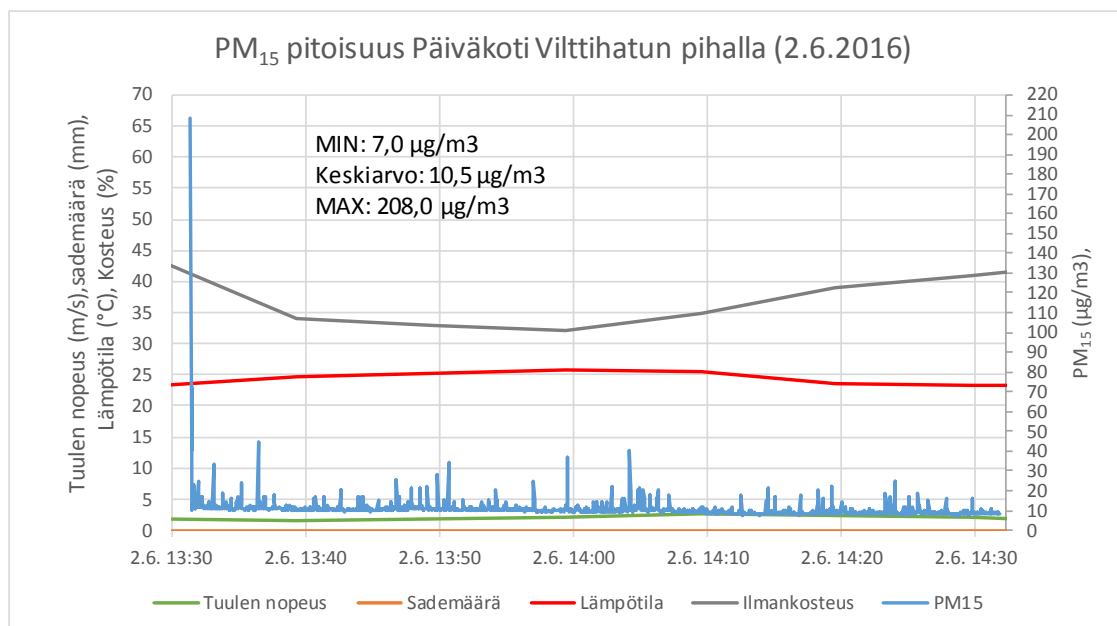
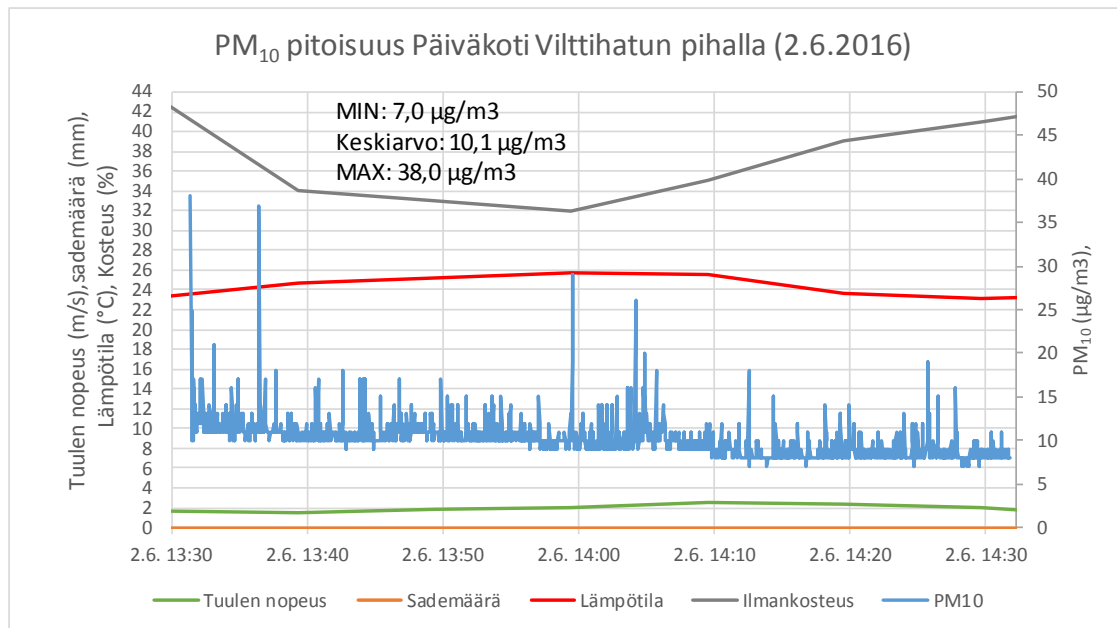
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkotiki Vilttihatun pihalla 29.3.2016



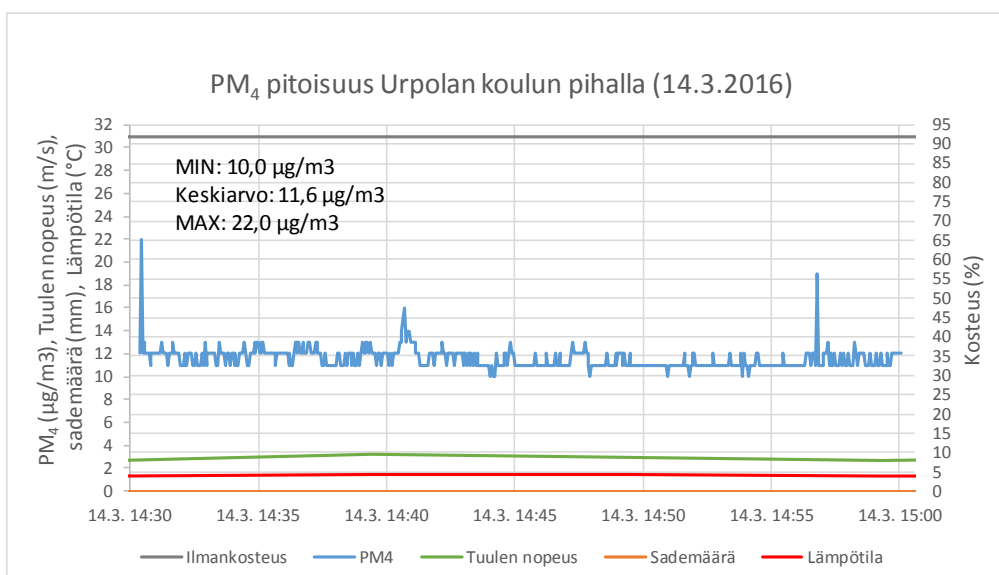
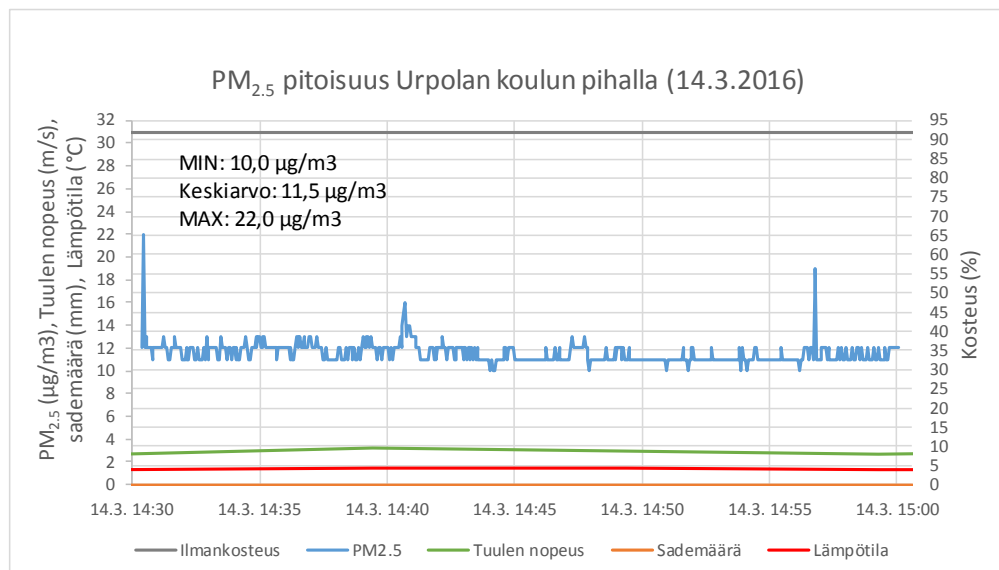
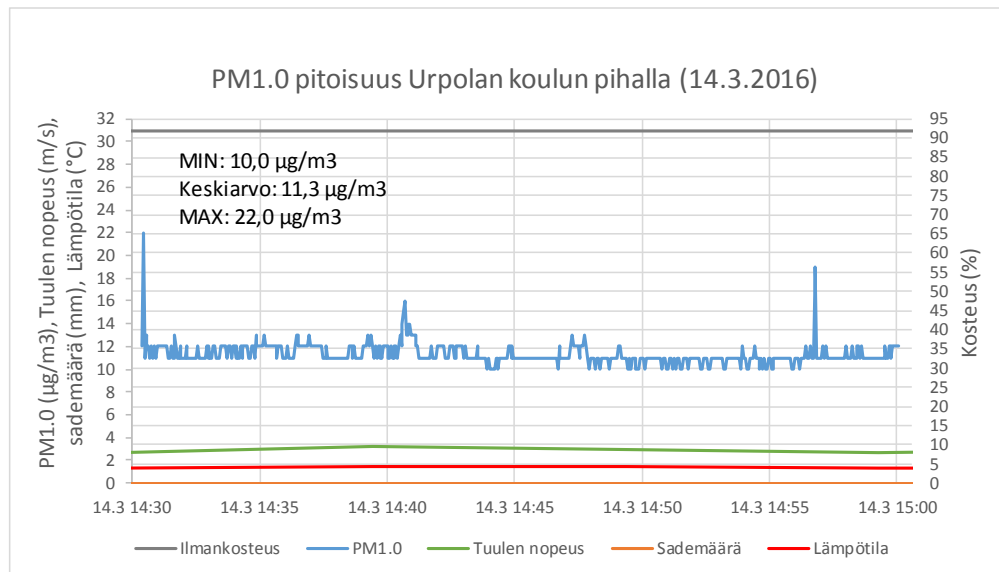
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkoti Vilttihatun pihalla 2.6.2016



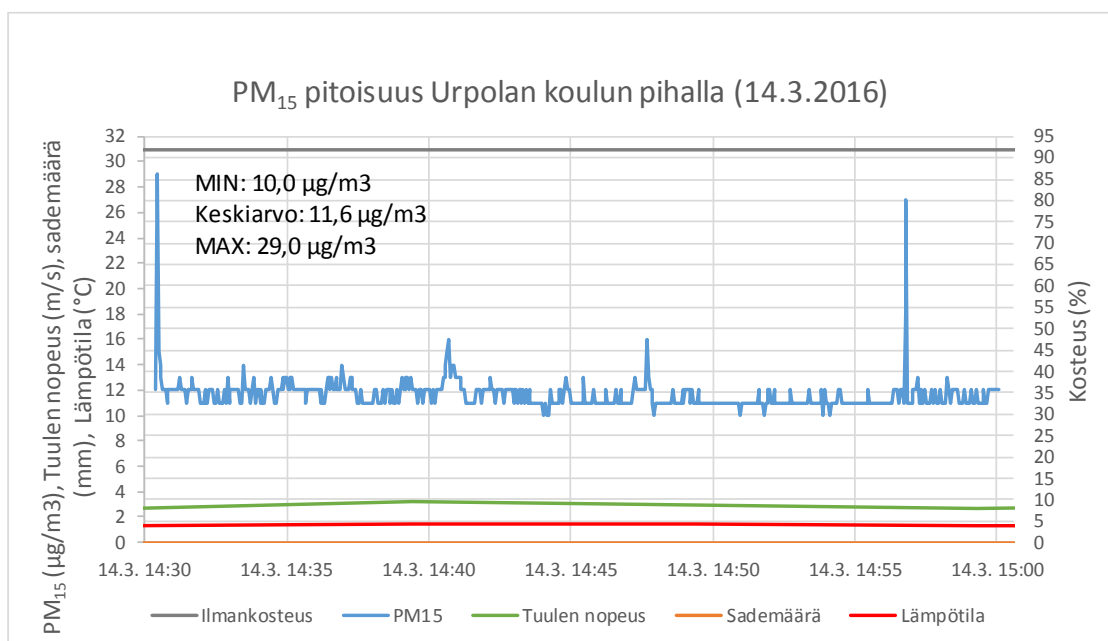
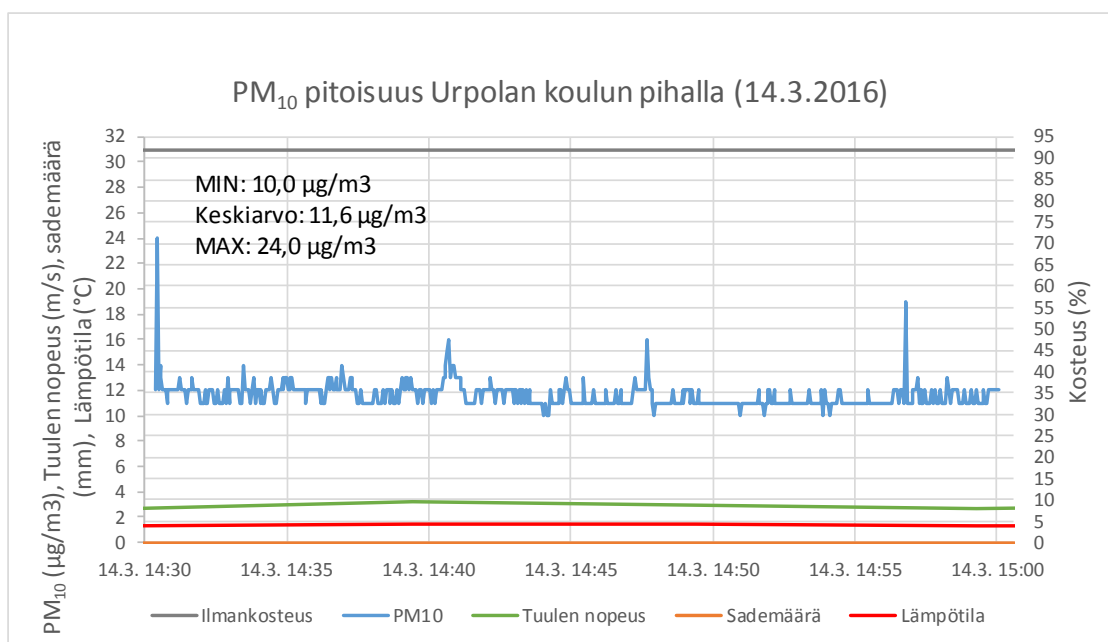
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet päiväkotit Vilttihatun pihalla 2.6.2016



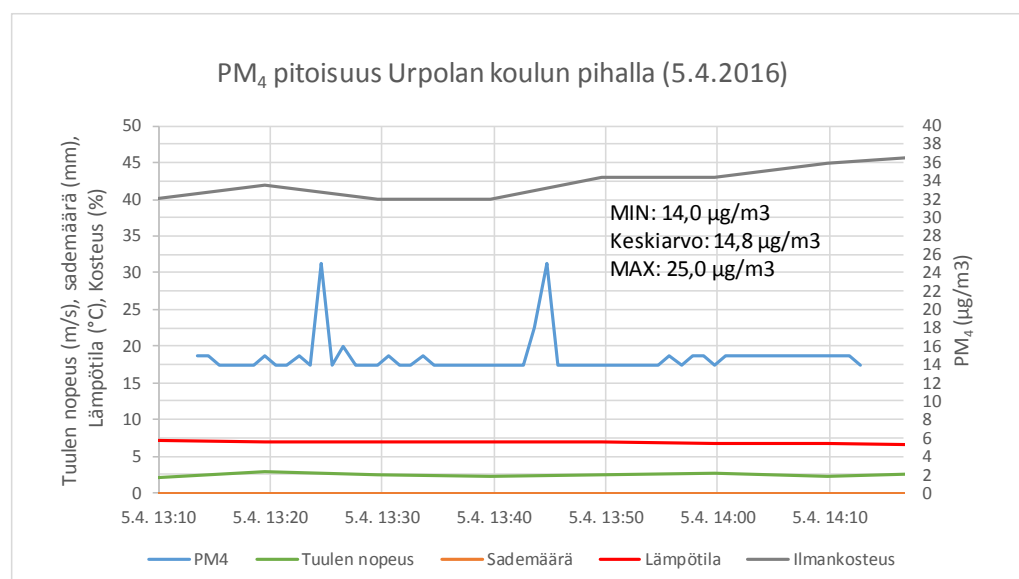
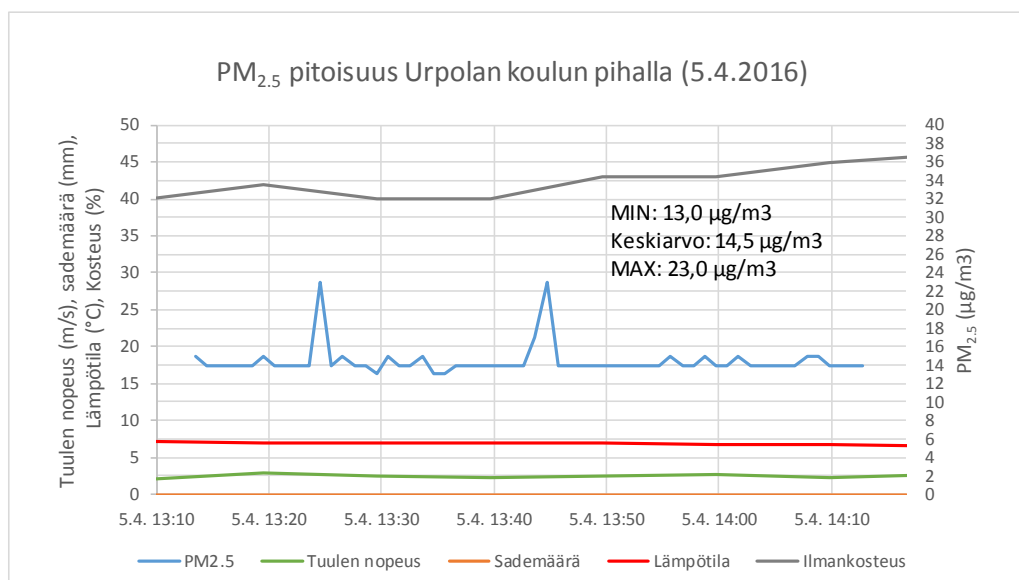
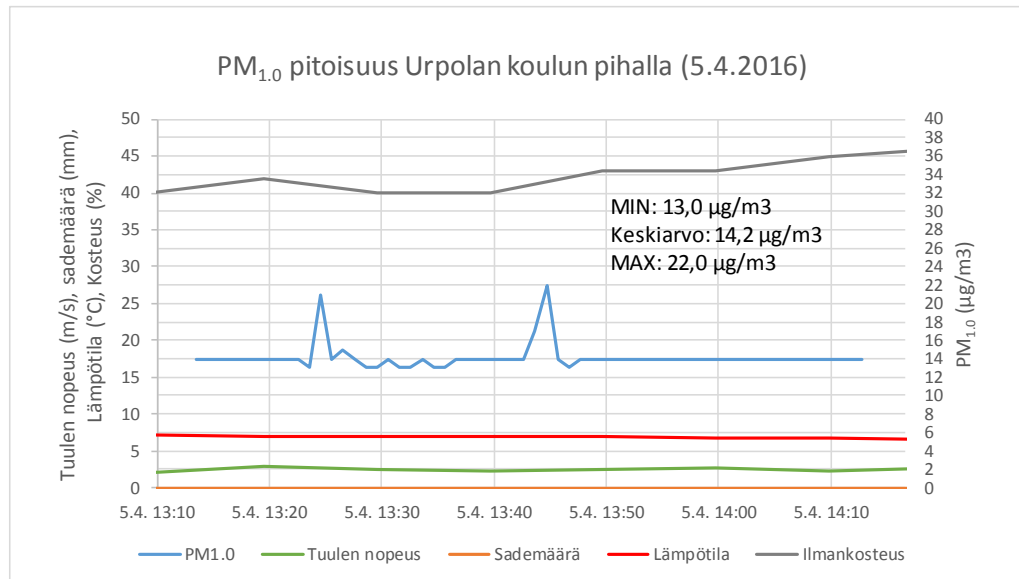
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 14.3.2016



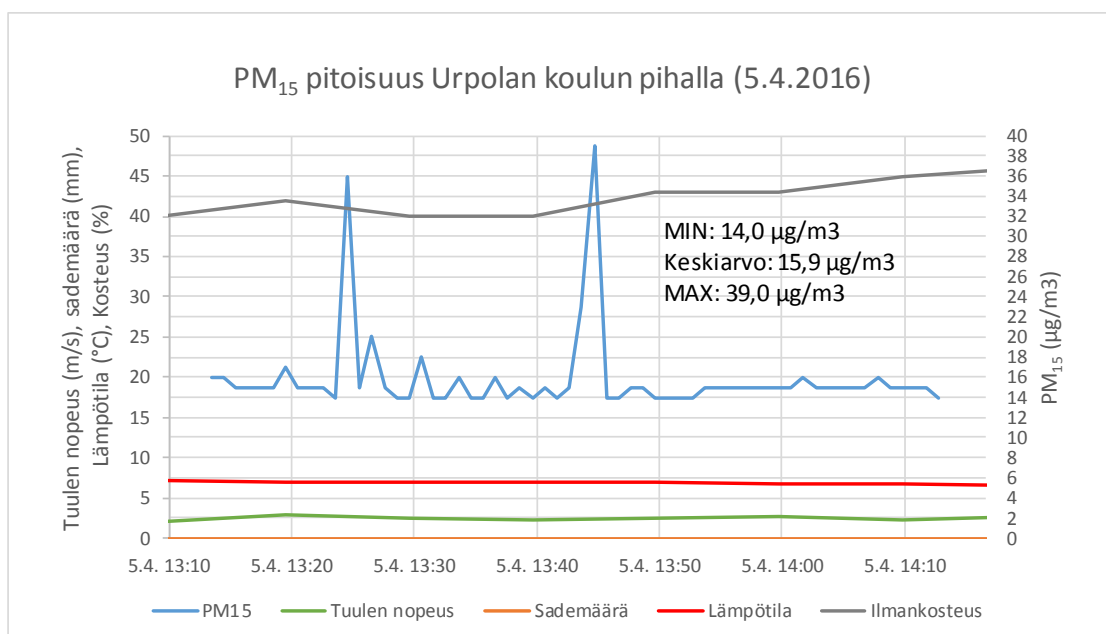
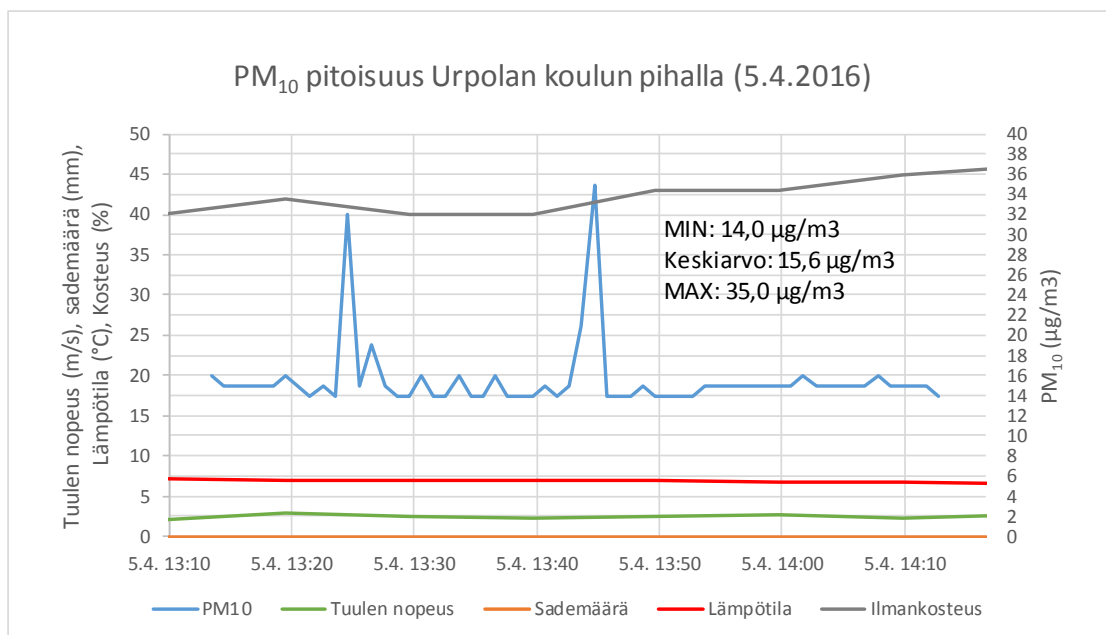
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 14.3.2016



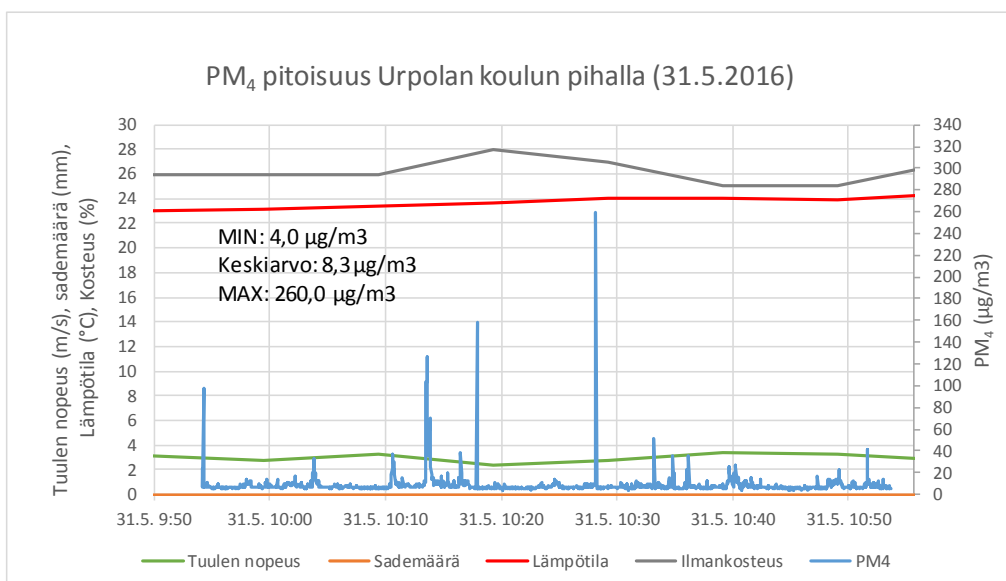
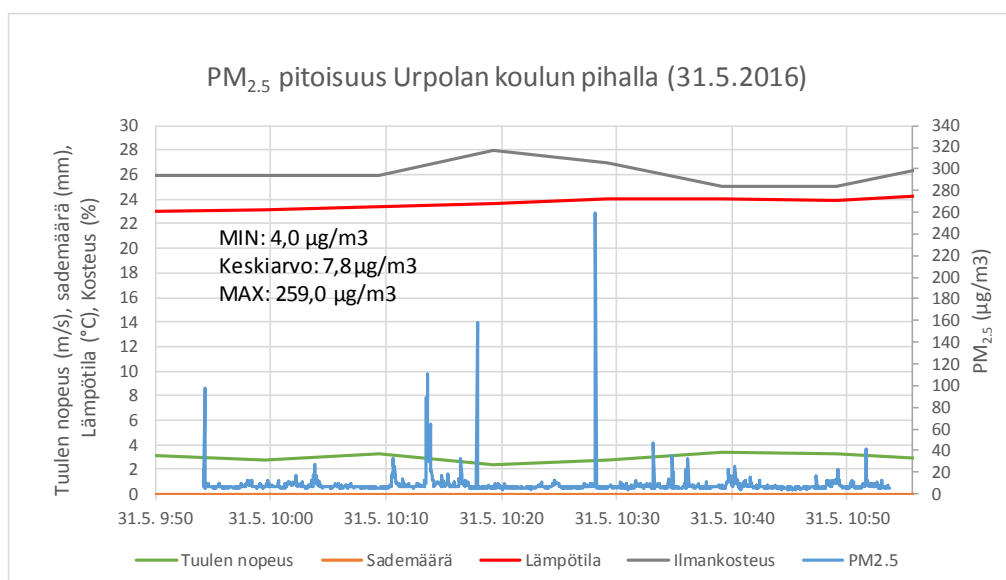
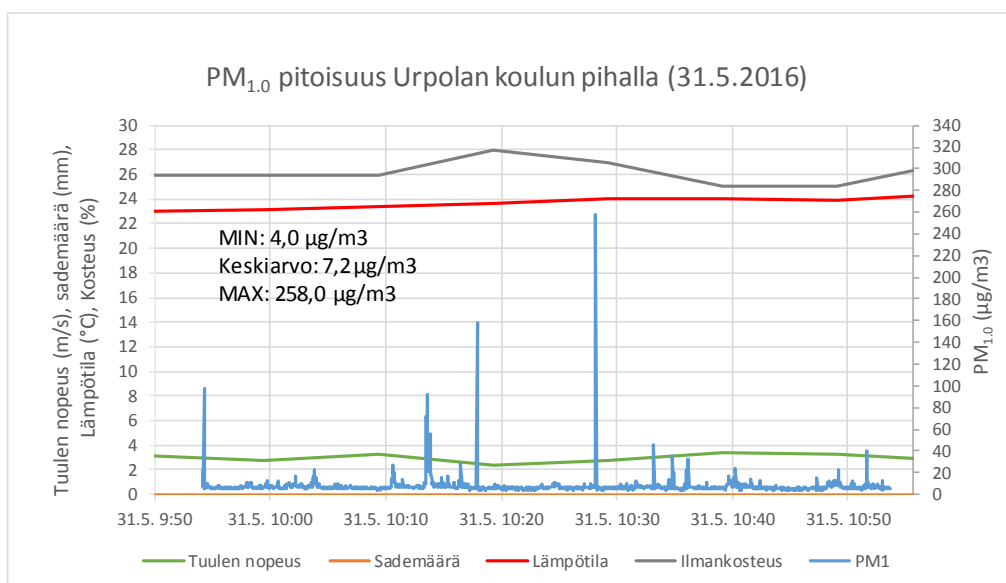
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 5.4.2016



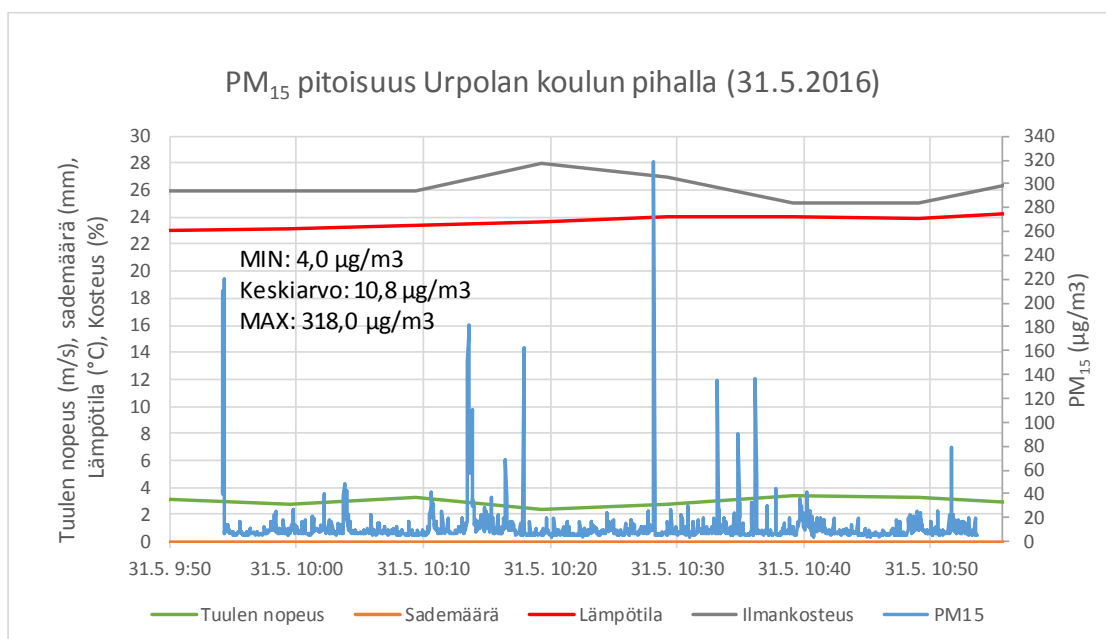
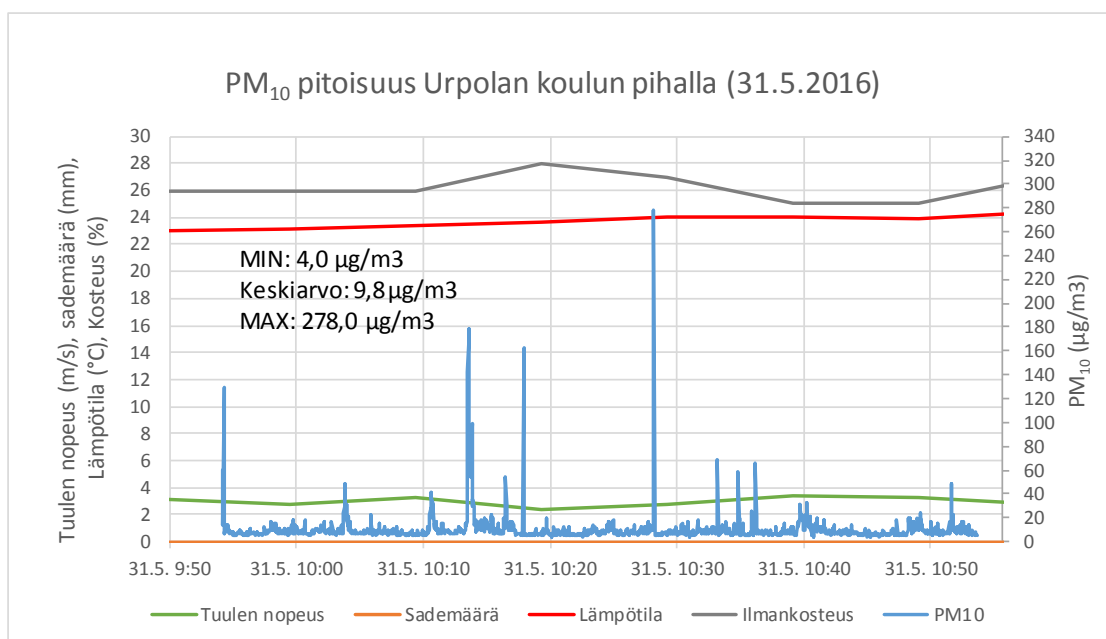
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 31.5.2016



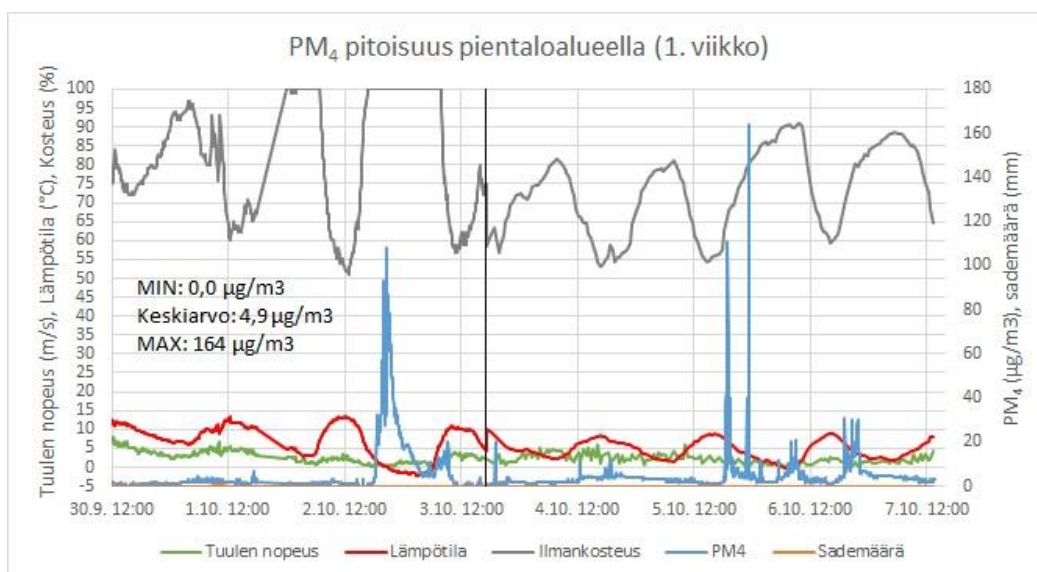
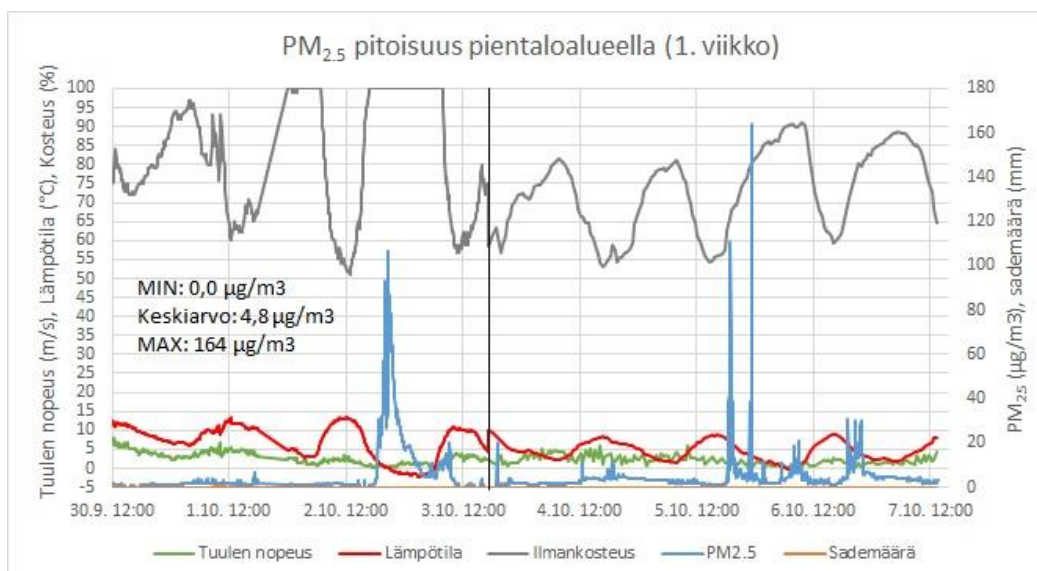
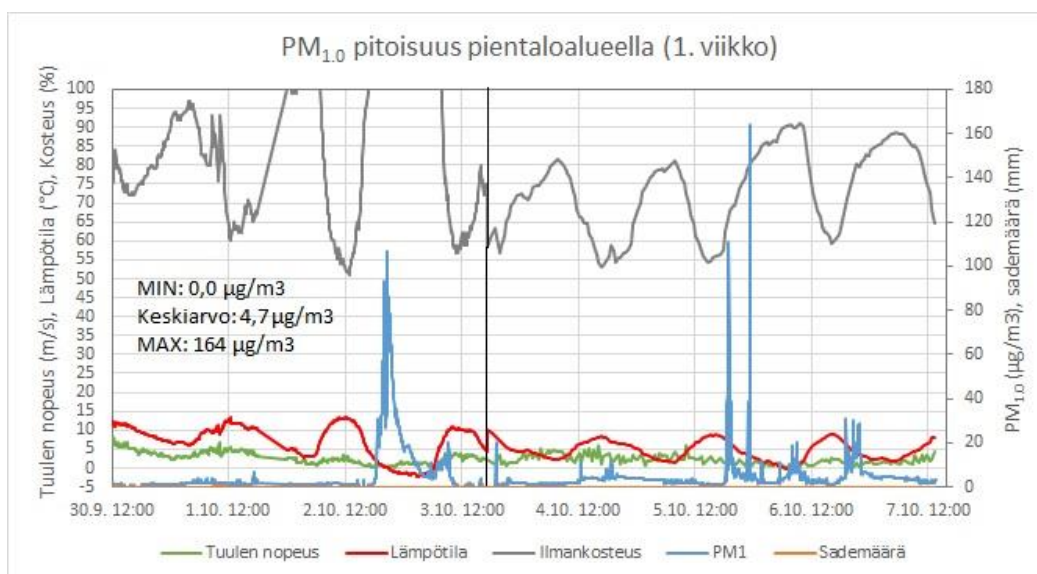
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 31.5.2016



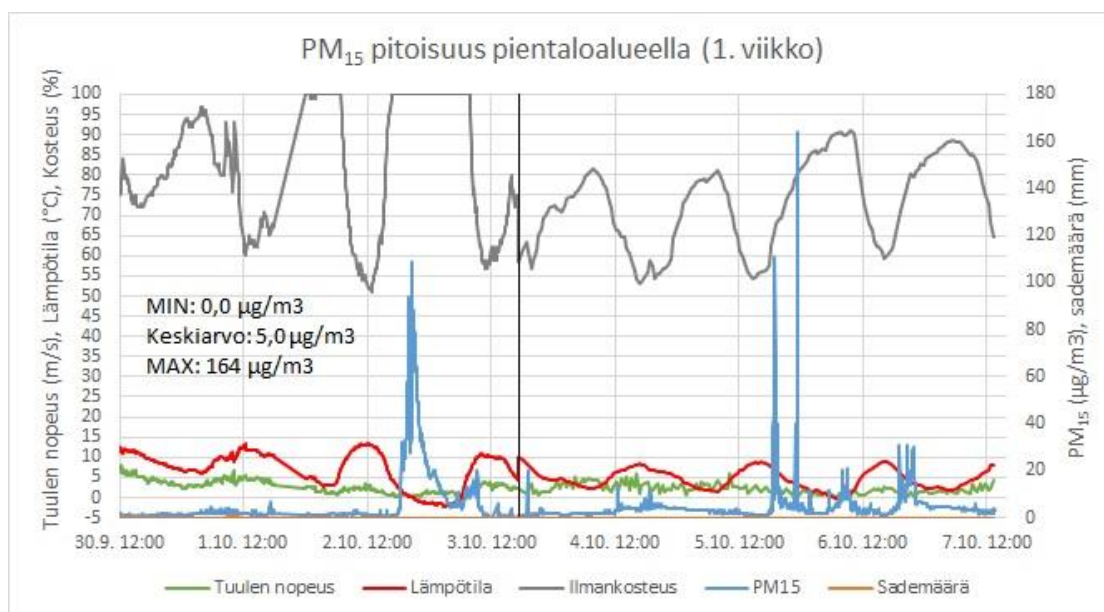
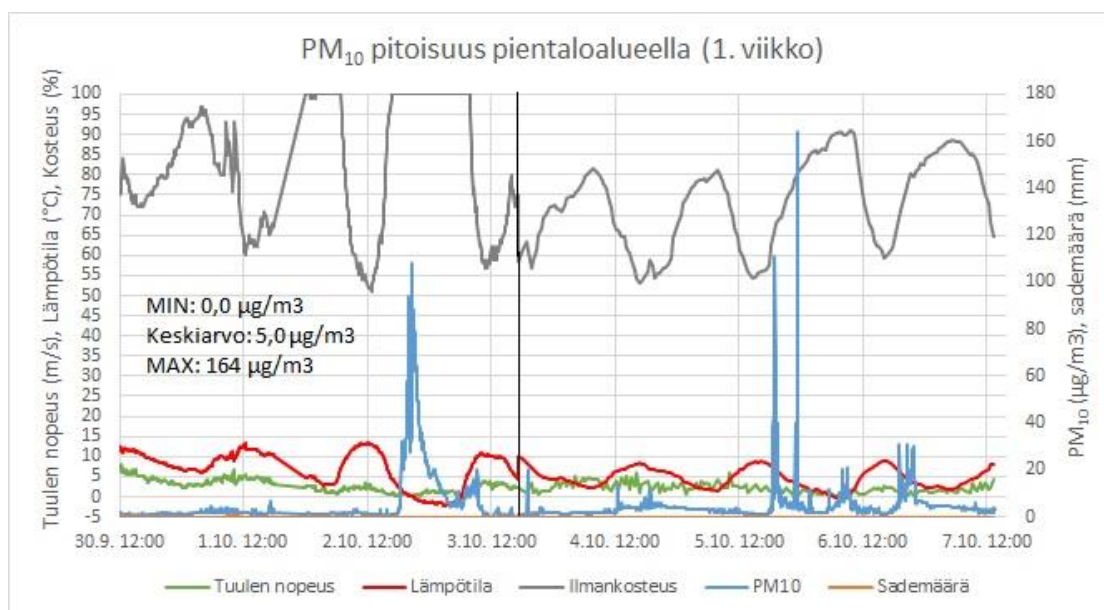
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Urpolan koulun pihalla 31.5.2016



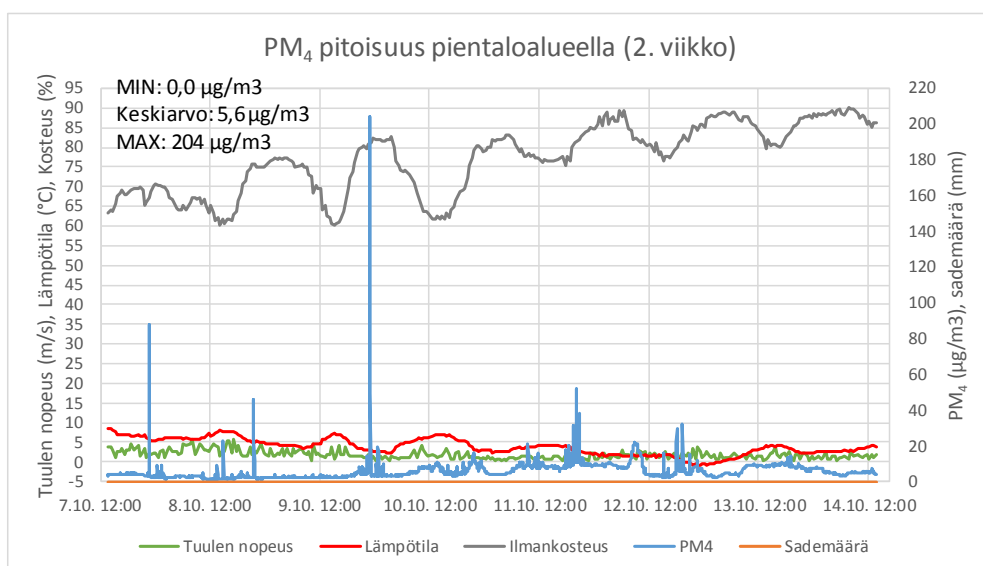
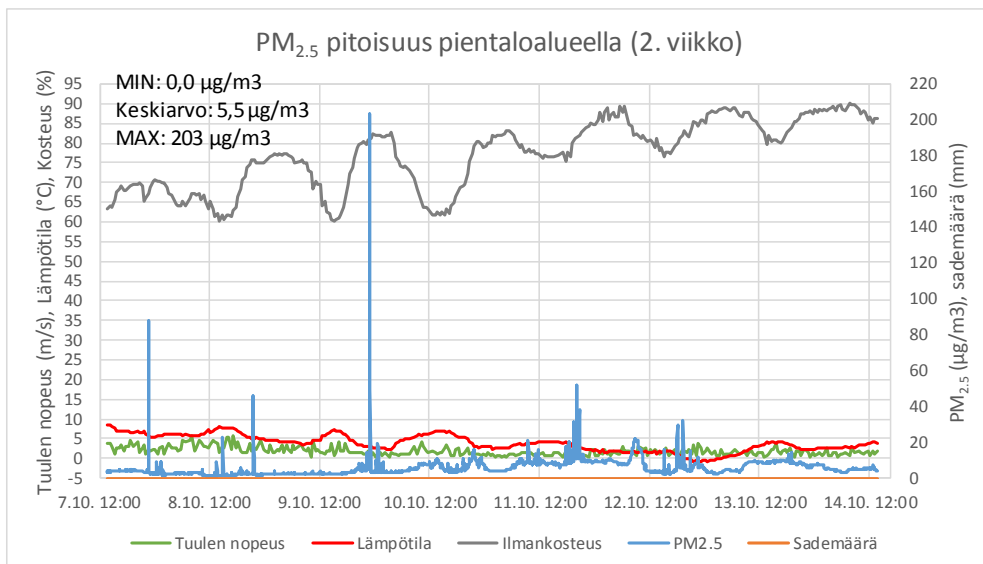
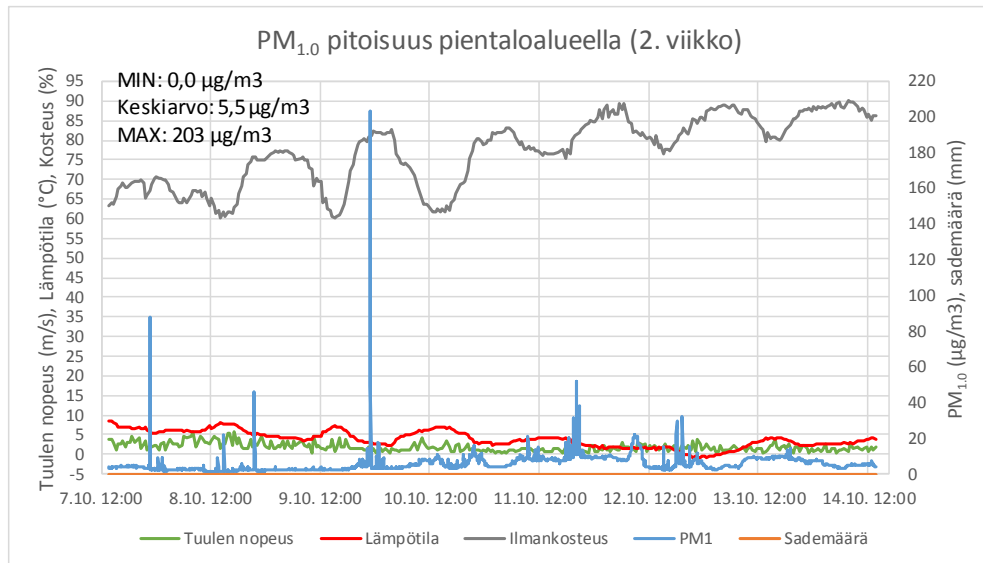
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 30.9–7.10.2016



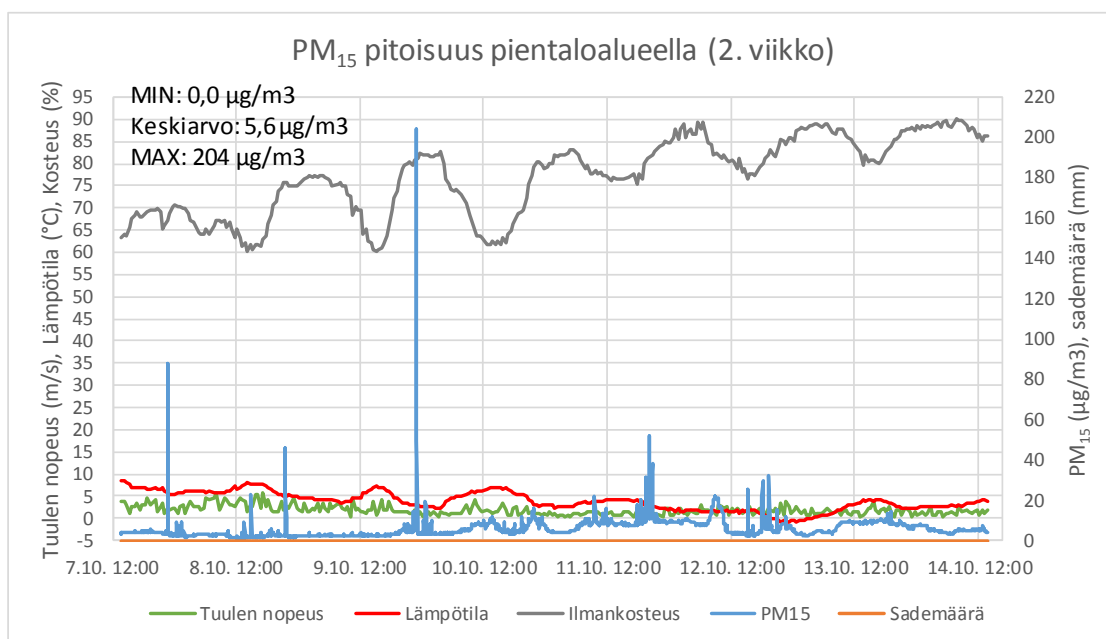
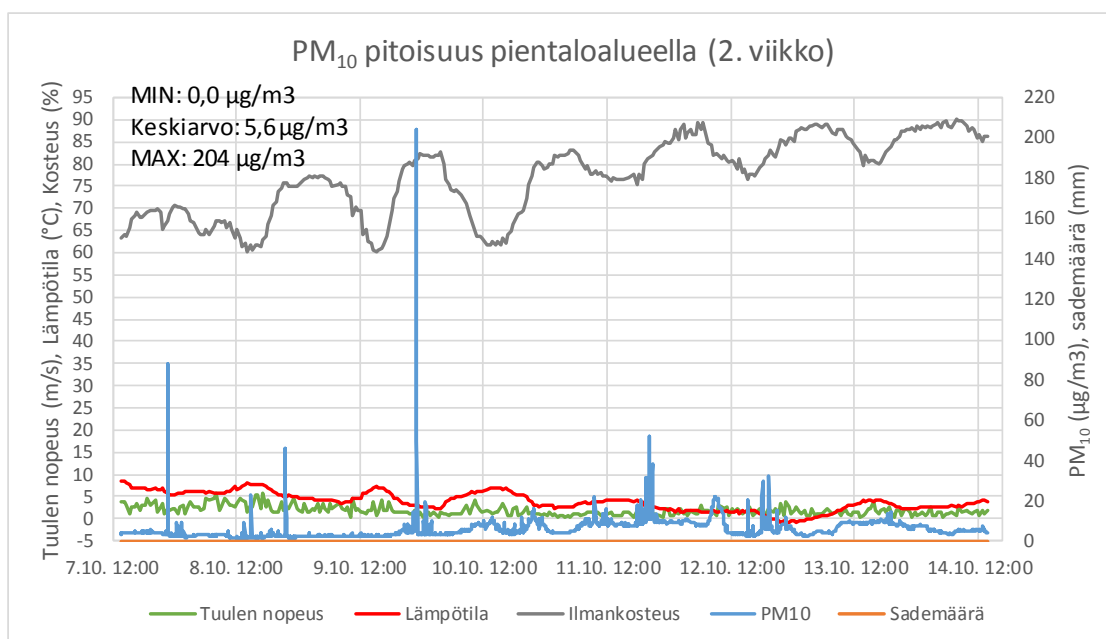
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 30.9–7.10.2016



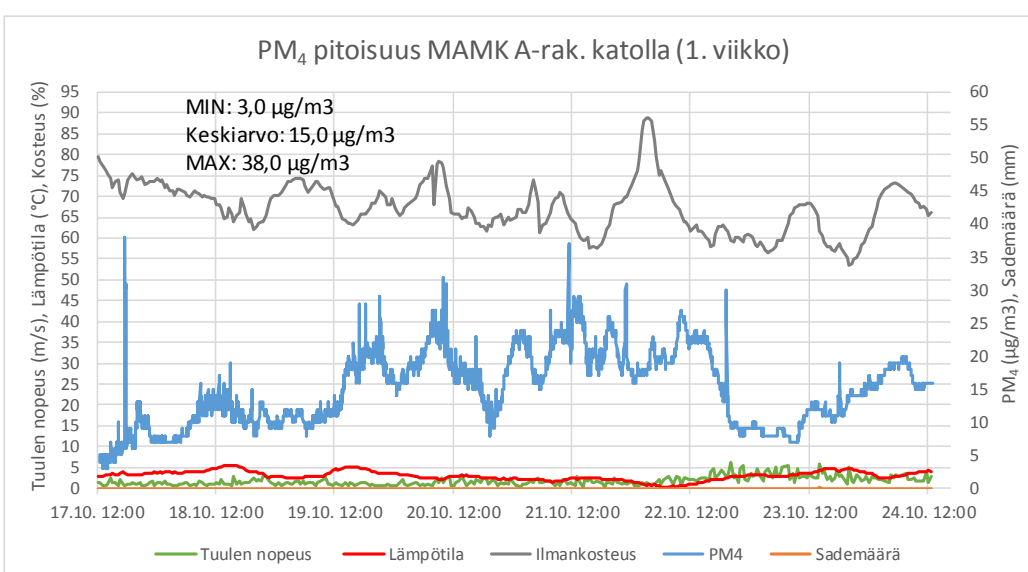
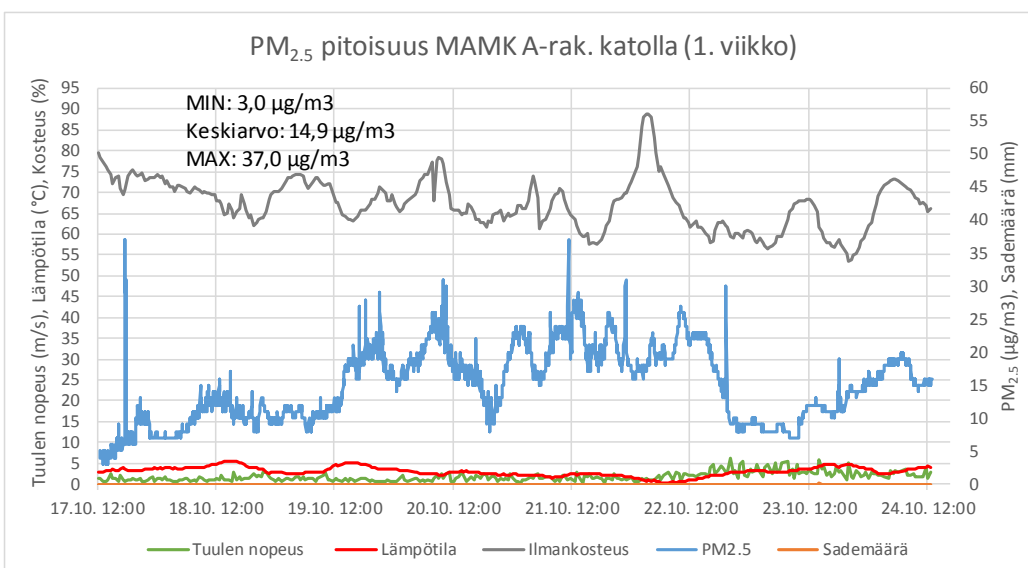
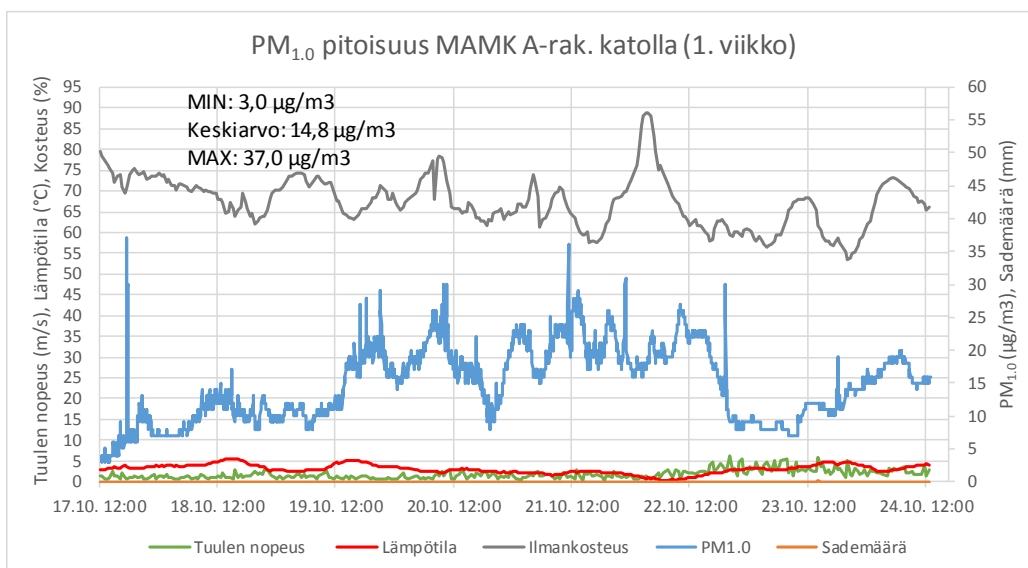
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 7.–14.10.2016



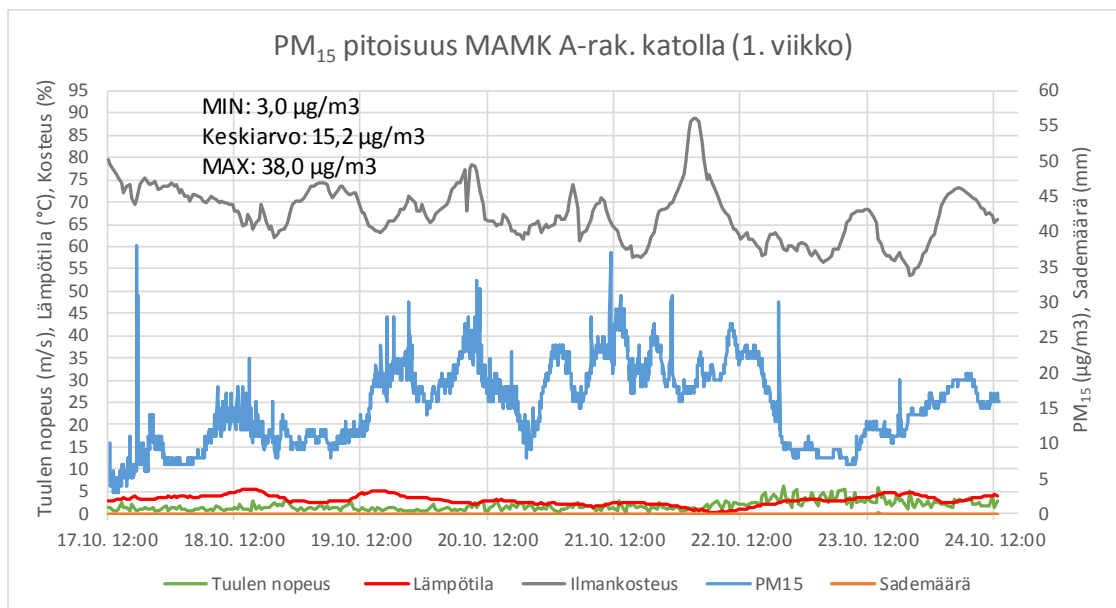
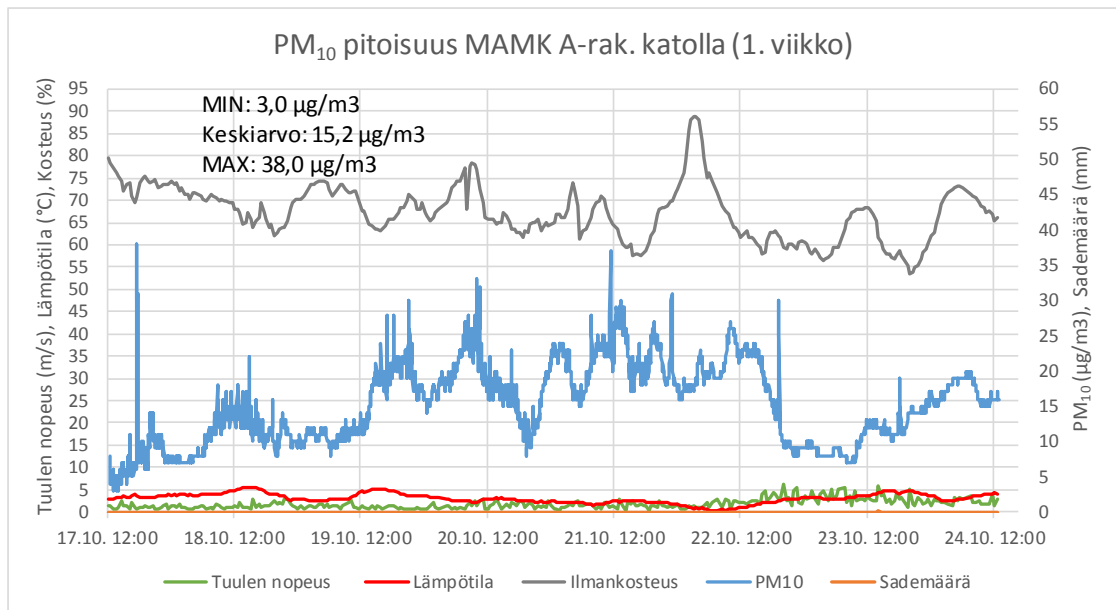
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet pientaloalueella 7.–14.10.2016



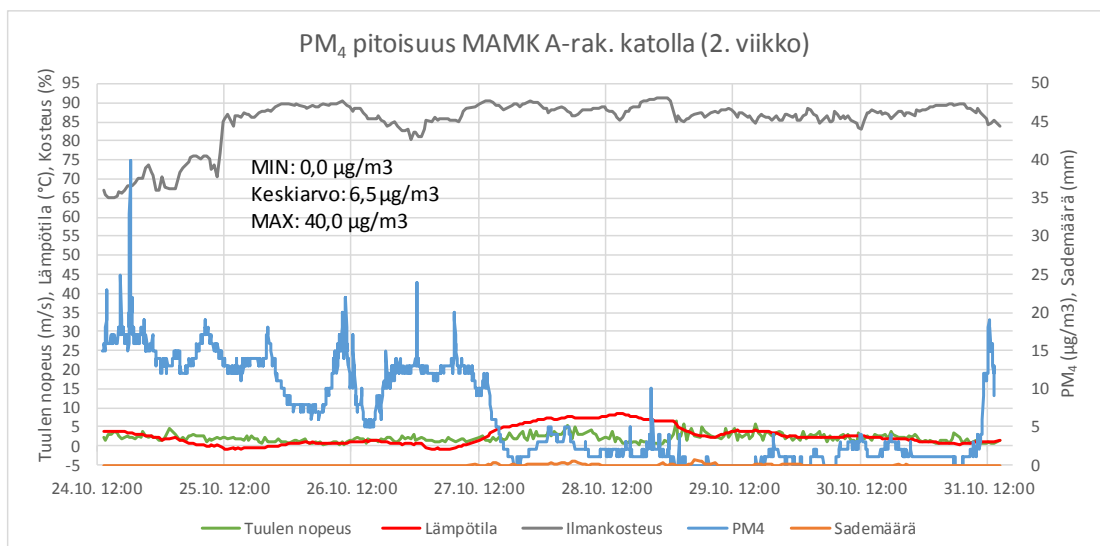
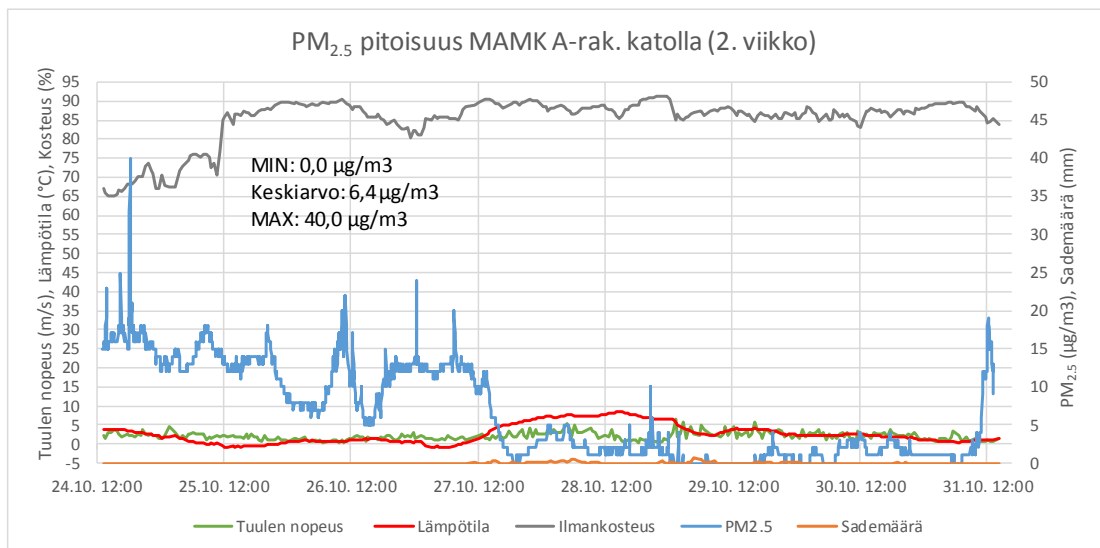
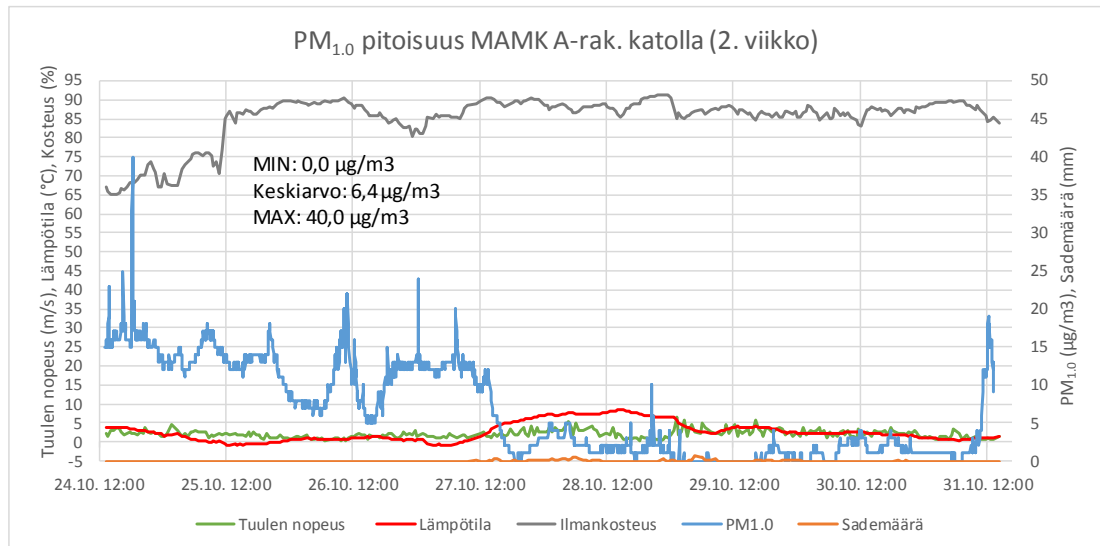
Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Mamkin A-rak. katolla 17.–24.10.2016



Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Mamkin A-rak. katolla 17.–24.10.2016



Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Mamkin A-rak. katolla 24.–31.10.2016



Hiukkaspitoisuudet ja sääolosuhteet Mamkin A-rak. katolla 24.–31.10.2016

